

ผลของอุณหภูมิในการอบแห้งต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของกระเจี๊ยบแดง *Hibiscus sabdariffa*

นายวีรพล บวรวงศ์เสถียร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF DRYING TEMPERATURE ON ANTIOXIDANT ACTIVITY OF ROSELLE

Hibiscus sabdariffa

Mr. Werapol Bowornwongsathien

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของอุณหภูมิในการอบแห้งต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของ
กระเจี๊ยบแดง *Hibiscus sabdariffa*

โดย

นายวีรพล บวรวงศ์เสถียร

สาขาวิชา

เทคโนโลยีทางอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกียรติศักดิ์ ดวงมาลัย

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. นินนาท ชินประห์ขันธ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกียรติศักดิ์ ดวงมาลัย)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ธนจันทร์ มหาวนิช)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประพันธ์ ปิ่นศิริโรตม)

วีรพล บวรวงศ์เสถียร : ผลของอุณหภูมิในการอบแห้งต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของกระเจี๊ยบแดง *Hibiscus sabdariffa*. (EFFECT OF DRYING TEMPERATURE ON ANTIOXIDANT ACTIVITY OF ROSELLE *Hibiscus sabdariffa*) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร. เกียรติศักดิ์ ดวงมาลย์, 96 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิในการอบแห้ง และระยะเวลาการเก็บต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของกลีบเลี้ยงดอกกระเจี๊ยบแดง ตัวอย่างสดที่ใช้ศึกษาที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดคำนวณในรูปของกรดแกลลิก 74.59 มิลลิกรัมต่อกรัมกระเจี๊ยบแดง (น้ำหนักแห้ง) มีปริมาณแอนโทไซยานินคำนวณในรูปของไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ 11.5 มิลลิกรัมต่อกรัมกระเจี๊ยบแดง (น้ำหนักแห้ง) มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันที่วิเคราะห์ในรูป DPPH radical scavenging activity รายงานเป็นค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเทียบเท่าวิตามินซี 15.24 มิลลิกรัมวิตามินซีต่อกรัมกระเจี๊ยบแดง (น้ำหนักแห้ง) และมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันที่วิเคราะห์ในรูป ferric ion reducing antioxidant power เทียบเท่า trolox 272.67 ไมโครโมลต่อกรัมกระเจี๊ยบแดง (น้ำหนักแห้ง) ในชั้นแรกศึกษาผลของอุณหภูมิ (55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส) ต่ออัตราการอบแห้งกระเจี๊ยบแดง พบว่าการอบแห้งกระเจี๊ยบแดงที่ 70 องศาเซลเซียส มีอัตราการอบแห้งสูงที่สุด รองลงมาคือที่ 65, 60 และ 55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์สมบัติของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง (ความชื้นร้อยละ 9 โดยน้ำหนักเปียก) พบว่ากระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิอื่น ๆ เมื่อนำกระเจี๊ยบแดงอบแห้งจากชั้นตอนที่หนึ่งมาชงชา พบว่าน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิอื่น ๆ จากนั้นแปรอุณหภูมิในการอบแห้ง (55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส) และระยะเวลาการเก็บ (1, 70 และ 140 วัน) กระเจี๊ยบแดง พบว่าที่ระยะเวลาการเก็บเดียวกันกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่ 55 และ 65 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่ทุกอุณหภูมิจะมีแนวโน้มลดลง ($p \leq 0.05$) ซึ่งการลดลงของฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสอดคล้องกับการลดลงของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานิน ชั้นตอนสุดท้ายศึกษาผลของอุณหภูมิในการอบแห้ง (55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส) และระยะเวลาการเก็บ (1, 21, 42, 63, 84, 105, 126, 147 และ 168 วัน) ต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของน้ำชากระเจี๊ยบ พบว่าที่ระยะเวลาการเก็บเดียวกันน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) และเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่ทุกอุณหภูมิจะมีแนวโน้มลดลง ($p \leq 0.05$) ซึ่งการลดลงของฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสอดคล้องกับการลดลงของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานิน

ภาควิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....ลายมือชื่อ.....
 สาขาวิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา.....2553.....

5172595423 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEYWORDS : ROSELLE/ DRYING/ ANTIOXIDANT ACTIVITY/ PHENOLICS/ ANTHOCYANINS

WERAPOL BOWORNWONGSATHIEN : EFFECT OF DRYING TEMPERATURE ON
ANTIOXIDANT ACTIVITY OF ROSELLE *Hibiscus sabdariffa*. ADVISOR: ASST.PROF.
KIATTISAK DUANGMAL, Ph.D., 96 pp.

The aim of this work was to study the effect of drying temperature and storage period on antioxidant activity of roselle. Total phenolics and anthocyanins content in fresh roselle calyx were 74.59 mg gallic acid equivalent per g roselle (db) and 11.5 mg cyanidin-3-glucoside per g roselle (db). Antioxidant expressed as DPPH radical scavenging activity and ferric ion reducing antioxidant power were 15.24 mg ascorbic acid per g roselle (db) and 272.67 mmol trolox per g roselle (db). The effect of drying temperature on drying rate of roselle was studied. Four drying temperature of hot air (55, 60, 65 and 70 °C) were used. The results showed that increasing drying temperature led to an increase in drying rate. Methanol extracts of dried roselle (9% wb) was analysed; the result showed that the roselle dried at 60 °C contained the highest total phenolics content, total anthocyanins and antioxidant activity compared to that dried at other temperatures ($p \leq 0.05$). In hot water extract, the result showed that the tea from roselle dried at 60 °C also had the highest total phenolics content, total anthocyanins and antioxidant activity compared to that dried at other temperatures ($p \leq 0.05$). Antioxidant activity of methanol extracts from dried roselle at 55, 60 and 65 °C during storage period (1, 70 and 140 days) was studied. At the same storage period, the roselle dried at 60 °C had the highest total phenolics content, total anthocyanins and antioxidant activity compared to that dried at other temperatures ($p \leq 0.05$). With increasing storage period, antioxidant activity of roselle dried at each temperature appeared to decrease. The reduction of antioxidant activity followed the same trend as the reduction of total phenolics and anthocyanins contents. Antioxidant activity of roselle tea dried at 55, 60 and 65 °C during storage period (1, 21, 42, 63, 84, 105, 126, 147 and 168 days) was also studied. At the same storage period, the tea from roselle dried at 60 °C had the highest total phenolics content, total anthocyanins and antioxidant activity compared to that dried at other temperatures ($p \leq 0.05$). With increasing storage period, antioxidant activity of roselle tea dried at each temperature appeared to decrease. The reduction of antioxidant activity followed the same trend as observed in the reduction of total phenolics and anthocyanins contents.

Department :Food Technology..... Student's Signature

Field of Study :Food Technology..... Advisor's Signature

Academic Year :2010.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ. ดร.เกียรติศักดิ์ ดวงมัลย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูง ที่เสนอแนวคิดริเริ่มของงานวิจัยนี้ และได้กรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และความช่วยเหลือในทุกด้าน อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้

ขอกราบขอบพระคุณ รศ. ดร. นินนาท ชินประห์รัฐ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร. ธนจันทร์ มหาวิช และ รศ. ดร. ประพันธ์ ปิ่นศิริโรดม ที่กรุณาสละเวลามาร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ กรุณาตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ และให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่และบุคลากร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกด้านต่าง ๆ ตลอดงานวิจัย และขอบคุณเพื่อนปริญญาโท พี่ปริญญาเอก และน้อง ๆ ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกคน รวมทั้งเพื่อนสมัยเรียนมัธยมและปริญญาตรี ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และให้กำลังใจตลอดมา

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ขอบคุณพี่ชาย พี่สาว และญาติทุกคน ที่คอยเอาใจใส่ ให้ความช่วยเหลือในทุกด้าน และเป็นกำลังใจที่สำคัญยิ่ง รวมทั้งให้การสนับสนุนและส่งเสริมผู้วิจัยจนประสบผลสำเร็จในการศึกษาตลอดมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญภาพ.....	ฑ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. วารสารปริทัศน์.....	2
2.1 กระเจี๊ยบแดง.....	2
2.2 สารประกอบฟีนอลิก.....	2
2.3 แอนโทไซยานิน.....	6
2.4 สารต้านออกซิเดชัน.....	14
2.5 การอบแห้ง.....	21
3. อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย.....	25
3.1 วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์ ต้านออกซิเดชันของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงสด.....	26
3.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการอบแห้งของกระเจี๊ยบแดง.....	29
3.3 ศึกษาผลของอุณหภูมิการอบแห้งต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดเมทานอล จากกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง.....	30
3.4 ศึกษาผลของอุณหภูมิการอบแห้งต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของน้ำชากระเจี๊ยบ.....	31
3.5 ศึกษาผลของอุณหภูมิการอบแห้งต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลล์ของ กระเจี๊ยบแดงอบแห้ง.....	33
3.6 ศึกษาผลของอุณหภูมิการอบแห้ง และระยะเวลาการเก็บต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน ของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง	33
3.7 ศึกษาผลของอุณหภูมิการอบแห้ง และระยะเวลาการเก็บต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน ของน้ำชากระเจี๊ยบ.....	34

บทที่	หน้า
4. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	36
4.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงสด.....	36
4.2 ผลของอนุมูลอิสระต่ออัตราการอบแห้งของกระเจี๊ยบแดง.....	37
4.3 ผลของอนุมูลอิสระการอบแห้งต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง.....	41
4.4 ผลของอนุมูลอิสระการอบแห้งต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของน้ำชากระเจี๊ยบ.....	46
4.5 ผลของอนุมูลอิสระการอบแห้งต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลล์ของกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง.....	49
4.6 ผลของอนุมูลอิสระการอบแห้ง และระยะเวลาการเก็บต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง	51
4.7 ผลของอนุมูลอิสระการอบแห้ง และระยะเวลาการเก็บต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของน้ำชากระเจี๊ยบ.....	54
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	64
รายการอ้างอิง.....	66
ภาคผนวก.....	72
ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพ.....	73
ภาคผนวก ข ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน.....	80
ภาคผนวก ค ข้อมูลการทดลองเพิ่มเติม.....	94
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	96

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สมบัติทางเคมีของกระเจี๊ยบแดงสด.....	3
2.2	กลุ่มของสารประกอบฟีนอลิก.....	4
2.3	แอนโทไซยานินที่พบในธรรมชาติ.....	7
4.1	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของกระเจี๊ยบแดงสด.....	36
4.2	ค่าคงที่การอบแห้งของกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	39
4.3	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของกระเจี๊ยบแดงสด และกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส.....	42
4.4	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของกระเจี๊ยบแดงสด และน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส.....	47
4.5	ค่าสีของน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส.....	49
4.6	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการเก็บ 1, 70 และ 140 วัน.....	51
4.7	ปริมาณแอนโทไซยานินของกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการเก็บ 1, 70 และ 140 วัน.....	51
4.8	ค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเทียบเท่าวิตามินซีของกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการเก็บ 1, 70 และ 140 วัน.....	52
4.9	ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ FRAP ของกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการเก็บ 1, 70 และ 140 วัน.....	52
4.10	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ.....	55
4.11	ปริมาณแอนโทไซยานินของน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ.....	55

ตารางที่		หน้า
4.12	ค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเทียบเท่าวิตามินซีของน้ำชาจาก กระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา การเก็บต่าง ๆ.....	56
4.13	ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ FRAP ของน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ.....	56
4.14	ค่าคงที่การสลายตัว และค่าครึ่งชีวิตของแอนโทไซยานินในน้ำชาจากกระเจี๊ยบ แดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส	59
ข.1	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสาร สกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้งเมื่อแปรอุณหภูมิในการอบแห้ง กระเจี๊ยบแดง.....	80
ข.2	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแอนโทไซยานินของสารสกัดเมทา- นอลจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้งเมื่อแปรอุณหภูมิในการอบแห้งกระเจี๊ยบแดง.....	80
ข.3	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ เทียบเท่าวิตามินซีของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้งเมื่อแปร อุณหภูมิในการอบแห้งกระเจี๊ยบแดง.....	80
ข.4	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ FRAP ของสารสกัด เมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้งเมื่อแปรอุณหภูมิในการอบแห้งกระเจี๊ยบ แดง.....	81
ข.5	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำ ชาที่ชงจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้งเมื่อแปรอุณหภูมิในการอบแห้งกระเจี๊ยบแดง...	81
ข.6	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแอนโทไซยานินของน้ำชาที่ชงจาก กระเจี๊ยบแดงอบแห้งเมื่อแปรอุณหภูมิในการอบแห้งกระเจี๊ยบแดง.....	81
ข.7	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ เทียบเท่าวิตามินซีของน้ำชาที่ชงจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้งเมื่อแปรอุณหภูมิใน การอบแห้งกระเจี๊ยบแดง.....	81
ข.8	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ FRAP ของน้ำชาที่ชง จากกระเจี๊ยบแดงอบแห้งเมื่อแปรอุณหภูมิในการอบแห้งกระเจี๊ยบแดง.....	82
ข.9	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของน้ำชาที่ชงจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง เมื่อแปรอุณหภูมิในการอบแห้งกระเจี๊ยบแดง.....	82

ตารางที่	หน้า	
ข.10	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้งที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 วัน 70 วัน และ 140 วัน เมื่อแปรอุณหภูมิในการอบแห้งกระเจี๊ยบแดง.....	82
ข.11	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส เมื่อแปรระยะเวลาการเก็บกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง.....	83
ข.12	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแอนโทไซยานินของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้งที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 วัน 70 วัน และ 140 วัน เมื่อแปรอุณหภูมิในการอบแห้งกระเจี๊ยบแดง.....	83
ข.13	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแอนโทไซยานินของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส เมื่อแปรระยะเวลาการเก็บกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง.....	84
ข.14	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเทียบเท่าวิตามินซีของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้งที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 วัน 70 วัน และ 140 วัน เมื่อแปรอุณหภูมิในการอบแห้งกระเจี๊ยบแดง.....	84
ข.15	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเทียบเท่าวิตามินซีของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส เมื่อแปรระยะเวลาการเก็บกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง	85
ข.16	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ FRAP ของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้งที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 วัน 70 วัน และ 140 วัน เมื่อแปรอุณหภูมิในการอบแห้งกระเจี๊ยบแดง....	85
ข.17	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ FRAP ของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส เมื่อแปรระยะเวลาการเก็บกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง.....	86
ข.18	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำชาที่ชงจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส เมื่อแปรระยะเวลาการเก็บกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง.....	86

ตารางที่	หน้า	
ข.19	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำชาที่ชงจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้งที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 70 วัน และ 140 วัน เมื่อแปรอุณหภูมิในการอบแห้งกระเจี๊ยบแดง.....	87
ข.20	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแอนโทไซยานินของน้ำชาที่ชงจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้งที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 70 วัน และ 140 วัน เมื่อแปรอุณหภูมิในการอบแห้งกระเจี๊ยบแดง.....	88
ข.21	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแอนโทไซยานินของน้ำชาที่ชงจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส เมื่อแปรระยะเวลาการเก็บกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง.....	89
ข.22	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเทียบเท่าวิตามินซีของน้ำชาที่ชงจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส เมื่อแปรระยะเวลาการเก็บกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง.....	89
ข.23	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเทียบเท่าวิตามินซีของน้ำชาที่ชงจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้งที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 70 วัน และ 140 วัน เมื่อแปรอุณหภูมิในการอบแห้งกระเจี๊ยบแดง.....	90
ข.24	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ FRAP ของน้ำชาที่ชงจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้งที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 70 วัน และ 140 วัน เมื่อแปรอุณหภูมิในการอบแห้งกระเจี๊ยบแดง.....	91
ข.25	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ FRAP ของน้ำชาที่ชงจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส เมื่อแปรระยะเวลาการเก็บกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง.....	92
ข.26	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสีของน้ำชาที่ชงจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส เมื่อแปรระยะเวลาการเก็บกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง.....	92
ข.27	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของน้ำชาที่ชงจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้งที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 70 วัน และ 140 วัน เมื่อแปรอุณหภูมิในการอบแห้งกระเจี๊ยบแดง.....	93

ตารางที่	หน้า
ค.1 ค่าสีของน้ำชาที่ชงจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ที่ ระยะเวลาการเก็บต่างๆ.....	94
ค.2 ค่าสีของน้ำชาที่ชงจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ ระยะเวลาการเก็บต่างๆ.....	94
ค.3 ค่าสีของน้ำชาที่ชงจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ที่ ระยะเวลาการเก็บต่างๆ.....	95

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	โครงสร้างหลักของฟลาโวนอยด์	4
2.2	โครงสร้างหลักของแอนโทไซยานิน	7
2.3	แอนโทไซยานินในภาวะสมดุลภายใต้สภาวะสารละลายที่เป็นกรด.....	12
2.4	โครงสร้างทางเคมีของสารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์ที่นิยมใช้.....	15
2.5	การเคลื่อนที่ของ 5-ไฮดรอกซีฟลาโวน และฟลาโวนิน	16
2.6	ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นใน DPPH radical scavenging activity.....	18
2.7	ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นใน FRAP.....	18
2.8	หมู่ฟังก์ชันในโครงสร้างของฟลาโวนอยด์ในลักษณะต่าง ๆ ที่มีผลต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน.....	19
2.9	กราฟอัตราการอบแห้งภายใต้ภาวะการอบแห้งที่คงที่.....	22
4.1	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และเวลาเมื่ออบแห้งกระเจี๊ยบแดงที่อุณหภูมิ 55 ,60 ,65 และ 70 องศาเซลเซียส.....	38
4.2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้น และเวลาเมื่ออบแห้งกระเจี๊ยบแดงที่อุณหภูมิ 55 ,60 ,65 และ 70 องศาเซลเซียส.....	38
4.3	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้ง และอัตราส่วนความชื้นในระหว่างการอบแห้งกระเจี๊ยบแดงที่อุณหภูมิ 55 ,60 ,65 และ 70 องศาเซลเซียส.....	40
4.4	กลไกการสลายตัวเนื่องจากความร้อนของแอนโทไซยานิน 3,5-ไดกลูโคไซด์ และแอนโทไซยานิน 3-กลูโคไซด์	44
4.5	ภาพถ่ายของเซลล์จากเครื่อง SEM ที่กำลังขยาย 350 เท่า ของกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส.....	50
4.6	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส กับระยะเวลาการเก็บ ในรูปแบบ 1/C กับเวลา.....	57
4.7	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอนโทไซยานินในน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส กับระยะเวลาการเก็บ ในรูปแบบ $\ln (C/C_0)$ กับเวลา.....	58

ภาพที่	หน้า
4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเทียบเท่าวิตามินซีของน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55 ,60 และ 65 องศาเซลเซียส กับระยะเวลาการเก็บ ในรูปแบบ 1/C กับเวลา.....	61
4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ FRAP ของน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55 ,60 และ 65 องศาเซลเซียส กับระยะเวลาการเก็บในรูปแบบ 1/C กับเวลา.....	61
4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ย และค่าความเข้มของสี ของน้ำชากระเจี๊ยบที่แต่ละระยะเวลาการเก็บ เมื่ออบแห้งกระเจี๊ยบแดงที่อุณหภูมิ 55 ,60 และ 65 องศาเซลเซียส	62
ก.1 กราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแกลลิกที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด.....	74
ก.2 กราฟมาตรฐานของสารละลาย trolox ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในรูปแบบ FRAP.....	78

บทที่ 1

บทนำ

เนื่องจากวิถีการดำเนินชีวิตของสังคมในปัจจุบันต้องเผชิญกับความเร่งรีบ และความเสียงต่อโรคภัยต่าง ๆ เพิ่มขึ้น จึงทำให้กระแสการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพเป็นที่นิยมมากขึ้น โดยอาหาร และเครื่องดื่มจากสมุนไพรเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ได้รับความสนใจจากผู้บริโภคที่ใส่ใจในสุขภาพ การบริโภคสมุนไพรในรูปของชาเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยม เนื่องจากสะดวกแก่การบริโภค และการเก็บรักษา โดยชาสมุนไพรที่พบตามท้องตลาดมีหลายชนิด เช่น ชาใบหม่อน ชามะตูม ชาดอกคำฝอย และชากระเจี๊ยบแดง เป็นต้น

กระเจี๊ยบแดงเป็นพืชสมุนไพรของไทยชนิดหนึ่ง ส่วนของกระเจี๊ยบแดงที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์คือส่วนที่เป็นกลีบเลี้ยงของดอก ซึ่งมีองค์ประกอบหลัก คือ น้ำ น้ำตาลกลูโคส กรดซัคซินิก และกรดออกซาลิก (Wong et al., 2002) ไทยเป็นประเทศที่ปลูกและส่งออกกระเจี๊ยบแดงที่สำคัญของโลก โดยมีสหรัฐอเมริกาและเยอรมนีเป็นประเทศผู้นำเข้ากระเจี๊ยบแดงที่สำคัญ โดยประเทศผู้นำเข้ามักนำกระเจี๊ยบแดงไปแปรรูปเป็นชาสมุนไพร (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2550) และเนื่องจากมีรายงานว่ากระเจี๊ยบแดงเป็นแหล่งของสารต้านออกซิเดชันหลายชนิด เช่น สารประกอบฟีนอลิก และแอนโทไซยานิน (Tsai et al., 2002) ดังนั้นสมบัติของน้ำชากระเจี๊ยบที่ได้รับความนิยมในการศึกษาคือฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน จากงานวิจัยของ Tsai และคณะ (2002) พบว่าน้ำชากระเจี๊ยบมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงกว่ากาแฟ นอกจากนี้ Sayago-Ayerdi และคณะ (2007) พบว่าน้ำชากระเจี๊ยบมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันใกล้เคียงกับไวน์ขาว

คุณสมบัติในการแปรรูปกระเจี๊ยบแดงเป็นชากระเจี๊ยบนั้นอาจส่งผลต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของน้ำชากระเจี๊ยบ การชงชาเป็นการใช้น้ำร้อนสกัดสารในช่วงเวลาสั้น ๆ ทำให้สกัดสารต้านออกซิเดชันออกมาได้เพียงบางส่วนเท่านั้น นอกจากนี้การที่น้ำชากระเจี๊ยบจะมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงหรือต่ำนั้นยังขึ้นอยู่กับคุณภาพของกระเจี๊ยบแดงอบแห้งที่นำมาชงชาอีกด้วย ขั้นตอนในการอบแห้งเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง เนื่องจากความร้อนจากการอบแห้งทำให้สารต้านออกซิเดชันเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ซึ่งอาจทำให้สารต้านออกซิเดชันมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันต่างไปจากเดิม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาผลของอุณหภูมิการอบแห้งต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของกระเจี๊ยบแดงอบแห้งและน้ำชากระเจี๊ยบ รวมทั้งศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บรักษากระเจี๊ยบแดงอบแห้งต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 กระเจี๊ยบแดง

กระเจี๊ยบแดงเป็นพืชในวงศ์ Malvaceae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Hibiscus sabdariffa* L. กระเจี๊ยบแดงเป็นไม้พุ่มขนาดเล็ก สูง 1-2 เมตร ลำต้นและกิ่งก้านมีสีแดงอมม่วง ใบเป็นใบเดี่ยว ก้านใบยาว ขอบใบหยักลึก ดอกเป็นดอกเดี่ยวออกที่ซอกใบ กลีบดอกสีชมพู โคนกลีบด้านในสีม่วงแดง ดอกที่ได้รับการผสมเกสรแล้วกลีบดอกจะร่วง กลีบเลี้ยงจะขยายใหญ่ขึ้น กระเจี๊ยบแดงเป็นพืชที่ตอบสนองต่อช่วงแสง ซึ่งจะออกดอกเมื่อมีช่วงแสงน้อยกว่า 12 ชั่วโมงต่อวัน ดังนั้นจึงนิยมปลูกกระเจี๊ยบแดงในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงสิงหาคม (แฉล้ม มาศวรรณ และคณะ, 2545) ส่วนของกระเจี๊ยบแดงที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์คือส่วนที่เป็นกลีบเลี้ยงของดอก ซึ่งมีองค์ประกอบหลัก คือ น้ำ น้ำตาลกลูโคส กรดซัคซินิก และกรดออกซาลิก เนื่องจากมีองค์ประกอบเป็นกรดหลายชนิดทำให้กระเจี๊ยบแดงมีค่าความเป็นกรดต่างอยู่ในช่วง 2-3 (Wong et al., 2002) ซึ่งมีผลทำให้กระเจี๊ยบแดงมีรสเปรี้ยว สีแดงของกระเจี๊ยบแดงมาจากรงควัตถุกลุ่มแอนโทไซยานิน (Bridle and Timberlake, 1997) สมบัติทางเคมีของกระเจี๊ยบแดงแสดงดังตารางที่ 2.1

กระเจี๊ยบแดงพันธุ์ที่นิยมปลูกในประเทศไทยมีหลายพันธุ์ เช่น พันธุ์ชูดาน เป็นพันธุ์ที่มีกลีบเลี้ยงสีแดงเข้ม พันธุ์ราชสีห์ เป็นพันธุ์ที่มีลักษณะกลีบเลี้ยงโตและหนา สีแดงเข้ม ให้ผลผลิตค่อนข้างสูง และพันธุ์เอส-2760 มีลักษณะกลีบเลี้ยงค่อนข้างบางแต่ให้กลีบเลี้ยงดก (แฉล้ม มาศวรรณ และคณะ, 2545) สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้พันธุ์ชูดานเนื่องจากหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด

2.2 สารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารในกลุ่มเมแทบอลิท์ทุติยภูมิ โดยพืชสร้างสารในกลุ่มนี้ขึ้นเพื่อประโยชน์ในกระบวนการเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์ สารประกอบฟีนอลิกมีโครงสร้างหลักเป็นวงแหวนอะโรมาติก และมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในโมเลกุลอย่างน้อยหนึ่งหมู่ สารประกอบฟีนอลิกส่วนใหญ่ละลายน้ำได้ มักพบอยู่ร่วมกับโมเลกุลน้ำตาลในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ (Vermerris and Nicholson, 2006) โดยน้ำตาลดังกล่าวอาจเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว น้ำตาลโมเลกุลคู่ หรือออลิโกแซ็กคาไรด์ก็ได้ สารประกอบฟีนอลิกแบ่งกลุ่มได้ตามจำนวนคาร์บอน และโครงสร้างหลัก (basic skeleton) ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางเคมีของกระเจี๊ยบแดงสด

องค์ประกอบ	ปริมาณต่อ 100 กรัม
pH	2.49 ± 0.00
titratable acidity (g malic acid)	2.42 ± 0.03
total soluble solid (°Brix)	3.30 ± 0.12
total anthocyanin (g expressed as delphinidin 3-glucoside)	2.52 ± 0.05
sugar (g)	
glucose	1.29 ± 0.15
fructose	1.12 ± 0.26
sucrose	0.87 ± 0.21
organic acid (g)	
succinic acid	0.51 ± 0.08
oxalic acid	0.43 ± 0.05
tartaric acid	0.17 ± 0.03
malic acid	0.12 ± 0.03
ascorbic acid (mg)	141.09 ± 22.54
β-carotene (mg)	1.88 ± 0.31
lycopene (μg)	164.34 ± 70.10

ที่มา: Wong และคณะ (2002)

2.2.1 สารประกอบฟีนอลิกที่พบในอาหาร

กลุ่มของสารประกอบฟีนอลิกที่มักพบในอาหาร และมีส่วนร่วมในการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในอาหาร มี 3 กลุ่มดังนี้ (Eskin, 1990)

2.2.1.1 ซิมเปิลฟีนอล (simple phenols)

สารประกอบฟีนอลิกในกลุ่มนี้มีโครงสร้างหลักเป็นวงแหวนเบนซีน 1 วง และมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในโมเลกุลอย่างน้อย 1 หมู่ ตัวอย่างสารในกลุ่มนี้ เช่น แอล-ไทโรซีน ซึ่งเป็นมอโนฟีนอล และแคทีคอล ซึ่งเป็น ออร์โท-ไดฟีนอล

2.2.1.2 อนุพันธ์ของกรดซินนามิก

สารประกอบฟีนอลิกในกลุ่มนี้มีโครงสร้างหลักเป็น C₆-C₃ ตัวอย่างสารในกลุ่มนี้ เช่น กรดคลอโรเจนิค (chlorogenic acid) กรดพารา-คูมาริก (*p*-coumaric acid) กรดแคฟเฟอิก (caffeic acid) กรดเฟรูลิก (ferulic acid) และกรดไซแนปิก (sinapic acid) ซึ่งกรดคลอโรเจนิคเป็นสารที่มีความสำคัญต่อการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ใช้เอนไซม์

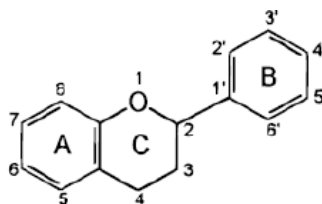
ตารางที่ 2.2 กลุ่มของสารประกอบฟีนอลิก

จำนวนคาร์บอน	โครงสร้างหลัก	กลุ่ม
6	C ₆	simple phenols, benzoquinones
7	C ₆ -C ₁	phenolic acids and aldehydes
8	C ₆ -C ₂	acetophenone, phenylacetic acid
9	C ₆ -C ₃	hydroxycinnamic acid, polypropene, coumarin, isocoumarin
10	C ₆ -C ₄	naphthoquinone
13	C ₆ -C ₁ -C ₆	xanthone
14	C ₆ -C ₂ -C ₆	stilbene, anthrachinone
15	C ₆ -C ₃ -C ₆	flavonoids, isoflavonoids
18	(C ₆ -C ₃) ₂	lignans, neolignans
30	(C ₆ -C ₃ -C ₆) ₂	biflavonoids
n	(C ₆ -C ₃) _n	lignins

ที่มา: Harborne (1980)

2.2.1.3 ฟลาโวนอยด์

ฟลาโวนอยด์มีอยู่ทั่วไปในธรรมชาติ และมีมากกว่า 5,000 ชนิด มีสูตรโครงสร้างหลักเป็นฟลาเวนนิวเคลียส (flavan nucleus) ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน 15 อะตอม จัดเรียงตัวเป็นวงแหวน 3 วง (C₆-C₃-C₆) เรียกเป็นวงแหวน เอ บี และซี ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างหลักของฟลาโวนอยด์ (Pietta, 2000)

สารกลุ่มฟลาโวนอยด์สามารถแบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้ตามโครงสร้าง โดยแต่ละกลุ่มมีโครงสร้างต่างกันที่บริเวณวงแหวนซี ในขณะที่สารแต่ละชนิดในกลุ่มจะมีโครงสร้างแตกต่างกันบริเวณวงแหวนเอ และบี โดยการมีหมู่ไฮดรอกซิล หมู่เมทอกซิล หรือน้ำตาล เข้ามาแทนที่ในคาร์บอนตำแหน่งต่าง ๆ (Pietta, 2000) Saura-Calixto และ Bravo (2001) จำแนกฟลาโวนอยด์ออกเป็นกลุ่มไว้มากถึง 15 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ได้รับความสนใจ เนื่องจากพบได้ทั่วไป และพบในปริมาณค่อนข้างสูงในผักและผลไม้ มีอยู่ 6 กลุ่ม ได้แก่ ฟลาโวน (flavones) ฟลาโวนอล

(flavonols) ฟลาวานอล หรือฟลาวาน-3-อล (flavanols or flavan-3-ols) ฟลาวาโนน (flavanones) แอนโทไซยานิดิน (anthocyanidins) และไอโซฟลาโวน (isoflavones)

มีงานวิจัยที่ศึกษาชนิดของสารประกอบฟีนอลิกที่มีอยู่ในกระเจี๊ยบแดง เช่น งานวิจัยของ Sayago-Ayerdi และคณะ (2007) ซึ่งสกัดสารจากกระเจี๊ยบแดงที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งด้วยตัวทำละลายเมทานอลผสมกับน้ำอัตราส่วน 50 : 50 โดยปริมาตร แล้วนำไปเขย่าที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 60 นาที แล้วเหวี่ยงแยกส่วนใส่ออกมา นำส่วนที่เหลือ (residue) มาสกัดต่อด้วยตัวทำละลายเอซีโตนผสมกับน้ำอัตราส่วน 70 : 30 โดยปริมาตร เขย่าที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 60 นาที แล้วนำไปเหวี่ยงแยกส่วนใส่ออกมา นำส่วนใสที่ได้จากทั้งสองส่วนมารวมกัน แล้วนำสารสกัดในส่วนนี้มาวิเคราะห์พอลิฟีนอลที่สกัดได้ (extractable polyphenols, EPP) โดยหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu แล้ววิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกใน EPP ด้วยวิธีโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (high performance liquid chromatography, HPLC) พบว่า EPP มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกโดยคำนวณในรูปของกรดแกลลิกเท่ากับ 2.17 กรัมต่อ 100 กรัมของกระเจี๊ยบแดง (น้ำหนักแห้ง) และกลุ่มของสารประกอบฟีนอลิกที่พบใน EPP ได้แก่ กรดไฮดรอกซีเบนโซอิก กรดไฮดรอกซีซินนามิก แอนโทไซยานิดิน และฟลาโวนอล ซึ่งมีอยู่ร้อยละ 32.6, 30.6, 30.8 และ 5.87 ของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดใน EPP ตามลำดับ นอกจากนี้ส่วนที่เหลือจากการสกัดด้วยระบบตัวทำละลายข้างต้นมาวิเคราะห์พอลิฟีนอลที่ไม่สามารถสกัดได้ (nonextractable polyphenols, NEPP) พบว่า NEPP มีสารประกอบฟีนอลิกในกลุ่มไพโรแอนโทไซยานิดิน และ hydrolyzable polyphenols โดยคำนวณในรูปของกรดแกลลิกเท่ากับ 3.38 และ 0.58 กรัมต่อ 100 กรัมของกระเจี๊ยบแดง (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ

Mourtzinis และคณะ (2008) ได้ศึกษาชนิดของสารประกอบฟีนอลิกที่มีอยู่ในกระเจี๊ยบแดง โดยวิเคราะห์ชนิดของสารประกอบฟีนอลิกด้วยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS) ซึ่งสกัดสารจากกระเจี๊ยบแดงด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1.5 นอร์มัลในเอทานอล จากนั้นระเหยเอทานอลออกด้วยเครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศเพื่อทำให้สารสกัดเข้มข้น นำสารสกัดเข้มข้นที่ได้มาเจือจางด้วยเมทานอลในอัตราส่วน 1 : 100 โดยปริมาตร นำสารสกัดเจือจางมาผสมกับ internal standard (3-(4-hydroxyphenyl)-1-propanol เข้มข้น 19.2 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) วิเคราะห์องค์ประกอบของสารสกัดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี โดยใช้คอลัมน์ HP-5MS capillary (5% phenyl-95% methyl siloxane. 30 เมตร x 0.25 มิลลิเมตร x 250 ไมโครเมตร) และใช้ก๊าซฮีเลียมเป็นเฟสเคลื่อนที่ โดยกำหนดให้มีอัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่เท่ากับ 0.6

มิลลิกรัมต่ออนาที ผลการวิเคราะห์พบว่าสารประกอบฟีนอลิกที่มีอยู่ในกระเจี๊ยบแดง ได้แก่ กรดคลอโรเจนิก เคอร์ซีทีน (quercetin) ไมริซีทีน (myricetin) กรดแคพเฟอิก กรดไซริงจิก (syringic acid) แคมฟีรอล (campherol) กรดแกลลิก กรดไซแนปิก กรดยูโซลิก (ursolic acid) กรดเฟรูลิก กรดพารา-คูมาริก กรดโพรโทแคเทอจิก (protocatechuic acid) และอีพิแคทีชิน (epicatechin) โดยมีปริมาณเท่ากับ 46.00, 8.71, 5.21, 1.79, 1.61, 1.44, 0.71, 0.49, 0.20, 0.19, 0.16, 0.14 และ 0.13 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงตามลำดับ

2.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

Folin-Ciocalteu assay เป็นวิธีที่นิยมสำหรับวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายและใช้เวลาในการวิเคราะห์ที่น้อย หลักการในการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของวิธีการนี้ คือ สารประกอบฟีนอลิกจะถูกออกซิไดซ์ในภาวะที่เป็นต่าง จากนั้นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะไปรีดิวซ์สารประกอบเชิงซ้อนฟอสโฟทังสติก-ฟอสโฟโมลิบดีนิก (phosphotungstic-phosphomolybdic complex) ได้ผลิตภัณฑ์เชิงซ้อนที่มีสีน้ำเงิน และดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร (Waterman and Mole, 1994) ปัจจุบันนิยมใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐานในการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เนื่องจากมีราคาไม่แพง และมีความคงตัวสูง (Waterhouse, 2005)

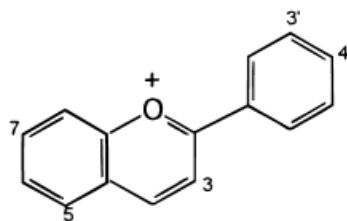
2.3 แอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานินเป็นสารประกอบฟีนอลิกที่อยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์พบได้ในผัก ผลไม้ และดอกไม้ ซึ่งจะละลายอยู่ในแวคิวโอลแซป (vacuole sap) ของพืช มีบทบาทต่อสีของพืช สามารถละลายในน้ำและแอลกอฮอล์ได้ แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายที่ไม่มีหมู่ไฮดรอกซิล เช่น อีเทอร์ แอซีโตน คลอโรฟอร์ม เบนซีน เป็นต้น (Jackman and Smith, 1996)

2.3.1 โครงสร้างของแอนโทไซยานิน

โมเลกุลแอนโทไซยานินประกอบด้วยส่วนที่เรียกว่าแอนโทไซยานิดินและน้ำตาล ซึ่งแอนโทไซยานิดินมีโครงสร้างหลักเป็น $C_6-C_3-C_6$ ประกอบด้วยวงแหวนเบนโซไพแรนจำนวน 2 วง ต่อกับวงแหวนฟีนิล โดยเรียกว่าเกลือ 2-ฟีนิลเบนโซไพริเลียม (2-phenylbenzopyrylium salts) ดังรูปที่ 2.2 ในธรรมชาติจะพบแอนโทไซยานิดินประมาณ 20 ชนิด แอนโทไซยานิดินมีชื่อเรียกแตกต่างกันขึ้นอยู่กับตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิลหรือเมทอกซิลที่มาเกาะที่ตำแหน่ง 3, 5, 6, 7, 3', 4' และ 5' ดังตารางที่ 2.3 แต่แอนโทไซยานิดินที่พบมากในพืชมี 6 ชนิดคือ ไซยานิดิน (cyanidin) เดลฟินิดิน (delphinidin) มัลวิดิดิน (malvidin) ฟิลาโรโกนินิดิน

(pelargonidin) พีโอนิดิน (peonidin) และพีทูนิดิน (petunidin) (Mazza and Miniati, 1993; Jackman and Smith, 1996; Von-Elbe and Schwartz, 1996)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างหลักของแอนโทไซยานิดิน (Pietta, 2000)

ตารางที่ 2.3 แอนโทไซยานิดินที่พบในธรรมชาติ

แอนโทไซยานิดิน	ตำแหน่งที่มีการแทนที่						
	3	5	6	7	3'	4'	5'
Apigeninidin (Ap)	H	OH	H	OH	H	H	H
Aurantininidin (Au)	OH	OH	OH	OH	H	OH	H
Capensinidin (Cp)	OH	OMe	H	OH	OMe	OH	OMe
Cyanidin (Cy)	OH	OH	H	OH	OH	OH	H
Delphinidin (Dp)	OH	OH	H	OH	OH	OH	OH
Europinidin (Eu)	OH	OMe	H	OH	OMe	OH	OH
Hersutinidin (Hs)	OH	OH	H	OMe	OMe	OH	OMe
6-hydroxycyanidin (6-OHCy)	OH	OH	OH	OH	OH	H	-
Luteolinidin (Lt)	H	OH	H	OH	OH	OH	H
Malvidin (Mv)	OH	OH	H	OH	OMe	OH	OMe
5-methylcyanidin (6-MCy)	OH	OMe	H	OH	OH	H	-
Pelargonidin (Pg)	OH	OH	H	OH	H	OH	H
Peonidin (Pn)	OH	OH	H	OH	OMe	OH	H
Petunidin (Pt)	OH	OH	H	OH	OMe	OH	OH
Pulchellidin (Pl)	OH	OMe	H	OH	OH	OH	OH
Rosinidin (Rs)	OH	OH	H	OMe	OMe	OH	H
Tricetinidin (Tr)	H	OH	H	OH	OH	OH	OH

ที่มา: Mazza และ Miniati (1993)

เมื่อมีน้ำตาลมาเกาะแอนโทไซยานิดินซึ่งเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ จะเรียกโครงสร้างนี้ว่าแอนโทไซยานิน ซึ่งน้ำตาลส่วนใหญ่มักเกาะที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 ของแอนโทไซยานิดิน บางครั้งพบที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 5 ด้วย ส่วนคาร์บอนตำแหน่งที่ 7 และ 3' พบน้อยมาก (Francis, 1989) น้ำตาลที่เกาะกับแอนโทไซยานิดินโดยมากจะเป็นน้ำตาลโมเลกุล

เดี่ยว ที่พบบ่อยคือ กลูโคส กาแล็กโทส แรมโนส และอะราบิโนส นอกจากนี้อาจพบน้ำตาลชนิดโมเลกุลคู่ และไตรแซ็กคาไรด์ ในโมเลกุลด้วย ซึ่งน้ำตาลเหล่านี้จะช่วยให้แอนโทไซยานินมีเสถียรภาพดี และละลายน้ำได้ดีขึ้น (Brouillard, 1982)

บางครั้งโมเลกุลน้ำตาลจะถูกเติมหมู่อะเซทิลด้วยกรดอินทรีย์บางชนิด ได้แก่ กรดอะโรมาติก ตัวอย่างเช่น กรดพารา-คูมาริก กรดแคฟเฟอิก กรดเฟรูลิก กรดแกลลิก หรือ กรดเอลิฟาทิก ตัวอย่างเช่น กรดมาโลนิค กรดแอสิติก กรดซัคซินิก กรดออกซาลิก โดยมักเชื่อมกันที่ตำแหน่งไฮดรอกซิลของคาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ของน้ำตาล ซึ่งช่วยให้แอนโทไซยานินมีเสถียรภาพดีขึ้น (Jackman and Smith, 1996)

มีงานวิจัยที่ศึกษาชนิดของแอนโทไซยานินในกระเจี๊ยบแดง เช่น งานวิจัยของ Forsyth และ Simmonds (1954) ซึ่งศึกษาชนิดของแอนโทไซยานินในกระเจี๊ยบแดง โดยสกัดแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดงด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 นอร์มัล จากนั้นให้ความร้อนสารสกัดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 10 นอร์มัล เป็นเวลา 15 นาที เพื่อไฮโดรไลส์แอนโทไซยานินไปเป็นแอนโทไซยานินและน้ำตาล จากนั้นแยกแอนโทไซยานินด้วยวิธีโครมาโทกราฟีแบบกระดาษ (paper chromatography) โดยใช้กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 เป็นเฟสอยู่กับที่ และใช้สารละลายกรดแอสิติก : น้ำ : กรดไฮโดรคลอริก ในอัตราส่วน 30 : 10 : 3 โดยปริมาตร เป็นเฟสเคลื่อนที่ พบว่าค่า R_f ของแอนโทไซยานินในกระเจี๊ยบแดง ตรงกับค่า R_f ของไซยานินและเดลฟินิดิน ดังนั้นจึงอธิบายว่าแอนโทไซยานินที่พบในกระเจี๊ยบแดงคือไซยานินและเดลฟินิดิน

Wong และคณะ (2002) วิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานินในกระเจี๊ยบแดง โดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 1 ในเมทานอลเป็นสารละลายในการสกัด แล้วนำสารสกัดที่ได้มาทำให้เข้มข้นขึ้น 20 เท่า โดยการระเหยเมทานอลออกด้วยเครื่องระเหยแบบหมุน จากนั้นนำสารสกัดเข้มข้นที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานินแต่ละชนิดด้วยวิธีโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง โดยใช้คอลัมน์ C_{18} Sep-Pak และใช้กรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 4 กับแอสิตอนไทรลล์เข้มข้นร้อยละ 100 เป็นเฟสเคลื่อนที่ ใช้ระบบเกรเดียนต์ในการวิเคราะห์ โดยกำหนดอัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่เป็น 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าในกระเจี๊ยบแดงมีปริมาณแอนโทไซยานินชนิด เดลฟินิดิน-3-แซมบูโบไฮไซด์ ไซยานิน-3-แซมบูโบไฮไซด์ และ เดลฟินิดิน-3-กลูโคไซด์ อยู่ร้อยละ 71.40, 26.60 และ 2.00 ของปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในกระเจี๊ยบแดง ตามลำดับ

Segura-Carretero และคณะ (2008) ศึกษาชนิดของแอนโทไซยานินในกระเจี๊ยบแดง โดยใช้วิธี solid phase extraction-capillary electrophoresis-mass spectrometry (SPE-CE-MS) พบว่าแอนโทไซยานินชนิดหลักในกระเจี๊ยบแดงคือ เดลฟินิดิน-3-แซมบูไบโอไซด์ และไซยานิดิน-3-แซมบูไบโอไซด์ และชนิดของแอนโทไซยานินที่พบรองลงมาคือ ไซยานิดิน-3-ออริโท-รูตินโนไซด์ เดลฟินิดิน-3-ออริโท-กลูโคไซด์ และไซยานิดิน-3,5-ไดกลูโคไซด์

2.3.2 การวิเคราะห์แอนโทไซยานินเชิงปริมาณ

Francis (1982) แบ่งการวิเคราะห์แอนโทไซยานินในเชิงปริมาณออกเป็น 2 กลุ่ม โดยแบ่งตามลักษณะตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ได้ดังนี้

2.3.2.1 ตัวอย่างที่มีสารประกอบซึ่งดูดกลืนแสงในช่วงเดียวกับแอนโทไซยานินปนอยู่เล็กน้อยหรือไม่มีเลย

โดยปกติในผักและผลไม้สดจะมีสารประกอบที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงคลื่นเดียวกับแอนโทไซยานิน (500-535 นาโนเมตร) อยู่เล็กน้อย ดังนั้นปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดจึงสามารถหาได้โดยอาศัยหลักการดูดกลืนแสงดังกล่าว

2.3.2.2 ตัวอย่างที่มีสารประกอบซึ่งดูดกลืนแสงในช่วงเดียวกับแอนโทไซยานินปนอยู่

ในผลิตภัณฑ์ที่มีรงควัตถุแอนโทไซยานินเป็นสารให้สี หลังจากผ่านกระบวนการให้ความร้อน การเก็บรักษา หรือกระบวนการผลิตอย่างใดอย่างหนึ่ง มักจะก่อให้เกิดสารที่ได้จากการสลายตัวของผลิตภัณฑ์ เช่น การมีสารที่ได้จากการสลายตัวของแอนโทไซยานิน หรือ สารที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลกับกรดอะมิโน (ปฏิกิริยาเมลลาร์ด) เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้มักจะรบกวนการวิเคราะห์แอนโทไซยานิน เนื่องจากสารดังกล่าวมีค่าการดูดกลืนแสงในช่วงเดียวกับแอนโทไซยานิน ทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินที่วิเคราะห์ได้คลาดเคลื่อน การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินในตัวอย่างที่มีสารประกอบเหล่านี้ทำได้ 2 วิธี คือ

ก. แยกสารรบกวนที่ดูดกลืนแสงในช่วงเดียวกับแอนโทไซยานินออกไปก่อน โดยวิธีการแยกวิธีใดวิธีหนึ่ง เช่น โครมาโทกราฟีแบบแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange chromatography) โครมาโทกราฟีแบบกระดาษ โครมาโทกราฟีแบบแผ่นบาง (thin-layer chromatography) และโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง เป็นต้น

ข. อาศัยหลักการที่แอนโทไซยานินมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเมื่อความเป็นกรดต่างในระบบเกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้ความสามารถในการดูดกลืนแสงของแอนโทไซยานินเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย จึงสามารถคำนวณปริมาณแอนโทไซยานินจากความแตกต่างของ

ค่าการดูดกลืนแสงในระบบที่มีค่าความเป็นกรดต่างต่างกันได้ ทั้งนี้เพราะค่าการดูดกลืนแสงจากสารรบกวนซึ่งดูดกลืนแสงในช่วงเดียวกับแอนโทไซยานินจะถูกหักล้างออกไป วิธีการนี้เรียกว่า “pH differential method”

การเลือกระดับค่าความเป็นกรดต่างในการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินด้วยวิธี pH differential ต้องพิจารณาถึง

ก. ค่าความเป็นกรดต่างทั้ง 2 ค่าที่เลือกนั้นควรให้ค่าการดูดกลืนแสงที่มีผลต่างกันมากที่สุด หลีกเลี่ยงการเลือกช่วงค่าความเป็นกรดต่างในบริเวณเส้นโค้งที่มีความชันสูง ซึ่งจะทำให้ค่าการดูดกลืนแสงเปลี่ยนแปลงได้มากเมื่อค่าความเป็นกรดต่างเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

ข. การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดต่างรอบ ๆ ค่าความเป็นกรดต่างที่เลือกไม่ควรทำให้ค่าการดูดกลืนแสงเปลี่ยนแปลงมากนัก

ค. แอนโทไซยานินควรอยู่ในรูปที่เสถียรที่ระดับความเป็นกรดต่างที่เลือกใช้

Giusti และ Wrolstad (2005) รายงานวิธีหาปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด โดยใช้หลักการของวิธี pH differential โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างในสารละลายบัฟเฟอร์โพแทสเซียมคลอไรด์-กรดไฮโดรคลอริก (KCl-HCl) ที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 1.0 และโซเดียมแอสซีเตต-กรดไฮโดรคลอริก ($\text{CH}_3\text{COONa-HCl}$) ที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 4.5 ที่ความยาวคลื่น 518 นาโนเมตร พบว่าที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 1.0 แอนโทไซยานินจะอยู่ในรูปฟลาวิลียมแคตไอออน (flavylum cation) ซึ่งให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด และที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 4.5 แอนโทไซยานินจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปคาร์บินอลเบส (carbinol base) ซึ่งจะให้ค่าการดูดกลืนแสงต่ำที่สุดที่ความยาวคลื่นเดียวกัน และเนื่องจากสารที่ดูดกลืนแสงที่ 700 นาโนเมตร เป็นสารรบกวน ดังนั้นจึงวัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างในสารละลายบัฟเฟอร์ดังกล่าวที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร ด้วย เพื่อนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาหักลบกับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 518 นาโนเมตร จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณค่า A จากสูตร (2.1)

$$A = [A_{518\text{nm}}(\text{pH}1.0) - A_{700\text{nm}}(\text{pH}1.0)] - [A_{518\text{nm}}(\text{pH}4.5) - A_{700\text{nm}}(\text{pH}4.5)] \quad (2.1)$$

เมื่อ $A_{518\text{nm}}(\text{pH}1.0)$ และ $A_{518\text{nm}}(\text{pH}4.5)$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 518 นาโนเมตรของตัวอย่างในสารละลายบัฟเฟอร์ KCl-HCl (pH 1.0) และ $\text{CH}_3\text{COONa-HCl}$ (pH 4.5) ตามลำดับ

$A_{700\text{nm}}$ (pH1.0) และ $A_{700\text{nm}}$ (pH4.5) คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร ของตัวอย่างในสารละลายบัฟเฟอร์ KCl-HCl (pH 1.0) และ $\text{CH}_3\text{COONa-HCl}$ (pH 4.5) ตามลำดับ

แล้วนำค่า A ที่ได้ มาคำนวณหาปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดจากสูตรที่ (2.2)

$$\text{ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = \frac{A \times MW \times DF \times 1000}{\epsilon \times l} \quad (2.2)$$

โดยที่ MW คือ น้ำหนักโมเลกุลของแอนโทไซยานินชนิดหลักที่พบในตัวอย่าง

ϵ คือ ค่า molar absorptivity ของแอนโทไซยานินชนิดหลักที่พบในตัวอย่าง

DF คือ จำนวนเท่าที่เจือจางเพื่อให้ได้ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้

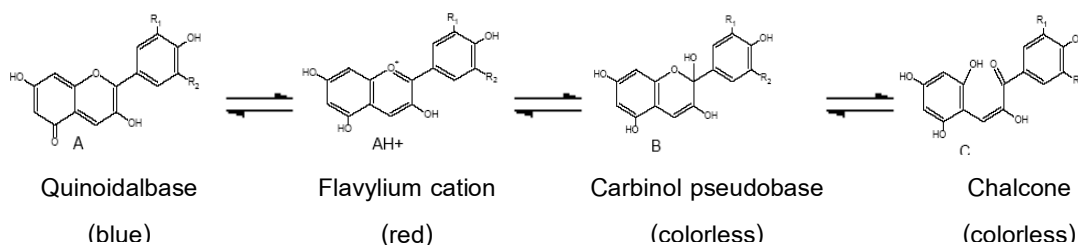
1 คือ ความกว้างของคิวเวทท์ (เซนติเมตร)

2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานิน

เมื่อพิจารณาจากโครงสร้างของแอนโทไซยานินจะเห็นว่าแอนโทไซยานินขาดอิเล็กตรอน จึงทำให้แอนโทไซยานินมีความว่องไวต่อปฏิกิริยาสูง ผลจากปฏิกิริยาจะได้สารประกอบซึ่งมีโครงสร้างและสีที่ไม่พึงประสงค์ บางครั้งอาจทำให้เกิดสีน้ำตาลซึ่งเป็นปัญหาสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ที่ใช้รงควัตถุแอนโทไซยานินเป็นสารให้สี โดยการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดขึ้นได้จากหลายปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิ แสง ออกซิเจนและวิตามินซี ความเป็นกรดต่าง และเอนไซม์ เป็นต้น สำหรับงานวิจัยนี้จะเน้นปัจจัย อุณหภูมิ แสง ออกซิเจนและวิตามินซี ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

2.3.3.1 อุณหภูมิ

ความร้อนระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษาทำให้แอนโทไซยานินสลายตัว ซึ่งอัตราการสลายตัวของแอนโทไซยานินเป็นจลนพลศาสตร์แบบลำดับที่หนึ่ง (first order kinetic) ในธรรมชาติแอนโทไซยานินจะมีโครงสร้างอยู่ 4 รูป ได้แก่ ควินอยด์เบส (quinoidal base) ฟลาวีเลียมแคตไอออน คาร์บินอลซูโดเบส (carbinol pseudobase) และคาลโคน (chalcone) ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งสมดุลของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโทไซยานินในสารละลายที่เป็นกรดเป็นปฏิกิริยาแบบดูดความร้อน การเพิ่มอุณหภูมิจึงทำให้สมดุลเลื่อนจากทางซ้ายไปทางขวา และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิมดุลจะเลื่อนไปทางขวามือเร็วขึ้นทำให้สีของแอนโทไซยานินซีดลง เนื่องจากเกิดคาลโคนเพิ่มขึ้น แต่ปฏิกิริยาย้อนกลับเกิดได้ช้ากว่า (คาลโคนเปลี่ยนกลับไปเป็นฟลาวีเลียมแคตไอออนได้ช้า)



รูปที่ 2.3 แอนโทไซยานินในภาวะสมดุลภายใต้สภาวะสารละลายที่เป็นกรด (Brouillard, 1982)

2.3.3.2 แสง

แสงจะเร่งการเสื่อมสลายของแอนโทไซยานิน โดยทำให้เกิดพอลิเมอไรเซชันหรือคอนเดนเซชัน ซึ่งทำให้เกิดสารสีน้ำตาล ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเหมือนกับการเสื่อมสลายของแอนโทไซยานินเนื่องจากความร้อน (Von-Elbe and Schwartz, 1996)

2.3.3.3 ออกซิเจนและวิตามินซี

ในระบบที่มีออกซิเจนและวิตามินซีอยู่ร่วมกัน วิตามินซีจะถูกออกซิไดซ์ให้อยู่ในรูปของกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก ซึ่งจะก่อให้เกิดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จากนั้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะออกซิไดซ์แอนโทไซยานินที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ทำให้วงแหวนไพริเดียมแตกออกเป็นสารประกอบที่ไม่มีสีและอนุพันธ์ของคูมาริน สารผลิตภัณฑ์ที่ได้อาจสลายตัวต่อไปหรือเกิดพอลิเมอไรเซชัน (Jackman and Smith, 1996)

ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานินสำหรับงานวิจัยนี้คือ อุณหภูมิในการอบแห้ง และการเก็บรักษา

Raynal และคณะ (1989) ศึกษาผลของอุณหภูมิการอบแห้งต่ออัตราการสลายตัวของแอนโทไซยานินในเปลือกของผลพลัม โดยแปรอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้ง ผลพลัมเป็น 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1, 2, 4 และ 8 ชั่วโมง 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0.5, 1, 2 และ 4 ชั่วโมง และ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0.5, 1, 1.5 และ 2 ชั่วโมง จากนั้นแยกเปลือกของผลพลัมออก แล้วสกัดแอนโทไซยานินจากเปลือกผลพลัมด้วยเมทานอล แล้วนำสารสกัดที่ได้มาระเหยเมทานอลออกด้วยเครื่องระเหยแบบหมุน จากนั้นนำสารสกัดเข้มข้นมาวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานินชนิดไซยานิดิน-3-รุตินโนไซด์ ฟิโอนิดิน-3-รุตินโนไซด์ และไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ ด้วยวิธีโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง พบว่าที่อุณหภูมิในการอบแห้งเดียวกัน แอนโทไซยานินชนิดไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์มีอัตราการสลายตัวสูงสุด รองลงมาคือฟิโอนิดิน-3-รุตินโนไซด์ และไซยานิดิน-3-รุตินโนไซด์ ตามลำดับ และเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้นแอนโทไซยานินแต่ละชนิดจะมีอัตราการสลายตัวสูงขึ้น โดยที่อุณหภูมิในการอบแห้ง 55 องศาเซลเซียส ที่

ระยะเวลาในการอบแห้ง 1 ชั่วโมง เปลือกผลพลัมจะยังคงเหลือปริมาณแอนโทไซยานินชนิดไซยานิดิน-3-รูทีโนไซด์ พีโอซินิดิน-3-รูทีโนไซด์ และไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ อยู่ร้อยละ 45.6, 46.9 และ 35.0 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับปริมาณของแอนโทไซยานินชนิดดังกล่าวของเปลือกผลพลัมก่อนการอบแห้ง และที่อุณหภูมิในการอบแห้ง 95 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาในการอบแห้งเท่ากัน เปลือกผลพลัมจะยังคงเหลือปริมาณแอนโทไซยานินชนิดดังกล่าวอยู่ร้อยละ 14.6, 16.8 และ 0 ตามลำดับ

Tsai และ Ou (1996) ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอนโทไซยานินในกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง โดยอบแห้งกระเจี๊ยบแดงสดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับร้อยละ 10 โดยน้ำหนักเปียก จากนั้นเก็บกระเจี๊ยบแดงอบแห้งในถุง KOP/PE/EVA (saran-coated oriented polypropylene/polyethylene/ethylene vinyl acetate) ขนาด 15x63 เซนติเมตร² โดยเก็บไว้ในที่มีด อุณหภูมิ 5 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1, 3, 5 และ 8 เดือน จากนั้นนำกระเจี๊ยบแดงอบแห้งมาวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน พบว่าการลดลงของแอนโทไซยานินในกระเจี๊ยบแดงอบแห้งที่เก็บไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส ลดลงเร็วกว่ากระเจี๊ยบแดงอบแห้งที่เก็บไว้ที่ 5 องศาเซลเซียส โดยกระเจี๊ยบแดงอบแห้งที่เก็บไว้ที่ 5 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการเก็บ 1, 3, 5 และ 8 เดือน มีแอนโทไซยานินคงเหลือร้อยละ 92.41, 84.65, 78.58 และ 79.08 ตามลำดับ เมื่อคำนวณเทียบกับแอนโทไซยานินทั้งหมดในกระเจี๊ยบแดงอบแห้งก่อนการเก็บ และเมื่อเก็บกระเจี๊ยบแดงอบแห้งไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส พบว่าที่ระยะเวลาการเก็บ 1, 3, 5 และ 8 เดือน กระเจี๊ยบแดงอบแห้งมีแอนโทไซยานินคงเหลือร้อยละ 99.30, 78.83, 69.64 และ 42.49 ตามลำดับ เมื่อคำนวณเทียบกับแอนโทไซยานินทั้งหมดในกระเจี๊ยบแดงอบแห้งก่อนการเก็บ

Mourtzinou และคณะ (2008) ศึกษาผลของอุณหภูมิในการให้ความร้อนต่อความคงตัวของแอนโทไซยานินในกระเจี๊ยบแดง ซึ่งสกัดสารจากกระเจี๊ยบแดงด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1.5 นอร์มัล ในเอทานอล จากนั้นระเหยเอทานอลออกด้วยเครื่องทำแห้งแบบสูญญากาศเพื่อทำให้สารสกัดเข้มข้นขึ้น นำสารสกัดเข้มข้นที่ได้มาเจือจางด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 0.01 : 100 (น้ำหนักต่อปริมาตร) บรรจุสารละลายที่ได้ 1 มิลลิลิตร ลงใน Eppendorf tube แล้วนำไปแช่ในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินด้วยวิธี pH differential พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการสลายตัวของแอนโทไซยานินมีค่าสูงขึ้น โดยสารละลายกระเจี๊ยบแดงที่แช่ไว้ในอ่างน้ำร้อนอุณหภูมิ 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส มีค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวของแอนโทไซยานิน

เท่ากับ 0.7×10^{-3} , 1.9×10^{-3} , 2.9×10^{-3} และ 3.6×10^{-3} ต่อนาที ตามลำดับ และมีค่าครึ่งชีวิตของแอนโทไซยานินเท่ากับ 16.50, 6.08, 3.98 และ 3.21 ชั่วโมง ตามลำดับ

2.4 สารต้านออกซิเดชัน

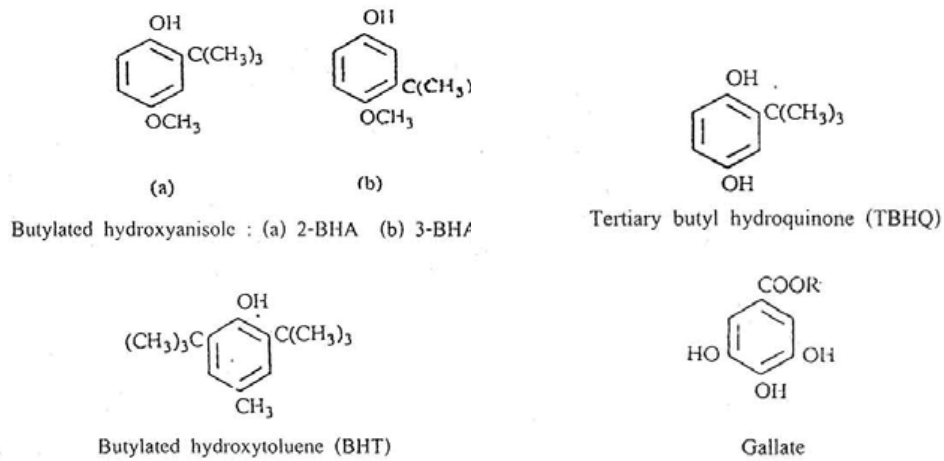
สารต้านออกซิเดชัน คือ สารที่สามารถป้องกันหรือชะลอกระบวนการการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ ซึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน คือ ปฏิกิริยาเคมีที่มีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนระหว่างสารตั้งต้น และออกซิไดซิงเอเจนต์ ปฏิกิริยาออกซิเดชันสามารถก่อให้เกิดอนุมูลอิสระ ซึ่งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ที่สามารถทำลายเซลล์ได้ สารต้านออกซิเดชันสามารถหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่นี้ได้โดยผ่านกลไกต่าง ๆ เช่น สารต้านออกซิเดชันสามารถให้อะตอมไฮโดรเจนหรืออิเล็กตรอนกับอนุมูลอิสระ ทำให้อนุมูลอิสระเป็นสารประกอบที่เสถียร เป็นต้น (Sies, 1997) สารต้านออกซิเดชันสามารถแบ่งกลุ่มตามแหล่งที่มาได้ 2 กลุ่ม คือ

ก. สารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติ

สารต้านออกซิเดชันในธรรมชาติสามารถแบ่งได้อีก 2 ประเภท ได้แก่ สารต้านออกซิเดชันที่เป็นเอนไซม์ (enzymatic antioxidants) เช่น ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส กลูตาไทโอนเพอร์ออกซิเดส และแคแทเลส เป็นต้น และสารต้านออกซิเดชันที่ไม่ใช่เอนไซม์ (non-enzymatic antioxidants) เช่น วิตามินซี วิตามินอี แคโรทีนอยด์ ฟลาโวนอยด์ เป็นต้น (วัชรวิทย์ ชาญยิ่ง, 2549)

ข. สารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์

สารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์ส่วนใหญ่ถูกพัฒนาขึ้นให้มีโครงสร้างคล้ายกับโครงสร้างของสารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติ โดยพัฒนาให้มีขนาดโมเลกุลเล็กลง มีสมบัติทางเคมี และมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันที่ดีขึ้น สารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์ที่มีโครงสร้างคล้ายสารประกอบฟีนอลิก เช่น บิวทิลไฮดรอกซีอะนิโซล (butylated hydroxyanisole, BHA) บิวทิลไฮดรอกซีโทลูอีน (butylated hydroxytoluene, BHT) และเทอเทียรีบิวทิลไฮโดรควิโนน (tertiary-butyl hydroquinone, TBHQ) เป็นต้น โครงสร้างทางเคมีของสารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์ที่นิยมใช้แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของสารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์ที่นิยมใช้

(Rajalakshmi and Narasimhan, 1995)

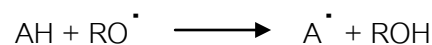
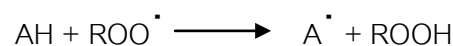
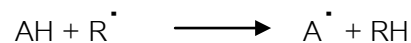
2.4.1 กลไกการต้านออกซิเดชัน

Pokorny และคณะ (2001) แบ่งกลไกการต้านออกซิเดชันเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

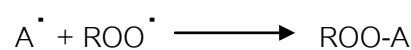
2.4.1.1 การหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chain-breaking antioxidants)

มีกลไกต้านออกซิเดชันโดยการให้อะตอมไฮโดรเจนหรืออิเล็กตรอนกับอนุมูลอิสระ หรือทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระได้สารประกอบที่มีความเสถียร จึงเป็นการหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ดังนี้

Radical scavenging: สารต้านออกซิเดชัน (AH) จะเกิดปฏิกิริยาโดยให้อะตอมไฮโดรเจน หรืออิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในช่วงแรกของปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ได้เป็นอนุมูลอิสระของสารต้านออกซิเดชัน (A^\cdot) ที่มีความไวต่อปฏิกิริยาค่า ดังสมการ



Radicals trapping: อนุมูลอิสระของสารต้านออกซิเดชัน (A^\cdot) จับกับอนุมูลอิสระอื่น ๆ ที่มีอยู่ในระบบ ทำให้หยุดปฏิกิริยาในช่วง chain-propagation ของปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน และเกิดผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบที่เสถียร ดังสมการ

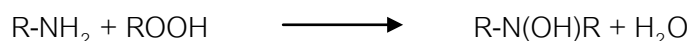


สารต้านออกซิเดชันที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ ได้แก่ วิตามินอี บีตา-แคโรทีน และ ฟลาโวนอยด์ เป็นต้น

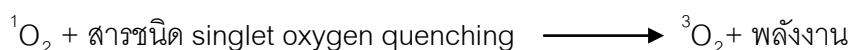
2.4.1.2 Preventive inhibitors

สารในกลุ่มนี้ทำหน้าที่ยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยผ่านกลไกต่าง ๆ ดังนี้

ก. hydroperoxide decomposing สารต้านออกซิเดชันสามารถรีดิวซ์ไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (ROOH) ทำให้เกิดสารที่มีความเสถียร จึงเป็นการกำจัดไฮโดรเพอร์ออกไซด์ในระบบ สารต้านออกซิเดชันในกลุ่มนี้ได้แก่ กรดอะมิโน และ กรดฟอสฟอริก เป็นต้น ตัวอย่างกลไกการกำจัดไฮโดรเพอร์ออกไซด์ของกรดอะมิโนเป็นดังสมการ

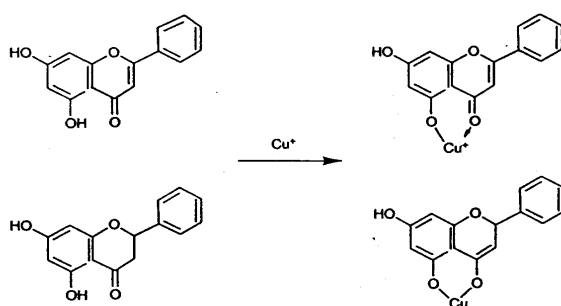


ข. singlet oxygen quenching สารต้านออกซิเดชันในกลุ่มนี้ทำหน้าที่กำจัดซิงเกิลตออกซิเจน (singlet oxygen, $^1\text{O}_2$) ซึ่งมีสมบัติเป็นสารออกซิไดซ์แรง และเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ ($\text{O}_2^{\cdot -}$) โดยสารต้านออกซิเดชันชนิด singlet oxygen quenching จะรับพลังงานจากซิงเกิลตออกซิเจนมาไว้ที่โมเลกุล ทำให้ซิงเกิลตออกซิเจนกลับเป็นทริปเลตออกซิเจน (triplet oxygen, $^3\text{O}_2$) ที่มีความว่องไวต่ำ ดังสมการ



สารต้านออกซิเดชันในกลุ่มนี้ได้แก่ แคโรทีนอยด์ เช่น บีตา-แคโรทีน และไลโคปีน

ค. การเป็นสารคีเลติง (metal chelating) เป็นสารต้านออกซิเดชันที่สามารถจับกับโลหะ ได้แก่ เหล็ก และทองแดง เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของสารต้านออกซิเดชันกับโลหะ โลหะดังกล่าวจึงไม่สามารถทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันได้ กลไกแสดงดังรูปที่ 2.5 สารต้านออกซิเดชันในกลุ่มนี้ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ และกรดฟอสฟอริก เป็นต้น



รูปที่ 2.5 การคีเลตโลหะของ 5-ไฮดรอกซีฟลาโวน และฟลาวาโนน (Pokorny et al., 2001)

2.4.1.3 การเป็นสารเสริมฤทธิ์สารต้านออกซิเดชัน (synergism)

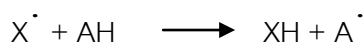
เป็นการทำงานร่วมกันในการเสริมฤทธิ์สารต้านออกซิเดชัน เช่น วิตามินซีสามารถรีดิวซ์อนุมูลของวิตามินอี ให้กลับมาอยู่ในรูปที่มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันได้อีก ทำให้สามารถหมุนเวียนวิตามินอีมาใช้ต้านออกซิเดชันได้

2.4.2 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน

Prior และคณะ (2005) อธิบายว่าการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสามารถทำได้โดยการวัดความสามารถของสารผ่านกลไกที่แตกต่างกัน 2 กลไก คือ การวิเคราะห์การส่งผ่านอะตอมไฮโดรเจน (hydrogen atom transfer, HAT) และการวิเคราะห์การส่งผ่านอิเล็กตรอน (electron transfer, ET หรือ SET)

2.4.2.1 HAT- based method

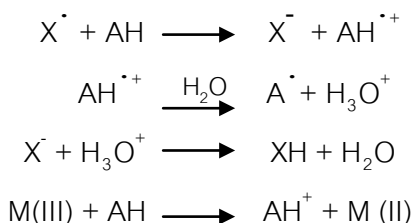
เป็นการวัดความสามารถของสารต้านออกซิเดชันในการให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระ ดังสมการ



การวิเคราะห์แบบนี้ไม่ขึ้นอยู่กับตัวทำละลาย และความเป็นกรดต่าง แต่การมีอยู่ของตัวรีดิวซ์ หรือโลหะ ทำให้การวิเคราะห์ผิดพลาดได้ ซึ่งอาจได้ค่าสูงกว่าความเป็นจริง ตัวอย่างวิธีการวิเคราะห์ที่อาศัยหลักการนี้ ได้แก่ oxygen radical absorbance capacity (ORAC), total radical trapping antioxidant parameter (TRAP) เป็นต้น

2.4.2.2 SET- based method

เป็นการวิเคราะห์ความสามารถของสารต้านออกซิเดชันในการส่งผ่านอิเล็กตรอนไปรีดิวซ์สาร รวมถึงโลหะ คาร์บอนิล และอนุมูลอิสระ ดังสมการ



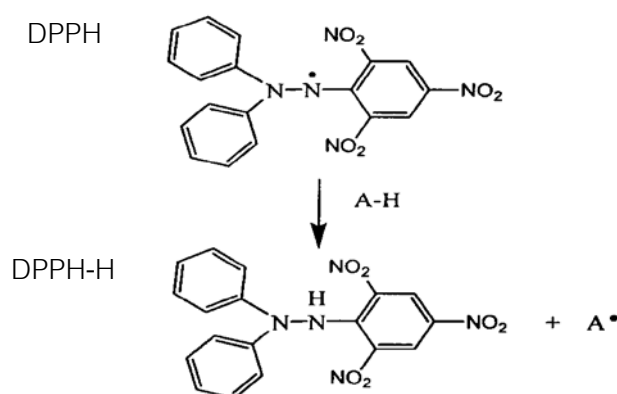
การวิเคราะห์แบบนี้จะวัดค่าความสามารถในการทำให้โปรตอนหลุดออกจากโมเลกุล (deprotonation) ซึ่งความเป็นกรดต่างมีผลต่อการวิเคราะห์ ตัวอย่างวิธีการวิเคราะห์ที่อาศัยหลักการนี้ ได้แก่ ferric ion reducing antioxidant power (FRAP) เป็นต้น

2.4.3 วิธีวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันมักวิเคราะห์หลายวิธีร่วมกัน เพื่อให้สามารถตรวจสอบกลไกการต้านออกซิเดชันของตัวอย่าง วิธีการที่นิยมมีดังนี้

2.4.3.1 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity

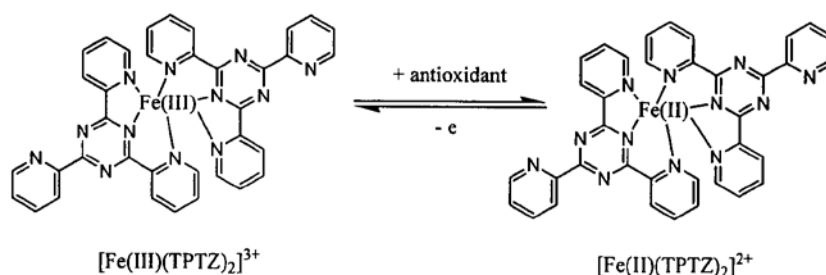
การวิเคราะห์แบบนี้อาศัยหลักการที่สารต้านออกซิเดชันมีสมบัติให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระ ทำให้อนุมูลอิสระสังเคราะห์ DPPH ซึ่งดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร เป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีเหลืองอ่อน DPPH-H (รูปที่ 2.6) ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นดังกล่าวลดลง



รูปที่ 2.6 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นใน DPPH radical scavenging activity

2.4.3.2 ferric ion reducing antioxidant power (FRAP)

หลักการนี้อาศัยหลักการที่สารต้านออกซิเดชันในตัวอย่างสามารถรีดิวซ์สารประกอบ Fe^{3+} -TPTZ (ไม่มีสี) เป็นสารประกอบ Fe^{2+} -TPTZ (สีน้ำเงิน) กลไกแสดงดังรูปที่ 2.7 ถ้าตัวอย่างมีสารต้านออกซิเดชันที่มีสมบัติเป็นรีดิวซิงเอเจนต์ จะทำให้เกิดสารประกอบที่มีสีน้ำเงินมากขึ้น เมื่อวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 593 นาโนเมตร จะมีค่าการดูดกลืนแสงสูงขึ้น



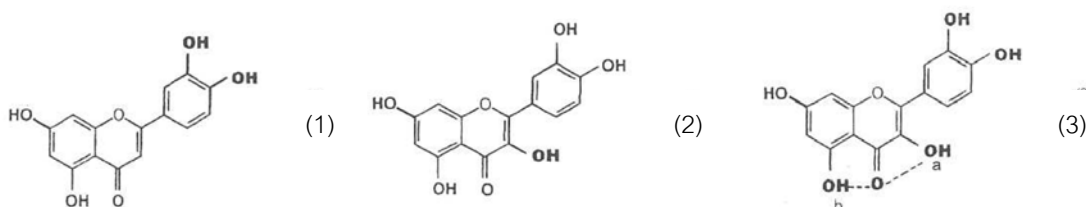
รูปที่ 2.7 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นใน FRAP (Huang et al., 2005)

2.4.3.3 ferrous-ion chelation

หลักการนี้อาศัยหลักการที่สารคีเลติงสามารถสร้างพันธะกับเฟอร์รัสไอออนในสารประกอบ 1,10-phenanthroline-Fe²⁺ ถ้าในตัวอย่างมีสารต้านออกซิเดชันที่มีสมบัติเป็นสารคีเลติงอยู่ จะทำให้ 1,10-phenanthroline-Fe²⁺ ในระบบลดลง ส่งผลให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตรต่ำลง (Oboh and Rocha, 2008)

2.4.4 ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิกจัดเป็นสารต้านออกซิเดชันประเภทหนึ่ง พบมากในพืช ผัก และผลไม้ โดยสารประกอบฟีนอลิกมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันผ่านกลไกต่าง ๆ เช่น การหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ การเป็นสารคีเลติง และการเป็นสารเสริมฤทธิ์สารต้านออกซิเดชัน ซึ่งประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งและจำนวนของหมู่ไฮดรอกซิลที่เกาะอยู่กับโครงสร้างหลัก งานวิจัยของ Benavente-Garcia และคณะ (1997) พบว่าการต้านออกซิเดชันของฟลาโวนอยด์จะมีประสิทธิภาพสูงหรือต่ำ ขึ้นกับโครงสร้างของฟลาโวนอยด์นั้นด้วย เช่น การมีหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่งออร์โทและตำแหน่งพาราบนวงแหวนบี (รูปที่ 2.8 (1)) มีผลทำให้ฟลาโวนอยด์มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงกว่า trolox 4 เท่า ในขณะที่พันธะคู่ที่ตำแหน่ง 2, 3 และหมู่ 4-oxo ของวงแหวนซี (รูปที่ 2.8 (2)) จะทำให้ฟลาโวนอยด์มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันแตกต่างกันออกไป เช่น ทาซิโฟลิน และนารินจีนิน ขาดพันธะคู่ตำแหน่ง 2 และ 3 ไป ทำให้มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันต่ำ และการมีหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง 3 บนวงแหวนซีและหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง 5 บนวงแหวนเอ (รูปที่ 2.8 (3)) จะมีผลทำให้ฟลาโวนอยด์มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูง อีกทั้งยังสามารถจับกับไอออนของโลหะได้อีกด้วย (Das and Pereira, 1990; Rice-Evans et al., 1995)



รูปที่ 2.8 หมู่ฟังก์ชันในโครงสร้างของฟลาโวนอยด์ในลักษณะต่าง ๆ ที่มีผลต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน (Benavente-Garcia et al., 1997)

กระเจียบแดงเป็นแหล่งของสารประกอบฟีนอลิกหลายชนิด เช่น กรดโพรโทแคทีชูอิก อีพิแคทีชิน แอนโทไซยานิน เป็นต้น (Mourtzinis et al., 2008) ดังนั้นจึงมีงานวิจัยที่ศึกษาฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของกระเจียบแดง เช่นงานวิจัยของ Tsai และคณะ (2002) ซึ่งศึกษาชนิดและฤทธิ์

ต้านออกซิเดชันของแอนโทไซยานินในกระเจี๊ยบแดง โดยสกัดสารจากกระเจี๊ยบแดงด้วยน้ำ แล้วแยกสารสกัดที่ได้ด้วยวิธีโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง โดยใช้คอลัมน์ LiChroprep RP-8 และใช้กรดแอสซิติคเข้มข้นร้อยละ 5 และแอสซิโตไนโตรล์เป็นเฟสเคลื่อนที่ โดยแยกแอนโทไซยานินชนิดเดลฟินิดิน-3-แซมบูไบโอไซด์ และไซยานิดิน-3-แซมบูไบโอไซด์ออกจากกัน จากนั้นนำแต่ละส่วนมาวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานิน โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 520 นาโนเมตร และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิเคราะห์ FRAP พบว่าเดลฟินิดิน-3-แซมบูไบโอไซด์เป็นแอนโทไซยานินชนิดหลัก และเป็นสารต้านออกซิเดชันหลักที่มีอยู่ในกระเจี๊ยบแดง โดยคิดเป็นร้อยละ 73 ของแอนโทไซยานินทั้งหมดในสารสกัด และมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันคิดเป็นร้อยละ 48 ของฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัด ส่วนไซยานิดิน-3-แซมบูไบโอไซด์คิดเป็นร้อยละ 13 ของแอนโทไซยานินทั้งหมดในสารสกัด และมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันคิดเป็นร้อยละ 3 ของฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัด

Sayago-Ayerdi และคณะ (2007) ศึกษาฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง โดยสกัดสารจากกระเจี๊ยบแดงด้วยน้ำ จากนั้นนำสารสกัดมาวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิเคราะห์ FRAP, ABTS (2,2'-azinobis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid diammonium salt)) radical cation assay และ ORAC พบว่าสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยคำนวณในรูปของ trolox เท่ากับ 312, 335.1 และ 621.8 ไมโครโมลต่อ 100 มิลลิลิตรของสารสกัด ตามลำดับ

Mohd-Esa และคณะ (2010) ศึกษาฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง โดยใช้น้ำกลั่น และเมทานอลเข้มข้นร้อยละ 80 (โดยปริมาตร) เป็นตัวทำละลาย กำหนดอัตราส่วนระหว่างกระเจี๊ยบแดงต่อตัวทำละลายเป็น 1 : 1000 (น้ำหนักต่อปริมาตร) จากนั้นนำสารสกัดที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยการวิเคราะห์ DPPH radical scavenging activity (ผสมสารสกัด 1 มิลลิลิตร กับสารละลาย DPPH เข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร) พบว่ากระเจี๊ยบแดงที่สกัดด้วยน้ำกลั่น และเมทานอลเข้มข้นร้อยละ 80 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยคำนวณในรูปของกรดแกลลิกเท่ากับ 1.85 และ 2.91 มิลลิกรัมต่อกรัมกระเจี๊ยบแดง (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ และมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันเท่ากับร้อยละ 30.08 และ 87.9 ตามลำดับ

2.5 การอบแห้ง

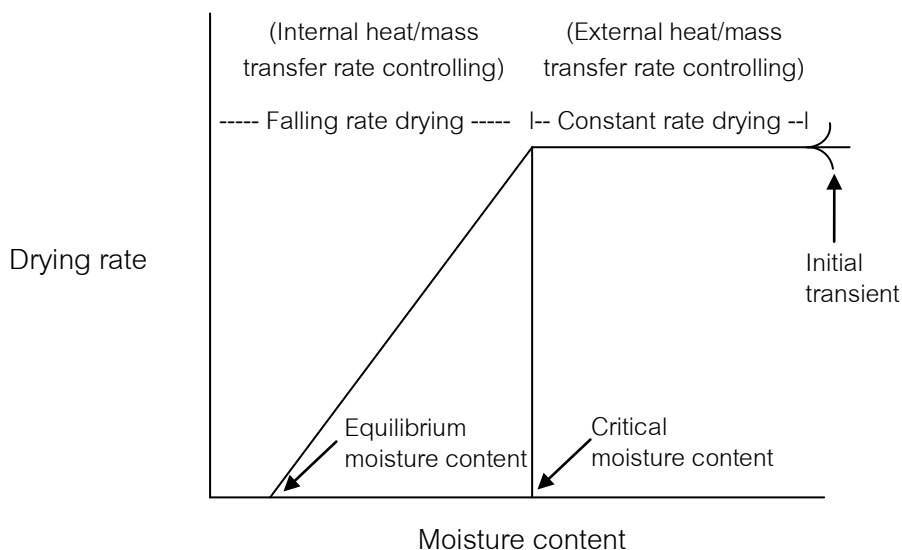
การอบแห้งเป็นกระบวนการกำจัดน้ำออกจากอาหาร มีวัตถุประสงค์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา โดยลดปริมาณความชื้นของอาหารจนถึงระดับที่สามารถป้องกันการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ คือ มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (a_w) ต่ำกว่า 0.65 ทำให้อาหารเก็บไว้ได้นาน

การอบแห้งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ การตากแดด และการอบแห้งโดยอาศัยเครื่องมือ การตากแดดเป็นวิธีที่ง่าย และเสียค่าใช้จ่ายน้อย แต่มีข้อเสียคือ ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิในการอบแห้งได้ เปลืองพื้นที่ในการอบแห้ง และมีปัญหาเรื่องการปนเปื้อนของฝุ่นละอองและแมลง ดังนั้นการอบแห้งโดยอาศัยเครื่องมือจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ใช้ในการผลิตอาหารอบแห้ง

การอบแห้งเป็นการดึงน้ำออกจากอาหารโดยการระเหย การระเหยเกิดจากการเคลื่อนที่ของน้ำในอาหารจากภายในไปสู่ผิวหนังของอาหาร และจากผิวหนังไปสู่อากาศ การเคลื่อนที่ของน้ำแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ เคลื่อนที่แบบ capillary flow mechanism ซึ่งเกิดในช่วงแรกของการอบแห้ง เนื่องจากอาหารจัดเป็นวัตถุที่มีรูพรุน และในอาหารยังมีน้ำอยู่ปริมาณมาก ดังนั้นเมื่ออาหารได้รับความร้อน ที่ผิวของอาหารจะเกิดการขยายตัวของอากาศเกิดความแตกต่างของความดันไอ ทำให้เกิดแรงดึงดูดให้น้ำเคลื่อนที่ขึ้นมาตามรูพรุนคล้ายกับว่าเป็นท่อเล็ก ๆ ตามรูพรุนนั้นเมื่อน้ำที่อยู่ตามรูพรุนหมดไป การเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารก็จะเป็นการเคลื่อนที่ของน้ำระหว่างเซลล์ ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่แบบ diffusion flow mechanism หรือ molecular diffusion โดยการเคลื่อนที่ของน้ำภายในจะเกิดจากการซึมผ่านของน้ำจากเซลล์หนึ่งไปสู่อีกเซลล์หนึ่งที่อยู่ติดกัน และซึมเข้าไปสู่เซลล์ที่อยู่ติดกับรูพรุน ซึ่งน้ำจะระเหยออกไปทางรูพรุนนั้น (Desrosier and Desrosier, 1977)

การอบแห้งอาหารภายใต้ภาวะที่อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลมคงที่ จะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของอาหารตามระยะเวลาการอบแห้ง ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง คือ

1. ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (constant rate period) ในช่วงแรกของการอบแห้ง ความชื้นที่บริเวณผิวหนังอาหารจะระเหยออกไป และน้ำที่อยู่ภายในชิ้นอาหารก็จะเคลื่อนที่ขึ้นมาทดแทนที่ผิวหนัง ซึ่งการระเหยของน้ำในช่วงนี้จะเกิดได้รวดเร็วด้วยอัตราคงที่ จากนั้นอัตราการอบแห้งจะดำเนินต่อไปจนถึงจุดปริมาณความชื้นวิกฤต (critical moisture content) ซึ่งเป็นจุดที่อัตราการอบแห้งเปลี่ยนจากอัตราการอบแห้งคงที่ไปเป็นอัตราการอบแห้งลดลง (รูปที่ 2.9)



รูปที่ 2.9 กราฟอัตราการอบแห้งภายใต้ภาวะการอบแห้งที่คงที่ (Mujumdar, 1997)

2. ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (falling rate period) เป็นช่วงการอบแห้งหลังจากผ่านจุดปริมาณความชื้นวิกฤต ในช่วงนี้อัตราการอบแห้งจะลดลงเนื่องจากการเคลื่อนที่ของน้ำในชั้นอาหารขึ้นมาทดแทนที่ผิวหน้าเกิดขึ้นได้ช้าลง ทำให้การระเหยออกของน้ำเป็นไปได้ยากขึ้น

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง ได้แก่ ธรรมชาติของอาหาร ขนาดและรูปร่างของอาหาร ตำแหน่งและลักษณะการวางอาหารในตู้อบ ปริมาณอาหาร ภาวะในการอบแห้ง เช่น ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และอุณหภูมิในการอบแห้ง เป็นต้น อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง ถ้าอุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้น อัตราการแพร่ของความชื้นจากภายในไปยังผิวของอาหารจะสูงขึ้น แต่อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่อคุณภาพของอาหาร ซึ่งมีงานวิจัยที่ศึกษาผลของอุณหภูมิในการอบแห้งต่อองค์ประกอบและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของพืช เช่น

Larrauri และคณะ (1997) ศึกษาผลของอุณหภูมิในการอบแห้งต่อความคงตัวของสารประกอบฟีนอลิก และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของกากองุ่นแดงที่เหลือจากการทำไวน์ โดยอบแห้งกากองุ่นแดงที่อุณหภูมิ 60, 100 และ 140 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับร้อยละ 8 (น้ำหนักเปียก) โดยใช้กากองุ่นแดงที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นตัวอย่างอ้างอิง นำกากองุ่นแดงอบแห้งมาวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยการวิเคราะห์ ferric thiocyanate พบว่ากากองุ่นแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และตัวอย่างอ้างอิง มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกไม่

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ส่วนการอบแห้งกากองุ่นแดงที่อุณหภูมิ 100 และ 140 องศาเซลเซียส ทำให้กากองุ่นแดงอบแห้งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดร้อยละ 81.4 และ 67.4 ของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่างอ้างอิง ตามลำดับ เมื่อพิจารณาฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของกากองุ่นแดงอบแห้ง พบว่ากากองุ่นแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และตัวอย่างอ้างอิง มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันไม่แตกต่างกันมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ส่วนการอบแห้งกากองุ่นแดงที่อุณหภูมิ 100 และ 140 องศาเซลเซียส ทำให้กากองุ่นแดงอบแห้งมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันลดลง โดยมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันร้อยละ 72 และ 50 ของฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในตัวอย่างอ้างอิง ตามลำดับ

Gradinaru และคณะ (2003) ศึกษาผลของอุณหภูมิในการให้ความร้อนต่อความคงตัวของแอนโทไซยานินของกระเจี๊ยบแดง โดยให้ความร้อนแก่สารละลายแอนโทไซยานินที่สกัดจากกระเจี๊ยบแดง ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 6, 13 และ 24 ชั่วโมง 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 3, 6, 9, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 1, 2, 3.25, 4.5, 6, 9 และ 12 ชั่วโมง และ 98 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3 และ 3.5 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายดังกล่าวมาวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินด้วยวิธีโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง พบว่าเมื่อระยะเวลาการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น ปริมาณแอนโทไซยานินในสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ให้ความร้อนที่ทุกอุณหภูมิจะมีแนวโน้มลดลง โดยแอนโทไซยานินในสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส มีอัตราการสลายตัวสูงสุด รองลงมาคือการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85, 70 และ 55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 55, 70, 85 และ 98 องศาเซลเซียส มีค่าคงที่การสลายตัวของแอนโทไซยานินเท่ากับ 0.027, 0.074, 0.176 และ 0.306 ชั่วโมง⁻¹ ตามลำดับ และมีค่าครึ่งชีวิตของแอนโทไซยานินเท่ากับ 25.4, 9.4, 3.9 และ 2.2 ชั่วโมงตามลำดับ

Katsube และคณะ (2009) ศึกษาผลของอุณหภูมิในการอบแห้งต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของใบหม่อน โดยอบแห้งใบหม่อนที่อุณหภูมิ 40, 60 และ 70 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับร้อยละ 9 (น้ำหนักแห้ง) โดยใช้ใบหม่อนที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นตัวอย่างอ้างอิง จากนั้นนำใบหม่อนแห้งที่ได้มาสกัดด้วยเอทานอล แล้วนำสารสกัดมาวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกด้วยวิธีโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง และวิเคราะห์ DPPH radical scavenging activity พบว่าตัวอย่างอ้างอิง และใบหม่อนที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.01$) ในขณะที่ใบหม่อนที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีปริมาณ

สารประกอบฟีนอลิกต่ำที่สุด ผลของอุณหภูมิในการอบแห้งต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในไบหม่อน นั้นให้ผลไปในทิศทางเดียวกับค่าของปริมาณสารประกอบฟีนอลิก โดยพบว่าตัวอย่างอ้างอิง และ ไบหม่อนที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันไม่แตกต่างกันอย่าง มีนัยสำคัญ ($p>0.01$) ส่วนไบหม่อนที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีฤทธิ์ต้าน ออกซิเดชันต่ำที่สุด

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย

วัตถุดิบ

ดอกกระเจี๊ยบแดงพันธุ์ชูดานที่มีลักษณะสมบูรณ์ จากปากคลองตลาด กรุงเทพมหานคร (เก็บเกี่ยวในช่วงเดือนตุลาคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2552) นำมาควั่นกระเปาะเมล็ดดอก ใช้ส่วนที่เป็นกลีบเลี้ยงของดอกกระเจี๊ยบแดง

สารเคมี

Acetic acid, A.R. grade (J.T.Baker, NJ, USA)
DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl), A.R. grade (Sigma, Steinheim, Germany)
Ferric chloride, A.R. grade (Unilab, NSW, Australia)
Folin-Ciocalteu phenol reagent, A.R. grade (Carlo Erba, Rodano, France)
Gallic acid, A.R. grade (Fluka Chemika, Buchs, Switzerland)
Hydrochloric acid, A.R. grade (J.T.Baker, NJ, USA)
Methanol, A.R. grade (Merck, Darmstadt, Germany)
Potassium chloride, A.R. grade (Univar, NSW, Australia)
Sodium acetate, A.R. grade (Univar, NSW, Australia)
Sodium carbonate, A.R. grade (Univar, NSW, Australia)
TPTZ (2,4,6-tripyridyl-s-triazine), A.R. grade (Sigma, Steinheim, Germany)
Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid), A.R. grade (Sigma, Steinheim, Germany)

อุปกรณ์

เครื่อง Aqualab (Decagon Devices รุ่น AquaLink 3.0, Pullman, WA, USA)
เครื่องวัดสี ColorFlex[®] (HunterLab Reston รุ่น 45/0-s, Reston, VA, USA)
เครื่อง Ion sputter (Balzers รุ่น CPD 040, Vaduz, Liechtenstein)
เครื่อง pH-meter (Eutech รุ่น Cyber Scan pH 1000 Bench, Singapore)
เครื่อง Rotary Evaporator (Eyela รุ่น SB-651, Tokyo, Japan)
เครื่อง Scanning Electron Microscope (JEOL รุ่น JSM-5410LV, Tokyo, Japan)

เครื่อง Shaking Water Bath (GFL รุ่น 1092 , Burgwedel, Germany)

เครื่อง Spectrophotometer (Thermo Spectronic[®] รุ่น Genesys 10UV, Waltham, MA, USA)

เครื่อง Vortex (Labnet รุ่น VX100, Woodbridge, NJ, USA)

กาน้ำร้อน (OTTO รุ่น CM-025, Beijing, China)

เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดหยาบ (Sartorius รุ่น BP 310s, Bradford, Germany)

เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด (Sartorius รุ่น ED 224s, Bradford, Germany)

เครื่องปั่นผสม (OTTO รุ่น BE-120, Beijing, China)

ตู้อบลมร้อน 60 (บริษัทเหี่ยวเฮง จำกัด, รุ่น HA-100s, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย)

ตู้อบ 105 องศาเซลเซียส (WTB Binder รุ่น 78532, Tuttlingen, Germany)

ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงสด

ขั้นตอนการสกัดสารจากกระเจี๊ยบแดง ดัดแปลงจากวิธีของ Rodriguez-Saona และ Wrolstad (2005)

ปั่นกล้วยของดอกกระเจี๊ยบแดงสด 20 กรัม ใน Waring blender ด้วยความเร็วสูงสุดนาน 4 นาที จากนั้นนำกระเจี๊ยบแดงที่ได้จากการปั่นมาใส่ขวดรูปชมพู่ แล้วเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 0.01 ในเมทานอล ลงไป 200 มิลลิลิตร ปิดภาชนะด้วยแผ่นพาราฟิล์ม แล้วนำไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 1 องศาเซลเซียส) จากนั้นกรองสารสกัดที่ได้ผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 แล้วนำสารสกัดมาระเหยเมทานอลออกด้วยเครื่องระเหยแบบหมุน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เพื่อให้สารสกัดเข้มข้นขึ้น 10 เท่า นำสารสกัดเข้มข้นที่ได้มาวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

3.1.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

เจือจางสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงเข้มข้นด้วยน้ำกลั่น ให้มีความเข้มข้น 40 ไมโครลิตร สารสกัดเข้มข้นต่อมิลลิลิตร แล้ววิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu ซึ่งดัดแปลงจากวิธีของ Waterhouse (2005) โดยปิเปตสารสกัดเจือจาง 1 มิลลิลิตร ลงในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นลงไป 35 มิลลิลิตร แล้วปิเปตสารละลาย Folin-Ciocalteu เข้มข้น 2 นอร์มัล 2.5 มิลลิลิตร ลงในขวดกำหนดปริมาตร เขย่าให้สารละลายเข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 1 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 4 นาที เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตอิมตัวลงไป 7.5 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร

ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้สารละลายเข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด ที่อุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร คำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากกราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแกลลิก (ภาคผนวก ก. 1) แสดงผลในหน่วยมิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมกระเจียบแดง (น้ำหนักแห้ง)

3.1.2 ปริมาณแอนโทไซยานิน

เจือจางสารสกัดจากกระเจียบแดงเข้มข้นด้วยน้ำกลั่น ให้มีความเข้มข้น 30 ไมโครลิตร สารสกัดเข้มข้นต่อมิลลิลิตร แล้ววิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินด้วยวิธี pH-differential ตามวิธีของ Giusti และ Wrolstad (2005) โดยปีเปตสารสกัดเจือจาง 1.5 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมแอสซีเตต (ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 4.5) เข้มข้น 25 มิลลิโมลาร์ 1.5 มิลลิลิตร เก็บไว้ในที่มืด 15 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 518 และ 700 นาโนเมตร ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้คือค่า A_{518nm} (pH4.5) และ A_{700nm} (pH4.5) ตามลำดับ จากนั้นปีเปตสารสกัดเจือจาง 1.5 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายบัฟเฟอร์โพแทสเซียมคลอไรด์ (ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 1.0) เข้มข้น 0.4 โมลาร์ 1.5 มิลลิลิตร เก็บไว้ในที่มืด 15 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 518 และ 700 นาโนเมตร ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้คือค่า A_{518nm} (pH1.0) และ A_{700nm} (pH1.0) ตามลำดับ นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณในสูตรที่ (3.1)

$$A = [A_{518nm}(pH1.0) - A_{700nm}(pH1.0)] - [(A_{518nm}(pH4.5) - A_{700nm}(pH4.5))] \quad (3.1)$$

แล้วนำค่า A ที่ได้ มาคำนวณหาปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดจากสูตรที่ (3.2)

$$\text{ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตรของสารสกัด)} = \frac{A \times MW \times DF \times 1000}{\epsilon \times l} \quad (3.2)$$

โดยที่ MW = น้ำหนักโมเลกุลของแอนโทไซยานินชนิดหลักที่พบในกระเจียบแดง

ϵ = ค่า molar absorptivity ของแอนโทไซยานินชนิดหลักที่พบในกระเจียบแดง

DF = จำนวนเท่าที่เจือจางเพื่อให้ได้ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้

l คือ ความกว้างของคิวเวทท์ (เซนติเมตร)

เนื่องจากไม่มีรายงานค่า MW และ ϵ ของเดลฟินิดิน-3-แซมบูไบโอไซด์ ซึ่งเป็นแอนโทไซยานินชนิดหลักในกระเจียบแดง ดังนั้น Giusti และ Wrolstad (2005) จึงแนะนำให้ใช้ค่า MW และ ϵ ของไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์สำหรับคำนวณปริมาณแอนโทไซยานิน โดยมีค่า 449.2 และ 26900 ตามลำดับ (ภาคผนวก ก.2) นอกจากนี้ Francis (1989) ก็แนะนำให้ใช้ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์สำหรับคำนวณปริมาณแอนโทไซยานินเช่นกัน

คำนวณปริมาณแอนโทไซยานินดังสมการ 3.2 แล้วแสดงผลในหน่วยมิลลิกรัมไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ต่อกรัมกระเจียบแดง (น้ำหนักแห้ง)

3.1.3 ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน

3.1.3.1 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity

เจือจางสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงเข้มข้นด้วยน้ำกลั่น ให้มีความเข้มข้น 0.5, 1.5, 2.5, 3.5, 4.5 และ 5.5 ไมโครลิตรสารสกัดเข้มข้นต่อมิลลิลิตร แล้ววิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในรูปแบบ DPPH radical scavenging activity ซึ่งดัดแปลงจากวิธีของ Perez และคณะ (2007) โดยปิเปตสารสกัดเจือจางแต่ละความเข้มข้น 1.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง แล้วปิเปตสารละลาย DPPH เข้มข้น 0.2 มิลลิโมลาร์ 1.5 มิลลิลิตร ผสมกับสารสกัดเจือจางที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ เขย่าให้สารละลายเข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ในที่มืด ที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 1 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร นำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง % scavenging activity กับความเข้มข้นของสารสกัดเจือจาง ซึ่ง % scavenging activity คำนวณได้จากสูตรที่ (3.3)

$$\% \text{ scavenging activity} = \frac{A_0 - A_s}{A_0} \times 100 \quad (3.3)$$

โดยที่ A_0 = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างควบคุม (ใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง)

A_s = ค่าการดูดกลืนแสงตัวอย่างที่ทำปฏิกิริยากับสารละลาย DPPH

วิเคราะห์หาสมการเส้นตรงของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง % scavenging activity กับความเข้มข้นของสารสกัดเจือจาง แล้วแทนค่า y เป็น 50 เพื่อหาค่า EC_{50} ของตัวอย่าง ซึ่งค่า EC_{50} หมายถึง ความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถลดความเข้มข้นของอนุมูลอิสระ DPPH ลงได้ร้อยละ 50 ณ เวลาการทำปฏิกิริยาที่ภาวะสมดุล (Prior et al., 2005) แล้วนำค่า EC_{50} มาคำนวณเป็นค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเทียบเท่าวิตามินซี (ascorbic acid equivalent antioxidant capacity, AEAC) โดยคำนวณจากสูตร (3.4) (ภาคผนวก ก.3)

$$\text{AEAC (มิลลิกรัมวิตามินซีต่อกรัม)} = \frac{EC_{50} \text{ Vitamin C}}{EC_{50} \text{ Sample}} \times 1000 \quad (3.4)$$

โดยที่ ค่า EC_{50} ของวิตามินซี ที่ใช้ในการคำนวณมีค่าเท่ากับ 0.00387 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (Chan et al., 2007)

3.1.3.2 Ferric ion reducing antioxidant power (FRAP)

เจือจางสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงเข้มข้นด้วยน้ำกลั่น ให้มีความเข้มข้น 4 ไมโครลิตรสารสกัดเข้มข้นต่อมิลลิลิตร แล้ววิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในรูปแบบ FRAP โดยดัดแปลงจากวิธีของ Benzie และ Strain (1996) เตรียมสารละลาย FRAP โดยการผสมสารละลายบัพเฟอร์โซเดียมแอสซีเตต (ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 3.6) เข้มข้น 300 มิลลิโมลาร์ 25 มิลลิลิตร สารละลายเฟอริกคลอไรด์เข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ 2.5 มิลลิลิตร และสารละลาย 2,4,6-tripyridyl-s-triazine (TPTZ) เข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ 2.5 มิลลิลิตร เข้าด้วยกัน จากนั้นเปิดสารละลาย FRAP 2000 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลอง แล้วนำไปบ่มในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส 30 นาที จากนั้นเปิดสารสกัดเจือจาง 200 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน เก็บในที่มืด 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 1 องศาเซลเซียส) แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร นำผลของการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ได้เทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลาย trolox (ภาคผนวก ก.4) เพื่อคำนวณหาฤทธิ์ต้านออกซิเดชันที่มีในตัวอย่าง โดยแสดงผลในหน่วยไมโครโมล trolox ต่อกรัมกระเจี๊ยบแดง (น้ำหนักแห้ง)

การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อ 3.1.1-3.1.3 ทดลองสามซ้ำ นำข้อมูลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อนำค่าของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของกระเจี๊ยบแดงสดเปรียบเทียบกับกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง และน้ำชากระเจี๊ยบจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในข้อ 3.3 และ 3.4

3.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิต่ออัตราการอบแห้งของกระเจี๊ยบแดง

อบแห้งกระเจี๊ยบแดงด้วยตู้อบแห้งแบบลมร้อน ที่ความเร็วลม 1.3 เมตรต่อวินาที แปรอุณหภูมิในการอบแห้งเป็น 4 ระดับ ได้แก่ 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส บันทึกน้ำหนักของกระเจี๊ยบแดงตามช่วงเวลาของการอบแห้งตั้งแต่เริ่มอบแห้งจนกระเจี๊ยบแดงมีน้ำหนักคงที่ ทำการทดลองสามซ้ำ นำข้อมูลที่ได้มาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น (น้ำหนักเปียก) และเวลาในการอบแห้ง แล้วพิจารณาเวลาในการอบแห้งที่ทำให้กระเจี๊ยบแดงมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับร้อยละ 9 (น้ำหนักเปียก) เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการอบแห้งกระเจี๊ยบแดงในข้อ 3.3 จากนั้นนำข้อมูลมาคำนวณค่าอัตราส่วนความชื้น (moisture ratio, MR) ดังสมการ (3.5) และสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln MR$ กับเวลาในการอบแห้ง คำนวณหาค่าคงที่การอบแห้ง (ค่าคงที่ k) จากความชันของกราฟ

$$MR = \frac{(M_t - M_e)}{(M_0 - M_e)} \quad (3.5)$$

เมื่อ MR = อัตราส่วนความชื้น

M_t = ปริมาณความชื้นที่เวลาใดๆ (น้ำหนักแห้ง)

M_0 = ปริมาณความชื้นที่เริ่มต้น (น้ำหนักแห้ง)

M_e = ปริมาณความชื้นที่สมดุล (น้ำหนักแห้ง)

3.3 ศึกษาผลของอุณหภูมิการอบแห้งต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง

อบแห้งกระเจี๊ยบแดงที่อุณหภูมิ 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้ข้อมูลจากข้อ 3.2 กำหนดเวลาในการอบแห้ง เพื่อให้กระเจี๊ยบแดงมีความชื้นสุดท้ายร้อยละ 9 (น้ำหนักเปียก) นำกระเจี๊ยบแดงอบแห้งที่ได้มาปั่นใน Waring blender ด้วยความเร็วสูงสุดนาน 4 นาที จากนั้นร่อนผ่านตะแกรงขนาด 30 mesh ซึ่งส่วนที่สามารถร่อนผ่านตะแกรง 20 กรัม นำไปสกัดและทำให้เข้มข้นขึ้น 40 เท่า ด้วยวิธีการเช่นเดียวกับข้อ 3.1 นำสารสกัดเข้มข้นที่ได้มาวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

3.3.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu

เจือจางสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงเข้มข้นด้วยน้ำกลั่น ให้มีความเข้มข้น 2.5 ไมโครลิตร สารสกัดเข้มข้นต่อมิลลิลิตร แล้ววิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดตามวิธีการเช่นเดียวกันกับข้อ 3.1.1 คำนวณผลเป็นหน่วยมิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมกระเจี๊ยบแดง (น้ำหนักแห้ง)

3.3.2 ปริมาณแอนโทไซยานินด้วยวิธี pH-differential

เจือจางสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงเข้มข้นด้วยน้ำกลั่น ให้มีความเข้มข้น 1.5 ไมโครลิตร สารสกัดเข้มข้นต่อมิลลิลิตร แล้ววิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินตามวิธีการเช่นเดียวกันกับข้อ 3.1.2 คำนวณผลเป็นหน่วยมิลลิกรัมไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ต่อกรัมกระเจี๊ยบแดง (น้ำหนักแห้ง)

3.3.3 ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน

3.3.3.1 DPPH radical scavenging activity

เจือจางสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงเข้มข้นด้วยน้ำกลั่น ให้มีความเข้มข้น 50, 100, 150, 200, 250 และ 300 ไมโครลิตรสารสกัดเข้มข้นต่อลิตร แล้ววิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในรูปแบบ DPPH radical scavenging activity ตามวิธีการเช่นเดียวกันกับข้อ 3.1.3.1 คำนวณผลเป็นค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเทียบเท่าวิตามินซี ซึ่งมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมวิตามินซีต่อกรัมกระเจี๊ยบแดง (น้ำหนักแห้ง)

3.3.3.2 FRAP

เจือจางสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงเข้มข้นด้วยน้ำกลั่น ให้มีความเข้มข้น 0.2 ไมโครลิตรสารสกัดเข้มข้นต่อมิลลิลิตร แล้ววิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในรูปแบบ FRAP ตามวิธีการเช่นเดียวกันกับข้อ 3.1.3.2 คำนวณผลเป็นหน่วยไมโครโมล trolox ต่อกรัมกระเจี๊ยบแดง (น้ำหนักแห้ง)

การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อ 3.3.1-3.3.3 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ทดลองสามซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test เพื่อเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิการอบแห้งต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง

คัดเลือกอุณหภูมิในการอบแห้ง 3 อุณหภูมิ ที่ทำให้สารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้งมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงสุด 3 อันดับแรก โดยพิจารณาร่วมกับผลของอุณหภูมิในการอบแห้งต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของน้ำชากระเจี๊ยบด้วย เพื่อนำไปศึกษาผลของอุณหภูมิการอบแห้ง และระยะเวลาการเก็บต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง และน้ำชากระเจี๊ยบ ในข้อ 3.6 และ 3.7 ตามลำดับ

3.4 ศึกษาผลของอุณหภูมิการอบแห้งต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของน้ำชากระเจี๊ยบ

ในงานวิจัยนี้ใช้น้ำร้อนในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกที่มีอยู่ในกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง เพื่อนำสารสกัดไปศึกษาฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน โดยในที่นี้จะใช้น้ำชาเพื่ออธิบายสารละลายที่สกัดได้ด้วยน้ำร้อน (hot water extract) ดังนั้นการรายงานค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในน้ำชากระเจี๊ยบในหน่วยของกรัมกระเจี๊ยบแดง (น้ำหนักแห้ง) เป็นการแสดงให้เห็นถึงปริมาณสาร และสมบัติดังกล่าวที่สามารถสกัดออกมาจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้งโดยการใช้ความร้อนสกัด

ขั้นตอนการชงชาดัดแปลงจากวิธีของ Sayago-Ayerdi และคณะ (2007) ซึ่งทำโดยการนำกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส จากข้อ 3.3 มา 5 กรัม แช่ในน้ำเดือด 100 มิลลิลิตร เป็นเวลา 5 นาที กรองน้ำชาที่ได้ผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 จากนั้นนำน้ำชามาวิเคราะห์ค่าดังต่อไปนี้

3.4.1 ค่าสีด้วยเครื่องวัดสีระบบ CIE $L^*a^*b^*$ แหล่งกำเนิดแสง D65 มุมการมอง 10° ด้วยเครื่อง ColorFlex[®] รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.5

3.4.2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu

นำน้ำชากระเจี๊ยบ 1 มิลลิลิตร ไปวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ตามวิธีการเช่นเดียวกันกับข้อ 3.1.1 คำนวณผลเป็นหน่วยมิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมกระเจี๊ยบแดง (น้ำหนักแห้ง)

3.4.3 ปริมาณแอนโทไซยานินด้วยวิธี pH-differential

ปิเปตน้ำชากระเจี๊ยบ 5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น แล้ววิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดตามวิธีการเช่นเดียวกันกับข้อ 3.1.2 คำนวณผลเป็นหน่วยมิลลิกรัมไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ต่อกรัมกระเจี๊ยบแดง (น้ำหนักแห้ง)

3.4.4 ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน

3.4.4.1 DPPH radical scavenging activity

ปิเปตน้ำชากระเจี๊ยบ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น แล้ววิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในรูป DPPH radical scavenging activity ตามวิธีการเช่นเดียวกันกับข้อ 3.1.3.1 คำนวณผลเป็นค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเทียบเท่าวิตามินซี ซึ่งมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมวิตามินซีต่อกรัมกระเจี๊ยบแดง (น้ำหนักแห้ง)

3.4.4.2 FRAP

ปิเปตน้ำชากระเจี๊ยบ 1 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น แล้ววิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในรูป FRAP ตามวิธีการเช่นเดียวกันกับข้อ 3.1.3.2 คำนวณผลเป็นหน่วยไมโครโมล trolox ต่อกรัมกระเจี๊ยบแดง (น้ำหนักแห้ง)

การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อ 3.4.1-3.4.4 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ทดลองสามซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test เพื่อเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิการอบแห้งต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของน้ำชากระเจี๊ยบแดง

พิจารณาร่วมกับผลของอุณหภูมิในการอบแห้งต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง เพื่อคัดเลือกอุณหภูมิในการอบแห้ง 3 อุณหภูมิ ที่ทำให้น้ำชาที่ชงจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้งมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงสุด 3 อันดับแรก เพื่อนำไปศึกษาผลของอุณหภูมิการอบแห้ง และระยะเวลาการเก็บต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง และน้ำชากระเจี๊ยบ ในข้อ 3.6 และ 3.7 ตามลำดับ

3.5 ศึกษาผลของอุณหภูมิการอบแห้งต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลล์ของกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง

นำกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส ที่มีลักษณะสมบูรณ์ที่สุด จากข้อ 3.3 มาแช่ในไนโตรเจนเหลว จากนั้นหั่นครึ่งกระเจี๊ยบแดงอบแห้งขณะที่ยังแข็งอยู่ แล้วตัดตัวอย่างบนแท่นวางตัวอย่าง (stub) ด้วยกาว โดยให้รอยหักของกระเจี๊ยบแดงอยู่ด้านบน นำตัวอย่างที่ติดบนแท่นวางไปฉาบทองด้วยเครื่อง Ion sputter จากนั้นนำไปส่องดูลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลล์ของกระเจี๊ยบแดงอบแห้งด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ที่กำลังขยาย 350 เท่า ที่กระแสไฟ 15 กิโลโวลต์ เปรียบเทียบลักษณะของเซลล์ของกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ

3.6 ศึกษาผลของอุณหภูมิการอบแห้ง และระยะเวลาการเก็บต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง

อบแห้งกระเจี๊ยบแดงตามอุณหภูมิที่คัดเลือกได้จากการทดลองข้อที่ 3.3 และ 3.4 จากนั้นเก็บกระเจี๊ยบแดงอบแห้งที่ได้ในถุงพลาสติกเคลือบอลูมิเนียมฟอยล์ (oriented polypropylene/polyethylene/aluminum/linear low density polyethylene, OPP/PE/AL/LLDPE) ขนาด 13X20 เซนติเมตร² บรรจุถุงละ 25 กรัม ปิดผนึกและเก็บรักษาที่สภาพบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 1 องศาเซลเซียส) และสุ่มตัวอย่างที่เก็บไว้เป็นระยะเวลา 1, 10 และ 20 สัปดาห์ มาสกัดและทำให้เข้มข้น โดยใช้วิธีการเช่นเดียวกับข้อที่ 3.3 ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงด้านต่าง ๆ ของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง โดยวิเคราะห์ค่าดังต่อไปนี้

3.6.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu

เจือจางสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงเข้มข้นด้วยน้ำกลั่น ให้มีความเข้มข้น 2.5 ไมโครลิตรสารสกัดเข้มข้นต่อมิลลิลิตร แล้ววิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดตามวิธีการเช่นเดียวกันกับข้อ 3.1.1 คำนวณผลเป็นหน่วยมิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมกระเจี๊ยบแดง (น้ำหนักแห้ง)

3.6.2 ปริมาณแอนโทไซยานินด้วยวิธี pH-differential

เจือจางสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงเข้มข้นด้วยน้ำกลั่น ให้มีความเข้มข้น 1.5 ไมโครลิตรสารสกัดเข้มข้นต่อมิลลิลิตร แล้ววิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดตามวิธีการเช่นเดียวกันกับข้อ 3.1.2 คำนวณผลเป็นหน่วยมิลลิกรัมไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ต่อกรัมกระเจี๊ยบแดง (น้ำหนักแห้ง)

3.6.3 ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน

3.6.3.1 DPPH radical scavenging activity

เจือจางสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงเข้มข้นด้วยน้ำกลั่น ให้มีความเข้มข้น 50, 100, 150, 200, 250 และ 300 ไมโครลิตรสารสกัดเข้มข้นต่อลิตร แล้ววิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในรูปแบบ DPPH radical scavenging activity ตามวิธีการเช่นเดียวกันกับข้อ 3.1.3.1 คำนวณผลเป็นค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเทียบเท่าวิตามินซี ซึ่งมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมวิตามินซีต่อกรัมกระเจี๊ยบแดง (น้ำหนักแห้ง)

3.6.3.2 FRAP

เจือจางสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงเข้มข้นด้วยน้ำกลั่น ให้มีความเข้มข้น 0.2 ไมโครลิตรสารสกัดเข้มข้นต่อมิลลิลิตร แล้ววิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในรูปแบบ FRAP ตามวิธีการเช่นเดียวกันกับข้อ 3.1.3.2 คำนวณผลเป็นหน่วยไมโครโมล trolox ต่อกรัมกระเจี๊ยบแดง (น้ำหนักแห้ง)

การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อ 3.6.1-3.6.3 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ทดลองสามซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test เพื่อเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิการอบแห้ง และระยะเวลาการเก็บต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง

3.7 ศึกษาผลของอุณหภูมิการอบแห้ง และระยะเวลาการเก็บต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของน้ำชากระเจี๊ยบ

อบแห้งกระเจี๊ยบแดงตามข้อ 3.3 แล้วเก็บกระเจี๊ยบแดงอบแห้งที่ได้ในถุงพลาสติกเคลือบอลูมิเนียมฟอยล์ขนาด 13X20 เซนติเมตร² บรรจุถุงละ 25 กรัม เก็บรักษาที่สภาพบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิห้อง (30±1 องศาเซลเซียส) และสุ่มตัวอย่างมาชงชาทุก 3 สัปดาห์ เป็นเวลา 24 สัปดาห์ โดยใช้วิธีการชงชาในข้อ 3.4 ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงด้านต่าง ๆ ของน้ำชากระเจี๊ยบ โดยวิเคราะห์ค่าดังต่อไปนี้

3.7.1 ค่าสีด้วยเครื่องวัดสีระบบ CIE $L^*a^*b^*$ แหล่งกำเนิดแสง D65 มุมการมอง 10° ด้วยเครื่อง ColorFlex[®] รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.5

3.7.2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu

นำน้ำชากระเจี๊ยบ 1 มิลลิลิตร ไปวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ตามวิธีการเช่นเดียวกันกับข้อ 3.1.1 คำนวณผลเป็นหน่วยมิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมกระเจี๊ยบแดง (น้ำหนักแห้ง)

3.7.3 ปริมาณแอนโทไซยานินด้วยวิธี pH-differential

ปิเปตน้ำชากระเจี๊ยบ 5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น แล้ววิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดตามวิธีการเช่นเดียวกันกับข้อ 3.1.2 คำนวณผลเป็นหน่วยมิลลิกรัมไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ต่อกรัมกระเจี๊ยบแดง (น้ำหนักแห้ง)

3.7.4 ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน

3.7.4.1 DPPH radical scavenging activity

ปิเปตน้ำชากระเจี๊ยบ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น แล้ววิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในรูปแบบ DPPH radical scavenging activity ตามวิธีการเช่นเดียวกันกับข้อ 3.1.3.1 คำนวณผลเป็นค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเทียบเท่าวิตามินซี ซึ่งมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมวิตามินซีต่อกรัมกระเจี๊ยบแดง (น้ำหนักแห้ง)

3.7.4.2 FRAP

ปิเปตน้ำชากระเจี๊ยบ 1 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น แล้ววิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในรูปแบบ FRAP ตามวิธีการเช่นเดียวกันกับข้อ 3.1.3.2 คำนวณผลเป็นหน่วยไมโครโมล trolox ต่อกรัมกระเจี๊ยบแดง (น้ำหนักแห้ง)

การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อ 3.7.1-3.7.4 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ทดลองสามซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test เพื่อเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิการอบแห้ง และระยะเวลาการเก็บต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของน้ำชากระเจี๊ยบ

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงสด

กลีบเลี้ยงดอกกระเจี๊ยบแดงสดที่ใช้ในการทดลองมีความชื้นร้อยละ 89.22 (น้ำหนักเปียก) เมื่อนำมาสกัดด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 0.01 ในเมทานอล และวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิเคราะห์ 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity รายงานเป็นค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเทียบเท่าวิตามินซี (ascorbic acid equivalent antioxidant capacity, AEAC) และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิเคราะห์ ferric ion reducing antioxidant power (FRAP) ตามวิธีการในข้อ 3.1 ให้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของกระเจี๊ยบแดงสด

	ค่าเฉลี่ย ¹ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg gallic acid equivalent (GAE)/g dry matter)	74.59 ± 1.09
ปริมาณแอนโทไซยานิน (mg cyanidin-3-glucoside (cy-3-glu)/g dry matter)	11.55 ± 0.65
ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน DPPH radical scavenging activity รายงานเป็นค่า AEAC (mg ascorbic acid (AA)/g dry matter)	15.24 ± 0.53
FRAP (µmol trolox/g dry matter)	272.67 ± 3.97

¹ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

จากตารางที่ 4.1 พบว่ากระเจี๊ยบแดงสดที่ใช้ทดลองมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด คำนวณในรูปของกรดแกลลิก 74.59 มิลลิกรัมต่อกรัมกระเจี๊ยบแดง (น้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้ สารประกอบฟีนอลิกที่มีอยู่ในกระเจี๊ยบแดงมีหลายชนิด ได้แก่ กรดคลอโรเจนิค (chlorogenic acid) เคอร์ซีทิน (quercetin) ไมริซีทิน (myricetin) กรดแคฟเฟอิก (caffeic acid) กรดไซริงจิก (syringic acid) แคมฟีรอล (campherol) กรดแกลลิก (gallic acid) กรดไซแนปิก (sinapic acid) กรดยูโซลิก (ursolic acid) กรดเฟรูลิก (ferulic acid) กรดพารา-คูมาริก (p-coumaric

acid) กรดโพรโทแคทีชัวอิก (protocatechuic acid) อีพิแคทีชิน (epicatechin) และแอนโทไซยานิน (Mourtzin et al., 2008) ซึ่งแอนโทไซยานินเป็นสารประกอบฟีนอลิกที่พบมากในกระเจี๊ยบแดง โดยมีถึงร้อยละ 30.8 ของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่มีอยู่ในกระเจี๊ยบแดง (Sayago-Ayerdi et al., 2007) จากตารางที่ 4.1 พบว่ากระเจี๊ยบแดงสดที่ใช้ทดลองมีปริมาณแอนโทไซยานินซึ่งคำนวณในรูปของไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ 11.55 มิลลิกรัมต่อกรัมกระเจี๊ยบแดง (น้ำหนักแห้ง) โดย Segura-Carretero และคณะ (2008) รายงานว่าแอนโทไซยานินชนิดหลักที่พบในกระเจี๊ยบแดง คือ เดลฟินิดิน-3-แซมบูไบโอไซด์ และไซยานิดิน-3-แซมบูไบโอไซด์ และแอนโทไซยานินที่พบรองลงมาคือ ไซยานิดิน-3-ออร์โท-รูทีโนไซด์ เดลฟินิดิน-3-ออร์โท-กลูโคไซด์ และไซยานิดิน-3,5-ไดกลูโคไซด์

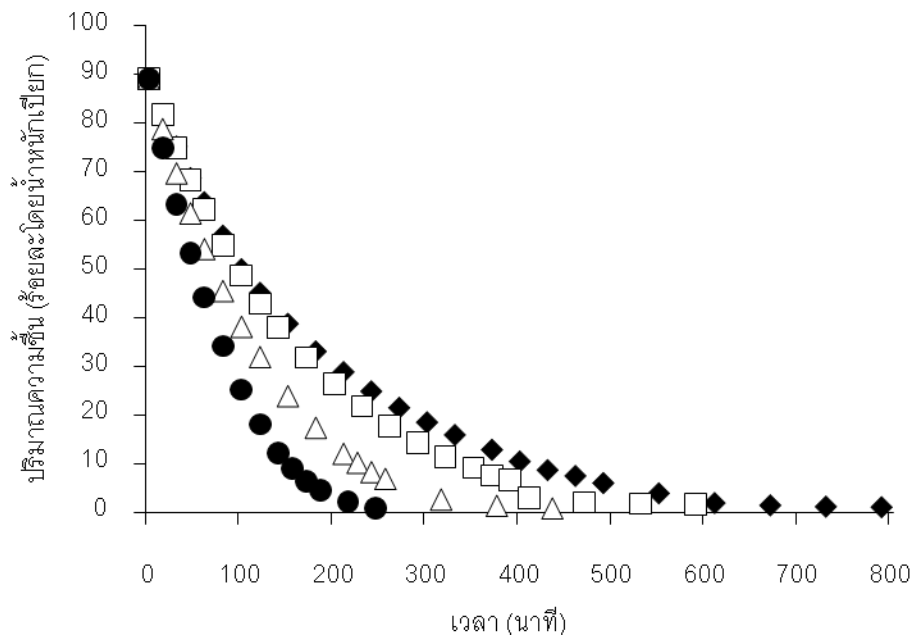
จากผลการทดลองพบว่ากระเจี๊ยบแดงสดเป็นแหล่งของสารประกอบฟีนอลิก และแอนโทไซยานิน ซึ่งสมบัติที่น่าสนใจขององค์ประกอบดังกล่าวคือ การมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน จากตารางที่ 4.1 เมื่อวิเคราะห์ DPPH radical scavenging activity โดยรายงานเป็นค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเทียบเท่าวิตามินซี พบว่ากระเจี๊ยบแดงสดที่ใช้ในการทดลองมีค่าดังกล่าว 15.24 มิลลิกรัมวิตามินซีต่อกรัมกระเจี๊ยบแดง (น้ำหนักแห้ง) โดยค่าที่ได้มีค่าต่ำกว่าค่าดังกล่าวของกระเจี๊ยบแดงสดที่ได้จากงานวิจัยของ Wong และคณะ (2009) ซึ่งรายงานว่ามีค่า 21.33 มิลลิกรัมวิตามินซีต่อกรัมกระเจี๊ยบแดง (น้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้อาจเนื่องจากความแตกต่างของพันธุ์ และแหล่งปลูก รวมทั้งการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว

กระเจี๊ยบแดงสดที่ใช้ในการทดลองมีค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ FRAP เทียบเท่า 272.67 ไมโครโมล trolox ต่อกรัมกระเจี๊ยบแดง (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าดังกล่าวของกระเจี๊ยบแดงสดที่ได้จากงานวิจัยของ Sayago-Ayerdi และคณะ (2007) ซึ่งรายงานว่ามีค่า 66.3 ไมโครโมล trolox ต่อกรัมกระเจี๊ยบแดง (น้ำหนักแห้ง)

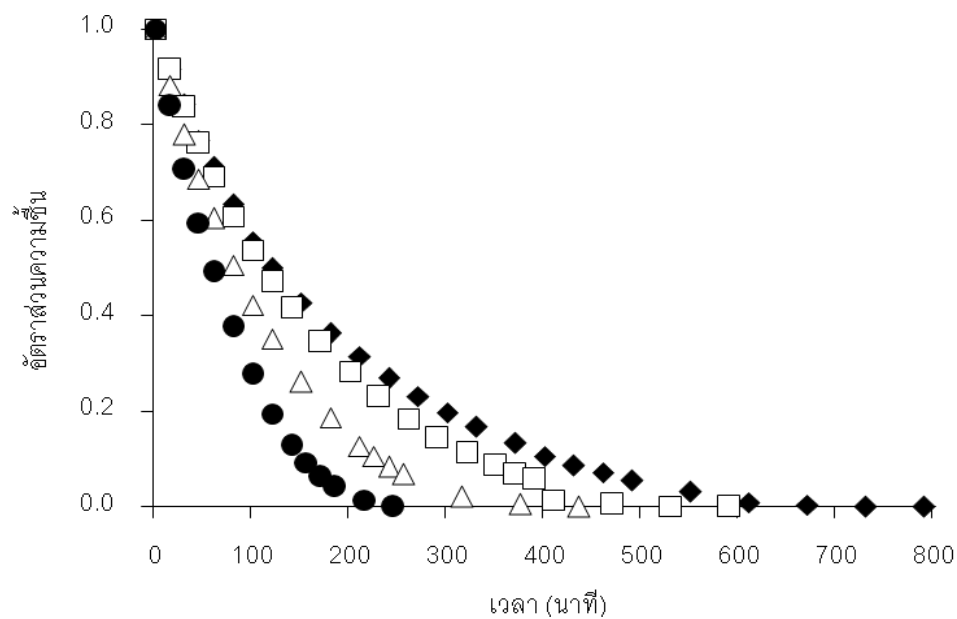
4.2 ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการอบแห้งของกระเจี๊ยบแดง

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น (น้ำหนักเปียก) ของกระเจี๊ยบแดงและเวลาในการอบแห้ง เมื่ออบแห้งกระเจี๊ยบแดงที่อุณหภูมิ 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 4.1 ที่อุณหภูมิในการอบแห้ง 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส ต้องใช้เวลาในการอบแห้งเท่ากับ 430, 350, 230 และ 160 นาที ตามลำดับ เพื่อให้กระเจี๊ยบแดงมีความชื้นสุดท้ายร้อยละ 9 (น้ำหนักเปียก) จากนั้นนำข้อมูลความชื้นจากรูปที่ 4.1 มาคำนวณเป็นค่าอัตราส่วนความชื้น (moisture ratio, *MR*) โดยใช้สมการที่ (3.4) เพื่อให้แต่ละชุดการทดลองมีความชื้นเริ่มต้นเท่ากัน แล้วสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาในการอบแห้ง ได้ผลดังรูปที่ 4.2

จากนั้นสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln MR$ กับเวลาในการอบแห้งเพื่อคำนวณหาค่าคงที่การอบแห้งของแต่ละชุดการทดลอง (ตารางที่ 4.2)



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และเวลาเมื่ออบแห้งกระเจียวแดงที่อุณหภูมิ 55 (◆), 60 (□), 65 (△) และ 70 (●) องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้น และเวลาเมื่ออบแห้งกระเจียวแดงที่อุณหภูมิ 55 (◆), 60 (□), 65 (△) และ 70 (●) องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.2 ค่าคงที่การอบแห้งของกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	ค่าคงที่การอบแห้ง (ชั่วโมง ⁻¹)
55	0.349
60	0.429
65	0.622
70	0.998

จากตารางที่ 4.2 พบว่าอุณหภูมิในการอบแห้ง 70 องศาเซลเซียส มีค่าคงที่การอบแห้งสูงที่สุด รองลงมาคือที่อุณหภูมิ 65, 60 และ 55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากนั้นคำนวณอัตราการอบแห้งในรูปอนุพันธ์ของอัตราส่วนความชื้นเทียบกับเวลาในการอบแห้ง โดยคำนวณจากสมการที่ (4.1) แล้วสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับอัตราส่วนความชื้นของกระเจี๊ยบแดงในระหว่างการอบแห้ง ได้ผลดังรูปที่ 4.3

$$\begin{aligned}
 \text{Drying rate} &= -d(MR)/dt \cdot \text{dry solid} \\
 &= -d[\exp(-kt)]/dt \cdot \text{dry solid} \\
 &= k \cdot \exp(-kt) \cdot \text{dry solid}
 \end{aligned}
 \tag{4.1}$$

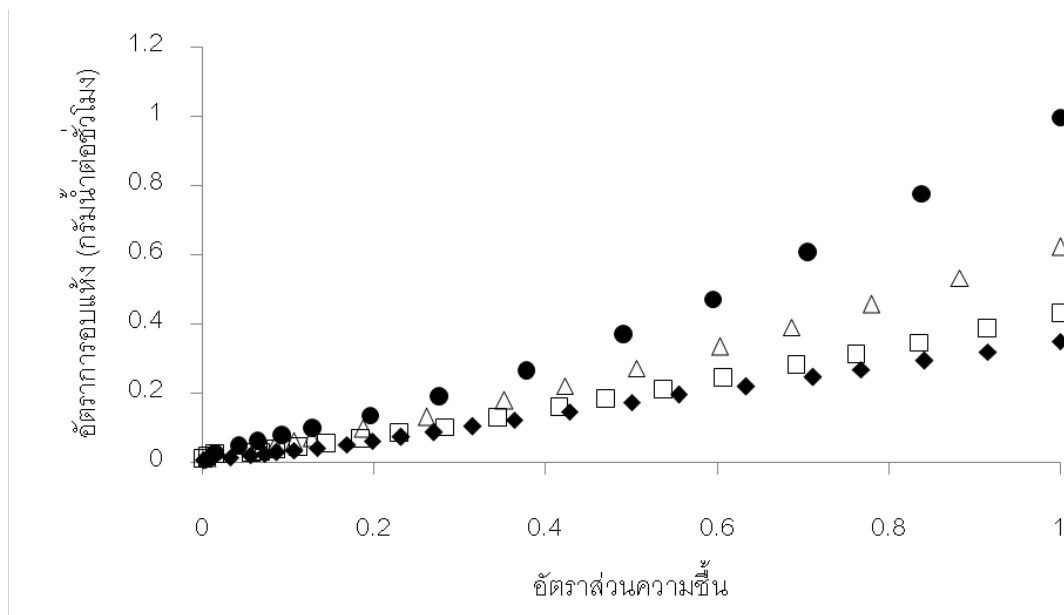
เมื่อ $MR =$ อัตราส่วนความชื้น

$t =$ เวลาในการอบแห้ง (ชั่วโมง)

$k =$ ค่าคงที่ของการอบแห้ง (ชั่วโมง⁻¹)

จากรูปที่ 4.3 พบว่าที่อุณหภูมิในการอบแห้ง 70 องศาเซลเซียส มีอัตราการอบแห้งสูงที่สุด รองลงมาคือที่อุณหภูมิ 65, 60 และ 55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งเป็นการเพิ่มความแตกต่างระหว่างความดันไอกายในชิ้นอาหาร และความดันไอกวของอากาศที่ผิวอาหาร ดังนั้นอัตราการแพร่ความชื้นจากภายในชิ้นอาหารไปสู่ผิวของอาหาร จะเกิดเร็วขึ้น (ศิวัะ อัจริยะวิริยะ และ สมชาติ ไสภณรณฤทธิ์, 2532) ผลของอุณหภูมิในการอบแห้งต่ออัตราการอบแห้งของกระเจี๊ยบแดงที่ได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Larrauri และคณะ (1997) ที่ศึกษาผลของอุณหภูมิในการอบแห้งต่ออัตราการอบแห้งของกากองุ่นแดง โดยแปรอุณหภูมิในการอบแห้งกากองุ่นแดงเป็น 60, 100 และ 140 องศาเซลเซียส เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งกากองุ่นแดงอัตราการอบแห้งกากองุ่นแดงจะสูงขึ้น ซึ่งการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 และ 140 องศาเซลเซียส จะมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส 2.3 และ 3.15 เท่าตามลำดับ เมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้นค่าอัตราการอบแห้งจะสูงขึ้น (รูปที่ 4.3) มีค่า

สอดคล้องกับค่าคงที่การอบแห้ง (ตารางที่ 4.2) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อการเคลื่อนที่ของน้ำออกจากตัวอย่าง



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้ง และอัตราส่วนความชื้นในระหว่างการอบแห้งกระเจียบแดงที่อุณหภูมิ 55 (◆), 60 (□), 65 (△) และ 70 (●) องศาเซลเซียส

ทั้งนี้การเคลื่อนที่ของน้ำออกจากตัวอย่างในระหว่างการอบแห้ง ส่งผลให้โมเลกุลสารต่าง ๆ ในตัวอย่างมีโอกาสเคลื่อนที่เข้าใกล้กันมากขึ้น จึงเพิ่มความเป็นไปได้ในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารดังกล่าว เช่น การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน หรือคอนเดนเซชันของสารประกอบฟีนอลิก และแอนโทไซยานินในตัวอย่าง (Jadhav et al., 1995; Tsai et al., 2005) นอกจากนี้การเคลื่อนที่ของน้ำออกจากตัวอย่างจะทำให้เกิดช่องว่าง ซึ่งทำให้ออกซิเจนในอากาศสามารถเข้าถึงภายในตัวอย่างได้โดยผ่านไมโครแคพิลลารี ดังนั้นสารที่มีความไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศจึงมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาได้สูงขึ้นเมื่อโมเลกุลของน้ำที่อยู่รอบสารเหล่านั้นถูกนำออกไป (Jadhav et al., 1995) Jackman และ Smith (1992) รายงานว่าความร้อนและออกซิเจนเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการสูญเสียแอนโทไซยานินในตัวอย่าง โดยออกซิเจนจะก่อให้เกิดออกซิเดชันของแอนโทไซยานิน นำไปสู่การเกิดสารใหม่ซึ่งไม่มีสี (colourless products) (Von-Elbe and Schwartz, 1996) ดังนั้นการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างกันจึงอาจส่งผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และแอนโทไซยานินในกระเจียบแดงอบแห้งต่างกัน

4.3 ผลของอุณหภูมิการอบแห้งต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง

นำกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส ที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 9 (น้ำหนักเปียก) มาสกัดด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 0.01 ในเมทานอล แล้วนำสารสกัดมาวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในรูปแบบ DPPH radical scavenging activity และ FRAP ตามวิธีการในข้อ 3.3 ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.3

จากตารางที่ 4.3 พบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินของกระเจี๊ยบแดงอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตาราง ข.1 และ ข.2) กระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินสูงสุด ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับปริมาณสารดังกล่าวของกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ การที่กระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 65 และ 70 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินต่ำกว่า อาจเนื่องมาจากความร้อนจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงกว่าทำให้สารประกอบฟีนอลิก และแอนโทไซยานินที่อยู่ในกระเจี๊ยบแดงเกิดการสลายตัวมากกว่า (Patras et al., 2010) Larrauri และคณะ (1997) รายงานว่าการใช้อุณหภูมิในการอบแห้งกากองุ่นแดงสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส ทำให้กากองุ่นแดงอบแห้งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดต่ำกว่ากากองุ่นแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) Lopez และคณะ (2010) รายงานผลในทำนองเดียวกันโดยพบว่า บลูเบอร์รี่ที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสารดังกล่าวของบลูเบอร์รี่ที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 70 องศาเซลเซียส

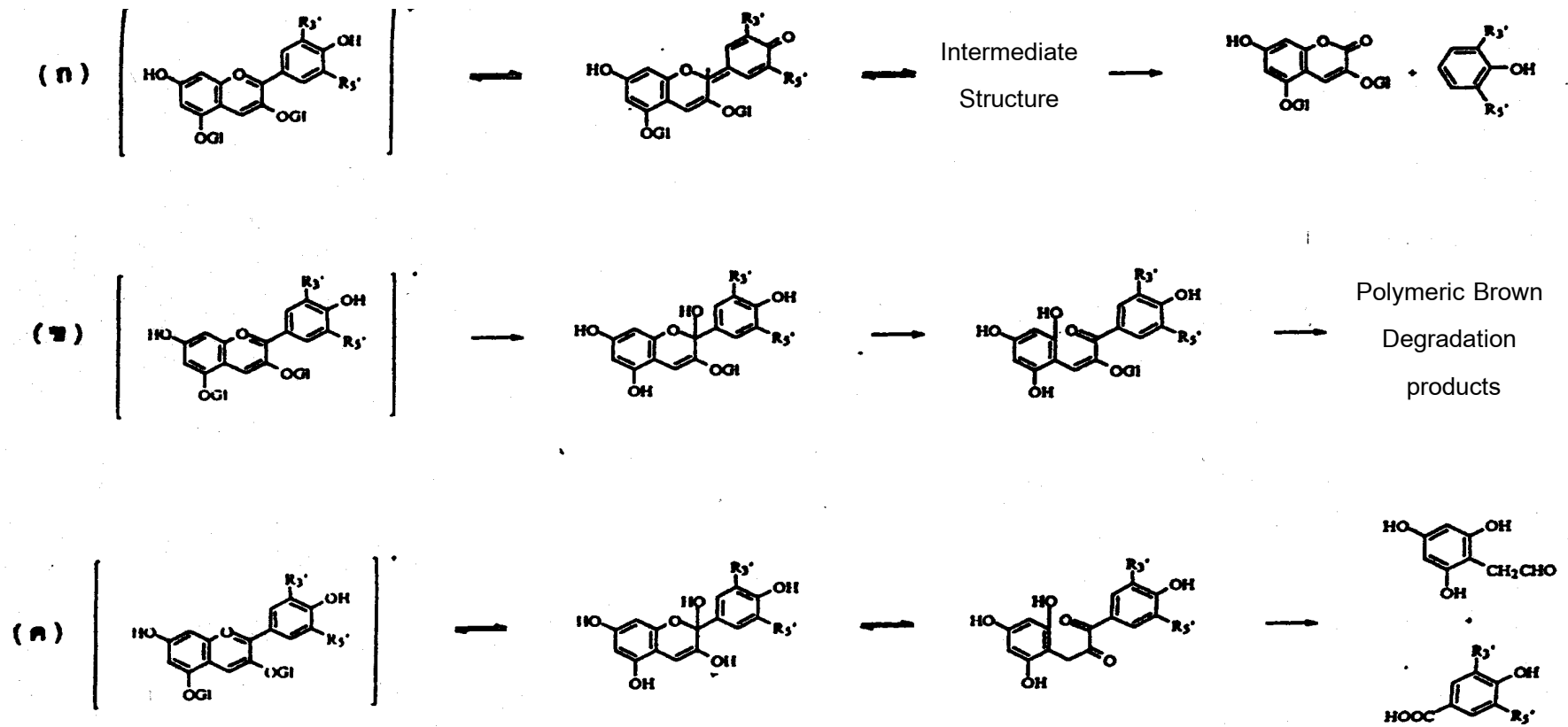
ตารางที่ 4.3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของกระเจี๊ยบแดงสด และกระเจี๊ยบแดงอบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g dry matter)	ปริมาณแอนโทไซยานิน (mg cy-3-glu/g dry matter)	ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน	
			DPPH radical scavenging activity รายงานเป็นค่า AEAC (mg AA/g dry matter)	FRAP (μ mol trolox/g dry matter)
กระเจี๊ยบแดงสด	74.59 \pm 1.09	11.55 \pm 0.65	15.24 \pm 0.53	272.67 \pm 3.97
กระเจี๊ยบแดงอบแห้ง				
55	29.63 ^b \pm 1.33	5.65 ^b \pm 0.23	8.88 ^b \pm 0.13	99.35 ^b \pm 5.00
60	39.02 ^a \pm 0.50	7.40 ^a \pm 0.54	10.05 ^a \pm 0.26	122.07 ^a \pm 2.07
65	27.59 ^c \pm 1.00	5.67 ^b \pm 0.44	8.92 ^b \pm 0.29	89.58 ^c \pm 5.00
70	27.15 ^c \pm 0.39	4.87 ^b \pm 0.67	9.25 ^b \pm 0.26	91.60 ^c \pm 2.26

a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

การสูญเสียสารประกอบฟีนอลิกเนื่องจากความร้อนสามารถอธิบายได้ด้วยสองกลไก กลไกแรกคือ ความร้อนทำให้สารประกอบฟีนอลิกสลายตัว ในขณะที่กลไกที่สองอธิบายการลดลง อันเนื่องมาจากความร้อนทำให้สารประกอบฟีนอลิกเกิดการรวมตัวกับสารประกอบอื่น ๆ ในพืช (Julkunen-Tiitto, 1985) ส่วนกลไกการสลายตัวของแอนโทไซยานินเนื่องจากความร้อนยังไม่เป็นที่แน่ชัด แต่มีอยู่ 3 กลไกที่น่าสนใจ คือ (ก) ฟลาวิลีียมแคตไอออน (flavylum cation) จะถูกเปลี่ยนเป็นควิโนอยด์เบส (quinoidal base) ก่อนที่จะเกิดสารตัวกลางต่าง ๆ จากนั้นจะถูกเปลี่ยนไปเป็นอนุพันธ์ของคูมาริน และสารประกอบที่มีโครงสร้างอันเนื่องมาจากวงแหวนบี (ข) ฟลาวิลีียมแคตไอออนจะถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บินอลเบส (carbinol base) ซึ่งเป็นรูปที่ไม่มีสี จากนั้นจะเปลี่ยนเป็นคาลโคเน (chalcone) แล้วเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสีน้ำตาล ตามลำดับ (ค) กลไกการสลายตัวคล้าย (ข) แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะแตกต่างออกไป (รูปที่ 4.4) ทั้งนี้กลไกการสลายตัวของแอนโทไซยานินทั้ง 3 กลไก ขึ้นกับชนิดของแอนโทไซยานิน และอุณหภูมิที่ใช้ (Von-Elbe and Schwartz, 1996)

เมื่อพิจารณาฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง (ตารางที่ 4.3) พบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตาราง ข.3 และ ข.4) โดยกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของกระเจี๊ยบแดงอบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ งานวิจัยนี้พิจารณาฤทธิ์ต้านออกซิเดชันใน 2 รูปแบบ ซึ่งรูปแบบแรกพิจารณาจากความสามารถของสารต้านออกซิเดชันในการกำจัดอนุมูลอิสระ โดยวิเคราะห์ DPPH radical scavenging activity แล้วรายงานเป็นค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเทียบเท่าวิตามินซี ผลการวิเคราะห์พบว่ากระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ให้ค่าสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าสูงกว่าค่าดังกล่าวของกระเจี๊ยบแดงอบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 65 และ 70 องศาเซลเซียส อยู่ 1.13, 1.13 และ 1.09 เท่า ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 กลไกการสลายตัวเนื่องจากความร้อนของแอนโทไซยานิดิน 3,5-ไดกลูโคไซด์ และแอนโทไซยานิดิน 3-กลูโคไซด์ (Von-Elbe and Schwartz, 1996)

เมื่อพิจารณาฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิเคราะห์ FRAP พบว่ากระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีค่าที่ได้สูงสุด ซึ่งเป็นไปในทำนองเดียวกันกับผลการวิเคราะห์ DPPH radical scavenging activity จากตารางที่ 4.3 เห็นได้ว่าผลการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของกระเจี๊ยบแดงอบแห้งให้ผลสอดคล้องกันกับผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานิน ทั้งนี้เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิก และแอนโทไซยานินเป็นสารต้านออกซิเดชันที่สำคัญของกระเจี๊ยบแดง (Tsai et al., 2002) Katsube และคณะ (2009) รายงานว่าใบหม่อนที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงสุด ($p \leq 0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสาร และสมบัติดังกล่าวของใบหม่อนที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 110 องศาเซลเซียส แต่ขัดแย้งกับงานวิจัยของ Vega-Galvez และคณะ (2009) ซึ่งรายงานว่าการอบแห้งพริกหวานสีแดงที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส จะทำให้พริกหวานสีแดงมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อนำผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มาเปรียบเทียบกับปริมาณสาร และสมบัติดังกล่าวของกระเจี๊ยบแดงสด (ตารางที่ 4.3) พบว่ากระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ยังคงเหลือปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินอยู่ร้อยละ 52.31 และ 64.07 ของปริมาณสารดังกล่าวในกระเจี๊ยบแดงสดตามลำดับ ส่วนผลการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันพบว่ากระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเทียบเท่าวิตามินซี และค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ FRAP อยู่ร้อยละ 65.94 และ 44.77 ของค่าดังกล่าวของกระเจี๊ยบแดงสด ตามลำดับ

การอบแห้งกระเจี๊ยบแดงที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นภาวะในการอบแห้งที่ดีที่สุด เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิดังกล่าวส่งผลให้กระเจี๊ยบแดงอบแห้งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงสุด ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำอื่น แต่อย่างไรก็ตามผู้วิจัยต้องศึกษาผลของอุณหภูมิการอบแห้งต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของน้ำชากระเจี๊ยบแดงในข้อ 4.4 เพื่อเป็นข้อมูลร่วมในการพิจารณาคัดเลือกอุณหภูมิในการอบแห้ง 3 อุณหภูมิ ที่ทำให้น้ำชากระเจี๊ยบมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงสุด 3 อันดับแรก เพื่อนำไปศึกษาผลของอุณหภูมิการอบแห้ง และระยะเวลาการเก็บรักษาต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง และน้ำชากระเจี๊ยบในการทดลองขั้นต่อไป

4.4 ผลของอุณหภูมิการอบแห้งต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของน้ำชากระเจี๊ยบ

น้ำกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส มาชงชาดังรายละเอียดในข้อ 3.4 นำน้ำชากระเจี๊ยบที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน โดยวิเคราะห์ DPPH radical scavenging activity และ FRAP ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.4

จากตารางที่ 4.4 พบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินของน้ำชากระเจี๊ยบอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตาราง ข.5 และ ข.6) น้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) และน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารดังกล่าวต่ำที่สุด โดยน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ร้อยละ 13.85 และ 11.57 ของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของกระเจี๊ยบแดงสด ตามลำดับ และมีปริมาณแอนโทไซยานินอยู่ร้อยละ 12.03 และ 9.61 ของปริมาณแอนโทไซยานินของกระเจี๊ยบแดงสด ตามลำดับ

เมื่อนำผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินของน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ (ตารางที่ 4.4) มาเปรียบเทียบกับปริมาณสารดังกล่าวของกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง (ตารางที่ 4.3) พบว่าการชงชาสามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิก และแอนโทไซยานินออกมาจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้งได้เพียงบางส่วนเท่านั้น โดยพบว่าน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ร้อยละ 31.99, 26.27, 33.64 และ 31.79 ของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมินั้น ๆ ตามลำดับ และมีปริมาณแอนโทไซยานินอยู่ร้อยละ 24.07, 18.78, 21.16 และ 22.79 ของปริมาณแอนโทไซยานินของกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมินั้น ๆ ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการชงชาเป็นการใช้น้ำร้อนสกัดสารในช่วงเวลาสั้น ๆ จึงทำให้สกัดสารดังกล่าวออกมาได้เพียงบางส่วน

ตารางที่ 4.4 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของกระเจี๊ยบแดงสด และน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่ อุณหภูมิ 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g dry matter)	ปริมาณแอนโทไซยานิน (mg cy-3-glu/g dry matter)	ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน	
			DPPH radical scavenging activity รายงานเป็นค่า AEAC (mg AA/g dry matter)	FRAP (μ mol trolox/g dry matter)
กระเจี๊ยบแดงสด	74.59 \pm 1.09	11.55 \pm 0.65	15.24 \pm 0.53	272.67 \pm 3.97
น้ำชากระเจี๊ยบ				
55	9.48 ^b \pm 0.08	1.36 ^b \pm 0.02	2.41 ^b \pm 0.09	29.05 ^b \pm 0.70
60	10.33 ^a \pm 0.15	1.39 ^a \pm 0.01	3.02 ^a \pm 0.11	32.54 ^a \pm 0.70
65	9.28 ^b \pm 0.11	1.20 ^c \pm 0.02	2.12 ^c \pm 0.09	29.28 ^b \pm 2.01
70	8.63 ^c \pm 0.14	1.11 ^d \pm 0.02	2.08 ^c \pm 0.03	29.45 ^b \pm 0.52

a, b, c... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของน้ำชากระเจียบ (ตารางที่ 4.4) พบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของน้ำชากระเจียบอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตาราง ข.7 และ ข.8) โดยน้ำชาจากกระเจียบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงที่สุด และเมื่อนำฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของกระเจียบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มาเปรียบเทียบกับฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของกระเจียบแดงสด พบว่าน้ำชาจากกระเจียบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเทียบเท่าวิตามินซี และค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ FRAP อยู่ร้อยละ 19.82 และ 11.93 ของค่าดังกล่าวของกระเจียบแดงสด ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของน้ำชากระเจียบ (ตารางที่ 4.4) กับฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของกระเจียบแดงอบแห้ง (ตารางที่ 4.3) พบว่าเมื่อวิเคราะห์ DPPH radical scavenging activity น้ำชาจากกระเจียบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส จะมีค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเทียบเท่าวิตามินซีอยู่ร้อยละ 27.14, 30.05, 23.77 และ 22.49 ของค่าดังกล่าวของกระเจียบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมินั้น ๆ ตามลำดับ ในกรณีที่พิจารณาฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิเคราะห์ FRAP พบว่าน้ำชาจากกระเจียบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส มีค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ FRAP อยู่ร้อยละ 29.24, 26.66, 32.69 และ 32.15 ของค่าดังกล่าวของกระเจียบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมินั้น ๆ ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้น้ำร้อนในการสกัดจะทำให้สารสกัดที่ได้มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันอยู่ในช่วงร้อยละ 26-33 ของฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดเมทานอล Chan และคณะ (2007) รายงานว่าสารสกัดจากน้ำร้อนจากใบชาเขียวที่ผ่านการอบแห้งด้วยไมโครเวฟมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด มีค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเทียบเท่าวิตามินซี และมีค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ FRAP อยู่ร้อยละ 93.04, 87.38 และ 97.62 ของค่าดังกล่าวของสารสกัดจากเมทานอลจากใบชาเขียวอบแห้ง ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาค่าสีของน้ำชาจากกระเจียบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 4.5) พบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งไม่มีผลต่อค่าความสว่าง (L^*), ค่าสีเขียว-แดง (a^*) และค่าสีน้ำเงิน-เหลือง (b^*) ของน้ำชากระเจียบอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตาราง ข.9)

ตารางที่ 4.5 ค่าสีของน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	L* ^{ns}	a* ^{ns}	b* ^{ns}
55	17.35 ± 0.59	40.52 ± 0.25	25.80 ± 1.24
60	16.60 ± 0.47	39.83 ± 0.13	25.65 ± 0.51
65	17.41 ± 0.54	40.27 ± 0.44	25.19 ± 0.83
70	17.83 ± 1.15	40.50 ± 0.82	26.76 ± 1.27

ns ข้อมูลในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

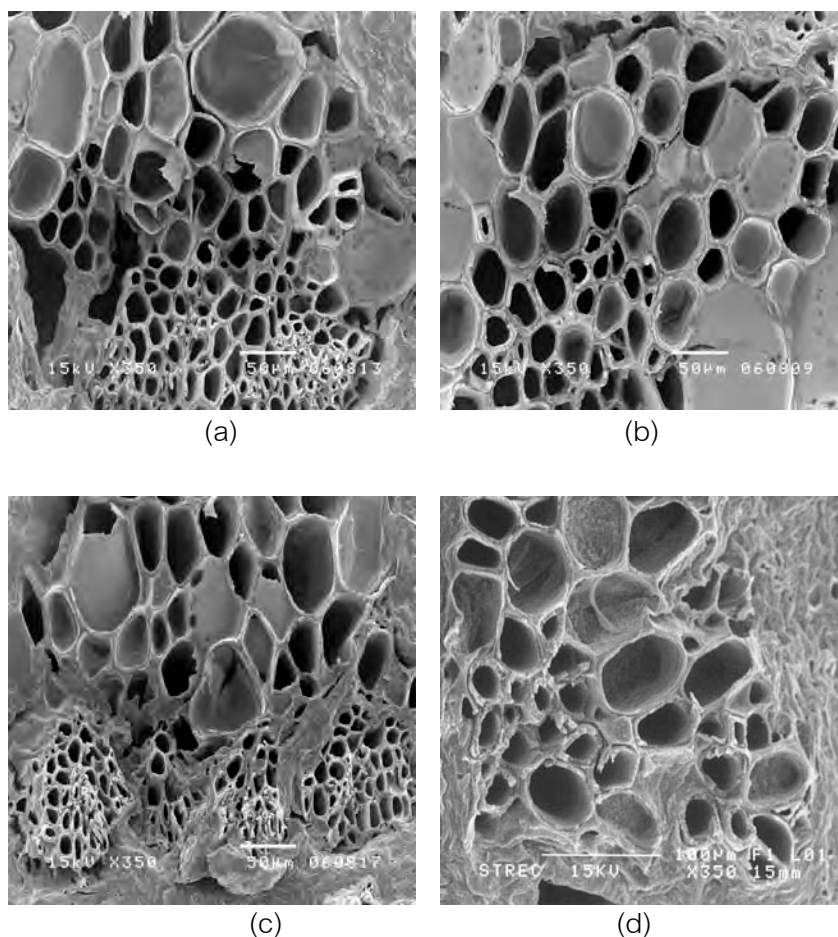
จากข้อมูลข้างต้นพบว่าน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงสุด ($p \leq 0.05$) ส่วนน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีปริมาณสาร และสมบัติดังกล่าวต่ำที่สุด ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับผลของอุณหภูมิการอบแห้งต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดเมทานอลของกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง ดังนั้นผู้วิจัยจึงคัดเลือกอุณหภูมิในการอบแห้ง 3 อุณหภูมิ ที่ทำให้สารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง และน้ำชากระเจี๊ยบมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงสุด 3 อันดับแรกได้ ซึ่งได้แก่ที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส เพื่อนำอุณหภูมิดังกล่าวมาศึกษาผลของอุณหภูมิการอบแห้ง และระยะเวลาการเก็บรักษาต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง และน้ำชากระเจี๊ยบในการทดลองขั้นต่อไป

4.5 ผลของอุณหภูมิการอบแห้งต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลล์ของกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง

จากภาพถ่ายของเซลล์ของกระเจี๊ยบแดงอบแห้งจากเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ดังรูปที่ 4.5 พบว่าเซลล์ของกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส เกิดการหดตัวของเซลล์ในขนาดที่เท่า ๆ กัน โดยเซลล์ที่ได้มีลักษณะกลมรี และเห็นขอบเขตเซลล์ได้อย่างชัดเจน ซึ่งจะพบว่าไม่มีความแตกต่างของขนาดของเซลล์ ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าอุณหภูมิต่ำที่ใช้ในการอบแห้งไม่ได้แตกต่างกันจนทำให้เกิดความแตกต่างอย่างชัดเจนของเซลล์ในผลิตภัณฑ์อบแห้ง Lewicki (1998) รายงานว่าเมื่ออบแห้งแครอทที่อุณหภูมิ 60 และ 80 องศาเซลเซียส ปริมาตรของการหดตัวของแครอทอบแห้งจะมีค่าเท่ากับปริมาตรของน้ำที่

ระเหยออกจากตัวอย่าง ส่วนการอบแห้งแครอทที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จะทำให้ปริมาตรของการหดตัวของแครอทมีค่ามากกว่าปริมาตรของน้ำที่ระเหยออกไป

ถึงแม้ว่าการอบแห้งกระเจี๊ยบแดงที่อุณหภูมิ 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส จะไม่ก่อให้เกิดความแตกต่างระดับเซลล์ก็ตาม แต่การอบแห้งกระเจี๊ยบแดงที่แต่ละอุณหภูมิส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินแตกต่างกัน ซึ่งทำให้กระเจี๊ยบแดงอบแห้งที่ได้มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันแตกต่างกันด้วย ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งส่งผลต่อโครงสร้างของสารประกอบดังกล่าว ทำให้ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันเปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายของเซลล์จากเครื่อง SEM ที่กำลังขยาย 350 เท่า ของกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55 (a), 60 (b), 65 (c) และ 70 (d) องศาเซลเซียส

4.6 ผลของอุณหภูมิการอบแห้ง และระยะเวลาการเก็บต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง

วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน โดยวิเคราะห์ DPPH radical scavenging activity และ FRAP ในกระเจี๊ยบแดงที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส ที่เก็บไว้เป็นระยะเวลา 1, 70 และ 140 วัน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.6, 4.7, 4.8 และ 4.9

ตารางที่ 4.6 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการเก็บ 1, 70 และ 140 วัน

อุณหภูมิในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g dry matter)		
	ระยะเวลาเก็บ 1 วัน	ระยะเวลาเก็บ 70 วัน	ระยะเวลาเก็บ 140 วัน
55	25.26 ^{bA} ± 0.64	20.88 ^{bB} ± 1.31	14.96 ^{aC} ± 0.32
60	29.35 ^{aA} ± 0.14	23.76 ^{aB} ± 1.20	15.03 ^{aC} ± 0.37
65	22.46 ^{cA} ± 0.35	17.44 ^{cB} ± 0.63	12.30 ^{bC} ± 0.56

A, B, C ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.7 ปริมาณแอนโทไซยานินของกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการเก็บ 1, 70 และ 140 วัน

อุณหภูมิในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	ปริมาณแอนโทไซยานิน (mg cy-3-glu/g dry matter)		
	ระยะเวลาเก็บ 1 วัน	ระยะเวลาเก็บ 70 วัน	ระยะเวลาเก็บ 140 วัน
55	3.12 ^{bA} ± 0.11	1.33 ^{bB} ± 0.02	0.08 ^{bC} ± 0.01
60	3.92 ^{aA} ± 0.09	1.52 ^{aB} ± 0.11	0.16 ^{aC} ± 0.02
65	2.63 ^{cA} ± 0.08	1.02 ^{cB} ± 0.04	0.04 ^{cC} ± 0.01

A, B, C ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.8 ค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเทียบเท่าวิตามินซีของกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการเก็บ 1, 70 และ 140 วัน

อุณหภูมิในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	ค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเทียบเท่าวิตามินซี (mg AA/g dry matter)		
	ระยะเวลาเก็บ 1 วัน	ระยะเวลาเก็บ 70 วัน	ระยะเวลาเก็บ 140 วัน
55	6.03 ^{ba} ± 0.06	4.08 ^{bb} ± 0.07	3.25 ^{ac} ± 0.04
60	6.87 ^{aA} ± 0.09	4.83 ^{ab} ± 0.03	3.31 ^{ac} ± 0.06
65	5.15 ^{cA} ± 0.02	3.42 ^{cb} ± 0.09	2.59 ^{bc} ± 0.03

A, B, C ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันสดมภ์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.9 ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ FRAP ของกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการเก็บ 1, 70 และ 140 วัน

อุณหภูมิในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ FRAP ($\mu\text{mol trolox/g dry matter}$)		
	ระยะเวลาเก็บ 1 วัน	ระยะเวลาเก็บ 70 วัน	ระยะเวลาเก็บ 140 วัน
55	81.30 ^{ba} ± 2.82	60.73 ^{bb} ± 0.58	56.92 ^{bc} ± 1.19
60	96.33 ^{aA} ± 2.09	72.45 ^{ab} ± 1.87	60.37 ^{ac} ± 0.92
65	70.98 ^{cA} ± 2.17	54.14 ^{cb} ± 1.71	51.52 ^{bc} ± 1.55

A, B, C ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันสดมภ์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.6 และ 4.7 เมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาการเก็บเท่ากัน พบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินของกระเจี๊ยบแดงอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตาราง ข.10 และ ข.12) โดยกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินสูงที่สุด รองลงมาคือกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55 และ 65 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินของกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่ทุกอุณหภูมิจะมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตาราง ข.11 และ ข.13) โดยกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการเก็บ 140 วัน ยังคงเหลือปริมาณสารประกอบฟีนอลิกอยู่ร้อยละ 59.22, 51.21 และ 54.76 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมินั้น ๆ ที่ระยะเวลาการเก็บเริ่มต้น และยังคงเหลือปริมาณแอนโทไซยานินอยู่ร้อยละ 2.56,

4.08 และ 1.52 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับปริมาณแอนโทไซยานินของกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมินั้น ๆ ที่ระยะเวลาการเก็บเริ่มต้น งานวิจัยของ Michalczyk และคณะ (2009) รายงานว่าเมื่อเก็บบิลเบอร์รี่อบแห้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 60, 120, 180, 240 และ 300 วัน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินของบิลเบอร์รี่จะมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณสารดังกล่าวของบิลเบอร์รี่ยังคงเหลืออยู่ร้อยละ 50 เมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลาประมาณ 60 วัน นอกจากนี้ Tsai และ Ou (1996) รายงานว่าเมื่อเก็บกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (ความชื้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักเปียก) ไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในถุง KOP/PE/EVA (saran-coated oriented polypropylene/polyethylene/ethylene vinyl acetate) เป็นระยะเวลา 150 วัน กระเจี๊ยบแดงอบแห้งจะยังคงเหลือปริมาณแอนโทไซยานินอยู่ร้อยละ 70 ของปริมาณแอนโทไซยานินในกระเจี๊ยบแดงอบแห้งที่ระยะเวลาการเก็บเริ่มต้น ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากงานวิจัยนี้

การสูญเสียสารประกอบฟีนอลิก และแอนโทไซยานินระหว่างการเก็บอาจมีสาเหตุมาจากแอนโทไซยานินเกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน หรือคอนเดนเซชันกับสารประกอบฟีนอลิกอื่น ๆ ที่อยู่ในพืชระหว่างการเก็บ (Patras et al., 2010) นอกจากนี้ Tsai และ Ou (1996) รายงานว่ากระเจี๊ยบแดงอบแห้งจะมีปริมาณเฟอร์ฟูราลสูงขึ้นระหว่างการเก็บ ซึ่งเฟอร์ฟูราลเกิดจากการสลายตัวของวิตามินซี และน้ำตาลเพนโทส โดยเฟอร์ฟูราลสามารถรวมตัวกับแอนโทไซยานินแล้วทำให้เกิดผลิตภัณฑ์สีน้ำตาล ซึ่งส่งผลให้เกิดการสูญเสียแอนโทไซยานินระหว่างการเก็บ

จากตารางที่ 4.8 และ 4.9 เมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาการเก็บเท่ากัน พบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของกระเจี๊ยบแดงอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตาราง ข.14 และ ข.16) โดยพบว่ากระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเทียบเท่าวิตามินซี และค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ FRAP สูงที่สุด รองลงมาคือกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55 และ 65 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น ค่าดังกล่าวของกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่ทุกอุณหภูมิจะมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตาราง ข.15 และ ข.17) ซึ่งผลการทดลองเป็นไปในทำนองเดียวกันกับค่าของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินที่วิเคราะห์ได้

เมื่อวิเคราะห์ DPPH radical scavenging activity พบว่ากระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการเก็บ 140 วัน มีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเทียบเท่าวิตามินซีอยู่ร้อยละ 53.90, 48.18 และ 50.29 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับค่าดังกล่าวของกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมินั้น ๆ ที่ระยะเวลาการเก็บเริ่มต้น

ในกรณีที่พิจารณาฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยการวิเคราะห์ FRAP พบว่ากระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการเก็บ 140 วัน มีค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ FRAP อยู่ร้อยละ 70.01, 62.67 และ 72.58 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับค่าดังกล่าวของกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมินั้น ๆ ที่ระยะเวลาการเก็บเริ่มต้น ซึ่งผลของระยะเวลาการเก็บต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของกระเจี๊ยบแดงอบแห้งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Michalczyk และคณะ (2009) ซึ่งรายงานว่าเมื่อเก็บสตอร์วเบอร์รี่อบแห้งไว้ที่อุณหภูมิต้อง (25 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 60, 120, 180, 240 และ 300 วัน เมื่อวิเคราะห์ DPPH radical scavenging activity ของสตอร์วเบอร์รี่อบแห้ง พบว่าฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสตอร์วเบอร์รี่อบแห้งจะมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยสตอร์วเบอร์รี่อบแห้งที่ระยะเวลาการเก็บ 120 วัน มีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเทียบเท่าวิตามินซีเหลืออยู่ร้อยละ 50 ของค่าดังกล่าวของสตอร์วเบอร์รี่อบแห้งที่ระยะเวลาการเก็บเริ่มต้น

4.7 ผลของอุณหภูมิการอบแห้ง และระยะเวลาการเก็บต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของน้ำชากระเจี๊ยบ

สุ่มตัวอย่างกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการเก็บ 1, 21, 42, 63, 84, 105, 126, 147 และ 168 วัน มาชงชาตามวิธีในข้อ 3.6 แล้วนำน้ำชากระเจี๊ยบมาวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิเคราะห์ DPPH radical scavenging activity และ FRAP ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.10, 4.11, 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.10 และ 4.11 เมื่อพิจารณาจากรยะเวลาการเก็บเท่ากัน พบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินในน้ำชากระเจี๊ยบอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตาราง ข.19 และ ข.20) โดยน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินสูงที่สุด และน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารดังกล่าวต่ำที่สุด เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินในน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่ทุกอุณหภูมิจะมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตาราง ข.18 และ ข.21)

ตารางที่ 4.10 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g dry matter)		
	อุณหภูมิอบแห้ง 55	อุณหภูมิอบแห้ง 60	อุณหภูมิอบแห้ง 65
	องศาเซลเซียส	องศาเซลเซียส	องศาเซลเซียส
1	9.63 ^{ab} ± 0.12	10.90 ^{aA} ± 0.13	8.65 ^{aC} ± 0.14
21	8.66 ^{bb} ± 0.20	10.51 ^{bA} ± 0.16	6.95 ^{bC} ± 0.28
42	8.24 ^{cb} ± 0.01	10.42 ^{bA} ± 0.23	6.68 ^{bC} ± 0.14
63	7.81 ^{db} ± 0.14	10.13 ^{bcA} ± 0.10	6.26 ^{cC} ± 0.14
84	7.77 ^{db} ± 0.09	10.32 ^{bcA} ± 0.18	6.20 ^{cC} ± 0.04
105	7.73 ^{db} ± 0.22	10.12 ^{bcA} ± 0.27	6.14 ^{cC} ± 0.27
126	7.57 ^{db} ± 0.07	9.94 ^{cA} ± 0.42	6.13 ^{cC} ± 0.18
147	7.51 ^{deB} ± 0.32	9.54 ^{dA} ± 0.06	5.89 ^{cC} ± 0.21
168	7.23 ^{eb} ± 0.19	8.65 ^{eA} ± 0.23	5.36 ^{dC} ± 0.29

A, B, C ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

a, b, c... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.11 ปริมาณแอนโทไซยานินของน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณแอนโทไซยานิน ($\mu\text{g cy-3-glu/g dry matter}$)		
	อุณหภูมิอบแห้ง 55	อุณหภูมิอบแห้ง 60	อุณหภูมิอบแห้ง 65
	องศาเซลเซียส	องศาเซลเซียส	องศาเซลเซียส
1	937.09 ^{ab} ± 8.33	1142.10 ^{aA} ± 8.48	770.02 ^{aC} ± 4.98
21	712.52 ^{bb} ± 12.81	930.45 ^{bA} ± 12.59	546.49 ^{bC} ± 5.46
42	571.48 ^{cb} ± 19.07	675.30 ^{cA} ± 12.19	397.24 ^{cC} ± 18.12
63	493.01 ^{db} ± 8.03	551.21 ^{dA} ± 11.27	350.58 ^{dC} ± 12.42
84	241.57 ^{eA} ± 17.39	237.17 ^{eA} ± 18.81	117.44 ^{eb} ± 6.42
105	92.81 ^{fb} ± 2.70	157.24 ^{fA} ± 15.72	65.74 ^{fc} ± 8.21
126	88.08 ^{fb} ± 8.49	125.27 ^{gA} ± 8.32	49.59 ^{gC} ± 6.64
147	37.92 ^{gb} ± 2.48	71.09 ^{hA} ± 15.67	18.76 ^{hC} ± 2.85
168	36.46 ^{gA} ± 3.68	41.35 ^{hA} ± 1.48	15.66 ^{hb} ± 1.70

A, B, C ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

a, b, c... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.12 ค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเทียบเท่าวิตามินซีของน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ

ค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเทียบเท่าวิตามินซี			
ระยะเวลา	(mg AA/g dry matter)		
(วัน)	อุณหภูมิอบแห้ง 55	อุณหภูมิอบแห้ง 60	อุณหภูมิอบแห้ง 65
	องศาเซลเซียส	องศาเซลเซียส	องศาเซลเซียส
1	2.21 ^{aB} ± 0.03	2.32 ^{aA} ± 0.00	1.77 ^{aC} ± 0.02
21	1.74 ^{bB} ± 0.09	2.31 ^{aA} ± 0.07	1.45 ^{bC} ± 0.01
42	1.70 ^{bcB} ± 0.05	2.14 ^{bA} ± 0.14	1.28 ^{cC} ± 0.05
63	1.65 ^{bcB} ± 0.02	2.11 ^{bcA} ± 0.05	1.30 ^{cC} ± 0.06
84	1.64 ^{cb} ± 0.06	2.08 ^{bcA} ± 0.09	1.28 ^{cC} ± 0.02
105	1.52 ^{dB} ± 0.05	1.98 ^{cdA} ± 0.05	1.20 ^{dC} ± 0.02
126	1.45 ^{dB} ± 0.04	1.93 ^{dA} ± 0.05	1.05 ^{eC} ± 0.04
147	1.26 ^{eB} ± 0.06	1.73 ^{eA} ± 0.10	0.96 ^{fC} ± 0.04
168	1.26 ^{eB} ± 0.03	1.45 ^{fA} ± 0.04	0.95 ^{fC} ± 0.02

A, B, C ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

a, b, c... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

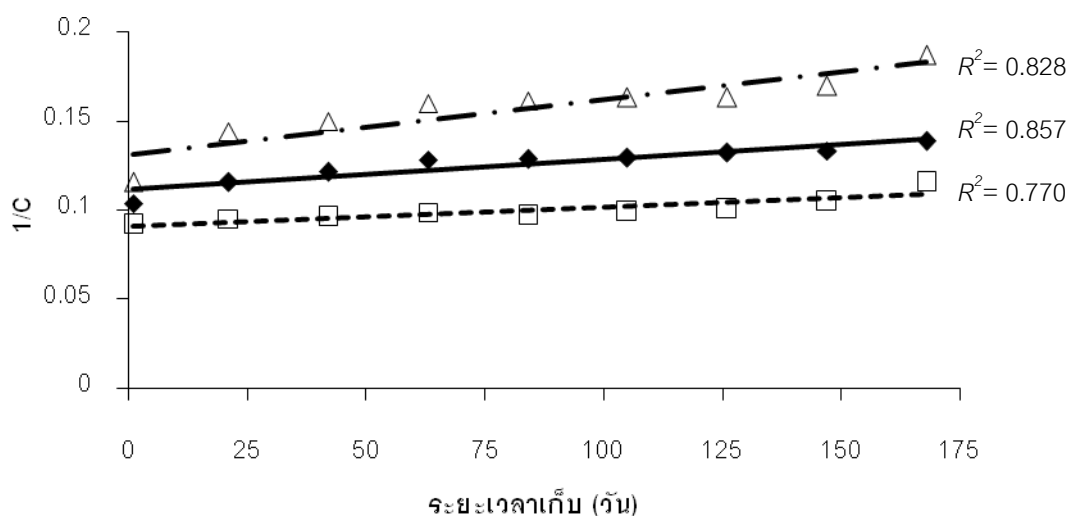
ตารางที่ 4.13 ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ FRAP ของน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ

ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ FRAP ($\mu\text{mol trolox/g dry matter}$)			
ระยะเวลา			
(วัน)	อุณหภูมิอบแห้ง 55	อุณหภูมิอบแห้ง 60	อุณหภูมิอบแห้ง 65
	องศาเซลเซียส	องศาเซลเซียส	องศาเซลเซียส
1	37.90 ^{aB} ± 0.48	40.45 ^{aA} ± 0.88	31.36 ^{aC} ± 0.81
21	29.12 ^{bB} ± 0.83	36.66 ^{bA} ± 1.00	25.58 ^{bC} ± 0.72
42	28.87 ^{bB} ± 0.70	36.41 ^{bA} ± 0.92	22.53 ^{cC} ± 1.23
63	28.41 ^{bcB} ± 1.42	33.16 ^{cA} ± 0.63	21.61 ^{cdC} ± 0.90
84	27.15 ^{cb} ± 1.15	33.33 ^{cA} ± 1.07	20.84 ^{deC} ± 0.43
105	27.04 ^{cb} ± 0.34	32.49 ^{cA} ± 0.27	20.81 ^{deC} ± 0.85
126	27.03 ^{cb} ± 0.45	31.05 ^{dA} ± 0.56	19.32 ^{efC} ± 1.25
147	24.16 ^{dB} ± 1.56	27.70 ^{eA} ± 1.24	18.87 ^{fC} ± 0.92
168	20.57 ^{eB} ± 0.75	27.02 ^{eA} ± 0.38	18.33 ^{fC} ± 0.36

A, B, C ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

a, b, c... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

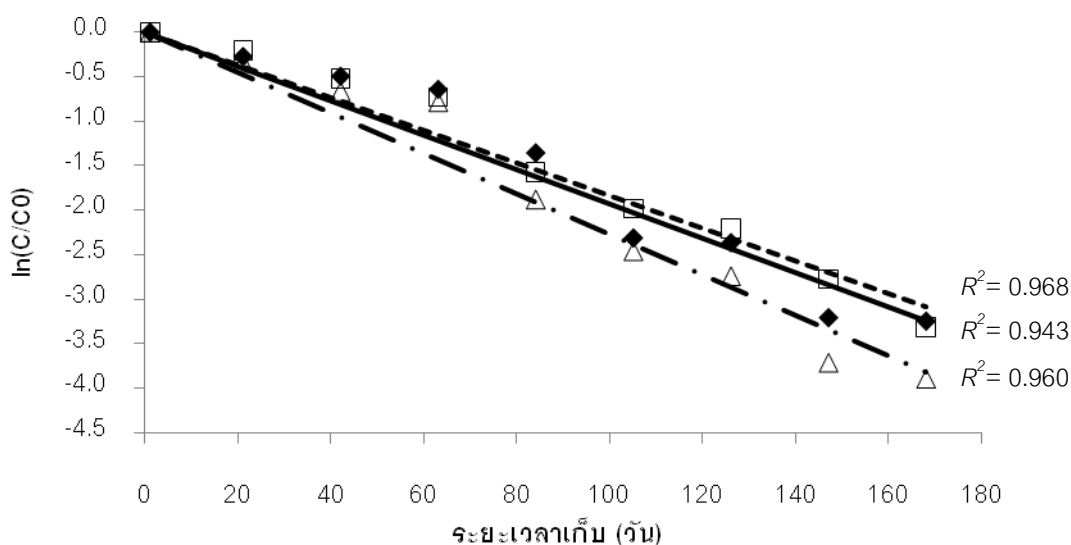
จากตารางที่ 4.10 พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มลดลง เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) เมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (C) กับระยะเวลาการเก็บ ในรูปแบบ $1/C$ กับเวลา จะพบว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่ทุกอุณหภูมิ ให้กราฟความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง และกราฟความสัมพันธ์นี้มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination, R^2) เท่ากับ 0.857, 0.770 และ 0.828 ตามลำดับ (รูปที่ 4.6) และเมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวในรูปแบบ $\ln(C/C_0)$ กับเวลา (เมื่อ C_0 คือ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำชากระเจี๊ยบที่ระยะเวลาการเก็บเริ่มต้น) พบว่ากราฟความสัมพันธ์เส้นตรงที่ได้มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจต่ำกว่ามากโดยเท่ากับ 0.622, 0.791 และ 0.503 ตามลำดับ ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าการลดลงของสารประกอบฟีนอลิกในน้ำชากระเจี๊ยบระหว่างการเก็บสามารถอธิบายได้โดยปฏิกิริยาอันดับสอง แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีงานวิจัยที่อ้างอิงเกี่ยวกับอันดับปฏิกิริยากับการลดลงของสารประกอบฟีนอลิกระหว่างการเก็บ จึงมีอาจเปรียบเทียบและอภิปรายผลกับงานวิจัยนี้ได้



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55 (◆), 60 (□) และ 65 (△) องศาเซลเซียส กับระยะเวลาการเก็บ ในรูปแบบ $1/C$ กับเวลา

เมื่อพิจารณาการลดลงของปริมาณแอนโทไซยานินในน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส ระหว่างการเก็บ (ตารางที่ 4.11) พบว่าเมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอนโทไซยานิน (C) กับระยะเวลาการเก็บ ในรูปแบบ $\ln(C/C_0)$ กับเวลา (โดยที่ C_0 คือ ปริมาณแอนโทไซยานินในน้ำชากระเจี๊ยบที่ระยะเวลาการเก็บเริ่มต้น) จะ

พบว่า การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอนโทไซยานินในน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่ทุกอุณหภูมิ ให้กราฟความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงที่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจดีมาก โดยมีค่าเท่ากับ 0.943, 0.968 และ 0.960 ตามลำดับ (รูปที่ 4.7) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการลดลงของแอนโทไซยานินในน้ำชากระเจี๊ยบระหว่างการเก็บสามารถอธิบายได้โดยปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยส่วนใหญ่ เช่น งานวิจัยของ Duangmal และคณะ (2008) ซึ่งรายงานว่า การเปลี่ยนแปลงของแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดงที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) ที่เก็บที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ช่วงเวลา 105 วัน มีการลดลงของแอนโทไซยานินในระหว่างการเก็บเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง และแอนโทไซยานินมีค่าครึ่งชีวิตเท่ากับ 92.4 วัน Kirca และคณะ (2007) พบว่าการลดลงของปริมาณแอนโทไซยานินในน้ำแครอทม่วงเข้มข้น (30 °Brix) ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง และแอนโทไซยานินมีค่าครึ่งชีวิตเท่ากับ 130.9 วัน



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอนโทไซยานินในน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55 (◆), 60 (□) และ 65 (△) องศาเซลเซียส กับระยะเวลาการเก็บ ในรูปแบบ $\ln(C/C_0)$ กับเวลา

จากรูปที่ 4.7 สามารถคำนวณหาค่าคงที่การสลายตัวของแอนโทไซยานินในน้ำชากระเจี๊ยบได้จากความชันของกราฟ แล้วคำนวณหาค่าครึ่งชีวิตของแอนโทไซยานินโดยใช้สูตร (4.1) ผลการคำนวณค่าคงที่การสลายตัว และค่าครึ่งชีวิตของแอนโทไซยานินในน้ำชากระเจี๊ยบระหว่างการเก็บของแต่ละชุดการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.14

$$\text{ค่าครึ่งชีวิต} = \frac{\ln 0.5}{\text{ค่าคงที่การสลายตัว}} \quad (4.1)$$

ตารางที่ 4.14 ค่าคงที่การสลายตัว และค่าครึ่งชีวิตของแอนโทไซยานินในน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดง ที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	ค่าคงที่การสลายตัว (วัน ⁻¹)	ค่าครึ่งชีวิต (วัน)
55	0.0193	35.91
60	0.0184	37.67
65	0.0228	30.40

จากตารางที่ 4.14 พบว่าที่อุณหภูมิในการเก็บ 30 องศาเซลเซียส แอนโทไซยานินในน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีค่าครึ่งชีวิตสูงสุด รองลงมาคือตัวอย่างที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55 และ 65 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าอุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่อปริมาณแอนโทไซยานินในช่วงเวลาการเก็บ Gradinaru และคณะ (2003) รายงานว่าเมื่อสกัดแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดงด้วยเมทานอล แล้วนำสารสกัดที่ได้มาทำให้เข้มข้น โดยการระเหยเมทานอลออกด้วยเครื่องระเหยแบบหมุน แล้วเก็บสารสกัดเข้มข้นไว้ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส จะทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินในสารสกัดดังกล่าวมีค่าครึ่งชีวิตเท่ากับ 25.4 ชั่วโมง Duangmal และคณะ (2008) รายงานว่าค่าครึ่งชีวิตของแอนโทไซยานินในสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 92.4 วัน ซึ่งค่าครึ่งชีวิตของแอนโทไซยานินจากรายงานดังกล่าวมีค่าแตกต่างจากค่าครึ่งชีวิตของแอนโทไซยานินในชาจากกระเจี๊ยบที่ได้จากงานวิจัยนี้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากวิธีการเตรียมตัวอย่าง และภาวะในการเก็บต่างกัน

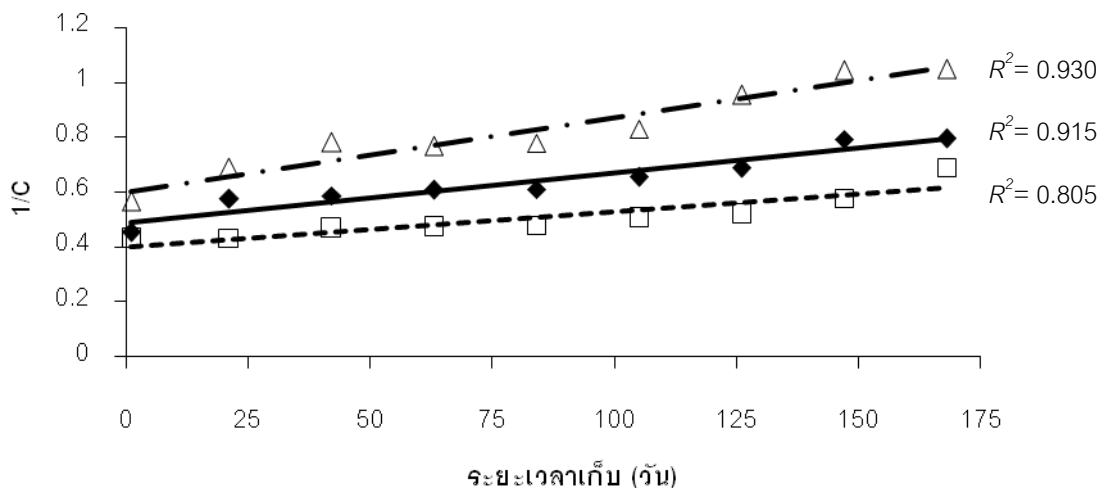
เมื่อพิจารณาฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการเก็บเท่ากัน (ตารางที่ 4.12 และ 4.13) พบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของน้ำชากระเจี๊ยบอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตาราง ข.23 และ ข.24) โดยน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงสุด รองลงมาคือน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55 และ 65 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่ทุกอุณหภูมิจะมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตาราง

ข.22 และ ข.25) ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวเป็นไปในทำนองเดียวกันกับค่าของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินที่วิเคราะห์ได้

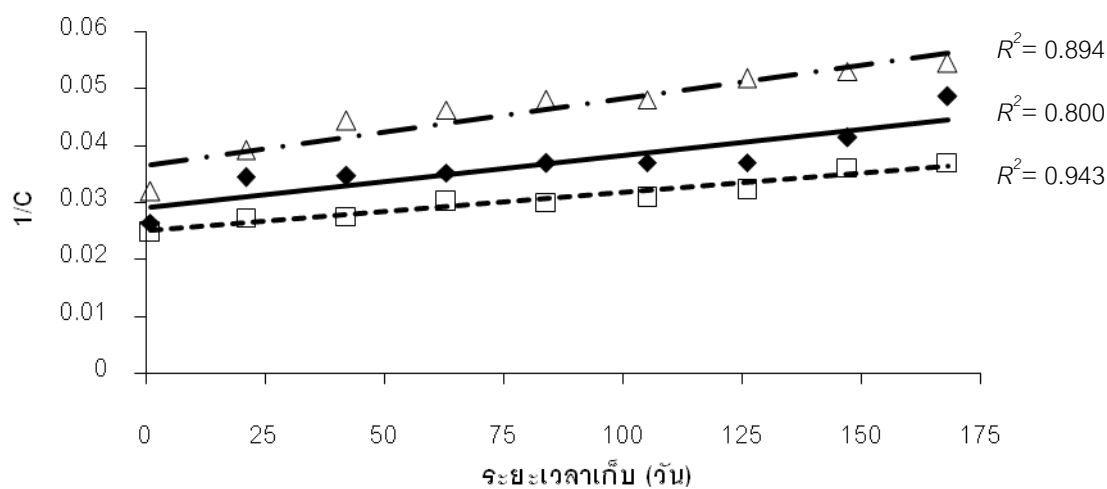
เมื่อพิจารณาจลนพลศาสตร์ของฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของน้ำชาที่ชงจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1/C$ กับเวลา (เมื่อ C คือฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน) โดยตั้งสมมติฐานว่า ถึงแม้ว่าฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของน้ำชากระเจี๊ยบจะเกิดจากสารต้านออกซิเดชันหลายชนิดเช่น สารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน เป็นต้น แต่กลไกในการต้านออกซิเดชันทั้งหมดของน้ำชาที่ชงจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิน่าจะเกิดจากอิทธิพลของสารที่มีอยู่ในกระเจี๊ยบแดงเช่นเดียวกัน

จากตารางที่ 4.12 พบว่าค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเทียบเท่าวิตามินซีของน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มลดลง เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) เมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเทียบเท่าวิตามินซี (C) กับระยะเวลาการเก็บ ในรูปแบบ $1/C$ กับเวลา จะพบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าดังกล่าวในน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่ทุกอุณหภูมิ ให้กราฟความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง และกราฟความสัมพันธ์นี้มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ เท่ากับ 0.915, 0.805 และ 0.930 ตามลำดับ (รูปที่ 4.8) และเมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวในรูปแบบ $\ln(C/C_0)$ กับเวลา (เมื่อ C_0 คือค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเทียบเท่าวิตามินซีของน้ำชากระเจี๊ยบที่ระยะเวลาการเก็บเริ่มต้น) พบว่ากราฟความสัมพันธ์เส้นตรงที่ได้มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.807, 0.820 และ 0.859 ตามลำดับ ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าการลดลงของค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเทียบเท่าวิตามินซีของน้ำชากระเจี๊ยบระหว่างการเก็บสามารถอธิบายได้โดยปฏิกิริยาอันดับสอง

เมื่อพิจารณาการลดลงของค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ FRAP ของน้ำชากระเจี๊ยบที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส ระหว่างการเก็บ (ตารางที่ 4.13) พบว่าเมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ FRAP (C) กับระยะเวลาการเก็บ ในรูปแบบ $1/C$ กับเวลา จะพบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ FRAP ของน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่ทุกอุณหภูมิ ให้กราฟความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงที่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ เท่ากับ 0.800, 0.943 และ 0.894 ตามลำดับ (รูปที่ 4.9) และเมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวในรูปแบบ $\ln(C/C_0)$ กับเวลา (เมื่อ C_0 คือค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ FRAP ของน้ำชากระเจี๊ยบที่ระยะเวลาการเก็บเริ่มต้น) พบว่ากราฟความสัมพันธ์เส้นตรงที่ได้มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ เท่ากับ 0.651, 0.943 และ 0.636 ตามลำดับ ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าการลดลงของค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ FRAP ของน้ำชากระเจี๊ยบระหว่างการเก็บสามารถอธิบายได้โดยปฏิกิริยาอันดับสอง



รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเทียบเท่าวิตามินซีของน้ำจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55 (◆), 60 (□) และ 65 (△) องศาเซลเซียส กับระยะเวลาการเก็บ ในรูปแบบ $1/C$ กับเวลา

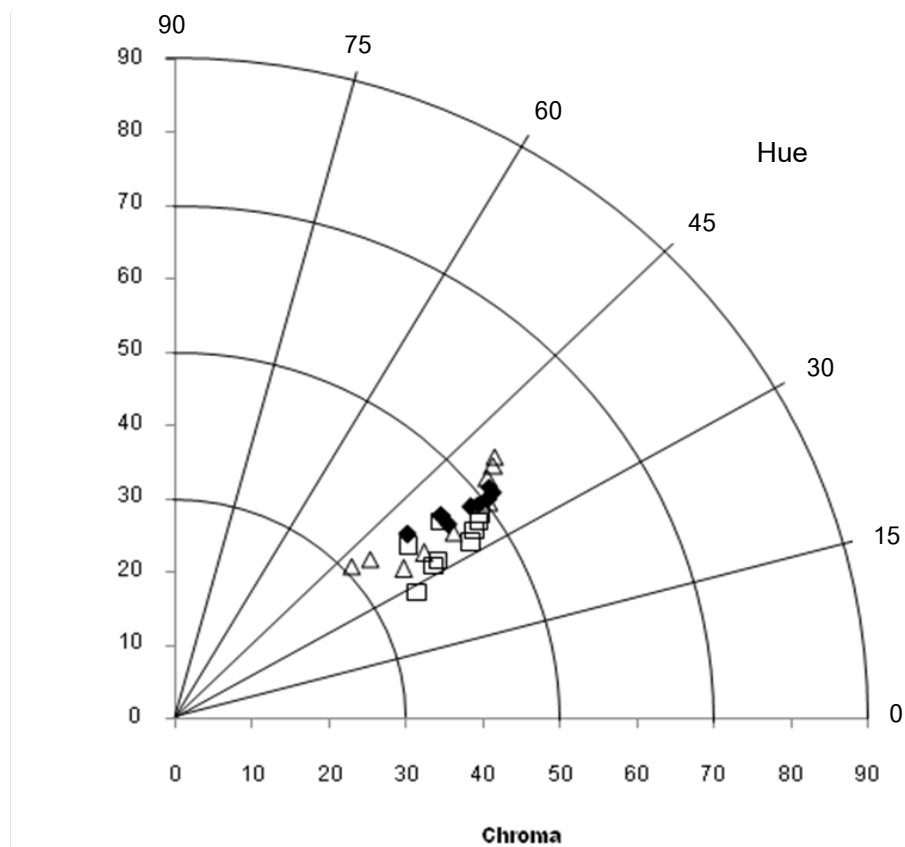


รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ FRAP ของน้ำจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55 (◆), 60 (□) และ 65 (△) องศาเซลเซียส กับระยะเวลาการเก็บในรูปแบบ $1/C$ กับเวลา

เมื่อวิเคราะห์ DPPH radical scavenging activity พบว่าน้ำจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการเก็บ 168 วัน มีค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเทียบเท่าวิตามินซีอยู่ร้อยละ 57.01, 62.5 และ 53.67 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับค่าดังกล่าวของน้ำจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมินั้น ๆ ที่ระยะเวลาการเก็บเริ่มต้น

เมื่อพิจารณาฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยการวิเคราะห์ FRAP พบว่าน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการเก็บ 168 วัน มีค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ FRAP อยู่ร้อยละ 54.27, 66.80 และ 58.45 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับค่าดังกล่าวของกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมินั้น ๆ ที่ระยะเวลาการเก็บเริ่มต้น

เมื่อพิจารณาค่าสีของน้ำชาจากกระเจี๊ยบที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ (รูปที่ 4.10) พบว่าน้ำชากระเจี๊ยบที่ทุกภาวะมีค่าเฉดสี (Hue) ใกล้เคียงกัน โดยมีค่าดังกล่าวอยู่ในช่วง 30-45 ซึ่งเป็นมุมที่อยู่ในช่วงสีแดง



รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉดสี และค่าความเข้มของสี ของน้ำชากระเจี๊ยบที่แต่ละระยะเวลาการเก็บ เมื่ออบแห้งกระเจี๊ยบแดงที่อุณหภูมิ 55 (◆), 60 (□) และ 65 (△) องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.10 พบว่าค่าความเข้มของสี (chroma) ในน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มลดลง เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าความเข้มของสีของน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55 และ 60 องศาเซลเซียส จากระยะเวลาการเก็บเริ่มต้นจนถึงการเก็บเป็นระยะเวลา 168 วัน มีการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มของ

สีประมาณ 10 หน่วย ส่วนน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิตั้งที่ 65 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าวประมาณ 20 หน่วย แสดงว่าอุณหภูมิในการอบแห้งกระเจี๊ยบแดงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มของสีของน้ำชาที่ชงจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้งในระหว่างการเก็บ โดยค่าความเข้มของสีของน้ำชาที่ชงจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิตั้งที่ 65 องศาเซลเซียส จะมีการลดลงมากกว่าน้ำชาที่ชงจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิตั้งที่ 55 และ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งสัมพันธ์กับการสลายตัวของแอนโทไซยานิน Duangmal และคณะ (2008) รายงานว่าเมื่อเก็บสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงที่ผ่านการทำให้แห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 105 วัน ที่อุณหภูมิตั้งที่ 30 องศาเซลเซียส พบว่าระหว่างการเก็บ สารดังกล่าวมีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันมาก โดยมีค่าอยู่ในช่วง 24-40 ซึ่งเป็นมุมที่อยู่ในช่วงสีแดง ส่วนค่าความเข้มของสีของสารสกัดแห้งมีแนวโน้มลดลง โดยมีค่าลดลงประมาณ 10 หน่วย จากวันเริ่มต้นจนถึงวันที่เก็บสุดท้าย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

อุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าการอบแห้งกระเจี๊ยบแดงที่ 60 องศาเซลเซียส ให้ผลดีที่สุด เนื่องจากสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิดังกล่าวมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงสุด ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสาร และสมบัติดังกล่าวของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ (55, 65 และ 70 องศาเซลเซียส) และเมื่อนำกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ มาชงชา พบว่าผลของอุณหภูมิในการอบแห้งต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของน้ำชากระเจี๊ยบก็ให้ผลไปในทำนองเดียวกันกับผลที่ได้จากสารสกัดเมทานอล โดยน้ำชาจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับสาร และสมบัติดังกล่าวของน้ำชาที่ชงจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ ($p \leq 0.05$)

เมื่อเก็บกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ (55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 20 สัปดาห์ พบว่าการอบแห้งกระเจี๊ยบแดงที่ 60 องศาเซลเซียส แล้วเก็บไว้ให้ผลดีที่สุด เนื่องจากที่ระยะเวลาในการเก็บเดียวกันสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับสาร และสมบัติดังกล่าวของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ ($p \leq 0.05$) ส่วนผลของอุณหภูมิในการอบแห้ง และระยะเวลาการเก็บต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของน้ำชากระเจี๊ยบก็ให้ผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกัน โดยพบว่าที่ระยะเวลาในการเก็บเดียวกันน้ำชาที่ชงจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงสุด ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อวิเคราะห์ค่าสีของน้ำชาที่ชงจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ พบว่าค่าเฉดสี (Hue) และค่าความเข้มของสี (Chroma) ของน้ำชาที่ชงกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส มีค่าไม่แตกต่างกันมากระหว่างการเก็บ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรวิเคราะห์ปริมาณ และฤทธิ์ด้านออกซิเดชันของแอนโทไซยานินชนิดต่าง ๆ ที่อยู่ในกระเจี๊ยบแดง เช่น เดลฟิnidin-3-แซมบูไบโไฮด์ซึ่งเป็นแอนโทไซยานินชนิดหลักที่อยู่ในกระเจี๊ยบแดง และไซยานidin-3-แซมบูไบโไฮด์ซึ่งเป็นแอนโทไซยานินชนิดรอง เพื่อพิจารณาว่าคุณสมบัติในการอบแห้ง และระยะเวลาการเก็บมีผลต่อปริมาณ และฤทธิ์ด้านออกซิเดชันของแอนโทไซยานินแต่ละชนิดอย่างไร

5.2.2 ควรแปรชนิดของวัสดุที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์ในการเก็บกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- แฉล้ม มาศวรรณนา, สุรพงษ์ เจริญรัตน์, ชัยรัตน์ ดุลยพัทธ์ และ ปัญญา เอกมหาชัย. 2545. กระเจี๊ยบแดงพืชสมุนไพร. กสิกร 75: 16-19.
- วัชรีย์ หาญยิ่ง. 2549. อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระในกลไกของการเกิดมะเร็ง. วารสารวิทยาศาสตร์ มข. 34: 199-208.
- ศิวะ อัฉนวิยะวิริยะ และ สมชาติ ไสภณรณฤทธิ. 2532. การศึกษาพารามิเตอร์ที่จำเป็นต่อการใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งกล้วยน้ำว้า. วิศวกรรมสาร 1: 80.
- สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. 2550. เศรษฐกิจสมุนไพรไทย ปี 2549/50 กรณีศึกษา: กระเจี๊ยบแดง ดอกคำฝอย และ กวาวเครือขาว [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www._oae.go.th/download/resech/edu_50.pdf. [2553, ตุลาคม 5]

ภาษาอังกฤษ

- Benavente-Garcia, O., Castillo, J., Marin, F.R., Ortuno, A., and Del Rio, J.A. 1997. Uses and properties of *Citrus* flavonoids. Journal of Agricultural and Food Chemistry 45: 4505-4515.
- Benzie, I.F.F., and Strain, J.J. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay. Analytical Biochemistry 239: 70-76.
- Bridle, P., and Timberlake, C.F. 1997. Anthocyanins as natural food colours-Selected aspects. Food Chemistry 58: 103-109.
- Brouillard, R. 1982. Chemical structure of anthocyanins. In P. Markakis (Ed.), Anthocyanin as Food Colors, pp.1-40. New York: Academic Press.
- Chan, E.W.C., Lim, Y.Y., and Chew, Y.L. 2007. Antioxidant activity of *Camellia sinensis* leaves and tea from a lowland plantation in Malaysia. Food Chemistry 102: 1214-1222.
- Das, N.P., and Pereira, T.A. 1990. Effects of flavonoids on thermal autoxidation of palm oil: Structure-activity relationships. Journal of American Oil Chemists' Society 4: 255-258.

- Desrosier, N.W., and Desrosier, J.N. 1977. Principles of food preservation by drying. In N.W. Desrosier, and J.N. Desrosier (Eds.), The Technology of Food Preservation, 4th ed, pp.218-258. Connecticut: AVI Publishing.
- Duangmal, K., Saicheua, B., and Sueeprasan, S. 2008. Colour evaluation of freeze-dried roselle extract as a natural food colorant in a model system of a drink. Food Science and Technology 41: 1437-1445.
- Eskin, N.A.M. 1990. Biochemistry of Foods, 2nd ed. San Diego: Academic Press.
- Forsyth, W.G.C., and Simmonds, N.W. 1954. Survey of the anthocyanins of some tropical plants. Proceedings of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences 142: 549–564.
- Francis, F.J. 1982. Analysis of anthocyanins. In P. Markakis (Ed.), Anthocyanins as Food Colors, pp.181–208. New York: Academic Press.
- Francis, F.J. 1989. Food Colorants: Anthocyanins. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 28: 273-314.
- Giusti, M.M., and Wrolstad, R.E. 2005. Unit F1.2: 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. Shoemaker, D. Smith, and P. Sporns (Eds.), Handbook of Food Analytical Chemistry V.2, pp.19-31. New Jersey: John Wiley and Sons.
- Gradinaru, G., Biliaderis, C.G., Kallithraka, S., Kefalas, P., and Garcia-Viguera, C. 2003. Thermal stability of *Hibiscus sabdariffa* L. anthocyanins in solution and in solid state: Effects of copigmentation and glass transition. Food Chemistry 83: 423-436.
- Huang, D., Ou, B., and Prior, R.L. 2005. The chemistry behind antioxidant capacity assays. Journal of Agricultural and Food Chemistry 53: 1841-1856.
- Harborne, J.B. 1980. Plant phenolics. In E. Bell, and B. Charlwood (Eds.), Encyclopedia of Plant Physiology V.8, pp.329–402. Berlin: Springer-Verlag.
- Jackman, R.L., and Smith, J.L. 1996. Anthocyanins and Betalains. In G.A.F. Hendry, and J.D. Houghton (Eds.), Natural Food Colorants, 2nd ed, pp.244-309. London: Blackie Academic and Professional.

- Jadhav, S., Nimbalkar, S., Kulkarni, A. and Madhavi, D. 1995. Lipid oxidation in biological and food systems. In D. Madhavi, S. Deshamde and D.Salunkhe (Eds.), Food antioxidant .New York: Marcel Dekker,Inc. 29-32.
- Julkunen-Tiitto, R. 1985. Phenolic constituents in the leaves of northern willows: Methods for the analysis of certain phenolics. Journal of Agricultural and Food Chemistry 33: 213-217.
- Katsube, T., Tsurunaga, Y., Sugiyama, M., Furuno, T., and Yamasaki, Y. 2009. Effect of air-drying temperature on antioxidant capacity and stability of polyphenolic compounds in mulberry (*Morus alba* L.) leaves. Food Chemistry 113: 964-969.
- Kirca, A., Ozkan, M., and Cemeroglu, B. 2007. Effects of temperature, solid content and pH on the stability of black carrot anthocyanins. Food Chemistry 101: 212-218.
- Larrauri, J.A., Ruperez, P., and Suara-Calixto, F. 1997. Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. Journal of Agricultural and Food Chemistry 45: 1390-1393.
- Lewicki, P.P. 1998. Effect of pre-drying treatment, drying and rehydration on plant tissue properties: A review. International Journal of Food Properties 1: 1-22.
- Lopez, J., Uribe, E., Vega-Galvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Gonzalez, E., and Scala, K.D. 2010. Effect of air temperature on drying kinetics, vitamin C, antioxidant activity, total phenolic content, non-enzymatic browning and firmness of blueberries variety O'neil. Food Bioprocess Technology 3: 772-777.
- Mazza, G., and Miniati, E. 1993. Anthocyanin in Fruits, Vegetables, and Grains. Boca Raton: CRC Press.
- Michalczyk, M., Macura, R., and Matuszak, I. 2009. The effect of air-drying, freeze-drying and storage on the quality and antioxidant activity of some selected berries. Journal of Food Processing and Preservation 33: 11-21.
- Mohd-Esa, N., Hern, F.S., Ismail, A., and Yee, C.L. 2010. Antioxidant activity in different parts of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extracts and potential exploitation of the seeds. Food Chemistry 122: 1055-1060.
- Mourtzinou, I., Makris, D.P., Yannakopoulou, K., Kalogeropoulos, N., Michali, I., and Karathanos, V.T. 2008. Thermal stability of anthocyanin extract of *Hibiscus*

- sabdariffa* L. in the presence of β -cyclodextrin. Journal of Agricultural and Food Chemistry 56: 10303–10310.
- Mujumdar, A.S. 1997. Drying Fundamentals. In C.G.J. Baker (Ed.), Industrial Drying of Foods, pp.7-30. London: Blackie Academic and Professional.
- Oboh, G., and Rocha, J.B.T. 2008. Antioxidant and neuroprotective properties of sour tea (*Hibiscus sabdariffa*, calyx) and green tea (*Camellia sinensis*) on some pro-oxidant-induced lipid peroxidation in brain *in vitro*. Food Biophysics 3: 382-389.
- Patras, A., Brunton, N.P., O'Donnell, C., and Tiwari, B.K. 2010. Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods: Mechanisms and kinetics of degradation. Trends in Food Science and Technology 21: 3-11.
- Perez, M.B., Calderon, N.L., and Croci, C.A. 2007. Radiation-induced enhancement of antioxidant activity in extracts of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). Food Chemistry 104: 585-592.
- Pietta, P.G. 2000. Flavonoids as antioxidants. Journal of Natural Products 63: 1035-1042.
- Pokorny, J., Yanishlieva, N., and Gordon, M. 2001. Antioxidants in Food: Practical Applications. New York: CRC Press.
- Prior, R.L., Wu, X., and Schaich, K. 2005. Standardized method for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. Journal of Agricultural and Food Chemistry 53: 4290-4302.
- Rajalakshmi, D., and Narasimhan, S. 1995. Food antioxidants: Sources and methods of evaluation. In D.L. Madhavi, S.S. Deshpande, and D.K. Salunke (Eds.), Food Antioxidants: Technological, Toxicological and Health Perspectives, pp.65-157. New York: Marcel Dekker.
- Raynal, J., Moutounet, M., and Souquet, J.M. 1989. Intervention of phenolic compounds in plum technology. 1. Changes during drying. Journal of Agricultural and Food Chemistry 37: 1046-1050.
- Rice-Evans, C., Miller, N.J., Bolwell, P.G., Bramley, P.M., and Pridham, J.B. 1995. The relative antioxidant activities of plant-derived polyphenolic flavonoids. Free Radical Research 22: 375-383.

- Rodriguez-Saona, L.E., and Wrolstad, R.E. 2005. Unit F1.1: Extraction, isolation, and purification of anthocyanins. In R.E. Wrolstad, T.E. Acree, E.A. Decker, M.H. Penner, D.S. Reid, S.J. Schwartz, C.F. Shoemaker, D. Smith, and P. Sporns (Eds.), Handbook of Food Analytical Chemistry V.2, pp.7-17. New Jersey: John Wiley and Sons.
- Saura-Calixto, F., and Bravo, L. 2001. Dietary fiber-associated compounds: Chemistry, analysis, and nutritional effects of polyphenols. In S.S. Cho, and M.L. Dreher (Eds.), Handbook of Dietary Fiber, pp. 415–435. New York: Marcel Dekker.
- Sayago-Ayerdi, S.G., Arranz, S., Serrano, S., and Goni, I. 2007. Dietary fiber content and associated antioxidant compounds in roselle flower (*Hibiscus sabdariffia* L.) beverage. Journal of Agricultural and Food Chemistry 55: 7886-7890.
- Segura-Carretero, A., Puertas-Mejía, M.A., Cortacero-Ramírez, S., Beltrán, R., Alonso-Villaverde, C., Joven, J., Dinelli, G., and Fernandez-Gutierrez, A. 2008. Selective extraction, separation and identification of anthocyanin from *Hibiscus sabdariffia* L. using solid phase extraction-capillary electrophoresis-mass spectrometry. Electrophoresis 29: 2852-2861.
- Sies, H. 1997. Oxidative stress: Oxidants and antioxidants. Experimental Physiology 82: 291-295.
- Tsai, P. J., McIntosh, J., Pearce, P., Camden, B., and Jordan, B.R. 2002. Anthocyanin and antioxidant capacity in Roselle (*Hibiscus sabdariffia* L.) extract. Food Research International 35: 351-356.
- Tsai, P.J., and Ou, A.S.M. 1996. Color degradation of dried roselle during storage. Food Science 23: 629-640.
- Vega-Galvez, A., Di Scala, K., Rodriguez, K., Lemus-Mondaca, R., Miranda, M., Lopez, J., and Perez-Won, M. 2009. Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annum*, L. var. Hungarian). Food Chemistry 117: 647-653.
- Vermerris, W., and Nicholson, R.L. 2006. Phenolic Compound Biochemistry. Dordrecht: Springer.

- Von-Elbe, J.H., and Schwartz, S.J. 1996. Colorants. In O.R. Fennema (Ed.), Food Chemistry, 3rd ed, pp.651-722. New York: Marcel Dekker.
- Waterhouse, A. 2005. Unit I1.1: Determination of total phenolics. In R.E. Wrolstad, T.E. Acree, E.A. Decker, M.H. Penner, D.S. Reid, S.J. Schwartz, C.F. Shoemaker, D. Smith, and P. Sporns (Eds.), Handbook of Food Analytical Chemistry V.2, pp.463-470. New Jersey: John Wiley and Sons.
- Waterman, P.G., and Mole, S. 1994. Analysis of Phenolics Plant Metabolites. London: Blackwell Scientific Publication.
- Wong, P.K., Yusof, S., Ghazali, H.M., and Che-Man, Y.B. 2002. Physico-chemical characteristics of roselle. Nutrition and Food Science 32: 68-73.
- Wong, S.K., Lim, Y.Y., and Chan, E.W.C. 2009. Antioxidant properties of *Hibiscus*: Species variation, altitudinal change, coastal influence and floral colour change. Journal of Tropical Forest Science 21: 307-315.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพ

ก.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu

วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu โดยดัดแปลงจากวิธีของ Waterhouse (2005)

การเตรียมสารละลาย

เตรียมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตอิ่มตัว (สารละลายมีความเสถียรเก็บไว้ได้ประมาณ 1 ปี) โดย

1. ละลายโซเดียมคาร์บอเนต 200 กรัม ในน้ำกลั่น 800 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายที่ได้มาเก็บที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 1 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
2. นำสารละลายจากข้อ 1. มากรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 แล้วนำสารละลายที่ผ่านการกรองแล้วมาปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

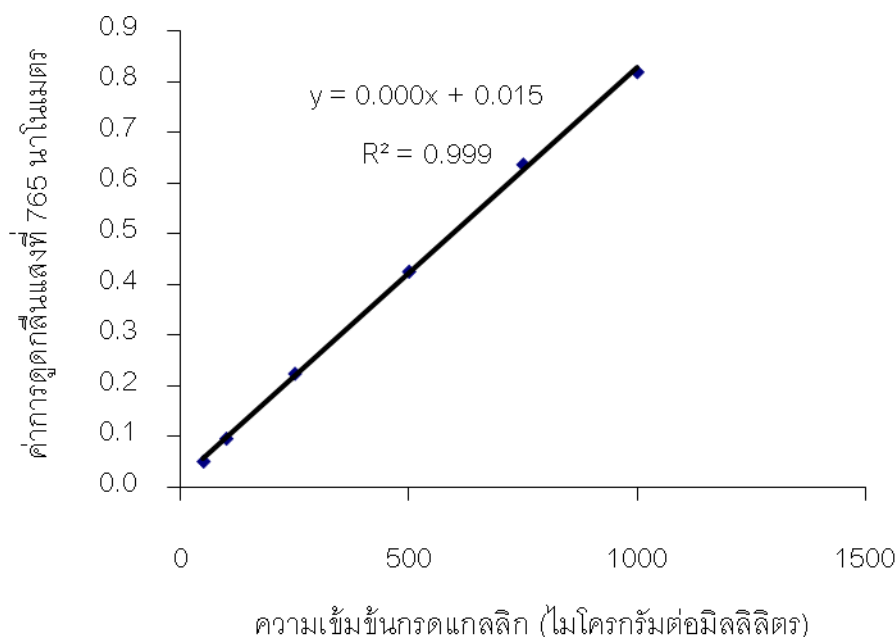
วิธีการทดลอง

1. ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ลงในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร (สำหรับ blank ใช้ น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง)
2. เติมน้ำกลั่น 35 มิลลิลิตร แล้วปิเปตสารละลาย Folin-Ciocalteu เข้มข้น 2 นอร์มัล 2.5 มิลลิลิตร ลงในขวดกำหนดปริมาตร เขย่าให้สารละลายเข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 4 นาที
3. เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตอิ่มตัว 7.5 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้สารละลายเข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมง ในที่มืด
4. นำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร
5. นำผลของการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ได้เทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแกลลิก (ภาพที่ ก.1) คำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่มีในตัวอย่าง

การทำกราฟมาตรฐาน

1. ละลายกรดแกลลิก 0.5 กรัม ในเมทานอล 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น
2. ปิเปตสารละลายจากข้อ 1. มา 1, 2, 5, 10, 15 และ 20 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น ซึ่งจะได้สารละลายกรดแกลลิกที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 50, 100, 250,

500, 750 และ 1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ นำแต่ละความเข้มข้นไปวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน ดังภาพที่ ก.1



ภาพที่ ก.1 กราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแกลลิกที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

ก.2 การวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานินด้วยวิธี pH – differential

วิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินด้วยวิธี pH-differential ตามวิธีของ Giusti และ Wrolstad (2005)

การเตรียมสารละลาย

A. สารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมแอสซีเตต-กรดไฮโดรคลอริก (ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 4.5) เข้มข้น 25 มิลลิโมลาร์ (สารละลายมีความเสถียรเก็บไว้ได้ประมาณ 1 ปี ควรปรับค่าความเป็นกรดต่างทุกครั้งก่อนใช้)

1. ละลายโซเดียมแอสซีเตต 54.43 กรัม ในน้ำกลั่น 960 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายที่ได้มาปรับค่าความเป็นกรดต่างด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 37 ให้มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 4.5

2. นำสารละลายจากข้อ 1. มาปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

B. สารละลายบัฟเฟอร์โพแทสเซียมคลอไรด์-กรดไฮโดรคลอริก (ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 1.0) เข้มข้น 0.4 โมลาร์ (สารละลายมีความเสถียรเก็บไว้ได้ประมาณ 1 ปี แต่ควรปรับค่าความเป็นกรดต่างทุกครั้งก่อนใช้)

1. ละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ 1.86 กรัม ในน้ำกลั่น 980 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายที่ได้มาปรับค่าความเป็นกรดต่างด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 37 ให้มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 1.0

2. นำสารละลายจากข้อ 1. มาปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

วิธีการทดลอง

1. ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 1.5 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมแอสซีเตต-กรดไฮโดรคลอริก (จากข้อ A.) 1.5 มิลลิลิตร เก็บไว้ในที่มืด 15 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 518 และ 700 นาโนเมตร ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้คือค่า $A_{518\text{nm}}$ (pH4.5) และ $A_{700\text{nm}}$ (pH4.5) ตามลำดับ

2. ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 1.5 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายบัฟเฟอร์โพแทสเซียมคลอไรด์-กรดไฮโดรคลอริก (จากข้อ B.) 1.5 มิลลิลิตร เก็บไว้ในที่มืด 15 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 518 และ 700 นาโนเมตร ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้คือค่า $A_{518\text{nm}}$ (pH1.0) และ $A_{700\text{nm}}$ (pH1.0) ตามลำดับ

3. นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากข้อ 1. และ 2. มาคำนวณในสูตรที่ (ก.1)

$$A = [A_{518\text{nm}}(\text{pH}1.0) - A_{700\text{nm}}(\text{pH}1.0)] - [(A_{518\text{nm}}(\text{pH}4.5) - A_{700\text{nm}}(\text{pH}4.5))] \quad (\text{ก.1})$$

โดยที่ค่า $A_{518\text{nm}}$ (pH4.5) ไม่ควรต่ำกว่า 0.1 และค่า $A_{518\text{nm}}$ (pH1.0) ไม่ควรเกิน 1.0 ซึ่งสามารถปรับค่าการดูดกลืนแสงทั้งสองค่าได้โดยการเจือจางสารละลายตัวอย่างให้เหมาะสม

4. นำค่า A ที่ได้จากข้อ 3. มาคำนวณหาปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดจากสูตรที่ (ก.2)

$$\text{ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตรของสารสกัด)} = \frac{A \times MW \times DF \times 1000}{\epsilon \times l} \quad (\text{ก.2})$$

โดยที่ MW = น้ำหนักโมเลกุลของแอนโทไซยานินชนิดหลักที่พบในกระเจี๊ยบแดง

ϵ = ค่า molar absorptivity ของแอนโทไซยานินชนิดหลักที่พบในกระเจี๊ยบแดง

DF = จำนวนเท่าที่เจือจางเพื่อให้ได้ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้

ในงานวิจัยนี้ใช้ค่า MW และ ϵ ของแอนโทไซยานินชนิดไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 449.2 และ 26900 ตามลำดับ (Giusti and Wrolstad, 2005) สำหรับคำนวณปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในกระเจี๊ยบแดง

ก.3 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในรูปแบบ 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity

วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในรูปแบบ DPPH radical scavenging activity โดยดัดแปลงจากวิธีของ Perez และคณะ (2007)

การเตรียมสารละลาย

เตรียมสารละลาย DPPH เข้มข้น 0.2 มิลลิโมลาร์ (ควรเตรียมใหม่ทุกครั้ง) โดยละลาย DPPH 0.004 กรัม ในเมทานอล แล้วปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที ก่อนนำไปวิเคราะห์

วิธีการทดลอง

1. ปิเปตสารละลายตัวอย่างแต่ละความเข้มข้น 1.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง
2. ปิเปตสารละลาย DPPH เข้มข้น 0.2 มิลลิโมลาร์ 1.5 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายตัวอย่างในหลอดทดลอง
3. เขย่าให้สารละลายเข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที
4. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร
5. นำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง % scavenging activity กับความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง ซึ่ง %scavenging activity คำนวณได้จากสูตรที่ (ก.3)

$$\% \text{ scavenging activity} = \frac{A_0 - A_s}{A_0} \times 100 \quad (\text{ก.3})$$

โดยที่ A_0 = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างควบคุม (ใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง)

A_s = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างที่ทำปฏิกิริยากับสารละลาย DPPH

6. วิเคราะห์หาสมการเส้นตรงของกราฟ แล้วแทนค่า y ของสมการเส้นตรงเป็น 50 เพื่อหาค่า EC_{50} ของตัวอย่าง ค่า EC_{50} ที่ได้แสดงในหน่วยมิลลิกรัมกระเจี๊ยบแดง (น้ำหนักแห้ง) ต่อลิตรของสารสกัด

7. นำค่า EC_{50} ที่คำนวณได้จากข้อ 6. มาคำนวณเป็นค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเทียบเท่าวิตามินซี (ascorbic acid equivalent antioxidant capacity, AEAC) โดยคำนวณจากสูตร (ก.4)

$$\text{AEAC (มิลลิกรัมวิตามินซีต่อกรัม)} = \frac{EC_{50} \text{ Vitamin C}}{EC_{50} \text{ Sample}} \times 1000 \quad (\text{ก.4})$$

โดยที่ ค่า EC_{50} ของวิตามินซี ที่ใช้ในการคำนวณมีค่าเท่ากับ 0.00387 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (Chan et al., 2007)

ก.4 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในรูปแบบ Ferric ion reducing antioxidant power (FRAP)

วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในรูปแบบ FRAP โดยดัดแปลงจากวิธีของ Benzie และ Strain (1996)

การเตรียมสารละลาย

A. สารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมแอสซีเตต (ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 3.6) เข้มข้น 300 มิลลิโมลาร์ (สารละลายมีความเสถียรเก็บไว้ได้ประมาณ 1 ปี แต่ควรปรับค่าความเป็นกรดต่างทุกครั้งก่อนใช้)

1. ละลายโซเดียมแอสซีเตต 40.824 กรัม ในน้ำกลั่น 700 มิลลิลิตร แล้วนำสารละลายที่ได้มาปรับค่าความเป็นกรดต่างด้วยกรดแอสติกเข้มข้นร้อยละ 100 ให้มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 3.6

2. นำสารละลายจากข้อ 1. มาปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

B. สารละลายเฟอริกคลอไรด์เข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ (ควรเตรียมใหม่ทุกครั้ง)

ละลายเฟอริกคลอไรด์ 0.3244 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

C. สารละลาย 2,4,6-tripyridyl-s-triazine (TPTZ) เข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ (ควรเตรียมใหม่ทุกครั้ง)

1. เตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ โดยละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 37 ปริมาตร 0.3316 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

2. ละลาย TPTZ 0.0312 กรัม ในสารละลายจากข้อ 1. แล้วปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร ด้วยสารละลายจากข้อ 1.

D. สารละลาย FRAP (ควรเตรียมใหม่ทุกครั้ง)

ปิเปตสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมแอสซีเตต (จากข้อ A.) 25 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายเฟอริกคลอไรด์ (จากข้อ B.) 2.5 มิลลิลิตร และสารละลาย TPTZ (จากข้อ C.) 2.5 มิลลิลิตร จากนั้นผสมให้สารละลายเข้ากัน

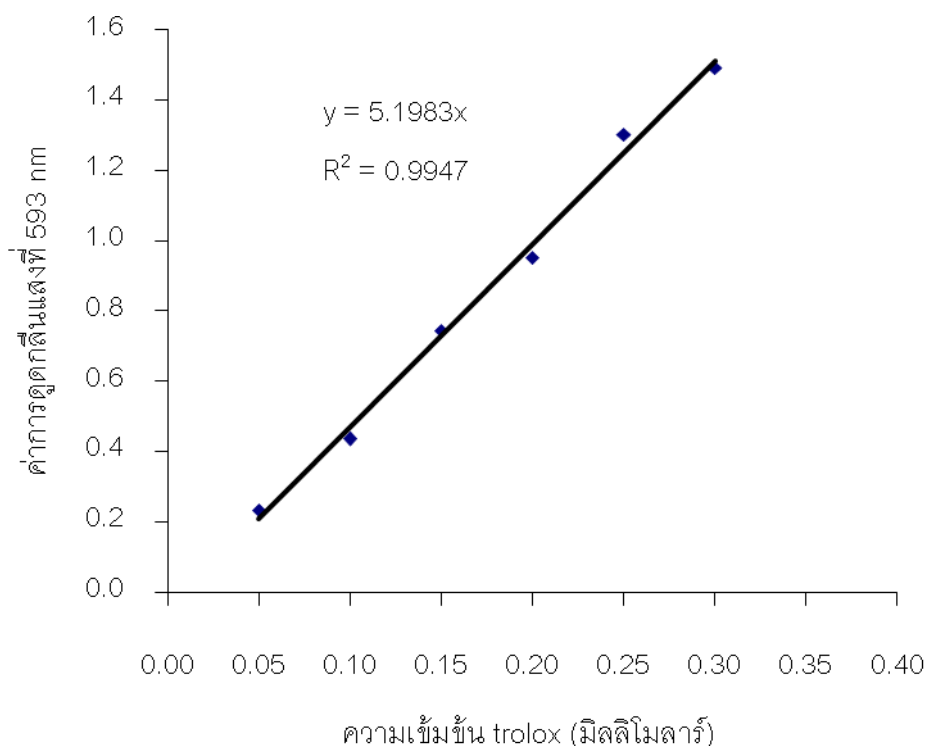
วิธีการทดลอง

1. ปิเปตสารละลาย FRAP (จากข้อ D.) 2000 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลอง
2. นำไปบ่มในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

3. ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 200 ไมโครลิตร ผสมกับสารละลาย FRAP ในหลอดทดลอง แล้วนำไปเก็บในห้องมืด 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง
4. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร
6. นำผลของการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ได้เทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลาย trolox (ภาพที่ ก.3) คำนวณหาฤทธิ์ต้านออกซิเดชันที่มีในตัวอย่าง

การทำกราฟมาตรฐาน

1. ละลาย trolox 0.025 กรัม ในเมทานอล แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร
2. ปิเปตสารละลายจากข้อ 1. มา 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 และ 3 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น ซึ่งจะได้สารละลาย trolox ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25 และ 0.3 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ นำแต่ละความเข้มข้นไปวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในรูป FRAP เพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน ดังภาพที่ ก.2



ภาพที่ ก.2 กราฟมาตรฐานของสารละลาย trolox ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในรูป FRAP

ก.5 ค่าสี โดยใช้เครื่อง ColorFlex[®] (HunterLab Reston รุ่น 45/0, Reston, VA, USA)

วิธีการทดลอง

1. เข้าสู่โปรแกรม Spectrophotometer Universe โดย double click ที่ icon ของ Spectrophotometer Universe
2. คลิกที่ “Standardize” บนเมนูหลัก
3. เลือก port size ขนาด 1.25 จากนั้นกดปุ่ม OK
4. วางแผ่น calibrate สีดำ ให้ปุ่มสีขาวด้านบนบนแผ่น calibrate หันออกด้านนอก จากนั้นกดปุ่ม OK
5. จากนั้นวางแผ่น calibrate สีขาว ให้ปุ่มสีขาวด้านบนบนแผ่น calibrate หันออกด้านนอก จากนั้นกดปุ่ม OK รอจนเครื่องขึ้นว่า “Sensor successfully standardized” จากนั้นกดปุ่ม OK
6. ทดลองอ่านค่าแผ่น calibrate สีขาว โดยคลิกที่ “Read standard” บนเมนูหลัก ค่าที่ได้ต้องอยู่ในช่วงดังนี้ $X=78.89 \pm 0.3$ $Y=83.78 \pm 0.3$ $Z=87.74 \pm 0.3$ (ถ้าไม่อยู่ในช่วงที่กำหนด ต้อง Standardize ใหม่ โดยเริ่มกลับไปทำข้อ 2. อีกครั้ง)
7. ตวงตัวอย่างน้ำชากระเจียบ 60 มิลลิลิตร ลงในถ้วยแก้ววัดสี แล้วปิดด้านบนด้วยแผ่นเซรามิกสีขาว
8. วางถ้วยแก้วไว้บนฐานของเครื่องให้ปิดช่อง port size ให้สนิท คลุมตัวอย่างด้วยฝาครอบสีดำ จากนั้นคลิกที่ “Read sample” บนเมนูหลัก
8. วิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ครั้ง โดยค่าที่ได้จะรายงานเป็น CIE $L^*a^*b^*$ แหล่งแสง D65 มุมการมอง 10°

ก.6 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลล์ของตัวอย่าง โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) (JEOL รุ่น JSM-5410LV, Tokyo, Japan)

วิธีการทดลอง

1. แช่ตัวอย่างในไนโตรเจนเหลว
2. หักครึ่งตัวอย่างขณะที่แข็งแข็งอยู่
3. ติดตัวอย่างบนแท่นวางตัวอย่าง (stub) ด้วยกาว โดยให้รอยหักของตัวอย่างอยู่ด้านบน
5. นำตัวอย่างที่ติดบนแท่นวางไปฉาบทองด้วยเครื่อง Ion sputter (Balzers รุ่น CPD 040, Vaduz, Liechtenstein)
6. นำไปส่องคุณลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลล์ด้วยเครื่อง SEM ที่กำลังขยาย 350 เท่า ที่กระแสไฟ 15 กิโลโวลต์

ภาคผนวก ข

ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน

ตารางที่ ข.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้งเมื่อแปรอุณหภูมิในการอบแห้งกระเจี๊ยบแดง

SOV	df	MS
อุณหภูมิในการอบแห้ง	3	92.596*
Error	8	0.793

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแอนโทไซยานินของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้งเมื่อแปรอุณหภูมิในการอบแห้งกระเจี๊ยบแดง

SOV	df	MS
อุณหภูมิในการอบแห้ง	3	3.427*
Error	8	0.247

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเทียบเท่าวิตามินซีของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้งเมื่อแปรอุณหภูมิในการอบแห้งกระเจี๊ยบแดง

SOV	df	MS
อุณหภูมิในการอบแห้ง	3	0.886*
Error	8	0.060

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ FRAP ของสารสกัด
เมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้งเมื่อแปรอุณหภูมิในการอบแห้งกระเจี๊ยบแดง

SOV	df	MS
อุณหภูมิในการอบแห้ง	3	665.127*
Error	8	14.841

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำชาที่
ชงจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้งเมื่อแปรอุณหภูมิในการอบแห้งกระเจี๊ยบแดง

SOV	df	MS
อุณหภูมิในการอบแห้ง	3	1.464*
Error	8	0.015

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแอนโทไซยานินของน้ำชาที่ชงจาก
กระเจี๊ยบแดงอบแห้งเมื่อแปรอุณหภูมิในการอบแห้งกระเจี๊ยบแดง

SOV	df	MS
อุณหภูมิในการอบแห้ง	3	0.051*
Error	8	0

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเทียบเท่า
วิตามินซีของน้ำชาที่ชงจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้งเมื่อแปรอุณหภูมิในการอบแห้ง
กระเจี๊ยบแดง

SOV	df	MS
อุณหภูมิในการอบแห้ง	3	0.563*
Error	8	0.007

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ FRAP ของน้ำชาที่ชงจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้งเมื่อแปรอุณหภูมิในการอบแห้งกระเจี๊ยบแดง

SOV	df	MS
อุณหภูมิในการอบแห้ง	3	8.142*
Error	8	1.327

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของน้ำชาที่ชงจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้งเมื่อแปรอุณหภูมิในการอบแห้งกระเจี๊ยบแดง

SOV	df	MS		
		L*	a*	b*
อุณหภูมิในการอบแห้ง	3	0.780	0.307	1.310
Error	8	0.544	0.237	1.019

ตารางที่ ข.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้งที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 70 วัน และ 140 วัน เมื่อแปรอุณหภูมิในการอบแห้งกระเจี๊ยบแดง

ระยะเวลาการเก็บ	SOV	df	MS
1 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	36.040*
	Error	6	0.183
70 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	29.985*
	Error	6	1.187
140 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	7.253*
	Error	6	0.183

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส เมื่อแปรรยะเวลาการเก็บกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง

อุณหภูมิในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	SOV	df	MS
55	ระยะเวลาการเก็บ	2	80.165*
	Error	6	0.742
60	ระยะเวลาการเก็บ	2	156.353*
	Error	6	0.535
65	ระยะเวลาการเก็บ	2	77.469*
	Error	6	0.277

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแอนโทไซยานินของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้งที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 70 วัน และ 140 วัน เมื่อแปรรอุณหภูมิในการอบแห้งกระเจี๊ยบแดง

ระยะเวลาการเก็บ	SOV	df	MS
1 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	1.268*
	Error	6	0.009
70 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	0.191*
	Error	6	0.004
140 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	0.012*
	Error	6	0

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแอนโทไซยานินของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส เมื่อแปรระยะเวลาการเก็บกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง

อุณหภูมิในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	SOV	df	MS
55	ระยะเวลาการเก็บ	2	7.012*
	Error	6	0.004
60	ระยะเวลาการเก็บ	2	10.847*
	Error	6	0.007
65	ระยะเวลาการเก็บ	2	5.126*
	Error	6	0.003

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเทียบเท่าวิตามินซีของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้งที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 70 วัน และ 140 วัน เมื่อแปรอุณหภูมิในการอบแห้งกระเจี๊ยบแดง

ระยะเวลาการเก็บ	SOV	df	MS
1 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	2.236*
	Error	6	0.004
70 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	1.479*
	Error	6	0.004
140 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	0.477*
	Error	6	0.002

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ เทียบเท่าวิตามินซีของสารสกัดเมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส เมื่อแปรระยะเวลาการเก็บกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง

อุณหภูมิในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	SOV	df	MS
55	ระยะเวลาการเก็บ	2	6.106*
	Error	6	0.003
60	ระยะเวลาการเก็บ	2	9.576*
	Error	6	0.004
65	ระยะเวลาการเก็บ	2	5.089*
	Error	6	0.003

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ FRAP ของสารสกัด เมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้งที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 70 วัน และ 140 วัน เมื่อแปรอุณหภูมิในการอบแห้งกระเจี๊ยบแดง

ระยะเวลาการเก็บ	SOV	df	MS
1 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	487.628*
	Error	6	5.680
70 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	258.007*
	Error	6	2.244
140 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	59.760*
	Error	6	1.551

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ FRAP ของสารสกัด
เมทานอลจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส เมื่อ
แปรรยะเวลาการเก็บกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง

อุณหภูมิในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	SOV	df	MS
55	ระยะเวลาการเก็บ	2	515.850*
	Error	6	3.241
60	ระยะเวลาการเก็บ	2	1004.397*
	Error	6	2.889
65	ระยะเวลาการเก็บ	2	334.465*
	Error	6	3.344

*แตกต่างกันมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำชาที่
ชงจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส เมื่อแปรร
ระยะเวลาการเก็บกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง

อุณหภูมิในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	SOV	df	MS
55	ระยะเวลาการเก็บ	8	1.631*
	Error	18	0.030
60	ระยะเวลาการเก็บ	8	1.278*
	Error	18	0.049
65	ระยะเวลาการเก็บ	8	2.593*
	Error	18	0.041

*แตกต่างกันมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำชาที่
 ชงจากกระเจียบแดงอบแห้งที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน
 70 วัน และ 140 วัน เมื่อแปรอุณหภูมิในการอบแห้งกระเจียบแดง

ระยะเวลาการเก็บ	SOV	df	MS
1 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	3.841*
	Error	6	0.018
21 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	9.522*
	Error	6	0.047
42 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	10.591*
	Error	6	0.025
63 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	11.352*
	Error	6	0.016
84 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	12.976*
	Error	6	0.014
105 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	12.031*
	Error	6	0.064
126 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	11.107*
	Error	6	0.072
147 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	10.003*
	Error	6	0.050
168 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	8.156*
	Error	6	0.057

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแอนโทไซยานินของน้ำชาที่ชงจาก
กระเจี๊ยบแดงอบแห้งที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 70 วัน
และ 140 วัน เมื่อแปรอุณหภูมิในการอบแห้งกระเจี๊ยบแดง

ระยะเวลาการเก็บ	SOV	df	MS
1 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	104190.347*
	Error	6	55.344
21 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	111242.939*
	Error	6	117.438
42 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	59225.055*
	Error	6	280.233
63 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	31963.661*
	Error	6	115.270
84 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	14881.073*
	Error	6	232.407
105 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	6629.026*
	Error	6	107.277
126 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	4296.624*
	Error	6	61.807
147 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	2103.037*
	Error	6	86.656
168 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	558.237*
	Error	6	6.196

*แตกต่างกันมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแอนโทไซยานินของน้ำชาที่ชงจาก กระจับแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส เมื่อแปร ระยะเวลาการเก็บกระจับแดงอบแห้ง

อุณหภูมิในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	SOV	df	MS
55	ระยะเวลาการเก็บ	8	332775.496*
	Error	18	118.094
60	ระยะเวลาการเก็บ	8	493606.622*
	Error	18	158.233
65	ระยะเวลาการเก็บ	8	221049.351*
	Error	18	77.882

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ เทียบเท่าวิตามินซีของน้ำชาที่ชงจากกระจับแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส เมื่อแปรระยะเวลาการเก็บกระจับแดงอบแห้ง

อุณหภูมิในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	SOV	df	MS
55	ระยะเวลาการเก็บ	8	0.248*
	Error	18	0.003
60	ระยะเวลาการเก็บ	8	0.232*
	Error	18	0.006
65	ระยะเวลาการเก็บ	8	0.197*
	Error	18	0.001

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ เทียบเท่าวิตามินซีของน้ำชาที่ชงจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้งที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 70 วัน และ 140 วัน เมื่อแปรอุณหภูมิในการอบแห้งกระเจี๊ยบแดง

ระยะเวลาการเก็บ	SOV	df	MS
1 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	0.254*
	Error	6	0
21 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	0.580*
	Error	6	0.004
42 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	0.555*
	Error	6	0.009
63 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	0.487*
	Error	6	0.002
84 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	0.478*
	Error	6	0.004
105 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	0.453*
	Error	6	0.002
126 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	0.582*
	Error	6	0.002
147 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	0.455*
	Error	6	0.005
168 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	0.183*
	Error	6	0.001

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ FRAP ของน้ำชาที่ชงจากกระเจี๊ยบแดงอบแห้งที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 70 วัน และ 140 วัน เมื่อแปรอุณหภูมิในการอบแห้งกระเจี๊ยบแดง

ระยะเวลาการเก็บ	SOV	df	MS
1 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	66.041*
	Error	6	0.552
21 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	96.082*
	Error	6	0.738
42 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	144.790*
	Error	6	0.947
63 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	101.210*
	Error	6	1.072
84 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	117.027*
	Error	6	0.880
105 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	102.526*
	Error	6	0.301
126 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	106.706*
	Error	6	0.696
147 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	59.329*
	Error	6	1.606
168 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	61.005*
	Error	6	0.276

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ FRAP ของน้ำชาที่ชงจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส เมื่อแปรระยะเวลาการเก็บกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง

อุณหภูมิในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	SOV	df	MS
55	ระยะเวลาการเก็บ	8	64.677*
	Error	18	0.892
60	ระยะเวลาการเก็บ	8	55.656*
	Error	18	0.694
65	ระยะเวลาการเก็บ	8	50.204*
	Error	18	0.770

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.26 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสีของน้ำชาที่ชงจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส เมื่อแปรระยะเวลาการเก็บกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง

อุณหภูมิในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	SOV	df	MS		
			L*	a*	b*
55	ระยะเวลาการเก็บ	8	27.644*	57.391*	16.573*
	Error	18	0.949	0.526	1.421
60	ระยะเวลาการเก็บ	8	23.515*	38.853*	36.268*
	Error	18	1.491	0.733	3.079
65	ระยะเวลาการเก็บ	8	70.723*	159.260*	114.897*
	Error	18	1.959	0.996	1.666

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.27 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของน้ำชาที่ชงจากกระเจียบแดงอบแห้งที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 70 วัน และ 140 วัน เมื่อแปรอุณหภูมิในการอบแห้งกระเจียบแดง

ระยะเวลาการเก็บ	SOV	df	MS		
			L*	a*	b*
1 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	5.945*	2.904	14.126*
	Error	6	1.012	1.039	2.538
21 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	25.663*	2.403	45.935*
	Error	6	1.960	0.782	4.245
42 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	34.476*	2.473*	49.005*
	Error	6	0.629	0.218	0.845
63 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	30.224*	6.325*	63.514*
	Error	6	0.251	0.101	0.892
84 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	69.776*	13.591*	41.654*
	Error	6	1.765	0.611	3.625
105 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	119.204*	4.274	37.439*
	Error	6	2.329	1.523	4.344
126 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	232.223*	25.731*	67.639*
	Error	6	2.290	1.182	1.032
147 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	152.099*	103.460*	28.612*
	Error	6	2.501	1.119	0.715
168 วัน	อุณหภูมิในการอบแห้ง	2	135.512*	25.269*	9.866*
	Error	6	0.461	0.190	0.263

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ภาคผนวก ค

ข้อมูลการทดลองเพิ่มเติม

ตารางที่ ค.1 ค่าสีของน้ำชาที่ชงจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ

ระยะเวลาการเก็บ	ค่า L*	ค่า a*	ค่า b*
1 วัน	18.83 ± 1.10	39.36 ± 1.09	29.22 ± 1.57
21 วัน	18.87 ± 0.63	40.59 ± 0.40	29.76 ± 1.59
42 วัน	19.73 ± 1.16	40.64 ± 0.64	31.61 ± 0.91
63 วัน	20.54 ± 0.57	41.18 ± 0.20	30.78 ± 1.28
84 วัน	20.22 ± 0.88	38.37 ± 0.94	28.86 ± 1.81
105 วัน	21.89 ± 0.52	34.59 ± 0.94	27.60 ± 0.37
126 วัน	19.08 ± 1.84	35.33 ± 0.82	26.42 ± 1.01
147 วัน	27.12 ± 0.72	30.14 ± 0.19	25.05 ± 0.90
168 วัน	25.59 ± 0.57	30.14 ± 0.69	25.27 ± 0.27

ตารางที่ ค.2 ค่าสีของน้ำชาที่ชงจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ

ระยะเวลาการเก็บ	ค่า L*	ค่า a*	ค่า b*
1 วัน	16.71 ± 0.84	38.89 ± 0.67	25.60 ± 0.86
21 วัน	17.15 ± 0.74	39.52 ± 0.24	26.77 ± 1.83
42 วัน	17.15 ± 0.46	39.62 ± 0.26	27.68 ± 1.10
63 วัน	16.58 ± 0.34	38.42 ± 0.51	24.01 ± 0.83
84 วัน	14.72 ± 1.42	34.12 ± 0.96	21.41 ± 2.74
105 วัน	13.69 ± 2.09	33.60 ± 1.53	20.79 ± 3.48
126 วัน	11.11 ± 0.45	31.37 ± 1.05	17.06 ± 0.55
147 วัน	21.14 ± 2.15	34.49 ± 1.16	26.84 ± 1.10
168 วัน	17.49 ± 0.78	30.32 ± 0.21	23.50 ± 0.78

ตารางที่ ค.3 ค่าสีของน้ำชาที่ชงจากกระเจี๊ยบแดงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ

ระยะเวลาการเก็บ	ค่า L*	ค่า a*	ค่า b*
1 วัน	19.37 ± 1.07	40.78 ± 1.22	29.48 ± 2.10
21 วัน	22.86 ± 2.22	41.30 ± 1.46	34.53 ± 2.62
42 วัน	23.87 ± 0.57	41.44 ± 0.42	35.76 ± 0.71
63 วัน	22.86 ± 0.55	40.58 ± 0.06	32.79 ± 0.59
84 วัน	24.33 ± 1.58	36.20 ± 0.14	25.39 ± 0.33
105 วัน	26.08 ± 1.53	32.21 ± 1.16	22.58 ± 0.88
126 วัน	28.68 ± 1.81	29.61 ± 1.34	20.35 ± 1.33
147 วัน	35.33 ± 1.54	22.86 ± 1.40	20.83 ± 0.35
168 วัน	30.83 ± 0.66	25.20 ± 0.24	21.64 ± 0.33

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวีรพล บวรวงศ์เสถียร เกิดวันที่ 28 ธันวาคม พ.ศ. 2528 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร ฯ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต จากสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เมื่อปีการศึกษา 2550 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2551

รายการสิ่งตีพิมพ์และเผยแพร่

วีรพล บวรวงศ์เสถียร และ เกียรติศักดิ์ ดวงมาลย์. 2553. ผลของอุณหภูมิในการอบแห้งต่อฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของกระเจี๊ยบแดง. ใน การประชุมทางวิชาการ นเรศวรวิจัย ครั้งที่ 6 (ภาคบรรยาย). วันที่ 29-31 กรกฎาคม 2553 ณ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก