

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของ
เปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ ที่ระดับความสุกต่างกัน

PHENOLIC CONTENTS AND ANTIOXIDANT PROPERTIES OF PEEL AND
PULP OF BANANAS (KLUAI HOM THONG AND KLUAI KHAI) AT
DIFFERENT RIPENING STAGES

สิริวรรณ จำแนกสาร
SRIWAN JUMNAKSAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

KMITL-2007-AI-M-053-052

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของ
เปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ ที่ระดับความสุกต่างกัน

PHENOLIC CONTENTS AND ANTIOXIDANT PROPERTIES OF PEEL AND
PULP OF BANANAS (KLUAI HOM THONG AND KLUAI KHAI) AT
DIFFERENT RIPENING STAGES

ศิริวรรณ จำแนกสาร

SIRIWAN JUMNAKSAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2550

KMITL-2007-AI-M-053-062

**PHENOLIC CONTENTS AND ANTIOXIDANT PROPERTIES OF PEEL AND
PULP OF BANANAS (KLUAI HOM THONG AND KLUAI KHAI) AT
DIFFERENT RIPENING STAGES**

SIRIWAN JUMNAKSAN

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2007

KMITL-2007-AI-M-053-062

COPYRIGHT 2007

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้าน
ปฏิริยาออกซิเดชันของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทอง
และกล้วยไข่ ที่ระดับความสุกต่างกัน

นักศึกษา

นางสาว ศิริวรรณ จำแนกสาร

รหัสนักศึกษา

48068503

ปริญญา

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์การอาหาร

พ.ศ.

2550

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผศ. ดร. ประพันธ์ ปิ่นศิริโรคม

บทคัดย่อ

จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพของเนื้อกล้วยหอมทอง [*Musa* (AAA group) cv. Kluai Hom Thong] และกล้วยไข่ [*Musa* (AA group) cv. Kluai Khai] และการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกกล้วยทั้งสองชนิดที่ระดับความสุก 8 ระดับโดยใช้เกณฑ์พิจารณาจากดัชนีสีเปลือก พบว่าเมื่อระดับความสุกเพิ่มขึ้นเนื้อกล้วยทั้งสองชนิดมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในรูปของกลูโคสเพิ่มขึ้น โดยกล้วยไข่จะมีค่าทั้งสองดังกล่าวสูงกว่ากล้วยหอมทองที่ทุกระดับความสุก ในขณะที่เดียวกันปริมาณกรดทั้งหมดในเนื้อกล้วยทั้งสองชนิดจะมีค่าเพิ่มขึ้นที่ระดับความสุกที่ 1-4 และมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับความสุกเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช กล่าวคือค่าพีเอชจะลดลงต่ำสุดที่ระดับความสุกที่ 4 จากนั้นพีเอชจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงระดับความสุกที่ 5 – 8 สำหรับการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกกล้วย พบว่าเมื่อกล้วยทั้งสองชนิดสุกเพิ่มขึ้น สีเหลืองของเปลือกกล้วยจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่สีเขียวจะลดลง และเปลือกกล้วยเริ่มมีจุดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นที่ระดับความสุกที่ 7 – 8

สำหรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในเปลือกกล้วยหอมทอง และกล้วยไข่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อระดับความสุกของกล้วยเพิ่มขึ้น โดยในเปลือกกล้วยหอมทองจะมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงกว่าในเปลือกกล้วยไข่ คืออยู่ในช่วง 38.97 ± 2.31 ถึง 63.20 ± 12.86 มิลลิกรัมกรดแกลลิก /10 กรัมน้ำหนักเปลือกกล้วยหอมทองสด และ 28.50 ± 6.38 ถึง 46.48 ± 11.55 มิลลิกรัมกรดแกลลิก /10 กรัมน้ำหนักเปลือกกล้วยไข่สด นอกจากนี้ยังพบว่าในเปลือกกล้วยทั้งสองชนิดจะมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงกว่าเนื้อกล้วยที่ทุกระดับความสุก อย่างไรก็ตามเมื่อระดับความสุกเพิ่มขึ้นจากระดับที่ 1 เป็นระดับที่ 8 ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในเนื้อกล้วยหอมทองมีแนวโน้มลดลงจาก 6.36 ± 4.03 เป็น 4.71 ± 0.68

มิลลิกรัมกรดแกลลิก /10 กรัมน้ำหนักสด ในขณะที่เนื้อกล้วยไข่มีแนวโน้มของปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดเพิ่มขึ้นจาก 6.39 ± 0.52 เป็น 22.26 ± 2.28 มิลลิกรัมกรดแกลลิก /10 กรัมน้ำหนักสด และพบว่าที่ทุกระดับความสุก เนื้อกล้วยไข่จะมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงกว่าเนื้อกล้วยหอมทอง

เมื่อวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ความสามารถในการทำลาย H_2O_2 และความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดลิโนเลอิกโดยวิธี Ferric thiocyanate colorimetric method (FTC) ของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ที่ระดับความสุกต่างกันเปรียบเทียบกับ วิตามินซี โทรอกซ์ และ BHT พบว่า เปลือกกล้วยทั้งสองชนิดจะมีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงกว่าเนื้อกล้วยในทุกระดับความสุกที่ศึกษา ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด อย่างไรก็ตามเปลือกและเนื้อกล้วยทั้งสองชนิดที่ทุกระดับความสุก จะมีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันดังกล่าวต่ำกว่าวิตามินซี โทรอกซ์ และ BHT ยกเว้นเปลือกกล้วยหอมทองที่ทุกระดับความสุกและเปลือกกล้วยไข่ในบางระดับความสุก มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดีกว่า BHT

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของทั้งเปลือกและเนื้อโดยน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของกล้วยแต่ละชนิดกับความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันแต่ละวิธีที่ศึกษา พบว่าปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดมีความสัมพันธ์ในลักษณะแปรผันตามกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยวิธี FTC และความสามารถในการทำลาย H_2O_2

Thesis	Phenolic contents and antioxidant properties of peel and pulp of bananas (Kluai Hom Thong and Kluai Khai) at different ripening stages
Student	Miss Siriwan Jamnaksan
Student ID.	Master of Science
Program	Food Science
Year	2007
Thesis Advisor	Assist. Prof. Dr. Praphan Pinsirodom

ABSTRACT

Physicochemical changes of pulp of bananas, *Musa* (AAA group) cv. Kluai Hom Thong and *Musa* (AA group) cv. Kluai Khai, and colour changes in peels of the two cultivars at 8 levels of ripening stage according to peel color index were determined. Reducing sugars and total soluble solid contents in the pulp of both cultivars increased as the degree of ripening increased with higher amount found in Kluai Khai than in Kluai Hom Thong at all stages. In addition, total titrable acidity content increased to the highest level when the bananas reached the stage 4 of ripening and decreased afterward as the degree of ripening increased. The change of pH values for both cultivars was in agreement with the change of total acidity; pH of the two banana pulp samples dropped down to the lowest value at stage 4 of ripening and rose up again afterward. For both cultivars, increasing of yellowish and decreasing of greenish color of the peel were observed as the degree of ripening increased and brown spots were substantially developed when the bananas reached stage 7 – 8.

Total polyphenol contents in the peel and pulp of Kluai Hom Thong and Kluai Khai at different ripening stages were investigated. Increasing amount of total polyphenols in the peels of the two cultivars was observed during the increase of ripening stage. Obviously, the contents in peels of Kluai Hom Thong (38.97 ± 2.31 to 63.20 ± 12.86 mg gallic acid/10 g fresh peel) were greaster than those in peels of Kluai Khai (28.50 ± 6.38 to 46.48 ± 11.55 mg gallic acid/10 g fresh peel) at all ripening stages. Moreover, the contents of total polyphenols were higher in peels than in pulps for both cultivars at all stages. However, the pulps of Kluai Hom Thong exhibited the decreasing amount of total polyphenols from 6.36 ± 4.03 to 4.71 ± 0.68 mg gallic acid/10 g fresh fresh weight as the degree of ripening went from stage 1 to stage 8, while the contents in

pulps of Kluai Khai increased from 6.39 ± 0.52 to 22.26 ± 2.28 mg gallic acid/10 g fresh fresh weight. At all ripening stages, the total polyphenol contents in pulps of Kluai Khai were greater than those in pulps of Kluai Hom Thong.

Antioxidant properties of peel and pulp of the two bananas at different degree of ripening in DPPH radical and hydrogen peroxide scavenging as well as inhibition of linoleic acid oxidation by ferric thiocyanate colorimetric method (FTC) were evaluated comparing to vitamin C, Trolox and BHT. The peels of both Kluai Hom Thong and Kluai Khai exhibited a greater extent than the pulps in antioxidant capacities for all stages of ripening which was in concordance with the change of total polyphenol contents. However, both peels and pulps of the two bananas at all ripening stages showed lower antioxidant activities in comparison with vitamin C, Trolox and BHT excepted for the peels of Kluai Hom Thong at all stages and the peels of Kluai Khai at some stages that exhibited greater DPPH radical scavenging activity compared to BHT

Statistical analysis was used to investigate the correlation between total polyphenol contents and antioxidant capacities for peels and pulps of each banana cultivar. Resultes clearly showed that total polyphenol contents were directly correlated to antioxidant capacities.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจาก ผศ.ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิริโรคม อาจารย์ที่
ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.บุพร พิชฌุมทร ผศ.เขาวลัทธิ สรพัตถพิศิษฐ์ ผู้ซึ่งให้ความรู้ คำแนะนำ
คำปรึกษา และตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้เสร็จสมบูรณ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่าง
สูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.อติศักดิ์ เอกโสวรรณ สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย ที่เป็นเกียรติมาเป็นกรรมการในการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้ง
ให้ความรู้ คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง และตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้เสร็จสมบูรณ์
ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สนับสนุนทุน
ในการทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณพี่ และเพื่อนนักศึกษาปริญญาโท พี่ปริญญาเอก และพี่เจ้าหน้าที่ทุกคนใน
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีมาตลอด

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ คุณอา คุณย่า และน้องชาย ที่ให้ความช่วยเหลือและ
เป็นกำลังใจให้มาตลอด

ท้ายสุดนี้ ผู้เขียนหวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจ

ศิริวรรณ จำแนกสาร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญภาพ.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 กล้วย.....	4
2.2 อนุมูลอิสระ.....	5
2.3 สารต้านออกซิเดชัน (Antioxidant).....	6
2.4 สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound).....	7
2.5 คุณสมบัติการเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิก.....	8
2.6 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด.....	9
2.5 วิธีวิเคราะห์สมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของตัวอย่าง.....	9
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของกล้วย.....	11
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการทดลอง.....	13
3.1 วัสดุอุปกรณ์.....	13
3.2 วิธีดำเนินการทดลอง.....	14

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	16
4.1 องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพบางประการของเนื้อกล้วย และการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ ที่ระดับความสุกต่างกัน.....	16
4.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมดในเปลือกและเนื้อ กล้วยหอมทองและกล้วยไข่ที่ระดับความสุกต่างกัน.....	22
4.3 ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของเปลือกและ เนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่.....	28
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมดกับ ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน.....	44
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	47
บรรณานุกรม.....	49
ภาคผนวก	
ก. การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ ที่ระดับความสุกต่างกัน.....	52
ข. การวิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซ์.....	53
ค. การวิเคราะห์สารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด.....	56
ง. การวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH.....	59
จ. ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยวิธี Ferric thiocyanate colorimetric method (FTC).....	64
ฉ. ความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H ₂ O ₂).....	68
ช. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมดกับ ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันวิธีต่างๆ.....	72
ประวัติผู้เขียน.....	78

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพบางประการของกล้วยหอมทอง ที่ระดับความสุกต่างกัน.....	17
4.2 องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพบางประการของกล้วยไข่ที่ระดับ ความสุกต่างกัน.....	18
4.3 เปอร์เซ็นต์ความชื้น และ ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในเปลือก และเนื้อกล้วยหอมทอง ที่ระดับความสุกต่างๆ.....	23
4.4 เปอร์เซ็นต์ความชื้น และ ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในเปลือก และเนื้อกล้วยไข่ ที่ระดับความสุกต่างๆ.....	24
4.5 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทอง ที่ระดับความสุกต่างกัน.....	29
4.6 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของเปลือกและเนื้อกล้วยไข่ ที่ระดับความสุกต่างกัน.....	30
4.7 ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน FTC ของเปลือกและเนื้อกล้วย หอมทอง ที่ระดับความสุกต่างกัน.....	34
4.8 ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน FTC ของเปลือกและเนื้อกล้วยไข่ ที่ระดับความสุกต่างกัน.....	35
4.9 ความสามารถในการทำลายอนุมูลไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ของเปลือกและเนื้อ กล้วยหอมทองที่ระดับความสุกต่างกัน.....	39
4.10 ความสามารถในการทำลายอนุมูลไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ของเปลือกและเนื้อ กล้วยไข่ที่ระดับความสุกต่างกัน.....	40
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดกับ ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน.....	45

สารบัญญภาพ

รูปที่	หน้า
4.1	สีและลักษณะปรากฏของผลกล้วยหอมทองทั้ง 8 ระดับความสุก.....19
4.2	สีและลักษณะปรากฏของผลกล้วยไข่ทั้ง 8 ระดับความสุก.....20
4.3	ปริมาณโดยน้ำหนักสดสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในเปลือกและ เนื้อกล้วยหอมทอง และกล้วยไข่ ที่ระดับความสุกต่างๆ.....25
4.4	ปริมาณโดยน้ำหนักแห้งสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมดในเปลือกและ เนื้อกล้วยหอมทอง และกล้วยไข่ ที่ระดับความสุกต่างๆ.....25
4.5	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของเปลือกและเนื้อกล้วยหอม ทองและกล้วยไข่ในหน่วย กรัม DPPH / มิลลิกรัมน้ำหนักสด ที่ระดับความสุกต่างๆ.....31
4.6	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของเปลือกและเนื้อกล้วยหอม ทองและกล้วยไข่ในหน่วย กรัม DPPH / มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง ที่ระดับความสุกต่างๆ.....31
4.7	ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน FTC ของเปลือกและเนื้อกล้วย หอมทองและกล้วยไข่ในหน่วย กรัมลิโนเลอิก / มิลลิกรัมน้ำหนักสด ที่ระดับความสุกต่างๆ.....36
4.8	ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน FTC ของเปลือกและเนื้อกล้วย หอมทองและกล้วยไข่ในหน่วย กรัมลิโนเลอิก / มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง ที่ระดับความสุกต่างๆ.....36
4.9	ความสามารถในการทำลายอนุมูลไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ของเปลือกและเนื้อ กล้วยหอมทองและกล้วยไข่ในหน่วย กรัม H ₂ O ₂ / มิลลิกรัมน้ำหนักสด ที่ระดับความสุกต่างๆ.....41
4.10	ความสามารถในการทำลายอนุมูลไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ของเปลือกและเนื้อ กล้วยหอมทองและกล้วยไข่ในหน่วย กรัม H ₂ O ₂ / มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง ที่ระดับความสุกต่างๆ.....41
ข 1	กราฟมาตรฐานของสารละลายกลูโคสสำหรับการวิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซ์.....55
ค 1	กราฟมาตรฐานกรดแกลลิกในการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมด.....57
ง 1	กราฟมาตรฐานของสารละลาย DPPH.....60

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
จ 2 กราฟปริมาณ DPPH ที่เหลือเมื่อใช้เปลือกกล้วยหอมทองระยะความสุกที่ 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	62
จ 1 กราฟความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC เมื่อใช้เปลือกกล้วยไข่ระยะความสุกที่ 5 ที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	66
ฉ 1 กราฟความสามารถในการทำลาย H_2O_2 (กรัม) เมื่อใช้เปลือกกล้วยไข่ระยะความสุกที่ 4 ที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	70
ช 1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมดกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของเนื้อและเปลือกกล้วยหอมทองโดยน้ำหนักสด.....	72
ช 2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมดกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของเนื้อและเปลือกกล้วยหอมทองโดยน้ำหนักแห้ง.....	72
ช 3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมดกับความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยวิธี FTC ของเนื้อและเปลือกกล้วยหอมทองโดยน้ำหนักสด.....	73
ช 4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมดกับความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยวิธี FTC ของเนื้อและเปลือกกล้วยหอมทองโดยน้ำหนักแห้ง.....	73
ช 5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมดกับความสามารถในการต้านทำลาย H_2O_2 ของเนื้อและเปลือกกล้วยหอมทองโดยน้ำหนักสด.....	74
ช 6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมดกับความสามารถในการต้านทำลาย H_2O_2 ของเนื้อและเปลือกกล้วยหอมทองโดยน้ำหนักแห้ง.....	74
ช 7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมดกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของเนื้อและเปลือกกล้วยไข่โดยน้ำหนักสด.....	75

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ช 8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมดกับความ สามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของเนื้อและเปลือกกล้วยไข่ โดยน้ำหนักแห้ง.....	75
ช 9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมดกับความ สามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยวิธี FTC ของเนื้อและเปลือก กล้วยไข่โดยน้ำหนักสด.....	76
ช 10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมดกับความ สามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยวิธี FTC ของเนื้อและเปลือก กล้วยไข่โดยน้ำหนักแห้ง.....	76
ช 11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมดกับความ สามารถในการต้านทำลาย H_2O_2 ของเนื้อและเปลือกกล้วยไข่ โดยน้ำหนักสด.....	77
ช 12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมดกับความ สามารถในการต้านทำลาย H_2O_2 ของเนื้อและเปลือกกล้วยไข่ โดยน้ำหนักแห้ง.....	77

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

เป็นที่ทราบกันดีว่าการบริโภคผักและผลไม้ในปริมาณที่เหมาะสมเป็นประจำ มีผลดีต่อสุขภาพ เนื่องจากผักและผลไม้อุดมไปด้วยวิตามิน เกลือแร่ เส้นใยอาหาร และสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) เป็นต้น โดยเฉพาะสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มของสารหลายชนิด ที่พบมากในพืชคือ กรดฟีนอลิก (phenolic acids) และฟลาโวนอยด์ (flavonoids) โดยสารประกอบฟีนอลิกเหล่านี้มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ซึ่งเชื่อว่ามีส่วนช่วยลดอัตราเสี่ยงของการเกิดโรคเรื้อรังต่าง ๆ เช่น โรคหัวใจ โรคความดันโลหิตสูง โรคเบาหวาน โรคมะเร็ง และชะลอความชรา เป็นต้น เนื่องจากสาเหตุเบื้องต้นของการเกิดโรคต่าง ๆ เหล่านี้เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของร่างกายในการรับ และการกำจัดอนุมูลอิสระทั้งที่เกิดขึ้นเองจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของร่างกายหรือได้รับจากสิ่งแวดล้อมภายนอก ซึ่งสภาวะที่ร่างกายได้รับอนุมูลอิสระสูงกว่าความสามารถที่ร่างกายจะกำจัดได้ทัน จะทำให้เกิดสภาวะ oxidative stress ซึ่งอนุมูลอิสระที่เพิ่มขึ้นจะเข้าทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลต่างๆในร่างกายที่ทำหน้าที่สำคัญในเซลล์ จึงเป็นสาเหตุเบื้องต้นในการทำให้เกิดโรคต่าง ๆ ดังกล่าว (Valentao *et al.*, 2002; Mokbel and Hashinaga, 2005)

กล้วยเป็นผลไม้ที่มีการบริโภคมากที่สุดชนิดหนึ่งของโลก ทำให้กล้วยเป็นแหล่งใหญ่ที่สุดของสารประกอบฟีนอลิกที่มนุษย์ได้รับ (Vinson *et al.*, 2001) Kanazawa และ Sakakibura (2000) พบว่าสารสกัดจากกล้วยหอมมีองค์ประกอบของโดพามีน (dopamine) ซึ่งมีสมบัติในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดีกว่า BHT ในขณะที่เดียวกันยังพบสารประกอบฟีนอลิกชนิดอื่น ๆ หลายชนิด นอกจากนี้ Someya และคณะ (2002) ยังรายงานว่า สารสกัดจากเปลือกและเนื้อกล้วยหอมมีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้ดี โดยที่ประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกกล้วยสูงกว่าสารสกัดจากเนื้อกล้วยถึง 2.2 เท่า สารประกอบฟีนอลิกที่สำคัญซึ่งพบในสารสกัดจากเปลือกและเนื้อกล้วยหอมดังกล่าว ได้แก่ แกลโลคาเทชิน (gallocatechin) คาเทชิน (catechin) และ อีพิกาทะชิน (epicatechin)

กล้วยเป็นอาหารที่มีประโยชน์ รสชาติดี และเพาะปลูกง่าย ประเทศไทยมีกล้วยอยู่หลากหลายพันธุ์ ซึ่งมีทั้งกล้วยป่าและกล้วยปลูก ได้มีการสำรวจและรวบรวมพันธุ์กล้วย ทั้งกล้วยป่าและกล้วยปลูกในประเทศไทย พบว่ามีทั้งหมด 323 สายพันธุ์ โดยสามารถแบ่งเป็นกลุ่มสายพันธุ์

ตามชุดโครโมโซมได้ประมาณ 59 กลุ่มสายพันธุ์ (เบญจมาศ, 2538) สำหรับกล้วยปลุกกินผลมีมากมายหลายพันธุ์ได้แก่ กล้วยไข่ กล้วยเล็บมือนาง กล้วยหอมจันทร์ กล้วยไล กล้วยสา กล้วยทองซี่แมว กล้วยน้ำนม กล้วยหอมทอง กล้วยนาก กล้วยจีน กล้วยร้อยหวี กล้วยหักมุก และกล้วยน้ำว้า เป็นต้น สำหรับกล้วยกล้วยหอมทอง และ กล้วยไข่ ถือว่าเป็นพันธุ์เศรษฐกิจที่นิยมปลูกเพื่อบริโภคภายในประเทศและเพื่อการส่งออกเป็นส่วนใหญ่ (รัชชัย และ ศิวาพร, 2542) โดยทั่วไปการแบ่งระยะความสุกของกล้วยหอมทองจะแบ่งเป็น 8 ระยะ ตามลักษณะปรากฏของสีเปลือกและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในผลกล้วย ผลสุกของกล้วยหอมที่เหมาะสมในการบริโภคสดจะมีระยะความสุกอยู่ในระดับที่ 6 - 7 ระยะความสุกของกล้วยหอมที่ต่างกันจะมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ตรวจพบในผลกล้วยด้วย โดยทั่วไปเมื่อกล้วยมีระยะความสุกเพิ่มขึ้น ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจะมีแนวโน้มลดลง (Kanasawa and Sakakibura, 2000) และยังพบว่า สารสกัดจากเปลือกกล้วยหอมดิบสีเขียวยังมีความสามารถในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงใกล้เคียงกับสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสังเคราะห์ เช่น BHA และ BHT โดยสารสกัดจากเปลือกกล้วยหอมทองดิบดังกล่าวมีสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าสารสกัดจากเปลือกกล้วยหอมสุกสีเหลือง (Mokbel and Hashinaga, 2005) สำหรับข้อมูลการเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของกล้วยหอมทอง และกล้วยไข่ ยังไม่พบว่ามีรายงานโดยตรง อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปสายพันธุ์ของพืชที่ต่างกันก็เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความแตกต่างของปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังตัวอย่างในกรณีของพืชตระกูลส้ม 2 พันธุ์ คือ Citron (*Citrus medica*) และ blood orange (*C. sinensis*) พบว่ามีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH แตกต่างกัน โดย citron จะมีสมบัติการทำลายอนุมูลอิสระสูงกว่า blood orange (Jayaprakasha and Patil, 2006) เป็นต้น จะเห็นได้ว่าพันธุ์และระดับความสุกของกล้วยเป็นปัจจัยที่น่าจะมีผลต่อปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของเปลือกและเนื้อกล้วยพันธุ์เศรษฐกิจสองชนิดคือ กล้วยหอมทองและกล้วยไข่ ที่ระดับความสุกต่างกัน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีบางประการของเนื้อกล้วย และการเปลี่ยนสีของเปลือกกล้วยหอมทอง และกล้วยไข่ ที่ระดับความสุกต่างกัน
2. ศึกษาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระและการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทอง และกล้วยไข่ ที่ระดับความสุกต่างกัน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีบางประการของเนื้อกล้วย และการเปลี่ยนสีของเปลือกกล้วยหอมทอง และกล้วยไข่ ที่ระดับความสุกต่างๆ รวมทั้งศึกษาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด และการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในรูปแบบต่างๆ ดังนี้คือการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ H_2O_2 ของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทอง และกล้วยไข่ ที่ระดับความสุกต่างๆ ข้อมูลที่ได้จากการทดลองทำให้ทราบถึงประโยชน์ของกล้วยหอมทอง และกล้วยไข่ต่อสุขภาพ ในแง่ของปริมาณสารชีวกิจกรรม (Bioactive compounds) รวมถึงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และ/หรือออกซิเดชันของพันธุ์กล้วยที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังเป็นฐานข้อมูลสำหรับการศึกษาในระดับต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล้วย

กล้วยเป็นพืชที่ชอบอากาศร้อนชื้น ถิ่นแรกของกล้วยอยู่ในแถบเอเชียตอนใต้ ซึ่งประกอบด้วยทางเหนือของอินเดีย พม่า เขมร ไทย ลาว และจีนตอนใต้ และแถบหมู่เกาะอินโดนีเซีย เกาะบอเนียว ฟิลิปปินส์ และไต้หวัน ในประเทศเหล่านี้จะพบกล้วยพื้นเมืองที่ไม่มีเมล็ดและปลูกแบบปล่อยปละละเลยไม่ค่อยมีการดูแล เปรียบเสมือนพืชป่า มิได้มีการดูแลดังเช่นพืชปลูกทั่วไป ประเทศไทยเป็นประเทศที่อยู่ทางเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และอยู่ในแถบอัสสัม ซึ่งเป็นถิ่นกำเนิดของกล้วยป่า (*Musa acuminata* Colla) ดังนั้นจึงพบกล้วยป่าอยู่ทั่วประเทศไทย กล้วยป่าที่พบในประเทศไทยมี 4 sub species คือ

Musa acuminata Colla ssp. *Malaccensis* (Ridl) Simmonds

Musa acuminata Colla ssp. *microcarpa* (Beccari) Simmonds

Musa acuminata Colla ssp. *Burmanica* Simmonds

Musa acuminata Colla ssp. *siamea* Simmonds

นอกจากมีกล้วยป่าที่พบแล้ว ตามประวัติกล่าวว่า พบกล้วยกินได้แถบภาคใต้ของประเทศไทย กล้วยกินได้ที่พบเป็นกล้วยที่เกิดจากกล้วยป่า ซึ่งได้แก่ กล้วยไข่ทองร่วง กล้วยเล็บมือนาง เป็นต้น ดังนั้นจะเห็นได้ว่าทางภาคใต้ของประเทศไทย มีกล้วยกินได้อยู่มากมาย สำหรับกล้วยพันธุ์เศรษฐกิจซึ่งมีการเพาะปลูกเพื่อการค้าสำหรับการบริโภคและการแปรรูปที่สำคัญ ได้แก่

1) กล้วยน้ำว้า [*Musa* (ABB group) 'Kluai Namwa'] ชื่อสามัญ Pisang Awak ชื่ออื่นๆ กล้วยใต้ (เชียงใหม่, เชียงราย); กล้วยตานีอ่อน (อุบลราชธานี); กล้วยมะลิอ่อน (จันทบุรี); กล้วยอ่อน (ชัยภูมิ)

2) กล้วยหอมทอง [*Musa* (AAA group) 'Kluai Hom Thong' กลุ่มย่อย Gros Michel] ชื่ออื่นๆ กล้วยหอมชื่อสามัญ Hom Thong banana]

3) กล้วยไข่ [*Musa* (AA group) 'Kluai Khai' กลุ่มย่อย Sucrier] ชื่ออื่นๆ กล้วยกระ ชื่อสามัญ Pisang Mas

4) กล้วยหักมุก [*Musa* (ABB group) 'Kluai Hak Muk' กลุ่มย่อย Bluggoe] ชื่อสามัญ Silver Bluggoe

5) กล้วยเล็บมือนาง [*Musa* (AA group) 'Kluai Leb Mu Nang'] ชื่ออื่นๆ กล้วยข้าว กล้วยเล็บมือ (สุราษฎร์ธานี) กล้วยทองคอกหมาก (พัทลุง) กล้วยหมาก (นครศรีธรรมราช)

เมื่อกกล้วยสุกคลอโรฟิลล์จะสลายตัวทั้งหมด ทำให้สีเหลืองแคโรทีนอยด์ปรากฏให้เห็นจากการที่กล้วยมีการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือก พร้อมทั้งเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีเปลี่ยนสสารซ์เป็นน้ำตาล จึงได้แบ่งความสุกของกล้วย เป็น 8 ระดับเรียกว่า ดัชนีสีเปลือกกล้วย (Peel Color Index) สำหรับในประเทศไทย เบญจมาศ (2538) ได้กล่าวถึงดัชนีสีเปลือกกล้วยหอมทอง โดยแบ่งระดับการสุกของกล้วยหลังจากตัดมาบ่มดังนี้

ระดับที่ 1 เปลือกสีเขียว ผลแข็ง ไม่มีการสุก

ระดับที่ 2 เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองนิดๆ

ระดับที่ 3 เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองมากขึ้น แต่ยังมีสีเขียวมากกว่าสีเหลือง

ระดับที่ 4 เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองและมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว

ระดับที่ 5 เปลือกเป็นสีเหลือง แต่ปลายยังเป็นสีเขียว

ระดับที่ 6 ทั้งผลมีสีเหลือง (ผลสุก)

ระดับที่ 7 ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาล (สุกเต็มที่ มีกลิ่นหอม)

ระดับที่ 8 ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาลมากขึ้น (สุกมากเกินไป เนื้อเริ่มอ่อนตัวและมีกลิ่นแรง)

2.2 อนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระ คือ กลุ่มของสารที่มีอิเล็กตรอนวงนอกที่ยังไม่ได้จับคู่ มากกว่าหรือเท่ากับหนึ่งอิเล็กตรอน และมีอายุสั้นประมาณ 1 หรือ $10^{-3} - 10^{-10}$ วินาที ดังนั้นจึงมีความว่องไวสูงในการเข้าทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลในเซลล์ของร่างกาย อนุมูลอิสระส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นภายในเซลล์ระหว่างการถ่ายเทอิเล็กตรอนจากโมเลกุลของออกซิเจนไปยังโมเลกุลของน้ำ เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า อนุมูลอิสระของออกซิเจนที่ไวต่อปฏิกิริยา (reactive oxygen species, ROS) ซึ่งสารกลุ่มนี้ได้แก่ อนุมูลอิสระไฮดรอกซิล (hydroxyl radical, OH \cdot), ซุปเปอร์ออกไซด์แอนไอออน (superoxide anion, O $_2\cdot^-$), อนุพันธ์ของออกซิเจนบางตัว ได้แก่ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide, H $_2$ O $_2$), ไฮโปคลอไรต์ (hypochlorous, HOCl) นอกจากนี้ยังมีกลุ่มของสารที่เรียกว่า อนุมูลอิสระของไนโตรเจนที่ไวต่อปฏิกิริยา (reactive nitrogen species, RNS) ที่สำคัญได้แก่ ไนตริกออกไซด์ (nitric oxide, NO \cdot) และ เปอร์ออกซีไนไตร (peroxynitrite, ONOO \cdot) ทั้งกลุ่มของ ROS และ RNS จัดเป็นแหล่งของอนุมูลอิสระที่สำคัญของร่างกาย (วิลยา และพัชรี, 2542) อนุมูลอิสระ ไซว่าจะมีแต่ผลเสียเพียงอย่างเดียว ร่างกายต้องใช้อนุมูลอิสระเพื่อเป็นตัวนำสารเคมีบางอย่างที่จำเป็นในการ

ผลิตฮอร์โมน และกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ ในระบบภูมิคุ้มกันต้านทาน อนุมูลอิสระจะช่วยป้องกันร่างกายจากการรุกรานของเชื้อแบคทีเรียและเชื้อไวรัส ดังนั้นปัญหาจากอนุมูลอิสระที่พบทุกวันนี้เกิดจากการมีอนุมูลอิสระในระดับที่สูงเกินไป (นิทรพร, 2542) หรือที่เรียกว่า สภาวะ oxidative stress ซึ่งก็คือ สภาวะที่ร่างกายไม่สามารถควบคุมและป้องกันปริมาณของอนุมูลอิสระให้อยู่ในระดับปกติที่ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายได้ โดยอนุมูลอิสระที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นสามารถเข้าทำกับสารชีวโมเลกุลต่างๆ ในร่างกาย เช่น การเกิดออกซิเดชันของไขมัน, คาร์โบไฮเดรต, โปรตีน และกรดนิวคลีอิก การสร้างพันธะโควาเลนต์กับโปรตีน เป็นผลทำให้เกิดการยับยั้งการทำงานของโปรตีน เป็นต้น (วัลยา และพัชรี , 2542) ซึ่งผลของการเกิดอนุมูลอิสระ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมของเซลล์ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคมะเร็ง โรคของหลอดเลือด โรคต่อกระดูก โรคจอตาเสื่อม โรคข้ออักเสบ โรคไต โรคปอด โรคของระบบย่อยอาหารและโรคของระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย อนุมูลอิสระยังเกี่ยวข้องกับโรคที่เกี่ยวกับความเสื่อมของร่างกายที่มีสาเหตุจากฤทธิ์ของแอลกอฮอล์ ความชราภาพ สารกัมมันตภาพรังสี การมีธาตุเหล็กมากเกินไป และจากโรคที่มีผลกระทบต่อระบบเลือดหมุนเวียน (นิทรพร, 2542)

2.3 สารต้านออกซิเดชัน (Antioxidant)

สารต้านออกซิเดชัน หมายถึงสารประกอบใด ๆ เมื่อใช้ในปริมาณเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับสารที่สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะมีสมบัติยับยั้ง หรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่พบในธรรมชาติแบ่งเป็น 4 ประเภท (Frankel และ Meyer, 2000) คือ

1. สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในกลุ่มของเอนไซม์ที่สร้างได้ในเซลล์ร่างกาย ได้แก่ คาตาเลส (catalase) ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส (superoxide dismutase) และกลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดส (glutathione peroxidase) เป็นต้น
2. สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในกลุ่มของวิตามิน ได้แก่ วิตามินอีในถั่ว ธัญพืช ข้าวกล้อง งา และวิตามินซีในผลไม้ ผักสด
3. สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในกลุ่มของแร่ธาตุ เช่น ซีลีเนียม และสังกะสี เป็น cofactor ของเอนไซม์ต้านออกซิเดชัน
4. สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในกลุ่มของสารเคมีจากพืช (phytochemicals) เป็นสารเคมีจากพืชที่ไม่ใช่วิตามินและสารอาหาร เช่น แคโรทีน ไลโคปีน แซนโทฟิล แทนนิน และฟลาโวนอยด์ เป็นต้น

สารที่มีสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยทั่วไปจะมีสมบัติข้อใดข้อหนึ่งหรือหลายข้อต่อไปนี้

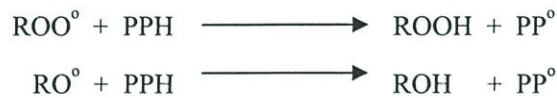
1. สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (antiradical properties) คือ ความสามารถในการต้าน หรือทำลายอนุมูลอิสระชนิดต่าง ๆ
2. สมบัติการต้านปฏิกิริยาไลโปเปอร์ออกซิเดนต์ (antilipoperoxidant properties) คือ ความสามารถในการยับยั้งหรือหยุดปฏิกิริยาออกซิเดชันของโมเลกุลของกรดไขมันไม่อิ่มตัว
3. สมบัติการกำจัดออกซิเจน (antioxigen properties) คือความสามารถในการกำจัดโมเลกุลของออกซิเจนซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของปฏิกิริยาออกซิเดชันหลายชนิด
4. สมบัติการจับไอออนของโลหะ (chelating properties) คือความสามารถในการจับไอออนของโลหะเช่น Fe^{3+} , Cu^{2+} ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ

2.4 สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds)

สารประกอบฟีนอลิก เป็นสารในกลุ่ม secondary metabolite ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในกระบวนการเจริญเติบโต และการขยายพันธุ์ของพืชแต่ละชนิด โดยทั่วไปมีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) มากกว่าหรือเท่ากับ 1 หมู่เกาะกับวงแหวนอะโรมาติก (aromatic ring) สารประกอบฟีนอลิกที่มีหมู่ไฮดรอกซิลมากกว่า 1 หมู่ นิยมเรียกว่า สารประกอบโพลีฟีนอล (polyphenol) โดยส่วนใหญ่สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารที่ละลายน้ำ มักพบรวมอยู่กับน้ำตาลในรูปไกลโคไซด์ โดยน้ำตาลดังกล่าวอาจเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharides) น้ำตาลโมเลกุลคู่ (disaccharides) หรือโอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharides) ก็ได้ แต่น้ำตาลที่พบมากที่สุดเป็นโมเลกุลของสารประกอบฟีนอลคือ กลูโคส (glucose) ส่วนน้ำตาลชนิดอื่นที่พบได้แก่ กาแลคโตส (galactose) แรมโนส (rhamnose) ไซโลส (xylose) อะราบินโนส (arabinose) และอนุพันธ์ของน้ำตาลเหล่านี้ เช่น กรดกลูโคโรนิก (glucuronic acid) กรดกาแลคทูโรนิก (galacturonic acid) และอื่นๆ นอกจากนี้ยังพบว่าอาจมีการรวมตัวกันระหว่างสารประกอบฟีนอลิกกับสารประกอบอื่นๆ เช่น กรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acids) กรดอินทรีย์ (organic acids) อะมีน (amine) และไขมัน การสร้างสารประกอบฟีนอลิกของพืชจะมีทั้งปัจจัยทางด้านพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้อง นอกจากนี้ยังพบว่าวิธีการเพาะปลูก ระดับความสูง กระบวนการแปรรูป หรือแม้แต่กระบวนการเก็บรักษาก็ล้วนแต่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งสิ้น (Bravo, 1998)

2.5 สมบัติการเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิก

สมบัติที่ได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบันของสารประกอบฟีนอลิก คือการเป็นสารต้านออกซิเดชันและสารต้านการกลายพันธุ์ (antimutagens) และการใช้สารประกอบฟีนอลิกในการป้องกันโรคต่างๆ โดยเฉพาะโรคหัวใจขาดเลือดและมะเร็ง โดยสารประกอบฟีนอลิกจะทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระและไอออนของโลหะที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่นๆ ด้วยการให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระอย่างรวดเร็วดังปฏิกิริยาต่อไปนี้



เมื่อสารประกอบฟีนอลิก ให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระไปแล้ว อนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกจะค่อนข้างมีเสถียรภาพ ดังนั้นจึงไม่ทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นต่อไป ยิ่งไปกว่านั้นอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกบางชนิดยังสามารถรวมตัวกับอนุมูลอิสระอื่นได้อีกด้วย จึงทำให้สามารถลดจำนวนอนุมูลอิสระลงได้ 2 เท่า ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้



แต่ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกยังขึ้นอยู่กับระบบด้วย ดังนั้นการศึกษาหรือเปรียบเทียบคุณสมบัติดังกล่าวจึงจำเป็นต้องระบุรายละเอียดของระบบให้ชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสัณฐานที่เป็นเป้าหมายของระบบ นอกจากนี้ยังพบว่าในภาวะที่มีสารประกอบฟีนอลิกความเข้มข้นสูง พิเศษสูง และมีเหล็กอยู่ด้วย สารประกอบฟีนอลิกอาจจะเป็นตัวเริ่มต้นของปฏิกิริยาออกซิเดชันเสียเองได้ (Bravo, 1998 อ้าง โดยวิวัฒน์, 2545)

2.6 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (Peter and Simon, 1994)

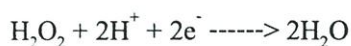
การตรวจวัดปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดมีหลักการคือ วัดปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบทั้งหมดที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในโมเลกุล และไม่คำนึงถึงน้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบโพลีฟีนอลนั้นๆ ดังนั้นการวิเคราะห์ในรูปแบบนี้ จึงไม่มีการระบุชนิดของสารประกอบโพลีฟีนอลที่มีอยู่ในตัวอย่าง ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยารีดักชัน-ออกซิเดชัน (reduction-oxidation) โดยที่สารประกอบโพลีฟีนอลถูกออกซิไดซ์ในสถานะที่เป็นค่าจ จากนั้นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะไปรีดิวซ์สารประกอบเชิงซ้อนทั้งสติค - ฟอสโฟโมลิบดีค (phosphotungstic - phosphomolybdic complex) ได้ผลิตภัณฑ์เชิงซ้อนที่มีสีน้ำเงินและสามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร

2.7 วิธีวิเคราะห์สมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของตัวอย่าง

ในการวิเคราะห์สมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของตัวอย่างสารสกัดจากพืชจะมีปัจจัยหลายประการที่มีอิทธิพลต่อสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่วิเคราะห์ได้ เช่น ความสามารถในการกระจายตัวในเฟสของน้ำมันและน้ำของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน สถานะการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและสถานะทางกายภาพของสารตั้งต้นของปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นต้น จากอิทธิพลของพารามิเตอร์เหล่านี้ ทำให้ไม่สามารถใช้วิธีใดเพียงวิธีหนึ่งในการตรวจสอบสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารใด ๆ วิธีที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของอาหารหรือสารประกอบต่างๆ มีหลายวิธี สำหรับวิธีที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ มี 3 วิธี ดังนี้

1) DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) radical scavenging assay

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระสังเคราะห์ที่นิยมใช้ทั่วไปในการประเมินประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันเบื้องต้นของสารสกัดจากพืช เมื่ออนุมูลอิสระ DPPH ทำปฏิกิริยากับสารที่มีสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่สามารถให้ไฮโดรเจนอะตอมได้ อนุมูลอิสระ DPPH จะถูกรีดิวซ์ไปเป็นโมเลกุล DPPH และเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีจากสีม่วงเข้มไปเป็นไม่มีสี สามารถติดตามประสิทธิภาพการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ได้โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 515 นาโนเมตร ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงได้ดังนี้ (Brand-Williams *et. al.*, 1995)



ในกรณีสารสกัดที่มีฤทธิ์ในการทำลาย H_2O_2 ได้ดี จะทำให้เกิดการสลายตัวของ H_2O_2 มาก

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของกล้วย

Kanazawa และ Sakakibara (2000) ได้ศึกษาสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในกล้วยหอม (*Musa Cavendishii*) พบว่าสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่พบในกล้วยหอมคือ โดพามีน (dopamine) ซึ่งจะมีปริมาณลดลงเมื่อระดับความสุกเพิ่มขึ้น ซึ่งโดพามีนเป็นแอนติออกซิเดนต์ที่มีประสิทธิภาพในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ดีกว่า กลูตาไธโอน (glutathione) BHT ลูทีโอลิน (luteolin) เควอซิติน (quercetin) และคาเทชิน (catechin) แต่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับแกลโลแคทเทชินแกลเลต (gallicocatechin gallate) และกรดแอสคอร์บิก นอกจากนี้ยังพบว่ากล้วยหอมมีปริมาณโดพามีนในระดับสูงทั้งในเปลือกและเนื้อของกล้วยหอม

ในปี 2001 Vinson และคณะ ได้ศึกษาปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกในผลไม้ 20 ชนิดที่ผู้บริโภคชาวอเมริกันนิยมบริโภคคือ แอปเปิ้ล อโวคาโด กล้วยหอม บลูเบอร์รี่ แคนตาลูป เชอร์รี่ แคนเบอร์รี่ องุ่นแดง องุ่นขาว ส้มเกลี้ยง มะนาว ฮันนี่ควิซ ผลเนคทาไลน์ ส้ม ลูกท้อ ลูกแพร์ สับปะรด ลูกพลัม สตอเบอร์รี่ และแตงโม พบว่ากล้วยหอมมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ทั้งในรูปของสารประกอบฟีนอลิกอิสระ (free phenolic) และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic) เป็นอันดับ 3 รองมาจากแคนเบอร์รี่ และ องุ่นแดง ตามลำดับ

ในปี 2002 Someya และคณะ ได้ศึกษาสารที่มีสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในเปลือกและเนื้อกล้วยหอม (*Musa cavendishii*) โดยวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (antioxidant activity) พบว่าสารสกัดจากเปลือกกล้วยมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงกว่าสารสกัดจากเนื้อกล้วย และเมื่อทำการแยกสารสกัดจากเปลือกกล้วยและเนื้อกล้วยด้วยวิธี HPLC เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันพบว่าสารที่สำคัญในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันคือ แกลโลแคทเทชิน (gallicocatechin) ซึ่งพบในเปลือกมากกว่าในเนื้อกล้วยเช่นกัน

ในปี 2005 Mokbel และ Hashinaga ได้ศึกษาความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของเปลือกกล้วยหอมคิบีเซียว โดยสกัดด้วยเอธิลอะซิเตรท และน้ำ พบว่าสารสกัดจากเปลือกกล้วยหอมคิบีเซียวมีความสามารถในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสูง ใกล้เคียงกับสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสังเคราะห์ BHA และ BHT นอกจากนี้ยังพบว่าสารสกัดจากเปลือกกล้วย

หอมดิบสีเขียวมีสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่า สารสกัดจากเปลือกกล้วยหอมสุกสีเหลืองด้วย

ในปี 2006 Murcia และคณะ ได้ศึกษาประเมินค่าของสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของผลไม้ในเขตเมดิเตอร์เรเนียน และผลไม้เขตร้อนเปรียบเทียบกับสารต้านออกซิเดชันที่เป็นสารเจือปนอาหารทั่วไป คือ BHA BHT และโพรพิลแกลเลท (propyl gallate) พบว่าผลไม้ในเขตเมดิเตอร์เรเนียน คือองุ่นแดง และลูกพลัม มีประสิทธิภาพในการทำลายอนุมูลอิสระเปอร์ออกซิล (peroxyl radical) ได้ดีกว่า BHA BHT และโพรพิลแกลเลท สำหรับกล้วยหอมซึ่งเป็นผลไม้เขตร้อนมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการทำลายอนุมูลอิสระเปอร์ออกซิล นอกจากนี้ผลไม้ในเขตเมดิเตอร์เรเนียน และผลไม้เขตร้อนมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลได้ดีมาก

ในปี พ.ศ. 2549 ชุติกร ได้ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ของสารสกัดจากเปลือกและเนื้อกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่างกัน พบว่า เมื่อระดับความสุกของกล้วยเพิ่มขึ้น ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในเปลือกและเนื้อกล้วยน้ำว้ามีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้ยังพบว่า เปลือกกล้วยน้ำว้าจะมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงกว่าเนื้อกล้วยน้ำว้าที่ทุกระดับความสุก โดยปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในสารสกัดจากเนื้อกล้วยจะอยู่ในช่วง 47.97 ± 0.05 ถึง 198.29 ± 0.65 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด ส่วนในเปลือกกล้วยน้ำว้าจะอยู่ในช่วง 175.19 ± 0.4 ถึง 287.56 ± 1.83 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด และเมื่อวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระและการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน พบว่าสารสกัดจากเปลือกกล้วยน้ำว้ามีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH การต้านอนุมูลอิสระ $\text{OH}\cdot$ การทำลาย H_2O_2 และการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC สูงกว่าสารสกัดจากเนื้อกล้วยน้ำว้า

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการทดลอง

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 วัสดุดิบ

กล้วยหอมทอง [*Musa* (AAA group) cv. Klui Hom Thong] และ กล้วยไข่ [*Musa* (AA group) cv. Klui Khai] ที่ใช้จากงานวิจัย จะซื้อกล้วยที่มีระดับความสุกที่ 1 จากตลาดเคหะทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ จังหวัดกรุงเทพมหานคร และตลาดกรมชลประทาน อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี นำมาเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 3 องศาเซลเซียส) โดยวางเรียงไว้บนโต๊ะในห้องปฏิบัติการ จนมีระดับความสุกต่างๆ 8 ระดับ ตามเกณฑ์พิจารณาแบบเดียวกับกรณีของกล้วยหอมทอง (เบญจมาศ, 2538)

3.1.2 เครื่องมือ

- UV-VIS สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ UV-1601 Shimadzu, Australia
- เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง Sartorius BP 3100s, U.S.A.
- เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง Mettler Toledo MP 220, Germany
- เครื่องระเหยสุญญากาศ Rotavapor BUCHI R-144, Switzerland
- ปีมสุญญากาศ Vacuum system BUCHI B-169, Switzerland
- เครื่องวัดสี Minolta Chroma-meter CR-300, Japan

3.1.3 สารเคมี

- | | |
|---|-----------------|
| - เอธานอล 95% (ethanol) | องค์การสุราไทย |
| - 2,2-Diphenyl-1-picryl-hydrazyl (DPPH) | Sigma เยอรมัน |
| - Folin-Ciocalten | BHD อังกฤษ |
| - กรดแกลลิก (gallic acid) | Sigma เยอรมัน |
| - กรดลิโนเลอิก (linoleic acid) | Aldrich เยอรมัน |
| - เฟอร์รัสคลอไรด์ (iron (III) chloride) | Merck เยอรมัน |
| - แอมโมเนียมไซยาไนด์ (ammonium thiocyanate) | Sigma อเมริกา |

3.2. วิธีการดำเนินการทดลอง

3.2.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีบางประการของเนื้อกล้วย และการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ ที่ระดับความสุกต่างกัน

เตรียมตัวอย่างกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ โดยแบ่งระดับความสุกของกล้วยเป็น 8 ระดับ ซึ่งใช้เกณฑ์พิจารณาแบบเดียวกันกับวิธีที่ใช้ในกล้วยหอมซึ่งรายงานโดย เบญจมาศ (2538) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีบางประการของเนื้อกล้วย และการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกกล้วยดังต่อไปนี้

- | | |
|----------------------------|--------------------------------------|
| - ความเป็นกรด-ด่าง | โดยใช้เครื่องวัด pH |
| - ปริมาณกรดทั้งหมด | โดยการไตเตรทด้วย NaOH (AOAC , 2000) |
| - ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ | โดยวิธี DNS method (ประพันธ์ , 2538) |
| - ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ | โดยใช้รีเฟรกโตมิเตอร์ |
| - สีของเปลือกกล้วย | โดยใช้เครื่องวัดสี |

3.2.2 ศึกษาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ ที่ระดับความสุกต่างกัน

3.2.2.1 การเตรียมสารสกัดจากเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ (ดัดแปลงจาก Gorinstein และคณะ, 1999)

นำกล้วยทั้งผลที่ระดับความสุกที่ 1 - 8 โดยสุ่มตัวอย่างกล้วย ที่ระดับความสุกละ 10 ผล มาล้างเป็นเวลา 15 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น แยกส่วนเปลือกและเนื้อออกโดยตัดส่วนขั้วและปลายทิ้งไป จากนั้นบดตัวอย่างเปลือกกล้วยหรือเนื้อกล้วยให้ละเอียด ชั่งตัวอย่างเปลือกกล้วยหรือเนื้อกล้วยบดละเอียด 10 กรัม นำมาปั่นผสมกับเอธานอล 95% 100 มิลลิลิตร สกัดโดยวิธีรีฟลักซ์ โดยนำตัวอย่างใส่ในบีกเกอร์ทรงสูงขนาด 400 มิลลิลิตร ปิดด้วยกระดาษฟิวส์ นำไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส คนด้วยแท่งแก้วทุกๆ 15 นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองสารสกัดด้วยกระดาษกรอง Whatman No.2 ปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยเอธานอล 95% จากนั้นจึงเก็บตัวอย่างสารสกัดในขวดสีชาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส สำหรับใช้ในการทดลองต่อไป

3.2.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (total polyphenol contents)

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างสารสกัดจากเปลือกและเนื้อกล้วยทั้งสองชนิด จะใช้วิธีที่รายงานโดย ประพันธ์และวันทนี (2545) รายละเอียดวิธีวิเคราะห์ คูได้จากภาคผนวก ก

3.2.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน และความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทอง และกล้วยไข่

3.2.3.1 ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH (1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl) โดยใช้วิธีที่รายงานโดย Brand-Williams และคณะ (1995) รายละเอียดวิธีวิเคราะห์ คูได้จากภาคผนวก ง

3.2.3.2 ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี Ferric thiocyanate Colorimetric (FTC) วิเคราะห์ตามวิธีที่รายงานโดย Larrauri และคณะ (1997) รายละเอียดวิธีวิเคราะห์ คูได้จากภาคผนวก จ

3.2.3.3 ความสามารถในการทำลาย H_2O_2 วิเคราะห์ตามวิธีที่รายงานโดย Yen และ Chen (1995) รายละเอียดวิธีวิเคราะห์ คูได้จากภาคผนวก ฉ

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันดังกล่าวในสารสกัดจากเปลือกและเนื้อกล้วยทั้งสองชนิด จะเปรียบเทียบกับสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันมาตรฐาน คือ วิตามินซี โทโรกซ์ (trolox) และ BHT (butylated hydroxytoluene) โดยคำนวณเป็นค่า $1/EC_{50}$ ซึ่ง EC_{50} หมายถึง ปริมาณเปลือกหรือเนื้อกล้วยหอมทองหรือกล้วยไข่ ที่สามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือทำลายอนุมูลอิสระลงได้ 50 เปอร์เซ็นต์ และรายงานค่า $1/EC_{50}$ ในหน่วยของ กรัมของอนุมูลอิสระต่อมิลลิกรัมของตัวอย่างเปลือกหรือเนื้อกล้วยทั้งสองชนิดโดยน้ำหนักสดหรือน้ำหนักแห้ง

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ที่ระดับความสูงต่างกัน โดยใช้แผนการทดลองแบบ Randomized Completely Block Design (RCBD) ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิจารณ์

4.1 องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพบางประการของเนื้อกล้วย และการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ ที่ระดับความสุกต่างกัน

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพบางประการของเนื้อกล้วยและการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ ที่นำมาใช้ในการทดลอง โดยวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณกรดทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์กรดซิตริก) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยวิธี DNS ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ($^{\circ}$ Brix) และสีของเปลือกกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ (L^* , a^* , b^*) โดยเครื่องวัดสี เพื่อทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ ที่ระดับความสุกต่างๆ โดยใช้เกณฑ์พิจารณาสีของเปลือกกล้วยในลักษณะเดียวกันกับวิธีที่ใช้ในกล้วยหอมซึ่งรายงาน โดย เบนจามาซ (2538) โดยแบ่งระดับการสุกของกล้วยหลังจากตัดมาบ่มดังนี้

ระดับที่ 1 เปลือกสีเขียว ผลแข็ง ไม่มีการสุก

ระดับที่ 2 เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองนิดๆ

ระดับที่ 3 เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองมากขึ้น แต่ยังมีสีเขียวมากกว่าสีเหลือง

ระดับที่ 4 เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองและมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว

ระดับที่ 5 เปลือกเป็นสีเหลือง แต่ปลายยังเป็นสีเขียว

ระดับที่ 6 ทั้งผลมีสีเหลือง (ผลสุก)

ระดับที่ 7 ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาล (สุกเต็มที่ มีกลิ่นหอม)

ระดับที่ 8 ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาลมากขึ้น (สุกมากเกินไป เนื้อเริ่มอ่อนตัวและมีกลิ่นแรง)

ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพบางประการของเนื้อกล้วยรวมทั้งค่าสีของเปลือกกล้วยที่วัดได้โดยใช้เครื่องวัดสีสำหรับกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ทั้ง 8 ระดับความสุกแสดงดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 สำหรับการเปลี่ยนแปลงของลักษณะปรากฏ และสีของเปลือกกล้วยทั้งสองชนิดที่สังเกตได้ด้วยตาแสดงดังรูปที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพบางประการของกล้วยหอมทองที่ระดับความสุกต่างกัน

ระดับ ความสุก	ปริมาณของแข็ง ที่ละลายได้ (องศาบริกซ์)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (กรัมสมมูลกลูโคส/ น้ำหนักกล้วย 100 กรัม)	ปริมาณกรด ทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์ กรดซิตริก)	pH	สีของเปลือกกล้วยหอมทอง			การเปรียบเทียบการ เปลี่ยนแปลงของสีเปลือก กล้วยหอมทอง (ΔE)*
					L*	a*	b*	
1	5.33 ± 0.31	0.38 ± 0.03	0.13 ± 0.01	5.68 ± 0.01	53.75 ± 3.82	-19.04 ± 0.75	+32.12 ± 2.74	-
2	6.17 ± 0.15	0.56 ± 0.03	0.15 ± 0.01	5.57 ± 0.02	65.79 ± 3.72	-17.85 ± 1.31	+35.46 ± 1.10	12.55
3	12.00 ± 0.1	2.12 ± 0.11	0.22 ± 0.01	5.11 ± 0.02	67.07 ± 0.96	-13.81 ± 0.93	+41.49 ± 2.64	17.10
4	19.50 ± 0.5	4.54 ± 0.18	0.32 ± 0.01	4.78 ± 0.01	71.84 ± 4.79	-9.71 ± 3.75	+42.64 ± 1.50	22.91
5	21.53 ± 0.31	7.44 ± 0.18	0.31 ± 0.01	4.84 ± 0.01	76.26 ± 1.56	-3.74 ± 0.18	+45.23 ± 2.62	30.21
6	22.27 ± 0.12	7.80 ± 0.02	0.29 ± 0.01	4.88 ± 0.01	74.83 ± 1.94	-3.03 ± 0.32	+51.52 ± 1.02	32.82
7	23.00 ± 0.2	8.89 ± 0.16	0.25 ± 0.01	5.00 ± 0.01	71.12 ± 4.78	-0.55 ± 2.15	+48.68 ± 1.36	30.30
8	23.37 ± 0.21	9.39 ± 0.05	0.22 ± 0.01	5.12 ± 0.01	62.39 ± 6.58	+4.59 ± 2.81	+41.81 ± 4.70	19.43

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

$$*\Delta E = \sqrt{(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2}$$

โดยที่ L_1, a_1 และ b_1 หมายถึง L^*, a^* และ b^* ที่ระดับความสุกที่ 1
 L_2, a_2 และ b_2 หมายถึง L^*, a^* และ b^* ที่ระดับความสุกที่ 2

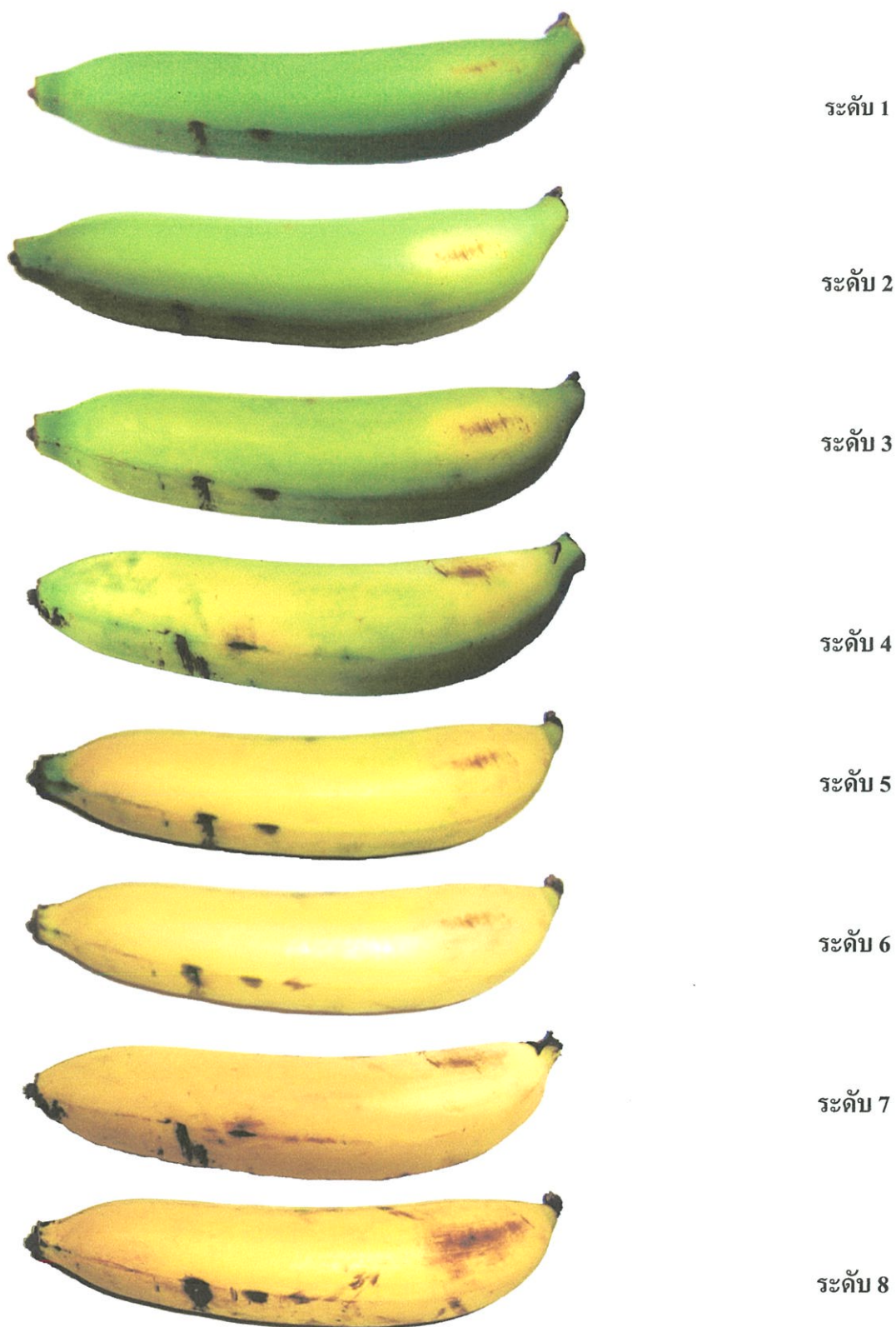
ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพบางประการของกล้วยไข่ที่ระดับความสุกต่างกัน

ระดับ ความสุก	ปริมาณของแข็ง ที่ละลายได้ (องศาบริกซ์)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (กรัมสมมูลกลูโคส/ น้ำหนักกล้วย 100 กรัม)	ปริมาณกรด ทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์ กรดซิตริก)	pH	สีของเปลือกกล้วยไข่			การเปรียบเทียบการ เปลี่ยนแปลงของสีเปลือก กล้วยไข่ (ΔE)*
					L*	a*	b*	
1	8.93 ± 0.12	0.99 ± 0.08	0.22 ± 0.01	5.49 ± 0.01	54.24 ± 1.27	-16.33 ± 0.20	+30.05 ± 0.51	-
2	11.67 ± 0.42	1.72 ± 0.09	0.28 ± 0.02	5.42 ± 0.02	64.40 ± 2.20	-16.61 ± 0.68	+32.94 ± 0.92	10.57
3	22.83 ± 0.29	5.51 ± 0.06	0.47 ± 0.01	4.70 ± 0.01	65.09 ± 2.78	-15.27 ± 0.48	+40.18 ± 0.28	14.88
4	25.33 ± 0.23	7.10 ± 0.02	0.50 ± 0.01	4.65 ± 0.01	71.70 ± 0.53	-7.76 ± 0.94	+43.83 ± 1.05	23.84
5	26.93 ± 0.12	7.93 ± 0.42	0.42 ± 0.02	4.83 ± 0.01	73.90 ± 2.59	-3.40 ± 1.34	+49.01 ± 2.42	30.22
6	27.40 ± 0.20	8.75 ± 0.15	0.42 ± 0.01	4.84 ± 0.01	76.99 ± 0.87	-1.27 ± 0.28	+50.87 ± 2.02	34.32
7	27.60 ± 0.20	9.09 ± 0.30	0.33 ± 0.01	5.08 ± 0.01	71.99 ± 2.49	+3.44 ± 1.21	+49.85 ± 4.28	33.14
8	28.53 ± 0.60	9.29 ± 0.25	0.29 ± 0.01	5.21 ± 0.02	61.40 ± 5.17	+7.56 ± 2.00	+41.37 ± 6.05	27.39

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

$$*\Delta E = \sqrt{(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2}$$

โดยที่ L_1, a_1 และ b_1 หมายถึง L^*, a^* และ b^* ที่ระดับความสุกที่ 1
 L_2, a_2 และ b_2 หมายถึง L^*, a^* และ b^* ที่ระดับความสุกที่ใด ๆ



รูปที่ 4.1 สีและลักษณะปรากฏของผลกล้วยหอมทองที่ระดับความสุก 8 ระดับความสุก



รูปที่ 4.2 สีและลักษณะปรากฏของผลกล้วยไข่ที่ระดับความสุก 8 ระดับความสุก

จากตารางที่ 4.1 และ 4.2 จะเห็นได้ว่าเมื่อกลิ้วหอมทองและกลิ้วไข่มีระดับความสุกเพิ่มขึ้น ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในรูปของกลูโคสมีค่าเพิ่มขึ้น โดยปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในทุกระดับความสุก กลิ้วไข่จะมีค่าสูงกว่ากลิ้วหอมทอง อย่างไรก็ตาม ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของกลิ้วหอมทองและกลิ้วไข่ จะเพิ่มขึ้นมากในระยะความสุกที่ 1- 4 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อระดับความสุกตั้งแต่ระดับที่ 5 เป็นต้นไป โดยมีค่าอยู่ในช่วง 5.33 - 23.37 องศาบริกซ์ สำหรับกลิ้วหอมทอง และ 8.93 - 28.53 องศาบริกซ์ สำหรับกลิ้วไข่ สำหรับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในกลิ้วหอมทองมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.38 เป็น 9.39 กรัม/น้ำหนักกลิ้ว 100 กรัม เช่นเดียวกับกลิ้วไข่ที่มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นจาก 0.99 เป็น 9.29 กรัม/น้ำหนักกลิ้ว 100 กรัม ในขณะที่ช่วงปริมาณกรดทั้งหมดของกลิ้วหอมทองและกลิ้วไข่ที่ระดับความสุกที่ 1-4 จะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.13 เป็น 0.32 เปอร์เซ็นต์ และ 0.22 เป็น 0.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับความสุกตั้งแต่ระดับที่ 5 เป็นต้นไป ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชของกลิ้วหอมทองและกลิ้วไข่ กล่าวคือค่าพีเอชจะลดลงต่ำสุดที่ระดับความสุกที่ 4 จากนั้นพีเอชจะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงระดับความสุกที่ 5 - 8 เนื่องจากกระบวนการสุกของผลไม้จะมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีและผลจากกระบวนการหายใจเกิดขึ้น กล่าวคือสตาร์ชจะเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลที่ละลายได้ (soluble sugar) เช่น ซูโครส, ฟรุกโตส และกลูโคส เป็นต้น โดยระดับของสตาร์ชในกลิ้วหอมดิบ จะมีปริมาณสูงถึง 20 - 25 เปอร์เซ็นต์ของเนื้อกลิ้ว (Cordenunsi and Lajolo, 1995) เมื่อกลิ้วสุกสตาร์ชจะลดลงอยู่ในระดับที่ต่ำในขณะที่ปริมาณน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นจาก 1 กรัม ไปจนถึง 20 กรัม / 100 กรัมกลิ้ว (Forsyth, 1980; Hubbard *et al.*; 1990) การเปลี่ยนแปลงดังกล่าว Terra และคณะ (1983) รายงานว่าเป็นผลมาจากการทำงานของ เอนไซม์อะไมเลส (amylases) ไกลโคซิเดส (glycosidases) ฟอสโฟไรเลส (phosphorylases) ซูโครสซินเทส (sucrose synthase) และอินเวอร์เทส (invertase) จึงทำให้มีการแตกสลายของสตาร์ช และทำให้เกิดการสะสมของน้ำตาลที่ละลายได้ (soluble sugar) เมื่อกลิ้วสุก สำหรับกรดที่พบส่วนใหญ่ในผลกลิ้วดิบคือ กรดออกซาลิก รองลงมาคือ กรดมาลิก และกรดซิตริก เมื่อผลกลิ้วสุกจะมีปริมาณกรดออกซาลิกลดลงทำให้มีปริมาณกรดมาลิกและกรดซิตริกเพิ่มขึ้น

สำหรับการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกกลิ้ว ซึ่งเป็นเครื่องบ่งชี้ถึงระดับความสุกของกลิ้ว เนื่องจาก ก๊าซเอทิลินจะกระตุ้นให้สีเขียวของคลอโรฟิลล์สลายไป ทำให้สีเหลืองของแคโรทีนอยด์ปรากฏให้เห็นเด่นชัดขึ้น (Marriot, 1980 , Mota *et al.*, 1997) และเมื่อพิจารณาผลการทดลองในตารางที่ 4.1 และ 4.2 โดย รายงานผลการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกกลิ้วหอมทองและกลิ้วไข่ด้วยค่า L^* , a^* , b^* จะเห็นได้ว่าเมื่อกลิ้วสุกเพิ่มขึ้น ค่าความสว่าง (ค่า L) จะเพิ่มขึ้น สีเขียว (ค่า a มีค่าเป็นลบน้อยลง) ของเปลือกกลิ้วจะลดลง ในขณะที่สีเหลือง (ค่า b) ของเปลือกกลิ้วจะเพิ่มมากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสี (ΔE) ของเปลือกกลิ้วหอมทองและกลิ้วไข่โดยให้ค่าสีที่ระดับความสุกที่ 1 เป็นสีอ้างอิงในการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลง พบว่า เมื่อกลิ้วหอมทองและกลิ้วไข่สุกเพิ่มขึ้น สีของเปลือกกลิ้วมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน และการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกจะลดลงที่ระดับความสุกที่ 7 - 8 เนื่องจากเปลือก

กล้วยเริ่มมีสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น ซึ่งลักษณะของการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ที่วัดได้ด้วยเครื่องวัดสีดังกล่าว สอดคล้องกับลักษณะปรากฏที่สังเกตได้ด้วยตา (รูปที่ 4.1 และ 4.2)

4.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ที่ระดับความสุกต่างกัน

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ ที่ระดับความสุกทั้ง 8 ระดับ โดยคำนวณปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างเปลือกและเนื้อกล้วยทั้งสองชนิดในหน่วยมิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อ 10 กรัมตัวอย่าง โดยนำน้ำหนักและน้ำหนักแห้งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.3 - 4.4 และรูปที่ 4.3 - 4.4

ตารางที่ 4.3 เปรอ์เซ็นต์ความชื้น และ ปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมดในเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทอง ที่ระดับความสุกต่างๆ

ระดับ ความสุก	เปอร์เซ็นต์ ความชื้นของ เปลือกกล้วย*	ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล ทั้งหมดในเปลือกกล้วย		เปอร์เซ็นต์ ความชื้นของ เนื้อกล้วย*	ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล ทั้งหมดในเนื้อกล้วย	
		(มิลลิกรัมกรดแกลลิก/ 10 กรัมน้ำหนักแห้ง)	(มิลลิกรัมกรดแกลลิก/ 10 กรัมน้ำหนักกล้วย)		(มิลลิกรัมกรดแกลลิก/ 10 กรัมน้ำหนักแห้ง)	(มิลลิกรัมกรดแกลลิก/ 10 กรัมน้ำหนักแห้ง)
1	88.06 ± 1.17 ^a	38.97 ± 2.31 ^c	330.37 ± 49.42 ^c	75.39 ± 2.97 ^b	6.36 ± 4.03 ^a	27.83 ± 19.72 ^a
2	87.10 ± 1.37 ^b	48.07 ± 0.36 ^d	376.29 ± 41.52 ^a	75.86 ± 2.60 ^{ab}	4.88 ± 1.62 ^{ab}	21.02 ± 8.97 ^b
3	86.46 ± 1.67 ^b	51.46 ± 6.59 ^{cd}	385.86 ± 81.71 ^a	75.50 ± 1.72 ^b	5.32 ± 0.40 ^{ab}	21.90 ± 3.17 ^{ab}
4	85.24 ± 2.08 ^c	51.25 ± 6.29 ^{cd}	358.03 ± 92.61 ^{abc}	74.46 ± 1.79 ^c	5.72 ± 0.51 ^{ab}	22.60 ± 3.54 ^{ab}
5	84.77 ± 1.94 ^c	53.69 ± 1.50 ^{bcd}	358.29 ± 54.45 ^{abc}	75.81 ± 2.16 ^{ab}	5.68 ± 1.90 ^{ab}	24.20 ± 9.98 ^{ab}
6	83.52 ± 0.64 ^d	56.40 ± 2.70 ^{bc}	364.82 ± 53.58 ^{ab}	75.22 ± 2.10 ^b	5.27 ± 1.88 ^{ab}	21.94 ± 9.44 ^{ab}
7	82.56 ± 0.28 ^c	57.85 ± 14.07 ^{ab}	336.51 ± 89.74 ^{bc}	75.42 ± 2.89 ^b	5.17 ± 1.49 ^{ab}	21.88 ± 8.64 ^{ab}
8	80.91 ± 1.51 ^f	63.20 ± 12.86 ^a	337.25 ± 93.84 ^{bc}	76.48 ± 2.85 ^a	4.71 ± 0.68 ^b	20.56 ± 5.36 ^b

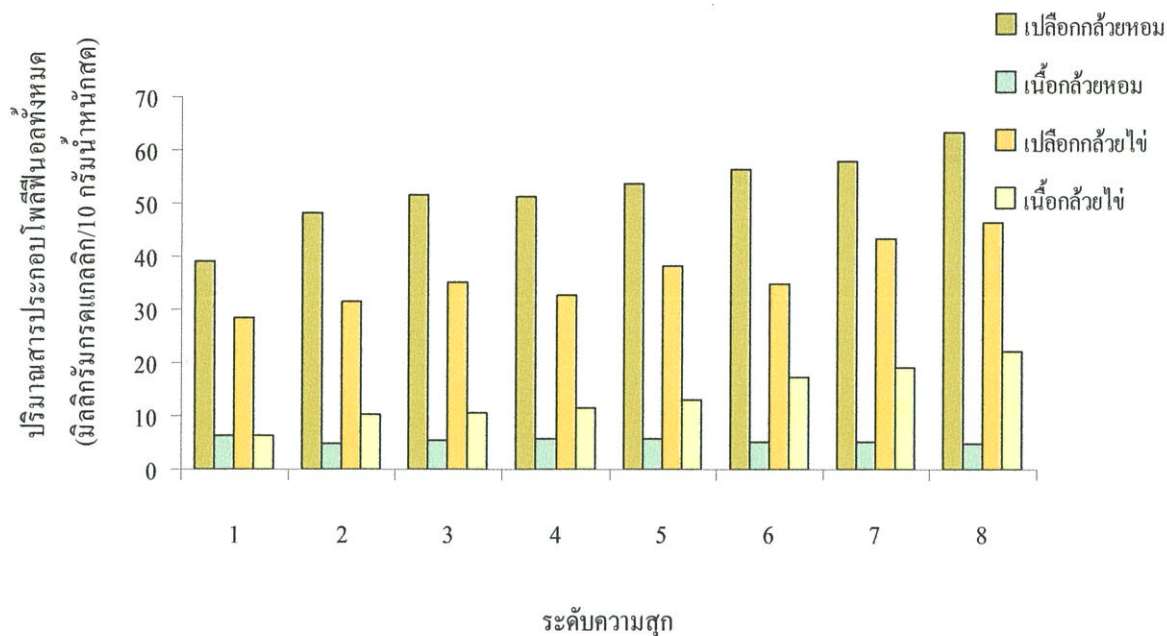
* เป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้นของตัวอย่างกล้วยหอมทองที่ผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 15 นาที
หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดลองซ้ำ 2 บล็อก

^{a-f} ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันตามแนวตั้ง มีความแตกต่างกันมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

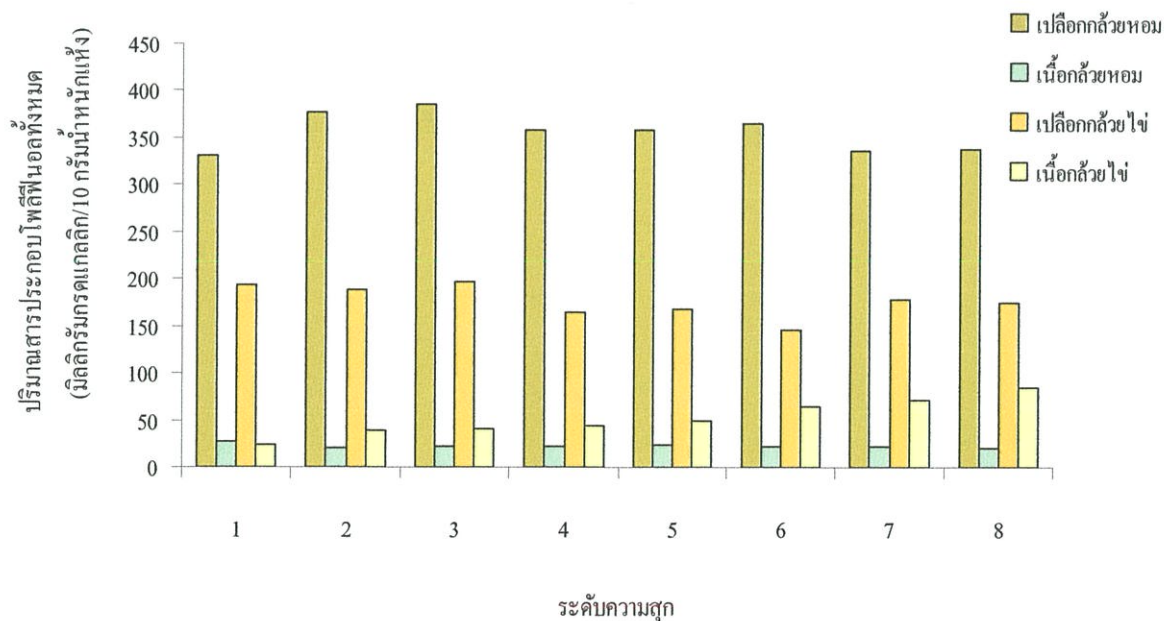
ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบความชื้น และ ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในเปลือกและเนื้อกล้วยไข่ ที่ระดับความสุกต่างๆ

ระดับ ความสุก	เปอร์เซ็นต์ ความชื้นของ เปลือกกล้วย*	ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล ทั้งหมดในเปลือกกล้วย		เปอร์เซ็นต์ ความชื้นของ เนื้อกล้วย*	ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล ทั้งหมดในเนื้อกล้วย	
		(มิลลิกรัมกรดแกลลิก/ 10 กรัมน้ำหนักแห้ง)	(มิลลิกรัมกรดแกลลิก/ 10 กรัมน้ำหนักกล้วย)		(มิลลิกรัมกรดแกลลิก/ 10 กรัมน้ำหนักแห้ง)	(มิลลิกรัมกรดแกลลิก/ 10 กรัมน้ำหนักกล้วย)
1	85.23 ± 0.27 ^a	28.50 ± 6.38 ^c	193.34 ± 44.95 ^{ab}	72.49 ± 0.53 ^c	6.38 ± 0.05 ^f	23.20 ± 0.54 ^f
2	83.09 ± 0.62 ^b	31.56 ± 5.83 ^{ce}	187.75 ± 40.78 ^{abc}	73.25 ± 1.28 ^{ab}	10.22 ± 1.64 ^e	38.50 ± 7.74 ^e
3	82.12 ± 0.28 ^b	35.14 ± 5.26 ^{bc}	196.78 ± 30.98 ^a	73.25 ± 0.61 ^{ab}	10.71 ± 2.98 ^e	40.23 ± 11.98 ^e
4	80.22 ± 0.79 ^c	32.65 ± 3.77 ^c	164.65 ± 12.69 ^d	73.72 ± 0.49 ^a	11.45 ± 1.43 ^e	43.65 ± 6.13 ^d
5	77.13 ± 0.71 ^d	38.23 ± 11.45 ^b	168.58 ± 55.23 ^d	72.88 ± 0.84 ^{bc}	13.08 ± 4.17 ^d	48.62 ± 16.74 ^d
6	75.66 ± 1.46 ^e	35.00 ± 8.54 ^{bc}	145.95 ± 43.80 ^c	73.30 ± 0.58 ^{ab}	17.19 ± 3.43 ^c	64.63 ± 14.12 ^c
7	75.10 ± 1.92 ^e	43.48 ± 11.02 ^a	178.35 ± 57.96 ^{bcd}	73.05 ± 0.95 ^b	18.98 ± 3.30 ^b	70.85 ± 14.72 ^b
8	73.10 ± 1.18 ^f	46.48 ± 11.55 ^a	174.55 ± 50.34 ^{cd}	73.64 ± 0.51 ^a	22.26 ± 2.28 ^a	84.59 ± 10.06 ^a

* เป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้นของตัวอย่างกล้วยไข่ที่ผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 15 นาที
หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ได้จากการทดลองซ้ำ 2 บดคือ
^{a-f} ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันตามแนวตั้ง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



รูปที่ 4.3 ปริมาณโดยน้ำหนักสดของสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ ที่ระดับความสุกต่างๆ



รูปที่ 4.4 ปริมาณโดยน้ำหนักแห้งของสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ ที่ระดับความสุกต่างๆ

จากตารางที่ 4.3 และ 4.4 และรูปที่ 4.3 และ 4.4 จะเห็นได้ว่าเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองหรือกล้วยไข่ ที่ระดับความสุกต่างกันจะมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดแตกต่างกัน โดยพบว่า เปลือกกล้วยหอมทองและกล้วยไข่มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด ทั้งโดยน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งสูงกว่าเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ที่ทุกระดับความสุก โดยเปลือกกล้วยหอมทองมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดอยู่ในช่วง 38.97 – 63.20 มิลลิกรัมกรดแกลลิก / 10 กรัมน้ำหนักสด และ 330.37 - 385.86 มิลลิกรัมกรดแกลลิก / 10 กรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งสูงกว่าเนื้อกล้วยหอมทองที่มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดอยู่ในช่วง 4.71 – 6.36 มิลลิกรัมกรดแกลลิก / 10 กรัมน้ำหนักสด และ 20.56 – 27.83 มิลลิกรัมกรดแกลลิก / 10 กรัมน้ำหนักแห้ง เช่นเดียวกับเปลือกกล้วยไข่ที่มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดอยู่ในช่วง 28.50 - 46.48 มิลลิกรัมกรดแกลลิก / 10 กรัมน้ำหนักสด และ 164.65 – 196.78 มิลลิกรัมกรดแกลลิก / 10 กรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งสูงกว่าเนื้อกล้วยไข่ที่มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดอยู่ในช่วง 6.38 – 22.26 มิลลิกรัมกรดแกลลิก / 10 กรัม น้ำหนักสด และ 23.20 – 84.59 มิลลิกรัมกรดแกลลิก / 10 กรัม น้ำหนักแห้ง ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานของ Kanasawa และ Sakakibara (2000) และ Someya และคณะ(2002) ซึ่งพบว่าปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในเปลือกกล้วยหอมจะมีค่าสูงกว่าเนื้อกล้วยถึง 2.2 เท่า Chism และ Haard (1996) ได้อธิบายว่าโดยทั่วไปในผักและผลไม้จะมีสารประกอบโพลีฟีนอลในปริมาณสูงบริเวณผิวนอก (outer part) ซึ่งสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดจะรวมถึงสารประกอบของกรดฟีนอลิก (phenolic acid) ซึ่งพืชจะเก็บสะสมกรดฟีนอลิกในส่วนของแวคคิวโอที่อยู่ในเปลือก นอกจากนี้จากการทดลองยังพบว่าเปลือกกล้วยหอมทองมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงกว่าเปลือกกล้วยไข่ที่ทุกระดับความสุก ในขณะที่เนื้อกล้วยไข่มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงกว่าเนื้อกล้วยหอมที่ทุกระดับความสุก

จากรูปที่ 4.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดโดยน้ำหนักสด เมื่อระดับความสุกเพิ่มขึ้น พบว่าปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในเปลือกกล้วยหอมทองและกล้วยไข่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น Chitra และคณะ (2006) พบว่าการเก็บรักษากล้วยไข่ (ระดับความสุกที่ 3 และ 4) เป็นระยะเวลานานขึ้น จะมีผลทำให้เกิดจุดสีน้ำตาลบนเปลือกกล้วยไข่มากขึ้น และมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลในเปลือก โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างการเกิดจุดสีน้ำตาลบนเปลือกกล้วยไข่กับปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลในเปลือก เท่ากับ 0.88 ผลการทดลองของ Chitra และคณะ สนับสนุนผลการทดลองที่ได้เป็นอย่างดี สำหรับสาเหตุที่ทำให้ผลกล้วยที่ระดับความสุกมากขึ้น มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลมากขึ้นนั้น อาจเป็นไปได้ว่าเอนไซม์ฟีนิลอะลานีน แอมโมเนียไลเอส (phenylalaine ammonia lyase; PAL) ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับการสังเคราะห์สารประกอบโพลีฟีนอล (Camm and Towers, 1993) มีกิจกรรม (activity) เพิ่มขึ้น เมื่อระดับความสุกของกล้วยเพิ่มขึ้น จึงเกิดการสังเคราะห์

สารประกอบโพลีฟีนอลในเปลือกกล้วยมากขึ้น โดยที่ Chitra และคณะ (2006) รายงานว่าเปลือกกล้วยไข่ที่ระดับความสุกมากขึ้นตรวจพบกิจกรรมของเอนไซม์ฟีนอลอะลานีนแอมโมเนียไลเอสสูงขึ้นด้วย นอกจากนี้ชูลีกร (2549) ยังพบว่าเมื่อระดับความสุกของกล้วยน้ำว่าเพิ่มขึ้นปริมาณกรดฟีนอลิกในเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะกรดแกลลิก แต่ผลการทดลองที่ได้แตกต่างจาก Kanasawa และ Sakakibura (2000) ที่พบว่าปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลของเปลือกกล้วยหอมจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับความสุกเพิ่มมากขึ้น สำหรับเนื้อกล้วยหอมทองที่ทดลองพบว่า เมื่อระยะเวลาความสุกเพิ่มขึ้นปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ ในขณะที่กล้วยไข่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

จากรูปที่ 4.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดโดยน้ำหนักแห้ง เมื่อระดับความสุกเพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในเปลือกกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ค่อนข้างคงที่ เนื่องจากความชื้นที่ลดลงของเปลือกกล้วยเมื่อระยะเวลาความสุกเพิ่มขึ้น เมื่อคิดในหน่วยน้ำหนักแห้งจึงเป็นค่าที่ได้จากน้ำหนักเปลือกกล้วยที่เท่ากันในแต่ละระดับความสุก โดยไม่มีความชื้นเกี่ยวข้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในแต่ละระดับความสุกจึงใกล้เคียงกัน ในขณะที่ความชื้นของเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ในแต่ละระดับความสุกค่อนข้างใกล้เคียงกัน จึงทำให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในหน่วยน้ำหนักแห้ง มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเหมือนกันกับในหน่วยน้ำหนักสด กล่าวคือเมื่อระยะเวลาความสุกเพิ่มขึ้น ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของเนื้อกล้วยหอมทองมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ ในขณะที่กล้วยไข่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในกล้วยระดับความสุกที่ 6 ซึ่งเป็นระดับความสุกที่นิยมบริโภค Vinson และคณะ (2001) รายงานว่า หนึ่งหน่วยบริโภคของกล้วยหอม (118 กรัม) มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด 163 มิลลิกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้พบว่าปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของเนื้อกล้วยหอมทองระดับความสุกที่ 6 มีเพียง 62.20 มิลลิกรัมต่อเนื้อกล้วย 118 กรัม ความแตกต่างดังกล่าวอาจมีผลมาจากสภาพแวดล้อมในการปลูก สารอาหารในดิน ระยะเวลาในการเก็บเกี่ยว เป็นต้น สำหรับปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในกล้วยน้ำว่าต่อหนึ่งหน่วยบริโภค หรือ 118 กรัม เท่ากัน มีค่าเท่ากับ 58.45 มิลลิกรัม (ชูลีกร, 2549) และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ที่ระดับความสุกที่ 6 ต่อหนึ่งหน่วยบริโภคนั้นพบว่า มีปริมาณเท่ากับ 62.20 และ 165.92 มิลลิกรัม ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการบริโภคกล้วยไข่จะได้ปริมาณของสารประกอบโพลีฟีนอลสูงกว่ากล้วยหอมทองและกล้วยน้ำว่า

ในขั้นตอนการเตรียมสารสกัดจากเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ เพื่อศึกษาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธีต่างๆ มีการนำตัวอย่างเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่มาหนึ่งถ้วยไอน้ำร้อนที่อุณหภูมิ

100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ก่อนนำมาสกัด มีวัตถุประสงค์เพื่อทำลายเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase : PPO) เนื่องจากเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลิกเกิดเป็นปฏิกิริยาสีน้ำตาล (browning reaction) จึงมีผลต่อการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล Murakami และคณะในปี 2004 ได้ศึกษาผลของการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสต่อความเสถียรของสารประกอบโพลีฟีนอล พบว่าสารประกอบโพลีฟีนอลมีความเสถียรในระหว่างการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยเกิดการสลายตัวน้อยมากในระหว่างการให้ความร้อน ดังนั้นการนึ่งเปลือกและเนื้อกล้วยทั้งสองชนิดจึงเป็นการทำลายเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส แต่ไม่มีผลต่อสารประกอบฟีนอลิก

4.3 ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่

จากการศึกษาความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธีต่างกัน 3 วิธี ได้แก่ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC และความสามารถในการทำลาย H_2O_2 ของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ ที่ระดับความสุกที่ 1 ถึง 8 เปรียบเทียบกับวิตามินซี โทรอกซ์ และ BHT โดยรายงานความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันดังกล่าวด้วยค่า $1/EC_{50}$ ซึ่ง EC_{50} หมายถึงปริมาณเปลือกหรือเนื้อกล้วยหอมทองหรือกล้วยไข่ ที่สามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือทำลายอนุมูลอิสระลงได้ 50 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นสารตัวอย่างใดที่มีค่า $1/EC_{50}$ สูงจะมีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสูง

4.3.1 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH

จากการศึกษาความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ที่ระดับความสุกต่างกัน โดยวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ซึ่งมีหลักการคือ สารละลายของอนุมูลอิสระ DPPH จะมีสีม่วง ซึ่งดูดกลืนแสงได้ที่ 517 นาโนเมตร ในกรณีตัวอย่างสารสกัดมีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระได้ดี จะทำให้สีม่วงแดงของสารละลาย DPPH จางลงได้มากกว่าตัวอย่างสารสกัดที่มีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระได้น้อย และเมื่อคำนวณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในรูปของ $1/EC_{50}$ (กรัม DPPH/ มิลลิกรัม น้ำหนักสด) และ (กรัม DPPH/ มิลลิกรัม น้ำหนักแห้ง) ของกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ เปรียบเทียบกับวิตามินซี โทรอกซ์ และ BHT ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.5 - 4.6 และรูปที่ 4.5 - 4.6

ตารางที่ 4.5 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองที่ระดับความสุกต่างกัน

ระดับความสุก	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของเปลือกกล้วยหอมทอง		ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของเนื้อกล้วยหอมทอง	
	1/EC ₅₀		1/EC ₅₀	
	($\times 10^{-3}$) กรัม DPPH/ มิลลิกรัม น้ำหนักสด	($\times 10^{-3}$) กรัม DPPH/ มิลลิกรัม น้ำหนักแห้ง	($\times 10^{-3}$) กรัม DPPH/ มิลลิกรัม น้ำหนักสด	($\times 10^{-3}$) กรัม DPPH/ มิลลิกรัม น้ำหนักแห้ง
1	22.91 \pm 1.74 ^c	192.38 \pm 8.76 ^{ab}	3.22 \pm 2.65 ^a	14.34 \pm 12.50 ^a
2	24.75 \pm 4.30 ^{bc}	190.81 \pm 14.81 ^b	2.24 \pm 1.16 ^b	9.78 \pm 5.84 ^b
3	24.83 \pm 1.35 ^{bc}	185.16 \pm 25.67 ^{ab}	2.38 \pm 0.41 ^{ab}	9.84 \pm 2.35 ^b
4	24.05 \pm 1.10 ^{bc}	166.50 \pm 30.80 ^{bc}	2.57 \pm 0.33 ^{ab}	10.18 \pm 1.98 ^b
5	25.11 \pm 0.63 ^{bc}	167.82 \pm 25.16 ^{bc}	2.52 \pm 0.96 ^{ab}	10.79 \pm 4.93 ^b
6	27.00 \pm 2.97 ^{ab}	164.59 \pm 24.30 ^{bc}	2.34 \pm 1.11 ^{ab}	9.84 \pm 5.31 ^b
7	30.58 \pm 5.36 ^a	175.73 \pm 33.34 ^{abc}	2.16 \pm 0.98 ^b	9.29 \pm 5.08 ^b
8	30.21 \pm 4.14 ^a	160.49 \pm 34.31 ^c	1.97 \pm 0.46 ^b	8.67 \pm 3.01 ^b
วิตามินซี	5,410.97 \pm 34.94 ($\times 10^{-3}$) กรัม DPPH/ มิลลิกรัม วิตามินซี			
โทรอกซ์	4,874.28 \pm 55.56 ($\times 10^{-3}$) กรัม DPPH/ มิลลิกรัม โทรรอกซ์			
BHT	79.40 \pm 0.69 ($\times 10^{-3}$) กรัม DPPH/ มิลลิกรัม BHT			

หมายเหตุ

ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ได้จากการทดลองซ้ำ 2 บล็อก

^{a-c} ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันตามแนวตั้ง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.6 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของเปลือกและเนื้อกล้วยไข่ที่ระดับความสูงต่างกัน

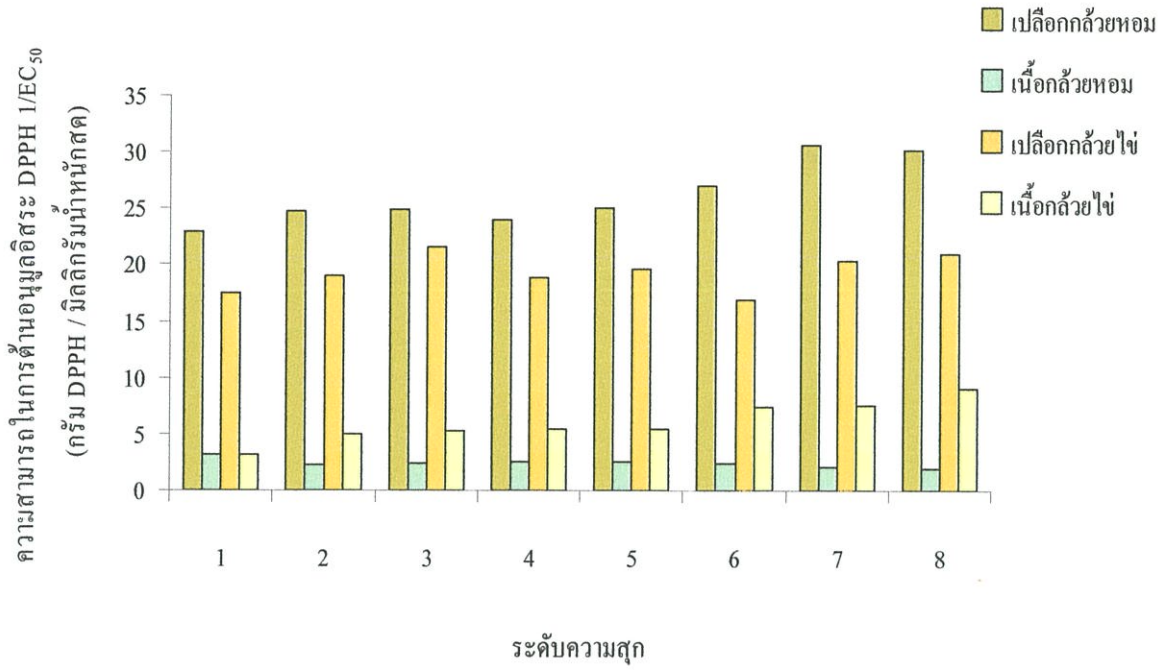
ระดับความสูง	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของเปลือกกล้วยไข่		ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของเนื้อกล้วยไข่	
	1/EC ₅₀		1/EC ₅₀	
	(×10 ⁻³) กรัม DPPH/ มิลลิกรัม น้ำหนักสด	(×10 ⁻³) กรัม DPPH/ มิลลิกรัม น้ำหนักแห้ง	(×10 ⁻³) กรัม DPPH/ มิลลิกรัม น้ำหนักสด	(×10 ⁻³) กรัม DPPH/ มิลลิกรัม น้ำหนักแห้ง
1	17.57 ± 6.93 ^{cf}	119.29 ± 47.97 ^a	3.12 ± 0.19 ^d	11.34 ± 0.92 ^d
2	18.96 ± 6.04 ^{cdc}	113.22 ± 39.56 ^a	4.93 ± 1.01 ^c	18.57 ± 4.50 ^c
3	21.52 ± 6.25 ^a	120.57 ± 35.80 ^a	5.22 ± 1.68 ^c	19.65 ± 6.71 ^d
4	18.86 ± 3.84 ^{dc}	94.87 ± 15.74 ^b	5.50 ± 0.81 ^c	20.97 ± 3.43 ^c
5	19.61 ± 5.58 ^{bcd}	86.43 ± 27.05 ^{bc}	5.43 ± 1.60 ^c	20.17 ± 6.47 ^c
6	16.87 ± 3.34 ^f	70.20 ± 17.88 ^d	7.39 ± 1.10 ^b	27.77 ± 4.66 ^b
7	20.41 ± 4.55 ^{abc}	83.54 ± 24.69 ^{bc}	7.51 ± 1.40 ^b	28.03 ± 6.18 ^b
8	21.02 ± 5.23 ^{ab}	78.95 ± 22.80 ^{cd}	9.01 ± 0.49 ^a	34.21 ± 2.42 ^a
วิตามินซี	5,410.97 ± 34.94 (×10 ⁻³) กรัม DPPH/ มิลลิกรัม วิตามินซี			
โทรอกซ์	4,874.28 ± 55.56 (×10 ⁻³) กรัม DPPH/ มิลลิกรัม โทรอกซ์			
BHT	79.40 ± 0.69 (×10 ⁻³) กรัม DPPH/ มิลลิกรัม BHT			

หมายเหตุ

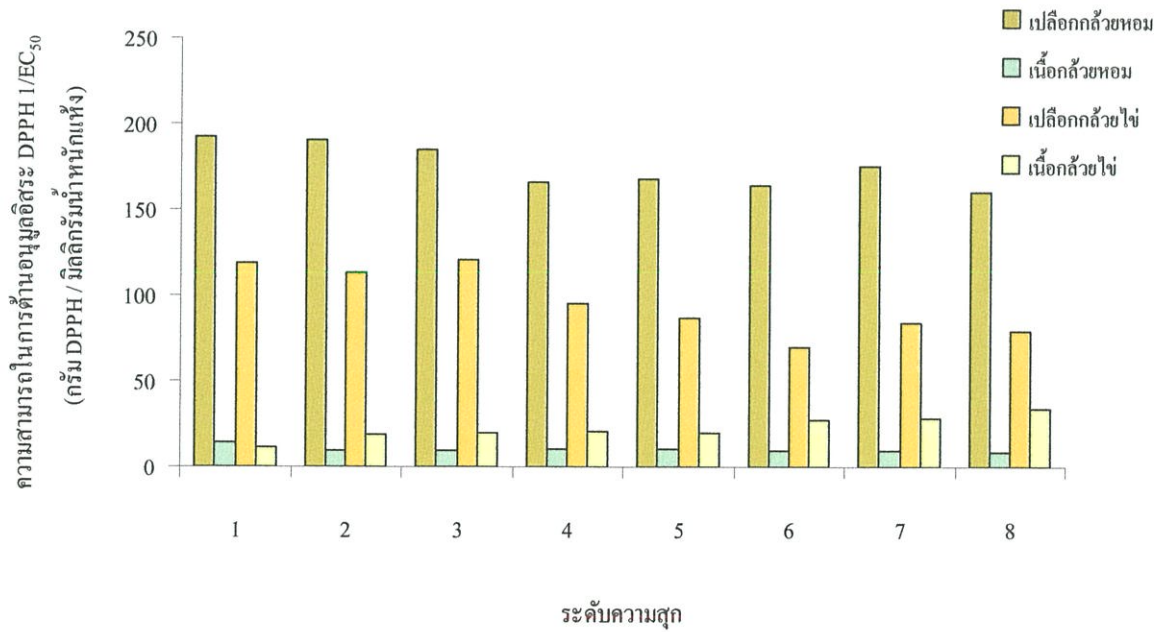
ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ได้จากการทดลองซ้ำ 2 บล็อก

^{a-f} ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันตามแนวตั้ง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

(P ≤ 0.05)



รูปที่ 4.5 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่โดยน้ำหนักสด ที่ระดับความสุกต่างๆ



รูปที่ 4.6 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่โดยน้ำหนักแห้ง ที่ระดับความสุกต่างๆ

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.5 และ 4.6 และรูปที่ 4.5 และ 4.6 จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองหรือกล้วยไข่ที่ระดับความสุกต่างกัน มีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด กล่าวคือ เปลือกกล้วยหอมทองและกล้วยไข่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่าเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ที่ทุกระดับความสุก โดยเปลือกกล้วยหอมทองมีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ($1/EC_{50}$) อยู่ในช่วง $22.91 - 30.58 (\times 10^{-3})$ กรัม DPPH/ กรัม น้ำหนักสด และ $160.49 - 192.38 (\times 10^{-3})$ กรัม DPPH/ กรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งสูงกว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของเนื้อกล้วยหอมทองที่มีค่า $1/EC_{50}$ อยู่ในช่วง $1.97 - 3.22 (\times 10^{-3})$ กรัม DPPH/ กรัม น้ำหนักสด และ $8.67 - 14.34 (\times 10^{-3})$ กรัม DPPH/ กรัม น้ำหนักแห้ง เช่นเดียวกับเปลือกกล้วยไข่ที่มีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระอยู่ในช่วง $16.87 - 21.52 (\times 10^{-3})$ กรัม DPPH/ กรัม น้ำหนักสด และ $70.20 - 120.57 (\times 10^{-3})$ กรัม DPPH/ กรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งสูงกว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของเนื้อกล้วยไข่ที่มีค่า $1/EC_{50}$ อยู่ในช่วง $3.12 - 9.01 (\times 10^{-3})$ กรัม DPPH/ กรัม น้ำหนักสด และ $11.34 - 34.21 (\times 10^{-3})$ กรัม DPPH/ กรัม น้ำหนักแห้ง นอกจากนี้เปลือกกล้วยหอมทองมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH มากกว่าเปลือกกล้วยไข่ที่ทุกระดับความสุก ในขณะที่ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของเนื้อกล้วยไข่จะสูงกว่าเนื้อกล้วยหอมทอง ที่ทุกระดับความสุกเช่นเดียวกัน

เมื่อพิจารณาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในหน่วยน้ำหนักสด (รูปที่ 4.5) ของกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ที่ระดับความสุกต่างๆ พบว่าเมื่อระดับความสุกเพิ่มขึ้น ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของเปลือกกล้วยหอมทองและกล้วยไข่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สำหรับเนื้อกล้วยหอมทองค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ก่อนข้างคองที่ ต่างจากกล้วยไข่ที่ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เพิ่มขึ้น เมื่อระยะความสุกเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาในหน่วยน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 4.6) จะเห็นได้ว่าที่ระดับความสุกเพิ่มขึ้น ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของเปลือกกล้วยหอมทองและกล้วยไข่มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ในขณะที่เนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่มีแนวโน้มเดียวกันกับการคำนวณในหน่วยน้ำหนักสด นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับ วิตามิน ซี โทรอกซ์ และ BHT แม้ว่าเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองหรือกล้วยไข่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ต่ำกว่าวิตามินซีและโทรอกซ์ แต่เปลือกกล้วยหอมทองในทุกระดับความสุก และเปลือกกล้วยไข่บางระดับความสุกในหน่วยน้ำหนักแห้ง มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่า BHT (ตารางที่ 4.5 - 4.6) ผลการทดลองดังกล่าวข้างต้นสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kanasawa และ Sakakibura (2000) ที่รายงานว่าสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่พบมากในเปลือกและเนื้อกล้วยหอมคือ โดพามีน (dopamine) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของสารประกอบฟีนอลิก มีประสิทธิภาพในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ดีกว่า BHT

Antonio และคณะ (2001) ที่ศึกษาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในเปลือกและเนื้อของฝรั่งพันธุ์ *Psidium guajava* พบว่าเปลือกฝรั่งมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (58.7 มิลลิกรัมกรดแกลลิก / กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ($1/EC_{50}$ เท่ากับ 0.52 กรัม DPPH/ กรัม น้ำหนักแห้ง) สูงกว่าเนื้อฝรั่ง(ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด 26.3 มิลลิกรัมกรด แกลลิก / กิโลกรัม น้ำหนักแห้ง $1/EC_{50}$ เท่ากับ 0.27 กรัม DPPH/ กรัม น้ำหนักแห้ง) อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองดังกล่าวจะเห็นได้ว่าเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ทั้งในหน่วยน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งในทุกระดับความสุกมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่าเปลือกและเนื้อฝรั่งพันธุ์ *Psidium guajava*

4.3.2 ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี Ferric thiocyanate colorimetric method (FTC)

จากการศึกษาความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ที่ระดับความสุกต่างกัน โดยวิธี FTC ซึ่งมีหลักการคือ วัดปริมาณเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นในขั้นเริ่มต้น (initial stages) ของปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดลิโนเลอิก (linoleic acid) โดยเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะไปออกซิไดซ์ Fe^{2+} ไปเป็น Fe^{3+} ในสถานะที่มีแอมโมเนียมไทโอไซยาเนต Fe^{3+} จะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีแดง และสามารถดูดกลืนแสงได้ที่ 500 นาโนเมตร ดังนั้นถ้ามีปริมาณเปอร์ออกไซด์เกิดขึ้นในปฏิกิริยามาก สีแดงที่เกิดขึ้นก็จะเข้มมาก และเมื่อคำนวณความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในรูปของ $1/EC_{50}$ ซึ่งหมายถึงน้ำหนักของตัวอย่างที่สามารถยับยั้งไม่ให้กรดลิโนเลอิกเกิดการออกซิเดชันไปเป็นอนุมูลเปอร์ออกไซด์ได้ 50 เปอร์เซ็นต์ (กรัมกรดลิโนเลอิก/ มิลลิกรัม น้ำหนักสด และ กรัมกรดลิโนเลอิก/ มิลลิกรัม น้ำหนักแห้ง) ของกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ เปรียบเทียบกับ Trolox และ BHT ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.7 - 4.8 และรูปที่ 4.7 - 4.8

ตารางที่ 4.7 ความสามารถในการต้านปฏิริยาออกซิเดชัน โดยวิธี FTC ของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองที่ระดับความสุกต่างกัน

ระดับความสุก	ความสามารถในการต้านปฏิริยาออกซิเดชัน โดยวิธี FTC ของเปลือกกล้วยหอมทอง 1/EC ₅₀		ความสามารถในการต้านปฏิริยาออกซิเดชัน โดยวิธี FTC ของเนื้อกล้วยหอมทอง 1/EC ₅₀	
	กรัมกรดลิโนเลอิก/ มิลลิกรัมน้ำหนักสด	กรัมกรดลิโนเลอิก/ มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง	กรัมกรดลิโนเลอิก/ มิลลิกรัมน้ำหนักสด	กรัมกรดลิโนเลอิก/ มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง
1	17.44 ± 2.14 ^d	148.54 ± 31.67 ^{dc}	2.41 ± 0.44 ^a	10.08 ± 2.98 ^a
2	20.74 ± 0.92 ^c	161.74 ± 11.52 ^{bcd}	2.22 ± 0.68 ^{ab}	9.02 ± 1.85 ^{ab}
3	25.02 ± 2.83 ^{ab}	184.41 ± 5.05 ^a	1.85 ± 0.55 ^{bc}	7.46 ± 1.74 ^b
4	22.83 ± 1.47 ^{bc}	158.41 ± 32.00 ^{cd}	1.92 ± 0.19 ^{bc}	7.50 ± 0.27 ^b
5	26.96 ± 3.24 ^a	177.21 ± 3.53 ^{ab}	1.74 ± 0.02 ^c	7.22 ± 0.70 ^b
6	26.75 ± 2.52 ^a	171.00 ± 3.26 ^{abc}	1.73 ± 0.02 ^c	7.02 ± 0.66 ^b
7	26.54 ± 1.41 ^a	153.44 ± 4.61 ^d	2.07 ± 0.04 ^{abc}	8.53 ± 1.01 ^{ab}
8	25.55 ± 1.85 ^a	133.92 ± 3.17 ^c	1.72 ± 0.10 ^c	7.42 ± 1.31 ^b
โทรลอกซ์	13,345.23 ± 5.50 กรัมกรดลิโนเลอิก/ มิลลิกรัมโทรลอกซ์			
BHT	5,151.59 ± 10.67 กรัมกรดลิโนเลอิก/ มิลลิกรัม BHT			

หมายเหตุ

ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ได้จากการทดลองซ้ำ 2 บล็อก

^{a-c} ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันตามแนวตั้ง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

(P ≤ 0.05)

ตารางที่ 4.8 ความสามารถในการต้านปฏิกริยาออกซิเดชัน โดยวิธี FTC ของเปลือกและเนื้อกล้วยไข่
ที่ระดับความสุกต่างกัน

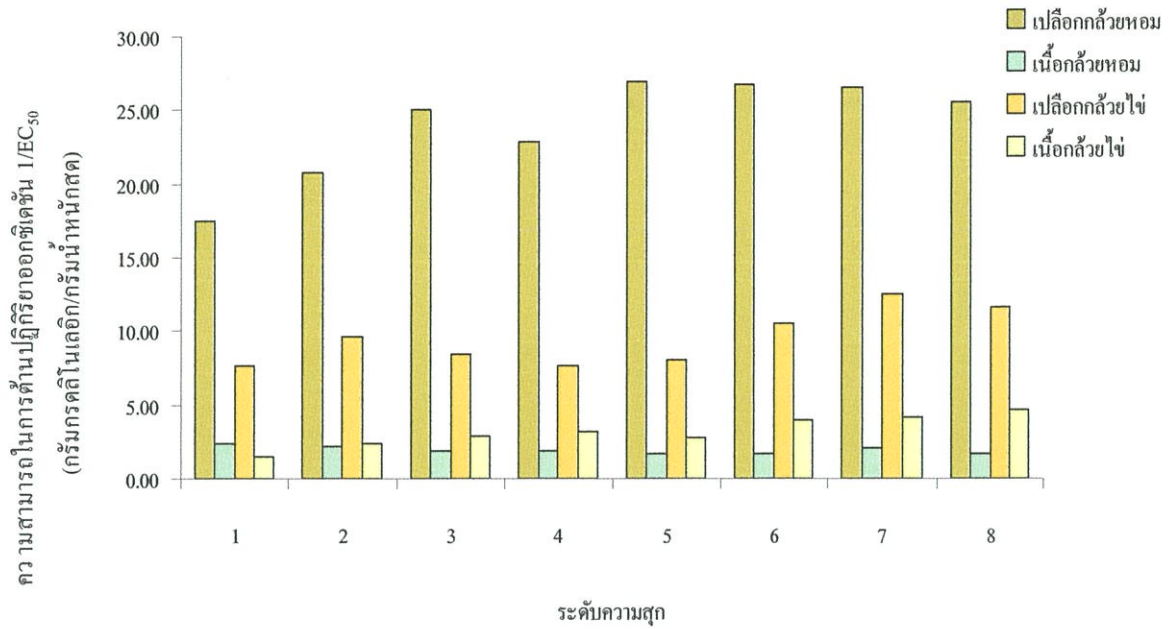
ระดับ ความสุก	ความสามารถในการต้านปฏิกริยาออกซิเดชัน โดยวิธี FTC ของเปลือกกล้วยไข่		ความสามารถในการต้านปฏิกริยาออกซิเดชัน โดยวิธี FTC ของเนื้อกล้วยไข่	
	1/EC ₅₀		1/EC ₅₀	
	กรัมกรดลินเลอิก/ มิลลิกรัม น้ำหนักสด	กรัมกรดลินเลอิก/ มิลลิกรัม น้ำหนักแห้ง	กรัมกรดลินเลอิก/ มิลลิกรัม น้ำหนักสด	กรัมกรดลินเลอิก/ มิลลิกรัม น้ำหนักแห้ง
1	7.67 ± 1.28 ^c	51.99 ± 9.03 ^{ab}	1.52 ± 0.19 ^f	5.51 ± 0.57 ^f
2	9.63 ± 3.07 ^{cd}	57.46 ± 20.02 ^a	2.41 ± 0.38 ^c	8.98 ± 1.11 ^c
3	8.41 ± 0.20 ^{dc}	47.05 ± 1.41 ^{abcd}	2.85 ± 0.28 ^{cd}	10.64 ± 0.86 ^d
4	7.66 ± 1.23 ^c	38.98 ± 7.75 ^{dc}	3.14 ± 0.37 ^c	11.94 ± 1.21 ^c
5	8.09 ± 0.87 ^{dc}	35.32 ± 2.85 ^c	2.82 ± 0.20 ^d	10.43 ± 1.04 ^d
6	10.55 ± 2.52 ^{bc}	44.00 ± 12.97 ^{bcde}	4.01 ± 0.61 ^b	14.97 ± 1.99 ^b
7	12.51 ± 0.55 ^a	50.61 ± 5.97 ^{abc}	4.15 ± 0.55 ^b	15.36 ± 1.57 ^b
8	11.66 ± 0.24 ^{ab}	40.33 ± 2.26 ^{cdc}	4.67 ± 0.53 ^a	17.70 ± 1.74 ^a
โทรลอกซ์	13,345.23 ± 5.50 กรัมกรดลินเลอิก/ มิลลิกรัม โทรลอกซ์			
BHT	5,151.59 ± 10.67 กรัมกรดลินเลอิก/ มิลลิกรัม BHT			

หมายเหตุ

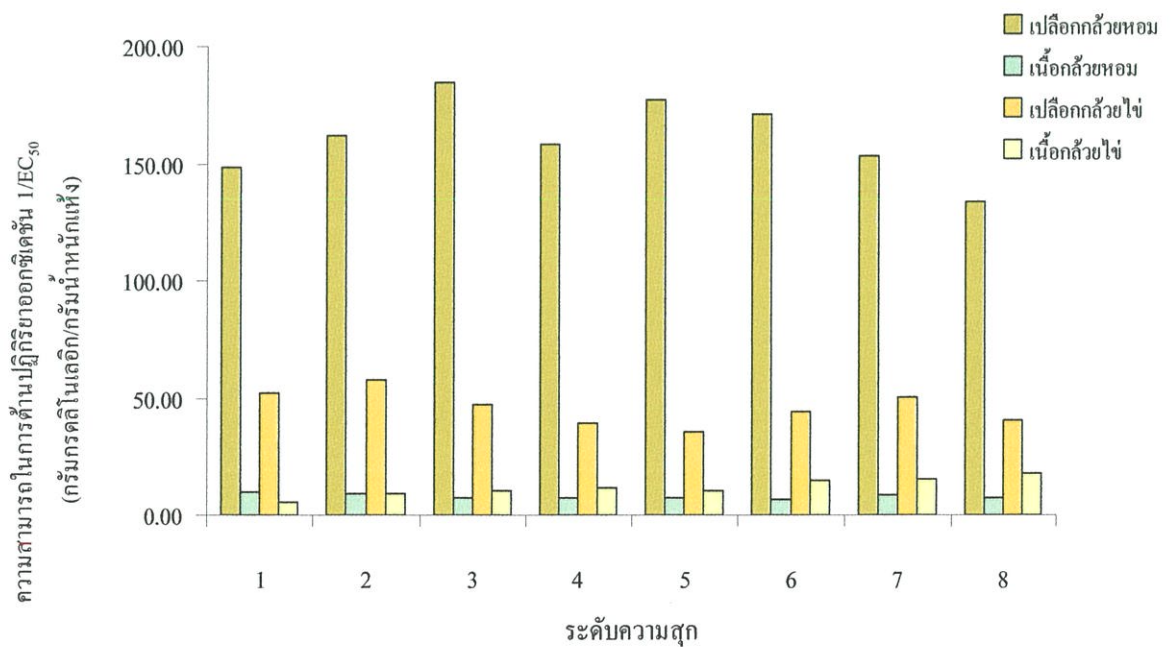
ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ได้จากการทดลองซ้ำ 2 บล็อก

^{a-f} ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันตามแนวตั้ง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

(P ≤ 0.05)



รูปที่ 4.7 ความสามารถในการดำเนินการด้านปฏิบัติการออกซิเดชัน โดยวิธี FTC ของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองและ กล้วยไข่โดยน้ำหนักสด ที่ระดับความสุกต่างๆ



รูปที่ 4.8 ความสามารถในการดำเนินการด้านปฏิบัติการออกซิเดชัน โดยวิธี FTC ของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่โดยน้ำหนักแห้ง ที่ระดับความสุกต่างๆ

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.7 และ 4.8 และรูปที่ 4.7 และ 4.8 จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของความสามารถในการต้านปฏิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC ของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองหรือกล้วยไข่ที่ระดับความสุกต่างกัน มีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH กล่าวคือเปลือกกล้วยหอมทองและกล้วยไข่มีความสามารถในการต้านปฏิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC สูงกว่าเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ที่ทุกระดับความสุก โดยเปลือกกล้วยหอมทองมีค่าความสามารถในการต้านปฏิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC ($1/EC_{50}$) อยู่ในช่วง 17.44 - 26.96 กรัมกรคลิโนเลอิก/กรัมน้ำหนักสด และ 133.92 - 184.41 กรัมกรคลิโนเลอิก/กรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งสูงกว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของเนื้อกล้วยหอมทองที่มีค่า $1/EC_{50}$ อยู่ในช่วง 1.72 - 2.41 กรัมกรคลิโนเลอิก/กรัมน้ำหนักสด และ 7.02 - 10.08 กรัมกรคลิโนเลอิก/กรัมน้ำหนักแห้ง เช่นเดียวกับเปลือกกล้วยไข่ที่มีค่าความสามารถในการต้านปฏิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC อยู่ในช่วง 7.66 - 12.51 กรัมกรคลิโนเลอิก/กรัมน้ำหนักสด และ 35.32 - 57.46 กรัมกรคลิโนเลอิก/กรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งสูงกว่าความสามารถในการต้านปฏิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC ของเนื้อกล้วยไข่ที่มีค่า $1/EC_{50}$ อยู่ในช่วง 1.52 - 4.67 กรัมกรคลิโนเลอิก/กรัมน้ำหนักสด และ 5.51 - 17.7 กรัมกรคลิโนเลอิก/กรัมน้ำหนักแห้ง นอกจากนี้เปลือกกล้วยหอมทองมีความสามารถในการต้านปฏิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC มากกว่าเปลือกกล้วยไข่ที่ทุกระดับความสุก ในขณะที่ความสามารถในการต้านปฏิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC ของเนื้อกล้วยไข่จะสูงกว่าเนื้อกล้วยหอมทองที่ทุกระดับความสุกเช่นเดียวกัน

เมื่อพิจารณาความสามารถในการต้านปฏิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC ในหน่วยน้ำหนักสด (รูปที่ 4.7) ของกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ที่ระดับความสุกต่างๆ พบว่าเมื่อระดับความสุกเพิ่มขึ้น ความสามารถในการต้านปฏิริยาออกซิเดชันของเปลือกกล้วยหอมทองและกล้วยไข่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สำหรับเนื้อกล้วยหอมทองค่าความสามารถในการต้านปฏิริยาออกซิเดชันค่อนข้างคงที่ ต่างจากกล้วยไข่ที่ความสามารถในการต้านปฏิริยาออกซิเดชัน FTC เพิ่มขึ้น เมื่อระยะความสุกเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาในหน่วยน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 4.8) จะเห็นได้ว่าเมื่อระดับความสุกเพิ่มขึ้น ความสามารถในการต้านปฏิริยาออกซิเดชันของเปลือกกล้วยหอมทองและกล้วยไข่มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ในขณะที่เนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่มีแนวโน้มเดียวกันกับการคำนวณในหน่วยน้ำหนักสด

จะเห็นได้ว่าความสามารถในการต้านปฏิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC ของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ มีความสัมพันธ์กับปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Jang และคณะ (2007) ที่ได้ศึกษาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลและความสามารถในการต้านปฏิริยาออกซิเดชันของพืช 3 ชนิดคือ อบเชย ขมิ้น และ โกลเด้น-เทรด (golden thread) พบว่าพืชตัวอย่างที่มีปริมาณโพลีฟีนอลสูง จะมีความสามารถในการต้าน

ปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC สูงด้วย เช่นเดียวกับการทดลองของ Kim ในปี 2005 พบว่า การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดลิโนเลอิกที่ไม่มีการเติมสารประกอบโพลีฟีนอล จะทำให้ปริมาณเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งแตกต่างจากตัวอย่างที่มีการเติมสารประกอบโพลีฟีนอลจะมีอัตราการเกิดเปอร์ออกไซด์ต่ำ โดย Wang และคณะ ในปี 2007 รายงานว่าสารประกอบโพลีฟีนอลมีประสิทธิภาพในการหยุดปฏิกิริยาสายโซ่ของอนุมูลอิสระ โดยการให้ฟีนอลิกไฮโดรเจน (phenolic hydrogen) กับอนุมูลอิสระเปอร์ออกไซด์ (lipid peroxy radical)

4.3.3 ความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)

จากการศึกษาความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ที่ความสูงต่างกัน ซึ่งมีหลักการคือ วัดปริมาณเปอร์ออกไซด์ที่เหลือ ซึ่งดูดกลืนแสงได้ที่ความยาวคลื่น 230 นาโนเมตร ในกรณีตัวอย่างสารสกัดที่มีฤทธิ์ในการทำลาย H_2O_2 ได้ดี จะทำให้ปริมาณ H_2O_2 ที่เหลือต่ำ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ก็จะต่ำเช่นเดียวกัน และเมื่อคำนวณความสามารถในการทำลาย H_2O_2 ในรูปของ $1/EC_{50}$ ซึ่งหมายถึงน้ำหนักรวมของตัวอย่างที่สามารถทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงได้ 50 เปอร์เซ็นต์ (กรัม H_2O_2 / มิลลิกรัมน้ำหนักสด และ กรัม H_2O_2 / มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง) ของกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ เปรียบเทียบกับวิตามินซี และ โทรอกซ์ ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.9 - 4.10 และรูปที่ 4.9 - 4.10

ตารางที่ 4.9 ความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองที่ระดับความสุกต่างกัน

ระดับความสุก	ความสามารถในการทำลาย H ₂ O ₂ ของเปลือกกล้วยหอมทอง		ความสามารถในการทำลาย H ₂ O ₂ ของเนื้อกล้วยหอมทอง	
	1/EC ₅₀		1/EC ₅₀	
	(×10 ⁻³) กรัม H ₂ O ₂ / มิลลิกรัม น้ำหนักสด	(×10 ⁻³) กรัม H ₂ O ₂ / มิลลิกรัม น้ำหนักแห้ง	(×10 ⁻³) กรัม H ₂ O ₂ / มิลลิกรัม น้ำหนักสด	(×10 ⁻³) กรัม H ₂ O ₂ / มิลลิกรัม น้ำหนักแห้ง
1	15.18 ± 1.55 ^c	129.09 ± 25.00 ^c	2.90 ± 0.85 ^c	11.58 ± 2.10 ^c
2	15.83 ± 2.03 ^c	125.24 ± 28.83 ^{ab}	3.65 ± 0.81 ^{cd}	15.57 ± 5.03 ^{cd}
3	15.12 ± 2.60 ^c	113.71 ± 28.97 ^c	3.17 ± 0.30 ^{dc}	13.06 ± 2.12 ^{dc}
4	16.21 ± 2.12 ^c	113.32 ± 30.23 ^c	3.74 ± 0.08 ^{cd}	14.71 ± 1.14 ^{cd}
5	16.32 ± 1.59 ^c	109.70 ± 24.29 ^c	4.10 ± 0.66 ^c	16.87 ± 1.31 ^c
6	17.75 ± 0.82 ^b	114.79 ± 16.61 ^{bc}	5.38 ± 0.04 ^b	21.84 ± 1.76 ^b
7	18.18 ± 1.91 ^b	104.87 ± 13.69 ^c	6.12 ± 0.53 ^a	24.95 ± 0.85 ^a
8	20.40 ± 0.84 ^a	107.17 ± 4.45 ^c	5.15 ± 0.78 ^b	21.80 ± 0.75 ^b
วิตามินซี	735.62 ± 2.85 (×10 ⁻³) กรัม H ₂ O ₂ / มิลลิกรัมวิตามินซี			
โทรอกซ์	1,626.25 ± 4.45 (×10 ⁻³) กรัม H ₂ O ₂ / มิลลิกรัมโทรอกซ์			

หมายเหตุ

ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ได้จากการทดลองซ้ำ 2 บล็อก

^{a-c} ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันตามแนวตั้ง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

(P ≤ 0.05)

ตารางที่ 4.10 ความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ของเปลือกและเนื้อกล้วยไข่ที่ระดับความสุกต่างกัน

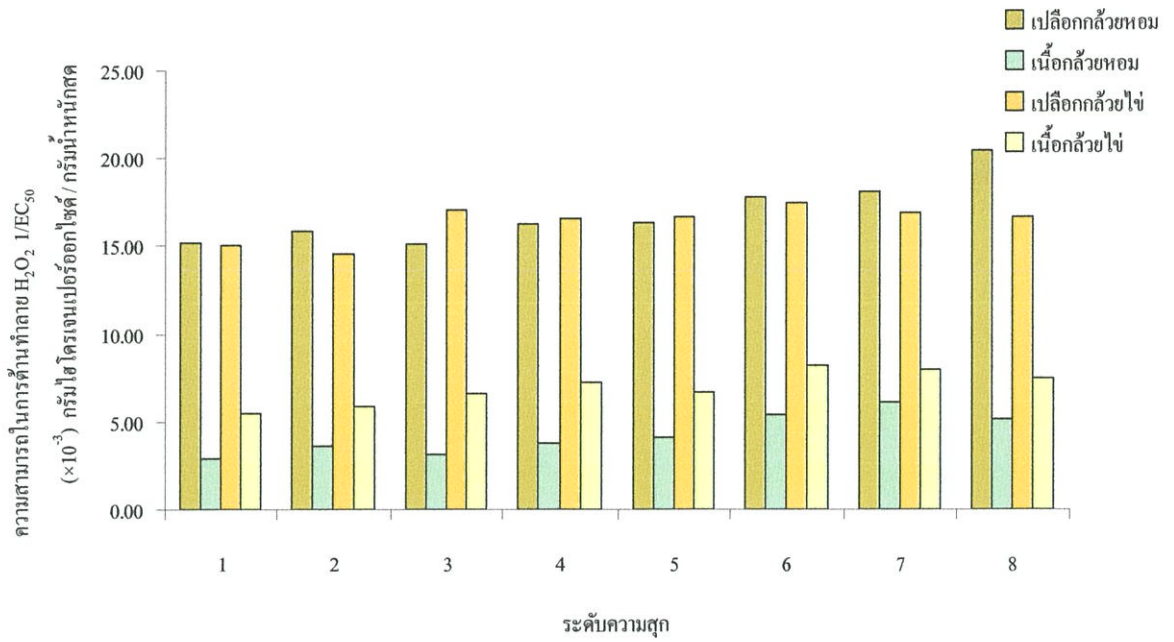
ระดับความสุก	ความสามารถในการทำลาย H ₂ O ₂ ของเปลือกกล้วยไข่		ความสามารถในการทำลาย H ₂ O ₂ ของเนื้อกล้วยไข่	
	1/EC ₅₀		1/EC ₅₀	
	(×10 ⁻³) กรัม H ₂ O ₂ / มิลลิกรัมน้ำหนักสด	(×10 ⁻³) กรัม H ₂ O ₂ / มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง	(×10 ⁻³) กรัม H ₂ O ₂ / มิลลิกรัมน้ำหนักสด	(×10 ⁻³) กรัม H ₂ O ₂ / มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง
1	15.04 ± 2.09 ^b	101.92 ± 15.13 ^a	5.50 ± 0.73 ^c	19.95 ± 2.27 ^f
2	14.51 ± 2.36 ^b	86.26 ± 16.83 ^b	5.90 ± 0.36 ^d	22.04 ± 0.87 ^c
3	17.02 ± 2.30 ^a	95.30 ± 13.61 ^a	6.62 ± 0.04 ^c	24.74 ± 0.63 ^d
4	16.56 ± 1.39 ^a	83.58 ± 3.80 ^b	7.23 ± 0.43 ^b	27.47 ± 1.17 ^c
5	16.64 ± 3.42 ^a	73.21 ± 17.19 ^c	6.67 ± 0.28 ^c	24.59 ± 0.53 ^d
6	17.47 ± 5.01 ^a	73.02 ± 24.94 ^c	8.17 ± 0.35 ^a	30.59 ± 0.76 ^a
7	16.89 ± 3.99 ^a	69.19 ± 21.34 ^c	7.93 ± 0.51 ^a	29.39 ± 0.88 ^b
8	16.60 ± 2.81 ^a	57.10 ± 7.52 ^d	7.52 ± 0.09 ^b	28.52 ± 0.79 ^{bc}
วิตามินซี	735.62 ± 2.85 (×10 ⁻³) กรัม H ₂ O ₂ / มิลลิกรัมวิตามินซี			
โทรอกซ์	1,626.25 ± 4.45 (×10 ⁻³) กรัม H ₂ O ₂ / มิลลิกรัมโทรอกซ์			

หมายเหตุ

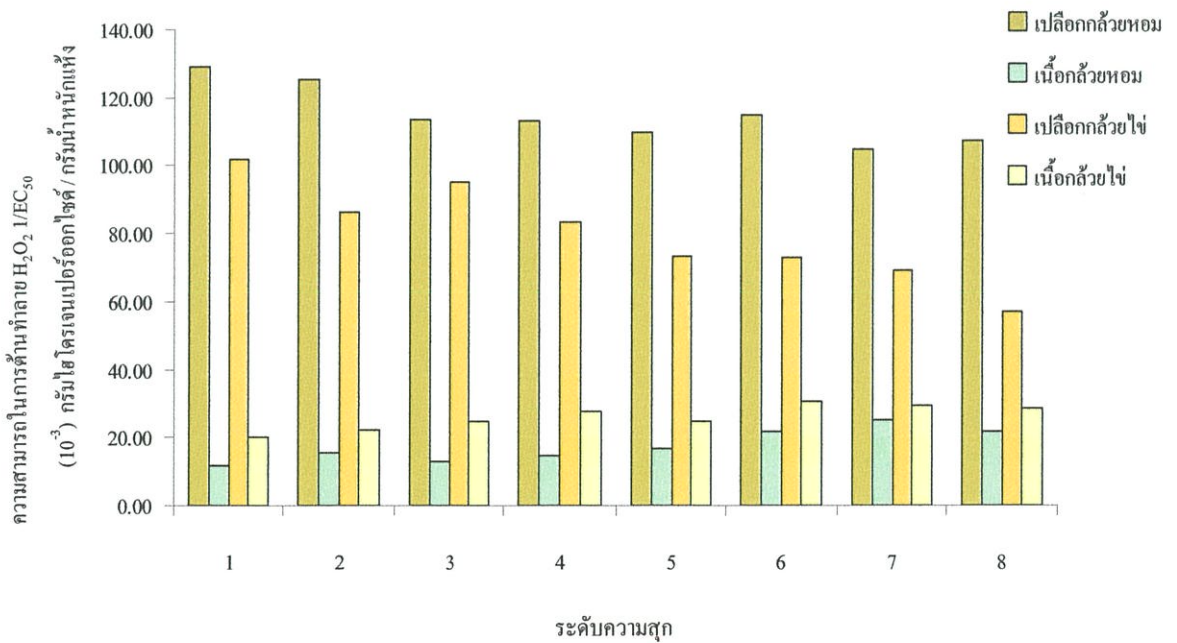
ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ได้จากการทดลองซ้ำ 2 บล็อก

^{a-f} ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันตามแนวตั้ง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

(P ≤ 0.05)



รูปที่ 4.9 ความสามารถในการทำลาย H_2O_2 ของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่โดยน้ำหนักสดที่ระดับความสดต่างๆ

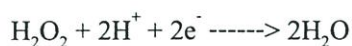


รูปที่ 4.10 ความสามารถในการทำลาย H_2O_2 ของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่โดยน้ำหนักแห้ง ที่ระดับความสดต่างๆ

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.9 และ 4.10 และรูปที่ 4.9 และ 4.10 จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของความสามารถในการทำลาย H_2O_2 ของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองหรือกล้วยไข่ที่ระดับความสุกต่างกัน โดยภาพรวมมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC กล่าวคือเปลือกกล้วยหอมทองและกล้วยไข่มีความสามารถในการทำลาย H_2O_2 สูงกว่าเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ที่ทุกระดับความสุก โดยเปลือกกล้วยหอมทองมีค่าความสามารถในการทำลาย H_2O_2 ($1/EC_{50}$) อยู่ในช่วง 15.12 – 20.40 ($\times 10^{-3}$) กรัม H_2O_2 /กรัม น้ำหนักสด และ 104.87 – 129.09 ($\times 10^{-3}$) กรัม H_2O_2 /กรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งสูงกว่าความสามารถในการทำลาย H_2O_2 ของเนื้อกล้วยหอมทองที่มีค่า $1/EC_{50}$ อยู่ในช่วง 2.90 – 6.12 ($\times 10^{-3}$) กรัม H_2O_2 /กรัม น้ำหนักสด และ 11.58 – 24.95 ($\times 10^{-3}$) กรัม H_2O_2 /กรัม น้ำหนักแห้ง เช่นเดียวกับเปลือกกล้วยไข่ที่มีค่าความสามารถในการทำลาย H_2O_2 อยู่ในช่วง 14.51 – 17.47 ($\times 10^{-3}$) กรัม H_2O_2 /กรัม น้ำหนักสด และ 57.10 – 101.92 ($\times 10^{-3}$) กรัม H_2O_2 /กรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งสูงกว่าความสามารถในการทำลาย H_2O_2 ของเนื้อกล้วยไข่ที่มีค่า $1/EC_{50}$ อยู่ในช่วง 5.50 – 8.17 ($\times 10^{-3}$) กรัม H_2O_2 /กรัม น้ำหนักสด และ 19.95 – 30.59 ($\times 10^{-3}$) กรัม H_2O_2 /กรัม น้ำหนักแห้ง โดยเปลือกกล้วยหอมทองมีความสามารถในการทำลาย H_2O_2 ใกล้เคียงกับเปลือกกล้วยไข่ที่ทุกระดับความสุก ในขณะที่ความสามารถในการทำลาย H_2O_2 ของเนื้อกล้วยไข่จะสูงกว่าเนื้อกล้วยหอมทอง ที่ทุกระดับความสุก

เมื่อพิจารณาความสามารถในการทำลาย H_2O_2 ในหน่วยน้ำหนักสด (รูปที่ 4.9) ของกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ที่ระดับความสุกต่างๆ พบว่าเมื่อระดับความสุกเพิ่มขึ้น ความสามารถในการทำลาย H_2O_2 ของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อพิจารณาในหน่วยน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 4.10) จะเห็นได้ว่าที่ระดับความสุกเพิ่มขึ้น ความสามารถในการทำลาย H_2O_2 ของเปลือกกล้วยหอมทองและกล้วยไข่มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่เนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่มีแนวโน้มเดียวกันกับการคำนวณในหน่วยน้ำหนักสด

ผลการทดลองดังกล่าวข้างต้น สอดคล้องกับการทดลองของ Wang และ Ballington ในปี 2007 ที่ศึกษาความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระของ deerberry 3 สายพันธุ์ คือ B-37 B-59 และ SHF-3A พบว่าสายพันธุ์ B-37 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด รองลงมาคือ SHF-3A และ B-59 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการทำลาย H_2O_2 กล่าวคือสายพันธุ์ B-37 มีความสามารถสูงสุด รองลงมาคือ SHF-3A และ B-59 ตามลำดับ ซึ่ง Wang และคณะ (2007) ได้อธิบายว่าความสามารถในการทำลาย H_2O_2 อาจมาจากสมบัติของสารประกอบฟีนอลิก ที่สามารถให้อิเล็กตรอนกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เกิดเป็นน้ำ ดังสมการต่อไปนี้



เมื่อเปรียบเทียบค่า $1/\text{EC}_{50}$ ของความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยวิธีต่างๆ พบว่าเปลือกหรือเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ตัวอย่างเดียวกัน มีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC ได้ดีที่สุด รองลงมาคือ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการทำลาย H_2O_2 ตามลำดับ สำหรับวิตามินซีพบว่ามีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุด ในขณะที่โทรอกซ์มีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC และความสามารถในการทำลาย H_2O_2 ได้ดีใกล้เคียงกัน

จากผลการทดลองที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้น และ ผลการทดลองของ Kanasawa และ Sakakibura (2000) รวมทั้งผลการทดลองของ Someya และคณะ (2002) พบว่ามีความสอดคล้องกัน กล่าวคือปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในเปลือกกล้วยจะมีปริมาณสูงกว่าในเนื้อกล้วย ดังนั้นเปลือกกล้วยจึงมีแนวโน้มของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าเนื้อกล้วย ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการทดลองวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ และการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในรูปแบบต่างๆ ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 - 4.10 โดยจะเห็นได้ชัดเจนว่า ในแต่ละระดับความสุกของกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ เปลือกกล้วยจะมีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ และการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงกว่าเนื้อกล้วยเสมอ นอกจากนี้ Someya และคณะ (2002) ได้รายงานผลการศึกษาการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ด้วยวิธี FTC โดยพบว่า เปลือกกล้วยหอมซึ่งมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงกว่าเนื้อกล้วยหอม จะมีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงกว่าเนื้อกล้วยหอมถึง 2.2 เท่า

นอกจากนี้จะสังเกตเห็นได้ว่าความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ และการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในรูปแบบต่างๆ ของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ที่ศึกษา ไม่น่าจะมีผลมาจากวิตามินซีที่เป็นองค์ประกอบในเนื้อและเปลือกกล้วย เนื่องจากโดยทั่วไปในเนื้อกล้วยน้ำว้าจะมีวิตามินซี 11 มิลลิกรัมต่อเนื้อกล้วย 100 กรัม สูงกว่าในเปลือกกล้วย (เอกสารกองโภชนาการ, 2535) แต่ผลการทดลอง พบว่าเนื้อกล้วยที่ทุกระดับความสุก กลับมีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระและการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในรูปแบบต่างๆ ต่ำกว่าเปลือกกล้วย ดังนั้นความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ และการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ที่วิเคราะห์ได้ จึงน่าจะมีผลมาจากสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดที่มีอยู่ในเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ที่ถูกสกัดออกมาในสภาวะที่ใช้ในการสกัด ซึ่งมีงานวิจัยที่สนับสนุนคือ Kondo และคณะในปี 2005 พบว่าความสามารถในการทำลาย O_2^- ในพืชเกี่ยวข้องกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด กล่าวคือในตัวอย่างเปลือกและเนื้อมะละกอมีความสามารถในการทำลาย O_2^- และปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดไม่แตกต่างกัน แม้ว่าปริมาณกรดแอสคอบิกในเปลือกจะสูง

กว่าในเนื้อมะละกอ และยังพบว่าความสามารถในการทำลาย O_2^- ในมะม่วงและกล้วยไม่เกี่ยวข้องกับ ความเข้มข้นของกรดแอสคอบิก แต่เป็นผลมาจากความเข้มข้นของสารประกอบ โพลีฟีนอล

นอกจากนี้ในปี 2004 Marterska และ Perucka ได้ศึกษาถึงผลของการสุก (maturity) ต่อการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบ โพลีฟีนอลในพริก (hot peper) พบว่าเมื่อระยะสุกเพิ่มขึ้น กรดเฟอรูลิกจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นด้วย (เพิ่มจาก 10.31 เป็น 53.42 มิลลิกรัม / กิโลกรัมน้ำหนักสด)

จากผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยที่กล่าวมาทั้งหมดนี้รวมทั้งผลการทดลองในตารางที่ 4.3-4.10 แสดงให้เห็นว่าโดยทั่วไปเปลือกของผลไม้จะมีองค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกใน ปริมาณสูงกว่าส่วนของเนื้อผลไม้ จึงส่งผลให้เปลือกผลไม้มีประสิทธิภาพในการทำลายอนุมูลอิสระสูง และยังพบว่าสายพันธุ์ และระดับความสุกมีผลต่อปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมด และความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดกับความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน

จากการนำข้อมูลที่ได้จากผลการทดลองทั้งหมดมาศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดกับความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้ง 3 วิธีที่ศึกษา โดยสร้างกราฟความสัมพันธ์ของสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในแกน x และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี Ferric thiocyanate colorimetric method (FTC) หรือความสามารถในการทำลาย H_2O_2 ในแกน y (ดูรายละเอียดของกราฟในภาคผนวก ข) จากนั้นคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) ผลแสดงดัง ตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดกับความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของกล้วยหอมทองและกล้วยไข่

ชนิดของกล้วย	ส่วนของกล้วย	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) ระหว่างปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดกับความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันวิธีต่างกัน		
		DPPH	FTC	H ₂ O ₂
กล้วยหอมทอง	เปลือกน้ำหนัสด	0.8581	0.8595	0.8528
	เปลือกน้ำหนักแห้ง	0.1783	0.7948	0.1145
	เนื้อน้ำหนัสด	0.9615	0.4303	-0.5454
	เนื้อน้ำหนักแห้ง	0.9722	0.5603	-0.5517
กล้วยไข่	เปลือกน้ำหนัสด	0.6286	0.7644	0.5279
	เปลือกน้ำหนักแห้ง	0.8646	0.5712	0.5814
	เนื้อน้ำหนัสด	0.9886	0.9729	0.8377
	เนื้อน้ำหนักแห้ง	0.9880	0.9727	0.8414

จากตารางที่ 4.11 เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดกับความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันแต่ละวิธี ของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่โดยน้ำหนัสดและน้ำหนักแห้ง พบว่าโดยภาพรวมสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC และความสามารถในการทำลาย H₂O₂ ในลักษณะแปรผันตาม กล่าวคือตัวอย่างกล้วยที่มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดสูง ก็จะมีสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้ง 3 วิธีสูงด้วย ยกเว้นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการทำลาย H₂O₂ ของเปลือกกล้วยหอมทองโดยน้ำหนักแห้ง ที่พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ต่ำ คือมีค่า $r = 0.1783$ และ $r = 0.1145$ ตามลำดับ เนื่องจากค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และค่าความสามารถในการทำลาย H₂O₂ ของเปลือกกล้วยหอมทองโดยน้ำหนักแห้งมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่เมื่อปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าเนื้อกล้วยหอมทองในหน่วยน้ำหนัสดและน้ำหนักแห้ง มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดกับความสามารถในการทำลาย H₂O₂ เป็นลบ แสดงว่าค่า

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าทั้งสองดังกล่าวมีแนวโน้มแปรผกผันกัน ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวยังไม่ทราบเหตุผลที่แน่ชัด อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดกับความสามารถในการทำลาย H_2O_2 ของเนื้อกล้วยไข่ทั้งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง จะเห็นว่ามีความสัมพันธ์ในลักษณะแปรผันตามกัน และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงกว่ามาก

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพของเนื้อกล้วยหอมทอง [*Musa* (AAA group) cv. Kluai Hom Thong] และกล้วยไข่ [*Musa* (AA group) cv. Kluai Khai] และการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกกล้วยทั้งสองชนิดที่ระดับความสุก 8 ระดับ พบว่าเมื่อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่มีระดับความสุกเพิ่มขึ้น ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในรูปของกลูโคสมีค่าเพิ่มขึ้น โดยปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในทุกระดับความสุก กล้วยไข่จะมีค่าสูงกว่ากล้วยหอมทอง อย่างไรก็ตามปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ จะเพิ่มขึ้นมากในระยะความสุกที่ 1 - 4 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อระดับความสุกตั้งแต่ระดับที่ 5 เป็นต้นไป โดยมีค่าอยู่ในช่วง 5.33 - 23.37 องศาบริกซ์ สำหรับกล้วยหอมทอง และ 8.93 - 28.53 องศาบริกซ์ สำหรับกล้วยไข่ สำหรับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในกล้วยหอมทองมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.38 เป็น 9.39 กรัม/น้ำหนักกล้วย 100 กรัม เช่นเดียวกับกล้วยไข่ที่มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นจาก 0.99 เป็น 9.29 กรัม/น้ำหนักกล้วย 100 กรัม ในขณะที่ปริมาณกรดทั้งหมดของกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ที่ระดับความสุกที่ 1-4 จะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.13 เป็น 0.32 เปอร์เซ็นต์ และ 0.22 เป็น 0.50 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับความสุกตั้งแต่ระดับที่ 5 เป็นต้นไป ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชของกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ กล่าวคือค่าพีเอชจะลดลงต่ำสุดที่ระดับความสุกที่ 4 จากนั้นพีเอชจะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงระดับความสุกที่ 5 - 8 สำหรับการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกกล้วย พบว่าเมื่อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่สุกเพิ่มขึ้น สีของเปลือกกล้วยมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น และการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกจะลดลงที่ระดับความสุกที่ 7 - 8

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด ในเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ พบว่าที่ระดับความสุกต่างกันจะมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดแตกต่างกัน โดยพบว่า เปลือกกล้วยหอมทองและกล้วยไข่มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด ทั้งโดยน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งสูงกว่าเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ที่ทุกระดับความสุก โดยเปลือกกล้วยหอมทองมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดอยู่ในช่วง 38.97 - 63.20 มิลลิกรัมกรดแกลลิก / 10 กรัม น้ำหนักสด และ 330.37 - 385.86 มิลลิกรัมกรดแกลลิก / 10 กรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งสูงกว่าเนื้อกล้วยหอมทองที่มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดอยู่ในช่วง 4.71 - 6.36 มิลลิกรัมกรดแกลลิก / 10 กรัม น้ำหนักสด และ 20.56 - 27.83 มิลลิกรัมกรดแกลลิก / 10 กรัม น้ำหนักแห้ง เช่นเดียวกับเปลือกกล้วยไข่ที่มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดอยู่ในช่วง 28.50 - 46.48 มิลลิกรัมกรดแกลลิก / 10 กรัม น้ำหนักสด และ 145.95 - 193.34 มิลลิกรัมกรด

แกลลิก / 10 กรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งสูงกว่าเนื้อกล้วยไข่ที่มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดอยู่ในช่วง 6.38 – 22.26 มิลลิกรัมกรดแกลลิก / 10 กรัม น้ำหนักสด และ 23.20 – 84.59 มิลลิกรัมกรดแกลลิก / 10 กรัม น้ำหนักแห้ง และยังพบว่าเปลือกกล้วยหอมทองมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงกว่าเปลือกกล้วยไข่ที่ทุกระดับความสุก ในขณะที่เนื้อกล้วยไข่ที่มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงกว่าเนื้อกล้วยหอมที่ทุกระดับความสุก

เมื่อวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี Ferric thiocyanate colorimetric method (FTC) และความสามารถในการทำลาย H_2O_2 ของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ที่ระดับความสุกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับ วิตามินซี โทรอกซ์ และ BHT (butylated hydroxytoluene) พบว่าวิตามินซีมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุด รองลงมาคือโทรอกซ์ แต่พบว่าเปลือกกล้วยหอมทองที่ทุกระดับความสุก และเปลือกกล้วยไข่ในบางระดับความสุกพบว่ามีสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่า BHT ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ โทรอกซ์มีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC และความสามารถในการทำลายอนุมูล H_2O_2 ได้สูงที่สุด สำหรับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ความสามารถในการทำลาย H_2O_2 และความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ของสารสกัดจากเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่มีความสอดคล้องกับปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด โดยเปลือกกล้วยไข่มีความสามารถสูงกว่าเนื้อกล้วยในทุกระดับความสุก นอกจากนี้ ตัวอย่างเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองหรือกล้วยไข่ วิตามินซี โทรอกซ์ และ BHT จะมีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระและการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันแตกต่างกันในแต่ละวิธี

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดกับความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันวิธีต่างกันของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองและกล้วยไข่โดยน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง พบว่าสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในกล้วยทั้งสองชนิดมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยวิธี FTC และความสามารถในการทำลาย H_2O_2

บรรณานุกรม

- ชวลีกร สิ้นทรัพย์. 2549. ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกและเนื้อกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่างกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ.
- นิทรภาพ รุจนวิศาล. 2542. สารปรับสมดุลจากธรรมชาติ สารต้านอนุมูลอิสระ .ใน *กันแก่ แก้วป่วย ด้วยสารต้านอนุมูลอิสระตัวเก่ง*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ ฯ : สำนักพิมพ์รวมธรรมศน์. 9-29.
- ธวัชชัย รัตน์เลิศ และศิวพร ธรรมดี. 2542. คู่มือเลือกพันธุ์สำหรับผู้ปลูกพันธุ์กล้วยผลการค้าในประเทศไทย. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ ฯ : สำนักพิมพ์วิเวก. 293 หน้า.
- เบญจมาศ ศิลาชัย. 2538. *กล้วย*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ ฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 357 หน้า.
- ประพันธ์ ปิ่นศิริโรคม และวันทนี ช้างน้อย. 2545. การเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและศักยภาพการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเมล็ดพืชตระกูลส้มสายพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกในประเทศไทย. *อาหาร*. 32 : 300-307.
- วัลยา เนาวรัตน์วัฒนา และพัชรี บุญศิริ. 2542. โปรออกซิแดนซ์ : อีกโฉมหน้าของแอนติออกซิแดนซ์. *วารสารวิทยาศาสตร์*. 53 : 196-198.
- วิวัฒน์ หวังเจริญ. 2545. บทบาทของสารประกอบฟีนอลต่อสุขภาพ. *อาหาร*. 32: 245-253.
- เอกสารกองโภชนาการ. 2535. *คุณค่าทางโภชนาการของกล้วยพันธุ์ต่างๆ*. กรุงเทพฯ ฯ : กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.
- AOAC. 2000. Office Method of Analysis of the Association of Official Chemists. 17th ed. Arlington, Virginia, USA.
- Antonio, J.E., Mariela, R.P., Fulgencio, S.C. 2001. Guava fruit (*Psidium guajava* L.) as a new source of antioxidant dietary fiber. *J. Agric. Food Chem.* 49: 5489-5493.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., C., Berset. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *J. Food Sci. Tech.* 28: 25-30.
- Bravo, L. 1998. Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism and nutritional significance. *Nutr. Rev.* 56: 317-333.
- Camm, E.C., Towers, G.H.N., 1973. Phenylalanine ammonia lyase. *Phytochem.* 12: 961-973.
- Chism, G.W., Haard, N.F. 1996. Characteristics of edible plant tissues. *In Food Chem.* 3rd ed.

- (Fennema O.R., ed). New York: Marcel Dekker, Inc. 943-1011.
- Chitra, T., Saichol, K., Wouter, G.V.D. 2006. Temperature effects on peel spotting in “Sucrier” banana Fruit. *Post. Bio. Tech.* 39: 285-290.
- Cordenunsi, B.R., Lajolo, F.M. 1995. Starch breakdown during banana ripening: sucrose phosphatase synthase. *J.Agric. Food Chem.* 43: 347-351.
- Forsyth, W. G. C. 1980. Banana and plantain. *In Tropical and subtropical fruits* . 258–278. Westport: AVI Publishing.
- Frankel, E.N., Meyer, A.S.2000. The problems of using one-dimensional methods to evaluate multifunction food and biological antioxidants. *J.Sci.Food Agric.* 80: 1925-1941.
- Gorinstein, S., Zemser, M., Haruenkit, R., Chuthakorn, R., Grauer, F., Martin-Belloso, O., Trakhtenberg, S. 1999. Comparative content of total polyphenols and dietary fiber in tropical fruits and persimmon. *J. Nutr. Biochem.* 10: 367-371.
- Hubbard, N. L., Pharr, D. M., Huber, S. C. 1990. Role of sucrose phosphate synthase in sucrose biosynthesis in ripening bananas and its relationship to the respiratory climacteric. *Plant Physio.* 94: 201–208.
- Jang, H.D., Chang, K.S., Huang, Y.S., Hsu, C.L., Lee, S.H., Su, C.L. 2007. Principal phenolic phytochemicals and antioxidant activities of three Chinese medicinal plants. *Food Chem.* 103: 749-756.
- Jayaprakasha, G.K., Patil, B. S. 2007. In vitro evaluation of the antioxidant activities in fruit extracts from citron and blood orange. *Food Chem.* 101: 410-418.
- Kanazawa, K., Sakakibara, H. 2000. High content of dopamine, a strong antioxidant, in Cavendish banana. *J.Agric. Food Chem.* 48: 844-848.
- Kim, S.K. 2005. Radical scavenging capacity and antioxidant activity of the E vitamers fraction in rice bran. *J. Food Sci.* 70: 208-213.
- Kondo, S., Kittikorn, M., Kanlayanarat, S. 2005. Preharvest antioxidant activities of tropical fruit and the effect of low temperature storage on antioxidants and jasmonates. *Post. Bio. Tech.* 36: 309-318.
- Larrauri, J.A., Ruperez, P., Saura-Calixto, F. 1997. Mango peel fibers with antioxidant activity. *Lebensm unters Forsch A.* 205: 39-42.
- Marriot, J. 1980. Bananas – physiology and biochemistry of storage and ripening for optimum quality. *Critl.l Rev. Food Sci. Nutr.* 41–88.
- Materska, M., Perucka, L. 2004. Changes in ferulic and sinapic acid esters and quercetin

- rhamnoside contents in the selected hot pepper cultivars as influenced by maturity. *Acta Scientiarum Poloniarum-Technologia Alimentaria*. 3: 77-82.
- Mokbel, M.S., Hashinaga, F. 2005. Antibacterial and antioxidant activities of banana (*Musa*, AAA cv. Cavendish) fruits peel. *Am. J. Biochem. Biotech.* 3: 126-132.
- Mota, R.V., Lajolo, F.M., Cordenunsi, B.R. 1997. Compasicaoem carbohidratos de alguns cultivares de banana (*Musa spp.*) durante o amadurecimento. *Clencia Tecnologia de Alimentos*. 17(2): 94-97.
- Murakami, M., Yamaguchi, T., Takamura, H., Motaba, T. 2004. Effects of thermal treatment on radical-scavenging activity of single and mixed polyphenolic compounds. *J. Food Sci.* 69(1): FCT7-FCT10.
- Murcia, M.A., Jimenez, A.M., Martinez-Tome, M. 2001. Evaluation of the antioxidant properties of Mediterranean tropical fruits compared with common food additives. *J. Food Prot.* 64: 2037-2046.
- Peter, G.W., Simon, M. 1994. *Analysis of phenolic plant metabolizes*. London : Black Well Scientific.
- Someya, S., Yoshiki, Y., Okubo, K. 2002. Antioxidant compounds from bananas (*Musa Cavendish*). *Food Chem.* 79: 351-354.
- Terra, N. N., Garcia, E., Lajolo, F. M. 1983. Starch–sugar transformation during banana ripening: The behavior of UDP glucose pyrophosphorylase, sucrose synthetase and invertase. *J. Food Sci.* 48: 1097–1100.
- Valentoa, P., Fernandes, E., Carvalho, F., Andrade, P.B., Seabra, R.M., Bastos, M.L. 2002. Antioxidative properties of Cardoon (*Cynara cardunculus* L.) infusion against superoxide radical, hydroxyl radical, and hypochlorous acid. *J. Agric. Food Chem.* 50: 4989-4993.
- Vinson, J.A., Su, X., Zubik, L., Bose, P. 2001. Phenol antioxidant quantity and quality in foods: fruits. *J. Agric. Food Chem.* 49: 5315-5321.
- Wang, S.Y., Ballington, J.R. 2007. Free radical scavenging capacity and antioxidant enzyme activity in deerberry (*Vaccinium stamineum* L.). *Swiss Soc. Food Sci. Tech.* 40: 1352-1356.
- Wang, J., Yuan, X., Jin, Z., Tian, Y., Song, H. 2007. Free radical and reactive oxygen species scavenging activities of peanut skins extract. *Food Chem.* 104: 242-250.
- Yen, G.C., Chen, A.Y. 1995. Antioxidant activity of various tea extracts in relation to their antimutagenicity. *J. Agric. Food Chem.* 43: 27-37.

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกกล้วยหอมทองและกล้วยไข่ ที่ระดับความสุกต่างกัน

1) อุปกรณ์

1.1 เครื่องวัดสี (Minolta color meter)

2) วิธีการทดลอง

2.1 นำกล้วยหอมทองหรือกล้วยไข่ ที่ระดับความสุกต่างๆ มาวัดด้วยเครื่องวัดสีที่จุดต่างๆ ทั้งผล 10 จุด และบันทึกผล

2.2 คำนวณการเปลี่ยนแปลงของสี เมื่อระดับความสุกเปลี่ยนแปลงไปโดยให้ค่าสี ที่ระดับความสุกที่ 1 เป็นสีที่อ้างอิงในการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น แล้วคำนวณตามสมการ

$$\Delta E = \sqrt{(L_1 - L_i)^2 + (a_1 - a_i)^2 + (b_1 - b_i)^2}$$

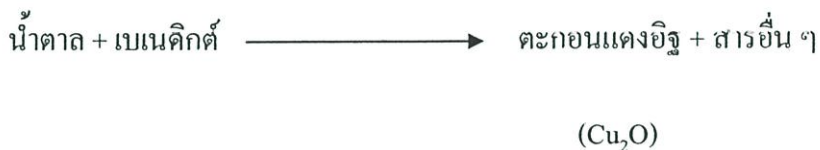
โดยที่ L_1 , a_1 และ b_1 หมายถึง L^* , a^* และ b^* ที่ระดับความสุกที่ 1

L_i , a_i และ b_i หมายถึง L^* , a^* และ b^* ที่ระดับความสุกใดๆ

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซ์

วิธีทดสอบน้ำตาลรีดิวซ์ ที่มีหมู่ฟอร์มิล (-C-H) หรือหมู่แอลฟา - ไฮดรอกซีคีโตน (-C-CH-) เช่น กลูโคส มอลโตสและแลคโตส เป็นต้น โดยสารละลายเบนเดคิตต์จะทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดส์ ดังสมการ



โดยน้ำตาลโมเลกุลเล็กและโมเลกุลใหญ่บางชนิดเกิดปฏิกิริยาสารละลายเบนเดคิตต์ ซึ่งมีสีฟ้าประกอบด้วย คอปเปอร์ (II) ซัลเฟต โซเดียมคาร์บอเนต และโซเดียมซิติเรตผสมกันอยู่ จะได้ตะกอนสีแดงอิฐของ Cu₂O (Copper (I) Oxide)

1) อุปกรณ์

- 1.1 เครื่อง spectrophotometer
- 1.2 water bath
- 1.3 หลอดทดลอง
- 1.4 hot plate

2) สารเคมี

- 2.1 กรด 3,5-ไดไนโตรซาลิไซลิก (3,5-dinitrosalicylic acid)
- 2.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH)
- 2.3 โพแทสเซียม โซเดียมทาร์เทรท (Potassium sodium tartrate)

3) การเตรียม DNS reagent

- 3.1 ตวงน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตรลงในบีกเกอร์
- 3.2 เติม โซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 กรัม และใช้แท่งแก้วคนให้ละลาย
- 3.3 เติม โพแทสเซียม โซเดียมทาร์เทรท 75 กรัม คนให้ละลาย
- 3.4 เติม กรด 3,5-ไดไนโตรซาลิไซลิก 0.25 กรัม คนให้ละลาย
- 3.5 เทสารละลายลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

4) การเตรียมสารสกัดตัวอย่าง (AOAC, 2000)

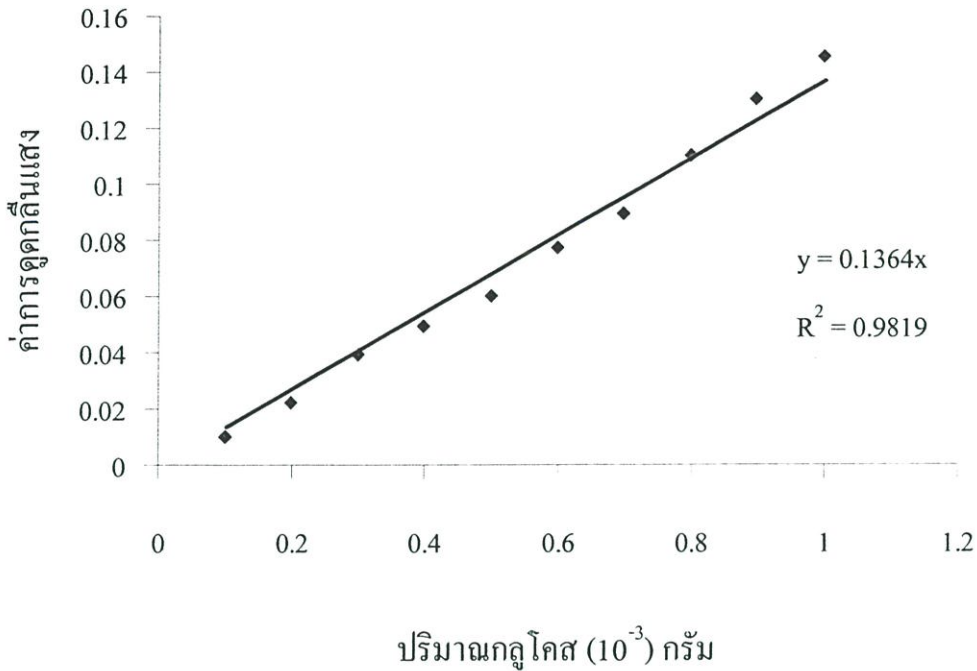
- 4.1 ชั่งตัวอย่างมา 37.5 กรัม นำไปปั่นกับน้ำกลั่นปริมาณ 200 มิลลิลิตร ด้วยเครื่องปั่นนาน 1 นาที ต้มเดือดบน hot plate เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อเย็นเทลงในขวดปรับปริมาตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 250 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น
- 4.2 นำสารละลายที่ได้ไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 4

5) วิธีวิเคราะห์

- 5.3 ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 0.4 มิลลิลิตร และสารละลาย DNS 4 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง
- 5.5 ต้มในอ่างน้ำเดือดนาน 5 นาที
- 5.6 หลังจากครบกำหนดเวลา ทำให้เย็นลงทันที โดยแช่ในอ่างน้ำเย็น
- 5.7 เติมน้ำกลั่นลงในหลอดทดลองอีกหลอดละ 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
- 5.8 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 570 นาโนเมตร
- 5.9 บันทึกผลการทดลอง

6) การเตรียมกราฟมาตรฐาน

- 6.1 ปิเปตสารละลายมาตรฐานกลูโคส 0.1 – 1.0 มิลลิลิตร (ความเข้มข้น 1 กรัม / 1 ลิตร) ลงในหลอดทดลองปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1 มิลลิลิตร
- 6.2 ปิเปตสารละลาย DNS 4 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง
- 6.3 ต้มในอ่างน้ำเดือดนาน 5 นาที
- 6.4 หลังจากครบกำหนดเวลา ทำให้เย็นลงทันที โดยแช่ในอ่างน้ำเย็น
- 6.5 เติมน้ำกลั่นลงในหลอดทดลองอีกหลอดละ 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
- 6.6 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 570 นาโนเมตร
- 6.7 บันทึกผลการทดลอง



รูปที่ ข 1 กราฟมาตรฐานของสารละลายกลูโคสสำหรับการวิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซ์

ตัวอย่างการคำนวณ

เนื่อกล้วยหอมทองระดับความสุกที่ 8 เมื่อวัดค่าการดูดกลืนแสงได้เท่ากับ 0.774
นำค่าที่ได้แทนในสมการ $y = 0.1364 x$ เพื่อหาค่า x (ค่าความเข้มข้นของสารละลายกลูโคส)

เพราะฉะนั้น $x = 5.6745 \times 10^{-3}$ กรัมสมมูลกลูโคส

จากข้อ 4.3 ปริมาณตัวอย่างที่ใช้ 0.4 มิลลิลิตร มีปริมาณกลูโคส เท่ากับ 5.6745×10^{-3} กรัม

จากข้อ 4.1 สารละลายตัวอย่าง 250 มิลลิลิตร มีเนื่อกล้วยอยู่ 37.5 กรัม

เพราะฉะนั้น สารละลายตัวอย่าง 0.4 มิลลิลิตร มีเนื่อกล้วยอยู่เท่ากับ 0.06 กรัม

ดังนั้น เนื่อกล้วยหอมทอง 0.06 กรัม จะมี ปริมาณกลูโคส เท่ากับ 5.6745×10^{-3} กรัม

ถ้า เนื่อกล้วยหอมทอง 100 กรัม จะมี ปริมาณกลูโคส เท่ากับ 9.4575 กรัม

เพราะฉะนั้น เนื่อกล้วยหอมทองระดับความสุกที่ 8 มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 9.46 กรัมสมมูล
กลูโคส / น้ำหนักกล้วย 100 กรัม

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์สารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (Total polyphenol contents)

การตรวจวัดปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดจะใช้วิธีที่รายงานโดย ประพันธ์และ วันทนีย์ (2545) มีหลักการคือ วัดปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบทั้งหมดที่มีหมู่ไฮดรอกซิล อยู่ในโมเลกุล และไม่คำนึงถึงน้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบ โพลีฟีนอลนั้นๆ ดังนั้นการวิเคราะห์ในรูปแบบนี้ จึงไม่มีการระบุชนิดของสารประกอบโพลีฟีนอลที่มีอยู่ในตัวอย่าง ซึ่งวิธีการวิเคราะห์เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยารีดักชัน-ออกซิเดชัน (reduction-oxidation) โดยที่สารประกอบโพลีฟีนอลถูกออกซิไดซ์ในสภาวะที่เป็นด่าง จากนั้นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะไปรีดิวซ์สารประกอบเชิงซ้อนทังสติก - ฟอสโฟโมลิบดิก (phosphotungstic - phosphomolybdic complex) ได้ผลิตภัณฑ์เชิงซ้อนที่มีสีน้ำเงินและสามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร

1. สารเคมี

1.1 Folin-Ciocalteu

12 โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์

1.3 สารละลายกรดแกลลิกความเข้มข้น 400 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

2. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลในตัวอย่างสารสกัด

2.1 ปิเปตตัวอย่างสารสกัด ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้

ปริมาตรรวมในแต่ละหลอดเป็น 10 มิลลิลิตร

2.2 เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม

(vertex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที

2.3 เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร

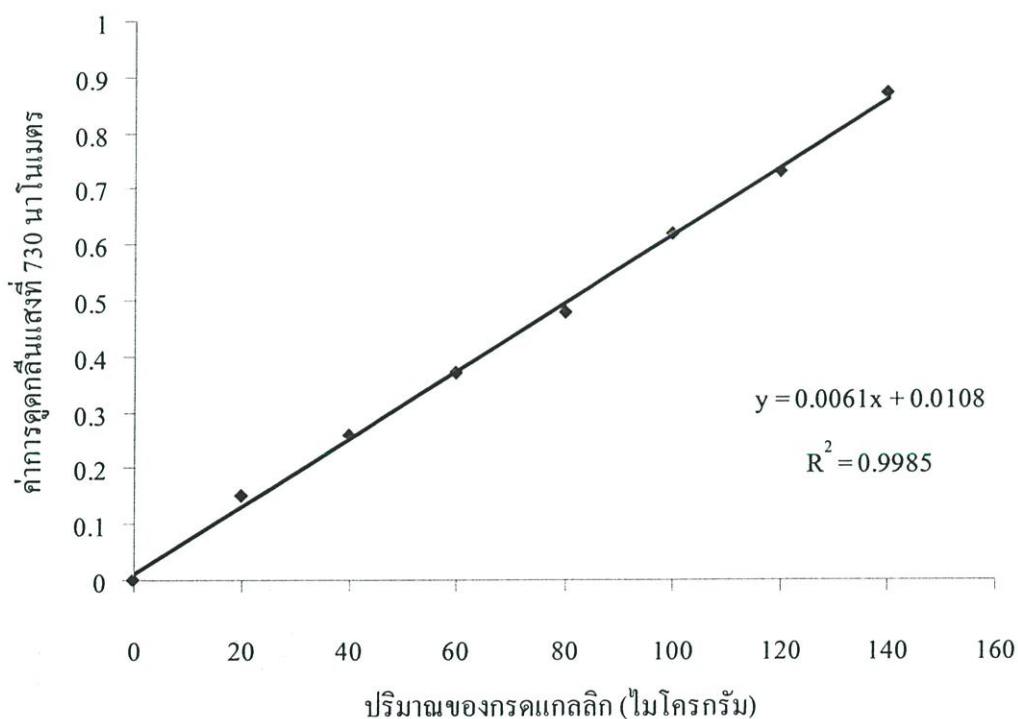
ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม(vertex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที

2.4 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร

2.5 สำหรับ blank ให้ใช้เอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์แทนตัวอย่างสารสกัดในข้อ 2.1

3. การเตรียมกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

- 3.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้นเริ่มต้น 400 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร
- 3.2 ปิเปตสารละลายมาตรฐานดังกล่าวใส่หลอดทดลอง หลอดละ 0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.20, 0.30 และ 0.35 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาตรรวมในแต่ละหลอดเป็น 10 มิลลิลิตร
- 3.3 เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vertex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที
- 3.4 เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vertex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที
- 3.5 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร
- 3.6 เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณกรดแกลลิกในหน่วย ไมโครกรัม



รูปที่ 1 กราฟมาตรฐานกรดแกลลิกในการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด

ตัวอย่างการคำนวณ

เมื่อคิดในหน่วยน้ำหนักสด

เปลือกกล้วยหอมทองระดับความสุกที่ 1 เมื่อวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร ได้ค่าเท่ากับ 0.655 นำค่าที่ได้แทนในสมการ $y = 0.0061x + 0.0108$ เพื่อหาค่า x (ค่าปริมาณกรดแกลลิกในตัวอย่าง) เมื่อปริมาณสารสกัดที่ใช้เท่ากับ 0.3 มิลลิลิตร และสารสกัดที่ได้เตรียมจาก เปลือกกล้วย 10.17 กรัม ต่อ เอชานอล 100 มิลลิลิตร

จากสมการ

$$y = 0.0061x + 0.0108$$

$$0.655 = 0.0061x + 0.0108$$

$$x = 105.61 \text{ ไมโครกรัม}$$

ตัวอย่าง 0.3 มิลลิลิตร มีปริมาณกรดแกลลิกอยู่ 105.61 ไมโครกรัม

ถ้า ตัวอย่าง 0.3 มิลลิลิตร มีปริมาณกรดแกลลิกอยู่ 35,203.33 ไมโครกรัม

เนื่องจาก ตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร ได้มาจากเปลือกกล้วยสด 10.17 กรัม

เพราะฉะนั้น เปลือกกล้วยสด 10.17 กรัม มีปริมาณกรดแกลลิกอยู่ 35,203.33 ไมโครกรัม

ถ้า เปลือกกล้วยสด 100 กรัม มีปริมาณกรดแกลลิกอยู่ 346,148.77 ไมโครกรัม
หรือเท่ากับ 346.15 มิลลิกรัม

เมื่อคิดในหน่วยน้ำหนักแห้ง

เปลือกกล้วยหอมทองสด 3.0682 กรัม เท่ากับเปลือกกล้วยหอมทองแห้ง 0.4157 กรัม

ถ้า เปลือกกล้วยหอมทองสด 100 กรัม เท่ากับเปลือกกล้วยหอมทองแห้ง 13.55 กรัม

เพราะฉะนั้น เปลือกกล้วยหอมทองแห้ง 13.55 กรัม มีปริมาณกรดแกลลิกอยู่ 346.15 มิลลิกรัม

ถ้า เปลือกกล้วยหอมทองแห้ง 10 กรัม มีปริมาณกรดแกลลิกอยู่ 255.46 มิลลิกรัม

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายอนุโมลอิสระ DPPH

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH จะใช้วิธีที่รายงานโดย Murakami และคณะ (2004) โดยมีหลักการคือ สารละลายของอนุมูลอิสระ DPPH จะมีสีม่วง ซึ่งดูดกลืนแสงได้ที่ 517 นาโนเมตร ในกรณีตัวอย่างสารสกัดมีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระได้ดี จะทำให้สีม่วงแดงของสารละลาย DPPH จางลงได้มากกว่าตัวอย่างสารสกัดที่มีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระได้น้อย

1. สารเคมี

- 1.1 สารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.8 มิลลิโมลาร์ โดยชั่ง DPPH 0.0158 กรัม ละลายในเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ปรับปริมาตรให้เป็น 50 มิลลิลิตร
- 1.2 เอทานอลความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์

2 วิธีวิเคราะห์

- 2.1 ปิเปตตัวอย่างสารสกัด และเอทานอลความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ นั้นคือปริมาตรรวมของตัวอย่างสารสกัด และเอทานอลความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ จะต้องเท่ากับ 5.4 มิลลิลิตร
- 2.2 ปิเปตสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.8 มิลลิโมลาร์ 0.6 มิลลิลิตร เพราะฉะนั้น ปริมาตรของสารละลายที่ทำปฏิกิริยารวมทั้งหมดเป็น 6 มิลลิลิตร
- 2.3 ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที
- 2.4 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยใช้เอทานอลความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์เป็น blank
- 2.5 คำนวณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

3) การเตรียมกราฟมาตรฐานสารละลาย DPPH

เตรียมสารละลาย DPPH โดยให้ความเข้มข้นโดยรวมในหลอดทดลองเป็น 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 และ 0.8 มิลลิโมลาร์

3.1 ปิเปตเอทานอลความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ปริมาตร 5.925, 5.85, 5.775, 5.7, 5.625, 5.55, 5.475 และ 5.4 มิลลิลิตร ตามลำดับ

3.2 ปิเปตสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.8 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.075, 0.15, 0.225, 0.3, 0.375, 0.45, 0.525, และ 0.6 ตามลำดับ เพราะฉะนั้นปริมาตรของสารละลายที่ทำปฏิกิริยารวมทั้งหมดเป็น 6 มิลลิลิตร

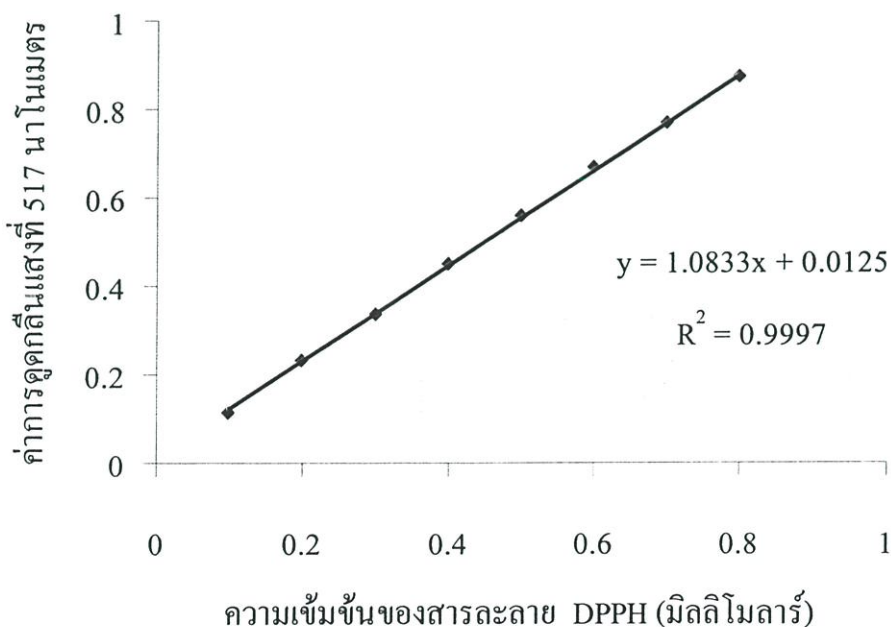
3.3 ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที

3.4 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยใช้เอทานอลความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์เป็น blank

4) ตัวอย่างการคำนวณ

4.1 สร้างกราฟมาตรฐานของสารละลาย DPPH โดยมีสมการเส้นตรงคือ

$$y = 1.0833x + 0.0125 \text{ และค่า } R^2 = 0.9997 \text{ ดังแสดงในรูปที่ 1}$$



รูปที่ 1 กราฟมาตรฐานของสารละลาย DPPH

4.2 นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง แทนค่าในสมการ

$$y = 1.0833x + 0.0125 \text{ เพื่อหาค่าความเข้มข้นของสารละลาย DPPH } ([\text{DPPH}]_T)$$

4.3 นำค่าความเข้มข้นของสารละลาย DPPH ($[\text{DPPH}]_T$) ที่ได้จากการคำนวณใน

ข้อ 1.3.2 แทนค่าในสมการ

$$\% \text{DPPH ที่เหลือ} = [\text{DPPH}]_T / [\text{DPPH}]_{T=0} \times 100$$

โดยที่ $[\text{DPPH}]_{T=0}$ คือ ความเข้มข้นของสารละลาย DPPH ของหลอดควบคุม (control)

4.4 นำ % DPPH ที่เหลือมาเปลี่ยนให้อยู่ในหน่วยกรัม DPPH ที่เหลือตัวอย่าง เช่น

จากการทดลอง ความเข้มข้น DPPH ที่ใช้คือ 8 มิลลิโมลาร์ หรือชั่ง DPPH มา

0.0158 กรัม ปรับเป็น 50 มิลลิลิตรด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้น สารละลาย DPPH 50 มิลลิลิตร มี DPPH อยู่ 0.0158 กรัม

สารละลาย DPPH ที่ใช้ 0.6 มิลลิลิตร มี DPPH อยู่ 1.896×10^{-4} กรัม

แสดงว่าในหลอดทดลองมี DPPH อยู่เท่ากับ 1.896×10^{-4} กรัม

เพราะฉะนั้น นำค่า %DPPH ที่เหลือ $\times 1.896 \times 10^{-4}$ กรัม

เช่น %DPPH ที่เหลือเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่ามี DPPH เหลืออยู่ในหลอด

เท่ากับ $\{(50/100) \times 1.896 \times 10^{-4}\}$ เท่ากับ 9.48×10^{-5} กรัม

นำกรัม DPPH ที่เหลือมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกรัม DPPH ที่เหลือ

และปริมาณของตัวอย่าง (กรัม) โดยให้อยู่ในแกน y

4.5 นำเปอร์เซ็นต์สารสกัดที่ใช้ แปลงค่าให้อยู่ในหน่วยกรัมน้ำหนักสารสกัด

เช่น สมมติเปอร์เซ็นต์สารสกัดที่ใช้เท่ากับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อสารสกัดที่ใช้

เริ่มต้นคือ 10 เปอร์เซ็นต์ คำนวณเป็นกรัมสารสกัดโดย

$$\text{ใช้สูตร } C_1 V_1 = C_2 V_2$$

$$10 \% \times V_1 = 0.5 \% \times 6 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$V_1 = 0.3 \text{ มิลลิลิตร}$$

เมื่อ $C_1 = \%$ สารสกัดเริ่มต้น (10 %)

$V_1 =$ ปริมาตรสารสกัดที่ใช้

$C_2 = \%$ สารสกัดในหลอดทดลอง (0.5 %)

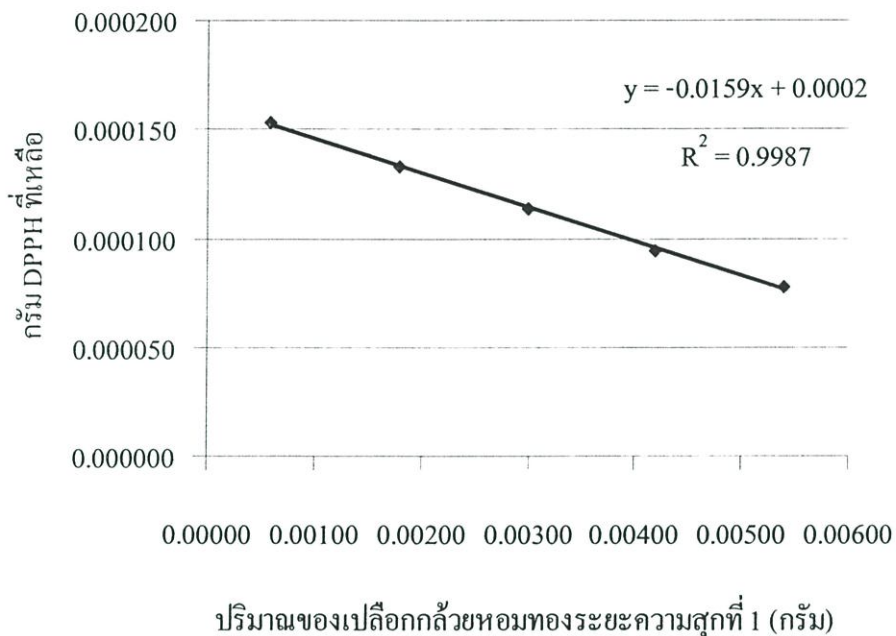
$V_2 =$ ปริมาตรรวมทั้งหมดในหลอดทดลอง (6 มิลลิลิตร)

เพราะฉะนั้นสารสกัด 10 % ที่ใช้เท่ากับ 0.3 มิลลิลิตร

จากสารสกัด 10 % แสดงว่า

สารสกัด 100 มิลลิลิตร มีเนื้อกล้วยอยู่ 10 กรัม

ถ้า สารสกัด 0.3 มิลลิลิตร มีเนื้อกล้วยอยู่ 0.03 กรัม
 นำปริมาณของตัวอย่าง (กรัม) มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกรัม DPPH ที่
 เหลือและปริมาณของตัวอย่าง (กรัม) โดยให้อยู่ในแกน x
 4.6 นำค่า กรัม DPPH ที่เหลือ และความเข้มข้นของสารสกัด (กรัม) ที่ได้จากการ
 คำนวณในข้อ 4.4 และ 4.5 มาสร้างกราฟ ดังรูปที่ ง 2



รูปที่ ง 2 กราฟปริมาณ DPPH ที่เหลือเมื่อใช้เปลือกกล้วยหอมทองระยะความสุกที่ 1 ที่ ความ
 เข้มข้นต่างๆ

4.7 คำนวณหาค่า EC_{50} จากสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟในข้อ 4.6 นั่นคือ

$y = -0.0159x + 0.0002$ โดยให้ค่า $y = 9.48 \times 10^{-5}$ กรัม DPPH (เนื่องจาก
 สารสกัดมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ลง 50 เปอร์เซ็นต์
 แสดงว่ามี DPPH เหลืออยู่ในหลอด เท่ากับ 9.48×10^{-5} กรัม)

เช่น เปลือกกล้วยหอมทองระยะความสุกที่ 1

ได้สมการ $y = -0.0159x + 0.0002$

เพราะฉะนั้น $9.48 \times 10^{-5} = -0.0159x + 0.0002$

$$x = 6.62 \times 10^{-3} \text{ กรัมตัวอย่าง} / 9.48 \times 10^{-5} \text{ กรัม DPPH}$$

$EC_{50} = 6.62 \times 10^{-3}$ กรัมสารสกัดทำลาย DPPH ลงได้ 50 เปอร์เซ็นต์ หรือ
 เท่ากับ 9.48×10^{-5} กรัม DPPH

$$\begin{aligned} \text{เพราะฉะนั้น } EC_{50} &= 6.62 \times 10^{-3} / 9.48 \times 10^{-5} \text{ กรัมตัวอย่าง/กรัมDPPH} \\ &= 69.83 \text{ กรัมตัวอย่าง/กรัมDPPH} \\ 1/EC_{50} &= 0.0143 \text{ กรัมDPPH/กรัมตัวอย่าง} \end{aligned}$$

เมื่อคิดในหน่วยน้ำหนักแห้งทำได้โดย

$$\text{จากข้อ 4.7 } EC_{50} = 69.83 \text{ กรัมตัวอย่าง/กรัมDPPH}$$

จากการทดลอง เปลือกกล้วยหอมระดับความสุกที่ 1 พบว่า

$$\begin{aligned} &\text{เปลือกกล้วยสด 3.0682 กรัม เป็นเปลือกกล้วยแห้ง 0.4157 กรัม} \\ \text{ดังนั้น เปลือกกล้วยสด 69.83 กรัม เป็นเปลือกกล้วยแห้ง 9.46 กรัม} \\ \text{เพราะฉะนั้น } EC_{50} &= 9.46 \text{ กรัมตัวอย่างแห้ง/กรัมDPPH} \\ 1/EC_{50} &= 0.1057 \text{ กรัมDPPH/กรัมตัวอย่างแห้ง} \end{aligned}$$

สำหรับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารมาตรฐาน วิตามินซี โทรอกซ์ และ BHT จะมีวิธีการวิเคราะห์ และคำนวณค่า $1/EC_{50}$ เช่นเดียวกับตัวอย่าง

ภาคผนวก จ

ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี Ferric thiocyanate colorimetric method (FTC)

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC จะใช้วิธีที่รายงานโดย Larrauri และคณะ (1996) มีหลักการคือ วัดปริมาณเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นในขั้นเริ่มต้น (initial stages) ของปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดลิโนเลอิก (linoleic acid) โดยเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะไปออกซิไดซ์ Fe^{2+} ไปเป็น Fe^{3+} ในสถานะที่มีแอมโมเนียมไซโอไซยาเนต Fe^{3+} จะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีแดง และสามารถดูดกลืนแสงได้ที่ 500 นาโนเมตร ดังนั้นถ้ามีปริมาณเปอร์ออกไซด์เกิดขึ้นในปฏิกิริยามาก สีแดงที่เกิดขึ้นก็จะเข้มมาก

1 สารเคมี

- 1.1 สารละลายกรดลิโนเลอิก (linoleic acid) 2.51 เปอร์เซ็นต์ชั่งกรดลิโนเลอิก 2.51 กรัม ละลายในเอทานอล 99.99 เปอร์เซ็นต์ แล้วปรับ ปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร
- 1.2 สารละลายแอมโมเนียม ไซโอไซยาเนต (ammonium thiocyanate) 30 เปอร์เซ็นต์
- 1.3 สารละลายเฟอร์รัส คลอไรด์ (ferrous chloride) 0.02 โมลาร์ ชั่ง $FeCl_2 \cdot 4H_2O$ 0.199 กรัม ละลายใน HCl ความเข้มข้น 3.5 เปอร์เซ็นต์ แล้ว ปรับปริมาตรให้เป็น 50 มิลลิลิตร
- 1.4 ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7 ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์
- 1.5 เอทานอล 75 เปอร์เซ็นต์

2 วิธีวิเคราะห์

- 2.1 ปิเปิดสารละลายกรดลิโนเลอิก ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร
- 2.2 เติมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7 ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร
- 2.3 เติมตัวอย่างสารสกัด ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร
- 2.4 เติมน้ำกลั่น ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร
- 2.5 ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) นำไปบ่มไว้ในอ่างน้ำควบคุม อุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส ในที่ไม่มีแสงรบกวน
- 2.6 ปิเปิดสารละลายปฏิกิริยาปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ที่เวลา 0 และ 96 ชั่วโมง
- 2.7 เติมเอทานอล 75 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 9.7 มิลลิลิตร
- 2.8 เติมสารละลายแอมโมเนียม ไซโอไซยาเนต 30 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร
- 2.9 เติมสารละลายเฟอร์รัส คลอไรด์ ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วย เครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 นาที

- 2.10 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร โดยที่หลอดควบคุมจะใช้
เอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์แทนตัวอย่างสารสกัด ในข้อ 2.3 สำหรับ blank ใช้เอธานอล
75 เปอร์เซ็นต์แทนตัวอย่างสารสกัด ในข้อ 2.6

3 ตัวอย่างการคำนวณ

- 3.1 คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC
ของตัวอย่างสารสกัด โดยแทนค่าในสมการดังนี้

$$100 - \left\{ \frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ชั่วโมงที่ 96}}{\text{ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ชั่วโมงที่ 01}} \times 100 \right\}$$

[ค่าการดูดกลืนแสงของหลอดควบคุมที่ชั่วโมงที่ 96 / ค่าการดูดกลืนแสงของหลอดควบคุมที่ชั่วโมงที่ 0]

- 3.2 นำเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC มาเปลี่ยนให้
อยู่ในรูปปริมาณกรดลิโนเลอิกที่เหลือ

จากการทดลองใช้กรดลิโนเลอิก 2.51 เปอร์เซ็นต์ โดยแต่ละหลอดใช้ 0.5 มิลลิลิตร
ดังนั้น สารละลายกรดลิโนเลอิก 100 มิลลิลิตร มีกรดลิโนเลอิกอยู่ 2.51 กรัม

สารละลายกรดลิโนเลอิก 0.5 มิลลิลิตร มีกรดลิโนเลอิกอยู่ 0.0126 กรัม

เพราะฉะนั้น ในหลอดทดลองมีกรดลิโนเลอิกอยู่ทั้งหมด 0.0126 กรัม

ดังนั้น เปลี่ยนจากเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นปริมาณ
กรัมลิโนเลอิกที่เหลือ ทำได้โดย

นำเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน \times 0.0126 กรัม

เช่น สารสกัดมีเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันเท่ากับ 50 % แสดง
ว่า สารสกัดสามารถยับยั้งกรดลิโนเลอิกไม่ให้เกิดเป็นเปอร์ออกไซด์ได้ 50 % คือเหลือ
ปริมาณกรดลิโนเลอิกอยู่ $\{(50/100) \times 0.0126\}$ กรัม เท่ากับ 0.0063 กรัม

เพราะฉะนั้น นำปริมาณกรดลิโนเลอิกที่เหลือ (กรัม) มาสร้างกราฟความสัมพันธ์
ระหว่างปริมาณกรดลิโนเลอิกที่เหลือ (กรัม) และปริมาณของตัวอย่าง (กรัม) โดยให้อยู่ใน
แกน y

- 3.3 นำเปอร์เซ็นต์สารสกัดที่ใช้ แปลงค่าให้อยู่ในหน่วยกรัมน้ำหนักสดสารสกัด

เช่น สมมติเปอร์เซ็นต์สารสกัดที่ใช้เท่ากับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อสารสกัดที่ใช้
เริ่มต้นคือ 10 เปอร์เซ็นต์ กำหนดเป็นกรัมสารสกัด โดย

$$\text{ใช้สูตร } C_1 V_1 = C_2 V_2$$

$$10 \% \times V_1 = 0.5 \% \times 2.5 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$V_1 = 0.125 \text{ มิลลิลิตร}$$

เมื่อ $C_1 =$ % สารสกัดเริ่มต้น (10 %)

$V_1 =$ ปริมาตรสารสกัดที่ใช้

$$C_2 = \% \text{ สารสกัดในหลอดทดลอง (0.5 \%)}$$

$$V_2 = \text{ปริมาตรรวมทั้งหมดในหลอดทดลอง (2.5 มิลลิลิตร)}$$

เพราะฉะนั้นสารสกัด 10 % ที่ใช้เท่ากับ 0.125 มิลลิลิตร

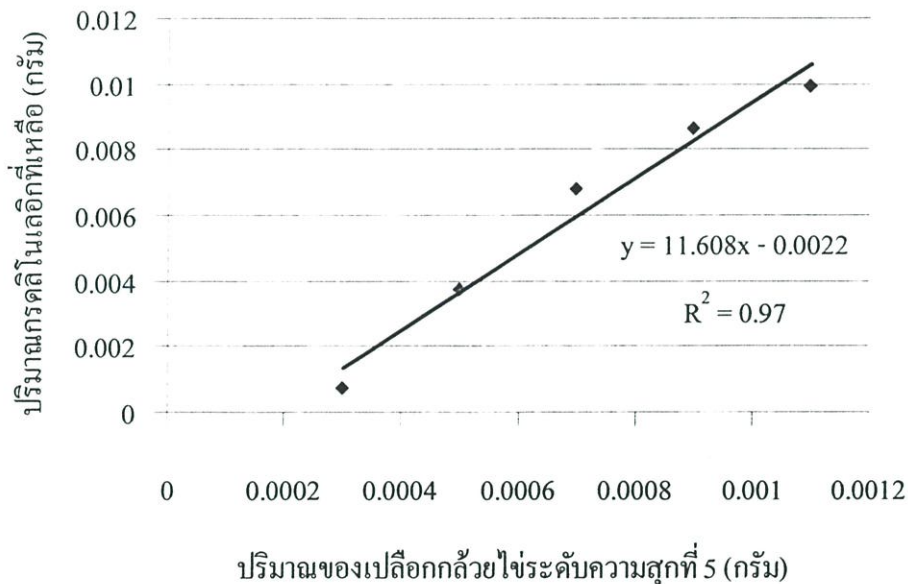
จากสารสกัด 10 % แสดงว่า

สารสกัด 100 มิลลิลิตร มีเนื้อกล้วยอยู่ 10 กรัม

ถ้า สารสกัด 0.125 มิลลิลิตร มีเนื้อกล้วยอยู่ 0.0125 กรัม

นำค่าปริมาณของตัวอย่าง (กรัม) มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณกรดลิโนเลอิกที่เหลือ (กรัม) และปริมาณของตัวอย่าง (กรัม) โดยให้อยู่ใน แกน x

3.4 นำปริมาณกรดลิโนเลอิกที่เหลือ และความเข้มข้นของสารสกัด (กรัม) ที่ได้จากการ คำนวณในข้อ 3.2 และ 3.3 มาสร้างกราฟ ดังรูปที่ จ 1



รูปที่ จ 1 กราฟความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC เมื่อใช้เปลือก กล้วยไประดับความสุกที่ 5 ที่ความเข้มข้นต่างๆ

3.5 คำนวณหาค่า EC_{50} จากสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟในข้อ 3.4 นั่นคือ

$$y = 11.608x - 0.0022 \text{ โดยให้ค่า } y = 0.0063 \text{ กรัมกรดลิโนเลอิก(เนื่องจาก}$$

สารสกัดมีความสามารถยับยั้งกรดลิโนเลอิกไม่ให้เกิดเป็นเปอร์ออกไซด์ได้ 50 % คือ เหลือปริมาณกรดลิโนเลอิกในหลอดอยู่เท่ากับ 0.0063 กรัม

เช่น เปลือกกล้วยไ้ระยะความสุกที่ 5 ได้สมการ $y = 11.608x - 0.0022$

เพราะฉะนั้น $0.0063 = 11.608x - 0.0022$

$$x = 7.32 \times 10^{-4} \text{ กรัมตัวอย่าง}/0.0063 \text{ กรัมกรดลิโนเลอิก}$$

$EC_{50} = 7.32 \times 10^{-4}$ กรัมตัวอย่างสามารถยับยั้งกรดลิโนเลอิก 0.0063 กรัม ไม่ให้

เกิดเป็นเปอร์ออกไซด์ได้ 50 %

เพราะฉะนั้น $EC_{50} = 7.32 \times 10^{-4}/0.0063$

$$= 0.1162$$

$$1/EC_{50} = 8.61$$

กรัมตัวอย่าง/กรัมกรดลิโนเลอิก

กรัมตัวอย่าง/กรัมกรดลิโนเลอิก

กรัมกรดลิโนเลอิก/กรัมตัวอย่าง

เมื่อคิดในหน่วยน้ำหนักแห้งทำได้โดย

จากข้อ 3.5 $EC_{50} = 0.1162$ กรัมตัวอย่าง/กรัมกรดลิโนเลอิก

จากการทดลอง เปลือกกล้วยไ้ระดับความสุกที่ 5 พบว่า

เปลือกกล้วยสด 3.0598 กรัม เป็นเปลือกกล้วยแห้ง 0.5835 กรัม

ดังนั้น เปลือกกล้วยสด 0.1162 กรัม เป็นเปลือกกล้วยแห้ง 0.0222 กรัม

เพราะฉะนั้น $EC_{50} = 0.0222$

กรัมตัวอย่างแห้ง/กรัมกรดลิโนเลอิก

$$1/EC_{50} = 45.05$$

กรัมกรดลิโนเลอิก/กรัมตัวอย่างแห้ง

สำหรับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารมาตรฐาน โทรอกซ์ และ BHT จะมีวิธีการวิเคราะห์ และคำนวณค่า $1/EC_{50}$ เช่นเดียวกับตัวอย่าง

ภาคผนวก จ

ความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)

การวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) จะใช้วิธีที่รายงานโดย Yen และ Chen (1995) โดยวัดปริมาณ H_2O_2 ที่เหลืออยู่ ซึ่งดูดกลืนแสงได้ที่ 230 นาโนเมตร ในกรณีตัวอย่างสารสกัดที่มีฤทธิ์ในการทำลาย H_2O_2 ได้ดี จะทำให้เกิดการสลายตัวของ H_2O_2 มาก

1 สารเคมี

1.1 H_2O_2 ความเข้มข้น 90 มิลลิโมลาร์

ปิเปต H_2O_2 ความเข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์ มา 0.092 มิลลิลิตร ละลายในฟอสเฟต

บัฟเฟอร์ pH 7.4 ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร

1.2 ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.4 ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

2 วิธีทดลอง

2.1 ปิเปตตัวอย่างสารสกัดปริมาตร 2 มิลลิลิตร

2.2 ปิเปตน้ำกลั่นปริมาตร 2 มิลลิลิตร

2.3 เติม H_2O_2 ความเข้มข้น 90 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร

2.4 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 230 นาโนเมตร

2.5 สำหรับ blank ให้ใช้ ตัวอย่างที่วิเคราะห์ผสมกับฟอสเฟตบัฟเฟอร์ โดยไม่ต้องมี H_2O_2

3 ตัวอย่างการคำนวณ

3.1 คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำลาย H_2O_2 ของตัวอย่างสารสกัด โดยแทนค่าในสมการดังนี้

$$\{1 - (\text{ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง} / \text{ค่าการดูดกลืนแสงของหลอดควบคุม})\} \times 100$$

3.2 นำเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำลาย H_2O_2 มาเปลี่ยนให้อยู่ในรูปความสามารถในการทำลาย H_2O_2 (กรัม) โดย

จากการทดลอง H_2O_2 ที่ใช้ความเข้มข้นเท่ากับ 90 mM

จะเท่ากับ 0.09 M หรือ 0.09 mol/l

สารละลาย H_2O_2 1000 มิลลิลิตร มีเนื้อ H_2O_2 อยู่ 0.09 โมล

เพราะฉะนั้น สารละลาย H_2O_2 0.6 มิลลิลิตร มีเนื้อ H_2O_2 อยู่ 5.4×10^{-5} โมล

หรือเท่ากับ $5.4 \times 10^{-5} \times 34$ กรัม

เพราะฉะนั้น สารละลาย H_2O_2 0.6 มิลลิลิตรมีเนื้อ H_2O_2 อยู่เท่ากับ 1.836×10^{-3} กรัม

แสดงว่าในหลอดทดลองมี H_2O_2 อยู่เท่ากับ 1.836×10^{-3} กรัม

ดังนั้น เปลี่ยนจากเปอร์เซ็นต์เป็นกรัม ทำได้โดยนำ

ค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำละลาย $\text{H}_2\text{O}_2 \times 1.836 \times 10^{-3}$ กรัม

เช่น ค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำละลาย H_2O_2 เท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า สาร

สกัดทำละลาย H_2O_2 ไป $\{(50/100) \times 1.836 \times 10^{-3}\}$ กรัม เท่ากับ 9.18×10^{-4} กรัม

เพราะฉะนั้น นำความสามารถในการทำละลาย H_2O_2 (กรัม) มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการทำละลาย H_2O_2 (กรัม) และปริมาณของตัวอย่าง (กรัม) โดยให้อยู่ในแกน y

3.3 นำเปอร์เซ็นต์สารสกัดที่ใช้ แปลงค่าให้อยู่ในหน่วยกรัมน้ำหนักสารสกัด

เช่น สมมติเปอร์เซ็นต์สารสกัดที่ใช้เท่ากับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อสารสกัดที่ใช้เริ่มต้นคือ 10 เปอร์เซ็นต์ กำหนดเป็นกรัมสารสกัด โดย

ใช้สูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

$$10 \% \times V_1 = 0.5 \% \times 4.6 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$V_1 = 0.23 \text{ มิลลิลิตร}$$

เมื่อ $C_1 = \%$ สารสกัดเริ่มต้น (10 %)

$V_1 =$ ปริมาตรสารสกัดที่ใช้

$C_2 = \%$ สารสกัดในหลอดทดลอง (0.5 %)

$V_2 =$ ปริมาตรรวมทั้งหมดในหลอดทดลอง (4.6 มิลลิลิตร)

เพราะฉะนั้นสารสกัด 10 % ที่ใช้เท่ากับ 0.23 มิลลิลิตร

จากสารสกัด 10 % แสดงว่า

สารสกัด 100 มิลลิลิตร มีเนื้อกล้วยอยู่ 10 กรัม

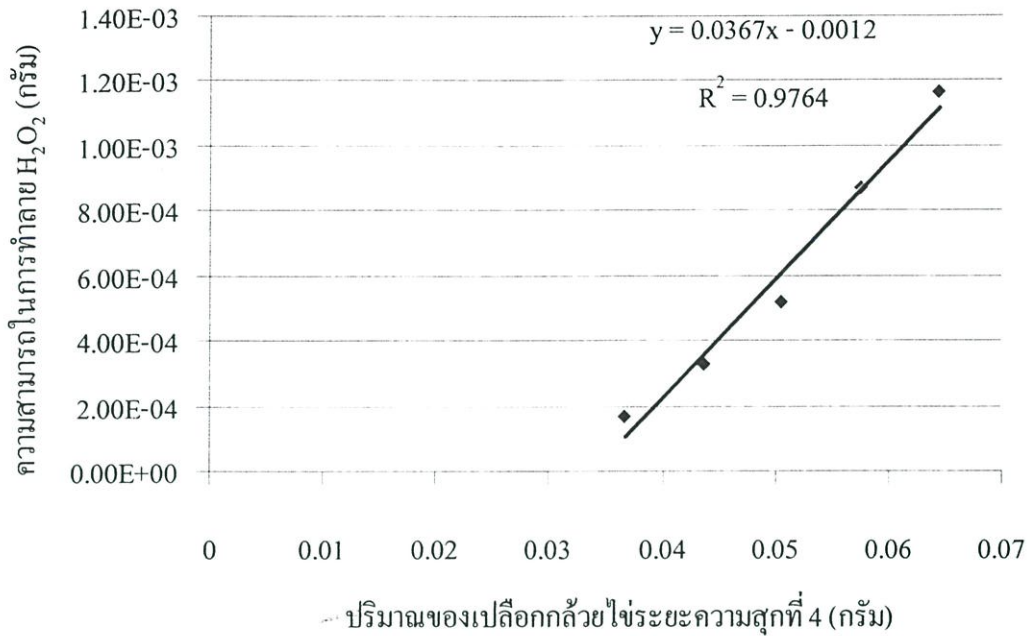
ถ้า สารสกัด 0.23 มิลลิลิตร มีเนื้อกล้วยอยู่ 0.023 กรัม

นำค่าปริมาณของตัวอย่าง (กรัม) มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง

ความสามารถในการทำละลาย H_2O_2 (กรัม) และปริมาณของตัวอย่าง (กรัม) โดยให้อยู่ในแกน x

3.4 นำค่าความสามารถในการทำละลาย H_2O_2 (กรัม) และความเข้มข้นของสารสกัด (กรัม)

ที่ได้จากการคำนวณในข้อ 3.2 และ 3.3 มาสร้างกราฟ ดังรูปที่ ๑



รูปที่ ๑ 1 กราฟความสามารถในการทำลาย H_2O_2 (กรัม) เมื่อใช้เปลือกกล้วยไข่ระยะความสุกที่ 4 ที่ความเข้มข้นต่างๆ

3.5 คำนวณหาค่า EC_{50} จากสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟในข้อ 3.4 นั่นคือ

$y = 0.0367x - 0.0012$ โดยให้ค่า $y = 9.18 \times 10^{-4}$ กรัม H_2O_2 (เนื่องจากสารสกัดมีความสามารถในการทำลาย H_2O_2 ลง 50 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่ามี H_2O_2 เหลืออยู่ในหลอด เท่ากับ 9.18×10^{-4} กรัม)

เช่น เปลือกกล้วยไข่ระยะความสุกที่ 4

ได้สมการ $y = 0.0367x - 0.0012$

เพราะฉะนั้น $9.18 \times 10^{-4} = 0.0367x - 0.0012$

$x = 0.0577$ กรัมตัวอย่าง/ 9.18×10^{-4} กรัม H_2O_2

$EC_{50} = 0.0577$ กรัมตัวอย่างทำลาย H_2O_2 ลงได้ 50 เปอร์เซ็นต์ หรือ

เท่ากับ 9.18×10^{-4} กรัม H_2O_2

เพราะฉะนั้น $EC_{50} = 0.0577 / 9.18 \times 10^{-4}$ กรัมตัวอย่าง/กรัม H_2O_2

$= 62.87$

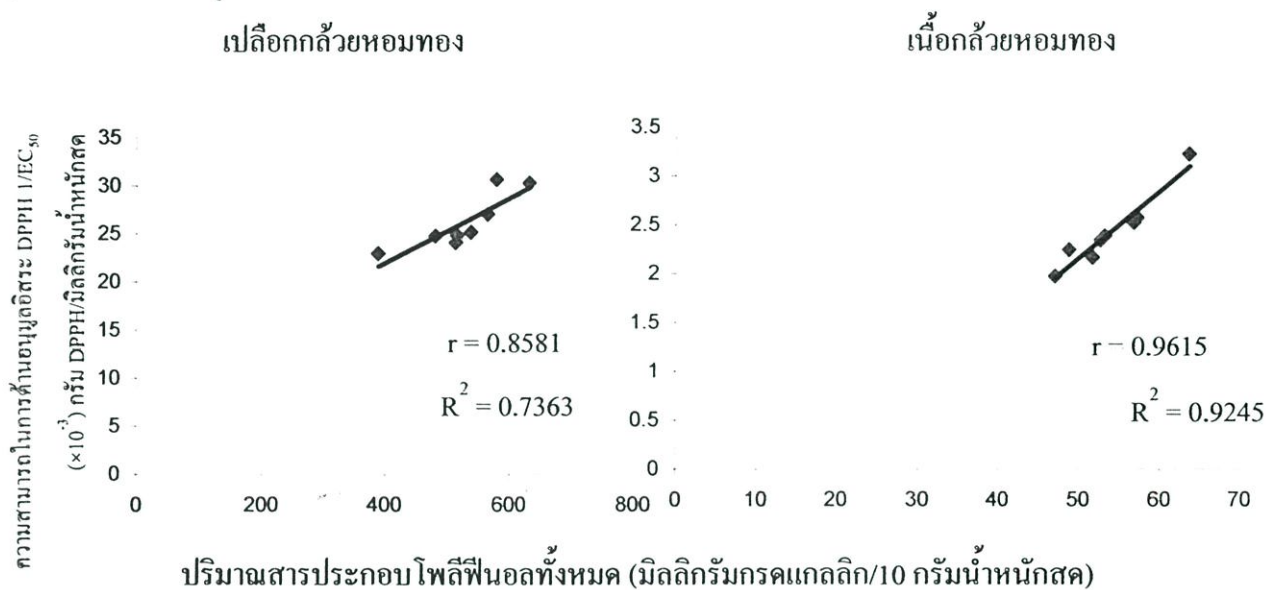
กรัมตัวอย่าง/กรัม H_2O_2

$1/EC_{50} = 0.0159$

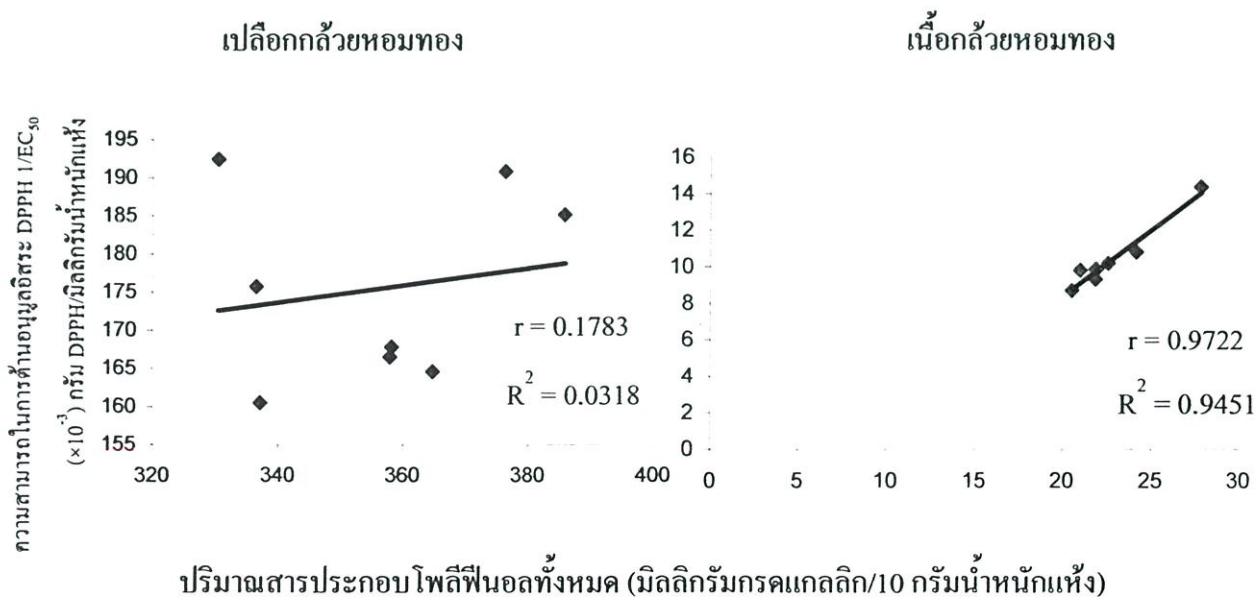
กรัม H_2O_2 /กรัมตัวอย่าง

ภาคผนวก ข

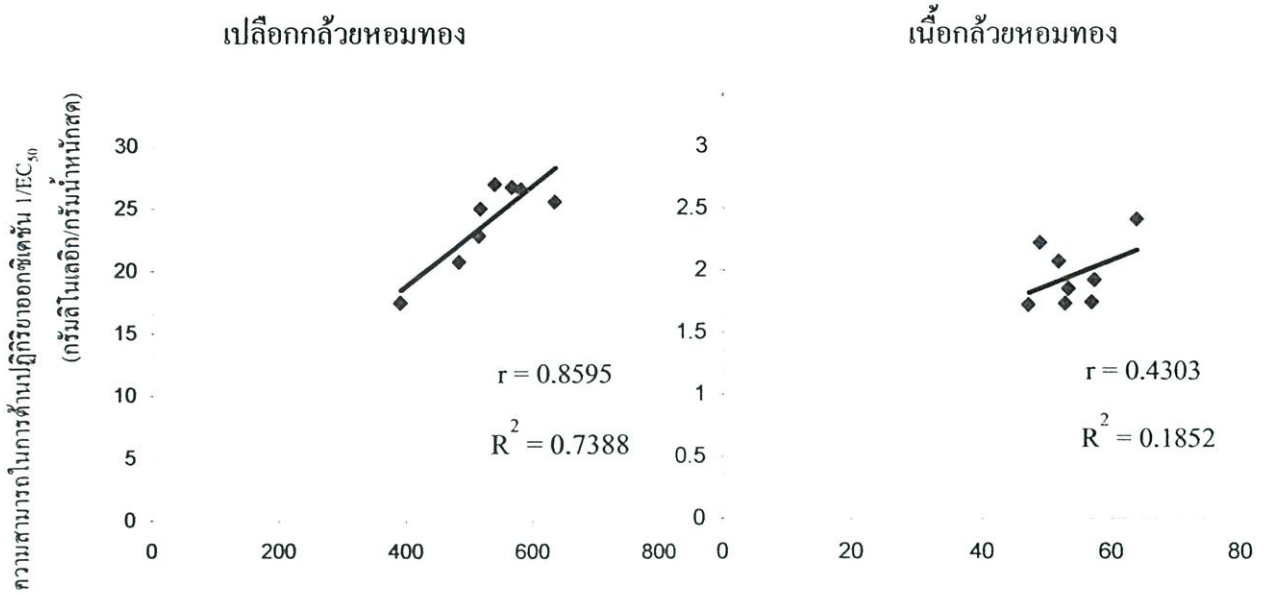
ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดกับความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันวิธีต่างๆ



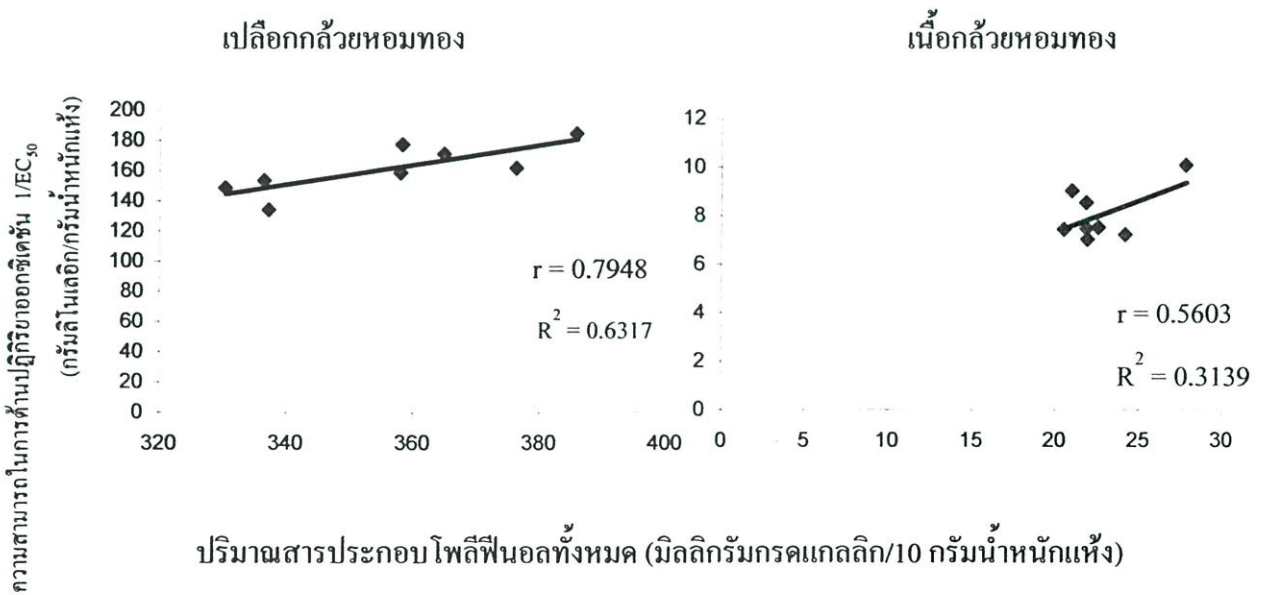
รูปที่ ๑ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทอง โดยน้ำหนักสด



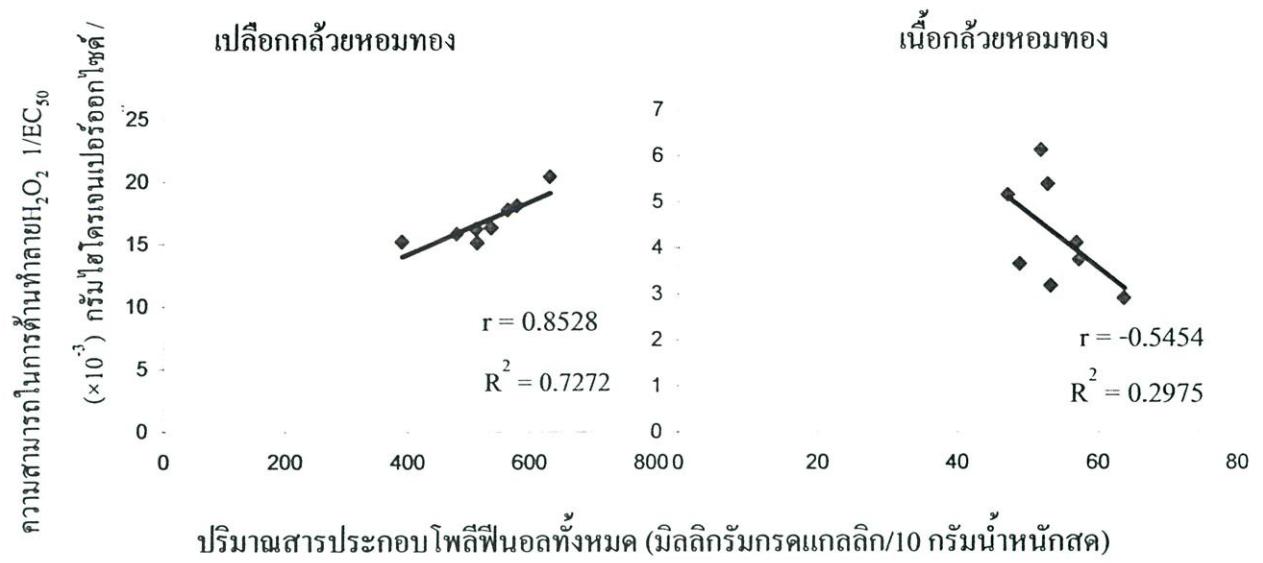
รูปที่ ๒ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทอง โดยน้ำหนักแห้ง



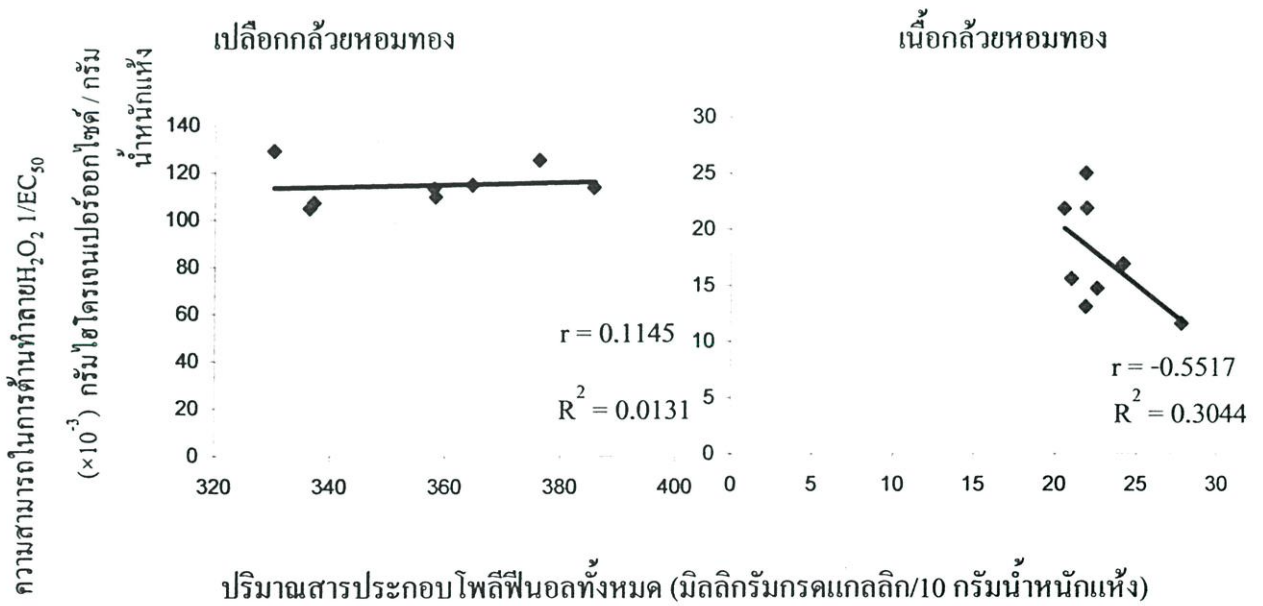
รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดกับความสามารถในการต้านปฏิบัติการออกซิเดชันโดยวิธี FTC ของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองโดยน้ำหนักสด



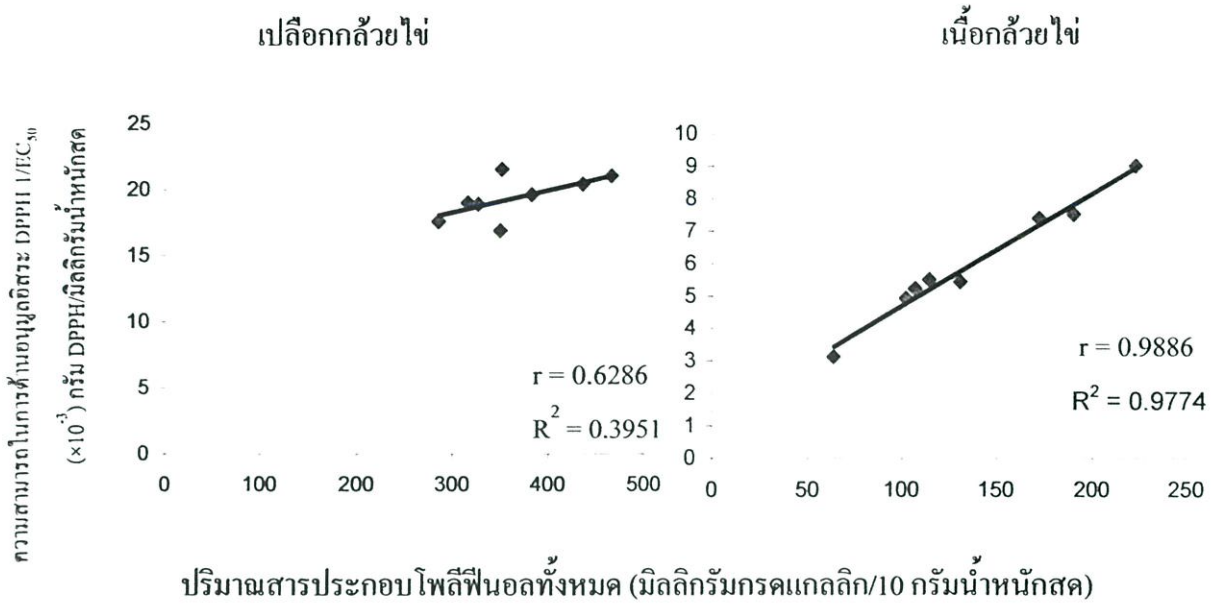
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดกับความสามารถในการต้านปฏิบัติการออกซิเดชันโดยวิธี FTC ของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทองโดยน้ำหนักแห้ง



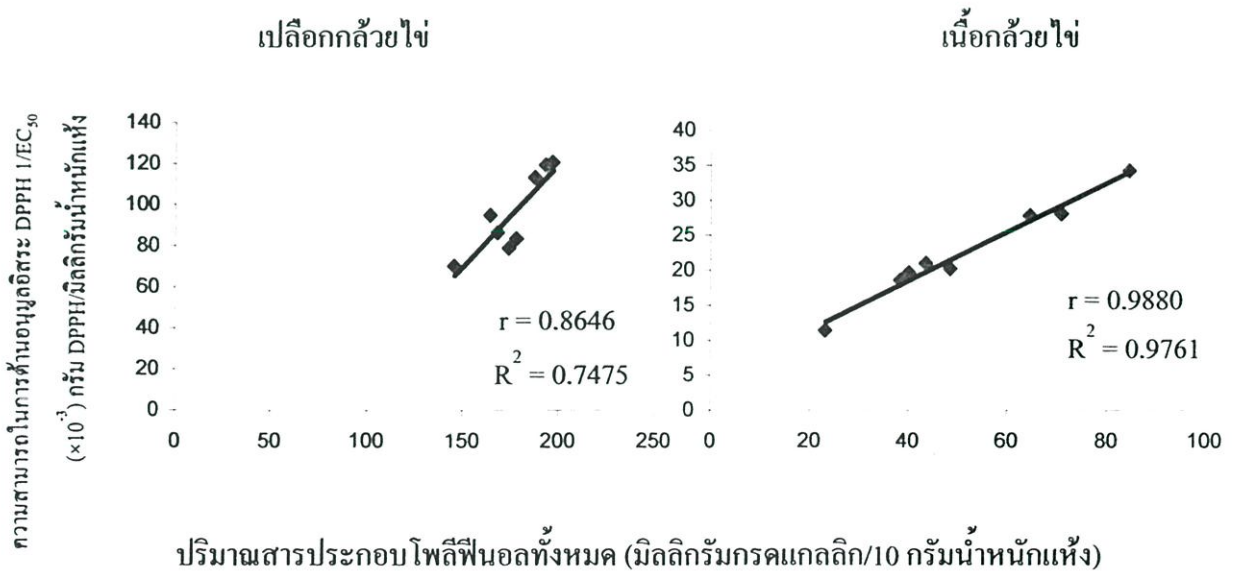
รูปที่ ๕ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดกับความสามารถในการต้านทำลาย H_2O_2 ของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทอง โดยน้ำหนักสด



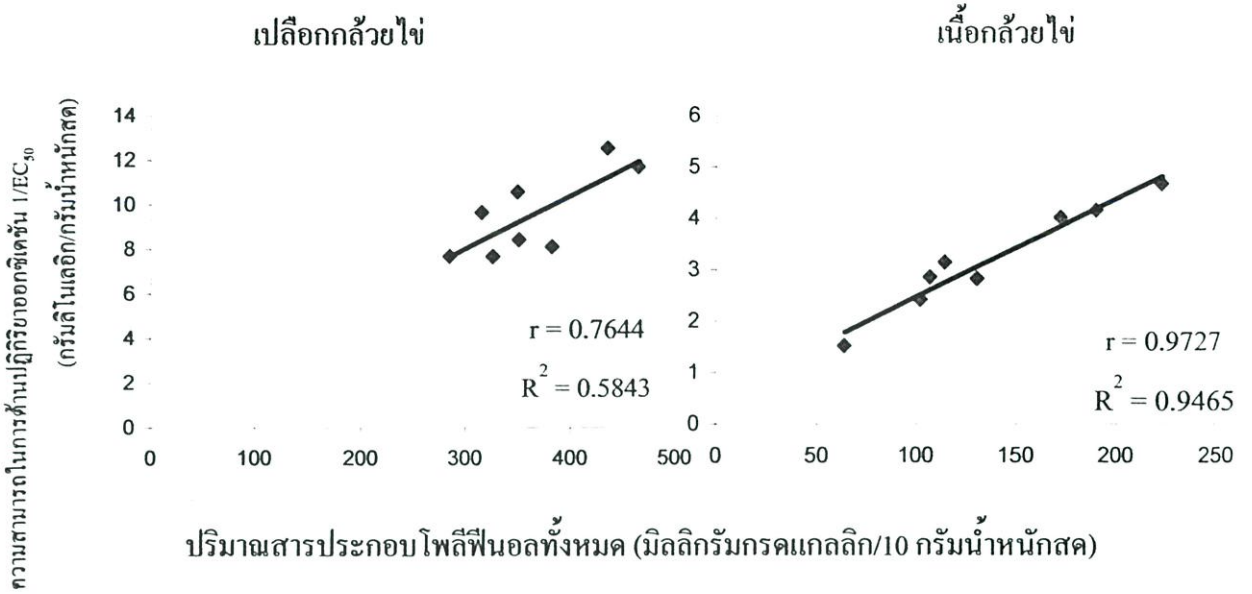
รูปที่ ๖ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดกับความสามารถในการต้านทำลาย H_2O_2 ของเปลือกและเนื้อกล้วยหอมทอง โดยน้ำหนักแห้ง



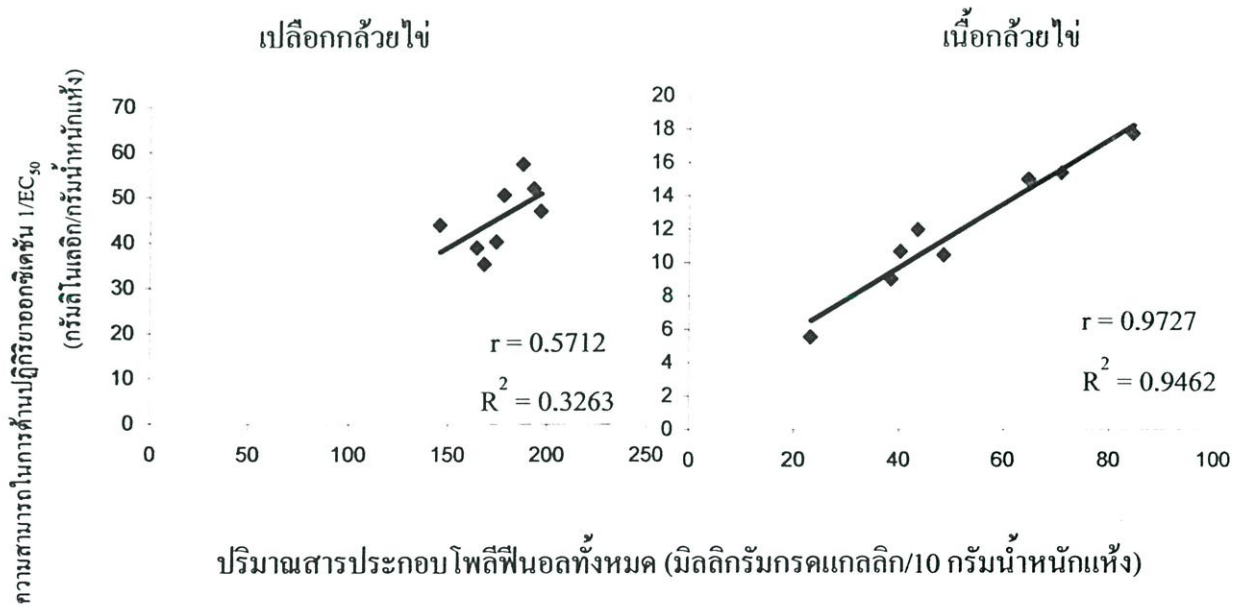
รูปที่ ๗ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของเปลือกและเนื้อกล้วยไข่โดยน้ำหนักสด



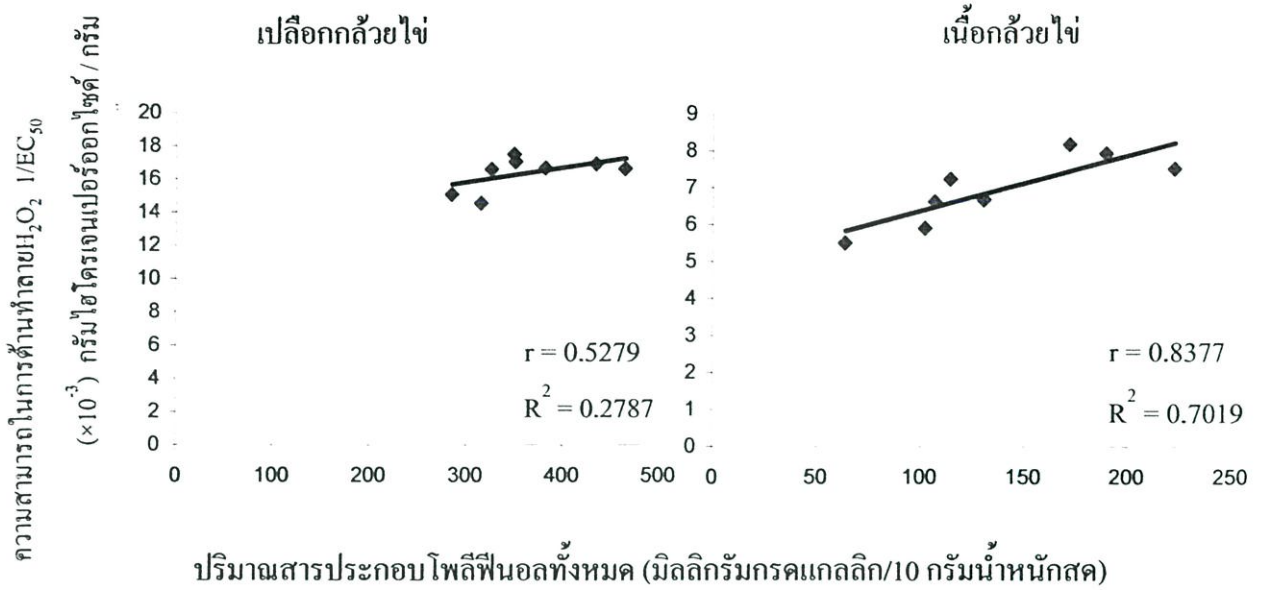
รูปที่ ๘ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของเปลือกและเนื้อกล้วยไข่โดยน้ำหนักแห้ง



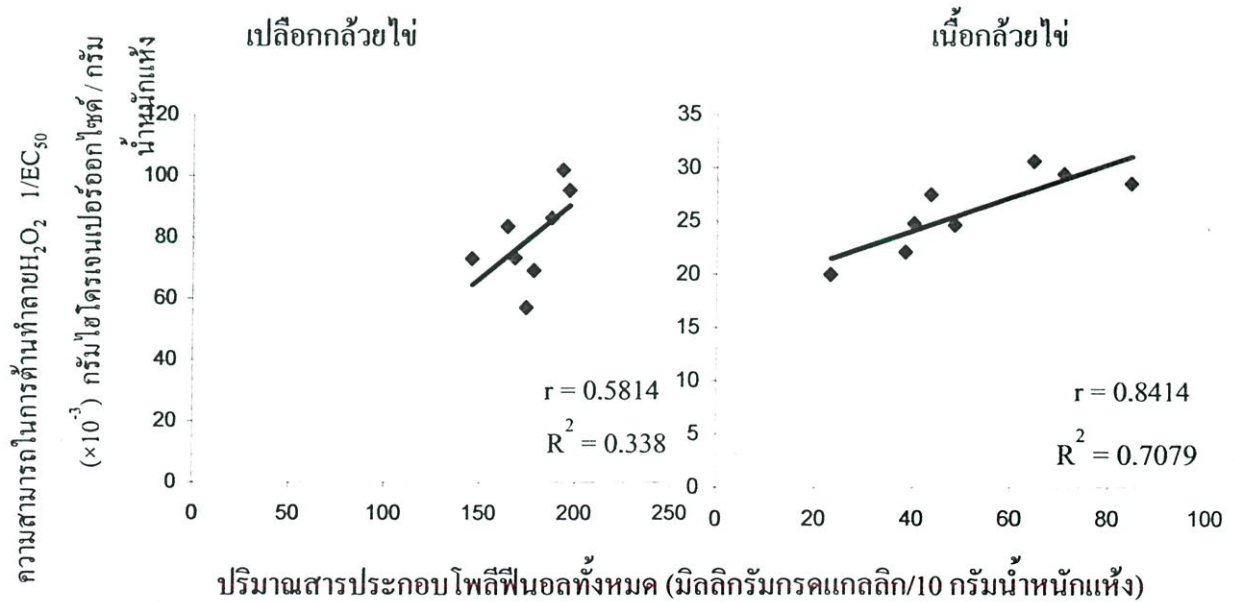
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดกับความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยวิธี FTC ของเปลือกและเนื้อกล้วยไข่โดยน้ำหนักสด



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดกับความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยวิธี FTC ของเปลือกและเนื้อกล้วยไข่โดยน้ำหนักสด



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดกับความสามารถในการต้านทำลาย H_2O_2 ของเนื้อและเปลือกกล้วยไข่โดยน้ำหนักสด



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดกับความสามารถในการต้านทำลาย H_2O_2 ของเนื้อและเปลือกกล้วยไข่โดยน้ำหนักแห้ง

ประวัติผู้เขียน

นางสาวศิริวรรณ จำแนกสาร เกิดในวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2526 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนชลประทานวิทยา และศึกษาในระดับปริญญาตรีที่มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย ในสาขาวิชา วิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จบการศึกษาในปีพ.ศ. 2547 และกำลังศึกษาคู่ในระดับปริญญาโทที่เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในสาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร