รหัสโครงการ SUT3-305-58-24-03

รายงานการวิจัย

การผลิตและศึกษาสมบัติของสารสกัดแอนโธไซยานินจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่เพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์มายองเนส

(Production and Study of Properties of Anthocyanin Extract from *Carissa carandas* Linn. for using in Mayonnaise)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ SUT3-305-58-24-03

รายงานการวิจัย

การผลิตและศึกษาสมบัติของสารสกัดแอนโธไซยานินจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่เพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์มายองเนส

(Production and Study of Properties of Anthocyanin Extract from *Carissa carandas* Linn. for using in Mayonnaise)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวัฒ ไทยอุดม

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2558-2559

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กันยายน 2562

บทคัดย่อ

มะม่วงหาวมะนาวโห่เป็นผลไม้พื้นบ้านของไทยที่มีสารแอนโธไซยานิน ซึ่งมีสมบัติเป็นสารกำจัดอนุมูลอิสระ หลักการทาง response surface methodology (RSM) ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการผลิตสารสกัดแอนโธไซยานินจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ โดยได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ด้วยสารละลายเอทานอลร้อยละ 60 และเวลาที่ใช้ในการสกัดที่มีผลต่อปริมาณสารแอนโธ-ไซยานิน สารประกอบฟีนอลทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และสมบัติในการมีฤทธิ์กำจัดอนุมูลอิสระทดสอบด้วยวิธี ABTS และ DPPH ผลการวิเคราะห์ที่ได้พบว่า อุณหภูมิ 54 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 64 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สามารถสกัดแอนโธไซยานินปริมาณสูงสุดที่ 146.74 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่างสด และสารสกัดนี้เมื่อนำไปกำจัดแอลกอฮอล์เพื่อให้ได้สารสกัดที่มีความปลอดภัยและเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารพบว่ามีค่าปริมาณแอนโธไซยานินเท่ากับ 239.22 ± 0.88 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่างสด เมื่อนำสารสกัดแอนโธไซยานินที่ได้จากขั้นตอนนี้มาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์มายองเนสที่มีน้ำมันร้อยละ 75 โดยแปรระดับที่ร้อยละ 2.5, 5, 7.5 และ 10 โดยน้ำหนักเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (มายองเนสที่ไม่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานิน) และทำการทดสอบทางประสาทสัมผัส (hedonic 7-point scale) พบว่า ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสให้คะแนนความชอบต่อผลิตภัณฑ์มายองเนสที่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินร้อยละ 2.5, 5 และ 7.5 ในด้านรสชาติและความชอบรวมอยู่ระดับชอบปานกลางเช่นเดียวกับตัวอย่างควบคุมอย่างและไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$) อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์มายองเนสที่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินร้อยละ 5 ได้ระดับคะแนนความชอบใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมมากที่สุด เมื่อนำมายองเนสที่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินร้อยละ 5 มาศึกษาอายุการเก็บรักษาโดยใช้เทคนิคการเก็บด้วยวิธีเร่ง (Q_{10}) ที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส โดยปัจจัยที่นำมาใช้ในการตรวจสอบ คือ ปริมาณสารที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด (TBARS) ค่าเพอร์ออกไซด์ (POV) ค่าพีเอช การแยกชั้น และพฤติกรรมการไหล ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษา พบว่า สารสกัดแอนโธไซยานินจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่สามารถชะลออัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด และยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์มายองเนสให้นานขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม แสดงให้เห็นว่า สารกัดแอนโธไซยานินจากมะม่วงหาวมะนาวโห่นี้ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ดังกล่าวได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Abstract

Carissa carandas Linn. is a local fruit of Thailand which contains anthocyanin as an effective antioxidant. To study the optimum condition of anthocyanin extraction from *Carissa carandas* Linn., the response surface methodology (RSM) was used. The correlation between extraction temperature and extraction time with 60% ethanol on the amount of extracted anthocyanin, phenolic compounds, flavonoids, and antioxidant activity detected by ABTS and DPPH was carried out. The result showed that the optimum extraction condition was at 54°C and 64 min, giving the maximum anthocyanin at 146.74 mg/ 100 g of fresh sample. The extract was further evaporated to get rid of ethanol, resulting in the increased anthocyanin content to 239.22 ± 0.88 mg/ 100 g of fresh sample. This extract with varied amount (2.5, 5, 7.5, and 10%w/w) was used to mix with mayonnaise and compared with the control which was the mayonnaise without the extract. Sensory evaluation with 7-point hedonic scale was used to pre-screen the acceptability of product from the consumers. Mayonnaise with anthocyanin extract at 2.5, 5, and 7.5% significantly showed the acceptable score at moderate like as that of control ($p \geq 0.05$). However, the mayonnaise with 5% anthocyanin extract gave the hedonic score as close as that of control the most. Then the mayonnaise with 5% extract was used to study for its shelf life by acceleration technique (Q_{10}) at 25 and 35°C. Thiobarbituric acid reactive substances (TBARS), peroxide value (POV), pH value, phase separation, and flow behavior were used as the response index which were used for storage shelf-life study. Mayonnaise with 5% anthocyanin extract possessed the longer storage shelf-life than mayonnaise without the extract. This meant that anthocyanin extracted form *Carissa carandas* Linn. could be used to extend shelf-life of such product.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยเรื่อง การผลิตและศึกษาสมบัติของสารสกัดแอนโธไซยานินจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่เพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์มายองเนส สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการทำงานวิจัยและรายงานฉบับสมบูรณ์นี้ได้แก่ ดร.น้ำฝน ไทยวงษ์ และคุณวัชราภรณ์ ทุมเมืองปัก ที่เป็นผู้ช่วยวิจัย ซึ่งได้สละกำลังกายเป็นอย่างยิ่ง มา ณ ที่นี้ นอกจากนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณหน่วยงานที่สนับสนุนงานวิจัย เพื่อให้เกิดงานวิจัยที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารได้จริง ได้แก่ สำนักคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ผ่านสถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำการวิจัย

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครูบาอาจารย์ที่ได้ปลูกฝังและสั่งสอนให้ผู้วิจัยมีทักษะทางงานวิชาการและการวิจัยเพื่อประโยชน์ที่แท้จริงแก่สังคม และขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่ได้กรุณาตรวจความเรียบร้อยและให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อการเขียนรายงานการวิจัย มา ณ ที่นี้ด้วย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวัฒ ไทยอุดม

18 มีนาคม 2563

(รายงานฉบับแก้ไข)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	**ก**
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	**ข**
กิตติกรรมประกาศ	**ค**
สารบัญ	**ง**
สารบัญตาราง	**ฉ**
สารบัญภาพ	**ช**
สัญลักษณ์และคำย่อ	**ฌ**
บทที่ 1 บทนำ	**1**
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	**3**
2.1 มะม่วงหาวมะนาวโห่	3
2.2 มายองเนส (Mayonnaise)	4
2.3 แอนโธไซยานิน (Anthocyanins)	5
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแอนโธไซยานิน	7
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	**9**
3.1 การเตรียมวัตถุดิบ	9
3.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารแอนโธไซยานินจากผลมะมวงหาวมะนาวโห (optimization experiments)	9
3.3 การศึกษาคาสี คาพีเอช คาอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันหรือน้ำมัน (POV) ปริมาณ สารที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันหรือน้ำมัน (TBARS) และคุณภาพทางจุลินทรียของมายองเนสที่มีสวนผสมของสารสกัดจากผลมะมวงหาวมะนาวโห่	11
3.4 การศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑมายองเนสที่มีสารสกัดแอนโธไซยานินจากผลมะมวงหาวมะนาวโห โดยใชเทคนิคการศึกษาอายุการเก็บดวยวิธีเรง (Q_{10})	14
3.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ	15

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย	**16**
4.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารสกัดแอนโธไซยานินจากมะม่วงหาวมะนาวโห่ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต (optimization experiments)	16
4.2 การศึกษาค่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์มายองเนสที่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่	26
4.3 การประเมินผลทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑมายองเนสที่มีสวนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินจากผลมะมวงหาวมะนาวโห่	27
4.4 การศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์มายองเนสที่มีสารสกัดแอนโธไซยานินจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ โดยใช้เทคนิคการศึกษาอายุการเก็บด้วยวิธีเร่ง (Q_{10})	29
4.5 การทำนายอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มายองเนสที่มีสารสกัดแอนโธไซยานินจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ โดยใช้เทคนิคการศึกษาอายุการเก็บด้วยวิธีเร่ง (Q_{10})	36
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	**38**
บรรณานุกรม	**39**
ภาคผนวก	**44**
ภาคผนวก ก	45
ภาคผนวก ข	48
ภาคผนวก ค	53
ภาคผนวก ง	54
ภาคผนวก จ	55
ภาคผนวก ฉ	56
ภาคผนวก ช	57
ประวัติผู้วิจัย	**63**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ช่วงของค่าระดับของปัจจัยที่ทำการทดลอง	10
2	การวางแผนการทดลองแบบ CCD (Central Composite Design)	10
3	ส่วนประกอบมายองเนสสูตรพื้นฐานทางการค้า	12
4	ปริมาณสารสำคัญที่ตรวจวิเคราะห์ได้จากสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ ด้วยเอทานอลร้อยละ 60 โดยใช้สภาวะการสกัดที่ อุณหภูมิ 54 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 64 นาที	19
5	ปริมาณแอนโธไซยานินที่พบในผักและผลไม้บางชนิด	20
6	ปริมาณสารและค่าสีที่ตรวจวิเคราะห์ได้จากสารสกัดจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ ก่อนทำการระเหยแอลกอฮอล์ และสารสกัดจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ หลังทำการระเหยและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น	27
7	การประเมินผลทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์มายองเนส	29

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ผลมะม่วงหาวมะนาวโห่	3
2	โครงสร้างแอนโธไซยานิน	6
3	แอนโธไซยานินที่พบได้ในผักและผลไม้บางชนิด	7
4	contour plot ของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดกับเวลาที่ใช้ในการสกัดผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ด้วยเอทานอลร้อยละ 60 ที่มีต่อปริมาณสารแอนโธไซยานิน	21
5	response surface plot ของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดกับเวลาที่ใช้ในการสกัดผลมะม่วงหาวมะนาวโห่เอทานอลร้อยละ 60 ที่มีต่อปริมาณสารแอนโธไซยานิน	21
6	contour plot ของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดกับเวลาที่ใช้ในการสกัดผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ด้วยเอทานอลร้อยละ 60 ที่มีต่อปริมาณฟีนอลทั้งหมด	22
7	response surface plot ของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดกับเวลาที่ใช้ในการสกัดผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ด้วยเอทานอลร้อยละ 60 ที่มีต่อปริมาณสารฟีนอลทั้งหมด	22
8	contour plot ของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดกับเวลาที่ใช้ในการสกัดผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ด้วยเอทานอลร้อยละ 60 ที่มีต่อปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด	23
9	response surface plot ของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดกับเวลาที่ใช้ในการสกัดผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ด้วยเอทานอลร้อยละ 60 ที่มีต่อปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด	23
10	contour plot ของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดกับเวลาที่ใช้ในการสกัดผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ด้วยเอทานอลร้อยละ 60 ที่มีต่อสมบัติการเป็นสารกำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS	24
11	response surface plot ของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดกับเวลาที่ใช้ในการสกัดผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ด้วยเอทานอลร้อยละ 60 ที่มีต่อสมบัติการเป็นสารกำจัดอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี ABTS	24

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
12	contour plot ของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดกับเวลาที่ใช้ในการสกัดผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ด้วยเอทานอลร้อยละ 60 ที่มีต่อสมบัติการเป็นสารกำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH	25
13	response surface plot ของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดกับเวลาที่ใช้ในการสกัดผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ด้วยเอทานอลร้อยละ 60 ที่มีต่อสมบัติการเป็นสารกำจัดอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH	25
14	ค่าพีเอชของตัวอย่างมายองเนสที่ไม่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินและมีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินร้อยละ 5 โดยน้ำหนักที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 วัน	30
15	การแยกขั้นของตัวอย่างมายองเนสที่ไม่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินเปรียบเทียบมายองเนสที่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินร้อยละ 5 ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส	31
16	พฤติกรรมการไหลของตัวอย่างมายองเนสที่ไม่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส	32
17	พฤติกรรมการไหลของตัวอย่างมายองเนสทั้งชนิดที่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินร้อยละ 5 ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส	33
18	ปริมาณ thiobarbituric acid value (TBARS) ที่พบในตัวอย่างมายองเนสที่ไม่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินและมายองเนสที่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินร้อยละ 5 ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส	34
19	ปริมาณค่าเพอร์ออกไซด์ที่พบในตัวอย่างมายองเนสที่ไม่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินและมายองเนสที่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินร้อยละ 5 ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส	35

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สัญลักษณ์และคำย่อ

a*	=	ค่าที่บอกความเป็นสีเขียวหรือสีแดง
ABTS	=	3-ethybenzothiaxoline-6-sulfonic acid
b*	=	ค่าที่บอกความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน
℃	=	degree Celsius
CCD	=	วางแผนการทดลองแบบ Central Composite Design
CE	=	capillary electrophoresis
DPPH	=	2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl
g	=	กรัม
GAE	=	gallic acid equivalent
L*	=	ค่าที่บอกความเข้มเป็นสีขาวหรือสีดำ นั่นคือ สีขาว = 100 สีเทา = 50 สีดำ = 0
mg	=	มิลลิกรัม
min	=	นาที
ml	=	มิลลิลิตร
Q_{10}	=	อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่เปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป 10 องศาเซลเซียส
r	=	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient)
R	=	ค่าคงที่ของแก๊ส = 8.314 J/mole·K
RSM	=	response surface methodology
T	=	อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)
α	=	สูตรสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's alpha coefficient)
$\overline{X}$	=	ค่าเฉลี่ย
θ_{S_T}	=	อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ (T) องศาเซลเซียส
$\theta_{S_{T+10}}$	=	อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ (T+10) องศาเซลเซียส

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ผลไม้พื้นบ้านของไทยบางชนิดมีคุณค่าทางโภชนาการสูงและมีสรรพคุณทางยาสมุนไพรอยู่มาก หากบริโภคเป็นประจำในปริมาณที่เหมาะสมอาจสามารถรักษา บำรุง และมีฤทธิ์ป้องกันผู้บริโภคจากความเจ็บป่วยได้ ประกอบกับในปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสนใจในเรื่องสุขภาพและความปลอดภัยจากการบริโภคอาหาร ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารจำพวกสมุนไพร อาหารเสริม วิตามิน และอาหารที่มีสมบัติเป็นยามีจำหน่ายในท้องตลาดมากขึ้น

มะม่วงหาวมะนาวโห่หรือหนามแดงเป็นผลไม้พื้นบ้านของไทย มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Carissa carandas* Linn. เป็นผลไม้ที่อุดมด้วยธาตุเหล็กและมีส่วนผสมของวิตามินซี ซึ่งผลอ่อนของมะม่วงหาวมะนาวโห่มีสีชมพูอ่อน และเมื่อผลแก่ขึ้นสีผลจะค่อย ๆ เข้มขึ้นเป็นสีแดง และเมื่อผลสุกจึงกลายเป็นสีดำ เนื่องด้วยผลสุกของมะม่วงหาวมะนาวโห่มีสีม่วงแดงเข้มจนถึงดำ ซึ่งเป็นสีที่เกิดจากสารแอนโธไซยานิน (anthocyanin) ซึ่งเป็นสารสีที่สำคัญในพืชบางชนิด (สุทิน พรหมโชติ, สาธิต พสุวิทยกุล และรักเกียรติ แสนประเสริฐ, 2553) และพบว่ามีสมบัติเป็นสารกำจัดอนุมูลอิสระได้เป็นอย่างดี แอนโธไซยานินเป็นหนึ่งในกลุ่มของรงควัตถุที่มีศักยภาพในการป้องกันโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง สามารถป้องกันโรคหัวใจ ลดไข้ กำจัดไวรัสได้ และจัดอยู่ในกลุ่มสารฟลาโวนอยด์ (flavonoids) สารแอนโธไซยานินเป็นรงควัตถุที่ละลายได้ในน้ำ (water solubility) แต่มีความเสถียรต่ำ โดยปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรของสารแอนโธไซยานิน ได้แก่ โครงสร้างทางเคมี ความเข้มข้นของสารละลาย ค่าพีเอช (pH) อุณหภูมิ แสงสว่าง เอนไซม์ ออกซิเจน (Cavalcanti et al., 2011) สีของสารแอนโธไซยานินเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ตามสภาวะ เช่น ผลของค่าพีเอช แอนโธไซยานินให้สีแดงเมื่ออยู่ในสภาวะเป็นกรด ส่วนในสภาวะที่เป็นกลางสารแอนโธไซยานินไม่มีสี แต่ให้สีน้ำเงินเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นเบส ดังนั้นการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการศึกษาและประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต่อไป

ปริมาณสารแอนโธไซยานินในพืชและผลไม้มีการศึกษากันอย่างแพร่หลายในประเทศแถบยุโรป อเมริกา และประเทศในทวีปอเมริกาใต้ จากการศึกษาพบว่า สารสกัดสารแอนโธไซยานินดังกล่าวสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารได้หลากหลายผลิตภัณฑ์ (Williams, Harborne and Mayo, 1981; Tsuda et al., 1996; Fulcrand et al., 1998; Vivar-Quintana, Mateus et al., 2002; Santos-Buelga and Rivas-Gonzalo, 2002; Kallithraka et al., 2005; Pissarra et al., 2005; Solomon et al., 2006;

da Silva et al., 2007; Ersus and Yurdagel, 2007; González-Manzano et al., 2008; Saito et al., 2011; Takahata et al., 2011; Chen, et al., 2012) ส่วนในประเทศไทยได้มีผู้ศึกษาความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระในผลไม้สีม่วงแดง โดยกันต์กนิษฐ์ จงรัตนวิทย์ และศศิธร ตรงจิตภักดี (2555) ได้ศึกษาความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของผลพิลังกาสาที่ระยะการสุกแตกต่างกัน พบว่า เมื่อระยะการสุกเพิ่มขึ้นปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระลดลงแต่ปริมาณสารแอนโธไซยานินมีปริมาณเพิ่มขึ้น และจากผลการศึกษาของ Simla, Boontang and Siritrakulsak (2013) ในมะม่วงหาวมะนาวโห่ พบว่า เมื่อระยะการสุกเพิ่มขึ้นปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดและความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวได้ศึกษาเฉพาะในส่วนเปลือกและเนื้อผลสุกเท่านั้น แต่ยังไม่ได้ศึกษาในส่วนเมล็ดและปริมาณแอนโธไซยานินทั้งผลในระยะการสุกที่แตกต่างกัน ประกอบกับยังไม่ได้นำสารสกัดดังกล่าวไปศึกษาถึงการนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหารด้วย ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของระยะการเจริญเติบโตของมะม่วงหาวมะนาวโห่ในส่วนของเนื้อเปลือกและเมล็ดต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ ประกอบกับเพื่อหาสภาวะการสกัดที่ให้ปริมาณสารแอนโธไซยานินสูงสุดเพื่อนำสารสกัดที่ได้ไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ผลิตภัณฑ์มายองเนสที่มีปริมาณน้ำมันเป็นส่วนประกอบสูงและมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงกว่าอาหารชนิดอื่น ๆ ผลที่ได้นอกจากเป็นการเพิ่มข้อมูลทางด้านสารสกัดและสารกำจัดออกซิเดชันของสารแอนโธไซยานินในมะม่วงหาวมะนาวโห่แล้ว องค์ความรู้ที่ได้ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารได้ และเป็นการเพิ่มมูลค่าพร้อมทั้งเป็นข้อมูลสนับสนุนและส่งเสริมให้มะม่วงหาวมะนาวโห่ได้เป็นที่รู้จักมากขึ้นด้วย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มะม่วงหาวมะนาวโห่

มะม่วงหาวมะนาวโห่ มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Carissa carandas* Linn. อยู่ในวงศ์ Apocynaceae มีชื่อท้องถิ่นอื่น ๆ ว่า มะนาวไม่รู้โห่ มะนาวโห่ หนามขี้แฮด และหนามแดง (ทัตพิชา กายเย็น, 2560) ลักษณะของผลมีสีแดง รูปทรงเรียวยาวคล้ายกับผลมะเขือเทศราชินี (รูปที่ 1) สำหรับรสชาติของผลสุกมีรสหวานแต่มีรสเปรี้ยวเมื่อยังดิบอยู่ มะม่วงหาวมะนาวโห่มีธาตุเหล็กและวิตามินซีสูง มีฤทธิ์เป็นยาสมุนไพรซึ่งมีสรรพคุณที่ใช้ในการรักษาโรค เช่น อาการท้องเสีย ถ่ายพยาธิ โรคผิวหนัง สามารถต้านทานโรคการอักเสบของหัวใจและป้องกันไวรัสบางชนิดได้ สำหรับวิธีรับประทานให้นำมาล้างน้ำให้สะอาดแล้วรับประทานสด หรือนำผลมาคั่นน้ำเป็นเครื่องดื่มที่มีรสเปรี้ยวหวาน นอกจากผลแล้วส่วนอื่น ๆ ของต้นมะม่วงหาวมะนาวโห่ เช่น ราก ใบ ยอดอ่อน เมล็ด เนื้อไม้ แก่น และยาง ยังสามารถนำไปใช้เป็นยาสมุนไพรพื้นบ้านได้ มะม่วงหาวมะนาวโห่จึงเป็นผลไม้ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้แทบทุกส่วน (สกุลกานต์ สิมลา, 2559) ด้วยสรรพคุณทางยาที่มีมากมายนี้ มะม่วงหาวมะนาวโห่จึงเป็นทางเลือกหนึ่งของพืชที่สำคัญในการใช้เป็นแหล่งอาหารเสริมทางโภชนาการที่มีบทบาทในการพัฒนาสุขภาพให้ดีขึ้น (Sarma et al., 2015)

รูปที่ 1 ผลมะม่วงหาวมะนาวโห่
ที่มา: Rahman และ Akter (2015)

2.2 มายองเนส (Mayonnaise)

มายองเนสผลิตขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1756 โดยพ่อครัวชาวฝรั่งเศสของ Duc de Richelieu (พจนีย์ บุญนา และคณะ, 2553) ความหมายของมายองเนสตามคำจำกัดความของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 1402-2540) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผสมน้ำมันพืชและ/หรือไขมันพืชกับไข่แดงให้เป็นเนื้อเดียวกัน (emulsion) ปรุงแต่งรสด้วยน้ำส้มสายชูและ/หรือน้ำมะนาว และส่วนประกอบอื่น ๆ ใช้สำหรับปรุงแต่งรสอาหาร มายองเนสตามมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ไม่มีส่วนประกอบของน้ำตาล แต่โดยทั่วไปแล้วพบว่าในผลิตภัณฑ์มายองเนสนิยมใส่น้ำตาลลงไปเล็กน้อยเพื่อช่วยกลบรสเปรี้ยวของน้ำส้มสายชู (O'Brien, 2004)

มายองเนสจัดเป็นอาหารประเภทอิมัลชัน (emulsion) ชนิดน้ำมันในน้ำ (Oil-in-water) ซึ่งมีน้ำมันเป็นส่วนผสมอยู่ประมาณร้อยละ 65 โดยน้ำหนักของมายองเนส (Bennion and Scheule, 2000) ดังนั้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันจึงเป็นสาเหตุหลักของการเสื่อมเสียคุณภาพของมายองเนส ซึ่งการเสื่อมเสียนั้นประกอบด้วย การเกิดกลิ่นหืน การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏ อายุการเก็บรักษาที่ลดลง และคุณค่าทางโภชนาการที่อาจสูญเสียไป (Deemuenwai et al., 2014)

2.2.1 ส่วนผสมหลักของมายองเนส (มอก. 1402-2540)

2.2.1.1 น้ำมันที่นิยมใช้เป็นส่วนผสมของมายองเนส คือ น้ำมันถั่วเหลือง ซึ่งมีองค์ประกอบเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีจุดหลอมเหลวต่ำในปริมาณมาก จึงไม่แข็งตัวที่อุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิปกติ ลักษณะทางเคมีเช่นนี้ทำให้น้ำมันชนิดนี้ไม่แข็งตัวและไม่แยกตัวออกจากส่วนผสมอื่น เมื่อเก็บไว้ในตู้เย็น โดยทั่วไปมาตรฐานกำหนดให้มายองเนสมีปริมาณน้ำมันไม่น้อยกว่าร้อยละ 65 และสลัดครีมมีปริมาณน้ำมันไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 อย่างไรก็ตาม ผู้ผลิตมักเพิ่มปริมาณน้ำมันให้สูงกว่ามาตรฐาน กล่าวคือ มายองเนสมีน้ำมันถึงร้อยละ 70-80 ส่วนสลัดครีมมีปริมาณน้ำมันร้อยละ 50-60 เพราะทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่เนียนนุ่มชวนรับประทาน

2.2.1.2 ไข่แดง เป็นส่วนผสมที่สำคัญของมายองเนส โดยไข่แดงมีเลซิติน (lecithin) ซึ่งเป็นฟอสโฟลิปิด เลซิตินเป็นตัวกลางที่ช่วยให้น้ำมันถั่วเหลืองกับส่วนของน้ำส้มสายชูที่เป็นส่วนประกอบของมายองเนสผสมเข้ากันได้ดีโดยไม่แยกออกเป็นชั้นของน้ำและน้ำมัน นอกจากนี้ไข่แดงยังให้สีเหลืองอ่อน ๆ แก่ผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปมีการเติมไข่แดงร้อยละ 10 ขึ้นไปในมายองเนส

2.2.1.3. น้ำส้มสายชู นิยมใช้ทั้งในรูปของน้ำส้มสายชูหมักและน้ำส้มสายชูกลั่นขึ้นอยู่กับความต้องการให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นหอมแบบใด ปกติแล้วน้ำส้มสายชูหมักมักมีกลิ่นเฉพาะ น้ำส้มสายชูที่เติมลงไปช่วยให้มีรสเปรี้ยวซึ่งเป็นเอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์เหล่านี้ นอกจากนี้ความเปรี้ยวยังช่วยในการถนอมอาหารให้เก็บ

รักษาได้นาน บางครั้งมีการใช้น้ำมะนาวหรือน้ำแอปเปิลแทนน้ำส้มสายชู ปริมาณน้ำส้มสายชูในสลัดครีมมีค่อนข้างสูง คือ ร้อยละ 15-20 ในขณะที่มายองเนสและแซนวิชสเปรดมีเพียงประมาณร้อยละ 5-8 เท่านั้น

2.2.1.4. น้ำตาล เติมลงในมายองเนสเพื่อให้รสหวานในผลิตภัณฑ์ โดยใช้ในปริมาณที่แตกต่างกัน สำหรับมายองเนสเติมน้ำตาลตั้งแต่ร้อยละ 1-12 ในขณะที่สลัดครีมเติมน้ำตาลร้อยละ 15-20 และแซนวิชสเปรดเติมน้ำตาลร้อยละ 5-18

2.2.1.5. เกลือ เติมในมายองเนสเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีรสเข้มขึ้น ซึ่งอาจไม่เติมเลยหรือเติมจนถึงประมาณร้อยละ 2

2.2.1.6. สารอื่น ๆ ผู้ผลิตมายองเนส อาจเติมเครื่องเทศลงไปเพื่อให้มีรสชาติเฉพาะตัวมากขึ้น ตัวอย่างสารที่นิยมเติมในมายองเนส ได้แก่ มัสตาร์ด พริกไทย กระเทียม เป็นต้น อาจมีการเติมสารแต่งกลิ่นรสและสี แต่ผู้ผลิตต้องระบุไว้ในฉลากของผลิตภัณฑ์ตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุขด้วย

2.3 แอนโธไซยานิน (Anthocyanins)

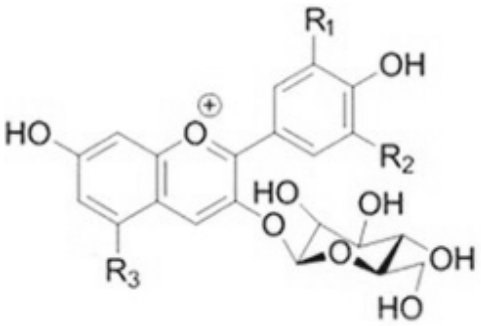
แอนโธไซยานินเป็นสีผสมอาหารที่ได้จากธรรมชาติให้สีโทนแดงซึ่งเป็นรู้จักกันดีในอุตสาหกรรมอาหาร แอนโธไซยานินนอกจากให้สีแดงตามธรรมชาติแล้วยังมีสมบัติทางคลินิกที่เชื่อว่าเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ ทั้งนี้เนื่องจากแอนโธไซยานินมีสมบัติในการเป็นสารกำจัดออกซิเดชัน (Einbond et al., 2004)

แอนโธไซยานินเป็นสารให้สีละลายในน้ำได้ที่พบในผักและผลไม้ที่มีสีแดง ม่วงหรือน้ำเงิน จัดอยู่ในกลุ่มสารจำพวกฟลาโวนอยด์ (flavanoids) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ (derivative) ของเกลือ glycosylated ของ polyhydroxy และ/หรือของ polymethoxylated 2-phenylbenzo-pyrolium (flavylium) สารจำพวกนี้เกิดขึ้นในธรรมชาติในรูปของ glycosides ของ anthocyanidins และอาจเป็นสารจำพวก acylated ที่มี aliphatic หรือ aromatic acids เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย (Guisti and Wrolstad, 2003)

2.3.1 โมเลกุลของแอนโธไซยานิน (anthocyanins)

แอนโธไซยานิน จัดอยู่ในกลุ่มสารประกอบฟีนอล (phenolic compounds) กลุ่มพอลิฟีนอล (polyphenol) แอนโธไซยานินเป็นสารสีที่พบได้ในดอกไม้ ผลไม้บางชนิด ใบหรือลำต้นของพืชบางชนิดที่มีเฉดสีตั้งแต่สีแดงถึงสีน้ำเงินเข้ม ในสภาพที่เป็นกรดมีค่าพีเอชต่ำกว่า 3 (เป็นกรดสูง) แอนโธไซยานินให้สีแดง ในสภาพที่พีเอชค่อนข้างเป็นกลางหรือมีค่าประมาณ 7-8 แอนโธไซยาให้สีม่วง และเมื่อสภาพเป็นเบสหรือมีค่าพีเอชมากกว่า 11 แอนโธไซยานินเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน

แอนโธไซยานินละลายได้ดีในน้ำ ไม่เสถียร สลายตัวได้ง่ายต่อความร้อน ออกซิเจน และแสง เมื่อโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปสีเปลี่ยนไปด้วย โครงสร้างของแอนโธไซยานินแสดงดังรูปที่ 2



R_1	R_2	R_3	Anthocyanin
OH	OH	H	delphinin 3-glucoside
OH	OH	glucoside	delphinin 3,5-glucoside
OH	H	H	cyanin 3-glucoside
OH	H	glucoside	cyanin 3,5-diglucoside
H	H	H	pelargonin 3-glucoside
H	H	glucoside	pelargonin 3,5-glucoside

รูปที่ 2 โครงสร้างแอนโธไซยานิน

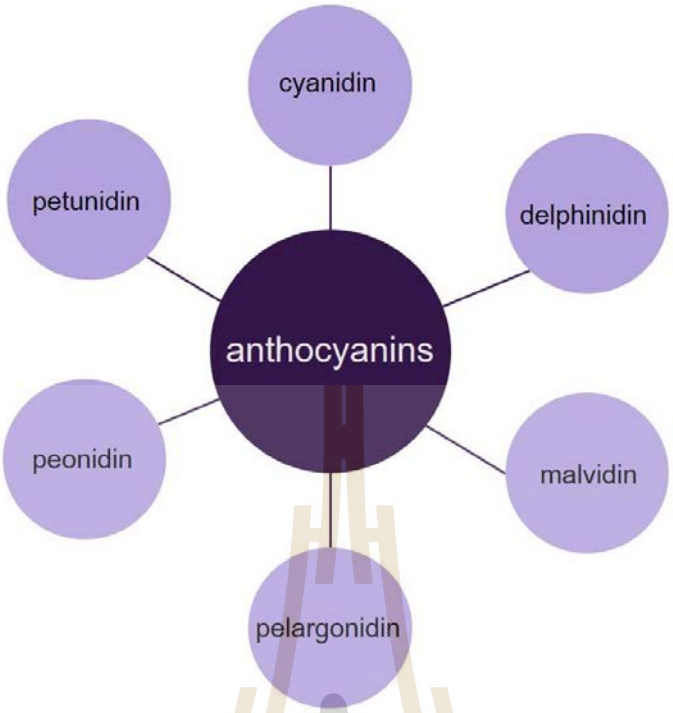
ดัดแปลงจาก: Singh และ Mishr (2015)

2.3.2 ประเภทของแอนโธไซยานิน

แอนโธไซยานินที่พบได้ในผักและผลไม้ มีความแตกต่างกันไปในผักและผลไม้แต่ละชนิด ดังรูปที่ 3 ยกตัวอย่างเช่น

- cyanidin พบได้ใน แบล็คเคอแรนต์ (blackcurrants) ราสพ์เบอร์รี่ (raspberries) เอลเดอร์-เบอร์รี่ (elderberries) และกะหล่ำปลีม่วง (purple cabbage)
- delphinidin พบได้ใน แบล็คเคอแรนต์ (blackcurrants) บลูเบอร์รี่ (blueberries)
- malvidin พบได้ในองุ่น (grape)
- pelargonidin พบได้ในสตรอเบอร์รี่ (strawberries) และหัวแรดิช (radishes)
- peonidin พบได้ในแครนเบอร์รี่ (cranberries)
- petunidin พบได้ในบลูเบอร์รี่ (blueberries)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3 แอนโธไซยานินที่พบได้ในผักและผลไม้บางชนิด

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแอนโธไซยานิน

งานวิจัยการสกัดสารแอนโธไซยานินจากผักและผลไม้มีมากขึ้นในช่วงหลายปีที่ผ่านมา แต่การวิจัยส่วนใหญ่ทำในพืชและผลไม้ในกลุ่มประเทศยุโรป (Williams, Harborne and Mayo, 1981; Tsuda et al., 1996; Fulcrand et al., 1998; Vivar-Quintana, Mateus et al., 2002; Kallithraka et al., 2005; Pissarra et al., 2005; Solomon et al., 2006; da Silva et al., 2007; Ersus and Yurdagel, 2007; González-Manzano et al., 2008; Saito et al., 2011; Takahata et al., 2011; Chen, et al., 2012) ในส่วนของพืชและผลไม้ในประเทศไทยยังคงมีการวิจัยเพียงเล็กน้อย โดยเฉพาะพืช ผลไม้ที่ไม่นิยมรับประทานสด เช่น มะม่วงหาวมะนาวโห่ เพราะผลไม้ดังกล่าวมีรสเปรี้ยวจัดและมีเนื้อผลเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม ระยะการสุกของมะม่วงหาวมะนาวโห่ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอล ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น (Simla, Boontang and Siritrakulsak, 2013)

ขณะที่การศึกษาความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด และความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของผลพิลังกาสาที่มีระยะการสุกแตกต่างกัน พบว่า เมื่อระยะการสุกเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระและปริมาณสารแอนโธไซยานินเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระลดลง แสดงให้เห็นระยะการสุกที่

แตกต่างกันมีผลต่อปริมาณแอนโธไซยานินในผลไม้ต่างชนิดที่มีสีม่วงแดง (กันต์กนิษฐ์ จงรัตนวิทย์ และศศิธร ตรงจิตภักดี, 2555) อย่างไรก็ตาม การศึกษาระยะการสุกของผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ในงานวิจัยของ Simla, Boontang และ Siritrakulsak (2013) เป็นการศึกษาเฉพาะในส่วนเปลือกและเนื้อผลสุกเท่านั้น ยังไม่มีการศึกษาในส่วนเมล็ดหรือทั้งผลของมะม่วงหาวมะนาวโห่ในระยะการสุกแตกต่างกัน เพราะมะม่วงหาวมะนาวโห่เป็นผลไม้ขนาดเล็กที่มีเนื้อผลเพียงเล็กน้อยอาจไม่สะดวกในการนำไปผลิตในเชิงอุตสาหกรรมถ้าต้องมีขั้นตอนการนำเมล็ดออก

นอกจากนี้ความร้อนที่ใช้ในการสกัดแอนโธไซยานินมีผลต่อปริมาณแอนโธไซยานิน (มนต์วดี หุ่นเจริญ และศศิธร ตรงจิตภักดี, 2552) ทั้งนี้ชนิดของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดพืช ผลไม้ที่มีสีม่วงแดง เช่น แอลกอฮอล์ น้ำ หรือ น้ำผสมแอลกอฮอล์ ที่มีการปรับค่าพีเอช มีผลต่อปริมาณสารแอนโธไซยานินอย่างมีนัยสำคัญ (ทรงศิริ วงศ์จิตตภิญโญ, ชนิดา โชติรสเวคิน และศศิธร ตรงจิตภักดี, 2552; Seabra et al., 2010; Oancea, Stoia, and Coman, 2012; Li et al., 2012)

การสกัดสารจำพวกแอนโธไซยานินในผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำมันหรือไขมันเป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่นั้นยังไม่มีรายงานการวิจัยที่แพร่หลาย อย่างไรก็ตาม การรักษาเสถียรภาพของแอนโธไซยานินโดยใช้เทคนิคการทำให้เป็นอิมัลชันสามารถยืดอายุความคงตัวของแอนโธไซยานินได้ ซึ่งอุณหภูมิและความดันที่เกิดขึ้นระหว่างการลดขนาดเพื่อทำให้ระบบกลายเป็นอิมัลชันมีผลต่อเสียรภาพของแอนโธไซยานิน อย่างชัดเจน (Frank, Kohler, and Schuchmann, 2012) ส่วนการศึกษาการห่อหุ้มแอนโธไซยานิน (encapsulated anthocyanin) ในระบบอิมัลชันที่มีเวย์โปรตีนเป็นอิมัลซิไฟเออร์พบในงานวิจัยของ Betz และ Kulozik (2011) แต่การศึกษาดังกล่าวไม่ได้ศึกษาถึงฤทธิ์ในการกำจัดออกซิเดชันในระบบอิมัลชันนั้น ดังนั้นการวิจัยนี้จึงเป็นการนำแนวความคิดที่นำสารสกัดของมะม่วงหาวมะนาวโห่มาใช้เพื่อลดหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เพื่อป้องกันการเกิดกลิ่นหืนที่อาจเกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์มายองเนส เพื่อให้เกิดประโยชน์จากงานวิจัยสู่งานพัฒนาในภาคอุตสาหกรรมและเชิงพาณิชย์ได้อย่างเป็นรูปธรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

นำผลสุกของมะม่วงหาวมะนาวโห่ที่มีสีผิวแดงถึงแดงเข้มที่ได้จากสวนในเขตจังหวัดนครราชสีมามาล้างทำความสะอาดแล้วผึ่งลมให้ผิวนอกแห้ง จากนั้นนำไปเก็บรักษาโดยการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -35 องศาเซลเซียสในห้องแช่เยือกแข็งก่อนนำไปใช้ทดลองต่อไป

3.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารแอนโธไซยานินจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ (optimization experiments)

3.2.1 การวางแผนการทดลอง

ใช้หลักการทาง response surface methodology (RSM) โดยวางแผนการทดลองแบบ CCD (Central Composite Design) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารแอนโธไซยานินจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่จากปัจจัยที่ผ่านการคัดเลือก ได้แก่ อุณหภูมิ (หน่วยองศาเซลเซียส) และเวลาในการสกัด (หน่วยนาที) โดยช่วงค่าระดับของปัจจัยที่ทำการทดลองแสดงดังตารางที่ 1

นำมะม่วงหาวมะนาวโห่ในข้อที่ 3.1 มาทำการหลอมละลายน้ำแข็งโดยวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 30 องศาเซลเซียส) เป็นเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง แล้วนำมะม่วงหาวมะนาวโห่ที่ได้มาแยกออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนเนื้อผล+เปลือก ส่วนเมล็ด และส่วนทั้งผล+เมล็ด นำทั้ง 3 ส่วนไปบดด้วยเครื่องบดผสมอาหาร (Moulinex 645, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย) ความเร็วรอบสูงสุดจนตัวอย่างมะม่วงหาวมะนาวโห่เป็นชิ้นละเอียด จากนั้นนำไปวัดค่าความชื้นด้วยเครื่อง infrared moisture analyzer (model MA35, Thomas Scientific, New Jersey, United States) ตามวิธีการของ AOAC (2005) โดยนำตัวอย่างมะม่วงหาวมะนาวโห่ที่ผ่านการบดนำมาสกัดแอนโธไซยานินด้วยเอทานอลร้อยละ 60 และกำหนดความเข้มข้นของสารสกัดให้มีค่าพีเอชเท่ากับ 4 ดัดแปลงตามวิธีการของ Kim และ Lee (2002) โดยใช้สภาวะในการสกัดมะม่วงหาวมะนาว-โห่ตามสภาวะที่กำหนดไว้ในแผนการทดลอง (ตารางที่ 2) จากนั้นนำสารสกัดที่ได้มาตรวจสอบหาปริมาณสารต่าง ๆ ในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 1 ช่วงของค่าระดับของปัจจัยที่ทำการทดลอง

เงื่อนไขการทดลอง	หน่วย	สัญลักษณ์	ระดับความสำคัญ		
			-1	0	+1
อุณหภูมิในการสกัด	องศาเซลเซียส	X_1	40	60	80
เวลาที่ใช้ในการสกัด	นาที	X_2	5	60	115

ตารางที่ 2 การวางแผนการทดลองแบบ CCD (Central Composite Design)

ตัวอย่างที่	ตัวแปรอิสระ (ปัจจัย)	
	อุณหภูมิในการสกัด (°C) X_1	เวลาที่ใช้ในการสกัด (min) X_2
1	40	5
2	40	60
3	40	115
4	60	5
5	60	60
6	60	115
7	80	5
8	80	60
9	80	115

3.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารแอนโธไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และสมบัติในการมีฤทธิ์กำจัดอนุมูลอิสระของสารสกัดจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่

3.2.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารแอนโธไซยานินด้วยวิธี pH-differential ดัดแปลงวิธีจาก Giusti และ Wrolstad (2005) ดังภาคผนวก ก รายงานผลเป็นมิลลิกรัมสมมูลของไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ต่อตัวอย่าง 100 กรัมน้ำหนักตัวอย่างสด (mg cyanidin-3-glucoside equivalents/100g wet weight basis)

3.2.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ด้วยวิธี Folin-Ciocalteau reagent ดัดแปลงวิธีของ Maizura et al (2011) โดยใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐานและรายงานผลเป็นมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อตัวอย่าง 1 กรัม น้ำหนักตัวอย่างสด (mg gallic acid equivalents (GAE)/g wet weight basis) ดังภาคผนวก ก

3.2.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ด้วยวิธี Colorimetric assay ดัดแปลงจากวิธีของ Kim และคณะ (2003) ดังภาคผนวก ก โดยใช้แคทีชินเป็นสารมาตรฐานและรายงานผลเป็นมิลลิกรัมสมมูลของแคทีชินต่อน้ำหนักตัวอย่างสด 1 กรัม (mg catechin equivalents/g wet weight basis)

3.2.2.4 การวิเคราะห์สมบัติในการมีฤทธิ์กำจัดอนุมูลอิสระ ดังนี้

- การวิเคราะห์สมบัติในการมีฤทธิ์กำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (2, 2-Diphenly-1-picrylhydrazyl) ดัดแปลงจากวิธีของ Singh และคณะ (2002) ดังภาคผนวก ก โดยใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐานและรายงานผลเป็นมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อตัวอย่างสดน้ำหนัก 1 กรัม (mg gallic acid equivalents (GAE)/g wet weight basis)
- การวิเคราะห์สมบัติในการมีฤทธิ์กำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS (3-thylbenzthiazoline-6-sulfonic acid diammonium salt) ดัดแปลงจากวิธีของ Kim และคณะ (2002) ดังภาคผนวก ก โดยใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐานและรายงานผลเป็นมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อตัวอย่างสดน้ำหนัก 1 กรัม (mg gallic acid equivalents (GAE)/g wet weight basis)

3.3 การศึกษาค่าสี ค่าพีเอช ค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันหรือน้ำมัน (POV) ปริมาณสารที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันหรือน้ำมัน (TBARS) และคุณภาพทางจุลินทรีย์ของมายองเนสที่มีส่วนผสมของสารสกัดจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่

3.3.1 การเตรียมมายองเนส

มายองเนสมีส่วนผสมประกอบด้วยน้ำมันถั่งเหลืองสกัดร้อยละ 75 โดยมีส่วนประกอบจำพวกอื่น เช่น น้ำ เกลือ น้ำตาลตามสัดส่วนของสูตรแสดงดังตารางที่ 3

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3 ส่วนประกอบมายองเนสสูตรพื้นฐานทางการค้า

ส่วนประกอบ	สูตรพื้นฐานทางการค้าหรือสูตร 1 (ร้อยละ)	สูตร 2 (ร้อยละ)	สูตร 3 (ร้อยละ)	สูตร 4 (ร้อยละ)	สูตร 5 (ร้อยละ)
น้ำมันถั่วเหลืองสกัด	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0
ไข่แดง	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
น้ำส้มสายชู	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
น้ำตาลทรายขาว	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
เกลือป่น	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
ผงมาสตาร์ด	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
น้ำสะอาด	12.5	10.0	7.5	5.0	2.5
สารสกัดจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่	0	2.5	5.0	7.5	10.0
รวม	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

หมายเหตุ : สูตรพื้นฐานดัดแปลงจาก http://edge.silverson.com/assets/PDFs/AppReports/Food/FMayonnaise.pdf

ขั้นตอนการเตรียมมายองเนส คือ นำไข่แดงมาตีให้ขึ้นฟูด้วยเครื่องผสมอาหาร Casiko Mixwe Maker (model CK-4343, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย) แล้วค่อยเทน้ำมันลงไปสลับกับน้ำและน้ำส้มสายชูที่ละลายผงมาสตาร์ด น้ำตาลและเกลือเข้าไว้ก่อนแล้ว ตีผสมโดยใช้ความเร็วในการตีปั่นของเครื่องผสมอาหารที่ความเร็วรอบปั่นระดับปานกลาง ตีปั่นส่วนผสมต่าง ๆ จนกระทั่งส่วนผสมทุกอย่างรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (ไม่ควรใช้เวลาเกิน 15 นาที เพื่อป้องกันอิมัลชันไม่เสถียรจากความร้อนและแรงตีปั่น)

3.3.2 การตรวจสอบคุณภาพมายองเนส

1) ค่าสี ด้วยเครื่อง Hunter Lab Colorimeter: ค่าสี L* a* b* โดยเครื่องวัดสี Hunter lab (model Ultrascan, XE, USA)

2) ค่าพีเอช ด้วยเครื่อง pH meter (model MP220, Mettler Toledo, Greifensee, Switzerland)

3) วิเคราะห์ปริมาณ peroxide (POV) ตามวิธีการของ Sakanaka และคณะ (2004) เพื่อศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันหรือน้ำมัน (POV) ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหืน

4) วิเคราะห์ปริมาณค่า thiobarbituric acid-reactive substances (TBARS) ตามวิธีการของ Buege และ Aust (1978) เป็นการวิเคราะห์ปริมาณแอลดีไฮด์ในรูปของมาโลนาลดีไฮด์ที่มีอยู่ในน้ำมัน

5) วิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ ได้แก่

5.1 ปริมาณจุลินทรีย์ที่นับได้ทั้งหมด (total plate count, TPC) โดยใช้แผ่นเพาะเชื้อสำเร็จรูปของ 3M™ (Petrifilm™ Aerobic Count Plates)

5.2 ยีสต์และรา (yeast and mold) โดยใช้แผ่นเพาะเชื้อสำเร็จรูปของ 3M™ (Petrifilm™ Rapid Yeast and Mold Count Plates)

5.3 โคลิฟอร์ม (Coliform) โดยใช้แผ่นเพาะเชื้อสำเร็จรูปของ 3M™ (Petrifilm™ E. coli/Coliform Count Plates)

5.4 แบคทีเรียแลคโตบาซิลลัส (Lactobacillus) ตามวิธีการของ AOAC International. (2012)

3.3.3 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยการยอมรับผลิตภัณฑ์โดยรวมทำได้ด้วยการใช้วิธี hedonic 7 point scale (1 = ไม่ชอบมากที่สุด, 2 = ไม่ชอบปานกลาง, 3 = ไม่ชอบเล็กน้อย, 4 = บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ, 5 = ชอบเล็กน้อย, 6 = ชอบปานกลาง, 7 = ชอบมากที่สุด) โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝนทางประสาทสัมผัส (training sensory panelist) จำนวน 30 คน ประกอบด้วยนักศึกษาปริญญาตรี ปริญญาโท ปริญญาเอก ผู้ช่วยวิจัย และเจ้าหน้าที่ในสาขาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ข้อมูลที่ได้จากผลการประเมินทางประสาทสัมผัสได้นำมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติ โดยใช้การเปรียบเทียบผลต่างของค่า rank sum กับ LSD_{rank} ตามวิธีการคำนวณของ Fisher และ Yates (1942) ที่ระดับการยอมรับ α เท่ากับ 0.05 โดยมีปัจจัยที่ต้องการศึกษา คือ 1) ลักษณะปรากฏ 2) สี 3) กลิ่นรส 4) รสชาติ และ 5) ความชอบโดยรวม แบบรายงานการทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงดังรูปที่ 1ข (ภาคผนวก ข)

3.4 การศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์มายองเนสที่มีสารสกัดแอนโธไซยานินจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่โดยใช้เทคนิคการศึกษาอายุการเก็บ ด้วยวิธีเร่ง (Q_{10})

นำสารสกัดแอนโธไซยานินจากมะม่วงหาวมะนาวโห่ที่ได้ในหัวข้อวิธีการทดลองที่ 2 มาเติมลงในมายองเนสในหัวข้อวิธีการทดลองที่ 3 โดยแปรอัตราส่วนผสมระหว่างสารสกัดดังกล่าวกับมายองเนสในช่วงร้อยละ 0-15 ทำการกวนผสมส่วนผสมทั้งสองให้เข้ากันอย่างช้า ๆ และเบามือมากที่สุดเพื่อป้องกันการรวมตัวกันของอนุภาคเม็ดน้ำมันในมายองเนสให้มีขนาดใหญ่ขึ้น แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียสในตู้บ่มที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ ทำการตรวจวัดสมบัติด้านต่าง ๆ ของมายองเนสตามข้อ 3.3.2 ทุก ๆ 24 ชั่วโมง นำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าคุณภาพดังนี้

1. ค่าพีเอช (pH) ตามหัวข้อวิธีการทดลองที่ 3.3.2.2
2. การแยกชั้น ตามวิธีการของ Thaiudom และ Khantarat (2011)
3. พฤติกรรมการไหลของมายองเนสตามวิธีการของ Thaiudom และ Khantarat (2011)
4. การวิเคราะห์ค่า peroxide (POV) ตามหัวข้อวิธีการทดลองที่ 3.3.2.3
5. การวิเคราะห์ปริมาณแอลดีไฮด์ในรูปของมาโลนาลดีไฮด์ที่มีอยู่ในน้ำมัน (TBARS value) ตามหัวข้อวิธีการทดลองที่ 3.3.2.4
6. การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ ตามหัวข้อวิธีการทดลองที่ 3.3.2.5
7. การทำนายอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มายองเนสที่มีสารสกัดแอนโธไซยานินจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ โดยใช้เทคนิคการศึกษาอายุการเก็บด้วยวิธีเร่ง (Q_{10}) ตามวิธีการของ Labuza (1982) และยุทธนา พิมลศิริผล (2561) โดยค่า Q_{10} สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1.1, 1.2 และ 1.3

$$Q_{10} = \frac{\theta_{S(T)}}{\theta_{S(T+\Delta T)}} \quad \text{..... (1.1)}$$

$$Q_1 = Q_{10}^{0.1} \quad \text{..... (1.2)}$$

$$Q^{\Delta T} = \frac{\theta_{ST}}{\theta_{S(T+\Delta T)}} \quad \text{..... (1.3)}$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เมื่อ

$\theta_{S(T)}$ = อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ T (วัน)

$\theta_{S(T+\Delta T)}$ = อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ T=10 (วัน)

Q_{10} และ Q_1 = อัตราส่วนของอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่างกัน 10 และ 1 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิที่ทำนายกับอุณหภูมิ T

3.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบหลายปัจจัยในการทดลองสุ่ม (Factorial in Complete Randomized Design; Factorial in CRD) ตรวจสอบวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชุดการทดลอง โดยวิธี DMRT โดยใช้โปรแกรมสถิติสำเร็จรูป SPSS version 14 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

4.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารสกัดแอนโธไซยานินจากมะม่วงหาวมะนาวโห่เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต (optimization experiments)

ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารแอนโธไซยานินจากมะม่วงหาวมะนาวโห่ทั้งผลที่เหมาะสมด้วยเอทานอลร้อยละ 60 โดยเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิ (40, 60 และ 80 องศาเซลเซียส) และเวลาในการสกัด (5, 60 และ 115 นาที) และกำหนดค่าพีเอชของสารสกัดดังกล่าวเท่ากับ 4 พบว่า ปริมาณสกัดสารแอนโธไซยานินที่ได้จากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่มีค่าอยู่ในช่วง 84.83 ถึง 146.74 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ในขณะที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 310.46 ถึง 475.41 มิลลิกรัม GAE ต่อ 100 กรัมตัวอย่างน้ำหนักสด ส่วนค่าปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 123.31 ถึง 319.42 มิลลิกรัม CE ต่อ 100 กรัมตัวอย่างน้ำหนักสด และสมบัติในการมีฤทธิ์กำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS มีค่าอยู่ในช่วง 29.36 ถึง 35.63 มิลลิกรัม GAE ต่อ 100 กรัมตัวอย่างน้ำหนักสด ในขณะที่วิธี DPPH มีค่าอยู่ในช่วง 21.53 ถึง 26.62 มิลลิกรัม GAE ต่อ 100 กรัมตัวอย่างน้ำหนักสด

เมื่อนำสมบัติข้างต้นเหล่านี้มาหาความสัมพันธ์กับสภาวะการผลิต ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด (องศาเซลเซียส) (X_1) และเวลาที่ใช้ในการสกัด (นาที) (X_2) โดยใช้ Stepwise regression analysis สามารถแสดงความสัมพันธ์ของสภาวะการผลิตดังกล่าวกับปริมาณสกัดสารแอนโธไซยานิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และสมบัติในการมีฤทธิ์กำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS และวิธี DPPH แสดงดังสมการที่ 2 ถึง 6 ตามลำดับ

ปริมาณสกัดสารแอนโธไซยานิน $= - 77.77370 + (7.15656X_1) + (0.95776X_2) - (0.060781X_1^2)$
$- (3.71810\times10^{-3}X_2^2) - (8.90227\times10^{-3}X_1X_2)$ .....(2)
$R^2 = 0.9314$

ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด $= 13.24459 + (10.18360\ X_1) + (3.14276\ X_2) - (0.077658X_1^2)$
$- (0.014761\ X_2^2) - (6.12273\times10^{-3}\ X_1\ X_2)$ .....(3)
$R^2 = 0.7508$

ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด $= 646.27261 - (18.67836X_1) + (0.69865\ X_2) + (0.16457X_1^2)$
$- (6.39077\times10^{-3}X_2^2) + (0.012864\ X_1X_2)$ .....(4)
$R^2 = 0.9668$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ABTS $= 49.60294 - (0.70668\ X_1) + (0.097699\ X_2) + (6.09095\times10^{-3}\ X_1^2) - (2.30949\times10^{-4}\ X_2^2) - (7.88636\times10^{-4}\ X_1X_2)$ .....(5)

$R^2 = 0.7424$

DPPH $= - 4.13899 + (0.91804\ X_1) + (0.067970\ X_2) - (7.02284\times10^{-3}\ X_1^2) - (1.13765\times10^{-4}\ X_2^2) - (7.84091\times10^{-4}\ X_1X_2)$.....(6)

$R^2 = 0.8052$

จากสมการทั้งห้า (สมการที่ 2, 3, 4, 5 และ 6) พบว่าสมการที่ 2 และ 4 ทั้งสองสมการมีค่า R^2 หรือค่าความสัมพันธ์ของผลที่ตรวจสอบ (Y) กับค่าตรวจแปร (X) อยู่ในระดับใกล้เคียงกัน (R^2 = 0.9314 และ R^2 = 0.9668 ตามลำดับ) ในขณะที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด สมบัติในการมีฤทธิ์กำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS และสมบัติในการมีฤทธิ์กำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH มีค่า R^2 อยู่ในช่วงระดับเดียวกัน (R^2 = 0.7508, R^2 = 0.7424 และ R^2 = 0.8052 ตามลำดับ) แต่มีค่าน้อยกว่า R^2 ในสมการที่ 2 และ 4 ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกสมการ 2 และ 4 ในการหาค่าที่เหมาะสมของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัดต่อไป

เมื่อนำสมการที่ 2 มาหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (optimum) โดยวิธีการหาอนุพันธ์ (differentiate) พบว่าสมการที่ 2 ให้สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ด้วยเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 60 คือ อุณหภูมิ 54 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลาในการสกัด 64 นาที เมื่อนำสภาวะดังกล่าวไปสร้างภาพ contour plot และ response surface plot โดยกำหนดอุณหภูมิในการสกัดที่ 54 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลาในการสกัด 64 นาที ได้ปริมาณสารแอนโธไซยานินมากที่สุด เท่ากับ 146.74 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง (ดังรูปที่ 4 และ 5)

ในขณะที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และสมบัติในการมีฤทธิ์กำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS และวิธี DPPH ถูกนำมาสร้างเป็นภาพ contour plot และ response surface plot เช่นเดียวกัน ซึ่งปริมาณสารแต่ละชนิดที่ตรวจวิเคราะห์ได้มีสภาวะการผลิตที่แตกต่างกันออกไป (ดังรูปที่ 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 และ 13) อย่างไรก็ตาม โครงการวิจัยนี้มุ่งเน้นการผลิตและศึกษาสมบัติของสารสกัดแอนโธไซยานินจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่เพื่อนำมาใช้ต่อยอดในผลิตภัณฑ์มายองเนสเป็นหลัก ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการสกัดผลมะม่วงหาวมะนาวโห่เพื่อให้ได้สารแอนโธไซยานินมากที่สุดจึงได้มาจากสมการที่ 2 ซึ่งก็คือ การใช้อุณหภูมิ 54 องศาเซลเซียส เวลา 64 นาที

เมื่อทำการตรวจสอบความแม่นยำของสมการที่ 2 โดยการทำการสกัดผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ด้วยเอทานอลร้อยละ 60 ที่อุณหภูมิ 54 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 64 นาที พบว่า มีปริมาณสารแอนโธไซยานิน

เท่ากับ 143.10 ± 0.44 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่างน้ำหนักสด ซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงอยู่ในช่วงเดียวกันกับค่าที่ได้จากการทำนาย (84.83 ถึง 146.74 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) ซึ่งได้จากภาพ response surface plot (รูปที่ 5) อย่างไรก็ตาม เมื่อนำตัวอย่างสารสกัดนี้มาวิเคราะห์หาปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด สารประกอบฟีนอลทั้งหมด และสมบัติในการมีฤทธิ์กำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS และวิธี DPPH พบว่าค่าต่าง ๆ ดังกล่าวแสดงดังตารางที่ 4 ซึ่งเมื่อพิจารณาปริมาณแอนโธไซยานินที่พบในผักและผลไม้ตารางที่ 5 (Horbowicz et al., 2008) ปริมาณแอนโธไซยานินที่สกัดได้จากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ในการศึกษานี้มีความใกล้เคียงกับปริมาณแอนโธไซยานินของแบล็คเบอร์รี่ (82 – 180 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด) และผล Jabuticaba (159 – 220 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด) (Boarilima et al., 2010)

เมื่อนำตัวอย่างสารสกัดที่ได้จากการหาสภาวะที่เหมาะสมตามสมการที่ 2 ข้างต้น พบว่า สารสกัดจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่มีค่า L* เท่ากับ 69.03 ± 0.01 ค่า chroma เท่ากับ 49.41 ± 0.06 ค่า hue angle เท่ากับ -5.83 ± 0.04 ซึ่งค่าสีของสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่มีค่าใกล้เคียงกับสีของสารสกัดจากสตรอว์เบอร์รี่ที่มีค่า L* เท่ากับ 66.35 ± 0.06 ค่า chroma เท่ากับ 60.44 ± 0.16 และค่า hue angle เท่ากับ 49.62 ± 0.06 (Hsiao, 2014)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4 ปริมาณสารสำคัญที่ตรวจวิเคราะห์ได้จากสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ด้วยเอทานอลร้อยละ 60 โดยใช้สภาวะการสกัดที่อุณหภูมิ 54 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 64 นาที

สาร	ปริมาณสารที่พบในตัวอย่างที่ศึกษาสภาวะการผลิต (optimization experiments)	ปริมาณสารที่พบในตัวอย่างที่ทำการตรวจสอบความแม่นยำในสภาวะการผลิต
สารแอนโธไซยานิน (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่างน้ำหนักสด)	84.83 ถึง 146.74	143.10 ± 0.44
สารประกอบฟีนอลทั้งหมด (มิลลิกรัม GAE ต่อ 100 กรัมตัวอย่างน้ำหนักสด)	310.46 ถึง 475.41	405.10 ± 2.19
สารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (มิลลิกรัม CE ต่อ 100 กรัมตัวอย่างน้ำหนักสด)	123.31 ถึง 319.42	244.41 ± 2.64
สมบัติในการมีฤทธิ์กำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS (มิลลิกรัม GAE ต่อ 100 กรัมตัวอย่างน้ำหนักสด)	29.36 ถึง 35.63	30.58 ± 0.08
สมบัติในการมีฤทธิ์กำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (มิลลิกรัม GAE ต่อ 100 กรัมตัวอย่างน้ำหนักสด)	21.53 ถึง 26.62	20.01 ± 0.19

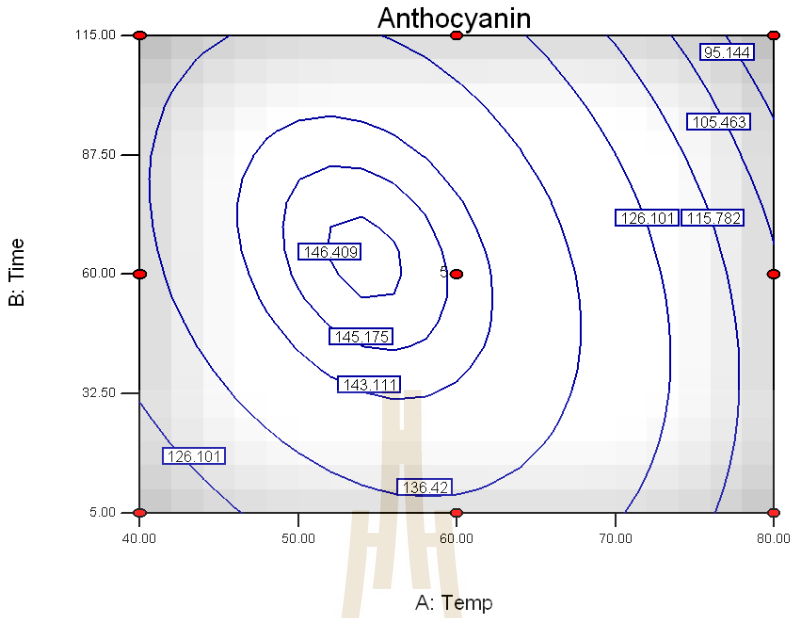
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 5 ปริมาณแอนโธไซยานินที่พบในผักและผลไม้บางชนิด

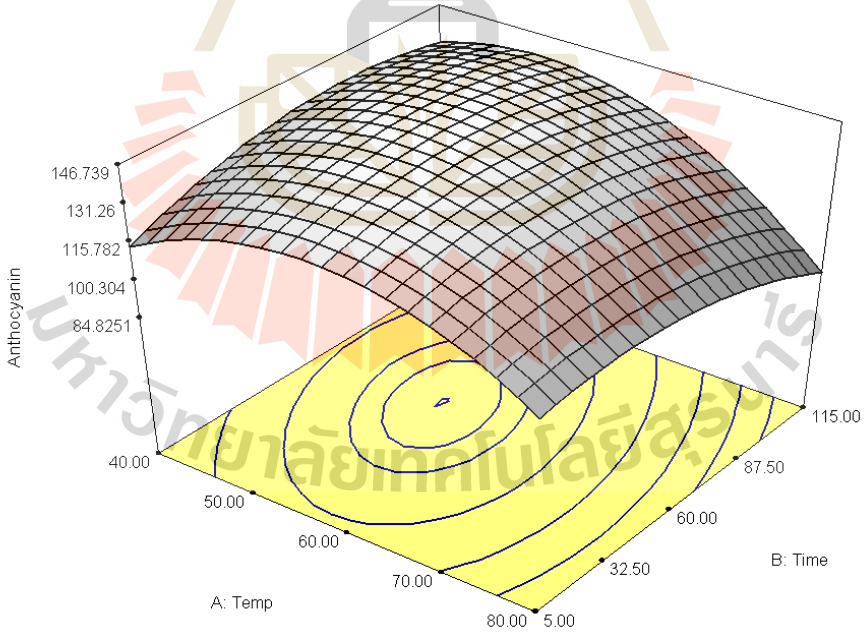
ผลไม้หรือผัก	ปริมาณสารแอนโธไซยานิน (มิลลิกรัม/ 100 กรัมตัวอย่างสด)
แอปเปิลพันธุ์ Gala	1.5
แอปเปิลพันธุ์ Golden delicious	2.0
แอปเปิลพันธุ์ Red delicious	6.1
บิวเบอร์รี่	112.6
แบล็คเบอร์รี่	90.3
บลูเบอร์รี่	17.0
โช๊คเบอร์รี่	435.8
แครนเบอร์รี่	41.8
เอลเดอร์เบอร์รี่	758.5
องุ่นแดง	1.5
พลัม	37.9
แพร์	12.2
ราสพ์เบอร์รี่แดง	35.8
ราสพ์เบอร์รี่ดำ	323.5
เชอร์รี่เปรี้ยว	6.6
เชอร์รี่หวาน	75.2
สตรอว์เบอร์รี่	2.0
เคอแรนต์ (ดำ)	85.6
เคอแรนต์ (แดง)	12.9

ดัดแปลงจาก: Horbowicz et al (2008)

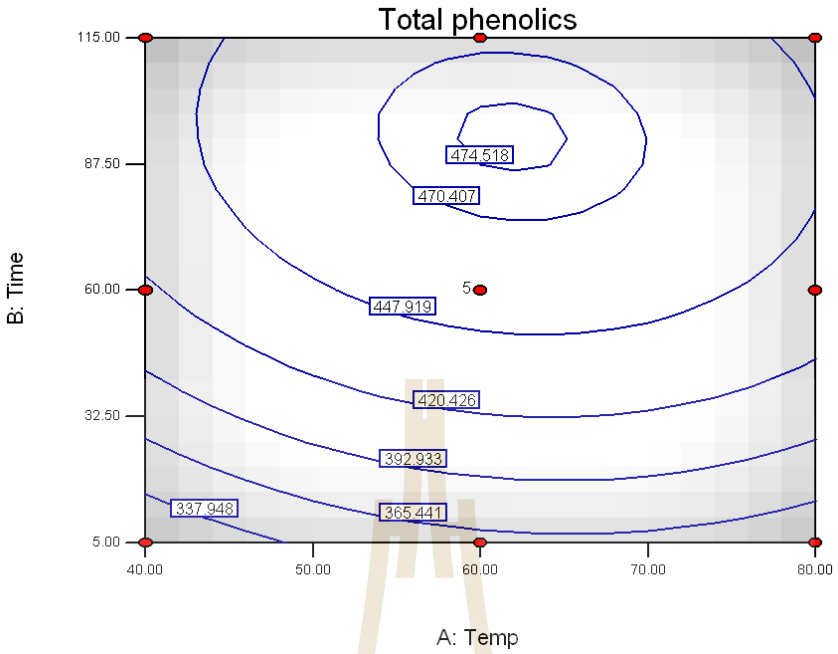
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



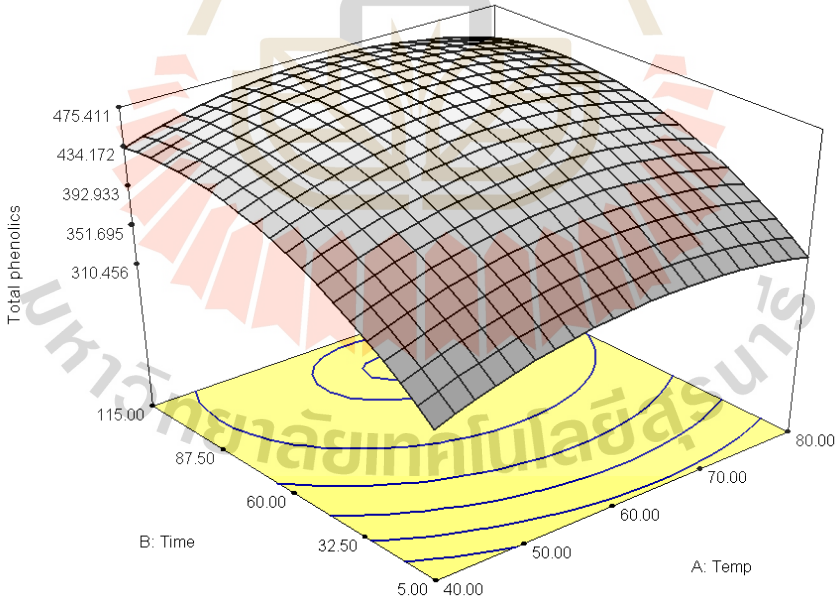
รูปที่ 4 contour plot ของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดกับเวลาที่ใช้ในการสกัดผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ด้วยเอทานอลร้อยละ 60 ที่มีต่อปริมาณสารแอนโธไซยานิน



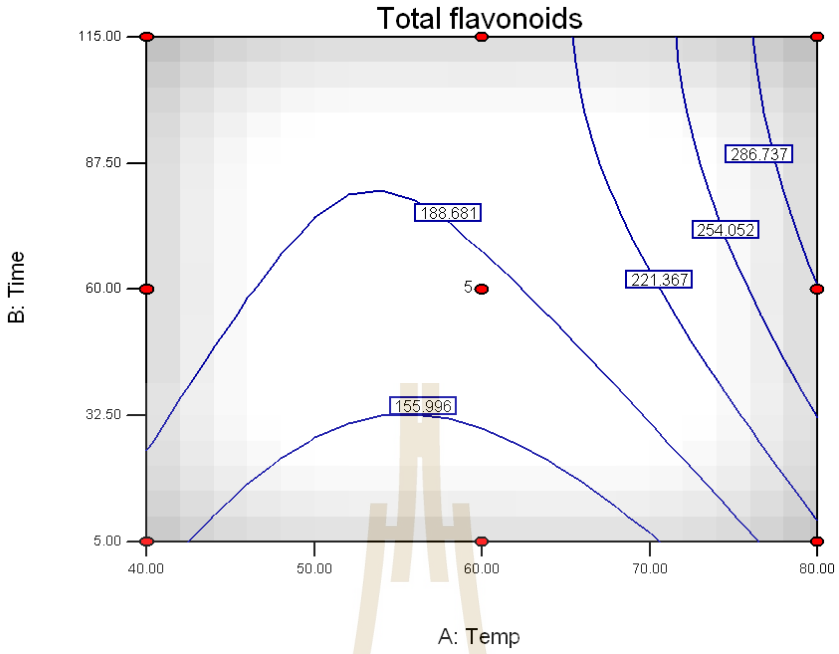
รูปที่ 5 response surface plot ของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดกับเวลาที่ใช้ในการสกัดผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ด้วยเอทานอลร้อยละ 60 ที่มีต่อปริมาณสารแอนโธไซยานิน



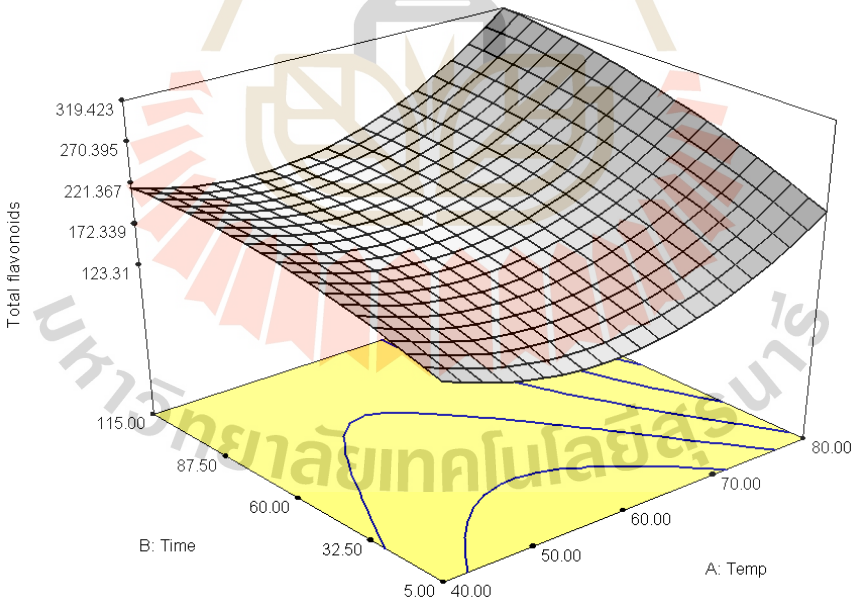
รูปที่ 6 contour plot ของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดกับเวลาที่ใช้ในการสกัดผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ด้วยเอทานอลร้อยละ 60 ที่มีต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด



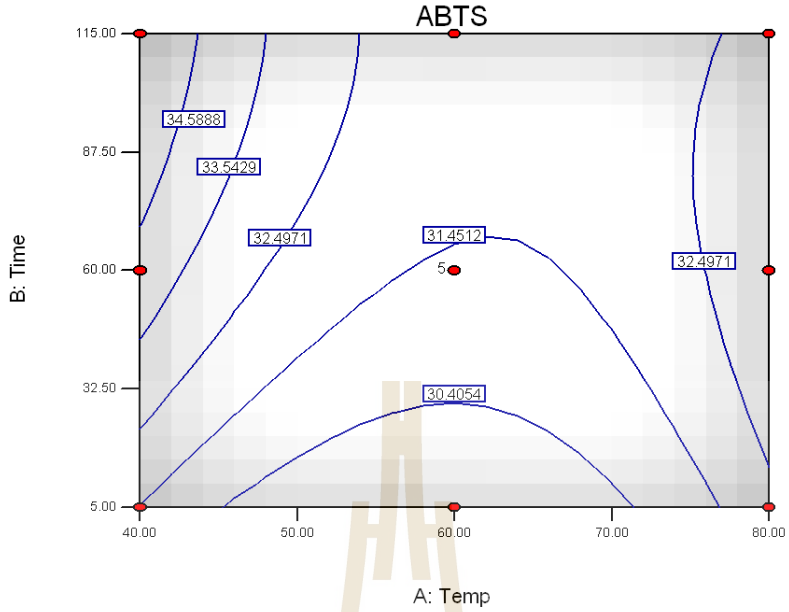
รูปที่ 7 response surface plot ของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดกับเวลาที่ใช้ในการสกัดผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ด้วยเอทานอลร้อยละ 60 ที่มีต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด



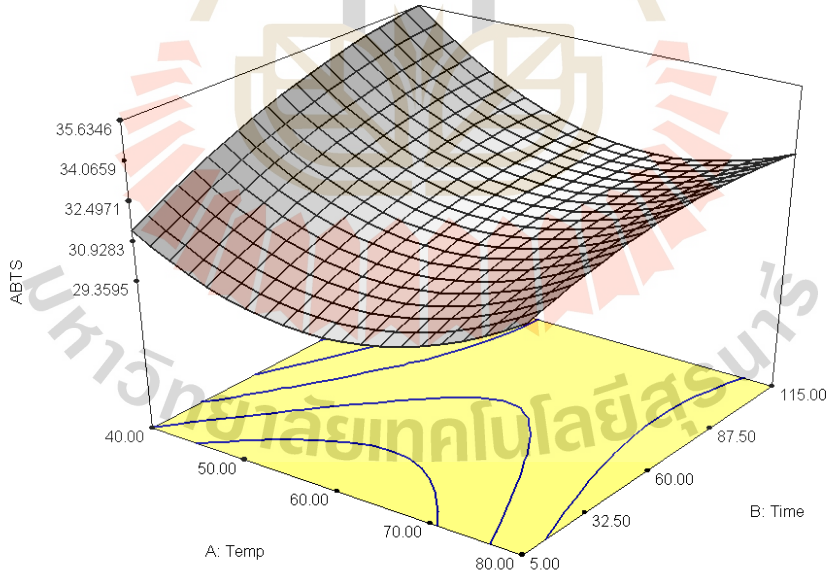
รูปที่ 8 contour plot ของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดกับเวลาที่ใช้ในการสกัดผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ด้วยเอทานอลร้อยละ 60 ที่มีต่อปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด



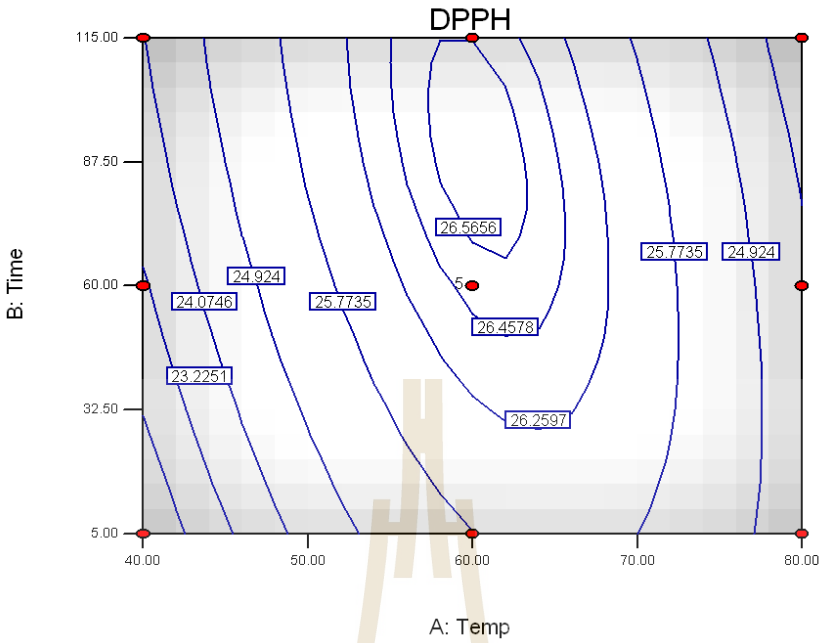
รูปที่ 9 response surface plot ของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดกับเวลาที่ใช้ในการสกัดผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ด้วยเอทานอลร้อยละ 60 ที่มีต่อปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด



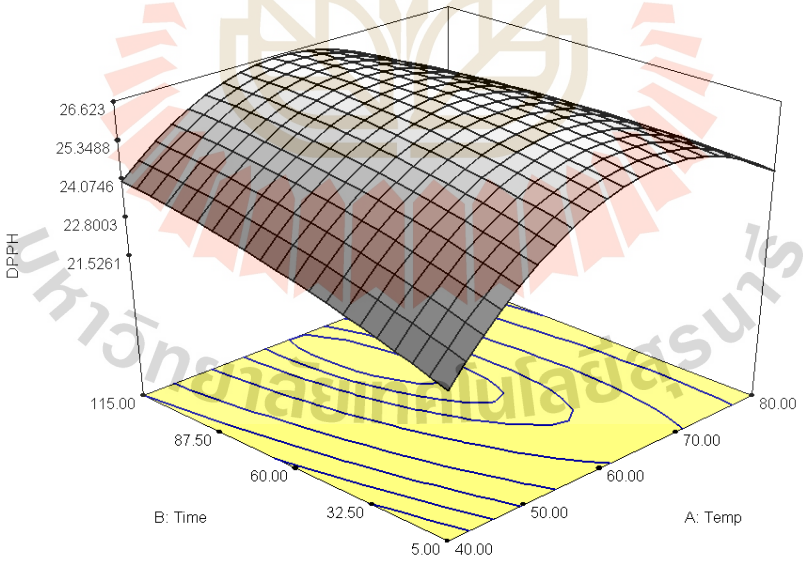
รูปที่ 10 contour plot ของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดกับเวลาที่ใช้ในการสกัดผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ด้วยเอทานอลร้อยละ 60 ที่มีต่อสมบัติในการมีฤทธิ์กำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS



รูปที่ 11 response surface plot ของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดกับเวลาที่ใช้ในการสกัดผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ด้วยเอทานอลร้อยละ 60 ที่มีต่อสมบัติในการมีฤทธิ์กำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS



รูปที่ 12 contour plot ของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดกับเวลาที่ใช้ในการสกัดผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ด้วยเอทานอลร้อยละ 60 ที่มีต่อสมบัติในการมีฤทธิ์กำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH



รูปที่ 13 response surface plot ของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดกับเวลาที่ใช้ในการสกัดผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ด้วยเอทานอลร้อยละ 60 ที่มีต่อสมบัติในการมีฤทธิ์กำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH

4.2 การศึกษาค่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์มายองเนสที่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่

4.2.1 การเตรียมสารสกัดแอนโธไซยานินจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่เพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์มายองเนส

การนำสารสกัดแอนโธไซยานินจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่มาใช้เป็นส่วนผสมในมายองเนสจำเป็นต้องกำจัดส่วนที่เป็นตัวทำละลาย ได้แก่ แอลกอฮอล์ออกเสียก่อน วิธีการกำจัดแอลกอฮอล์ทำได้โดยการระเหย (evaporation) และทำการปรับปริมาตรสารสกัดดังกล่าวด้วยน้ำกลั่น ทั้งนี้ค่าผลได้ (yield) ของกระบวนการระเหยนี้เท่ากับร้อยละ 40 (ใช้สารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่เริ่มต้นในปริมาณ 500 มิลลิลิตร ผ่านการระเหยแอลกอฮอล์ออกจนหมด และทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเท่ากับ 200 มิลลิลิตร) และเมื่อนำตัวอย่างสารสกัดแอนโธไซยานินดังกล่าวที่ผ่านการระเหยและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นมาวิเคราะห์หาปริมาณแอนโธไซยานิน สารประกอบฟีนอลทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS และ วิธี DPPH และวัดค่าสี พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เหล่านี้กับตัวอย่างสารสกัดก่อนผ่านการระเหย ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 6 จากการระเหยแอลกอฮอล์ออกจากสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น ส่งผลให้ปริมาณสารแอนโธไซยานิน สารประกอบฟีนอลทั้งหมด สารฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นทุกค่า ในขณะที่ค่า L* ในตัวอย่างสารสกัดที่ผ่านการระเหยและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

อย่างไรก็ตาม จากการศึกษานี้สารสกัดจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ก่อนทำการระเหยแอลกอฮอล์มีปริมาณแอนโธไซยานิน เท่ากับ 143.10 ± 0.44 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่างสด ซึ่งใกล้เคียงกับแอนโธไซยานินที่มีการรายงานในผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ คือ *Vaccinium corymbosum* จากการใช้เอทานอลร้อยละ 50 ซึ่งมีปริมาณแอนโธไซยานินเท่ากับ 148.51 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่างสด (Oancea et al., 2012)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 6 ปริมาณสารและค่าสีที่ตรวจวิเคราะห์ได้จากสารสกัดจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ก่อนทำการระเหยแอลกอฮอล์ และสารสกัดจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่หลังทำการระเหยและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

สาร	สารสกัดจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ (ก่อนทำการระเหยแอลกอฮอล์)	สารสกัดจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่หลังทำการระเหยและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
สารแอนโธไซยานิน (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่างน้ำหนักสด)	143.10 ± 0.44[a]	239.22 ± 0.88[b]
สารประกอบฟีนอลทั้งหมด (มิลลิกรัม GAE ต่อ 100 กรัมตัวอย่างน้ำหนักสด)	405.10 ± 2.19[a]	842.42 ± 6.21[b]
สารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (มิลลิกรัม CE ต่อ 100 กรัมตัวอย่างน้ำหนักสด)	244.41 ± 2.64[a]	554.67 ± 5.28[b]
สมบัติในการมีฤทธิ์กำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS (มิลลิกรัม GAE ต่อ 100 กรัมตัวอย่างน้ำหนักสด)	30.58 ± 0.08[a]	32.68 ± 0.17[b]
สมบัติในการมีฤทธิ์กำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (มิลลิกรัม GAE ต่อ 100 กรัมตัวอย่างน้ำหนักสด)	20.01 ± 0.19[a]	26.91 ± 0.36[b]
ค่า L*	69.03 ± 0.01[a]	45.02 ± 0.04[b]

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

4.3 การประเมินผลทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์มายองเนสที่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่

นำสารสกัดแอนโธไซยานินจากผลมะม่วงหาวมะนาวที่ผ่านกระบวนการระเหยแอลกอฮอล์และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจากผลการทดลองในหัวข้อ 4.2 มาผสมลงในมายองเนสที่อัตราส่วนร้อยละ 2.5, 5, 7.5 และร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก (ตารางที่ 3) แล้วนำไปประเมินผลทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการทดสอบการยอมรับแบบ hedonic 7-point scale ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์มายองเนสที่ได้ แสดงดังตารางที่ 7 สามารถสรุปได้ดังนี้

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ พบว่า มายองเนสที่ไม่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินและมายองเนสที่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักได้รับคะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบปานกลาง (คะแนนอยู่ในช่วง 6.23 ± 0.57 ถึง 6.27± 0.69) ซึ่งมายองเนส 2 ตัวอย่างนี้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับมายองเนสที่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินร้อยละ 5 ร้อยละ 7.5 และร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ที่ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏอยู่ในระดับชอบมากที่สุด

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสี พบว่า มายองเนสทั้ง 5 สูตร ได้รับคะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบปานกลาง โดยที่คะแนนของมายองเนสที่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก (ได้รับคะแนนความชอบ 5.87 ± 0.68) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับคะแนนของมายองเนสที่เหลือทั้ง 4 สูตร (ได้รับคะแนนอยู่ในช่วง 6.20 ± 0.66 ถึง 6.40 ± 0.56)

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรส พบว่า มายองเนสทั้ง 5 สูตร ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p\geq0.05$) ซึ่งคะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบปานกลาง โดยคะแนนความชอบอยู่ในช่วง 5.53 ± 0.51 ถึง 5.77 ± 0.43

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติ พบว่า คะแนนความชอบของมายองเนสที่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินร้อยละ 10 อยู่ในระดับชอบเล็กน้อย (5.33 ± 0.48) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับมายองเนสอีก 4 สูตร (มายองเนสที่ไม่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานิน, มายองเนสที่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินร้อยละ 2.5 ร้อยละ 5 และร้อยละ 7.5) โดยคะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบปานกลาง (5.57 ± 0.50 ถึง 5.77 ± 0.43)

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมมายองเนสที่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินร้อยละ 10 อยู่ในระดับชอบเล็กน้อย (5.37 ± 0.49) และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับมายองเนสอีก 4 สูตร โดยคะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบปานกลาง (5.50 ± 0.51 ถึง 5.67 ± 0.48) ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสสามารถเรียงลำดับคะแนนความชอบที่ผู้ทดสอบชิมมีต่อมายองเนสที่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินโดยเรียงลำดับจากปริมาณสารสกัดแอนโธไซยานินที่เติมในมายองเนสจากมากไปน้อยได้ดังนี้ มายองเนสที่มีสารสกัดร้อยละ 5 มีคะแนนมากกว่ามายองเนสที่มีสารกสัดร้อยละ 2.5, ร้อยละ 7.5 และร้อยละ 10 โดยใช้มายองเนสที่ไม่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินเป็นตัวอย่างควบคุม ดังนั้นการใช้สารสกัดแอนโธไซยานินจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ที่ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักเป็นส่วนผสมในมายองเนส จึงเป็นปริมาณที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์มายองเนสต่อไป

ตารางที่ 7 การประเมินผลทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์มายองเนส

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	ปริมาณสารสกัดแอนโธไซยานินที่เติมลงในมายองเนส (ร้อยละ)				
	0 (ต.ย. ควบคุม)	2.5	5	7.5	10
ลักษณะปรากฏ	6.23 ± 0.57[b]	6.27± 0.69[b]	6.53 ± 0.51[a]	6.60 ± 0.62[a]	6.63 ± 0.56[a]
สี	6.20 ± 0.66[a]	5.87 ± 0.68[b]	6.40 ± 0.56[a]	6.40 ± 0.62[a]	6.20 ± 0.66[a]
กลิ่นรส	5.73 ± 0.45[a]	5.77 ± 0.43[a]	5.70 ± 0.47[a]	5.53 ± 0.51[a]	5.57 ± 0.50[a]
รสชาติ	5.77 ± 0.43[a]	5.57 ± 0.50[a]	5.73 ± 0.45[a]	5.57 ± 0.50[a]	5.33 ± 0.48[b]
ความชอบรวม	5.67 ± 0.48[a]	5.50 ± 0.51[a]	5.63 ± 0.49[a]	5.50 ± 0.51[a]	5.37 ± 0.49[b]

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

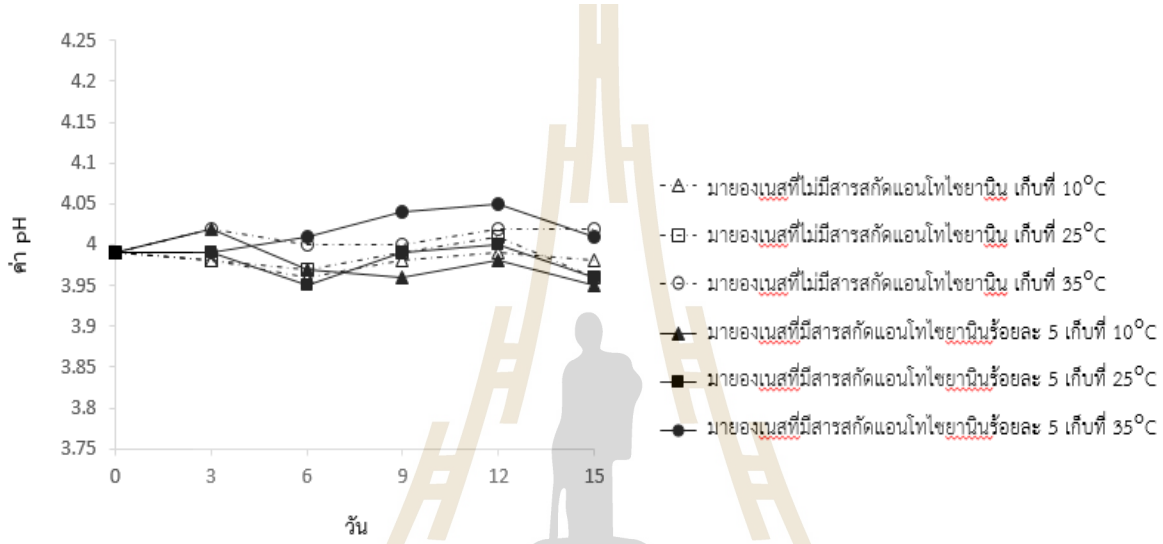
4.4 การศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์มายองเนสที่มีสารสกัดแอนโธไซยานินจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่โดยใช้เทคนิคการศึกษาอายุการเก็บรักษาด้วยวิธีเร่ง (Q_{10})

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสสามารถสรุปได้ว่าตัวอย่างมายองเนสที่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธ-ไซยานินร้อยละ 5 เป็นสูตรมายองเนสที่ผู้บริโภคยอมรับมากที่สุด ดังนั้นตัวอย่างมายองเนสดังกล่าวจึงนำมาศึกษาอายุการเก็บรักษาด้วยวิธีเร่งที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียสในระยะเวลา 15 วัน โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (มายองเนสที่ไม่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานิน) จากค่าคุณภาพต่าง ๆ ดังนี้

4.4.1 ค่าพีเอช (pH)

การศึกษาค่าพีเอชระหว่างตัวอย่างมายองเนสที่ไม่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานิน และมายองเนสที่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินร้อยละ 5 พบว่า ค่าพีเอชของมายองเนสทั้งสองชนิดมีค่าเริ่มต้นเท่ากันเท่ากับ 3.99 แสดงว่าสารสกัดแอนโธไซยานินจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 ไม่มีผลต่อค่าพีเอช และเมื่อบ่มมายองเนสทั้งสองตัวอย่างเป็นเวลา 15 วัน ค่าพีเอชของมายองเนสทั้งสองชนิดมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อเทียบจากค่าเดิม ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของมายองเนสทั้งสองตัวอย่างอยู่ในช่วง 3.95 – 4.05 ดังรูปที่ 14 (ตารางที่ 1ค) อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิในการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในการทดลองนี้ด้วยเช่นกัน โดยอุณหภูมิต่ำ (10 องศาเซลเซียส) มีผลต่อความคงตัวของค่าพี่เอชดีกว่าอุณหภูมิสูง (25 และ 35 องศาเซลเซียส) และทำให้ค่าพีเอชมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ผลการทดลองนี้เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับงานวิจัยของ Karas และคณะ (2002) ที่แสดงให้เห็นว่า การเก็บ

รักษามายองเนส 2 ชนิด ได้แก่ มายองเนสแบบน้ำมันต่ำ (light mayonnaise) ที่มีน้ำมันเป็นส่วนประกอบร้อยละ 49 และมายองเนสแบบน้ำมันสูงหรือมายองเนสสด (fresh mayonnaise ที่มีน้ำมันเป็นส่วนประกอบร้อยละ 75 เป็นเวลา 2 เดือน ที่อุณหภูมิ 5-8 องศาเซลเซียส ค่าพีเอชของมายองเนสแบบน้ำมันต่ำเปลี่ยนจาก 4.32 (เดือนที่ 1) เป็น 4.16 (เดือนที่ 2) ในขณะที่ค่าพีเอชของมายองเนสแบบน้ำมันสูงหรือมายองเนสสดเปลี่ยนจาก 4.36 (เดือนที่ 1) เป็น 4.22 (เดือนที่ 2)

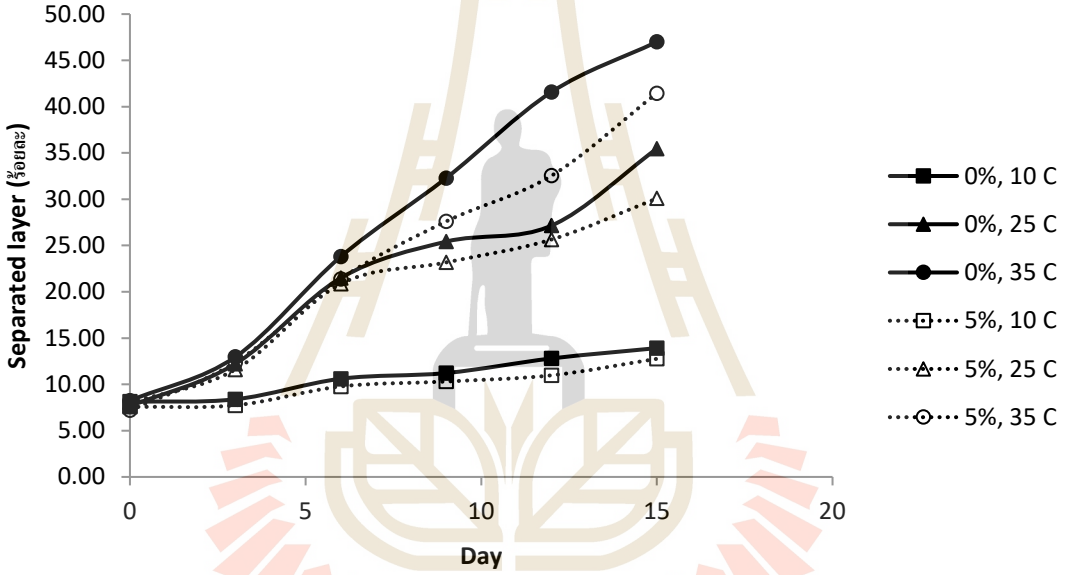


รูปที่ 14 ค่าพีเอชของตัวอย่างมายองเนสที่ไม่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินและมีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 วัน

4.4.2 การแยกชั้น

การแยกชั้นของตัวอย่างมายองเนสที่ไม่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินเปรียบเทียบกับมายองเนสที่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินร้อยละ 5 เก็บที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส พบว่า อุณหภูมิมีผลต่อลักษณะการแยกชั้นของตัวอย่างมายองเนสทั้งชนิดที่ไม่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานิน และชนิดที่มีส่วนผสมของแอนโธไซยานิน โดยการเก็บรักษามายองเนสที่อุณหภูมิต่ำ (10 องศาเซลเซียส) ทำให้มายองเนสมีการแยกชั้นคิดเป็นร้อยละต่ำกว่าการใช้อุณหภูมิสูง (25 และ 35 องศาเซลเซียส) ซึ่งสามารถเรียงลำดับการแยกชั้นคิดเป็นร้อยละของตัวอย่างมายองเนสทั้งสองชนิดจากน้อยไปมากได้ดังนี้ อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งการแยกชั้นของตัวอย่างมายองเนสทั้งสองชนิดที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียสมีความแตกต่างที่ชัดเจนกับการเก็บรักษามายองเนสที่ 10 องศาเซลเซียส

อย่างไรก็ตาม การใช้สารสกัดแอนโธไซยานินจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่เป็นส่วนผสมในมายองเนสช่วยให้การแยกชั้นของมายองเนสเกิดช้าลง เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (มายองเนสชนิดที่ไม่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานิน) ในทุกอุณหภูมิที่ทำการศึกษา ดังรูปที่ 15 (ตารางภาคผนวกที่ 1ง) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Gavahian และคณะ (2013) ที่ใช้สาร Zenyan essential oil เตรียมจากเทคนิค Ohmic assisted hydro distillation (OAHD) จนได้น้ำมันหอมระเหยที่มีสมบัติในการป้องกันความหืนมาใช้ประโยชน์ในมายองเนสเปรียบเทียบกับสารกันความหืนทางการค้า BHA และ BHT ซึ่ง Zenyan essential oil ที่ร้อยละ 0.045 มีความสามารถในการลดการแยกชั้นของมายองเนสเทียบเท่ากับ BHA และ BHT ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.012

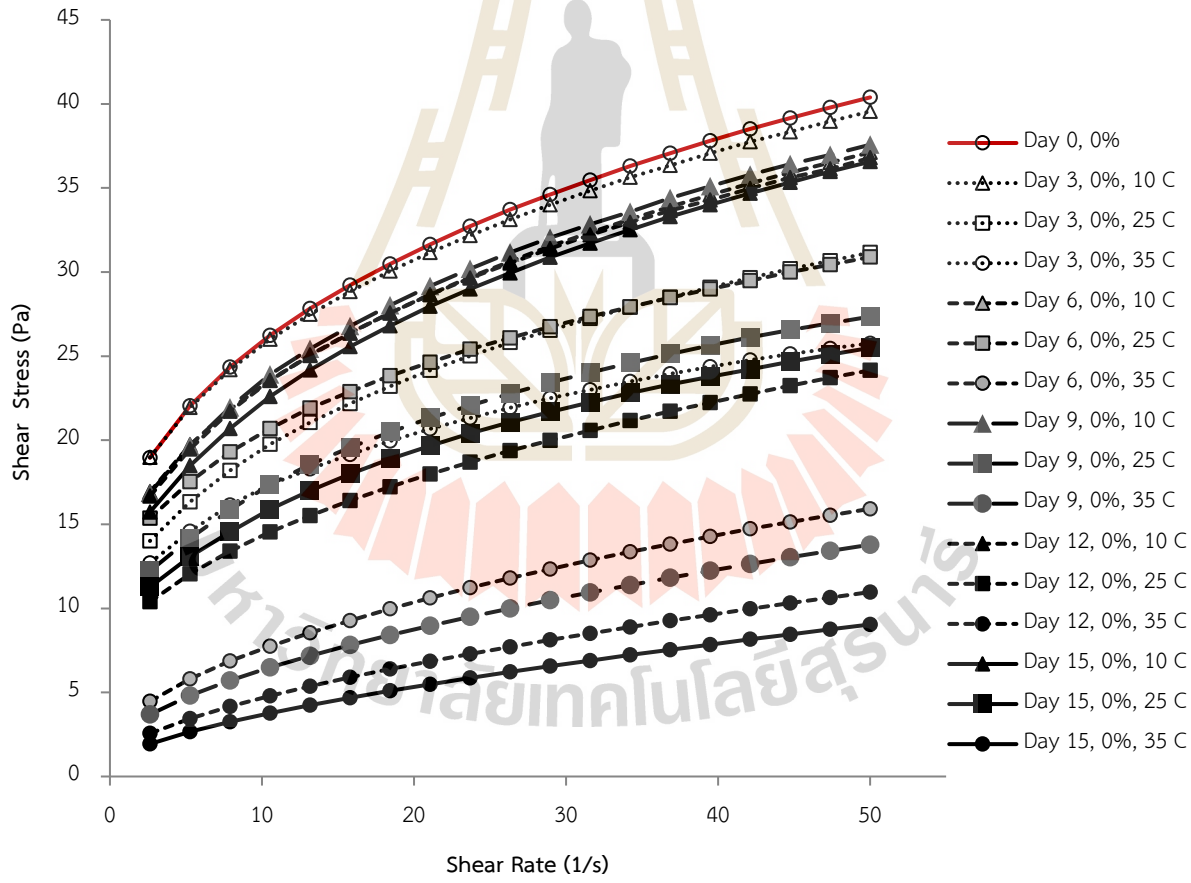


รูปที่ 15 การแยกขั้นของตัวอย่างมายองเนสที่ไม่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินเปรียบเทียบมายองเนสที่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินร้อยละ 5 ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส

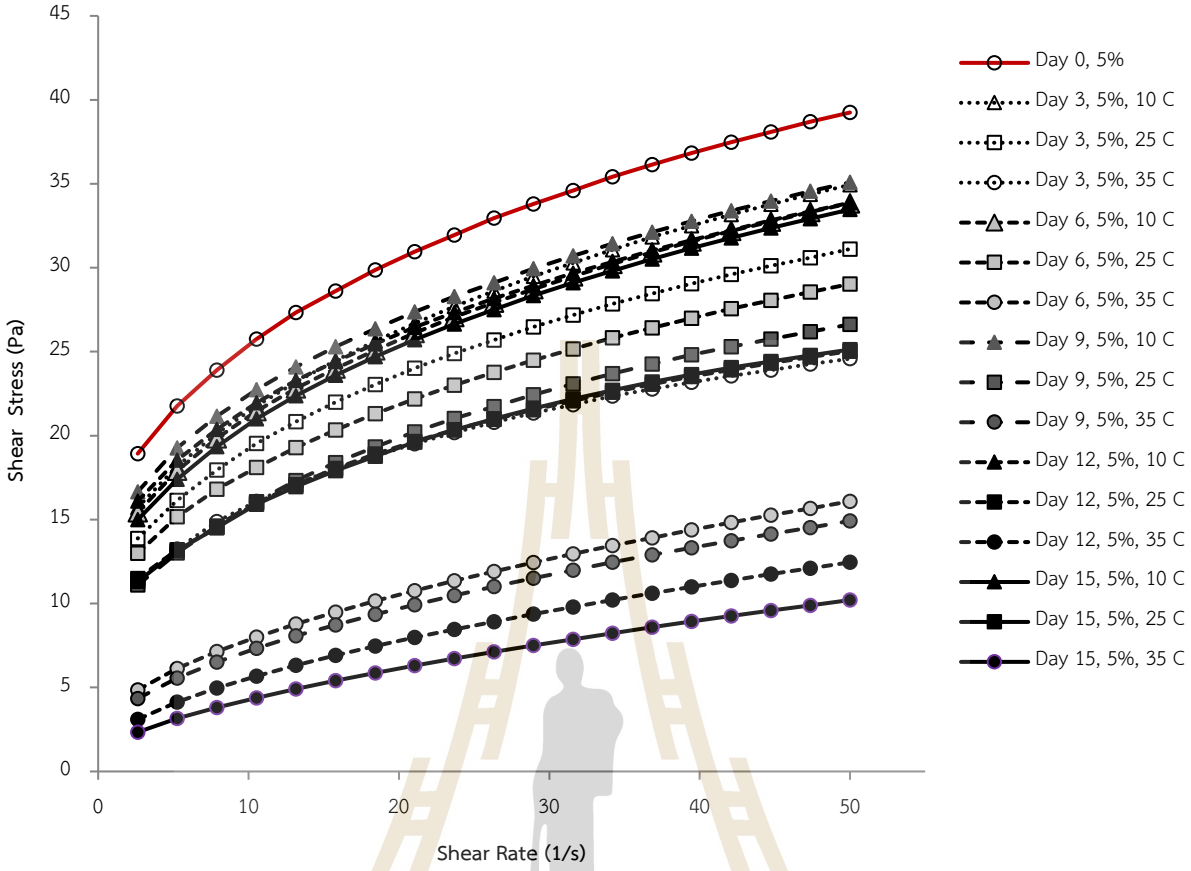
4.4.3 พฤติกรรมการไหลของมายองเนส

ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของมายองเนส พบว่า อุณหภูมิมีผลต่อลักษณะการไหลของตัวอย่างมายองเนสทั้งชนิดที่ไม่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานิน (รูปที่ 16) และชนิดที่มีส่วนผสมของแอนโธไซยานินร้อยละ 5 (รูปที่ 17) การเก็บรักษามายองเนสที่อุณหภูมิสูงยิ่งทำให้มายองเนสมีความหนืดลดลง หรืออาจกล่าวได้ว่า ค่าอุณหภูมิแปรผกผันกับความหนืดของผลิตภัณฑ์ โดยที่พฤติกรรมการไหลของมายอง-

เนสที่มีส่วนผสมของแอนโธไซยานินร้อยละ 5 และไม่มีส่วนผสมของแอนโธไซยานินคล้ายคลึงกัน อย่างไรก็ตาม การมีส่วนผสมของแอนโธไซยานินในมายองเนสทำให้ค่าความเค้นเฉือน (shear stress) ของตัวอย่างมายอง-เนสในกลุ่มนี้มีค่าต่ำกว่าตัวอย่างมายองเนสที่ไม่มีส่วนผสมของแอนโธไซยานิน ซึ่งเป็นผลมาจากการเติมสารสกัดแอนโธไซยานิน โดยสารละลายดังกล่าวนี้มีปริมาณของแข็งมากกว่าน้ำที่ใช้เป็นส่วนผสม ส่วนผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อค่าความหนืด พบว่าเมื่ออายุการเก็บมากขึ้นค่าความหนืดหรือค่าความชันของเส้นกราฟระหว่างค่าความเค้นเฉือน (แกน y) และอัตราเฉือน (แกน x) มีค่าลดลง แสดงให้เห็นว่ายิ่งระยะเวลาในการเก็บรักษามากขึ้นโครงสร้างภายในของมายองเนสยิ่งอ่อนแอลง ทำให้มีค่าแรงต้านทานการไหลหรือค่าความหนืดลดลงนั่นเอง พฤติกรรมการไหลดังกล่าวพบได้ชัดเจนยิ่งขึ้นในตัวอย่างมายองเนสที่เก็บรักษษไว้ที่อุณหภูมิสูง (25 และ 35 องศาเซลเซียส) มากกว่าอุณหภูมิต่ำ (10 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 16 พฤติกรรมการไหลของตัวอย่างมายองเนสที่ไม่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส

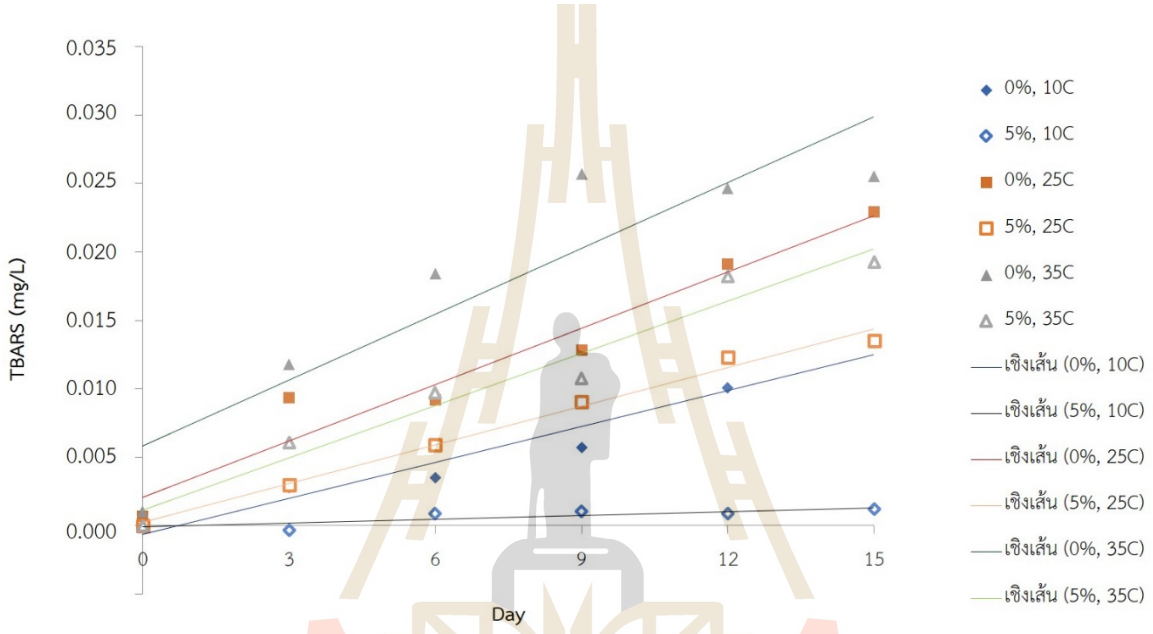


รูปที่ 17 พฤติกรรมการไหลของตัวอย่างมายองเนสทั้งชนิดที่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินร้อยละ 5 ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส

4.4.4 การศึกษา thiobarbituric acid reactive substances (TBARS)

ผลการศึกษา thiobarbituric acid reactive substances พบว่า ตัวอย่างมายองเนสทั้งชนิดที่ไม่มีสารสกัดแอนโธไซยานินและชนิดที่มีสารสกัดแอนโธไซยานินร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิสูง (25 และ 35 องศาเซลเซียส) มีปริมาณ TBARS สูงกว่าอุณหภูมิที่ต่ำกว่า ในขณะที่การเก็บรักษามายองเนสที่อุณหภูมิต่ำ (10 องศาเซลเซียส) มีปริมาณ TBARS น้อยที่สุด ซึ่งค่า TBARS เป็นการวิเคราะห์ปริมาณแอลดีไฮด์ (aldehyde) ในรูปของมาโลนาลดีไฮด์ (malonaldehyde) ที่มีอยู่น้ำมัน ซึ่งเป็นสารที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันหรือน้ำมัน หากผลการวิเคราะห์ TBARS มีค่ามาก แสดงว่าเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในปริมาณมาก ผลการทดลอง พบว่า ตัวอย่างมายองเนสที่มีสารสกัดแอนโธไซยานินร้อยละ 5 มีปริมาณ TBARS น้อยกว่าตัวอย่างมายองเนสที่ไม่มีสารสกัดแอนโธไซยานิน แสดงให้เห็นว่า การมีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้ในมายองเนส ดังรูปที่ 18 (ตารางภาคผนวกที่ 1จ)

ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Gavahian และคณะ (2013) ที่เตรียม Zenyan essential oil ด้วยเทคนิค OAHD ดังกล่าวข้างต้น เปรียบเทียบกับสารกันความหืนทางการค้า BHA และ BHT ซึ่ง Zenyan essential oil ที่ร้อยละ 0.045 มีความสามารถในการชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันที่เกิดขึ้นในมายองเนสเทียบเท่ากับ BHA และ BHT ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.012 เช่นเดียวกับการเติมน้ำมันสกัดจากเมล็ดองุ่นประมาณร้อยละ 0.15 เป็นส่วนผสมในมายองเนสทำให้ปริมาณ TBARS ที่ตรวจวิเคราะห์ได้มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างมายองเนสที่ไม่มีการเติมน้ำมันสกัดจากเมล็ดองุ่น (Atunkaya et al., 2013)



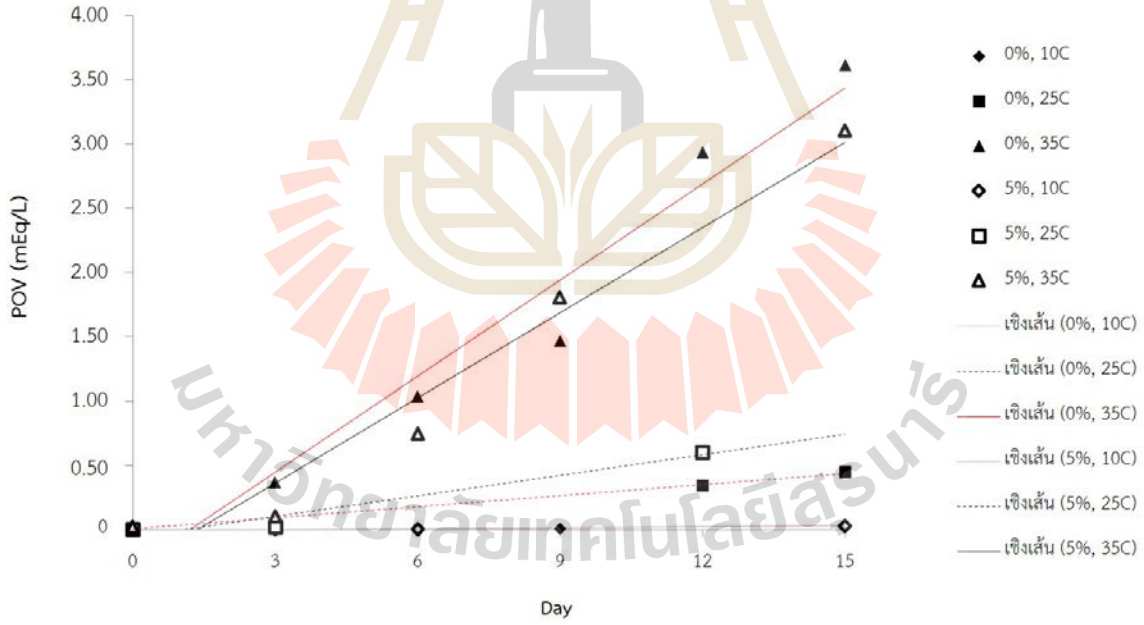
รูปที่ 18 ปริมาณ thiobarbituric acid (TBARS) ที่พบในตัวอย่างมายองเนสที่ไม่มีส่วนผสมของสารสารสกัดแอนโธไซยานินและมายองเนสที่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินร้อยละ 5 ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส

4.4.5 การวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์ (POV)

จากผลการทดลอง พบว่า ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส ค่าเพอร์ออกไซด์ของตัวอย่างมายองเนสที่ไม่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินและมายองเนสที่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินร้อยละ 5 มีอัตราการเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกันเมื่อพิจารณาจากกราฟ ในขณะที่ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ตัวอย่างมายองเนสทั้งสองชนิดมีค่าเพอร์ออกไซด์แตกต่างกัน โดยตัวอย่างมายองเนสที่ไม่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินมีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าเพอร์ออกไซด์สูงกว่ามายองเนสที่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธ-ไซยานินร้อยละ 5 ซึ่งค่าเพอร์ออกไซด์เป็นค่าที่ใช้การวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันหรือน้ำมัน

ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหืน (rancidity) ถ้าค่าเพอร์ออกไซด์สูงแสดงว่าไขมันหรือน้ำมันเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันหรือน้ำมันมากและทำให้เกิดกลิ่นหืนได้

การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มายองเนสที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ส่งผลให้อัตราการเกิดค่าเพอร์-ออกไซด์ในตัวอย่างมายองเนสที่ไม่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินมีค่าเพิ่มสูงขึ้นกว่ามายองเนสที่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินร้อยละ 5 (รูปที่ 19 และตารางภาคผนวก 1ฉ) เนื่องจากอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันหรือน้ำมัน ยิ่งอุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันยิ่งเกิดเร็วขึ้น ดังนั้นการเติมสารสกัดแอนโธไซยานินจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่เป็นส่วนผสมในมายองเนสสามารถช่วยชะลออัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือชะลอการเกิดกลิ่นหืนได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (มายองเนสที่ไม่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานิน) ค่าเพอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการทดลองนี้มีความใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Mihov และคณะ (2012) ที่ศึกษาการใช้น้ำมันมะกอกเป็นส่วนผสมในมายองเนสที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งการเก็บรักษามายองเนสที่มีน้ำมันมะกอกเป็นส่วนผสมใน 5 วันแรก ค่าเปอร์ออกไซด์ของมายองเนสเปลี่ยนจาก 1.2±0.02 เป็น 1.35±0.11 มิลลิสมมูลของออกซิเจนต่อลิตร (meq O_2/L)



รูปที่ 19 ปริมาณค่าเพอร์ออกไซด์ที่พบในตัวอย่างมายองเนสที่ไม่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินและมายองเนสที่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินร้อยละ 5 ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส

4.4.6 การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ จุลินทรีย์ที่นับได้ทั้งหมด ยีสต์และรา โคลิฟอร์ม และแบคทีเรียแลคโตบาซิลลัส

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณจุลินทรีย์ในตัวอย่างมายองเนสที่ไม่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินและมายองเนสที่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินร้อยละ 5 ในสภาวะเร่ง ที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 วัน พบว่า ไม่พบจุลินทรีย์ที่นับได้ทั้งหมด ยีสต์และรา โคลิฟอร์ม และแบคทีเรียแลคโตบาซิลลัสในทุกตัวอย่าง แสดงผลดังตารางที่ 1ช, 2ช, 3ช, 4ช และ 5ช (ภาคผนวก ช) ดังนั้นผลิตภัณฑ์มายองเนสทั้งสองตัวอย่างมีความปลอดภัยเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1402 – 2540 เรื่อง มายองเนสและสลัดครีม ที่ได้กำหนดให้พบจุลินทรีย์ที่นับได้ทั้งหมดน้อยกว่า 1,000 โคโลนี/ 1 กรัมตัวอย่าง สามารถพบยีสต์และราได้น้อยกว่า 10 โคโลนี/ 1 กรัมตัวอย่าง ต้องไม่พบโคลิฟอร์ม และพบแบคทีเรียแลคโตบาซิลลัสได้น้อยกว่า 10 โคโลนี/ 1 กรัมตัวอย่าง

4.5 การทำนายอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มายองเนสที่มีสารสกัดแอนโธไซยานินจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ โดยใช้เทคนิคการศึกษาอายุการเก็บรักษาด้วยวิธีเร่ง (Q_{10})

ผลการวิเคราะห์ค่า ปริมาณแอลดีไฮด์ในรูปของมาโลนาลดีไฮด์ที่มีอยู่ในน้ำมัน (TBARS) และค่าเปอร์-ออกไซด์ (POV) ของผลิตภัณฑ์มายองเนส พบว่า ค่า TBARS และค่าเปอร์ออกไซด์ สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์กับเวลาการเก็บรักษา ดังรูปที่ 18 และรูปที่ 19 ตามลำดับ เส้นแนวโน้มของกราฟทั้งสอง (ค่า TBARS และค่า POV) เป็นเส้นตรง แสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงค่า TBARS และ POV กับระยะเวลาในการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์มายองเนสนี้เป็นปฏิกิริยาลำดับศูนย์ (zero order reaction) สามารถคำนวณค่า Q_{10} ตามวิธีการของ Labuza (1982) และยุทธนา พิมลศิริผล (2561) ในหัวข้อ 3.4 จากสมการ

$$Q_{10} = \frac{k_{T+10}}{k_T} = \frac{\theta_{S_T}}{\theta_{S_{T+10}}}$$

โดย θ_{S_T} = อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ (T) องศาเซลเซียส

$\theta_{S_{T+10}}$ = อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ (T+10) องศาเซลเซียส

เมื่อนำรูปที่ 18 มาทำการคาดการณ์ (extrapolate) พบว่า มายองเนสที่ไม่มีสารสกัดแอนโธไซยา-นินจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่มีค่า Q_{10} เท่ากับ 1.50 ในขณะที่ Q_{10} จาก TBARS ของมายองเนสที่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ร้อยละ 5 มีค่าเท่ากับ 1.43 ส่วนค่า Q_{10} ที่ทำนายจากค่าเปอร์ออกไซด์ เมื่อใช้เทคนิคการคาดการณ์ (extrapolation) ดังรูปที่ 19 พบว่า มายองเนสที่ไม่มีสารสกัดจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่มีค่า Q_{10} เท่ากับ 3.72 ในขณะที่ Q_{10} ของมายองเนสที่มีส่วนผสมของสารสกัด

แอนโธไซยานินจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ร้อยละ 5 มีค่าเท่ากับ 5.33 จากค่า Q_{10} ทั้งหมดที่ได้ พบว่า ค่า Q_{10} ในส่วนของมายองเนสที่ประมาณค่าอายุการเก็บรักษาด้วยค่า TBARS มีค่า Q_{10} น้อยกว่าค่า Q_{10} ที่คำนวณได้จากค่า POV ดังนั้นจึงนำค่า Q_{10} จากค่า TBARS มาใช้ในการศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์มายอง-เนสในงานวิจัยนี้

จากค่า Q_{10} ข้างต้น สามารถนำมาใช้คำนวณค่าอายุการเก็บรักษาของมายองเนสที่ไม่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสซึ่งถือเป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิทั่วไปในประเทศไทย ดังนั้นค่าอายุการเก็บรักษาจึงคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$\theta_1^5 = \frac{\theta_{S_{30}}}{\theta_{S_{35}}}$$

$$(1.50)^5 = \frac{\theta_{S_{30}}}{9.3}$$

$$\theta_{S_{30}} = 7.59 \times 9.3$$

$$= 70.62 \quad \text{ประมาณ } 71 \text{ วัน}$$

และสามารถคำนวณค่าอายุการเก็บรักษาของมายองเนสที่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ได้ดังนี้

$$\theta_1^5 = \frac{\theta_{S_{30}}}{\theta_{S_{35}}}$$

$$(1.43)^5 = \frac{\theta_{S_{30}}}{16}$$

$$\theta_{S_{30}} = 5.98 \times 16$$

$$= 95.67 \quad \text{ประมาณ } 96 \text{ วัน}$$

จากผลการคำนวณข้างต้น จึงสรุปได้ว่า มายองเนสที่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ร้อยละ 5 มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานกว่ามายองเนสที่ไม่มีส่วนผสมของสารสกัดแอน-โธไซยานินจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ นั่นหมายความว่าสารสกัดแอนโธไซยินจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ในการศึกษานี้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์มายองเนสได้ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Li และคณะ (2014) ที่พบว่า การใช้สารสกัดแอนโธไซยานินจากข้าวโพดสีม่วง (purple corn extract) สามารถยืดอายุการเก็บรักษามายองเนสที่มีส่วนผสมของน้ำมันถั่วเหลืองได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารแอนโธไซยานินจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่เพื่อนำมาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์มายองเนสด้วย response surface methodology (RSM) ทำให้ได้สภาวะที่การสกัดที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส 64 นาที ที่ให้สารแอนโทไซยานินได้ในปริมาณสูงสุดสอดคล้องกับปริมาณสารแอนโธไซยานินที่ได้จากการตรวจสอบความแม่นยำด้วยการผลิตตามสภาวะดังกล่าว เมื่อกำจัดแอลกอฮอล์ที่ใช้เป็นตัวทำละลายในการสกัดด้วยการระเหยจนได้สารสกัดที่ปราศจากแอลกอฮอล์ สารสกัดแอนโธไซยานินที่ร้อยละ 5 นำมาใช้เป็นส่วนผสมในมายองเนสเป็นระดับความเข้มข้นที่ผู้ประเมินผลทางประสาทสัมผัสให้การยอมรับสูงสุด เมื่อนำมายองเนสดังกล่าวมาวิเคราะห์หาอายุการเก็บรักษาด้วยวิธีเร่ง (Q_{10}) มายองเนสที่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ร้อยละ 5 จึงมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานกว่ามายองเนสที่ไม่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ ดังนั้นสารสกัดแอนโธ-ไซยานินจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่จึงมีความเป็นไปได้ในการใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหารตามธรรมชาติที่มีความสามารถในการลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันหรือน้ำมัน หรือเป็นสารกันหืนในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีน้ำมันสูง จึงมีความเป็นไปได้สูงในการนำงานวิจัยนี้ไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารที่มีน้ำมันเป็นส่วนประกอบได้ในอนาคต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บรรณานุกรม

กันต์กนิษฐ์ จงรัตนวิทย์ และศศิธร ตรงจิตภักดี. (2555). ผลของระยะการเจริญเติบโตต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด แอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถกำจัดออกซิเดชันของผลพิลังกาสา. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 50: สาขาอุตสาหกรรมเกษตร* (น. 336-344). กรุงเทพ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ทัตพิชา กายเย็น. (2560). *ผลของระยะการสุกต่อคุณสมบัติทางชีวภาพของมะม่วงหาวมะนาวโห่*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ทรงศิริ วงศ์จิตตภิญโญ, ชนิดา โชติรสเวคิน และศศิธร ตรงจิตภักดี. (2552). ผลของชนิดตัวทำละลายที่ใช้สกัดต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด แอนโทไซยานินทั้งหมด และสมบัติการกำจัดอนุมูลอิสระของเปลือกและเมล็ดองุ่น. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47: สาขาอุตสาหกรรมเกษตร*. กรุงเทพ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พจนีย์ บุญนา, จอมขวัญ สุวรรณรักษ์, วรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์ และปรัชญา แพมงคล. (2553). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำสลัดชนิดข้นจากเต้าหู้เพื่อสุขภาพ*. รายงานการวิจัย. คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

มนต์วดี หุ่นเจริญ และ ศศิธร ตรงจิตภักดี. (2552). ผลของระยะการเจริญเติบโตต่อแอนโทไซยานินส์และความสามารถกำจัดออกซิเดชันของผลหม่อนสายพันธุ์กำแพงแสน-เอ็มบี-42-1. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47: สาขาอุตสาหกรรมเกษตร*. กรุงเทพ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยุทธนา พิมลศิริผล. (2561). *เทคนิคการประเมินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร*. เชียงใหม่: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สกุลกานต์ สิมลา. (2559). มะนาวโห่: พืชในวรรณคดีไทยที่มากมายด้วยประโยชน์. *แก่นเกษตร* 44 (3) : 557-566.

สุทิน พรหมโชติ, สาธิต พสุวิทยกุล และ รักเกียรติ แสนประเสริฐ. (2553). *การสำรวจและรวบรวมพันธุ์ไม้ผลพื้นเมืองบริเวณจังหวัดอุบลราชธานีเพื่อพัฒนาเป็นไม้ผลเศรษฐกิจใหม่*. คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น

AOAC. 2005. *Official methods of analysis of AOAC International*.

AOAC International. (2012). Yeast and Mold Counts in Foods, Dry Rehydrateable Film Method (Petrifilm for Yeast and Molds). Method 997.02. in *Official Methods of Analysis*, Latimer, G. W., ed. Gaithersburg, MD.

Altunkaya, A., Hedegaard, R.V., Harholt, J., Brimer, L., Gokmen, V. and Skibsted, L.H. (2013). Oxidative stability and chemical safety of mayonnaise enriched with grape seed extract. *Food Funct*, 4(11): 1647-53. doi: 10.1039/c3fo60204d.

Bennion, M. and B. Scheule. (2000). *Introductory Foods*. 7th ed. Prentice-Hall, Inc., New Jersey.

Betz, M. and Kulozik, U. (2011). Microencapsulaiton of bioactive biberry anthocyanins by means of whey protein gels. *Procedia Food Science*, 1: 2047-2056.

Boarilima, A.D.J., Correa, A.D., Saczk, A.A., Martins, M.P. and Castilho, R.O. (2010). Anthocyanins, Pigment Stability and Antioxidant activity in Jabuticaba [Myrciaria cauliflora (Mart.) O. Berg]. *Aceito para publicação em*: 12-05-2011.

Buege, J. A. and Aust, S. D. (1978). Microsomal lipid peroxidation. In *Method in Enzymology*, 52: 302–310.

Cavalcanti, R. N., Santos, T. and Meireles, M. A. A. (2011). Non-thermal stabilization mechanisms of anthocyanins in model and food systems-An overview. *Food Research International,* 44: 499-509.

Chen, X. Q., Nagao, N., Itani, T., Irifune K. (2012). Anti-oxidative analysis, and identification and quantification of anthocyanin pigments in different coloured rice. *Food Chemistry*, 135: 2783-2788.

da Silva, F. L., Escribano-Bailón, M. T., Alonso, J. J. P., Rivas-Gonzalo, J. C. and Santos-Buelga, C. (2007). Anthocyanin pigments in strawberry. *LWT*, 40(2): 374-382.

Deemuenwai, W., Janjamroon, W., Prawatwong, U., Teppathom, N. and Lilitchan, S. (2014). Effect of Ferulic Acid and Oryzanol on Physical and Chemical Changes of Mayonnaise. *Agricultural Sci. J.*, 45(2): 649-652.

Einbond, L. S., Reynertsona, K. A., Luo, X. D. Basileb, M. J., Kennellya, E. J. (2004). Anthocyanin from edible fruits. *Food Chemistry,* 84: 23-28.

Ersus, S. and Yurdagel U. (2007). Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus carota* L.) by spray drier *Journal of Food Engineering,* 80: 805-812.

Frank, K., Kohler, K and Schuchmann, H. P. (2012). Stability of anthocyanin in high pressure homogenisation. *Food Chemistry,* 130: 716-719.

Fulcrand, H., Benabdeljalil, C., Rigaud, J., Cheynier, V., and Moutounet M. (1998). A new class of wine pigments generated by reaction between pyruvic acid and grape anthocyanins. *Phytochemistry*, 47: 1401-1407.

Gavahian, M., Hashemi, S.M.B., Mousavi Khaneghah, A. and Mazaheri Tehrani, M. (2013). Ohmically extracted Zenyan essential oils as natural antioxidant in Mayonnaise. *International Food Research Journal,* 20(6): 3186 – 3195.

González-Manzano, S., Pérez-Alonso, J. J., Salinas-Moreno, Y., Mateus, N., M.S. Silva, A., de Freitas, V., and Santos-Buelga C. (2008). Flavanol–anthocyanin pigments in corn: NMR characterisation and presence in different purple corn varieties. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21: 521-526.

Guisti, M. M. and Wrolstad, R. E. (2005). Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. In R. E. Wrolstad, T. E. Acree, E. A. Decker, M. H. Penner, D. S. Reid, S. J. Schwartz, C. F. Shemaker, D. Smith and P. Sporns, Eds. *Handbook of Food Analytical Chemistry*. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey, Canada.

Horbowicz, M., Kosson, R., Grzesiuk, A. and Debski, H. (2008). Anthocyanins of Fruits and Vegetables – Their Occurrence. *Analysis and Role in Human Nutrition*. DOI: 10.2478/v10032-008-0001-8.

Hsiao, H. (2014). *Anthocyanin Color Enhancement by Using Catechin as Copigments and Stability during Storage*. Thesis of Graduate Program in Food Sciences and Technology. The Ohio State University. https://etd.ohiolink.edu

Kallithraka, S., Mohdaly, A. A.-A., Makris, D. P., and Kefalas, P. (2005). Determination of major anthocyanin pigments in Hellenic native grape varieties (Vitis vinifera sp.): association with antiradical activity. *Journal of Food Composition and Analysis,* 18:375-386.

Karas, R., Marlena, S. and and Zlender, B. (2002). Sensory Quality of Standard and Light Mayonnaise during Storage. Food Technol. *Biotechnol,* 40(2): 119-127.

Kim, D. O. and Lee, C. Y. (2002). Extraction and isolation of polyphenolics. In *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. R.E. Wrolstad. New York, Wiley: 11.2.1-11.2.12.

Kim, D. O., Lee, K. W., Lee, H. J. and Lee, C. H. (2002). Vitamin C equivalent antioxidant capacity (VCEAC) of phenolic phytochemicals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50: 3713-3717.

Kim, D. O., Jeong, S. W. and Lee, C. Y. (2003). Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums. *Journal of Food Chemistry*, 81:321-326.

Labuza T. (1982). *Shelf Life Dating of Foods*. Food and Nutrition Press, Westport, New Zealand. pp. 41–88.

Li, Y., Han, L., Ma, R., Xu, X., Zhao, C., Wang, Z., Chen, F. and Hu, X. (2012). Effect of energy density and citric acid concentration on anthocyanins yield and solution temperature of grape peel in microwave-assisted extraction process. *Journal of Food Engineering*, 109: 274-280.

Li, C., Kim, H., Li, H., Lee, D. and Rhee, H. (2014). Antioxidative effect of purple corn extracts during storage of mayonnaise. *Food Chemistry,* 152: 592-596.

Maizura, M., Aminah, A. and Wan Aida, W. M. (2011). Total phenolic content and antioxidant capacity of kesum (polygonum minus), giger (*Zingiber officinale*) and turmeric (*Curcuma longa*) extract. *International Food Research Journal*, 18: 529-534.

Mateus, N., de Pascual-Teresa, S., Rivas-Gonzalo, J. C., Santos-Buelga, C., and de Freitas, V. (2002). Structural diversity of anthocyanin-derived pigments in port wines. *Food Chemistry*, 76: 335-342.

Mihov, R., Nikovska, N. and Slachev, A. (2012). Evaluation of mayonnaise-like food emulsions with extracts of herbs and spices. *Emir. J. Food Agric*, 24(3): 191-199.

O'Brien, R.D. (2004). Fats and oils processing. In: O'Brien, R.D. (ed). *Fats and Oils: Formulating and Processing for Applications*, 2nd edn. Boca Raton, FL: CRC Press.

Oancea, S., Stoia, M., and Coman, D. (2012). Effects of Extraction Conditions on Bioactive Anthocyanin Content of *Vaccinium Corymbosum* in the Perspective of Food Applications. *Procedia Engineering*, 42:489-495.

Pissarra, J., Lourenço, S., González-Paramás, A. M., Mateus, N., Santos Buelga, C. Silva, A. M. S., and De Freitas, V. (2005). Isolation and structural characterization of new anthocyanin-alkyl-catechin pigments. *Food Chemistry*, 90: 81-87.

Rahman, A.H.M.M. and Akter, M. (2015). Taxonomy and Traditional Medicinal Uses of Apocynaceae (Dogbane) Family of Rajshahi District, Bangladesh. *Research & Reviews: Journal of Botanical Sciences*, 4(3): 1-12.

Saito, N., Tatsuzawa, F., Toki, K., Shinoda, K., Shigihara, A., and Honda T., (2011). The blue anthocyanin pigments from the blue flowers of *Heliophila coronopifolia* L. (Brassicaceae). *Phytochemistry*, 72: 2219-2229.

Sakanaka, S., Tachibana, Y., Ishihara, N., and Raj Juneja, L. (2004). Antioxidant activity of egg-yolk protein hydrolysates in a linoleic acid oxidation system. *Food Chemistry,* 86:99–103.

Sarma, A., Sarmah, P., Kashyap, D., Dutta, S. and Mahanta, M. (2015). Antioxidant activity and nutraceutical property of the fruits of an ethno-medicinal plant: *Carissa carandas* L. found in Brahmaputra valley agro-climatic condition. *J. Pharm. Sci. & Res,* 7(2): 55-57.

Seabra, I. J., Braga, M. E. M., Batista, M. T., and de Sousa, H. C. (2010). Effect of solvent (CO2/ethanol/H2O) on the fractionated enhanced solvent extraction of anthocyanins from elderberry pomace. *The Journal of Supercritical Fluids,* 54: 145-152.

Simla, S., Boontang, S. and Siritrakulsak, P. (2013). The evaluation of some Phytochemical content and Antioxidant activity in *Carissa carandas* L. *Khon Kaen Agr. J.* 41 SUPPL. 1: 602-606.

Singh, R. P. Chidambara, K. N. and Jayaprakasha, G. K. (2002). Studies on the antioxidant activity of Pomegranate (*Punica granatum*) peel and seed extracts using in *vitro* models. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50: 81-86.

Solomon, A., Golubowicz, S., Yablowicz, Z., Grossman, S., Bergman, M., Gottlieb, H.E., Altman, A., Kerem, Z., Flaishman, M.A. (2006). Antioxidant activities and anthocyanin content of fresh fruits of common fig (*Ficus carica* L.). *J Agric Food Chem*, 4: 54(20): 7717-23.

Takahata, Y., Kai, Y., Tanaka, M., Nakayama, H. and Yoshinaga, M. (2011). Enlargement of the variances in amount and composition of anthocyanin pigments in sweet potato storage roots and their effect on the differences in DPPH radical-scavenging activity. *Scientia Horticulturae*. 127: 469-474.

Tsuda, T., Shiga, K., Ohshima, K., Kawakishi, S., and Osawa, T., (1996). Inhibition of lipid peroxidation and the active oxygen radical scavenging effect of anthocyanin pigments isolated from *Phaseolus vulgaris* L. *Biochemical Pharmacology*, 52: 1033-1039.

Vivar-Quintana, A.M., Santos-Buelga, C., and Rivas-Gonzalo, J.C. (2002). Anthocyanin-derived pigments and colour of red wines. *Analytica Chimica Acta*, 458: 147-155.

Williams, C. A., Harborne, J. B., and Mayo, S. J. (1981). Anthocyanin pigments and leaf flavonoids in the family araceae. *Phytochemistry,* 20: 217-234.

ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ก

1ก. การวิเคราะห์ปริมาณแอนโธไซยานิน (Total and Colored Anthocyanins) ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟร์โตมิเตอร์ (Spectrophotometer UV-vis, รุ่น Libra S22, Biochrom, UK) ดัดแปลงจากวิธีการของ Bae and Suh (2007)

นำสารสกัดจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ปริมาณ 1.96 มิลลิลิตร บรรจุลงในคิวเวทท์ (Cuvette) แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 520 นาโนเมตร (A520) จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (Sodium metabisulphite) (20 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร) ปริมาณ 0.04 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้นาน 1 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 520 นาโนเมตร ($A_{520}^{SO_2}$) อีกครั้ง และนำสารสกัดฯ ปริมาณ 0.1 มิลลิลิตร ผสมกับกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร ปริมาณ 4.9 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองผสมให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ 180 นาทีที่อุณหภูมิห้อง และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 520 นาโนเมตร (A_{520}^{HCl}) โดยใช้สารละลายเอทานอลร้อยละ 12 เป็นตัวควบคุม (Blank) จากนั้นคำนวณปริมาณความเข้มข้นของสารแอนโธไซยานิน (Total anthocyanins, TA) และค่าสีของสารแอนโธไซยานิน (Coloured (ionized) anthocyanins, CA) ซึ่งอยู่ในรูปของMalvidin-3-glucoside สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 และสมการที่ 2

$$\text{TA } (\mu g/g) = 20\times[A_{520}^{HCl} - (\frac{5}{3} \times A_{520}^{SO_2}]\times \text{final extract volumn (mL)/homogenate weight (g)}.....(1)$$

$$\text{CA } (\mu g/g) = 20\times[A_{520} - A_{520}^{SO_2}]\times \text{ final extract volumn (mL) /homogenate weight (g)}.....(2)$$

2ก. การวิเคราะห์ปริมาณสารบีตาไซยานิน ด้วยเครื่อง UV-vis Spectrophotometer ดัดแปลงวิธีจาก Wybraniec และ Mizrahi (2002) และ Wu et al. (2006)

นำสารสกัดจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่มาทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงของ UV-vis ในช่วง 200-700 nm เพื่อหาค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด (λmax) แล้วนำค่านั้นมาคำนวณหาปริมาณสารบีตาไซยานินจากสมการที่ 3

$$\text{Concentration of betacyanins (mg/g of dried extracts weight)} = \frac{A_{537}(MW)V(DF)\times 100}{\varepsilon LW}.....(3)$$

เมื่อ *A537* คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ 537 nm (max)

L คือ ค่าความยาวของคอลัมน์ (path length) มีค่าเท่ากับ 1.0 cm

DF คือ อัตราการเจือจาง (dilution factor)

V คือ ปริมาณสารละลายรงควัตถุ (mL)

W คือ น้ำหนักสดของรงควัตถุ (g)

ε คือ ค่า Molar extinction coefficient ของ Betanin = 65,000 mol*cm

MW ของ Betanin มีค่าเท่ากับ 550 g/mol

3ก. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด (total polyphenols, TP) ดัดแปลงจากวิธีการของ Bae and Suh (2007)

ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด คำนวณด้วยวิธีของ Folin-Ciocalteu โดยนำน้ำกลั่น ปริมาณ 3.95 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายตัวอย่างที่ผ่านการสกัดและเจือจางอย่างเหมาะสมปริมาณ 0.05 มิลลิลิตร แล้วเติมสาร Folin-Ciocalteu reagent (0.25 มิลลิลิตร) ลงในหลอดทดลองมาผสมให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้นาน 1 นาที จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้น 20 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ปริมาณ 0.75 มิลลิลิตร เมื่อผสมให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ในที่มืดอุณหภูมิห้องนาน 120 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 750 นาโนเมตร แล้วคำนวณหาปริมาณความเข้มข้นของปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดจากกราฟมาตรฐานโดยใช้สาร gallic acid เป็นสารละลายมาตรฐานในช่วง 50-800 มิลลิกรัมต่อลิตร

4ก. การศึกษาคุณสมบัติในการเป็นสารกำจัดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

1) **วิธี DPPH• radical scavenging activity** ดัดแปลงจากวิธีการของ Cai, Sun และ Corke (2003), Wu et al (2006) และ Sumaya-Martínex et al (2011)

นำสารละลาย DPPH• ความเข้มข้น 60 ไมโครโมลาร์ ที่ละลายด้วยเอทานอลร้อยละ 80 (3.9 มิลลิลิตร) ผสมกับสารละลายตัวอย่างสารสกัดแอนโธไซยานินจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ ที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน 6 ระดับ แล้วเขย่านาน 15 วินาที ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องนาน 180 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยง (centrifugation) ที่ความเร็วรอบ 10,000 rpm ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที ก่อนนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 515 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ส่วนสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องนาน 1 นาที โดยใช้สารละลายเอทานอลร้อยละ 80 เป็นตัวควบคุม และใช้สารละลาย DPPH• ที่ไม่มีส่วนผสมของตัวอย่าง (DPPH• ปริมาณ 3.9 มิลลิลิตร ผสมกับเอทานอลร้อยละ 80 ปริมาณ 0.1 มิลลิลิตร) เป็นตัวควบคุม ทำการทดสอบจำนวน 3 ซ้ำ แล้วคำนวณ

ค่าเปอร์เซ็นต์การขัดขวางของค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH• (inhibition (ร้อยละ) of DPPH• absorbance) = ($A_{control} - A_{test}$) x 100/$A_{control}$ จากนั้นเขียนกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH• กับค่าความเข้มข้นของค่าแอนตี้ออกซิแดน แล้วคำนวณค่า IC50 เมื่อค่า $A_{control}$ เป็นค่าการดูดกลืนแสงของตัวควบคุม (สารละลาย DPPH• ที่ไม่มีส่วนผสมของตัวอย่าง) และค่า A_{test} เป็นค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง (สารละลาย DPPH• ผสมกับสารสกัดตัวอย่างปริมาณ 0.1 มิลลิลิตร) โดยใช้กรดแอสคอร์บิกเป็นสารมาตรฐานและวิเคราะห์ค่าโดยเทียบกับกรดแอสคอร์บิก

2) **วิธีวิเคราะห์ ABTS•+** ตามวิธีการของ Wu et al. (2006)

เตรียมสารละลาย ABTS•+ radical cation โดยนำสารละลายโพแทสเซียมเพอร์ซัลเฟต (K_2S_2O8) ความเข้มข้น 2.45 มิลลิโมลาร์ ผสมกับสารละลาย ABTS ความเข้มข้น 7 มิลลิโมลาร์ ในสารละลาย 0.01 โมลาร์ ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ที่ pH 7.4 นาน 16 ชั่วโมงในที่มืดอุณหภูมิห้อง แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตร ให้มีค่าประมาณ 0.70 ± 0.02 แล้วนา สารมาตรฐานและสารละลายสารสกัดแอนโธไซยานินที่ได้จากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่ที่เจือจางให้มีระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน 6 ระดับ (0.1 มิลลิลิตร) ผสมกับสารละลาย ABTS•+ (1.9 มิลลิลิตร) แล้วทิ้งไว้นาน 3 นาที จากนั้นนา ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตเมตริกที่ช่วงเวลาต่างกัน ตัวควบคุมที่ไม่มีสารมาตรฐานหรือตัวอย่างถูกใช้เป็น Blank และเติมสาร PBS ลงไปแทนตัวอย่างควบคุม สาร Trolox ซึ่งเป็นสารที่สามารถละลายน้ำและเป็นสาร α -tocopherol (วิตามินอี) ใช้เป็นสารมาตรฐาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ข

ใบรายงานผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ผลิตภัณฑ์ : อาหารมายองเนส วันที่ : _____

ผู้ทดสอบ : _____

<u>คำแนะนำ</u>: กรุณาทดสอบผลิตภัณฑ์ตามรหัสตัวอย่างเสนอ และให้คะแนนความชอบตามที่ท่านรู้สึก ดังนี้ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด, 2 = ไม่ชอบปานกลาง, 3 = ไม่ชอบเล็กน้อย, 4 = บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ, 5 = ชอบเล็กน้อย, 6 = ชอบปานกลาง และ 7 = ชอบมากที่สุด (กรุณาบ้วนปากก่อนทดสอบทุกครั้ง)

ลักษณะปรากฏโดยรวม

รหัสตัวอย่าง	.....	.....	.....	.....	.....
ลำดับความชอบ	.....	.....	.....	.....	.....

สี

รหัสตัวอย่าง	.....	.....	.....	.....	.....
ลำดับความชอบ	.....	.....	.....	.....	.....

กลิ่นรส

รหัสตัวอย่าง	.....	.....	.....	.....	.....
ลำดับความชอบ	.....	.....	.....	.....	.....

รสชาติ

รหัสตัวอย่าง	.....	.....	.....	.....	.....
ลำดับความชอบ	.....	.....	.....	.....	.....

ความชอบโดยรวม

รหัสตัวอย่าง	.....	.....	.....	.....	.....
ลำดับความชอบ	.....	.....	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ

_____

_____

ขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ

รูปที่ 1ข แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส การเรียงลำดับความชอบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 1ข ลักษณะปรากฏของตัวอย่างมายองเนสที่ไม่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานิน และมีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินร้อยละ 5 ที่เก็บที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 15 วัน

Day	Anthocyanin	Temp (°C)	Appearance
0	ร้อยละ 0	-	มายองเนสมีสีเหลืองอ่อนนวลออกขาว ลักษณะข้นหนืดไม่ปรากฏการแยกชั้น มีกลิ่นหอม และมีกลิ่นน้ำส้มสายชูเล็กน้อย
	ร้อยละ 5	-	มายองเนสมีสีเหลืองอ่อนนวลออกขาว ลักษณะข้นหนืดไม่ปรากฏการแยกชั้น มีกลิ่นหอม และมีกลิ่นน้ำส้มสายชูเล็กน้อย
3	ร้อยละ 0	10	มายองเนสมีสีเหลืองอ่อนนวลออกขาว ลักษณะข้นหนืดไม่ปรากฏการแยกชั้น มีกลิ่นหอม และมีกลิ่นน้ำส้มสายชูเล็กน้อย เหมือนวันที่ 0
		25	มายองเนสมีสีเหลืองเข้มขึ้นเล็กน้อย ลักษณะข้นหนืดไม่ปรากฏการแยกชั้น มีกลิ่นหอม และมีกลิ่นน้ำส้มสายชูเล็กน้อย
		35	มายองเนสมีสีเหลืองเข้มขึ้นเล็กน้อย ลักษณะเหลวขึ้นเล็กน้อยไม่ปรากฏการแยกชั้น มีกลิ่นหอม และมีกลิ่นน้ำส้มสายชูแรงขึ้นเล็กน้อย
	ร้อยละ 5	10	มายองเนสมีสีเหลืองอ่อนนวลออกขาว ลักษณะข้นหนืดไม่ปรากฏการแยกชั้น มีกลิ่นหอม และมีกลิ่นน้ำส้มสายชูเล็กน้อย เหมือนวันที่ 0
		25	มายองเนสมีสีเหลืองอ่อนนวลออกขาว ลักษณะข้นหนืดไม่ปรากฏการแยกชั้น มีกลิ่นหอม และมีกลิ่นน้ำส้มสายชูเล็กน้อย เหมือนวันที่ 0
		35	มายองเนสมีสีเหลืองเข้มขึ้นเล็กน้อย ลักษณะเหลวขึ้นเล็กน้อยไม่ปรากฏการแยกชั้น มีกลิ่นหอม และมีกลิ่นน้ำส้มสายชูแรงขึ้นเล็กน้อย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 1ข (ต่อ)

Day	Anthocyanin	Temp (°C)	Appearance
6	ร้อยละ 0	10	มายองเนสมีสีเหลืองเข้มขึ้นเล็กน้อย ลักษณะข้นหนืดไม่ปรากฏการแยกชั้น มีกลิ่นหอม และมีกลิ่นน้ำส้มสายชูเล็กน้อย
		25	มายองเนสมีสีเหลืองเข้มขึ้นมากกว่าวันที่ 3 ลักษณะข้นหนืดไม่ปรากฏการแยกชั้น มีกลิ่นหอม และมีกลิ่นน้ำส้มสายชูเล็กน้อย
		35	มายองเนสมีสีเหลืองเข้มขึ้นมากที่สุดเมื่อเทียบกับสภาวะอื่น ลักษณะเหลวขึ้นกว่าวันที่ 3 เริ่มปรากฏการแยกชั้นโดยมีลักษณะวาวใสของน้ำมัน เริ่มมีกลิ่นฉุนของน้ำส้มสายชูแรงขึ้นเล็กน้อย
	ร้อยละ 5	10	มายองเนสมีสีเหลืองอ่อนนวลออกขาว ลักษณะข้นหนืดไม่ปรากฏการแยกชั้น มีกลิ่นหอม และมีกลิ่นน้ำส้มสายชูเล็กน้อย เหมือนวันที่ 0
		25	มายองเนสมีสีเหลืองอ่อนนวลออกขาว ลักษณะข้นหนืดไม่ปรากฏการแยกชั้น มีกลิ่นหอม และมีกลิ่นน้ำส้มสายชูเล็กน้อย เหมือนวันที่ 0
		35	มายองเนสมีสีเหลืองเข้มขึ้นมากกว่าสภาวะอุณหภูมิอื่น ลักษณะเหลวขึ้นกว่าวันที่ 3 เริ่มปรากฏการแยกชั้นโดยมีลักษณะวาวใสของน้ำมัน เริ่มมีกลิ่นฉุนของน้ำส้มสายชูแรงขึ้นเล็กน้อย
9	ร้อยละ 0	10	มายองเนสมีสีเหลืองเข้มขึ้นเล็กน้อย ลักษณะข้นหนืดไม่ปรากฏการแยกชั้น มีกลิ่นหอม และมีกลิ่นน้ำส้มสายชูเล็กน้อย
		25	มายองเนสมีสีเหลืองเข้มขึ้นมากกว่าวันที่ 6 เริ่มมีลักษณะข้นหนืดน้อยลงไม่ปรากฏการแยกชั้น มีกลิ่นหอม และมีกลิ่นน้ำส้มสายชูเล็กน้อย
		35	มายองเนสมีสีเหลืองเข้มขึ้นมากที่สุดเมื่อเทียบกับสภาวะอื่น ลักษณะเหลวขึ้นกว่าวันที่ 6 เริ่มปรากฏการแยกชั้นมากขึ้นโดยมีลักษณะชั้นของน้ำมันลอยอยู่ด้านบน มีกลิ่นฉุนของน้ำส้มสายชูแรงขึ้นและมีกลิ่นหืนของน้ำมัน

ตารางที่ 1ข (ต่อ)

Day	Anthocyanin	Temp (°C)	Appearance
9	ร้อยละ 5	10	มายองเนสมีสีเหลืองอ่อนนวลออกขาว ลักษณะข้นหนืดไม่ปรากฏการแยกชั้น มีกลิ่นหอม และมีกลิ่นน้ำส้มสายชูเล็กน้อย เหมือนวันที่ 0
		25	มายองเนสมีสีเหลืองเข้มขึ้นมากกว่าวันที่ 6 ลักษณะข้นหนืดไม่ปรากฏการแยกชั้น มีกลิ่นหอม และมีกลิ่นน้ำส้มสายชูเล็กน้อย เหมือนวันที่ 0
		35	มายองเนสมีสีเหลืองเข้มขึ้นมากกว่าสภาวะอุณหภูมิอื่น ลักษณะเหลวขึ้นกว่าวันที่ 6 เริ่มปรากฏการแยกชั้นมากขึ้นโดยมีลักษณะชั้นของน้ำมันลอยอยู่ด้านบน มีกลิ่นฉุนของน้ำส้มสายชูแรงขึ้นและมีกลิ่นหืนของน้ำมันแต่น้อยกว่า 0ร้อยละ
12	ร้อยละ 0	10	มายองเนสมีสีเหลืองเข้มขึ้นเล็กน้อย ลักษณะข้นหนืดไม่ปรากฏการแยกชั้น มีกลิ่นหอม และมีกลิ่นน้ำส้มสายชูเล็กน้อย
		25	มายองเนสมีสีเหลืองเข้มขึ้นมากกว่าวันที่ 9 มีลักษณะข้นหนืดน้อยลงไม่ปรากฏการแยกชั้น มีกลิ่นหอม และมีกลิ่นน้ำส้มสายชูเพิ่มขึ้นเล็กน้อย
		35	มายองเนสมีสีเหลืองเข้มขึ้นมากที่สุดเมื่อเทียบกับสภาวะอื่น ลักษณะเหลวขึ้นกว่าวันที่ 9 มีการแยกชั้นมากขึ้นโดยมีลักษณะชั้นของน้ำมันลอยอยู่ด้านบน มีกลิ่นฉุนของน้ำส้มสายชูแรงขึ้นและมีกลิ่นหืนของน้ำมันเพิ่มขึ้น
	ร้อยละ 5	10	มายองเนสมีสีเหลืองอ่อนนวลออกขาว ลักษณะข้นหนืดไม่ปรากฏการแยกชั้น มีกลิ่นหอม และมีกลิ่นน้ำส้มสายชูเล็กน้อย เหมือนวันที่ 0
		25	มายองเนสมีสีเหลืองเข้มขึ้นมากกว่าวันที่ 9 มีลักษณะข้นหนืดลดลงไม่ปรากฏการแยกชั้น มีกลิ่นหอม และมีกลิ่นน้ำส้มสายชูเล็กน้อย เหมือนวันที่ 0
		35	มายองเนสมีสีเหลืองเข้มขึ้นมากกว่าสภาวะอุณหภูมิอื่น ลักษณะเหลวขึ้นกว่าวันที่ 9 มีการแยกชั้นมากขึ้นโดยมีลักษณะชั้นของน้ำมันลอยอยู่ด้านบน มีกลิ่นฉุนของน้ำส้มสายชูแรงขึ้นและมีกลิ่นหืนของน้ำมันเพิ่มขึ้นแต่น้อยกว่า 0ร้อยละ

ตารางที่ 1ข (ต่อ)

Day	Anthocyanin	Temp (°C)	Appearance
15	ร้อยละ 0	10	มายองเนสมีสีเหลืองเข้มขึ้นเล็กน้อย ลักษณะข้นหนืดไม่ปรากฏการแยกชั้น มีกลิ่นหอม และมีกลิ่นน้ำส้มสายชูเล็กน้อย
		25	มายองเนสมีสีเหลืองเข้มขึ้นมากกว่าวันที่ 12 มีลักษณะข้นหนืดน้อยลง เริ่มปรากฏการแยกชั้นโดยมีลักษณะวาวใสของน้ำมัน มีกลิ่นน้ำส้มสายชูเพิ่มขึ้นเล็กน้อย
		35	มายองเนสมีสีเหลืองเข้มขึ้นมากที่สุดเมื่อเทียบกับสภาวะอื่น ลักษณะเหลวขึ้นกว่าวันที่ 12 มีการแยกชั้นมากขึ้นโดยมีลักษณะชั้นของน้ำมันลอยอยู่ด้านบน มีกลิ่นฉุนของน้ำส้มสายชูแรงขึ้นและมีกลิ่นหืนของน้ำมันเพิ่มขึ้น
	ร้อยละ 5	10	มายองเนสมีสีเหลืองอ่อนนวลออกขาว ลักษณะข้นหนืดไม่ปรากฏการแยกชั้น มีกลิ่นหอม และมีกลิ่นน้ำส้มสายชูเล็กน้อย เหมือนวันที่ 0
		25	มายองเนสมีสีเหลืองเข้มขึ้นมากกว่าวันที่ 12 มีลักษณะข้นหนืดลดลง ไม่ปรากฏการแยกชั้น มีกลิ่นหอม และมีกลิ่นน้ำส้มสายชูเล็กน้อย เหมือนวันที่ 0
		35	มายองเนสมีสีเหลืองเข้มขึ้นมากกว่าสภาวะอุณหภูมิอื่น ลักษณะเหลวขึ้นกว่าวันที่ 12 มีการแยกชั้นมากขึ้นโดยมีลักษณะชั้นของน้ำมันลอยอยู่ด้านบน มีกลิ่นฉุนของน้ำส้มสายชูแรงขึ้นและมีกลิ่นหืนของน้ำมันเพิ่มขึ้นแต่น้อยกว่า 0ร้อยละ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ค

ตารางที่ 1ค ค่าพีเอชของตัวอย่างมายองเนสที่ไม่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานิน และมีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินร้อยละ 5 ที่เก็บที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 15 วัน

		ปริมาณสารสกัดแอนโธไซยานิน ร้อยละ 0			ปริมาณสารสกัดแอนโธไซยานิน ร้อยละ 5		
	Temp (°C)	10	25	35	10	25	35
Day	0	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99
	3	3.98	3.98	4.02	4.02	3.99	3.99
	6	3.96	3.97	4.00	3.97	3.95	4.01
	9	3.98	3.99	4.00	3.96	3.99	4.04
	12	3.99	4.01	4.02	3.98	4.0	4.05
	15	3.98	3.96	4.02	3.95	3.96	4.01

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ง

ตารางที่ 1ง การแยกชั้น (ร้อยละ) ของตัวอย่างมายองเนสที่ไม่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานิน และมีส่วนผสมของสารสกัดแอนโธไซยานินร้อยละ 5 ที่เก็บที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 15 วัน

		ปริมาณสารสกัดแอนโธไซยานิน ร้อยละ 0			ปริมาณสารสกัดแอนโธไซยานิน ร้อยละ 5		
	Temp (°C)	10	25	35	10	25	35
Day	0	8.12	7.65	8.24	7.57	8.03	7.19
	3	8.39	12.22	12.96	7.74	11.60	12.37
	6	10.61	21.49	23.79	9.78	20.86	21.40
	9	11.22	25.42	32.28	10.31	23.17	27.60
	12	12.80	27.15	41.58	10.98	25.65	32.54
	15	13.92	35.46	47.00	12.76	30.08	41.46

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก จ

ตารางที่ 1จ ปริมาณ TBARS (mg/L) ที่พบในตัวอย่างมายองเนสชนิดที่ไม่มีสารสกัดแอนโธไซยานิน และชนิดที่มีสารสกัดแอนโธไซยานินร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส

		ปริมาณสารสกัดแอนโธไซยานิน ร้อยละ 0			ปริมาณสารสกัดแอนโธไซยานิน ร้อยละ 5		
	Temp (°C)	10	25	35	10	25	35
Day	0	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
	3	0.003	0.009	0.012	0.000	0.003	0.006
	6	0.003	0.009	0.018	0.001	0.006	0.010
	9	0.006	0.013	0.026	0.001	0.009	0.011
	12	0.010	0.019	0.025	0.001	0.012	0.018
	15	0.014	0.023	0.026	0.001	0.014	0.019

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ฉ

ตารางที่ 1ฉ ปริมาณ POV (mEg/L) ที่พบในตัวอย่างมายองเนสชนิดที่ไม่มีสารสกัดแอนโธไซยานิน และชนิดที่มีสารสกัดแอนโธไซยานินร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส

		ปริมาณสารสกัดแอนโธไซยานิน ร้อยละ 0			ปริมาณสารสกัดแอนโธไซยานิน ร้อยละ 5		
	Temp (°C)	10	25	35	10	25	35
Day	0	-	0.0042	0.0042	-	0.0042	0.0208
	3	-	-	0.3642	0.0042	0.0208	0.1042
	6	0.0042	-	1.0375	0.0042	-	1.8042
	9	0.0083	-	1.4667	-	-	-
	12	-	0.3417	2.9292	-	0.6000	-
	15	0.0317	0.4458	3.6125	0.0392	-	3.1042

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ช

ตารางที่ 1ช ปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้น (วันที่ 0) ที่พบในตัวอย่างมายองเนสชนิดที่ไม่มีสารสกัดแอนโธไซยานินและชนิดที่มีสารสกัดแอนโธไซยานินร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส

		ปริมาณสารสกัดแอนโธไซยานิน ร้อยละ 0		ปริมาณสารสกัดแอนโธไซยานิน ร้อยละ 5	
	Temp	10^{-1}	10^{-2}	10^{-1}	10^{-2}
Total plate count	10°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	25°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	35°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Yeast and Mold	10°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	25°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	35°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Coliform	10°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	25°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	35°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Lactobacillus	10°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	25°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	35°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2ช ปริมาณจุลินทรีย์ที่พบในตัวอย่างมายองเนสชนิดที่ไม่มีสารสกัดแอนโธไซยานิน และชนิดที่มีสารสกัดแอนโธไซยานินร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส ในวันที่ 3

		ปริมาณสารสกัดแอนโธไซยานิน ร้อยละ 0		ปริมาณสารสกัดแอนโธไซยานิน ร้อยละ 5	
	Temp	10^{-1}	10^{-2}	10^{-1}	10^{-2}
Total plate count	10°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	25°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	35°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Yeast and Mold	10°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	25°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	35°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Coliform	10°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	25°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	35°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Lactobacillus	10°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	25°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	35°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3ช ปริมาณจุลินทรีย์ที่พบในตัวอย่างมายองเนสชนิดที่ไม่มีสารสกัดแอนโธไซยานิน และชนิดที่มีสารสกัดแอนโธไซยานินร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส ในวันที่ 6

		ปริมาณสารสกัดแอนโธไซยานิน ร้อยละ 0		ปริมาณสารสกัดแอนโธไซยานิน ร้อยละ 5	
	Temp	10^{-1}	10^{-2}	10^{-1}	10^{-2}
Total plate count	10°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	25°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	35°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Yeast and Mold	10°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	25°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	35°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Coliform	10°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	25°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	35°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Lactobacillus	10°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	25°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	35°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4ช ปริมาณจุลินทรีย์ที่พบในตัวอย่างมายองเนสชนิดที่ไม่มีสารสกัดแอนโธไซยานิน และชนิดที่มีสารสกัดแอนโธไซยานินร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส ในวันที่ 9

		ปริมาณสารสกัดแอนโธไซยานิน ร้อยละ 0		ปริมาณสารสกัดแอนโธไซยานิน ร้อยละ 5	
	Temp	10^{-1}	10^{-2}	10^{-1}	10^{-2}
Total plate count	10°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	25°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	35°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Yeast and Mold	10°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	25°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	35°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Coliform	10°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	25°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	35°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Lactobacillus	10°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	25°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	35°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 5ช ปริมาณจุลินทรีย์ที่พบในตัวอย่างมายองเนสชนิดที่ไม่มีสารสกัดแอนโธไซยานิน และชนิดที่มีสารสกัดแอนโธไซยานินร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส ในวันที่ 12

		ปริมาณสารสกัดแอนโธไซยานิน ร้อยละ 0		ปริมาณสารสกัดแอนโธไซยานิน ร้อยละ 5	
	Temp	10^{-1}	10^{-2}	10^{-1}	10^{-2}
Total plate count	10°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	25°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	35°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Yeast and Mold	10°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	25°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	35°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Coliform	10°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	25°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	35°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Lactobacillus	10°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	25°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	35°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 6ช ปริมาณจุลินทรีย์ที่พบในตัวอย่างมายองเนสชนิดที่ไม่มีสารสกัดแอนโธไซยานิน และชนิดที่มีสารสกัดแอนโธไซยานินร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส ในวันที่ 15

		ปริมาณสารสกัดแอนโธไซยานิน ร้อยละ 0		ปริมาณสารสกัดแอนโธไซยานิน ร้อยละ 5	
	Temp	10^{-1}	10^{-2}	10^{-1}	10^{-2}
Total plate count	10°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	25°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	35°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Yeast and Mold	10°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	25°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	35°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Coliform	10°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	25°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	35°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Lactobacillus	10°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	25°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	35°C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ-สกุล : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวัฒ ไทยอุดม

2. การศึกษา : วท.บ. (พัฒนาผลิตภัณฑ์ เกียรตินิยม), ม.เกษตรศาสตร์, 2535
วท.ม. (เทคโนโลยีอาหาร), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538
Ph.D. (Food Science), U. of Guelph, 2545

3. ตำแหน่งปัจจุบัน : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร
สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

4. ประสบการณ์ทำงาน :

ก.ย. 2538 อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

ส.ค. 2540 ผู้ช่วยวิจัยสาขาวิทยาศาสตร์อาหาร U. of Guelph, Canada

ธ.ค. 2545 อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

ก.พ. 2546 Fellowship โครงการ Modern Biotechnology and Technology Transfer ประเทศเยอรมัน

ต.ค. 2548-ม.ค. 2552 ผู้ช่วยผู้อำนวยการศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มี.ค. 2550 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

ม.ค. 2552-ก.ย. 2552 รองผู้อำนวยการศูนย์สหกิจศึกษาและพัฒนาอาชีพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ต.ค. 2552-ต.ค. 2554 ผู้อำนวยการศูนย์สหกิจศึกษาและพัฒนาอาชีพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ต.ค. 2554- 2556 ผู้อำนวยการศูนย์กิจการนานาชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

พ.ย. 2556-ปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ต.ค. 2560-ปัจจุบัน ผู้จัดการสำนักงานบริการวิชาการและโครงการพิเศษ และผู้จัดการเครือข่ายโปรแกรมพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม เทคโนธานี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

5. การอบรมที่มีใบรับรองทางวิชาชีพ :

มิ.ย. 2539 หลักสูตร หลักการและวิธีการควบคุมการฆ่าเชื้ออาหารกระป๋องที่มีความเป็นกรดต่ำ จัดโดย สมาคมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางอาหารแห่งประเทศไทย (FoSTAT)

มี.ค.-ธ.ค. 2546 Advanced Professional Training on Modern Biotechnology and Technology Transfer, Germany

มี.ค. 2548 Ensuring Food and Feed Quality and Safety of Agricultural Products, Khon Kaen, Thailand

ต.ค.-ธ.ค. 2548 Advanced Sensory Descriptive Analysis, Bangkok, Thailand

มี.ค. 2551 การจัดการความปลอดภัยอาหารสำหรับ SEM โดนระบบ Pre-HACCP, กรุงเทพฯ ประเทศไทย

เม.ย.-พ.ค. 2551 ISO2200:2005 Food Safety Management Systems (Auditor/Lead Auditor Training Course), Bangkok, Thailand authorized by i-VAC Certification Limited

พ.ค. 2551 Better Process Control School: Thermal Processing of Low-Acid and/or Acidified Foods, FDA training in Thailand held by KMUTT, Bangkok, Thailand

ก.ย. 2551 การจัดทำเอกสารระบบคุณภาพและความรู้ความเข้าใจในข้อกำหนดตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025, กรุงเทพฯ ประเทศไทย

เม.ย. 2552 หลักสูตร ผู้รับผิดชอบสหกิจศึกษาในสถานศึกษาและสถานประกอบการ, จัดโดย สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา, กรุงเทพฯ ประเทศไทย

มิ.ย. 2552 Training Course on ISO22000: 2005 Food Safety Management System Documentation & Implementation, Bangkok, Thailand organized by AIAC, nfi and QMC

ต.ค.-ธ.ค. 2552 หลักสูตรผู้อบรม 7 Habits for University Students, PacRim Group, Thailand

ม.ค. 2553 หลักสูตร การฝึกอบรมสำหรับผู้ให้การฝึกอบรมสหกิจศึกษา จัดโดยสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา, กรุงเทพฯ ประเทศไทย

ม.ค. 2553 Training of The Trainers TACE/WACE Programme, Bangkok, Thailand

ม.ค. 2554 หลักสูตร การเตรียมความพร้อมเจ้าหน้าที่ผู้ตรวจประเมินและผู้ประกอบการเข้าสู่มาตรฐาน GMP อาหารกระป๋องและอาหารแช่เยือกแข็ง, นนทบุรี จัดโดยสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข ประเทศไทย

มี.ค. 2557 อาหารฮาลาลและแนวทางปฏิบัติเพื่อการอุตสาหกรรม, คณะกรรมการกลางอิสลามแห่งประเทศไทย, นครราชสีมา

ส.ค. 2557 Food Safety and Nutrition Security Counseling Program, Bangkok, Thailand

ต.ค. 2558 ธรรมาภิบาลเพื่อการพัฒนาคณะ จัดโดยสถาบันคลังสมองของชาติ ประเทศไทย

ส.ค. 2559 Human Subject Protection Course, Nakhon Ratchasima, Thailand by FERCIT

ต.ค. 2559 The AUN-QA Training Course for Accomplishing Programme Assessment 2016, Bangkok, Thailand authorized by Asean University Network

6. ผลงานวิชาการ :

6.1 หนังสือและเอกสารวิชาการ

1) เอกสารประกอบการสอน รายวิชา การควบคุมคุณภาพอาหาร

2) เอกสารประกอบการสอน รายวิชา อาหารและโภชนาการ

3) เอกสารประกอบการสอนอิเล็คโทนิกส์ เรื่อง สีผสมอาหาร

4) เอกสารประกอบการสอนอิเล็คโทนิกส์ เรื่อง การควบคุมคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหาร

5) เอกสารประกอบการสอนอิเล็คโทนิกส์ เรื่อง วัตถุเจือปนที่ห้ามใช้ในอาหาร

6) เอกสารประกอบการสอนอิเล็คโทนิกส์ เรื่อง การใช้น้ำตาลในอาหาร

6.2 บทความและการนำเสนอทางวิชการ

S. Thaiudom and H.D. Goff, (2003), Effect of **K**-carrageenanon milk protein polysaccharide mixtures, International Dairy Journal 13 pp. 763–771.

Thaiudom, S. (2007). Effects of ratio of milk fat to soy bean oil and whipping time on qualities of milk ice cream. Songklanakarin J. Sci. Technol. 29(1) : 191-204.

Suwayd Ningsanond, Piyawan Gasalak, Khowgamond Donkhaow, Narin Sithithoon and Siwatt Thaiudom. (2007). A study of food safety in fruits and vegetables : Fee market and Vender Cart. KNIT Thailand grant research report (in Thai).

Nantika Thungmanee, Kanok-Orn Intarapichet and Sukrit Thaiudom. (2007). Effects of spraydrying parameters of whole egg on water activity, color and oxidation, illustrated by using response surface design. Proceeding of The Food Innovation Asia 2007. BITECBangkok Thailand .

Thaiudom, S. (2007). Effect of modified tapioca as ice cream stabilizer and non butter fat on the overrun and air cell stability of ice cream model system. Report, Reported to National Center for Genetic Engineering and Biotechnology National Science & Technology Development Agency.

Tidawan Pojit and Siwatt Thaiudom. (2008). Influences of milk proteins and emulsifiers on the stability and quality of ice cream. Oral Presentation in the 34th Scientific and

Technological Meeting of Thailand. Queen Sirikit Conventional Hall. Bangkok. 31 October-2 November 2008.

Siwatt Thaiudom, Khoon Singchan, and Thanomduang Saeli. (2008). Comparison of Commercial stabilizers with modified tapioca starches on foam stability and overrun of ice cream. As. J. Food Ag-Ind. 2008, 1(01), 51-61

S. Thaiudom (2009) The affective tests of pasteurized milk containing sunflower oil as substitute and fortified vitamin D_3 and calcium. 8th Pangborn Sensory Science Symposium 26-30 July 2009, Stazione Leopolda, Florence, Italy.

Siwatt Thaiudom (2010). Comparisons of physical and rheological properties of milk ice cream containing hydroxypropylated starch and kappa-carrageenan as stabilizer. 1st International Congress on Food Technology, 3-6 November 2010, Antalya, Turkey.

S. Thaiudom (2011) Stability and rheological properties of fat-reduced mayonnaises by using sodium octenyl succinate starch as fat replacer. 11th International Congress on Engineering and Food: Food Process Engineering in a Changing World (iCEF11), 22-26 May 2011. Athens, Greece

S. Thaiudom (2011) Stability and rheological properties of fat-reduced mayonnaises by using sodium octenyl succinate starch as fat replacer. Procedia Food Science. 1:315-321.

K. Khantarat and S. Thaiudom (2011) Stability and Rheological Properties of Fat-Reduced Mayonnaises Containing Modified Starches as Fat Replacer. Thai Journal of Agricultural Science 44(5): 304-311.

S. Thaiudom (2012) The effects of milk/ modified starch interaction on rheological properties and stability of O/ W emulsion. Abstract. The 11th International Hydrocolloids Conference. 14- 18 May 2012. Whistler Center for Carbohydrate Research, Purdue University, Indiana, USA.

S. Thaiudom, K. Khantarat, H. Nopcharoonsri (2012). Influences of milk protein/modified starch interaction and pasteurization conditions on O/W emulsion characteristics. The 11th International Hydrocolloids Conference. 14-18 May 2012. Whistler Center for Carbohydrate Research, Purdue University, Indiana, USA.

S. Thaiudom and T. Pojit (2013) The effects of emulsifiers and milk proteins on stability, microstructure, and interfacial protein adsorption on fat of ice cream mix. Abstract.

The 2013 UFT Annual Meeting & Food Expo 13-16 July 2013. McComick Place South, Chicago, Illinois, USA

Pachamon Pichayajittipong and Siwatt Thaiudom (2013) Optimization Condition of Natural β-Cyanin Colorant Production from Red Dragon Fruit (Hylocercus polyrhizus) Peels. The 15th Food Innovation Asia Conference 2013. 13-14 June 2013. Bitec Bangna, Bangkok. Thailand.

T. Pojit and S. Thaiudom (2014) The influence of interaction between milk protein types and emulsifiers on fat stabilisation, air cells, melting rate, and overrun of milk ice-cream. The 2nd Symposium on microstructure of dairy products. 3-4 March 2014. Melbourne, Australia. Poster presentation and abstract proceeding.

Sirinat Natisri, Kanjana Mahattanatawee and Siwatt Thaiudom (2014). Flavor improvement of soy ice cream by addition of lemongrass or pandan leaf extracts. Proceeding in The 2nd International Conference on "Food and Applied Bioscience. 6-7 February 2014. Chiang Mai. Thailand.

Pachamon Pichayajittipong and Siwatt Thaiudom (2014) Optimum Condition of Beta-Cyanin Colorant Production from Red Dragon Fruit (*Hylocercus polyrhizus*) Peels using Response Surface Methodology. Proceeding in The 2nd International Conference on "Food and Applied Bioscience. 6-7 February 2014. Chiang Mai. Thailand.

Numphon Thaiwong and Siwatt Thaiudom. Production of Recombinant β-Galactosidase in Lactobacillus plantarum, using a pSIP-Based Food-Grade Expression System. (2014). International Symposium on "Physics and Mechanics of New Materials and Underwater Applications" (PHENMA 2014). March 27-29, 2014, Khon Kaen, Thailand.

Natisri, S., Thaiudom, S. and Mahattanatawee, K. 2014. Flavor improvement of soy ice cream by addition of lemongrass or pandan leaf extracts. Chiang Mai University Journal of Natural Sciences. Special Issue 13(1) : 469-482.

Pichayajittipong, P. and Thaiudom, S. 2014. Optimum condition of beta-cyanin colorant production from red dragon fruit (*Hylocercus polyehizu*) peels using response surface methodology. J of Natural Science Special. Vol 13(1): 483-496.

Thaiwong, N., Thaiudom, S., Haltrich, D., and Yamabhai, M. 2014. Production of recombinant β–galactosidase in *Lactobacillus plantarum*, using a pSIP-based food-grade expression system. Advanced Materials Research. Vol 931-932: 1518-1523.

Pracham, S .and Thaiudom, **S** .2016.The effect of protein content in jasmine rice flour on textural and rheological properties of jasmine rice pudding. International Food Research Journal (23)4: 1379-1388.

S. Thaiudom and S. Pracham. 2018. The influence of rice protein content and mixed stabilizers on textural and rheological properties of jasmine rice pudding**.** Food Hydrocolloids 76: 204-215 (JIR =4.747)

6.3 งานวิจัย (ที่กำลังทำอยู่)

1. การผลิตและศึกษาสมบัติของสารสกัดแอนโธไซยานินจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่เพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์มายองเนส

2. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมนมไขมันต่ำที่มีโอลิโกแซคคาไรด์และโปรไบโอติก

7. ภาระงานสอน :

7.1 ระดับปริญญาตรี

สถิติสำหรับนักเทคโนโลยีอาหาร, การควบคุมคุณภาพอาหาร,การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารและการตลาด, สัมมนา 1, โครงงานเทคโนโลยีอาหาร, การประเมินทางประสาทสัมผัสของอาหาร, บรรจุภัณฑ์อาหาร, เทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์อาหาร

7.2 ระดับปริญญาโทและเอก

สถิติสำหรับการวิจัยทางอุตสาหกรรมเกษตร, วิทยากระแสของอาหาร, เทคโนโลยีคอลลอยด์และอิมัลชันในอาหาร, สมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมของวัสดุธรรมชาติ

8. รางวัล :

8.1 The best poster presentation on research entitled “Process Development of Instant Centella asiatica (Linn.) Urban Drink” in Thailand Food and Packaging Conference 95’ at Queen Sirikrit Conventional Conference Hall, Bangkok. 1995.

8.2 The best poster presentation on research entitled “ The influence of interaction between milk protein types and emulsifiers on fat destabilization, air cells, melting rate, and overrun of milk ice-cream” in the 2nd symposium on microstructure of dairy products, 3-4 March 2014. Melbourne, Australia.

8.3 รางวัลชนะเลิศที่ 1 ถ้วยพระราชทานสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา สยามบรมราชกุมารีฯ อาจารย์ที่ปรึกษา ในการประกวด การนำเสนอบทความ “ทำอย่างไรประเทศไทยจึงจะเป็น HUB ของอุตสาหกรรมนมในอาเซียน” งานโคนมแห่งชาติ 22 มกราคม 2557, หมวกเหล็ก สระบุรี

8.4 Best paper award entitled “Value-added red colourant from red-peel of dragon fruit (*Hylocercus polyrhizus*) and its bioactivity” in The 2nd conference of Food Properties at Bangkok, Thailand. June 2016.