

รายงานการวิจัย

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของ
กล้วยน้ำว้าและผลิตภัณฑ์

PHENOLIC CONTENTS AND ANTIOXIDANT PROPERTIES OF
BANANA (NAM-WA) AND ITS PRODUCTS

นาย ประพันธ์ ปิ่นศิริโรดม

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณ 2549

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

RCH

QD

341

· P5

พ 31๑๗

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 116969

..... 21 ค.อ. 2554

วัน,เดือน,ปี.....

b. 12/22/03๐๙

สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้...
ทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร...
.....

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของกล้วยน้ำว้าและผลิตภัณฑ์ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2549 ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณชุตีกร สนิทพรัดนะ และคุณรามราช หมั่นศรีธาราม ผู้ช่วยวิจัยที่มีส่วนให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี และขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคน ที่อำนวยความสะดวกในการให้บริการมาโดยตลอด

ประพันธ์ ปิ่นศิริโรดม
หัวหน้าโครงการวิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากและกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง โดยเปรียบเทียบกระบวนการแปรรูปกล้วยตาก 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน (วันที่ 1 ใช้เวลาในการอบ 6 ชั่วโมง และวันที่ 2, 3, 4, 5 อบเป็นเวลา 3, 4, 6 และ 4 ชั่วโมงตามลำดับ) วิธีที่ 2 อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน (วันละ 8 ชั่วโมง) พบว่า ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างกล้วยน้ำว้าเริ่มต้นเท่ากับ 74.24 มิลลิกรัม/100 กรัม ตัวอย่างแห้ง และลดลงเป็น 44.44 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง ในผลิตภัณฑ์กล้วยตากที่ได้จากการแปรรูปโดยวิธีที่ 1 แต่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากสำหรับกล้วยตากที่ได้จากการแปรรูปวิธีที่ 2 ในขณะที่ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ลดลงจากเริ่มต้นคิดเป็นร้อยละ 53.10 และ 29.89 สำหรับกล้วยตากที่ได้จากการแปรรูปวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 ตามลำดับ สำหรับกระบวนการผลิตกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการนึ่ง หั่นเป็นชิ้นบางเก็บในถุงโพลีเอทิลีนทอดและอบ พบว่ามีผลทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดเท่ากับ 27.97, 57.20, 73.08, 98.15 และ 98.28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้การสูญเสียความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับ 33.22, 65.04, 95.63, 99.73 และ 99.75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

การเก็บรักษากล้วยตากโดยการบรรจุในถุงโพลีเอทิลีนและปิดผนึกที่สภาวะบรรยากาศเป็นเวลา 5 สัปดาห์ มีผลทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับ 19.15 และ 23.46 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีการสูญเสียมากกว่ากล้วยตากที่เก็บรักษาในถุงชนิดเดียวกันแต่ปิดผนึกที่สภาวะสุญญากาศ โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์สูญเสียเท่ากับ 3.61 และ 2.06 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับในกล้วยตากที่เก็บรักษา 5 สัปดาห์นอกจากนี้ในการเก็บรักษากล้วยทอดกรอบแผ่นบางในถุงโพลีเอทิลีนเป็นเวลา 5 สัปดาห์ พบว่ามี การสูญเสีย ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับ 28.88 และ 28.22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งการสูญเสียนี้เกิดขึ้นมากกว่าการเก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ การสูญเสียเท่ากับ 18.85 และ 19.28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ABSTRACT

Total polyphenol contents in banana [Musa (ABB group) Kluai Nam wa] pulp and peel at 8 levels of degree of ripening were analyzed. The total polyphenol contents decreased as the degrees of ripening increased and were greater in peel (175.19 to 287.56 mg gallic acid/100 g fresh wt.) than in pulp (47.97 to 198.29 mg gallic acid/100 g fresh wt.) at every degree of ripening. The decreased total polyphenol contents towards the degrees of banana ripening observed were correlated with decreases in DPPH radical scavenging capacity and inhibition of linoleic acid oxidation measured by ferric thiocyanate colorimetric method (FTC).

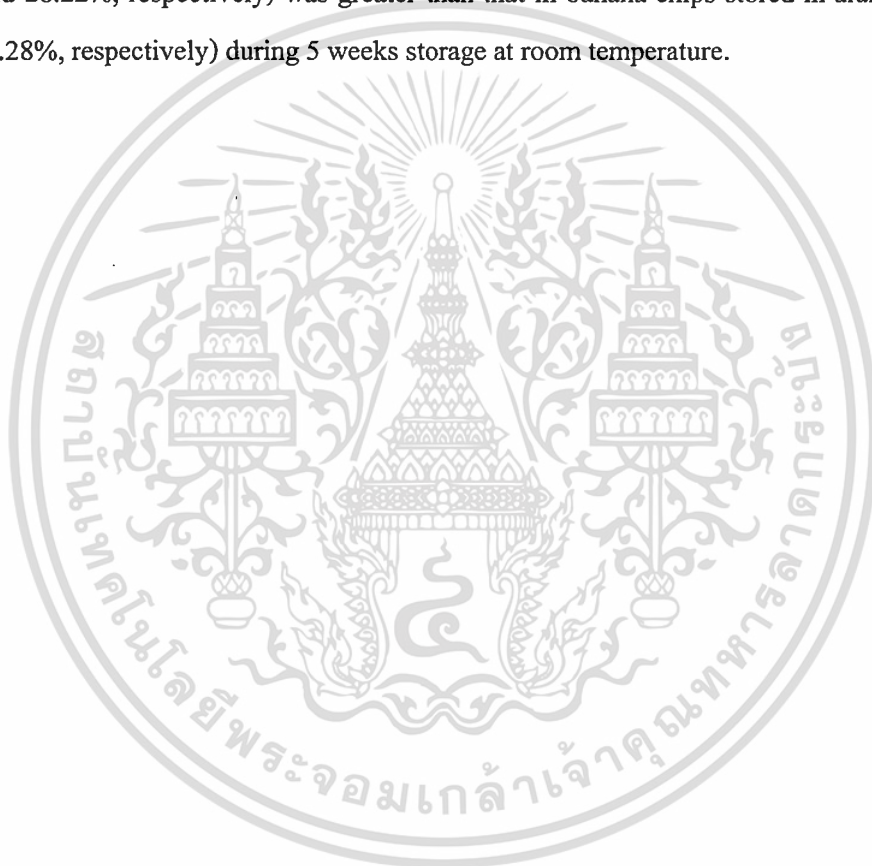
Antioxidant and antiradical properties of the extracts from banana pulp and peel at level 1 and 6 of ripening stage were evaluated using various methods; including DPPH radical scavenging, hydroxyl radical scavenging, superoxide radical scavenging, hydrogen peroxide scavenging, ferric thiocyanate colorimetric method (FTC) and ferric reducing antioxidant power (FRAP). It was found that, the antioxidant capacities were higher in peel extracts than in pulp extracts for all samples evaluated. In addition, the extracts from both pulp and peel of banana at level 1 of ripening stage showed the higher antioxidant and antiradical properties compared to the extracts from level 6 of ripening stage. Phenolic acid with the highest contents found both in pulp and peel of banana at level 1 and 6 of ripening stage was gallic acid; whereas protocatechuic, pcoumaric and ferulic acid were found with lower contents. All phenolic acids studied were greater in peel than in pulp at both level 1 and 6 of ripening stage.

Changes of total polyphenol contents and DPPH radical scavenging properties of banana (Nam – wa) during the production of dehydrated bananas and banana chips were investigated. The two processing methods for dehydrated banana preparation, including Process 1: drying of bananas in a tray dryer at 60°C for 5 days (6 hr for day 1 and 3, 4, 6, 4 hr for day 2, 3, 4 and 5, respectively) and Process 2: drying of bananas in a tray dryer at 60°C for 2 days (8 hr for each day) were compared. Results showed that, total polyphenol content in banana decreased from 74.24 mg/100 g dry sample for starting raw material to 44.44 mg/100 g dry sample for the dehydrated banana product obtained by Process 1, while slightly reduction of the total polyphenol content was observed in the finished product obtained by Process 2. However, the extent of DPPH radical scavenging capacities decreased up to 53.10 and 29.89% for the dehydrated bananas processed by Process 1 and Process 2, respectively. In each step of banana chip preparation; including blanching, slicing, conditioning in PE plastic bag, deep – frying, and final oven – drying, total polyphenol contents decreased 29.97, 57.20,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

73.08, 98.15 and 98.28%, respectively; whereas the DPPH radical scavenging capacities decreased in the extent of 33.22, 65.04, 95.63, 99.73 and 99.75% respectively compared to those of the starting raw material.

The dehydrated bananas stored in PE plastic bag sealed under vacuum condition resulted in lower reduction in total polyphenol content and DPPH radical scavenging capacities (3.61 and 2.06%, respectively) during 5 weeks storage at room temperature compared to those stored in PE plastic bag sealed under atmosphere condition (19.15 and 23.46%, respectively). In addition, the reduction of total polyphenol content and DPPH radical scavenging capacity in banana chips stored in PE plastic bag (28.88 and 28.22%, respectively) was greater than that in banana chips stored in aluminium bag (18.85 and 19.28%, respectively) during 5 weeks storage at room temperature.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	iii
กิตติกรรมประกาศ	v
สารบัญ	vi
สารบัญตาราง	vii
สารบัญรูป	ix
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	4
บทที่ 3 วัตถุประสงค์และวิธีการดำเนินการทดลอง	20
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	30
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	72
เอกสารอ้างอิง	75
ภาคผนวก	81
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์	82
ภาคผนวก ข ตารางแสดงผลการทดลอง	104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณค่าทางอาหารของกล้วยน้ำว้าสดและกล้วยตาก ต่อ 100 กรัม	14
4.1 องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพบางประการของกล้วยน้ำว้าที่ระดับความ สูงต่างกัน	31
4.2 ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสูง ต่างๆ	33
4.3 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระDPPH ของสารสกัดจากเนื้อกล้วยน้ำว้าที่ระดับความ สูงต่างกัน	35
4.4 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระDPPH ของสารสกัดจากเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระดับ ความสูงต่างกัน	36
4.5 ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยวิธี FTC ของสารสกัดจากเนื้อกล้วย น้ำว้าที่ระดับความสูงต่างกัน	38
4.6 ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยวิธี FTC ของสารสกัดจากเปลือกกล้วย น้ำว้าที่ระดับความสูงต่างกัน	39
4.7 ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ และการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในรูปแบบต่างๆ ของสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้า เปรียบเทียบกับวิตามินซี และ โทรอกซ์	42
4.8 ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ ในเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้า	46
4.9 ปริมาณและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการ ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในแต่ละขั้นตอนของการแปรรูป กล้วยตากวิธีที่ 1	49
4.10 ปริมาณและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการ ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในแต่ละขั้นตอนของการแปรรูป กล้วยตากวิธีที่ 2	52
4.11 ปริมาณและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการ ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในแต่ละขั้นตอนของการแปรรูป กล้วยทอดกรอบแผ่นบาง	55
4.12 ปริมาณและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการ ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยตากในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอ ทิลีนและปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่	หน้า
4.13 ปริมาณและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยตากในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทิลีนและปิดผนึกที่สภาวะสุญญากาศ	62
4.14 ปริมาณและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทิลีนและปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ	65
4.15 ปริมาณและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ	68
ตารางภาคผนวก ข-1 ลักษณะทางเคมีบางประการของกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสูงต่างกัน	104
ตารางภาคผนวกข-2 ปริมาณความชื้นในตัวอย่างกล้วยน้ำว้าระหว่างกระบวนการแปรรูปวิธีที่ 1	104
ตารางภาคผนวกข-3 ปริมาณความชื้นในตัวอย่างกล้วยน้ำว้าระหว่างกระบวนการแปรรูปวิธีที่ 2	104
ตารางภาคผนวกข-4 ปริมาณความชื้นในตัวอย่างกล้วยน้ำว้าระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง	105
ตารางภาคผนวกข-5 ปริมาณไขมันในตัวอย่างกล้วยน้ำว้าระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง	105

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ระดับความสุกของกล้วยหอมทอง 8 ระดับ	5
2.2 โครงสร้างทางเคมีของกรดแกลลิก	9
2.3 วิธีทางของการสังเคราะห์สารกลุ่มฟีนิล โพรพานอยด์ (phenylpropanoids) ในพืช	10
2.4 โครงสร้างทางเคมีของโคพามีน	13
4.1 สีและลักษณะปรากฏของผลกล้วยน้ำว้าทั้ง 8 ระดับความสุก	31
4.2 กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกในการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด	34
4.3 ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่าง ๆ	35
4.4 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระDPPH ของสารสกัดจากเนื้อกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่างกัน	37
4.5 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระDPPH ของสารสกัดจากเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่างกัน	38
4.6 ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC ของสารสกัดจากเนื้อกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่างกัน	40
4.7 ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC ของสารสกัดจากเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่างกัน	41
4.8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (ก) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ข) ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในแต่ละขั้นตอนของการแปรรูปกล้วยตากโดยวิธีที่ 1	51
4.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (ก) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ข) ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในแต่ละขั้นตอนของการแปรรูปกล้วยตากโดยวิธีที่ 2	55
4.10 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (ก) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ข) ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในแต่ละขั้นตอนของการแปรรูปกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง	57

รูปที่	หน้า
4.11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (ก) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ข) ของกล้วยตากในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทิลีนและปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ	62
4.12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (ก) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ข) ของกล้วยตากในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทิลีนและปิดผนึกที่สภาวะสุญญากาศ	64
4.13 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (ก) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ข) ของกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทิลีนและปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ	67
4.14 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (ก) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ข) ของกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟลอยด์และปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ	70
รูปภาคผนวก ก-1 กราฟมาตรฐานของสารละลาย DPPH	90
รูปภาคผนวก ก-2 กราฟปริมาณ DPPH ที่เหลือ เมื่อใช้สารสกัดจากเนื้อกล้วยน้ำว้าระดับความสุกที่ 6 ที่ความเข้มข้นต่างๆ	90
รูปภาคผนวก ก-3 กราฟเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ $^{\circ}\text{OH}$ เมื่อใช้สารสกัดจากเนื้อกล้วยน้ำว้าระดับความสุกที่ 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ	92
รูปภาคผนวก ก-4 กราฟเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ $\text{O}_2^{\cdot-}$ เมื่อใช้สารสกัดจากเนื้อกล้วยน้ำว้าระดับความสุกที่ 6 ที่ความเข้มข้นต่างๆ	94
รูปภาคผนวก ก-5 กราฟเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำลาย H_2O_2 เมื่อใช้สารสกัดจากเปลือกกล้วยน้ำว้าระดับความสุกที่ 6 ที่ความเข้มข้นต่างๆ	95
รูปภาคผนวก ก-6 กราฟเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยวิธี FTC เมื่อใช้สารสกัดจากเปลือกกล้วยน้ำว้าระดับความสุกที่ 6 ที่ความเข้มข้นต่างๆ	97
รูปภาคผนวก ก-7 กราฟมาตรฐานของวิตามินซีในการวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก	99
รูปภาคผนวก ก-8 กราฟมาตรฐานของโทรออกซ์ในการวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก	99
รูปภาคผนวก ก-9 กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกในการวิเคราะห์หาปริมาณกรดแกลลิก	102
รูปภาคผนวก ก-10 กราฟมาตรฐานของกรดพาราควมาริกในการวิเคราะห์หาปริมาณกรดพาราควมาริก	102
รูปภาคผนวก ก-11 กราฟมาตรฐานของกรดเฟอร์ูลิกในการวิเคราะห์หาปริมาณกรดเฟอร์ูลิก	102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้การบังคับใช้ของกฎหมายว่าด้วยการคุ้มครองสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญา โดยขอสงวนสิทธิ์ในชื่อและนามสกุลของนักวิจัย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่

หน้า

รูปภาคผนวก ก-12 กราฟมาตรฐานของกรด โปรโตแคทีชีวอิกในการวิเคราะห์หาปริมาณกรด
โปรโตแคทีชีวอิก

103



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1 ความสำคัญและที่มา

เป็นที่ทราบกันดีว่า การบริโภคอาหารประเภทผักและผลไม้เป็นประจำมีส่วนช่วยลดอัตราเสี่ยงของการเกิดโรคเรื้อรังต่างๆ เช่น โรคหัวใจ โรคความดันโลหิตสูง โรคเบาหวาน โรคมะเร็ง เป็นต้น ซึ่งสาเหตุเบื้องต้นสำคัญของการเกิดโรคร้ายแรงต่างๆ นั้น เกี่ยวข้องกับสภาวะที่ร่างกายขาดความสมดุลระหว่างปริมาณอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นหรือได้รับเข้าสู่ร่างกาย และการกำจัดอนุมูลอิสระโดยที่ปริมาณอนุมูลอิสระที่ได้รับสูงกว่าความสามารถที่ร่างกายจะกำจัดได้ทัน ซึ่งเรียกสภาวะดังกล่าวว่า oxidative stress ซึ่งอนุมูลอิสระที่เพิ่มมากขึ้นจะเข้าทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลต่างๆ ในร่างกายทำให้เกิดสภาวะทางพยาธิสภาพของโรคต่างๆ ดังกล่าว

ผักและผลไม้เป็นแหล่งของสารพฤกษเคมีที่มีสมบัติในการทำลายอนุมูลอิสระ หรือต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี สารประกอบที่รู้จักกันดีได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) โดยประกอบด้วยสารหลายชนิดและที่พบบ่อยในพืชคือ กรดฟีนอลิก (phenolic acids) และฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ดังนั้นการบริโภคผักและผลไม้เป็นประจำจึงมีผลดีต่อสุขภาพ กล่าวเป็นผลไม้ที่มีการบริโภคมากที่สุดชนิดหนึ่งของโลก ทำให้กล้วยเป็นแหล่งใหญ่ที่สุดของ สารประกอบฟีนอลิกที่มนุษย์ได้รับ (Vinson *et al.*, 2001) Kanazawa และ Sakakibara (2000) พบว่าสารสกัดจากกล้วยหอมมีองค์ประกอบของโดพามีน (dopamine) ซึ่งมีสมบัติในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดีกว่า BHT และสารประกอบฟีนอลิกต่างๆหลายชนิด นอกจากนี้ Someya และคณะ (2002) ยังรายงานว่า สารสกัดจากเปลือกและเนื้อกล้วยหอมมีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้ดี โดยที่ประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกกล้วยสูงกว่าการสกัดจากเนื้อกล้วยถึง 2.2 เท่า สารประกอบฟีนอลิกที่สำคัญซึ่งพบในสารสกัดจากเปลือกและเนื้อกล้วยหอมดังกล่าว ได้แก่ แกลโลคาเทชิน (gallocatechin) คาเทชิน (catechin) และ อีพิกาทะชิน (epicatechin)

กล้วยน้ำว้าเป็นกล้วยที่มีการปลูกมากเป็นอันดับหนึ่งในประเทศไทย เมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยชนิดอื่น ปลูกง่ายโตเร็ว ให้ผลผลิตตลอดทั้งปี และเป็นที่ยอมรับบริโภคกันมาก นอกจากนั้นการผลิตกล้วยน้ำว้าในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นทุกปี (กรมส่งเสริมวิชาการเกษตร, 2544) เนื้อกล้วยน้ำว้ามีคุณค่าทางโภชนาการสูง ให้พลังงานสูง โดยในเนื้อกล้วยมีวิตามินและแร่ธาตุที่สำคัญหลายชนิดเช่น ธาตุฟอสฟอรัส 43 มิลลิกรัม เบต้าแคโรทีน 54 มิลลิกรัม วิตามินซี 11 มิลลิกรัม จากน้ำหนักเนื้อกล้วย 100 กรัม โดยทั่วไปการแบ่งระยะความสุกของกล้วยหอมจะแบ่งเป็น 8 ระยะ ตามลักษณะปรากฏของสีเปลือก ผลสุกของกล้วยหอมที่เหมาะสมกับการบริโภค จะมียุคความสุกอยู่ในระยะที่ 6-7 ระยะ ความสุกของกล้วยที่ต่างกันจะมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ตรวจพบในผลกล้วยด้วยโดยทั่วไปเมื่อ

กล้วยมีระยะเวลาความสุขเพิ่มขึ้นปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจะมีแนวโน้มลดลง (Kanazawa and Sakakibara, 2000)

สารที่ถือว่ามีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันควรมีคุณสมบัติข้อใดข้อหนึ่งหรือหลายๆ ข้อ ได้แก่ สมบัติในการทำลายอนุมูลอิสระ (free radical scavenging activity) สมบัติในการต้านออกซิเดชันของไขมัน (antilipoperoxidant activity) สมบัติในการต้านปฏิกิริยาอันเนื่องมาจากออกซิเจนและอนุมูลอิสระ (antioxigen and antireactive oxygen species activity) และสมบัติในการจับกับไอออนของโลหะ (chelating property) โดยที่สารแต่ละชนิดจะมีศักยภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันแตกต่างกันไป นอกจากนี้สารชนิดเดียวกันอาจมีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระแต่ละชนิดแตกต่างกันด้วย ดังนั้นในการประเมินความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือในการทำลายอนุมูลอิสระของสารใดๆ จึงจำเป็นต้องใช้วิธีทดสอบหลายๆ วิธีในรูปแบบต่างๆ เพื่อให้ทราบถึงกลไกเบื้องต้นในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารนั้นๆ

กล้วยน้ำว้านิยมนำมาบริโภคทั้งแบบสดและที่ผ่านการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์โดยกระบวนการแปรรูปที่แตกต่างกัน เช่น กล้วยตาก กล้วยทอดกรอบแผ่นบาง กล้วยกวน กล้วยน้ำว้าในน้ำเกลือบรรจุกระป๋อง กล้วยทอดหรือกล้วยแขก กล้วยเชื่อม และกล้วยบวชชี เป็นต้น โดยทั่วไป กระบวนการแปรรูปอาหารส่วนใหญ่จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของสารต่างๆ ที่มีอยู่ในอาหาร โดยเฉพาะกรรมวิธีการแปรรูปที่เกี่ยวข้องกับการใช้ความร้อน Murakami และคณะ (2004) ได้ทดลองศึกษาผลของความร้อนต่อปริมาณและความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกบางชนิดในหลอดทดลอง พบว่า การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณและความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกที่ทดสอบน้อยมาก อย่างไรก็ตาม ความร้อนสูงที่ 180 องศาเซลเซียส จะมีผลทำให้สารประกอบฟีนอลิกส่วนใหญ่ถูกทำลายไป แต่ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการสลายตัวของสารประกอบฟีนอลิกบางชนิด ยังคงแสดงสมบัติการต้านอนุมูลอิสระได้ดี นอกจากนี้การผสมสารประกอบฟีนอลิก 2 ชนิดรวมกัน จะทำให้สารผสมดังกล่าวมีความเสถียรต่อความร้อนสูงขึ้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ของสารสกัดจากเปลือกและเนื้อกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่างกัน นอกจากนี้ยังศึกษาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางใด เมื่อนำกล้วยน้ำว้ามาผ่านกระบวนการแปรรูปที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์กล้วยตากและกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการผลิตในระดับอุตสาหกรรม โดยกล้วยตากยังเป็นตัวแทนของผลิตภัณฑ์ที่ใช้กล้วยน้ำว้าสุกงอมเป็นวัตถุดิบ ในขณะที่กล้วยทอดกรอบแผ่นบางเป็นตัวแทนของผลิตภัณฑ์ที่ใช้กล้วยน้ำว้าดิบเปลือกเขียวเป็นวัตถุดิบ

2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมด และความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่างๆ
2. ศึกษาสมบัติการต้านอนุมูลอิสระหรือปฏิกิริยาออกซิเดชันในรูปแบบต่างๆ ของสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้า
3. ศึกษาปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ ในเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้า
4. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอช ของกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากและกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง
5. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอช ในระหว่างเก็บรักษาผลิตภัณฑ์กล้วยตากและกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง

3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมด และความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระยะความสุกต่างๆ และศึกษาปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ รวมถึงสมบัติการต้านอนุมูลอิสระและปฏิกิริยาออกซิเดชันในรูปแบบต่างๆ ของสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้า

จากนั้นศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากและกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง โดยการแปรรูปกล้วยตากนั้นจะศึกษา 2 วิธีที่มีความแตกต่างกันในเรื่องระยะเวลาในการอบแห้ง นอกจากนี้ยังศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์กล้วยตาก และกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างการรักษาในสภาวะการบรรจุที่แตกต่างกัน

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองทำให้ทราบถึงประโยชน์ของกล้วยน้ำว้าต่อสุขภาพในแง่ของปริมาณสารประกอบฟีนอลิก รวมถึงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและ/หรือออกซิเดชันของกล้วยน้ำว้า และทำให้ทราบถึงผลของกรรมวิธีแปรรูปในแต่ละขั้นตอนต่อการสูญเสียปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างกล้วยน้ำว้า รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา และสามารถใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการแปรรูป รวมทั้งสภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์กล้วยตากและกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง

บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล้วย

กล้วยเป็นพืชที่ชอบอากาศร้อนชื้น ถิ่นแรกของกล้วยอยู่ในแถบเอเชียตอนใต้ ซึ่งประกอบด้วยทางเหนือของอินเดีย พม่า เขมร และจีนตอนใต้ และแถบหมู่เกาะอินโดนีเซีย เกาะบอเนียวฟิลิปปินส์ และไต้หวัน ในประเทศเหล่านี้จะพบกล้วยพื้นเมืองที่ไม่มีเมล็ด และปลูกแบบปล่อยปละละเลยไม่ค่อยมีการดูแล เปรียบเสมือนพืชป่า มิได้มีการดูแลดังเช่นพืชที่ปลูกทั่วไป ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่ตั้งอยู่ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้จึงเป็นถิ่นกำเนิดของกล้วยด้วย เป็นที่เข้าใจกันว่าทางภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งติดอยู่กับประเทศมาเลเซีย มีกล้วยป่าหลายชนิดที่กำเนิดในแถบนั้น นอกจากกล้วยป่าแล้วยังมีกล้วยที่สามารถรับประทานได้หลายชนิดที่มีกำเนิดทางภาคใต้ ดังเช่นกล้วยเล็บมือนาง กล้วยไขทองร่วง เป็นต้น กล้วยป่าที่พบทางภาคใต้คือ *M. acuminata* subsp. *malaccensis* เป็นส่วนใหญ่ ที่พบทางตะวันออกเฉียงใต้คือ *M. acuminata* subsp. *siamea* ส่วนที่พบทางภาคเหนือมักจะเป็น *M. acuminata* subsp. *burmanica* และ *M. acuminata* subsp. *microcarpa* (เบญจมาศ, 2538)

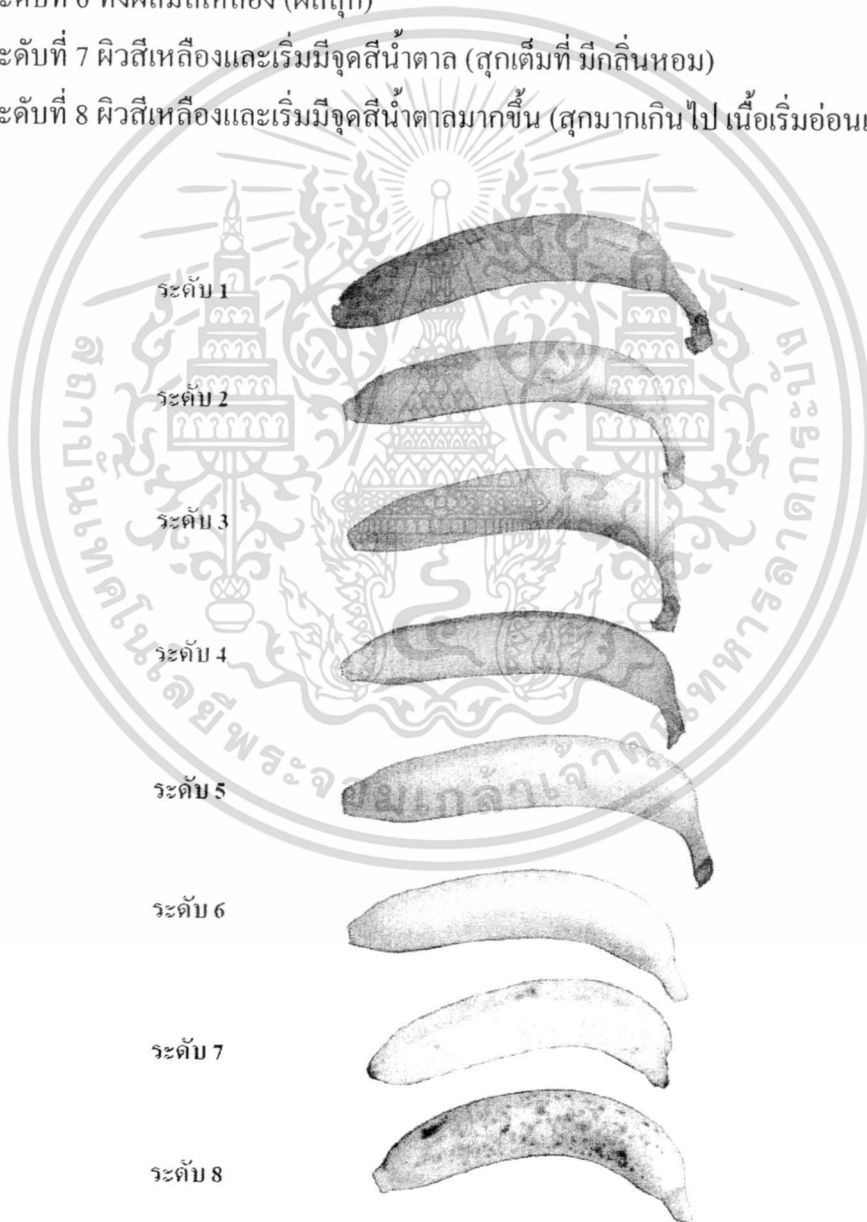
2.2 กล้วยน้ำว้า

กล้วยน้ำว้า [*Musa* (ABB group) “Kluai Numwa”] ชื่ออื่น ๆ กล้วยใต้ (เชียงใหม่ และเชียงราย) กล้วยตานีอ่อน (อุบลราชธานี) กล้วยมะลิอ่อน (จันทบุรี) กล้วยอ่อน (ชัยภูมิ) ชื่อสามัญ Pisang Awak กล้วยน้ำว้ามีลำต้นเทียมสูงไม่เกิน 3.5 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 15 เซนติเมตร กาบลำต้นด้านนอกสีเขียวอ่อน มีประคำเล็กน้อย ด้านในสีเขียวอ่อน ก้านใบมีร่องค่อนข้างแคบ เส้นกลางใบสีเขียว ก้านช่อดอกไม่มีขน ใบประดับรูปไข่ค่อนข้างป้อมม้วนขึ้นปลายป้าน ด้านบนสีแดงอมม่วงมีนวลด้านล่างสีแดงเข้ม เกรือหนึ่งมี 7-10 หวี หวีหนึ่งมี 10-16 ผล ผลกว้าง 3-4 เซนติเมตร ยาว 11-13 เซนติเมตร มีเหลี่ยมก้านผลยาว เปลือกหนา เมื่อสุกเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอมน้ำตาลเนื้อมีสีขาว รสหวานที่แกนกลางหรือเรียกว่าไส้กลาง มีสีเหลือง ชมพู หรือขาว ซึ่งทำให้แบ่งออกได้เป็นกล้วยน้ำว้าเหลือง กล้วยน้ำว้าแดง และกล้วยน้ำว้าขาว กล้วยน้ำว้าปลูกได้ทั่วไปในประเทศไทย นิยมบริโภคในทุกๆ ภาค ปลูกเป็นการค้าทั่วไปในภาคกลาง ภาคเหนือปลูกมากที่จังหวัดพิษณุโลก เนื้อกล้วยน้ำว้ามีคุณค่าทางอาหารสูง สามารถใช้เป็นอาหารเด็กอ่อน รับประทานสดและทำขนมได้หลายชนิด เช่น ขนมกล้วย กล้วยทอด กล้วยบวคซี กล้วยตาก กล้วยฉาบ และกล้วยกวน เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีกล้วยน้ำว้าที่ลำต้นมีความสูงน้อยกว่า 2.5 เมตร เรียกว่า น้ำว้าค่อม (เบญจมาศ, 2538)

เมื่อกล้วยสุกตลอดโรฟิลล์จะสลายตัวทั้งหมด ทำให้สีเหลืองแคโรทีนอยด์ปรากฏให้เห็น จากการศึกษาที่กล้วยมีการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือก พร้อมทั้งเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีเปลี่ยนน้ำตาลเป็นน้ำตาล จึงได้แบ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสุกของกล้วย เป็น 8 ระดับ เรียกว่า ดัชนีสีเปลือกกล้วย (Peel Color Index) สำหรับในประเทศไทย เบนจามาต (2538) ได้กล่าวถึงดัชนีสีเปลือกกล้วยหอมทอง โดยแบ่งระดับการสุกของกล้วย (รูปที่ 2.1) หลังจากตัดมาบ่มดังนี้

- ระดับที่ 1 เปลือกสีเขียว ผลแข็ง ไม่มีการสุก
- ระดับที่ 2 เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองเล็กน้อย
- ระดับที่ 3 เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองมากขึ้น แต่ยังมีสีเขียวมากกว่าสีเหลือง
- ระดับที่ 4 เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองและมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว
- ระดับที่ 5 เปลือกเป็นสีเหลือง แต่ปลายยังเป็นสีเขียว
- ระดับที่ 6 ทั้งผลมีสีเหลือง (ผลสุก)
- ระดับที่ 7 ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาล (สุกเต็มที่ มีกลิ่นหอม)
- ระดับที่ 8 ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาลมากขึ้น (สุกมากเกินไป เนื้อเริ่มอ่อนและมีกลิ่นแรง)



รูปที่ 2.1 ระดับความสุกของกล้วยหอมทอง 8 ระดับ

ที่มา: Stover and Simmonds, 1987

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 อนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระ คือ กลุ่มของสารที่มีอิเล็กตรอนวงนอกที่ยังไม่ได้จับคู่ มากกว่าหรือเท่ากับหนึ่ง อิเล็กตรอน ดังนั้นจึงมีความว่องไวสูงในการเข้าทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลในเซลล์ของร่างกาย อนุมูลอิสระส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นภายในเซลล์ระหว่างการถ่ายเทอิเล็กตรอนจาก โมเลกุลของออกซิเจนไปยังโมเลกุลของน้ำ ที่สำคัญได้แก่ อนุพันธ์ของออกซิเจนที่ไวต่อปฏิกิริยา (reactive oxygen species, ROS) ซึ่งสารกลุ่มนี้ได้แก่ อนุมูลอิสระไฮดรอกซิล (hydroxyl radical, OH•) ซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออน (superoxide anion, O₂•) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide, H₂O₂) ไฮโปคลอไรต์ (hypochlorous, HOCl) นอกจากนี้ยังมีกลุ่มของอนุพันธ์ไนโตรเจนที่ไวต่อปฏิกิริยา (reactive nitrogen species, RNS) ที่สำคัญได้แก่ ไนตริกออกไซด์ (nitric oxide, NO•) และ เปอร์ออกซีไนไตรท์ (peroxynitrite, ONOO-) เป็นต้น ทั้งกลุ่มของ ROS และ RNS จัดเป็นแหล่งของอนุมูลอิสระที่สำคัญของร่างกาย (วัลยา และพัชรี, 2542) อนุมูลอิสระเกิดได้ทั้งจากภายในร่างกายและภายนอกร่างกาย เช่น เกิดที่ไม่โตคอนเดรีย ไมโครโซม เพอร์ออกไซด์โซม โดยเกิดจากระบบการขนส่งอิเล็กตรอน การเกิดเมตาบอลิซึม ฟาโกไซโตซิส หรือเกิดจากสารเคมี รังสี ยาบางชนิด และความร้อน (Punchard and Kelly, 1996)

สภาวะ oxidative stress คือสภาวะที่ร่างกายไม่สามารถควบคุมและป้องกันปริมาณของอนุมูลอิสระให้อยู่ในระดับปกติที่ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายได้ โดยอนุมูลอิสระที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลต่างๆ ในร่างกาย เช่น การเกิดออกซิเดชันของไขมัน คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และกรดนิวคลีอิก การสร้างพันธะโควาเลนต์กับโปรตีน เป็นผลทำให้เกิดการยับยั้งการทำงานของโปรตีน เป็นต้น และพบว่าอนุมูลอิสระก่อให้เกิดสภาวะทางพยาธิสภาพในโรคสำคัญบางโรค ได้แก่ มะเร็ง โรคหัวใจ ไขมันอุดตันในเส้นเลือด ไช้ออกเสบและต่อกระดูก เป็นต้น (วัลยา และพัชรี, 2542)

2.3 สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (antioxidants)

สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน คือสารที่ทำหน้าที่ต่อต้านหรือยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ในที่นี้หมายถึง สารที่สามารถยับยั้งและควบคุมอนุมูลอิสระไม่ให้ไปกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (วัลยา และพัชรี, 2542) สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่พบในธรรมชาติมี 4 ประเภท (Frankel and Meyer, 2000) ได้แก่

1. สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในกลุ่มของเอนไซม์ที่สร้างได้ในเซลล์ร่างกาย ได้แก่ คาตาเลส (catalase) ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (superoxide dismutase) และ กลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดส (glutathione peroxidase) เป็นต้น
2. สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในกลุ่มของวิตามิน ได้แก่ วิตามินอี ในถั่ว ธัญพืช รำ ข้าวกล้องงา และวิตามินซีในผลไม้ ผักสด เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในกลุ่มของแร่ธาตุ เช่น ซีลีเนียม และสังกะสี ทำหน้าที่เป็นโคแฟกเตอร์ (co-factors) ของเอนไซม์ต้านออกซิเดชัน

4. สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในกลุ่มของสารพฤกษเคมี (phytochemicals) เป็นสารเคมีจากพืชที่ไม่ใช่วิตามินและสารอาหาร เช่น แคโรทีน ไลโคปีน แซนโทฟิล แทนนิน และฟลาโวนอยด์ เป็นต้น

2.4 สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds)

สารประกอบฟีนอลิก เป็นสารในกลุ่ม secondary metabolite ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในกระบวนการเจริญเติบโต และการขยายพันธุ์ของพืชแต่ละชนิด โดยทั่วไปมีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) มากกว่าหรือเท่ากับ 1 หมู่เกาะกับวงแหวนอะโรมาติก (aromatic ring) สารประกอบฟีนอลิกที่มีหมู่ไฮดรอกซิลมากกว่า 1 หมู่นิยมเรียกว่า สารประกอบโพลีฟีนอล (polyphenol) โดยส่วนใหญ่สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารที่ละลายน้ำ มักพบรวมอยู่กับน้ำตาลในรูปไกลโคไซด์ โดยน้ำตาลดังกล่าวอาจจะเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharides) น้ำตาลโมเลกุลคู่ (disaccharides) หรือโอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharides) ก็ได้ แต่น้ำตาลที่พบมากที่สุดโมเลกุลของสารประกอบฟีนอลิกคือ กลูโคส (glucose) ส่วนน้ำตาลชนิดอื่นที่พบได้แก่ กาแลคโตส (galactose) แรมโนส (rhamnose) ไชโรส (xylose) อะราบินโนส (arabinose) และอนุพันธ์ของน้ำตาลเหล่านี้ เช่น กรดกลูโคโรนิก (glucuronic acid) กรดกาแลคทูโรนิก (galacturonic acid) และอื่นๆ นอกจากนี้ยังพบว่าอาจมีการรวมตัวกันระหว่างสารประกอบฟีนอลิกกับสารประกอบฟีนอลิกด้วยกันเอง หรือสารประกอบฟีนอลิกกับสารประกอบอื่นๆ เช่น กรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acids) กรดอินทรีย์ (organic acids) อะมีน (amines) และไขมัน (Bravo, 1998) การสร้างสารประกอบฟีนอลิกของพืชจะมีทั้งปัจจัยทางด้านพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้อง นอกจากนี้ยังพบว่าวิธีการเพาะปลูก ระดับความสูง กระบวนการแปรรูป หรือแม้แต่วิธีการเก็บรักษาก็ล้วนมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งสิ้น

สารประกอบโพลีฟีนอลแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) และ นอนฟลาโวนอยด์ (non-flavonoids) (Burns *et al.*, 2000)

1. ฟลาโวนอยด์ มี 12 กลุ่มย่อย ได้แก่ ฟลาโวน (flavone) ไอโซฟลาโวน (isoflavone) ฟลาโวนอล (flavonol) ฟลาวาโนน (flavanone) ฟลาวาโนนอล (flavanonol) ฟลาวานอล (flavanol) ลูโคแอนโทไซยานิน (lucoanthocyanin) แอนโทไซยานิน (anthocyanin) ชาลโคน (chalcone) ไดไฮโดรชาลโคน (dihydrochalcone) ออโรน (aurone) และ แซนโทน (xanthone)

2. นอนฟลาโวนอยด์ ที่สำคัญได้แก่ กรดฟีนอลิก (phenolic acid) ตัวอย่างของกรดฟีนอลิกที่พบมากในผลไม้ทั่วไปคือ กรดแกลลิก (gallic acid) กรดโปรโตแคเทอควิก (protocatechuic acid) กรดวานิลลิก (vanillic acid) กรดพาราคูมาริก (*p*-coumaric acid) กรดเฟอร์ูลิก (ferulic acid) เป็นต้น นอกจากนี้ นอนฟลาโวนอยด์ ชนิดอื่นๆ ได้แก่ ไฮดรอกซีซินนามेट (hydroxycinnamate) สติบิเนส (stibinase) การค้า

เอกลำต้นเป็นเอกลักษณ์ที่สร้างผลให้กับการใช้งานเพื่อการค้า อย่างไรก็ตาม ไม่ว่าจะบริโภคหรือใช้ในรูปแบบใดก็ตาม ก็ควรคำนึงถึงปริมาณที่บริโภค และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความคงตัวของสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมดในการเป็นสารต้านออกซิเดชันจะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโมเลกุลสารประกอบฟีนอล ซึ่งได้แก่ (วิวัฒน์, 2545)

1. ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH)

เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิลในแต่ละตำแหน่งของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีบทบาทต่อสมบัติของการเป็นสารต้านออกซิเดชัน ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด – ด่างซึ่งจะมีผลทำให้หมู่ไฮดรอกซิลเกิดการเปลี่ยนแปลง จึงน่าจะมีผลต่อสมบัติการเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลด้วยเช่นกัน

2. อุณหภูมิ

อุณหภูมิสูงในระหว่างกระบวนการแปรรูปจะมีผลทำให้สารประกอบฟีนอลโมเลกุลเล็กๆ ระเหยกลายเป็นไอได้ในขณะพลาไวโนอยด์ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลที่มีโครงสร้างแบบ C6-C3-C6 โดยมีลักษณะเป็นวงแหวน 3 วงต่อกัน จะเกิดการแตกของวงแหวน C และสลายตัวต่อไป โดยวงแหวน B จะเปลี่ยนเป็นกรดคาร์บอกซิลิก และวงแหวน A จะเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอกซีอัลดีไฮด์ตามลำดับ และระเหยไปพร้อมกับไอน้ำ

3. แสง

แสงแดดเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่เร่งการสลายตัวหรือการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารประกอบฟีนอล เช่น หมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 5 ในโมเลกุลของแอนโทไซยานินจะสามารถเรืองแสงและไวต่อการสลายตัวเมื่อโดนแสงแดด นอกจากนี้แสงแดดยังเป็นปัจจัยเร่งให้เกิดการสลายตัวเนื่องจากความร้อนให้เกิดเร็วขึ้นด้วย

4. เอนไซม์

ในสภาพที่มีเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenoloxidase) อยู่ด้วยจะเป็นการเร่งการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลบางชนิดให้เกิดได้เร็วขึ้น แต่อัตราเร่งปฏิกิริยาจะแตกต่างกันออกไป เช่น โพลีฟีนอลออกซิเดส สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของ (-)-epicatechin ได้ดีกว่า(+)-catechin

5. การรวมตัวกับโมเลกุลอื่นๆ

สารประกอบฟีนอลสามารถเกิดการรวมตัวกับโมเลกุลอื่นๆ เช่น โพรตีน โพลีแซคคาไรด์อัลคาลอยด์และแอนโทไซยานินได้ง่าย และปฏิกิริยาอาจจะเป็นแบบสามารถผันกลับได้หรือไม่ได้นั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ในขณะที่เกิดปฏิกิริยา เช่น ออกซิเจน ไอออนโลหะ เอนไซม์และกรดเป็นต้น ซึ่งจะเป็นตัวการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมดุลของปฏิกิริยา เช่น ทำให้สารประกอบในภาวะสมดุลรวมตัวกันและตกตะกอนแยกออกมา หรือเกิดพันธะโควาเลนต์รวมตัวกันเป็นสารใหม่ทำให้ปฏิกิริยาไม่สามารถผันกลับได้ หากปรากฏการณ์เหล่านี้มีผลทำให้สารประกอบฟีนอลมีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างไป จะทำให้สารประกอบฟีนอลมีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างไป จะทำให้สารประกอบฟีนอลสูญเสียสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชันไปได้

2.5 กรดฟีนอลิก (phenolic acids)

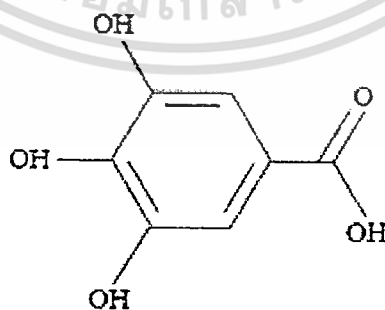
ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารในกลุ่มกรดฟีนอลิก และเอสเทอร์ของกรดฟีนอลิก จะขึ้นอยู่กับจำนวนหมู่แทนที่ไฮดรอกซิลใน โมเลกุล คุณสมบัติในการดึงหมู่อิเล็กตรอนของหมู่คาร์บอกซิลิกในกรดเบนโซอิก จะส่งผลให้ความสามารถในการให้ไฮโดรเจนของไฮดรอกซีเบนโซเอทน้อยลง ดังนั้นจะพบว่า สารกลุ่มไฮดรอกซีซินนามิกจะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่า (โอภา และคณะ, 2549)

1. ความสัมพันธ์ของ โครงสร้างและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารกลุ่มกรดไฮดรอกซีเบนโซอิก

1.1 การมีหมู่ไฮดรอกซิลเพียงหมู่เดียวที่ตำแหน่ง *o*- หรือ *p*- จะทำให้สารไม่มีหรือมีความสามารถในการต้านออกซิเดชัน โดยการให้ไฮโดรเจนน้อยมาก แต่หากวางอยู่ในตำแหน่ง *m*-จะมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันที่ดีกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจากอิทธิพลของหมู่คาร์บอกซิลิก (-COOH) ที่มีคุณสมบัติดึงอิเล็กตรอน โดยเฉพาะที่ตำแหน่ง *o*- และ *p*-จะได้รับผลนี้มากกว่า

1.2 การมีหมู่ไฮดรอกซิล 2 หมู่ในตำแหน่ง *m*-, *m*-(3, 5-OH) จะมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันดีกว่าที่ตำแหน่ง *m*-, *o*- และ *m*-, *p*- ตามลำดับ

1.3 การมีหมู่ไฮดรอกซิล 3 หมู่ จะมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันดีที่สุดใน กรดแกลลิก แต่ถ้าหมู่คาร์บอกซิลิก หรือไฮดรอกซิล ถูกบดบังจะทำให้มีความสามารถลดลงจากความสัมพันธ์ข้างต้น จะเห็นได้ว่า ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน หรือความสามารถในการให้ไฮโดรเจนเพื่อต้านอนุมูลอิสระ จะมีความสัมพันธ์กับจำนวนและตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิล อย่างไรก็ตาม คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระนี้จะแตกต่างจากสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ โดยพบว่าสารในกลุ่มนี้ไม่มีความสามารถในการยับยั้งขบวนการลิพิดเปอร์ออกซิเดชันที่เหนี่ยวนำให้เกิด โดยคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl₄) ซึ่งอาจเนื่องมาจากอนุมูลเปอร์ออกซิลมีความคงตัวต่ำ รวมทั้งมีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดีของสารในกลุ่มนี้ ทำให้การผ่านเข้าสู่เซลล์ต่ำ (โอภา และคณะ, 2549)

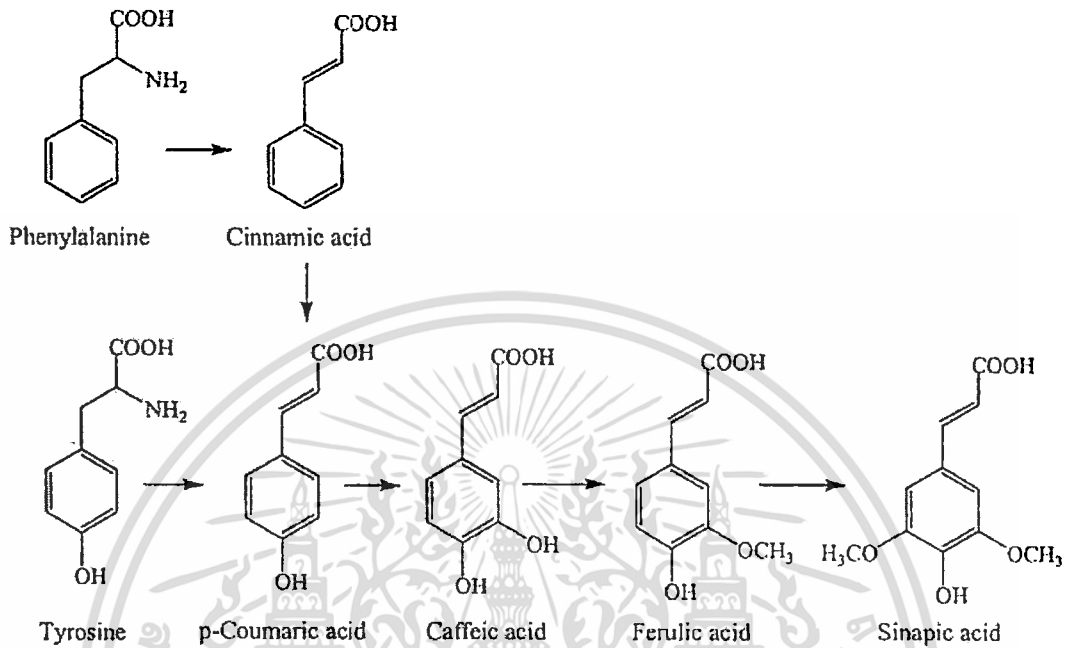


รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของกรดแกลลิก

2. ความสัมพันธ์ของ โครงสร้างและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารกลุ่มไฮดรอกซีซินนามิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟีนิลโพรพานอยด์ (phenylpropanoids) ในพืชที่พบได้มากที่สุด ได้แก่ กรดไฮดรอกซีซินนามิก กรดคูมาริก กรดคาเฟอิก และกรดเฟอร์ูลิก ซึ่งสารกลุ่มนี้จะได้จากกระบวนการชีวสังเคราะห์ shikimate โดยมี L-tyrosine เป็นสารตั้งต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.3 วิธีทางของการสังเคราะห์สารกลุ่มฟีนิลโพรพานอยด์ (phenylpropanoids) ในพืช

การแทรกหมู่เอทิลีน (-CH=CH-) ระหว่างวงฟีนิลและ หมู่คาร์บอกซิลิก ทำให้คุณสมบัติในการให้อิเลคตรอนเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะที่ตำแหน่ง *p*- จะได้รับอิทธิพลนี้มากกว่าที่ตำแหน่ง *o*- และ *m*- ตามลำดับ การมีหมู่ไฮดรอกซิล 1 หมู่ ในสารกลุ่มกรดไฮดรอกซีซินนามิกจะมีความเหมาะสมต่อคุณสมบัติในการให้ไฮโดรเจนดีกว่ามีหมู่ไฮดรอกซิล 2 หมู่ (โอภา และคณะ, 2549)

2.6 ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของผลไม้

การเกิดอนุมูลอิสระมีสาเหตุมาจากทั้งปัจจัยภายในและภายนอกร่างกายซึ่งร่างกายจะมีระบบการควบคุมและป้องกันไม่ให้อนุมูลอิสระเหล่านี้ทำลายองค์ประกอบภายในเซลล์ การเพิ่มการป้องกันอนุมูลอิสระเหล่านี้สามารถทำได้โดยการได้รับสารบางชนิดที่ทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชัน ซึ่งจะช่วยป้องกันอนุมูลอิสระเหล่านี้ได้ สารที่เราสามารถรับประทานเสริมได้แก่ วิตามินอี วิตามินซี เบต้าแคโรทีน และสารประกอบฟีนอล เป็นต้น โดยสารเหล่านี้มักจะพบมากในผักและผลไม้ ซึ่งมีรายงานมากมายที่กล่าวถึงสารที่ทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชัน ในผักและผลไม้

Wang และคณะ (1996) ได้ศึกษาปริมาณของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้งหมด (total antioxidant) ในผลไม้ 12 ชนิดและน้ำผลไม้ 5 ชนิด โดยวัดค่า oxygen radical absorbance capacity

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ORAC) พบว่า ในสตอเบอรี่มี ORAC activity สูงที่สุด ส่วนในกล้วยมีค่า ORAC activity ประมาณ 9.0 ไมโครโมลของโทลอกซ์ ต่อกรัม ในรูปของน้ำหนักแห้ง

ในปี 2002 Sun และคณะ ได้ศึกษา ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (total antioxidant activity) ในผลไม้ 11 ชนิด โดยวิธี total oxyradical scavenging capacity (TOSC) พบว่า แคนเบอร์รี่ (cranberry) มีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงที่สุด (ประมาณ 177 ไมโครโมลสมมูลวิตามินซี ต่อ กรัม) ส่วนในกล้วยมีค่าประมาณ 32.8 ไมโครโมลสมมูลวิตามินซี ต่อกรัม จัดอยู่ในอันดับที่ 8 ซึ่งมีค่าสูงกว่า ส้ม เกรฟฟรุต (grapefruit) และ สับปะรด

Vinson และคณะ (2001) ได้ศึกษาคุณภาพของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลไม้ 20 ชนิด โดยวิเคราะห์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของไลโปโปรตีน และวิเคราะห์ในรูปของค่า IC_{50} (ความเข้มข้นของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ที่ใช้ในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ 50%) ซึ่งถ้ามีค่าต่ำจะแสดงว่า ผลไม้ชนิดนั้นมีคุณภาพของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงพบว่าในกล้วยมีค่า IC_{50} ค่อนข้างต่ำคือประมาณ 0.39 ไมโครโมลาร์ ในรูปของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenols) แสดงว่ากล้วยมีสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มีคุณภาพค่อนข้างสูงกว่าผลไม้หลายชนิด เช่น แคนเบอร์รี่ แพร์ พลัม และ พีช (ซึ่งมีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.75, 0.51, 0.50, 0.46 ตามลำดับ) และเมื่อเปรียบเทียบกับค่า IC_{50} ของวิตามินซี (IC_{50} เท่ากับ 1.45 ไมโครโมลาร์) ทั้งกล้วยและผลไม้ชนิดอื่นที่ทำการทดลอง มีค่า IC_{50} ต่ำกว่าวิตามินซี นั่นคือ สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ในผลไม้มีคุณภาพดีกว่าในวิตามินซี และเมื่อวิเคราะห์ทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลไม้ โดยรายงานออกมาในรูปของค่า PAOXI (phenol antioxidant index) พบว่าในกล้วยมีสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ในด้านปริมาณและคุณภาพค่อนข้างสูง คืออยู่ในลำดับที่ 9 เมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้ 20 ชนิดที่ทำการทดลอง

นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาการบริโภคผลไม้ 20 ชนิดของชาวอเมริกัน พบว่า 1 หน่วยบริโภค (serving size) ของแคนเบอร์รี่ (55 กรัม) จะได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 373 มิลลิกรัม ในขณะที่ 1 หน่วยบริโภคของกล้วย (118 กรัม) จะได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 163 มิลลิกรัม แต่สำหรับผลไม้บางชนิด เช่น แคนตาลูป ส้ม สับปะรด และเกรฟฟรุต การบริโภคในแต่ละครั้งจะได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดไม่มากนัก ถึงแม้ว่าแคนเบอร์รี่ จะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด (678 มิลลิกรัม/100 กรัม) แต่ในหนึ่งวันชาวอเมริกันมีการบริโภคกล้วยในอัตราที่สูงกว่า คือ 24.4 กรัมต่อวัน ส่วนแคนเบอร์รี่จะบริโภคในอัตรา 0.4 กรัมต่อวัน ดังนั้นชาวอเมริกันจึงได้รับสารประกอบฟีนอลิก จากกล้วยสูงกว่าแคนเบอร์รี่ และผลไม้ชนิดอื่น โดยจะได้รับสารประกอบฟีนอลิก ถึง 81.8 มิลลิกรัม ต่อ วัน ในขณะที่จะได้รับสารประกอบฟีนอลิกจากแคนเบอร์รี่ เพียง 2.7 มิลลิกรัม ต่อ วัน ดังนั้นกล้วยจึงเป็นแหล่งใหญ่ที่สุดของสารประกอบฟีนอลิกที่ได้รับจากผลไม้

Murcia และคณะ (2001) ได้วิเคราะห์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของผลไม้แถบเมดิเตอร์เรเนียน (Mediterranean fruits) 15 ชนิด และผลไม้เมืองร้อน (tropical fruits) 11 ชนิดพบว่า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

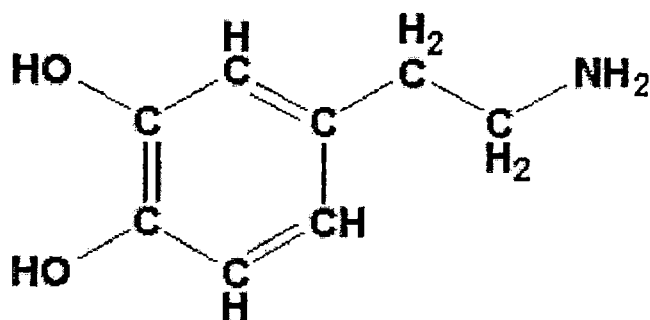
กล้วยเป็นผลไม้เมืองร้อนที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเปอร์ออกไซด์ (peroxyl radicals) ได้ดีที่สุด ส่วนองุ่นแดงและพลัมเป็นผลไม้แถบเมดิเตอร์เรเนียนที่มีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระเปอร์ออกไซด์ได้ดีกว่าบีเอชเอ (butylated hydroxyl anisol, BHA) บีเอชที (butylated hydroxyl toluene, BHT) และ โพรพิล แกลเลท (propyl gallate) นอกจากนี้ ทั้งผลไม้แถบเมดิเตอร์เรเนียนและผลไม้เมืองร้อน ยังมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล (hydroxyl radical) และ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ได้ดี ยกเว้นอโวคาโด และพีช

ในปี 1999 Gorinstein และคณะ ได้ศึกษาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและปริมาณกรดแกลลิกในผลไม้เขตร้อน (tropical fruit) คือ สับปะรด แอปเปิ้ล เงาะ ลำไย ฝรั่ง และ มะม่วง พบว่า มะม่วงสุกมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและปริมาณกรดแกลลิกสูงที่สุด ส่วนสับปะรดจะมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและปริมาณกรดแกลลิกต่ำที่สุด

2.7 สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในกล้วย

Kanazawa และ Sakakibara (2000) ได้ศึกษาสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในกล้วยหอม (*Musa cavendish*) พบว่าสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันหลักในกล้วยที่มีประสิทธิภาพในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน สูงที่สุดคือ โดพามีน (dopamine) และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ของโดพามีนกับสารชนิดอื่นพบว่า อัตราเร็วในการทำลายอนุมูลอิสระของโดพามีน จะเร็วและมีประสิทธิภาพดีกว่า กลูตาไธโอน (glutathione) บีเอชที ฟลาโวน ลูทีโอลิน (flavone luteolin) ฟลาโวนอล เควอซีติน (flavonol quercetin) และคาเทชิน (catechin) แต่จะใกล้เคียงกับ แกลโลคาเทชิน แกลเลท (gallocatechin gallate) และเมื่อศึกษาปริมาณโดพามีนในกล้วยที่ระยะความสุกทั้ง 8 ระยะพบว่ากล้วยมีสารโดพามีน อยู่ในปริมาณที่ค่อนข้างสูง ทั้งในเปลือกและในเนื้อ แต่ในเปลือกจะมีปริมาณสูงกว่า และเมื่อระยะความสุกเพิ่มขึ้นสารโดพามีน จะลดลงเล็กน้อย

โดพามีน เป็นสารประกอบฟีนอลิกที่สำคัญและมีปริมาณสูงทั้งในเปลือกกล้วย (700 ไมโครกรัม ต่อ กรัมน้ำหนักสด) และในเนื้อกล้วย (8 ไมโครกรัม ต่อ กรัมน้ำหนักสด) (Salunkhe and Kadam, 1995) ในระยะเก็บเกี่ยวพบว่าปริมาณโดพามีนในเนื้อกล้วยสูงถึง 80 % ของแทนนิน ในเนื้อกล้วยทั้งหมด หลังจากนั้นจะค่อย ๆ ลดลง โดยฟอร์มตัวเป็นสารเมตาบอไลต์ เช่น ซาลซินอล (salsinol) ส่วนในเปลือกกล้วยจะประกอบด้วยแทนนินมากกว่าเนื้อ 3-5 เท่า และจะมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดมากกว่าถึง 2 เท่า (John and Marchal, 1995)



รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของโดพามีน

ที่มา : www.aw-bc.com/mathews/ch21/dopamine.htm

ในปี 2002 Someya และคณะ ได้ศึกษาสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในกล้วยหอม (*Musa cavendish*) โดยวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (antioxidant activity) ของสารสกัดจากเปลือกกล้วย และเนื้อกล้วยต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (lipid autoxidation) พบว่าในเปลือกกล้วยจะมีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน สูงกว่าในเนื้อกล้วยถึง 2.2 เท่า เมื่อทำการแยกสารสกัดจากเปลือกกล้วยและเนื้อกล้วยด้วยวิธี HPLC เพื่อวิเคราะห์ถึงองค์ประกอบของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน พบว่ามีสารที่สำคัญ 3 ชนิดคือ แกลโลคาเทชิน (gallocatechin) คาเทชิน (catechin) และ อีพิกคาเทชิน (epicatechin) โดยแกลโลคาเทชิน เป็นสารที่สำคัญที่สุด ซึ่งในเปลือกกล้วยจะมีสารแกลโลคาเทชิน สูงกว่าในเนื้อกล้วยด้วยเช่นกัน

ในปี 2005 Mokbel และ Hashinaga ได้ศึกษาความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกกล้วยหอมดิบและเปลือกกล้วยหอมสุก โดยวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี Ferric thiocyanate colorimetric method (FTC) และความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี β -carotene bleaching พบว่าสารสกัดจากเปลือกกล้วยหอมดิบมีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH และการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้ง 2 วิธี สูงกว่าสารสกัดจากเปลือกกล้วยหอมสุก

จากการทดลองเบื้องต้นของ สุภาภรณ์ (2546) โดยศึกษาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด และสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยวิธี ABTS ของสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่างกัน โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายในการสกัด พบว่าที่ระดับความสุกของกล้วยน้ำว้าเพิ่มขึ้น ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดจะมีแนวโน้มลดลง ทั้งในเปลือกและเนื้อกล้วยน้ำว้า และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดที่ได้จากเนื้อกล้วยก็มีแนวโน้มลดลงเช่นกัน นอกจากนั้นสารสกัดจากเปลือกกล้วยน้ำว้ามีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงกว่าสารสกัดจากเนื้อกล้วยน้ำว้า

2.7 กกล้วยตาก (dehydrated banana)

กล้วยตากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากกล้วยสุกงอม โดยใช้กรรมวิธีการแปรรูปด้วยการทำแห้ง ซึ่งอาจรู้จักในชื่อ banana figs หรือ fingers consist กระบวนการผลิตกล้วยตากนั้นสามารถทำได้หลายวิธี แต่กระบวนการแปรรูปหลักคือ กล้วยสุกงอม ปอกเปลือก นำมาทำแห้งให้มีความชื้นสุดท้ายอยู่ประมาณ 12–18 เปอร์เซ็นต์ โดยจะใช้การทำแห้งทั้งผลหรือนำมาฝานเป็นแผ่นก่อนนำมาทำแห้งก็ได้ ในสมัยเริ่มแรกจะใช้แสงอาทิตย์ในการทำแห้ง อย่างไรก็ตามการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิในการทำแห้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงมีการปรับปรุงมาใช้ตู้อบแห้ง ซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิในการอบแห้งได้ดี (Crowther, 1979) ในประเทศไทยกล้วยตากนิยมผลิตจากผลกล้วยน้ำว้าที่สุกงอม ปอกเปลือกเอาแต่เนื้อกล้วยไปตากแดดหรืออบในตู้อบที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ กล้วยตากเป็นกล้วยแปรรูปที่รู้จักกันดี และเป็นที่นิยมบริโภคกันมากทั้งในประเทศ และมีการผลิตกล้วยตากส่งออกยังต่างประเทศอีกด้วย กล้วยตากที่มีชื่อเสียงอยู่ที่จังหวัดพิษณุโลก ได้แก่ กล้วยตากบางกระพุ่ม กล้วยที่ใช้คือน้ำว้าขาวหรือกล้วยน้ำว้ามะลิอ่อน ซึ่งมีรสหวาน จะให้กล้วยตากที่มีสีสวย และรสหวาน (เบญจมาศ, 2545) จากตารางที่ 2.1 เมื่อเปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารของกล้วยน้ำว้าและผลิตภัณฑ์กล้วยตากต่อน้ำหนัก 100 กรัม จะเห็นว่าปริมาณของพลังงาน คาร์โบไฮเดรต และโปรตีนในกล้วยตากจะมีปริมาณมากกว่าในกล้วยน้ำว้า แต่ปริมาณของไขมันในกล้วยตากจะต่ำกว่าในกล้วยน้ำว้าสด

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางอาหารของกล้วยน้ำว้าสดและกล้วยตาก ต่อ 100 กรัม

สารอาหาร	กล้วยน้ำว้าดิบ	กล้วยน้ำว้าสุก	กล้วยตาก
ความชื้น (%)	69.0	71.6	30.8
พลังงาน (แคลอรี)	110.0	100.0	266.0
ไขมัน (กรัม)	0.2	0.3	.01
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	28.7	26.1	64.1
โปรตีน (กรัม)	1.4	1.2	2.2
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	8.0	12.0	12.0
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	35.0	32.0	84.0
เหล็ก (มิลลิกรัม)	0.9	0.8	1.3
วิตามินเอ (IU)	483.0	375.0	-
วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม)	0.04	0.03	0.05
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม)	0.02	0.04	0.11
ไนอาซีน (มิลลิกรัม)	0.6	0.6	-
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	31	14.0	3

ที่มา: เบญจมาศ, 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผลิตกล้วยตากในประเทศไทยเป็นที่รู้จักกันมานานแล้วโดยมีการผลิตทั่วทุกภาคของประเทศ ในแต่ละพื้นที่อาจแตกต่างกันไปในรายละเอียดของขั้นตอนการผลิต โดยเฉพาะในเรื่องระยะเวลาในการอบแห้ง ตัวอย่างเช่นในการแปรรูปกล้วยตากตามวิธีของกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรหลวงวัง จังหวัดอ่างทอง ที่รายงานโดย พรเพ็ญและนิภาพร (2548) จะอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4-6 ชั่วโมง แต่ใช้เวลาในการอบถึง 5 วัน ในขณะที่การแปรรูปกล้วยตากตามวิธีของกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรห้วยไฉ้ จังหวัดเชียงใหม่ (2548) จะใช้อุณหภูมิในการอบที่ 60 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมงและเสร็จสิ้นภายในเวลา 2 วัน เป็นต้น อย่างไรก็ตามขั้นตอนการผลิตกล้วยตาก อาจสรุปขั้นตอนหลักๆ ที่สำคัญในการผลิตได้ดังนี้ (ชนัท, 2546)

1) การคัดเลือกวัตถุดิบ

กล้วยทุกชนิด เช่น กล้วยหอม กล้วยไข่ กล้วยเล็บมือนาง หรือกล้วยน้ำว้า สามารถผลิตเป็นกล้วยตากได้ แต่อาจมีลักษณะที่ต่างกันเล็กน้อย คือ กล้วยตาก ที่ทำจากกล้วยหอม กล้วยไข่ และกล้วยเล็บมือนาง มีรสอร่อยและกลิ่นหอมกว่ากล้วยน้ำว้าแต่สีเข้มกว่า สิ่งที่ต้องคำนึงในการเลือกใช้ชนิดของกล้วยมาผลิตเป็นกล้วยตาก คือ ราคาของกล้วย ชนิดของกล้วยที่มีในแหล่งผลิต ปริมาณเพียงพอต่อการแปรรูป และคุณภาพของกล้วยตากที่ผลิตได้ กล้วยตากที่มีขายในท้องตลาดปัจจุบันผลิตจากกล้วยน้ำว้า และกล้วยเล็บมือนาง กล้วยตากจากกล้วยเล็บมือนางมีการผลิตกันมากในจังหวัดทางภาคใต้เพราะเป็นกล้วยพื้นเมืองของภาคใต้โดยเฉพาะที่จังหวัดชุมพร มีการผลิตกล้วยเล็บมือนางแห้งออกจำหน่ายตามท้องตลาด (วรนิษฐ์, 2537) ส่วนกล้วยตากที่ผลิตจากกล้วยน้ำว้านั้นเป็นที่รู้จักดี โดยเฉพาะที่ผลิตจากอำเภอบางกระพุ่ม จังหวัดพิษณุโลก กล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่อนหรือที่เรียกว่าพันธุ์ไข่ขาวเป็นพันธุ์ที่เหมาะสมในการผลิต เพราะเมื่อแปรรูปเป็นกล้วยตากมีสีสวย กลิ่นหอม รสชาติหวาน รู้สึกนุ่มเวลากัดไม่สะดุดใส่ เนื้อละเอียด และกล้วยพันธุ์นี้มีขนาดผลสม่ำเสมอและคู่สวยงาม (พานิชย์, 2541)

2) การเตรียมกล้วยก่อนการอบ

กล้วยที่นำมาเตรียมผลิตเป็นกล้วยตาก ควรเป็นกล้วยที่สุกด้วยการบ่มตามธรรมชาติหลีกเลี่ยงการใช้กล้วยที่สุกจากดินเพราะอาจมีไข่แมลงวันทองติดมา กล้วยสุกสังเกตได้จากเปลือกธรรมชาติของกล้วยมีสีเหลืองนวลคล้ายสีดอกกระดังงา นำกล้วยสุกปอกเปลือกและอาจมีการลอกเส้นใยกล้วยออกด้วยก็ได้แล้วจึงนำไปลดความชื้น ลักษณะของกล้วยที่ทำแห้งมีทั้งกล้วยทั้งลูกไม่มีการหั่น หรือตัดปลายทั้ง 2 ด้านประมาณ 0.5 เซนติเมตร หรือหั่นตามยาว 1 ครั้ง หรือ 2 ครั้ง หรือผ่าสี่ นอกจากนี้อาจนำกล้วยที่ปอกเปลือกแล้วไปแช่ในสารละลายบางชนิดก่อนการทำแห้ง สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์เข้มข้นประมาณร้อยละ 0.05-1 นานประมาณ 30 นาที หรือสารละลายเกลือเข้มข้นร้อยละ 5 นานประมาณ 20-30 นาที หรือลวกกล้วยในน้ำเดือดเป็นระยะเวลาหนึ่งก่อนนำกล้วยไปทำแห้ง (รชฎ และเชียรชัย, 2532) Ehabe และคณะ (2005) ทดลอง นำกล้วยหอมสุกมาแช่สารละลายน้ำตาลและ/หรือเกลือก่อนนำไปอบแห้ง ซึ่งทำให้กล้วยอบแห้งที่ได้มีความชื้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกล้วยอบแห้งที่ได้ ทางด้าน เนื้อสัมผัส สี กลิ่นรส พบว่ากล้วยอบแห้งที่ผ่านการแช่ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายน้ำตาลและ/หรือเกลือได้รับการยอมรับมากกว่ากล้วยอบแห้งที่อยู่ในกระบวนการผลิตไม่ผ่านการแช่สารละลายน้ำตาลและ/หรือเกลือ

3) การทำแห้ง

การทำแห้งมีความสำคัญมาก ขั้นตอนนี้เป็นการใช้ความร้อนทำให้น้ำภายในกล้วยระเหยออกสู่อากาศภายนอกจนความชื้นในกล้วยลดลง สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 2528) ได้กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์กล้วยอบต้องมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 21 ความร้อนที่ใช้ทำแห้งกล้วยได้แก่ความร้อนจากธรรมชาติ คือ แสงอาทิตย์ และความร้อนจากไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิงอื่นๆ

การทำแห้งที่ใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์แต่เดิม คือ การตากแดด โดยนำกล้วยที่เตรียมเสร็จแล้ววางบนแผงตากกล้วยในที่โล่งแจ้ง ใช้เวลาประมาณ 6 – 7 วัน (พรพนีย์, 2537) แต่วิธีนี้มักมีการปนเปื้อนของสิ่งสกปรกระหว่างการตาก มีการพัฒนาเป็นการใช้ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถลดเวลาดตากเหลือประมาณ 4 – 5 วัน และยังช่วยลดการปนเปื้อนของสิ่งสกปรกระหว่างการทำแห้งได้ด้วย การทำแห้งด้วยวิธีนี้เสียค่าใช้จ่ายต่ำ อุณหภูมิหรือความร้อนที่ใช้ทำแห้งไม่คงที่ระยะเวลาทำแห้งค่อนข้างนาน (รชฎ และ เจริญชัย, 2532)

2.8 กล้วยทอดกรอบแผ่นบาง (banana chips)

กล้วยทอดกรอบแผ่นบาง (banana chips หรือ banana crisps) เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะคล้ายกับมันฝรั่งแผ่นทอดกรอบ (potato chips) โดยใช้กล้วยดิบเป็นวัตถุดิบ นำมาฝานเป็นแผ่นบางผึ่งให้แห้ง จากนั้นจึงนำมาทอดในน้ำมันท่วม (Crowther, 1979) ในประเทศไทยนิยมใช้กล้วยน้ำว้าหรือกล้วยหักมุก (*Musa* (ABB group) “Kluai Hak Muk”) และปัจจุบันมีการใช้กล้วยหอมด้วยประเทศฟิลิปปินส์นิยมใช้กล้วยซาบา (*Musa* (BBB group) “Saba”) ซึ่งมีลักษณะคล้ายกล้วยหิน (*Musa* (BBB group) “Kluai Hin”) การฝานกล้วยอาจจะฝานตามยาวหรือตามขวางก็ได้ ปัจจุบันมีการส่งกล้วยทอดกรอบแผ่นบางออกขายต่างประเทศ แต่กล้วยทอดกรอบแผ่นบางมีข้อเสียที่ว่า เมื่อเก็บไว้นานจะมีกลิ่นหืน และสูญเสียความกรอบเนื่องจากการดูดความชื้น สำหรับในประเทศไทยหลังจากทอดแล้วนิยมฉาบด้วยน้ำตาลเรียกว่า กล้วยฉาบ (เบญจมาศ, 2545) หรือปรุงรสด้วยเกลือหรือสารปรุงแต่งกลิ่นรสอื่นๆ

กรรมวิธีการผลิตกล้วยทอดกรอบในแต่ละพื้นที่ของประเทศไทยนั้น โดยมากจะมีกระบวนการแปรรูปที่คล้ายคลึงกันคือ นำกล้วยมาปอกเปลือก ล้างให้สะอาด หั่นเป็นชิ้นบางและทอด แต่อาจมีความแตกต่างกันบ้างเล็กน้อยรายละเอียดในแต่ละวิธีการแปรรูป โดยสามารถสรุปขั้นตอนหลัก ๆ ของการแปรรูปกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง ดังนี้ (มณฑาทิพย์ และคณะ, 2548)

1) ปอกเปลือกกล้วย โดยกรีดตามยาวของผลกล้วยโดยรอบหรือนำกล้วยมาหั่นโดยไอน้ำก่อนเพื่อความสะดวกในการปอกเปลือก และดึงเปลือกออกจากนั้นแช่ในสารละลายเกลือหรือสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ หรืออาจใช้น้ำส้มสายชูมาเจือจางเพื่อใช้ในการแช่กล้วย

2) นำกล้วยที่ผ่านการแช่สารละลายเกลือหรือสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ มาล้างให้สะอาด ทิ้งให้สะเด็ดน้ำ ผ่านกล้วยตามยาวของผล หรือผ่านเป็นชิ้นบางตามขวางประมาณ 0.2–0.5 เซนติเมตร ผึ่งกล้วยให้แห้งกล้วยหมาดๆ โดยอาจผึ่งบนตะแกรงหรือนำมาบ่มในถุงพลาสติกเพื่อเป็นการปรับความชื้นให้กล้วยแต่ละชิ้นมีความชื้นใกล้เคียงกันหรือในบางกรณีอาจนำมาทอดเลยโดยไม่ต้องผ่านการผึ่งให้แห้งก่อนก็ได้

3) นำกล้วยที่ได้มาทอดโดย ตั้งกระทะใส่น้ำมันพอร้อน นำกล้วยทอดพอเหลือง ตักขึ้นให้สะเด็ดน้ำมันมีการกำหนดระดับของอุณหภูมิของน้ำมันและเวลาที่ใช้ทอด เช่น 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เป็นต้น

4) นำกล้วยที่ผ่านการทอดแล้วมาผึ่งให้สะเด็ดน้ำมัน โดยหลังจากนั้นอาจมีการนำมาอบเช่น อบที่อุณหภูมิประมาณ 50 – 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 – 30 นาที เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบเพิ่มขึ้น

2.9 ผลของความร้อนต่อความเสถียรและสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกในผักและผลไม้

ในผักและผลไม้สด เราสามารถพบปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกและสารอื่นๆ ที่มีสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันอยู่ในปริมาณมาก แต่เมื่อนำผักและผลไม้เหล่านั้นมาผ่านกระบวนการแปรรูปโดยอาศัยความร้อนเช่น การอบแห้ง การต้ม การลวก หรือการทอดจะมีผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสารอื่นๆ ที่มีสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ลดลงเนื่องจากเกิดการสลายตัวเมื่อได้รับความร้อน

Laurena และคณะ (1986) ศึกษาการสูญเสียปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในถั่วงอกขาวที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ และการให้ความร้อนโดยไม่โครเวฟจากผลการทดลองพบว่าตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนโดยไม่โครเวฟจะมีการสูญเสียปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเท่ากับ 71 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยกว่าตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนโดยกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ ที่มีการสูญเสียถึง 83 เปอร์เซ็นต์

Larrauri และคณะ (1997) ศึกษาปริมาณของสารประกอบฟีนอลิก และสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในองุ่นแดงที่ผ่านกระบวนการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 100 และ 140 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dried) โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 และ 140 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดการสลายตัวของสารประกอบโพลีฟีนอล 18.6 และ 32.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่สมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันลดลง 28 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับการอบที่อุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส นั้นพบว่าปริมาณของสารประกอบฟีนอลิก และสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันไม่มีความแตกต่างกับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการแปรรูปโดยการทำแห้งผลพลับมีผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลพลับสด ซึ่งผลการทดลองนี้ สอดคล้องกับรายงานของ Jung และคณะ(2005) ซึ่งศึกษาสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของผลพลับสดเปรียบเทียบกับผลพลับแห้ง พบว่า สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีค่าลดลงจาก 88 เป็น 84 เปอร์เซ็นต์เมื่อนำผลพลับสดมาผ่านกระบวนการทำแห้ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

การศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกและเนื้อกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่างกัน ใช้กล้วยน้ำว้า [Musa (ABB group) Klwai Nam wa] ที่มีระดับความสุกของกล้วย ตั้งแต่ ระดับที่ 1 ถึงระดับที่ 8 โดยใช้เกณฑ์การพิจารณาเช่นเดียวกับกรณีของกล้วยหอม (เบญจมาศ, 2538)

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของกล้วยตากและกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างกระบวนการแปรรูปและการเก็บรักษาใช้กล้วยน้ำว้าแก่จัดเปลือกเขียว (ระดับความสุกที่ 1) สำหรับใช้ในการแปรรูปกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง และเมื่อนำกล้วยน้ำว้าดังกล่าวมาบ่มที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้กระดาษหนังสือพิมพ์คลุมจนกล้วยสุกงอม (ระดับความสุกมากกว่าระดับ 8) จะใช้สำหรับการแปรรูปกล้วยตาก

กล้วยน้ำว้าที่ใช้ในการทดลองซื้อจากตลาดหัวตะเข้ เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร การควบคุมระดับความสุกของกล้วยน้ำว้า เพื่อให้ได้วัตถุดิบเริ่มต้นใกล้เคียงกันทุกครั้งที่ทำการทดลอง โดยจะพิจารณาจากปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ pH และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

เกลือที่ใช้ในการทดลอง เป็นเกลือบรีโกลคผสมไอโอดีน ยี่ห้อปรุงทิพย์ ผลิต-บรรจุโดยบริษัทอุตสาหกรรมเกลือบรีสุทธิ จำกัด 146 หมู่ 3 ถ. ตลาดแค-พิมาย ต.กระเบื้องใหญ่ อ.พิมาย จ.นครราชสีมา

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- ยูวี-สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ Spectro 22 Labo Neb
- เครื่องชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด (4 ตำแหน่ง) Sartorius BP 3100S
- เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง Mettler Toledo MP220
- สเปคโตรฟลูออโรมิเตอร์ Modle FP-6200, JASCO, USA
- เครื่องระเหยสุญญากาศ Rotavapor BUCHI R-144, Switzerland
- ปัมสุญญากาศ Vacuum system BUCHI B-169, Switzerland
- อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ
- ตู้อบลมร้อนแบบถาด (TATCH OV663, Thailand)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 สารเคมี

- เอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ (Ethanol) องค์การสุรา ไทย
- 2,2-Diphenyl-1-picryl-hydrazyl (DPPH) Sigma เยอรมัน
- โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) Merck เยอรมัน
- Folin-Ciocalteu BDH อังกฤษ
- กรดแกลลิก (gallic acid) Sigma เยอรมัน
- กรดลิโนเลอิก (Linoleic acid) Aldrich เยอรมัน
- เฟอรัสคลอไรด์ (Iron (III) chloride) Merck เยอรมัน
- แอมโมเนียมไซยาไนด์ (Ammonium thiocyanate) Sigma อเมริกา
- วิตามินซี (ascorbic acid) Merck เยอรมัน
- กรดโปรโตแคเทอจิก (protocatechuic acid) Sigma จีน
- กรดพาราคูมาริก (*p*-coumaric acid) Sigma อเมริกา

3.4 วิธีดำเนินการทดลอง

3.4.1 การศึกษาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่าง ๆ

3.4.1.1 การเตรียมตัวอย่างกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่าง ๆ

การแบ่งระดับความสุกของกล้วยน้ำว้าจะแบ่งเป็น 8 ระดับ โดยใช้เกณฑ์พิจารณาเช่นเดียวกันกับวิธีที่ใช้ในกล้วยหอมซึ่งรายงาน โดย เบญจมาศ (2538) นอกจากนี้จะวิเคราะห์สีของเปลือกกล้วยน้ำว้า (ภาคผนวก ก-1) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยวิธี DNS ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ($^{\circ}\text{Brix}$) (ภาคผนวก ก-2)

3.4.1.2 การเตรียมสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้า

นำกล้วยน้ำว้าทั้งผลที่ระดับความสุกต่าง ๆ 8 ระดับ โดยสุ่มตัวอย่างกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกละ 10 ผล มาหนึ่งเป็นเวลา 15 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น แยกส่วนเนื้อและเปลือกออกโดยตัดส่วนขั้วและปลายทิ้งไป จากนั้นบดตัวอย่างเนื้อกล้วยและเปลือกกล้วยน้ำว้าให้ละเอียดโดยใช้เครื่องปั่นผสมอาหารที่ความเร็วสูงสุด ชั่งตัวอย่างเนื้อและเปลือกกล้วยบดละเอียด 10 กรัม ปั่นผสมกับเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ 100 มิลลิลิตร สกัดโดยวิธีรีฟลักซ์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส กรองสารสกัดด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 นำสารสกัดที่ได้ไประเหยตัวทำละลายออกโดยใช้เครื่องระเหยแบบสูญญากาศ (rotary evaporator) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างสารสกัดที่ได้ในขวดสีชาแล้วนำไปใส่ในโถดูดความชื้น (desiccator) ทิ้งไว้ข้ามคืน จากนั้นจึงเก็บตัวอย่างสารสกัดที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส สำหรับใช้ในการทดลองต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (total polyphenol contents)

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดจะใช้วิธีที่รายงานโดย ประพันธ์ และวันทนี (2545) โดยที่สารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดจะทำปฏิกิริยากับ Folin-Ciocalteu เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงิน ซึ่งสามารถติดตามโดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 730 นาโนเมตร ใช้กรดแกลลิกเป็นสารประกอบฟีนอลมาตรฐาน รายละเอียดวิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก-5

3.4.2 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่างๆ

3.4.2.1 ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH (2,2-diphenyl-2-picrylhydrazyl)

การวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH จะใช้วิธีที่รายงานโดย Murakami *et al.* (2004) รายละเอียดวิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก-6

3.4.2.2 ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี Ferric thiocyanate colorimetric method (FTC)

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC จะใช้วิธีที่รายงานโดย Larrauri *et al.* (1996) รายละเอียดวิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก-7

3.4.3 การศึกษาความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระและการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในรูปแบบต่างๆ ของสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้า

3.4.3.1 การเตรียมสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้า

นำกล้วยน้ำว้าระดับความสุกที่ 1 และ 6 แยกส่วนของเนื้อและเปลือกมาสกัดด้วยเอทานอลตามวิธีในข้อ 3.4.1.2 เก็บตัวอย่างสารสกัดที่ได้ในขวดสีชาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส สำหรับใช้ในการทดลองต่อไป

3.4.3.2 ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระและการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในรูปแบบต่างๆ ของสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้า

วิเคราะห์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ อนุพันธ์ของออกซิเจนที่ไวต่อปฏิกิริยาชนิดต่าง ๆ และการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยเปรียบเทียบกับวิตามินซีและโทรอกซ์ ดังนี้

1) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ตามวิธีที่รายงานโดย Murakami และคณะ (2004) รายละเอียดวิธีวิเคราะห์ดูได้จากภาคผนวก กข8/1

2) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล ($^{\circ}\text{OH}$) ตามวิธีที่รายงานโดย Aruoma (1994) รายละเอียดวิธีวิเคราะห์หาค่าได้จากภาคผนวก ก-8/2

3) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระซูเปอร์ออกไซด์ ($\text{O}_2^{\cdot-}$) ตามวิธีที่รายงานโดย Yen และ Chen (1995) รายละเอียดวิธีวิเคราะห์หาค่าได้จากภาคผนวก ก-8/3

4) ความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ตามวิธีที่รายงานโดย Yen และ Chen (1995) รายละเอียดวิธีวิเคราะห์หาค่าได้จากภาคผนวก ก-8/4

5) ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี Ferric thiocyanate colorimetric method (FTC) ซึ่งรายงานโดย Larrauri และคณะ (1996) รายละเอียดวิธีวิเคราะห์หาค่าได้จากภาคผนวก ก-8/5

6) ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอริก (Ferric reducing antioxidative potential, FRAP) ซึ่งรายงานโดย Benzie และ Strain (1999) รายละเอียดวิธีวิเคราะห์หาค่าได้จากภาคผนวก ก-8/6

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระสังเคราะห์ที่นิยมใช้ทั่วไปในการประเมินประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันเบื้องต้นของสารสกัดจากพืช สำหรับการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ $^{\circ}\text{OH}$, $\text{O}_2^{\cdot-}$ และความสามารถในการทำลาย H_2O_2 เป็นตัวแทนในการประเมินความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน อันเนื่องมาจากอนุพันธ์ของออกซิเจนที่ไวต่อปฏิกิริยา (ROS) การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC เป็นตัวแทนในการประเมินความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในอาหาร (antilipoperoxidant) สำหรับการวิเคราะห์โดยวิธี FRAP เป็นการประเมินประสิทธิภาพของความสามารถในการรีดิวซ์ (reducing power) ของสารสกัด

3.4.4 การศึกษาปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวในเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้า

3.4.4.1 การเตรียมสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้า

นำกล้วยน้ำว้าทั้งผลที่ระดับความสุกที่ 1 และ 6 โดยสุ่มตัวอย่างกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกละ 10 ผล มาล้างเป็นเวลา 15 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น แยกส่วนเนื้อและเปลือกออกโดยตัดส่วนขั้วและปลายทิ้งไป จากนั้นบดตัวอย่างเนื้อกล้วยและเปลือกกล้วยน้ำว้าให้ละเอียด ชั่งตัวอย่างเนื้อและเปลือกกล้วยบดละเอียด 10 กรัม ปั่นผสมกับเมธานอล 30 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปคนด้วย magnetic stirrer เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 นำสารละลายที่ได้เก็บใส่บีกเกอร์ไว้ ส่วนกากของตัวอย่างเนื้อหรือเปลือกกล้วย นำไปผสมกับเมธานอล 30 มิลลิลิตร แล้วนำไปคนด้วย magnetic stirrer เป็นเวลา 2 ชั่วโมง อีกครั้งหนึ่ง จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 รวมสารละลายที่ได้จากการสกัดด้วยเมธานอลทั้งสองครั้ง นำไปสกัดด้วย light petroleum (จุดเดือด 60-80 องศาเซลเซียส) 50 มิลลิลิตร 3 ครั้ง แยกส่วนของสารละลายเมธานอลไประเหยตัวทำละลายออกโดยใช้เครื่องระเหยแบบสูญญากาศ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จนกระทั่งเหลือสารละลายสารสกัดประมาณ 10 มิลลิลิตร ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

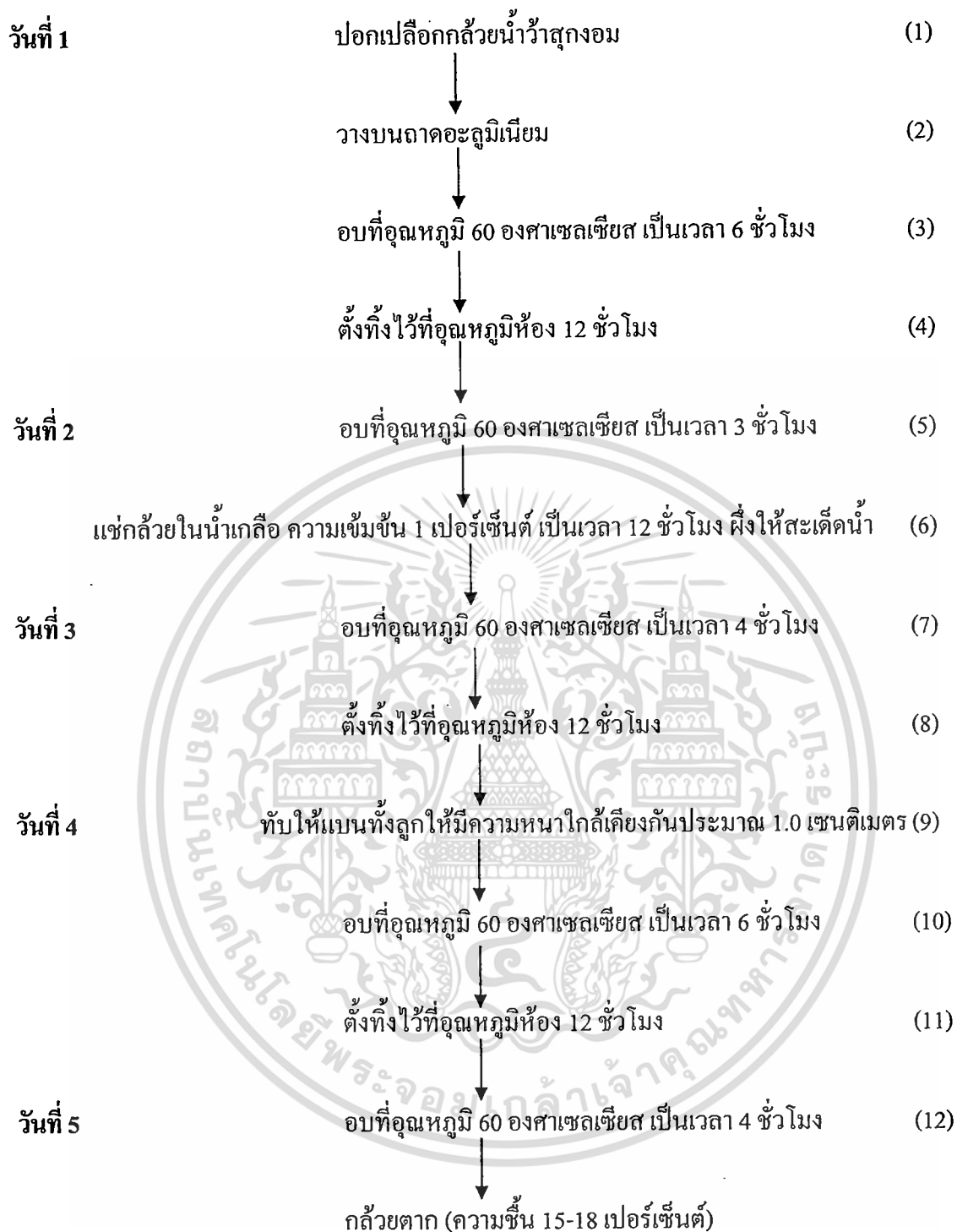
แล้วจึงนำไปผสมกับน้ำกลั่นอีก 40 มิลลิลิตร จากนั้นสกัดด้วยเอซิลอะซิเตต (ethyl acetate) 30 มิลลิลิตร 8 ครั้ง แยกส่วนของสารละลายเอซิลอะซิเตตไประเหยตัวทำละลายออก ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างสารสกัดที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส สำหรับใช้ในการทดลองต่อไป (Gorinstein *et al.*, 1994)

3.4.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ ในสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้า

วิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ คือ กรดแกลลิก (gallic acid) กรดพาราควินิก (p-coumaric acid) กรดเฟอร์ูลิก (ferulic acid) และ กรดโปรโตแคทิกิวอิก (protocatechuic acid) โดยวิธีสเปกโตรฟลูออโรเมทรี (spectro fluorometry) ซึ่งรายงานโดย Garcia-Sanchez และคณะ (1988) และ Gorinstein และคณะ (1994 และ 2001b) โดยมีหลักการคือ กรดฟีนอลิกแต่ละชนิดที่ pH ใดๆ ที่กำหนด จะมีค่าความยาวคลื่นกระตุ้น (excitation wavelength) และความยาวคลื่นแสงที่เรืองแสง (emission wavelength) เฉพาะตัวอย่างเช่น กรดแกลลิก มีค่าความยาวคลื่นกระตุ้นเท่ากับ 260 นาโนเมตร และมีค่าความยาวคลื่นแสงที่เรืองแสงเท่ากับ 357 นาโนเมตรที่ pH 4.63 ในการวิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ จะต้องสร้างกราฟมาตรฐานของกรดฟีนอลิกแต่ละชนิด รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์ดูได้จากภาคผนวก ก-9

3.4.5 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปตากและกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง

ทดลองผลิตกล้วยตาก โดยวิธีจากกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรหลวงวัง จังหวัดอ่างทองที่รายงานโดย พรเพ็ญ และนิภาพร (2548) ซึ่งมีขั้นตอนดังแสดงในผังการผลิต 3.1 (วิธีที่ 1) และวิธีของกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรห้วยไฉ่ จังหวัดเชียงใหม่ (2548) ดังรายละเอียดขั้นตอนในผังการผลิต 3.2 (วิธีที่ 2) และทดลองผลิตกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง ตามวิธีที่รายงานโดย มณฑาทิพย์ และคณะ (2548) ดังรายละเอียดในผังการผลิต 3.3



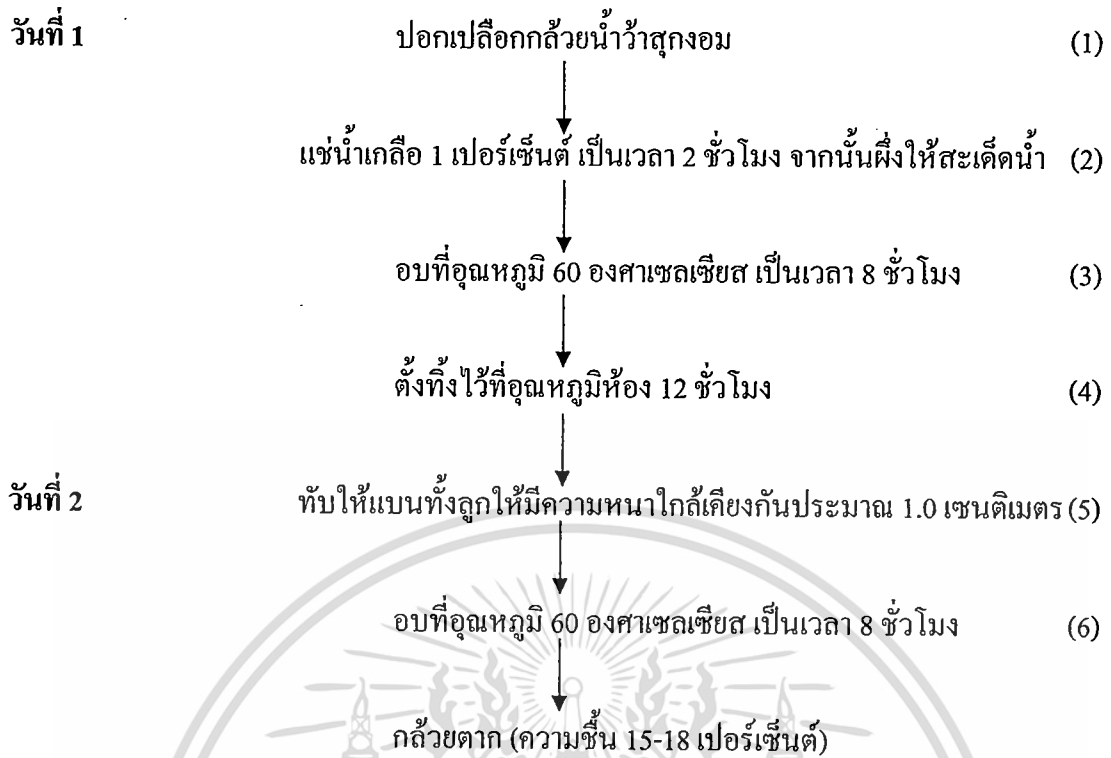
ผังการผลิต 3.1 ขั้นตอนการแปรรูปกล้วยตาก (วิธีที่ 1)

หมายเหตุ: เก็บตัวอย่างกล้วยน้ำว้าจากขั้นตอนที่ (1), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (10), (11) และ (12)

ตามที่ระบุในแผนภูมิ

ที่มา : พรเพ็ญและนิภาพร (2548)

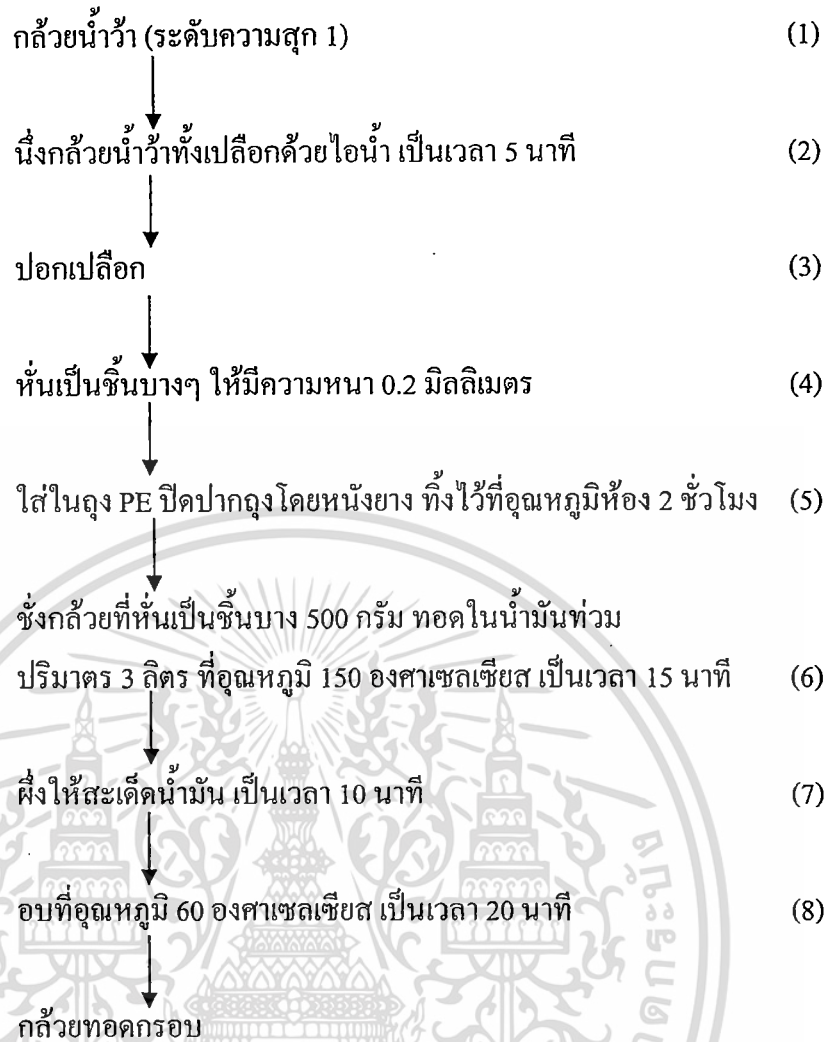
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ผังการผลิต 3.2 ขั้นตอนการแปรรูปกล้วยตาก (วิธีที่ 2)

หมายเหตุ: เก็บตัวอย่างกล้วยน้ำว้าจากขั้นตอนที่ (1), (2), (3), (4) และ (6) ตามที่ระบุในแผนภูมิ

ที่มา: กลุ่มแม่บ้านเกษตรกรห้วยไฉ้ จังหวัดเชียงใหม่ (2548)



ผังการผลิต 3.3 ขั้นตอนการแปรรูปกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง

หมายเหตุ: เก็บตัวอย่างกล้วยน้ำว้าจากขั้นตอนที่ (1), (2), (4), (5), (6), และ (8) ตามที่ระบุในแผนภูมิ
ที่มา: มณฑาทิพย์ และคณะ (2548)

เก็บตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในแต่ละขั้นตอนการแปรรูปกล้วยตากและกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง ตามที่ระบุในผังการผลิต 3.1, 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ จากนั้นนำมาเตรียมสารสกัดตามวิธีในข้อ 3.4.5.1 นำสารสกัดที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดตามวิธีในหัวข้อ 3.5.3 และความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ตามวิธีในข้อ 3.5.4

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของตัวอย่างจากขั้นตอนการผลิตกล้วยตากและกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง โดยใช้แผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5.1 การเตรียมสารสกัดจากตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในขั้นตอนการผลิตกล้วยตาก

ซึ่งตัวอย่างกล้วยน้ำว้าจากขั้นตอนการผลิตกล้วยตาก 5 ± 0.0001 กรัมโดยน้ำหนักแห้ง ปั่นผสมกับเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นเวลา 3 นาที สกัดโดยวิธี รีฟลักซ์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส กรองสารสกัดด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 โดยใช้เครื่องกรองสุญญากาศ ปรับปริมาตรสารสกัดที่ได้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ (ตัดแปลงจาก John and Mrachel, 1995)

3.4.5.2 การเตรียมสารสกัดจากตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในขั้นตอนการผลิตทอดกรอบแผ่นบาง

ตัวอย่างกล้วยน้ำว้าก่อนทอดจะใช้วิธีการสกัดเหมือนกับกรณีกล้วยตากในข้อ 3.4.5.1 ทุกประการ สำหรับตัวอย่างกล้วยทอดกรอบแผ่นบางนำมาสกัดไขมัน โดยนำตัวอย่าง 10 กรัมมาบดให้ละเอียด และแช่ในเฮกเซน 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 และระเหยเฮกเซนออกจากตัวอย่างโดยตั้งทิ้งไว้ในตู้ดูดควันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง (Wang and Zhou, 2004) แล้วจึงนำตัวอย่างปริมาณ 5 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง ปั่นผสมกับเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นเวลา 3 นาที สกัดโดยวิธีรีฟลักซ์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส กรองสารสกัดด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 โดยใช้เครื่องกรองสุญญากาศ ปรับปริมาตรสารสกัดเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์

3.4.5.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (Total polyphenol contents) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด ใช้วิธีการวิเคราะห์ตามหัวข้อ 3.4.1.3 รายละเอียดวิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก-5 การวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH จะใช้วิธีวิเคราะห์ตามหัวข้อ 3.4.2.1 รายละเอียดวิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก-6

3.4.6 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์กล้วยตากและกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างเก็บรักษา

นำตัวอย่างกล้วยตากที่เตรียมได้ตามผังการผลิต 3.2 (วิธีที่ 2) มาบรรจุในถุงโพลีเอทิลีน ขนาด 15x20 เซนติเมตร หนา 40 ไมครอน โดยบรรจุตัวอย่างถุงละประมาณ 20 กรัมจากนั้นปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ และ สุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส)

นำตัวอย่างกล้วยทอดกรอบแผ่นบางที่เตรียมได้ตามผังการผลิต 3.3 มาบรรจุในถุง 2 ชนิดคือ ถุงโพลีเอทิลีนขนาด 15x20 เซนติเมตร หนา 40 ไมครอน และถุงอะลูมิเนียมพอยด์ (Polyethylene terephthalate/Aluminium/polyethylene) ขนาด 15x20 เซนติเมตรหนา 57 ไมครอน โดยบรรจุตัวอย่างถุงละ 20 กรัมจากนั้นปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ และสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส) ไม่ว่าการฉีกใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละประมาณ 20 กรัม จากนั้นปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส)

เก็บตัวอย่างกล้วยตากหรือกล้วยทอดกรอบแผ่นบางทุกสัปดาห์เป็นเวลา 5 สัปดาห์ นำตัวอย่างที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ตามวิธีในข้อ 3.4.5.3 วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของตัวอย่างกล้วยตากและกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง โดยใช้แผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

3.5 สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการ โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพบางประการของกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่างกัน

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพบางประการของกล้วยน้ำว้าที่นำมาใช้ในการทดลอง โดยวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยวิธี DNS ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ($^{\circ}$ Brix) และสีของเปลือกกล้วยน้ำว้า (L^* , a^* , b^*) โดยเครื่องวัดสี เพื่อทราบถึงความเปลี่ยนแปลงของกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่าง ๆ โดยใช้เกณฑ์พิจารณาสีของเปลือกกล้วยในลักษณะเดียวกันกับวิธีที่ใช้ในกล้วยหอมซึ่งรายงานโดย เบญจมาศ (2538) โดยแบ่งระดับความสุกของกล้วยน้ำว้าออกเป็น 8 ระดับ คือ

ระดับที่ 1 เปลือกสีเขียว ผลแข็ง ไม่มีการสุก

ระดับที่ 2 เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองเล็กน้อย

ระดับที่ 3 เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองมากขึ้น แต่ยังมีสีเขียวมากกว่าสีเหลือง

ระดับที่ 4 เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองและมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว

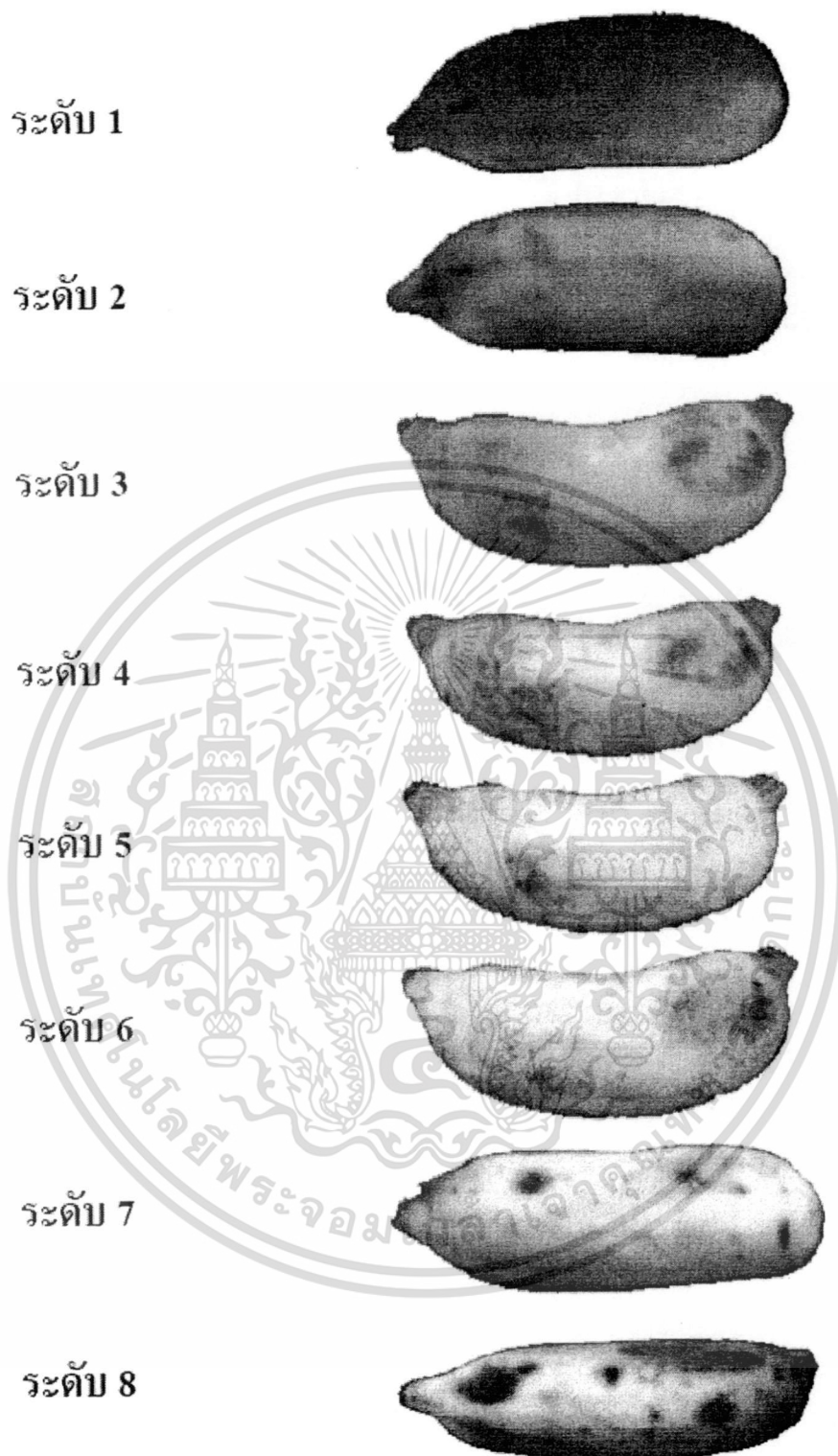
ระดับที่ 5 เปลือกเป็นสีเหลือง แต่ปลายยังเป็นสีเขียว

ระดับที่ 6 ทั้งผลมีสีเหลือง (ผลสุก)

ระดับที่ 7 ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาล (สุกเต็มที่ มีกลิ่นหอม)

ระดับที่ 8 ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาลมากขึ้น (สุกมากเกินไป เนื้อเริ่มอ่อนตัวและมีกลิ่นแรง)

การเปลี่ยนแปลงสีและลักษณะของผลกล้วยน้ำว้าทั้ง 8 ระดับความสุกแสดงดังรูปที่ 4.1 และผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพบางประการ แสดงดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.1 สีและลักษณะปรากฏของผลกล้วยน้ำว้าทั้ง 8 ระดับความสุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพของกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่างกัน

ระดับความสุก	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (องศาบริกซ์)	ปริมาณน้ำตาสีเขียว (กรัมสมมูลกลูโคส/น้ำหนักกล้วย 100 กรัม)	pH	สีของเปลือกกล้วยน้ำว้า		การเปลี่ยนแปลงของ สีเปลือกกล้วยน้ำว้า (ΔE)*	
				L*	a*		b*
1	4.83 ± 0.10	0.15 ± 0.01	6.18 ± 0.01	57.45 ± 5.03	-18.27 ± 0.02	+33.14 ± 1.21	-
2	7.67 ± 0.15	0.28 ± 0.01	6.17 ± 0.01	65.53 ± 0.51	-16.49 ± 0.24	+31.86 ± 0.34	7.71
3	8.93 ± 0.12	0.46 ± 0.01	5.83 ± 0.02	66.71 ± 1.83	-15.55 ± 1.25	+32.41 ± 0.35	8.80
4	20.57 ± 0.40	3.02 ± 0.01	4.60 ± 0.01	67.51 ± 0.64	-11.38 ± 0.45	+39.05 ± 2.12	13.01
5	25.03 ± 0.25	3.08 ± 0.01	4.57 ± 0.02	68.81 ± 1.71	-6.63 ± 3.43	+43.90 ± 0.72	19.11
6	23.33 ± 0.42	3.18 ± 0.01	4.50 ± 0.01	75.68 ± 0.54	-1.09 ± 0.10	+48.15 ± 0.99	29.00
7	26.13 ± 0.61	3.48 ± 0.01	4.56 ± 0.01	73.45 ± 1.69	+0.40 ± 0.03	+47.26 ± 0.37	28.11
8	28.00 ± 0.35	3.51 ± 0.01	4.49 ± 0.01	72.72 ± 1.24	+1.11 ± 0.61	+48.33 ± 1.87	27.58

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

* $\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$

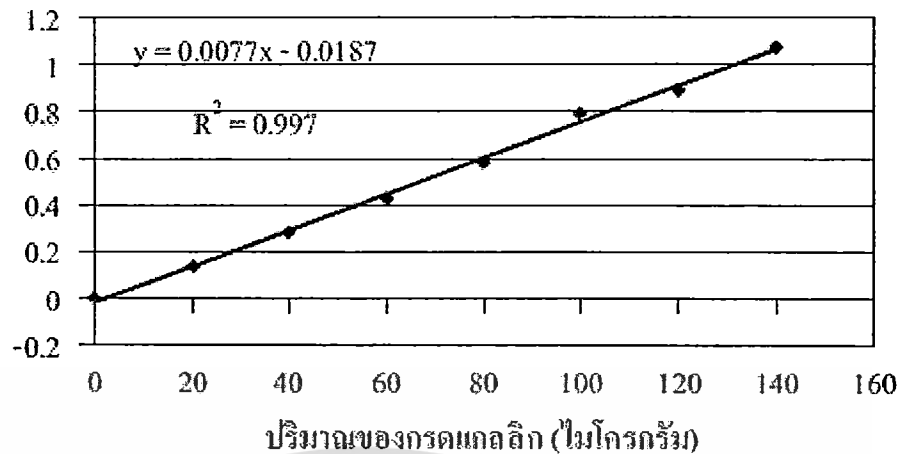
จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าเมื่อกลิ้วน้ำว่ามีระดับความสุกเพิ่มขึ้น ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (องศาบริกซ์) และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในรูปของกลูโคส มีค่าเพิ่มขึ้น โดยปริมาณของแข็งที่ละลายได้ จะเพิ่มขึ้นจาก 4.9 เป็น 28.2 องศาบริกซ์ และ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ จะเพิ่มขึ้นจาก 0.15 เป็น 3.51 กรัม/น้ำหนักกลี้ว 100 กรัม ในขณะเดียวกัน ค่าพีเอชของกลี้วน้ำว่ามีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับความสุกเพิ่มขึ้นโดยจะลดลงจาก 6.18 เป็น 4.49 เนื่องจากในกระบวนการสุกของผลไม้ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ขององค์ประกอบทางเคมี เช่น เมื่อกลิ้วสุกเพิ่มขึ้นจะมีการเปลี่ยนแปลงให้เป็นน้ำตาลมากขึ้น โดยปริมาณแป้งจะลดลงจาก 20-23 เปอร์เซ็นต์ไปจนถึง 1-2 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ปริมาณน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นจาก 1 เปอร์เซ็นต์ ไปจนถึง 20 เปอร์เซ็นต์ (Stover and Simmonds, 1987) นอกจากนี้ปริมาณกรดในผลไม้จะเพิ่มขึ้น เป็นผลให้มีปริมาณน้ำบางส่วนเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาชีวเคมี เช่น การหายใจ และเอนไซม์บางชนิดย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่ในกลี้วให้มีขนาดเล็กลง มีการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบเพกตินได้แก่ โพรโตเพกติน (protopectin) ซึ่งไม่ละลายน้ำ เปลี่ยนเป็นเพกตินที่ละลายน้ำได้ เป็นผลให้ลักษณะโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะอ่อนนุ่มขึ้น และมีปริมาณน้ำเพิ่มมากขึ้น

สำหรับการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกกลี้ว ซึ่งเป็นเครื่องบ่งชี้ถึงระดับความสุกของกลี้วเมื่อกลิ้วสุกคลอโรฟิลล์จะสลายตัวทั้งหมด ทำให้สีเหลืองของแคโรทีนออกปรากฏให้เห็นเด่นชัดขึ้นและเมื่อพิจารณาผลการทดลองในตารางที่ 4.1 โดยรายงานผลการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกกลี้วน้ำว่าด้วยค่า L^* , a^* , b^* จะเห็นได้ว่าเมื่อกลิ้วสุกเพิ่มขึ้น ค่าความสว่าง (L^*) จะมีค่าเพิ่มขึ้น สีเขียว (a^*) ของเปลือกกลี้วจะลดลง ในขณะที่สีเหลือง (b^*) ของเปลือกกลี้วจะเพิ่มมากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกกลี้วน้ำว่า (ΔE) โดยให้ค่าสีที่ระดับความสุกที่ 1 เป็นสีอ้างอิงในการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลง พบว่า เมื่อกลิ้วสุกเพิ่มขึ้นสีของเปลือกกลี้วมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ซึ่งลักษณะของการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกกลี้วน้ำว่าที่วัดได้ด้วยเครื่องวัดสีดังกล่าว สอดคล้องกับลักษณะปรากฏที่สังเกตได้ด้วยตา (รูปที่ 4.1)

4.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในเนื้อและเปลือกกลี้วน้ำว่าที่ระดับความสุกต่างกัน

จากการเตรียมกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก ซึ่งใช้เป็นสารประกอบโพลีฟีนอลมาตรฐานในการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในสารสกัดที่ได้จากเนื้อและเปลือกกลี้วน้ำว่าที่ระดับความสุกต่างๆ ได้กราฟเป็นเส้นตรง โดยมีสมการเส้นตรงคือ $y = 0.0077x - 0.0187$ และค่า $R^2 = 0.997$ ดังแสดงในรูปที่ 4.2

ค่าการดูดกลืนแสงที่ 730 นาโนเมตร



รูปที่ 4.2 กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกในการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด

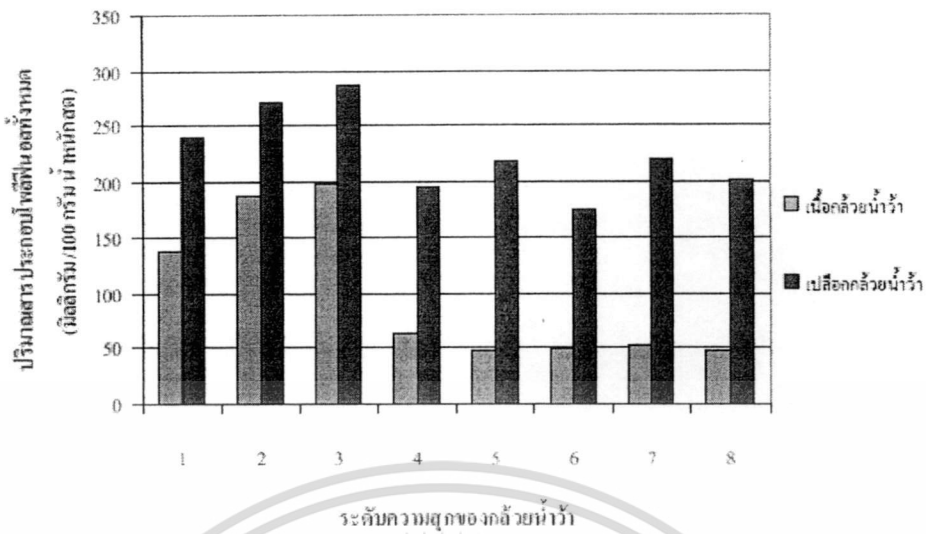
จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว่าที่ระดับความสุกทั้ง 8 ระดับ โดยสารประกอบโพลีฟีนอลจะทำปฏิกิริยากับสารละลาย Folin-Ciocalteu และติดตามสีน้ำเงินที่เกิดขึ้นโดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 730 นาโนเมตร กำหนดหาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่าง โดยใช้กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกข้างต้น ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 ปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมดในเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว่าที่ระดับความสุกต่างๆ

ระดับความสุก	ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในเนื้อกล้วย (มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักสด)	ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในเปลือกกล้วย (มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักสด)
1	136.72±3.59	240.96±2.90
2	188.11±1.47	271.8±3.31
3	198.29±0.65	287.56±1.83
4	63.34±0.31	196.65±0.44
5	48.10±0.05	218.82±0.37
6	49.53±0.02	175.19±0.40
7	53.64±0.02	220.41±1.02
8	47.97±0.05	202.30±0.91

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมดในเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่างๆ

จากตารางที่ 4.2 และ รูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า เนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่างกัน จะมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดแตกต่างกัน โดยพบว่า เมื่อระดับความสุกของกล้วยเพิ่มขึ้น ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้าจะมีแนวโน้มลดลง โดยปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในเนื้อกล้วยจะอยู่ในช่วง 47.97 ± 0.05 ถึง 198.29 ± 0.65 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด และในเปลือกกล้วยน้ำว้าจะอยู่ในช่วง 175.19 ± 0.40 ถึง 287.56 ± 1.83 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด นอกจากนี้ยังพบว่า เปลือกกล้วยจะมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงกว่าเนื้อกล้วยที่ทุกระดับความสุก ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับผลการทดลองของ Kanazawa และ Sakakibara (2000) และผลการทดลองของ Someya และคณะ (2002) ซึ่งรายงานว่ามีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับความสุกเพิ่มขึ้น และปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในเปลือกกล้วยหอมจะมีปริมาณสูงกว่าในเนื้อกล้วยหอม

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในกล้วยน้ำว้าระดับความสุกที่ 6 ซึ่งเป็นระดับความสุกที่นิยมบริโภค กับปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในกล้วยหอมพบว่า 1 หน่วยบริโภคของกล้วยหอม (118 กรัม) จะได้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด 163 มิลลิกรัม (Vinson et al. 2001) ในขณะที่ 1 หน่วยบริโภคของกล้วยน้ำว้าระดับความสุกที่ 6 (118 กรัม) จะได้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด 74.74 มิลลิกรัม ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เมื่อบริโภคกล้วยน้ำว้าระดับความสุกที่ 6 และกล้วยหอมในปริมาณที่เท่ากัน การบริโภคกล้วยน้ำว้าระดับความสุกที่ 6 จะได้รับปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดต่ำกว่าการบริโภคกล้วยหอมแต่เมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้บางชนิด เช่น แคนตาลูป เกรฟฟรุต สับปะรด และส้ม โดยที่ใน 1 หน่วยบริโภคจะได้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดจาก แคนตาลูป เกรฟฟรุต สับปะรด และส้ม เท่ากับ 21, 28, 52 และ 54 มิลลิกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของ นิตยสารสุขภาพดี เมื่ออยู่ในพื้นที่สาธารณะจะขอสงวนสิทธิ์ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามลำดับ (Vinson *et al.* 2001) จะเห็นได้ว่า กล้วยน้ำว้าระดับความสุกที่ 6 มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงกว่าผลไม้เหล่านี้ ดังนั้นถึงแม้ว่าการบริโภคกล้วยน้ำว้าระดับความสุกที่ 6 จะได้รับสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดต่ำกว่าการบริโภคกล้วยหอม แต่เมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้ซึ่งเป็นที่นิยมบริโภค เช่น แคนตาลูป เกรฟฟรุต สับปะรด และส้ม การบริโภคกล้วยน้ำว้าระดับความสุกที่ 6 จะได้รับสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงกว่า

4.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่างกัน

4.3.1 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH

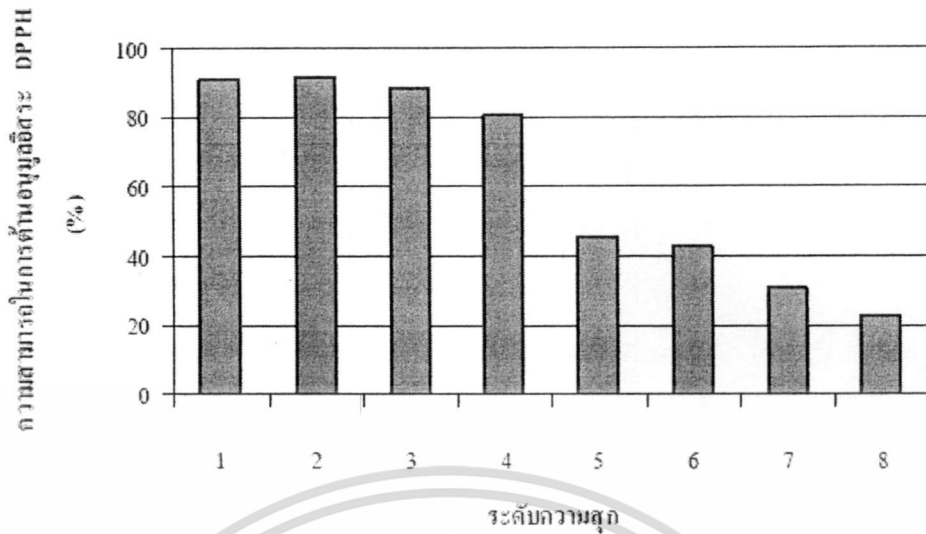
จากการศึกษาความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่างกัน โดยวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ซึ่งมีหลักการคือ สารละลายของอนุมูลอิสระ DPPH จะมีสีม่วงแดง ซึ่งดูดกลืนแสงได้ที่ 517 นาโนเมตร ในกรณีตัวอย่างสารสกัดที่มีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระได้ดี จะทำให้สีม่วงแดงของสารละลาย DPPH จางลงได้มากกว่าตัวอย่างสารสกัดที่มีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระได้น้อย และเมื่อคำนวณในรูปของเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.3 และ 4.4 และรูปที่ 4.4 และ 4.5

ตารางที่ 4.3 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดจากเนื้อกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่างกัน

ระดับความสุก	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดจากเนื้อกล้วย (%)
1	90.59±0.81
2	91.20±0.63
3	88.83±1.51
4	80.35±6.82
5	45.18±1.20
6	42.69±1.18
7	31.05±0.76
8	22.69±0.73

หมายเหตุ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH วิเคราะห์จากการใช้สารสกัดที่ได้จากปริมาณตัวอย่างเนื้อกล้วยน้ำว้าสดที่เท่ากัน

ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



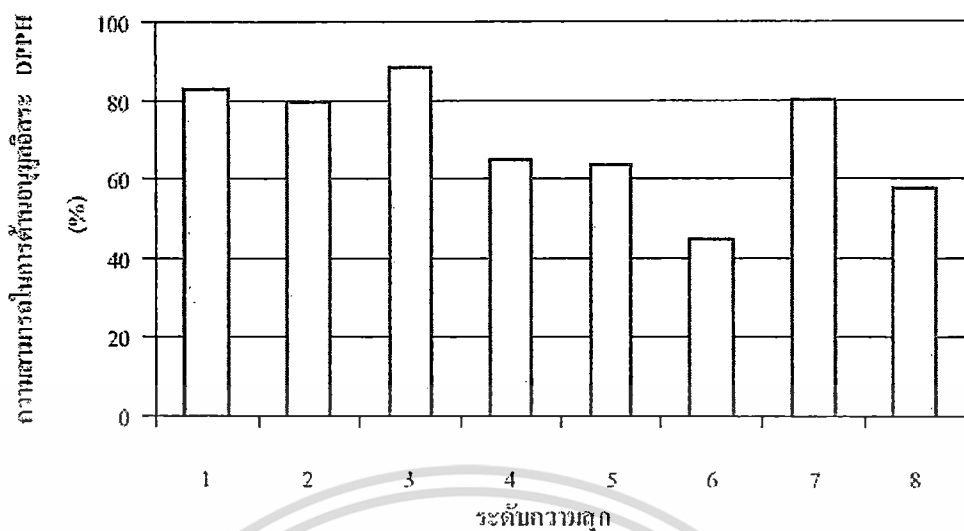
รูปที่ 4.4 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระDPPH ของสารสกัดจากเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่างกัน

ตารางที่ 4.4 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระDPPH ของสารสกัดจากเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่างกัน

ระดับความสุก	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระDPPH ของสารสกัดจากเปลือกกล้วย (%)
1	83.12±2.38
2	79.90±0.55
3	88.50±1.17
4	65.03±2.42
5	63.82±1.90
6	45.14±0.46
7	80.10±0.93
8	57.83±1.71

หมายเหตุ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระDPPH วิเคราะห์จากการใช้สารสกัดที่ได้จากปริมาณตัวอย่างเปลือกกล้วยน้ำว้าสดที่เท่ากัน

ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง



รูปที่ 4.5 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดจากเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่างกัน

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.3 และ 4.4 และรูปที่ 4.4 และ 4.5 จะเห็นได้ว่า เมื่อระดับความสุกของกล้วยน้ำว้าเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้าจะมีแนวโน้มลดลง โดยเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างเนื้อกล้วยระดับความสุกที่ 1 จะลดลงจาก 90.59 ± 0.81 เปอร์เซ็นต์ ไปเป็น 22.69 ± 0.73 เปอร์เซ็นต์ในระดับความสุกที่ 8 สำหรับเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างเปลือกกล้วยระดับความสุกที่ 1 จะลดลงจาก 83.12 ± 2.38 เปอร์เซ็นต์ ไปเป็น 57.83 ± 1.71 เปอร์เซ็นต์ในระดับความสุกที่ 8

โดยทั่วไปตัวอย่างสารสกัดที่มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดสูง จะมีแนวโน้มของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูง และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด และเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของ สารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้า จะเห็นได้ว่า เมื่อระดับความสุกของกล้วยน้ำว้าเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้าจะมีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดที่มีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับความสุกเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

นอกจากนี้ Sun และคณะ (2002) ได้ศึกษาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยวิธี total oxyradical scavenging capacity (TOSC) ในผลไม้ 11 ชนิดพบว่า แคนเบอร์รี่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด (507 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิก ต่อ 100 กรัม) และสามารถต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงที่สุด (177 ไมโครโมลสมมูลวิตามินซี ต่อ กรัม) เช่นกัน

ในการทดลองนี้ไม่สามารถนำเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างสารสกัดจากเนื้อกล้วยน้ำว้ามาเปรียบเทียบกับตัวอย่างสารสกัดจากเปลือกกล้วยน้ำว้าเนื่องจากปริมาณสารสกัดที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้จากปริมาณตัวอย่างเนื้อและเปลือกกล้วยเริ่มต้นไม่เท่ากัน สำหรับการเปรียบเทียบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ระหว่างเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้าจะรายงานในหัวข้อถัดไป

4.3.2 ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี Ferric thiocyanate colorimetric method (FTC)

จากการศึกษาความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสูงต่างกัน โดยวิธี FTC ซึ่งมีหลักการคือ วัดปริมาณเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นในขั้นเริ่มต้น (initial stages) ของปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดลิโนเลอิก (linoleic acid) โดยเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะไปออกซิไดซ์ Fe^{2+} ไปเป็น Fe^{3+} ในสภาวะที่มีแอมโมเนียมไทโอไซยาเนต Fe^{3+} จะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีแดง และสามารถดูดกลืนแสงได้ที่ 500 นาโนเมตร ดังนั้นถ้ามีปริมาณเปอร์ออกไซด์เกิดขึ้นในปฏิกิริยามาก สีแดงที่เกิดขึ้นก็จะเข้มมาก ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.5 และ 4.6 และรูปที่ 4.6 และ 4.7

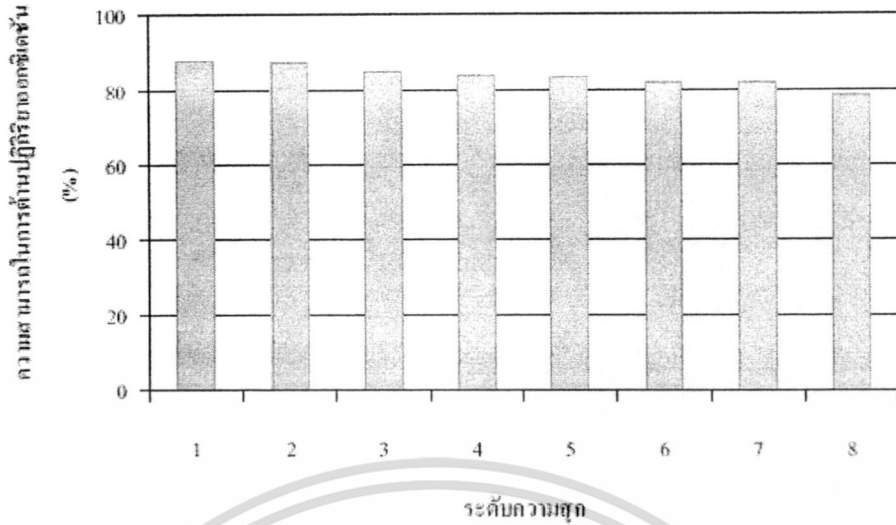
ตารางที่ 4.5 ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC ของสารสกัดจากเนื้อกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสูงต่างกัน

ระดับความสูง	ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเนื้อกล้วย (%)
1	87.28±0.24
2	87.06±0.33
3	84.76±0.02
4	83.86±0.12
5	82.90±0.54
6	81.62±0.44
7	81.82±0.26
8	77.97±0.62

หมายเหตุ ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันวิเคราะห์จากการใช้สารสกัดที่ได้จากปริมาณตัวอย่างเนื้อกล้วยน้ำว้าสดที่เท่ากัน

ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ความสามารถในการค้นพบการฝ่าฝืนของซีเคชั่น โดยวิธี FTC ของสารสกัดจากเนื้อกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่างกัน

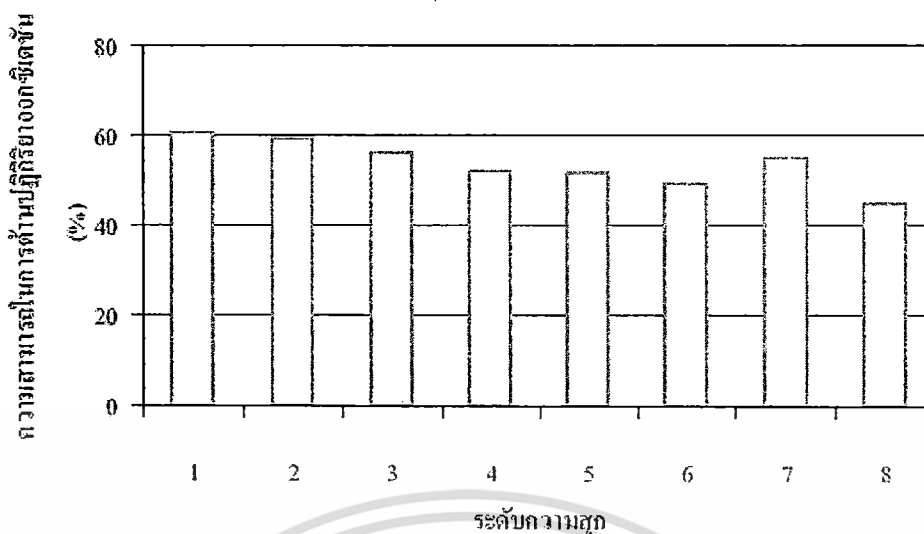
ตารางที่ 4.6 ความสามารถในการค้นพบการฝ่าฝืนของซีเคชั่น โดยวิธี FTC ของสารสกัดจากเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่างกัน

ระดับความสุก	ความสามารถในการค้นพบการฝ่าฝืนของสารสกัดจากเปลือกกล้วย (%)
1	60.53±0.71
2	59.51±0.20
3	56.13±0.26
4	52.03±0.64
5	51.54±0.34
6	49.20±0.76
7	54.80±0.25
8	44.63±0.40

หมายเหตุ ความสามารถในการค้นพบการฝ่าฝืนของซีเคชั่นวิเคราะห์จากการใช้สารสกัดที่ได้จากปริมาณตัวอย่างเปลือกกล้วยน้ำว้าสดที่เท่ากัน

ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยวิธี FTC ของสารสกัดจากเปลือกกล้วยน้ำว้า ที่ระดับความสุกต่างกัน

เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยวิธี FTC ของสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้า จากผลการทดลองในตารางที่ 4.5 และ 4.6 และรูปที่ 4.6 และ 4.7 จะเห็นได้ว่า เมื่อระดับความสุกเพิ่มขึ้น ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้า จะมีแนวโน้มลดลง โดยเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างเนื้อกล้วยระดับความสุกที่ 1 จะลดลงจาก 87.28 ± 0.24 เปอร์เซ็นต์ ไปเป็น 77.97 ± 0.62 เปอร์เซ็นต์ในระดับความสุกที่ 8 ส่วนเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างเปลือกกล้วยระดับความสุกที่ 1 จะลดลงจาก 60.53 ± 0.71 เปอร์เซ็นต์ ไปเป็น 44.63 ± 0.40 เปอร์เซ็นต์ในระดับความสุกที่ 8

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมด และเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยวิธี FTC ของสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้า จะเห็นได้ว่า เมื่อระดับความสุกของกล้วยน้ำว้าเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยวิธี FTC ของสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้าจะมีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ที่มีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับความสุกเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

ในการทดลองนี้ไม่สามารถนำเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยวิธี FTC ของตัวอย่างสารสกัดจากเนื้อกล้วยน้ำว้ามาเปรียบเทียบกับตัวอย่างสารสกัดจากเปลือกกล้วยน้ำว้า เนื่องจากปริมาณสารสกัดที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้จากปริมาณตัวอย่างเนื้อและเปลือกกล้วยเริ่มต้นไม่เท่ากัน การเปรียบเทียบความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้า จะรายงานในหัวข้อถัดไป

เป็นที่น่าสังเกตว่า การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยวิธี FTC ของสารสกัดจากเนื้อกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกทั้ง 8 ระดับ (ตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.6) จะเห็นความแตกต่างไม่ชัดเจนนัก ทั้งนี้เนื่องจาก ข้อจำกัดของความไว (sensitivity) ของวิธีทดสอบ ซึ่งส่งผลกระทบต่อการรายงานผลในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยถ้าปริมาณสารสกัดที่ใช้ในการวิเคราะห์มากเกินไป จะทำให้ไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างของความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดได้อย่างชัดเจน ดังนั้นจึงควรใช้ปริมาณสารสกัดในการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC ให้เหมาะสม ซึ่งจะทำให้สามารถมองเห็นความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดได้ชัดเจนขึ้น

จากผลการทดลองศึกษาความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC ของสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกทั้ง 8 ระดับ จะเห็นได้ว่า มีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับความสุกเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Mokbel และ Hashinaga (2005) โดยได้ศึกษาความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกกล้วยหอมดิบและเปลือกกล้วยหอมสุก พบว่าสารสกัดจากเปลือกกล้วยหอมดิบมีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH และการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC สูงกว่าสารสกัดจากเปลือกกล้วยหอมสุกเช่นเดียวกัน

4.4 การศึกษาความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระและการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในรูปแบบต่างๆ ของสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้า

การวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ และการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ $^{\circ}\text{OH}$ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ $\text{O}_2^{\cdot -}$ ความสามารถในการทำลาย H_2O_2 ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (FRAP) ของสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกที่ 1 และ 6 เปรียบเทียบกับวิตามินซีและโทรอกซ์ โดยรายงานความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ และการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันดังกล่าวด้วยค่า EC 50 ซึ่งหมายถึง ความเข้มข้นของสารสกัดจากเนื้อหรือเปลือกกล้วยน้ำว้า (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก/ปริมาตรของสารละลายปฏิกิริยา) ที่สามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือทำลายอนุมูลอิสระลงได้ 50 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นสารตัวอย่างใดที่มีค่า EC 50 ต่ำจะมีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสูง ยกเว้นกรณีของความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (FRAP) จะรายงานในหน่วยของมิลลิกรัมสมมูลของวิตามินซีหรือโทรอกซ์ต่อกรัมสารสกัด ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ และการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในรูปแบบต่างๆ ของสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้า เปรียบเทียบกับ วิตามินซี และ โทรอกซ์

สารตัวอย่าง	ปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมด										FRAP	
	ในเนื้อและเปลือกกล้วย (มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักสด)		DPPH	°OH	O ₂ ^{•-}	H ₂ O ₂	FTC	มิลลิกรัมสมมูล วิตามินซี/กรัม สารสกัด	มิลลิกรัมสมมูล โทรอกซ์/กรัม สารสกัด			
สารสกัดจากเนื้อกล้วยที่ระดับความสุก 1	136.72±3.59	1.82	3.10	257	6.95	15.4	80.9±2.2	129±4				
สารสกัดจากเปลือกกล้วยที่ระดับความสุก 1	240.96±2.90	0.80	1.96	26.5	2.22	1.68	594±37	946±58				
สารสกัดจากเนื้อกล้วยที่ระดับความสุก 6	49.53±0.02	103	96.8	1975	135	106	1.94±0.15	3.12±0.24				
สารสกัดจากเปลือกกล้วยที่ระดับความสุก 6	175.19±0.40	1.37	5.36	104	2.72	15.7	41.5±1.2	66.1±1.9				
วิตามินซี	-	0.007	0.272	-	0.408	117	-	-				
โทรอกซ์	-	0.726	0.417	7.72	0.747	1.29	-	-				

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

จากผลการวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ และการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ในรูปแบบต่างๆ ดังตารางที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าค่า EC_{50} ในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของวิตามินซีมีค่าต่ำที่สุด คือมีค่าเท่ากับ 0.272×10^{-3} เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า วิตามินซีมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุด รองลงมาคือ โทรอกซ์ (0.417×10^{-3} เปอร์เซ็นต์) สารสกัดจากเปลือกกล้วยระดับความสุกที่ 1 (1.96×10^{-3} เปอร์เซ็นต์) เนื้อกล้วยระดับความสุกที่ 1 (3.10×10^{-3} เปอร์เซ็นต์) เปลือกกล้วยระดับความสุกที่ 6 (5.36×10^{-3} เปอร์เซ็นต์) และ เนื้อกล้วยระดับความสุกที่ 6 (96.8×10^{-3} เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ

ค่า EC_{50} ในการต้านอนุมูลอิสระ $^{\circ}OH$ ของวิตามินซีมีค่าต่ำที่สุด คือมีค่าเท่ากับ 0.007×10^{-3} เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ โทรอกซ์ (0.726×10^{-3} เปอร์เซ็นต์) สารสกัดจากเปลือกกล้วยระดับความสุกที่ 1 (0.799×10^{-3} เปอร์เซ็นต์) เปลือกกล้วยระดับความสุกที่ 6 (1.37×10^{-3} เปอร์เซ็นต์) เนื้อกล้วยระดับความสุกที่ 1 (1.82×10^{-3} เปอร์เซ็นต์) และ เนื้อกล้วยระดับความสุกที่ 6 (103×10^{-3} เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ นอกจากนี้จะเห็นได้ว่า ค่า EC_{50} ในการต้านอนุมูลอิสระ $^{\circ}OH$ มีค่าค่อนข้างต่ำกว่าการทำลายอนุมูลอิสระชนิดอื่น แสดงว่าสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ $^{\circ}OH$ ได้ค่อนข้างดีกว่าการทำลายอนุมูลอิสระชนิดอื่น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Murcia และคณะ (2001) ที่ได้รายงานไว้ว่า กล้วยมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล ได้ดี

เมื่อพิจารณาค่า EC_{50} ของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ $O_2^{\cdot-}$ พบว่าโทรอกซ์มีค่า EC_{50} ต่ำที่สุด คือมีค่าเท่ากับ 7.72×10^{-3} เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ สารสกัดจากเปลือกกล้วยระดับความสุกที่ 1 (26.5×10^{-3} เปอร์เซ็นต์) เปลือกกล้วยระดับความสุกที่ 6 (104×10^{-3} เปอร์เซ็นต์) เนื้อกล้วยระดับความสุกที่ 1 (257×10^{-3} เปอร์เซ็นต์) และ เนื้อกล้วยระดับความสุกที่ 6 (1975×10^{-3} เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ วิตามินซีมีความสามารถในการทำลาย H_2O_2 สูงที่สุด คือมีค่า EC_{50} ต่ำที่สุด เท่ากับ 0.408×10^{-3} เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ โทรอกซ์ (0.747×10^{-3} เปอร์เซ็นต์) สารสกัดจากเปลือกกล้วยระดับความสุกที่ 1 (2.22×10^{-3} เปอร์เซ็นต์) เปลือกกล้วยระดับความสุกที่ 6 (2.72×10^{-3} เปอร์เซ็นต์) เนื้อกล้วยระดับความสุกที่ 1 (6.95×10^{-3} เปอร์เซ็นต์) และ เนื้อกล้วยระดับความสุกที่ 6 (135×10^{-3} เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ

สำหรับความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC กลับพบว่าวิตามินซีมีค่า EC_{50} สูงที่สุด คือมีค่าเท่ากับ 117×10^{-3} เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าวิตามินซีมีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC ต่ำที่สุด ส่วนโทรอกซ์ มีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงที่สุด คือมีค่า EC_{50} เท่ากับ 1.29×10^{-3} เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ สารสกัดจากเปลือกกล้วยระดับความสุกที่ 1 (1.68×10^{-3} เปอร์เซ็นต์) สารสกัดจากเนื้อกล้วยระดับความสุกที่ 1 (15.36×10^{-3} เปอร์เซ็นต์) เปลือกกล้วยระดับความสุกที่ 6 (15.7×10^{-3} เปอร์เซ็นต์) และเนื้อกล้วยระดับความสุกที่ 6 (106×10^{-3} เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ

ในกรณีของ FRAP พบว่า สารสกัดจากเปลือกกล้วยที่ระดับความสุกที่ 1 มีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกสูงที่สุดคือมีค่า 594 ± 37 มิลลิกรัมสมมูลวิตามินซี/ กรัมสารสกัด, 946 ± 58 มิลลิกรัม

สมมูลโทรออกซ์ / กรัมสารสกัด รองลงมาคือ สารสกัดจากเนื้อกล้วยที่ระดับความสุกที่ 1 (80.9 ± 2.2 มิลลิกรัมสมมูลวิตามินซี/ กรัมสารสกัด, 129 ± 4 มิลลิกรัมสมมูลโทรออกซ์ / กรัมสารสกัด) สารสกัดจากเปลือกกล้วยที่ระดับความสุก 6 (41.5 ± 1.2 มิลลิกรัมสมมูลวิตามินซี/ กรัมสารสกัด, 66.1 ± 1.9 มิลลิกรัมสมมูลโทรออกซ์ / กรัมสารสกัด) และสารสกัดจากเนื้อกล้วยที่ระดับความสุก 6 (1.94 ± 0.15 มิลลิกรัมสมมูลวิตามินซี/ กรัมสารสกัด, 3.12 ± 0.24 มิลลิกรัมสมมูลโทรออกซ์ / กรัมสารสกัด) ตามลำดับ

จากผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้น และ ผลการทดลองของ Kanazawa และ Sakakibara (2000) รวมทั้งผลการทดลองของ Someya และคณะ (2002) พบว่า มีความสอดคล้องกัน กล่าวคือ ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในเปลือกกล้วยจะมีปริมาณสูงกว่าในเนื้อกล้วย ดังนั้นสารสกัดจากเปลือกกล้วยจึงน่าจะมีแนวโน้มของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสารสกัดจากเนื้อกล้วย ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการทดลองวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ และการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในรูปแบบต่างๆ ดังที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.7 โดยจะเห็นได้ชัดเจนว่า ในแต่ละระดับความสุกของกล้วยน้ำว้า สารสกัดจากเปลือกกล้วยจะมีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ และการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงกว่าสารสกัดจากเนื้อกล้วยเสมอ นอกจากนี้ Someya และคณะ (2002) ได้รายงานผลการศึกษาด้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ด้วยวิธีFTC โดยพบว่า สารสกัดจากเปลือกกล้วยหอมซึ่งมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงกว่าสารสกัดจากเนื้อกล้วยหอม จะมีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงกว่าสารสกัดจากเนื้อกล้วยหอมถึง 2.2 เท่า

ในปี 2002 Kondo และคณะได้ศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ $O_2^{\cdot-}$ ในแอปเปิ้ล พบว่า สารสกัดจากเปลือกแอปเปิ้ลมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ $O_2^{\cdot-}$ ได้ดีกว่าสารสกัดจากเนื้อแอปเปิ้ล และเมื่อระดับความสุกของแอปเปิ้ลเพิ่มขึ้น ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระดังกล่าวก็จะมีแนวโน้มลดลง และในปี 2005 Kondo และคณะได้ศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ $O_2^{\cdot-}$ ในผลไม้เขตร้อน (Tropical fruits) พบว่าสารสกัดจากเปลือกมะม่วง ชมพู และฝรั่ง มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ $O_2^{\cdot-}$ สูง นอกจากนี้ Jimenez-Escrig และคณะ (2001) ได้ศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระDPPH ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (FRAP) และปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในฝรั่ง โดยพบว่า สารสกัดจากเปลือกฝรั่งมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก และปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงกว่าสารสกัดจาก

เนื้อฝรั่ง จากผลการทดลองของงานวิจัยที่กล่าวมาทั้งหมดนี้รวมทั้งผลการทดลองในตารางที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าโดยทั่วไปเปลือกของผลไม้จะมีองค์ประกอบของโพลีฟีนอลในปริมาณสูงกว่าในส่วนของเนื้อผลไม้ จึงส่งผลให้สารสกัดจากเปลือกผลไม้มีประสิทธิภาพในการทำลายอนุมูลอิสระสูง

เมื่อพิจารณาผลการทดลองในตารางที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าวิตามินซี มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH อนุมูลอิสระ $^{\circ}OH$ และความสามารถในการทำลาย H_2O_2 ได้สูงที่สุด โทรออกซ์ มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ $O_2^{\cdot-}$ และความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี

FTC ได้สูงที่สุด เป็นที่น่าสังเกตว่าการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC นี้ วิตามินซีมีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันต่ำที่สุด ทั้งนี้เนื่องจาก การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยวิธีนี้ สารละลายปฏิกิริยาจะอยู่ในรูปของอิมัลชัน ซึ่งถ้าสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันมีสมบัติละลายได้ดีในไขมัน (lipophilic) สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจะจับอยู่กับน้ำมันที่บริเวณผิวสัมผัส (interface) ระหว่างน้ำมันและน้ำ ซึ่งจะช่วยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี แต่สำหรับวิตามินซีซึ่งเป็นสารที่ละลายได้ดีในน้ำ (hydrophilic) จึงแยกไปอยู่ในส่วนที่เป็นน้ำมากกว่าที่จะจับอยู่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างน้ำมันและน้ำ ดังนั้นประสิทธิภาพการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันจึงต่ำ (Frankel and Meyer, 2000) ส่วนเนื้อกล้วยระดับความสุกที่ 6 จะมีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระและการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันต่ำที่สุดในทุกวิธีที่ศึกษา ทั้งนี้เป็นผลมาจากปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลในเนื้อกล้วยที่ระดับความสุกที่ 6 มีค่าต่ำนั่นเอง นอกจากนี้ ตัวอย่างสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว่า วิตามินซี และ โทรอกซ์ จะมีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระและการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันแตกต่างกันในแต่ละวิธี เช่น โทรอกซ์มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดีกว่าการต้านอนุมูลอิสระ $^{\circ}\text{OH}$ ความสามารถในการทำลาย H_2O_2 การต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ $\text{O}_2^{\cdot-}$ ถึง 1.74 เท่า 1.79 เท่า 3.09 เท่า และ 18.51 เท่า ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สารแต่ละชนิดจะมีศักยภาพในการทำลายอนุมูลอิสระและการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันแตกต่างกันไป และสารชนิดเดียวกันอาจมีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระและการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันแต่ละชนิดแตกต่างกันด้วย

นอกจากนี้ จะสังเกตเห็นได้ว่าความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ และการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในรูปแบบต่างๆ ของสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว่าที่ศึกษา ไม่น่าจะมีผลมาจากวิตามินซีที่เป็นองค์ประกอบในเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว่า เนื่องจากโดยทั่วไปในเนื้อกล้วยน้ำว่าจะมีวิตามินซี (11 มิลลิกรัมต่อเนื้อกล้วย 100 กรัม) สูงกว่าในเปลือกกล้วย (เอกสารกองโภชนาการ, 2535) แต่ผลการทดลองในตารางที่ 4.7 พบว่าสารสกัดจากเนื้อกล้วยระดับความสุกที่ 6 กลับมีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระและการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในรูปแบบต่าง ๆ ต่ำกว่าสารสกัดจากเปลือกกล้วยระดับความสุกที่ 6 ดังนั้นความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ และการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว่าที่วิเคราะห์ได้ จึงน่าจะมีผลมาจากสารประกอบโพลีฟีนอลที่มีอยู่ในเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว่าที่ถูกสกัดออกมาโดยสภาวะที่ใช้ในการสกัด ซึ่งมีงานวิจัยที่สนับสนุนกับข้อสังเกตดังกล่าว โดยในปี 2002 Leong และ Shui ได้ศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS และปริมาณวิตามินซีในผลไม้ 27 ชนิด พบว่า Ciku มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ได้ดีที่สุด ส่วนฝรั่งจะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ได้ดีเป็นอันดับที่ 5 แต่เมื่อพิจารณาปริมาณวิตามินซีพบว่า ฝรั่งมีปริมาณวิตามินซีสูงที่สุด ส่วน Ciku กลับมีปริมาณวิตามินซีเป็นอันดับที่ 24 แสดงให้เห็นว่าในผลไม้แต่ละชนิดมีสารประกอบชนิดอื่น ๆ ที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระหรือปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าวิตามินซี

4.5 การวิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ ในเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้า

จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่าง ๆ คือ กรดแกลลิก (gallic acid) กรดโปรโตแคทิชีวิก (protocatechuic acid) กรดพาราควมาริก (p-coumaric acid) และกรดเฟอร์ูลิก (ferulic acid) โดยวิธีสเปกโตรฟลูออโรเมทรี (spectro fluorometry) ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ ในเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้า

ตัวอย่าง	กรดฟีนอลิก (มิลลิกรัม/ 100 กรัมน้ำหนักสด)			
	กรดแกลลิก	กรดโปรโตแคทิชีวิก	กรดพาราควมาริก	กรดเฟอร์ูลิก
เนื้อกล้วยที่ระดับความสุก 1	1.17±0.37	0.25±0.01	0.12±0.13	0.06±0.04
เปลือกกล้วยที่ระดับความสุก 1	2.55±0.86	0.36±0.23	0.30±0.06	0.18±0.04
เนื้อกล้วยที่ระดับความสุก 6	1.62±0.57	0.28±0.01	0.11±0.06	0.07±0.06
เปลือกกล้วยที่ระดับความสุก 6	6.26±0.39	0.60±0.16	0.59±0.02	0.57±0.23

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่าง ๆ ในเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้าดังตารางที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ทุกระดับความสุก มีปริมาณกรดแกลลิกมากที่สุด(1.17-6.26 มิลลิกรัม/ 100 กรัมน้ำหนักสด) ส่วนกรดโปรโตแคทิชีวิก กรดพาราควมาริก และ กรดเฟอร์ูลิก มีปริมาณค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยเปลือกกล้วยระดับความสุกที่ 6 มีปริมาณกรดฟีนอลิกมากที่สุด ส่วนเนื้อกล้วยระดับความสุกที่ 1 มีปริมาณกรดฟีนอลิกน้อยที่สุด และในแต่ละระดับความสุก เปลือกกล้วยน้ำว้าจะมีปริมาณกรดฟีนอลิกสูงกว่าเนื้อกล้วยน้ำว้าเสมอ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Gorinstein และคณะ (2001b) ที่ศึกษาปริมาณกรดฟีนอลิกในแอปเปิ้ลและเพอร์ซิมมอน (persimmon) โดยพบว่า ในเปลือกของแอปเปิ้ลและเพอร์ซิมมอน จะมีปริมาณกรดเฟอร์ูลิก กรดแกลลิก กรดโปรโตแคทิชีวิก กรดวานิลลิก และกรดพาราควมาริก มากกว่าในส่วนของเนื้อนอกจากนี้ในปี 2001 (a) Gorinstein และคณะ ได้ศึกษาปริมาณกรดฟีนอลิกในผลไม้ตระกูลส้ม(citrus fruit) 3 ชนิด คือ เลมอน (lemon) ส้ม และเกรฟฟรุต (grapefruit) พบว่า ในเปลือกของเลมอน ส้ม และเกรฟฟรุต จะมีปริมาณกรดเฟอร์ูลิก กรดซินนาปิก กรดพาราควมาริก และกรดแคฟแฟอิก มากกว่าส่วนของผลที่ถูกปอกเปลือกออกแล้ว และ ในปี 2003 Leontowicz และคณะ ได้ศึกษาปริมาณกรดฟีนอลิก ในแอปเปิ้ล และแพร์ พบว่า เปลือกของแอปเปิ้ล และแพร์ จะมีปริมาณกรดเฟอร์ูลิก กรดพาราควมาริก และกรดคาเฟอิก มากกว่าในส่วนของเนื้อ จากผลการทดลองทั้งหมดนี้แสดงให้เห็นว่า ในเปลือกของผลไม้จะมีปริมาณกรดฟีนอลิกสูงกว่าในส่วนของเนื้อผลไม้ ซึ่งเป็นผลมาจากการที่โดยทั่วไปเปลือกของผลไม้จะมีองค์ประกอบของโพลีฟีนอลในปริมาณที่สูงกว่าส่วนของเนื้อผลไม้ ดังนั้นกรดฟีนอลิก ซึ่งจัดเป็นสารประกอบโพลีฟีนอล จึงมีปริมาณสอดคล้องกับสารประกอบโพลีฟีนอล

เป็นที่น่าสังเกตว่า เมื่อระดับความสุกของกล้วยเพิ่มขึ้นปริมาณกรดฟีนอลิกในสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้าจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดลองนี้ไม่สอดคล้องกับปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดที่มีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับความสุกเพิ่มขึ้น ดังผลการทดลองในข้อ 4.2 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้ามีปริมาณกรดฟีนอลิกเป็นสัดส่วนน้อยมาก เมื่อเทียบกับปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (วิเคราะห์เทียบป็นปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด ประมาณ 3.25 เปอร์เซ็นต์) ดังนั้นเมื่อระดับความสุกของกล้วยน้ำว้าเพิ่มขึ้นถึงแม้ว่าปริมาณกรดฟีนอลิกจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นก็ไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดที่เป็นองค์ประกอบหลัก

อย่างไรก็ตามผลการทดลองดังกล่าวก็มีความสอดคล้องกับผลการทดลองของ Gorinstein และคณะ (1999) ซึ่งได้ศึกษาปริมาณกรดแกลลิก ในผลไม้เขตร้อน 8 ชนิดโดยใช้หลักการเรืองแสงของแสงฟลูออเรสเซนส์ (fluorescence) ด้วยเครื่องสเปกโตรฟลูออโรมิเตอร์ (Spectrofluorometer) พบว่ามะม่วงแก้วสุกมีปริมาณกรดแกลลิก (397.4 ไมโครกรัม/ 100 กรัม น้ำหนักสด) สูงกว่ามะม่วงแก้วดิบ (231.6 ไมโครกรัม/ 100 กรัม น้ำหนักสด) นอกจากนี้ในปี 2004 Marterska และ Perucka ได้ศึกษาผลของการสุก (maturity) ต่อการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลิก ในพริก (hot pepper) พบว่า เมื่อระยะสุกเพิ่มขึ้น กรดเฟอร์ูลิกจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นด้วย (เพิ่มจาก 10.31 เป็น 53.42 มิลลิกรัม / กิโลกรัม น้ำหนักสด)

4.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตาก

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 1 โดยคำนวณปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด ในหน่วยของมิลลิกรัมกรดแกลลิก ต่อ 100 กรัมตัวอย่างแห้ง และคำนวณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในหน่วยของมิลลิกรัมสมมูลวิตามินซีต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.8

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 1 (ผังการผลิต 3.1) ซึ่งผ่านการอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน (วันที่ 1 ใช้เวลาในการอบ 6 ชั่วโมง และวันที่ 2, 3, 4, 5 อบเป็นเวลา 3, 4, 6 และ 4 ชั่วโมงตามลำดับ) จากผลการทดลองในภาพที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าในระหว่างขั้นตอนที่ 1, 3, 4 และ 5 ปริมาณของสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดค่อนข้างคงที่ และมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยในขั้นตอนที่ 6 (แช่น้ำเกลือ) โดยมีปริมาณลดลงจาก 74.24 ± 1.51 มิลลิกรัม/100 กรัม ในตัวอย่างกล้วยน้ำว้าเริ่มต้มเป็น 66.41 ± 3.41 มิลลิกรัม/100 กรัม ในตัวอย่างกล้วยน้ำว้าหลังจากแช่น้ำเกลือและปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดจะค่อนข้างคงที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดลดลงอย่างเห็นได้ชัดในขั้นตอนที่ 11-12 คือลดลงเหลือ 44.44 ± 0.57 มิลลิกรัม/100

กรัมตัวอย่างแห้ง ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียของปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในระหว่างขั้นตอนการแปรรูปกล้วยตากเท่ากับ 40.13 เปอร์เซ็นต์ของเริ่มต้น ถึงแม้ว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเพียง 60 องศาเซลเซียส ซึ่งถือว่าเป็นอุณหภูมิที่ค่อนข้างต่ำ ทำให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดมีอัตราการเปลี่ยนแปลงน้อยแต่เมื่อใช้ระยะเวลาการให้ความร้อนนานจะส่งผลทำให้สารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดถูกทำลายได้มากขึ้น นอกจากนี้การตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อกระจายความชื้นให้สม่ำเสมอในตัวอย่าง เป็นเวลานานก็อาจเป็นสาเหตุของการสูญเสียปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด อันเนื่องจากการสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ (Rietjens *et al.*, 2002)

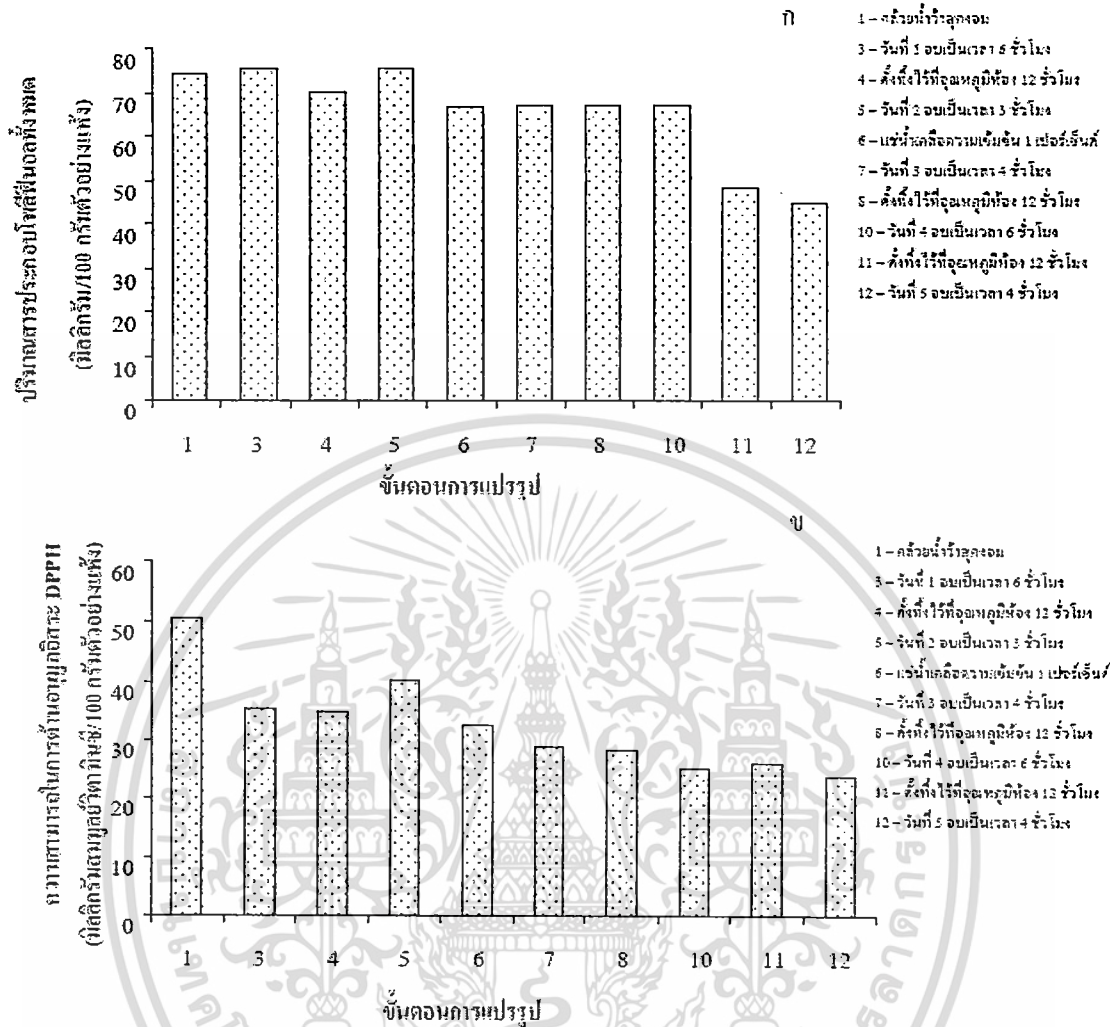


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ปริมาณและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบโพธิ์ฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในแต่ละขั้นตอนของการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 1

ขั้นตอนการแปรรูป	ปริมาณสารประกอบโพธิ์ฟีนอลทั้งหมด (มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (มิลลิกรัมสมมูลวิตามินซี/100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบโพธิ์ฟีนอลทั้งหมด	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH
1- กล้วยน้ำว้าสุกงอม	74.24 ± 1.51 ^a	50.65 ± 0.61 ^a	-	-
3- วันที่ 1 อบเป็นเวลา 6 ชั่วโมง	75.35 ± 3.02 ^a	35.40 ± 0.69 ^c	-	30.11
4- ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 12 ชั่วโมง	70.35 ± 0.15 ^b	34.81 ± 0.52 ^{cd}	-	31.28
5- วันที่ 2 อบเป็นเวลา 3 ชั่วโมง	75.55 ± 0.66 ^a	40.10 ± 0.49 ^b	-	20.85
6- เชนำเกลือความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์	66.41 ± 3.41 ^c	32.55 ± 0.87 ^{cd}	10.54	35.74
7- วันที่ 3 อบเป็นเวลา 4 ชั่วโมง	66.84 ± 2.02 ^c	28.86 ± 0.30 ^d	9.97	43.03
8- ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 12 ชั่วโมง	66.61 ± 1.66 ^c	28.32 ± 0.52 ^d	10.27	44.09
10- วันที่ 4 อบเป็นเวลา 6 ชั่วโมง	66.07 ± 1.66 ^c	25.25 ± 1.10 ^e	9.66	50.15
11- ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 12 ชั่วโมง	48.23 ± 1.48 ^d	26.04 ± 1.52 ^{de}	35.03	48.59
12- วันที่ 5 อบเป็นเวลา 4 ชั่วโมง	44.44 ± 0.57 ^e	23.76 ± 0.96 ^f	40.13	53.10

หมายเหตุ: หมายเลขกำกับขั้นตอนการแปรรูปสอดคล้องกับหมายเลขที่ระบุในผังการผลิต 3.1
a-e ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)



รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมด (ก) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ข) ของตัวอย่างกลัวย่น้ำว้าในแต่ละขั้นตอนของการแปรรูปกล้วยตากโดยวิธีที่ 1

หมายเหตุ: หมายเลขกำกับขั้นตอนการแปรรูปสอดคล้องกับหมายเลขที่ระบุในผังการผลิต 3.1

เป็นที่น่าสังเกตว่าการตั้งตัวอย่างกลัวย่น้ำว้าทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 ชั่วโมง หลังจากรอบในแต่ละวันของขั้นตอนที่ 4, 8 และ 11 นั้น พบว่า ตัวอย่างกลัวย่น้ำว้าจากขั้นตอนที่ 11 มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดลดลงมาก ในขณะที่ตัวอย่างกลัวย่น้ำว้าจากขั้นตอนที่ 4 และ 8 นั้นยังคงมีปริมาณค่อนข้างคงที่ ทั้งๆ ที่ทิ้งไว้เป็นเวลา 12 ชั่วโมงเหมือนกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในขั้นตอนที่ 9 ได้นำตัวอย่างกลัวย่น้ำว้ามาทับให้แบนทั้งลูกโดยให้ความหนาประมาณ 1.0 เซนติเมตร ทำให้ตัวอย่างกลัวย่น้ำว้ามีพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศมากขึ้น ตัวอย่างกลัวย่น้ำว้าที่ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12 ชั่วโมงในขั้นตอนที่ 11 จึงเกิดการสูญเสียปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลมากกว่าในขั้นตอนที่ 4 และ 8

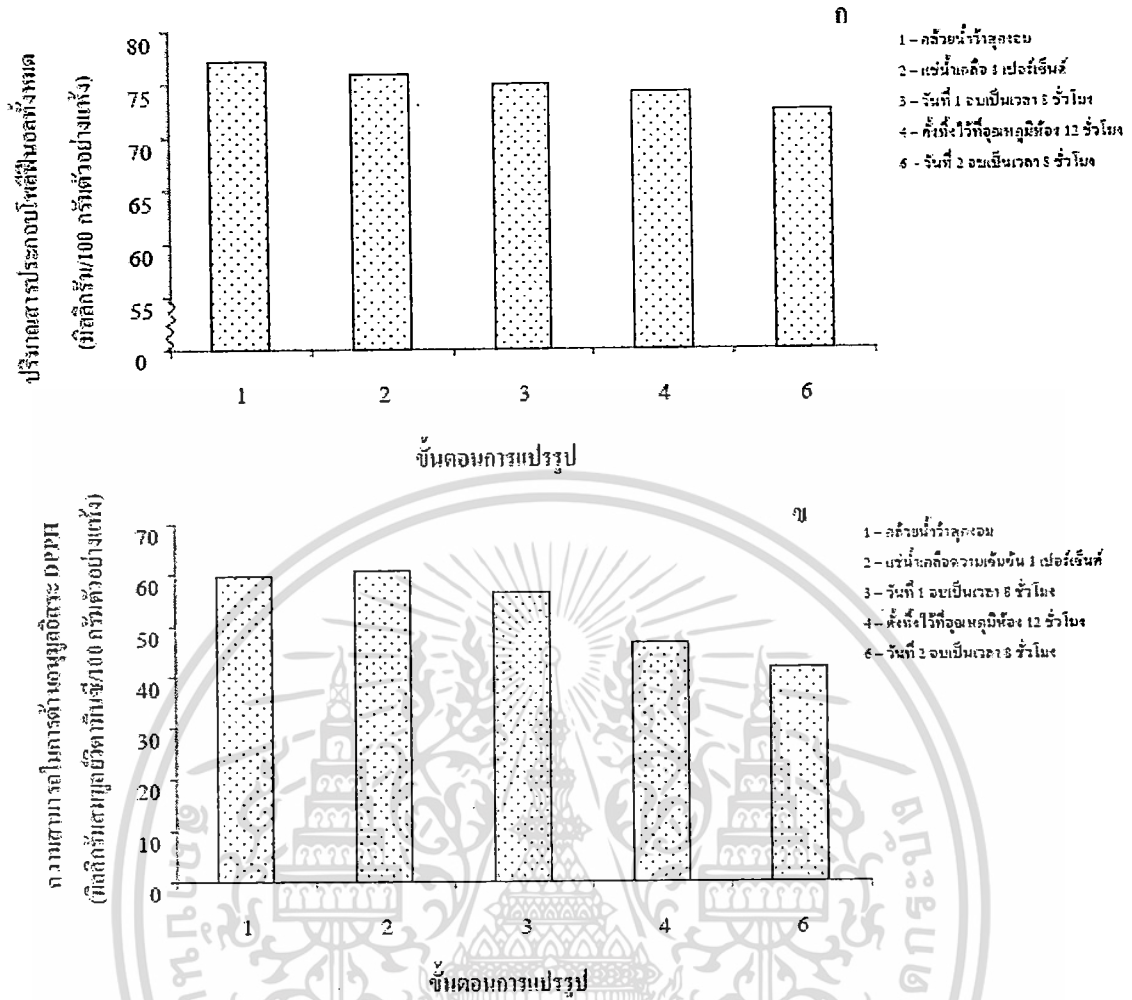
เมื่อพิจารณาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 1 (ตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.8(ข)) จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีแนวโน้มสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด กล่าวคือความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH จะมีแนวโน้มลดลงเมื่อตัวอย่างกล้วยน้ำว้าผ่านขั้นตอนต่าง ๆ ในการแปรรูป โดยมีค่าลดลงจากเริ่มต้น 50.65 ± 0.61 มิลลิกรัมสมมูลของวิตามินซี/100 กรัมตัวอย่างแห้งในกล้วยน้ำว้าเริ่มต้น เป็น 23.76 ± 0.96 มิลลิกรัมสมมูลของวิตามินซี/100 กรัมตัวอย่างแห้ง ของผลิตภัณฑ์สุดท้าย และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับ 53.10 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH จากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดมีอัตราการลดลงที่น้อยกว่าการลดลงของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สำหรับสาเหตุที่ทำให้เกิดแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในลักษณะดังกล่าวจะได้กล่าวถึงในลำดับต่อไป

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 2 ได้ผลการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.9

ตารางที่ 4.10 ปริมาณและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบโพลียีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในแต่ละขั้นตอนของการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 2

ขั้นตอนการแปรรูป	ปริมาณสารประกอบโพลียีนอลทั้งหมด (มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (มิลลิกรัมสมมูลวิตามินซี/100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบโพลียีนอลทั้งหมด	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH
1-กล้วยน้ำว้าสุกหอม	77.32 ± 6.16 ^a	59.85 ± 0.49 ^a	-	-
2-แช่น้ำเกลือความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์	75.96 ± 8.19 ^{ab}	60.80 ± 2.23 ^a	1.76	-
3-วันที่ 1 อบเป็นเวลา 8 ชั่วโมง	75.03 ± 6.17 ^{ab}	56.51 ± 2.01 ^a	2.97	5.04
4-ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 12 ชั่วโมง	74.12 ± 5.96 ^{bc}	46.67 ± 7.72 ^b	4.15	21.58
6-กล้วยตาก (ความชื้น 15-18 เปอร์เซ็นต์) วันที่ 2 อบเป็นเวลา 8 ชั่วโมง	72.45 ± 2.54 ^c	41.72 ± 8.03 ^b	6.30	29.89

หมายเหตุ : หมายเหตุกำกับขั้นตอนการแปรรูปสอดคล้องกับหมายเลขที่ระบุในผังการผลิต 3.2
a-e ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)



รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (ก) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ข) ของตัวอย่างกลั่นน้ำว่านในแต่ละขั้นตอนของการแปรรูปกล้วยตากโดยวิธีที่ 2

หมายเหตุ: หมายเลขกำกับขั้นตอนการแปรรูปสอดคล้องกับหมายเลขที่ระบุในผังการผลิต 3.2

จากข้อมูลในตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.9 (ก) จะเห็นได้ว่าปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของตัวอย่างกลั่นน้ำว่านในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 2 ซึ่งผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน (วันละ 8 ชั่วโมง) พบว่าในขั้นตอนของการแปรรูป 1-6 นั้น ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยในทุกขั้นตอน โดยมีปริมาณลดลงจาก 77.32 ± 6.16 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้งในกล้วยน้ำว่านเริ่มต้น เป็น 72.45 ± 2.54 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้งในผลิตภัณฑ์สุดท้ายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียมีค่าเท่ากับ 6.30 เปอร์เซ็นต์สำหรับขั้นตอนสุดท้ายเมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยน้ำว่านเริ่มต้น

เมื่อเปรียบเทียบกระบวนการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 1 กับวิธีที่ 2 จะเห็นได้ว่า กระบวนการแปรรูปวิธีการที่ 1 ซึ่งใช้เวลาในการอบแห้งและตั้งทิ้งไว้หลังการอบแต่ละครั้ง (เพื่อให้ความชื้นในกล้วยแต่

ละชั้นสม่ำเสมอ) เป็นเวลานานกว่ากระบวนการแปรรูปวิธีที่ 2 มีผลทำให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในผลิตภัณฑ์กล้วยตากที่ได้มีค่านี้น้อยกว่า เนื่องจากในระหว่างที่วางทิ้งไว้เวลานั้น กล้วยน้ำว้ามีการสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการออกซิเดชันของสารประกอบโพลีฟีนอล (Tamamura *et al.*, 2002)

จากรูปที่ 4.9 (ข) แสดงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 2 จะเห็นได้ว่าในตัวอย่างกล้วยน้ำว้าจากขั้นตอนที่ 1-3 มีแนวโน้มความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ค่อนข้างคงที่ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (รูปที่ 4.9 (ก)) อย่างไรก็ตามตัวอย่างกล้วยน้ำว้าจากขั้นตอนที่ 4-6 มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลงจากเริ่มต้น 59.85 ± 0.49 เป็น 41.72 ± 8.03 มิลลิกรัมสมมูลวิตามินซี/100 กรัมตัวอย่างแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเท่ากับ 29.89 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเพียง 6.30 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.10) การที่ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย ในขณะที่ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ลดลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งสังเกตได้ในทำนองเดียวกันกับกรณีผลการทดลองการแปรรูปกล้วยตากโดยวิธีที่ 1 (ตารางที่ 4.9) อาจเป็นไปได้ว่าเมื่อสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากได้รับความร้อนทำให้โครงสร้างเกิดการเปลี่ยนแปลง ในทิศทางที่ส่งผลให้สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ลดลงแต่ยังคงเป็นสารในกลุ่มของสารประกอบโพลีฟีนอล ซึ่งสามารถตรวจวิเคราะห์ได้โดยวิธีนี้ใช้ในการทดลอง ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดจึงดูเหมือนมีแนวโน้มที่ลดลงน้อยกว่า (Murakami *et al.*, 2003)

4.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากทอดกรอบแผ่นบาง

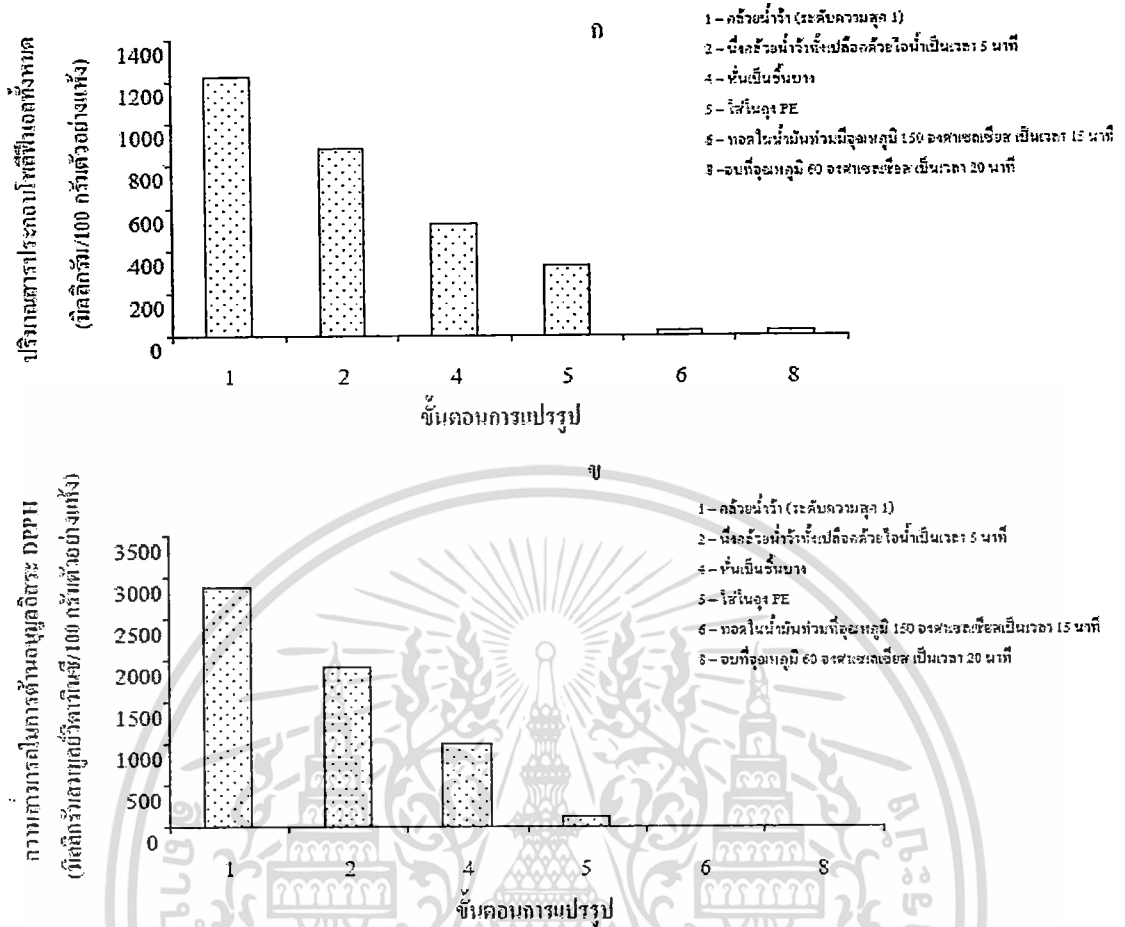
จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากทอดกรอบแผ่นบาง โดยคำนวณปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด ในหน่วยของมิลลิกรัมกรดแกลลิก ต่อ 100 กรัมตัวอย่างแห้งและคำนวณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในหน่วยของมิลลิกรัมสมมูลวิตามินซี ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.10

ตารางที่ 4.11 ปริมาณและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบโพลตีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในแต่ละขั้นตอนของการแปรรูปกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง

ขั้นตอนการแปรรูป	ปริมาณสารประกอบโพลตีฟีนอลทั้งหมด (มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (มิลลิกรัมสมมูลวิตามินซี/100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบโพลตีฟีนอลทั้งหมด	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH
1-กล้วยน้ำว้า (ระดับความสุก 1)	1,222.48 ± 104.86 ^a	2,873.53 ± 155.81 ^a	-	-
2-นึ่งกล้วยน้ำว้าทั้งเปลือกด้วยไอน้ำเป็นเวลา 5 นาที	880.56 ± 8.44 ^b	1,918.77 ± 58.21 ^b	27.97	33.22
4-หั่นเป็นชิ้นบาง	523.23 ± 64.24 ^c	1,004.54 ± 14.74 ^c	57.20	65.04
5-ใส่ในถุง PE	329.04 ± 15.96 ^d	125.44 ± 8.08 ^d	73.08	95.63
7-ทอดในน้ำมันท่วมที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที	22.60 ± 0.04 ^e	7.88 ± 0.09 ^e	98.15	99.73
8-อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที	20.98 ± 0.20 ^e	6.93 ± 0.29 ^e	98.28	99.75

หมายเหตุ : หมายเลขกำกับขั้นตอนการแปรรูปสอดคล้องกับหมายเลขที่ระบุในผังการผลิต 3.3

a-e ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)



รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (ก) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ข) ของตัวอย่างกล้วยน้ำจ้ำในแต่ละขั้นตอนของการแปรรูปกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง

หมายเหตุ: หมายเลขกำกับขั้นตอนการแปรรูปสอดคล้องกับหมายเลขที่ระบุในผังการผลิต 3.3

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของตัวอย่างกล้วยน้ำจ้ำในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการหนึ่ง หั่นเป็นชิ้นบาง เก็บในถุงโพลีเอทิลีน การทอดและอบ จากรูปที่ 4.10 (ก) จะเห็นได้ว่าปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดจะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในแต่ละขั้นตอนของการแปรรูป สำหรับตัวอย่างกล้วยน้ำจ้ำที่ผ่านขั้นตอนการหนึ่ง ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดจะลดลงจาก $1,222.48 \pm 104.86$ เป็น 880.56 ± 84.44 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง เนื่องจากตัวอย่างกล้วยน้ำจ้ำมีการสัมผัสกับไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูง และในขั้นตอนการหั่น รวมถึงการบรรจุไว้ในถุงโพลีเอทิลีน ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดลดลงเหลือ 523.23 ± 64.24 และ 329.04 ± 15.96 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ ซึ่งในขั้นตอนการหั่นและเก็บตัวอย่างกล้วยน้ำจ้ำในถุงโพลีเอทิลีนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวรวมไปถึงระยะเวลาที่ตัวอย่างกล้วยน้ำจ้ำมีการสัมผัสกับออกซิเจน อัน

เป็นสาเหตุของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งจะส่งผลในการทำลายสารประกอบโพลีฟีนอลได้ (Rietjens *et al.*, 2002) นอกจากนี้ Takamura และคณะ (2002) พบว่าเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในผลไม้มีประสิทธิภาพในการทำงานที่สูงขึ้นเมื่อตัวอย่างมีการสัมผัสกับออกซิเจน ซึ่งส่งผลให้เกิดออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกให้อยู่ในรูปที่สูญเสียสมบัติการยับยั้งอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในขั้นตอนหลังจากการเก็บไว้ในถุงโพลีเอทิลีนจะสังเกตเห็นได้ว่ามีสีคล้ำขึ้น แสดงให้เห็นว่ายังอาจมีปฏิกิริยาสีน้ำตาลโดยเอนไซม์เกิดขึ้น เนื่องจากสารตั้งต้นของการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลดังกล่าวคือสารประกอบฟีนอลิกดังนั้นจึงอาจส่งผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างลดลงได้

ต่อมาในขั้นตอนการทอดและการอบ ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดมีค่าลดลงอย่างมากโดยจะเหลือเพียง 22.60 ± 0.04 และ 20.98 ± 0.20 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้งตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลจากการใช้อุณหภูมิที่สูงถึง 150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาทีในการทอดตัวอย่างนั่นเอง ซึ่งการสูญเสียปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในผลิตภัณฑ์สุดท้ายคิดเป็น 98.28 เปอร์เซ็นต์

เมื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง จากผลการทดลองในรูปที่ 4.10 (ข) แสดงให้เห็นว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้ามีแนวโน้มลดลงและเป็นไปในทิศทางเดียวกับปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด ซึ่งมีปริมาณที่ลดลงในทุกขั้นตอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จาก $2,873.53 \pm 155.81$ ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าเริ่มต้น ลดลงเป็น 6.93 ± 0.29 มิลลิกรัมสมมูลย์ของวิตามินซี/100 กรัมตัวอย่างแห้ง ในขั้นตอนสุดท้าย เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์สูญเสียความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของผลิตภัณฑ์สุดท้าย เท่ากับ 99.75 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดลองข้างต้นจะเห็นได้ว่าตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากด้วยวิธีที่ต่างกัน 2 วิธี ถึงแม้ว่าจะใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่เท่ากันคือ 60 องศาเซลเซียส แต่ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของตัวอย่างกล้วยตากที่ได้จากการแปรรูปวิธีที่ 2 จะมีปริมาณสูงกว่าตัวอย่างกล้วยตากที่ได้จากการแปรรูปวิธีที่ 1 ทั้งนี้เนื่องจากในกระบวนการวิธีที่ 1 นั้นใช้ระยะเวลาในการอบที่นานกว่า รวมทั้งมีการตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลานานกว่าด้วย จึงมีผลทำให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดลดลงมากกว่าวิธีที่ 2 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Weider และคณะ (2002) ที่ศึกษาผลของระยะเวลาในการอบแห้งต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างเมล็ดข้าวไรย์พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในข้าวไรย์มีปริมาณลดลงเมื่อนำมาผ่านกระบวนการอบแห้ง และจะมีปริมาณลดลงเป็นลำดับเมื่อใช้ระยะเวลาในการอบนานขึ้น นอกจากนี้การทดลองของ Akyildiz และคณะ (2004) ยังแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงขึ้นจาก 60 เป็น 75 และ 90 องศาเซลเซียส มีผลทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในผลพลับแผ่นบางมากขึ้น แม้ว่าจะใช้เวลาในการอบแห้งสั้นกว่าก็ตาม

เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในระหว่างการแปรรูปกล้วยตากและการแปรรูปกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง ปรากฏว่าในกล้วยทอดกรอบแผ่นบางมีการสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดถึง 98.28 เปอร์เซ็นต์ เนื่องมาจากการใช้อุณหภูมิสูงในการทอด (150 องศาเซลเซียส) ประกอบกับการหั่นกล้วยน้ำว้าเป็นชิ้นบางซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของตัวอย่างจึงมีผลในการทำลายสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดอย่างรวดเร็ว เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากและกล้วยทอดกรอบแผ่นบางโดยภาพรวม จะเห็นว่าแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด กล่าวคือ ตัวอย่างกล้วยน้ำว้าที่มีการสูญเสียปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงก็จะมี การสูญเสียความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงด้วย

4.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของผลิตภัณฑ์กล้วยตากในระหว่างเก็บรักษา

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของของกล้วยตากในระหว่างเก็บรักษาโดยบรรจุถุงโพลีเอทิลีนและปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ โดยคำนวณปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด ในหน่วยของมิลลิกรัมกรดแกลลิก ต่อ 100 กรัมตัวอย่างแห้งและคำนวณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในหน่วยของมิลลิกรัมสมมูลวิตามินซีต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.11 จะเห็นว่าปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของกล้วยตากในระหว่างเก็บรักษาในสภาวะดังกล่าว มีค่าค่อนข้างคงที่ในสัปดาห์แรก และจะมีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัดในสัปดาห์ที่ 2 – 5 โดยปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดลดลงจาก 67.78 ± 0.10 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง ในตัวอย่างกล้วยตากเริ่มต้นเป็น 54.80 ± 0.25 มิลลิกรัม/100 กรัม ตัวอย่างแห้งในตัวอย่างกล้วยตากที่เก็บรักษาเป็นเวลา 5 สัปดาห์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 19.15 เปอร์เซ็นต์ การที่ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการบรรจุ กล้วยตากในถุงโพลีเอทิลีนที่ความดันบรรยากาศนั้น ตัวอย่างยังคงมีการสัมผัสกับออกซิเจน ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจึงทำให้เกิดการทำลายสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างกล้วยตากได้

เมื่อพิจารณาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยตากในระหว่างเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทิลีนและปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ (ตารางที่ 4.12 และ ภาพที่ 4.11) จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีแนวโน้มที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดกล่าวคือ เมื่ออายุการเก็บรักษากล้วยตากนาน

ขึ้น ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ลดลง จาก 31.57 ± 0.18 มิลลิกรัมสมมูลย์วิตามินซี/100 กรัมตัวอย่างแห้ง ในกล้วยตากเริ่มต้น เป็น 24.17 ± 3.64 มิลลิกรัม สมมูลย์วิตามินซี/100 กรัมตัวอย่างแห้งในตัวอย่างกล้วยตากในสัปดาห์ที่ 5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเท่ากับ 23.46 เปอร์เซ็นต์

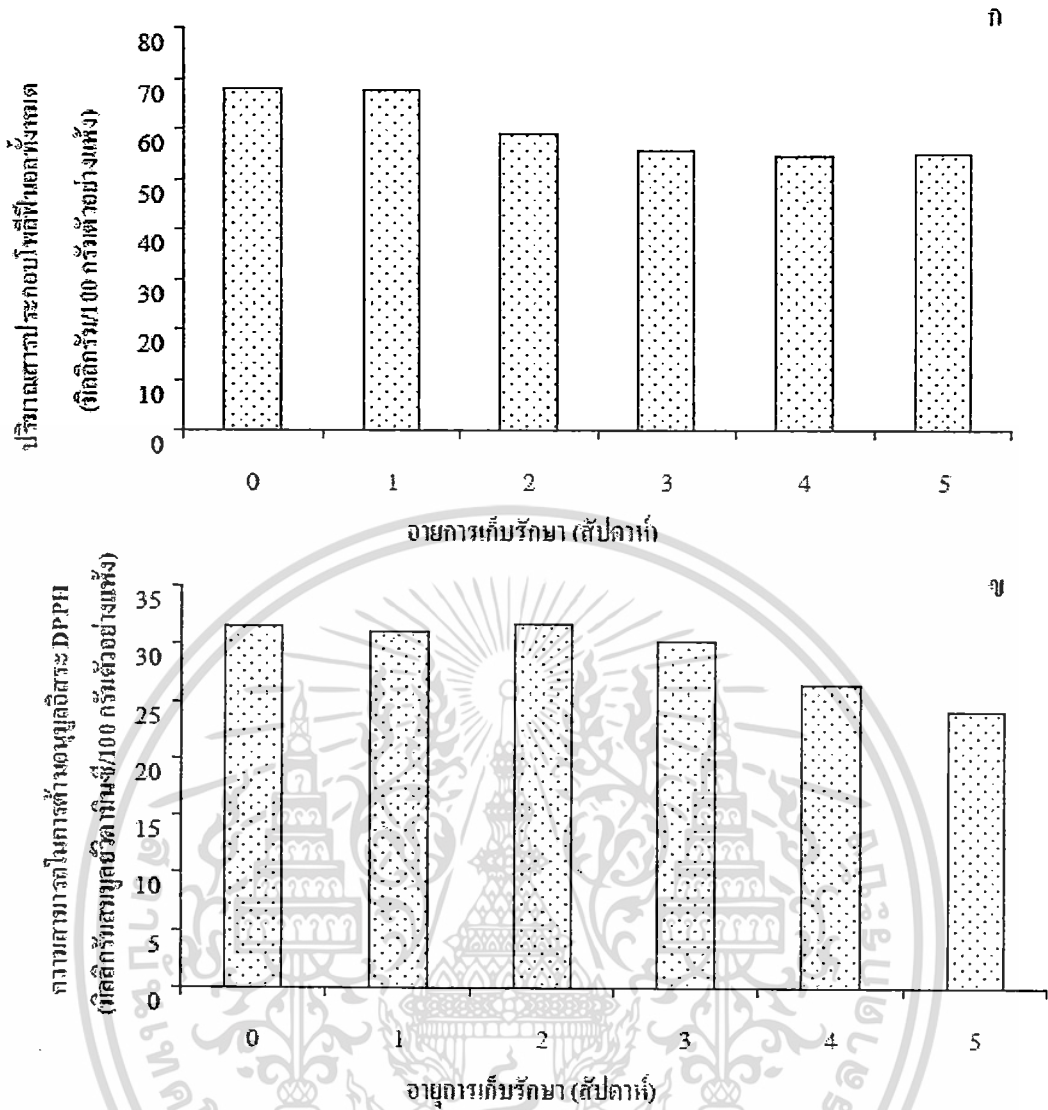


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 ปริมาณและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยตากในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทิลีนและปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ

การเก็บรักษา (สัปดาห์)	ปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมด (มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (มิลลิกรัมสมมูลวิตามินซี/100 กรัม ตัวอย่างแห้ง)	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมด	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH
0	67.78 ± 0.10 ^a	31.57 ± 0.18 ^a	-	-
1	67.47 ± 0.40 ^a	30.99 ± 0.11 ^a	0.45	-
2	58.99 ± 0.10 ^b	31.67 ± 0.51 ^a	12.97	-
3	55.30 ± 0.35 ^c	30.15 ± 0.04 ^a	18.41	4.50
4	54.19 ± 0.25 ^c	26.36 ± 0.25 ^b	20.04	16.50
5	54.80 ± 0.25 ^d	24.17 ± 3.64 ^b	19.15	23.46

หมายเหตุ : a,b ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)



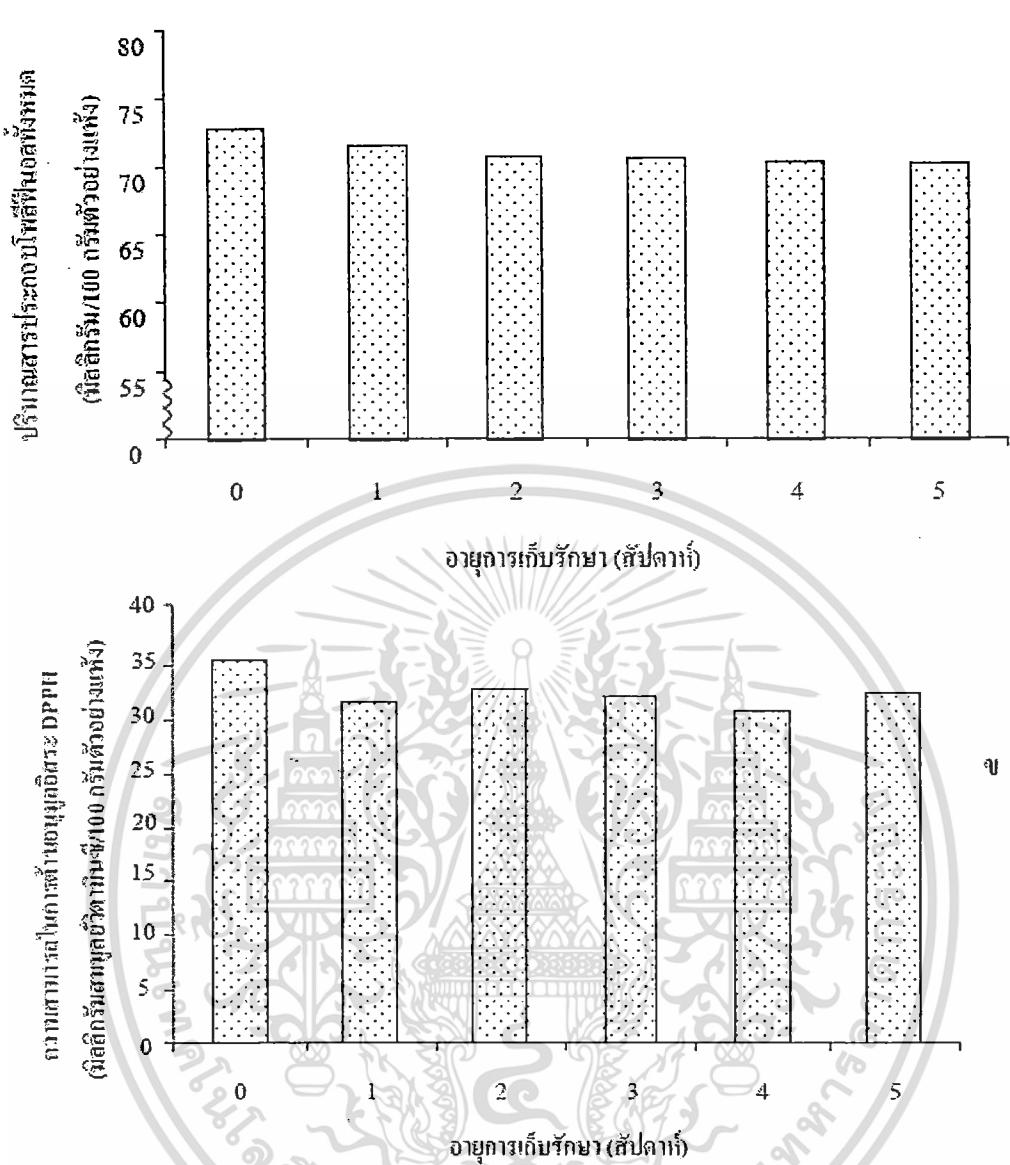
รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (ก) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ข) ของกล้วยตากในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทิลีนและปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยตากในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทิลีนและปิดผนึกที่สภาวะสุญญากาศผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.12

ตารางที่ 4.13 ปริมาณและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบโพลิฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยตากในระหว่างการเก็บรักษา โดยบรรจุในถุงโพลิเอทิลีนและปิดผนึกที่สภาวะสุญญากาศ

การเก็บรักษา (สัปดาห์)	ปริมาณสารประกอบโพลิฟีนอลทั้งหมด (มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (มิลลิกรัมสมมูลวิตามินซี/100 กรัม ตัวอย่างแห้ง)	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบโพลิฟีนอลทั้งหมด	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH
0	72.93 ± 0.20 ^a	35.33 ± 0.11 ^a	-	-
1	71.67 ± 0.66 ^b	33.68 ± 0.15 ^c	1.73	4.66
2	70.76 ± 0.15 ^c	34.93 ± 0.18 ^b	2.98	1.14
3	70.70 ± 0.20 ^c	34.82 ± 0.37 ^b	3.06	1.43
4	70.40 ± 0.10 ^c	32.71 ± 0.14 ^d	3.47	7.40
5	70.30 ± 0.50 ^c	34.60 ± 0.14 ^b	3.61	2.06

หมายเหตุ : a,b ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติ (p<0.05)



รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (ก) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ข) ของกล้วยตากในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทิลีนและปิดผนึกที่สภาวะสุญญากาศ

จากตารางที่ 4.13 แสดงปริมาณและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยตากในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุถุงโพลีเอทิลีนและปิดผนึกที่สภาวะสุญญากาศ พบว่าปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของตัวอย่างกล้วยตากในระหว่างการเก็บรักษาตั้งแต่ 0 – 5 สัปดาห์ มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยตากที่บรรจุในถุงโพลีเอทิลีนและปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ (ตารางที่ 4.12)

ทั้งนี้เนื่องจาก ในการบรรจุแบบปิดผนึกที่สภาวะสุญญากาศนั้น มีการไล่ออกซิเจนออกจากระบบทำให้ภายในภาชนะบรรจุปราศจากออกซิเจนซึ่งเป็นต้นเหตุสำคัญของการเกิดปฏิกิริยา

ออกซิเดชันจากผลการทดลองทั้งหมดดังกล่าวข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการบรรจุกล้วยตากที่สภาวะสุญญากาศมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การสูญเสียปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในระหว่างการเก็บรักษาลดลงอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้เนื่องจากออกซิเจนที่เป็นปัจจัยสำคัญของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันถูกป้องกันไม่ให้สัมผัสกับผลิตภัณฑ์กล้วยตาก จึงเป็นการรักษาสารประกอบโพลีฟีนอลให้ยังคงอยู่ในปริมาณที่ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์กล้วยตากเริ่มต้น ซึ่งผลดังกล่าวทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยตากเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

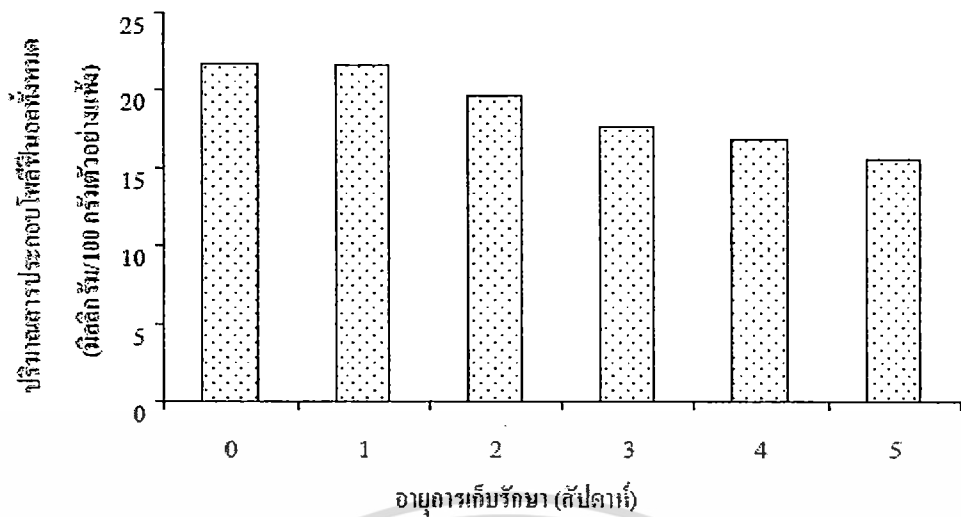
4.4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของผลิตภัณฑ์กล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างเก็บรักษา

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุถุงโพลีเอทิลีนและปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศโดยคำนวณปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด ในหน่วยของมิลลิกรัมกรดแกลลิก ต่อ 100 กรัมตัวอย่างแห้งและคำนวณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในหน่วยของมิลลิกรัมสมมูลยวีตามินซีต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.14 และรูปที่ 4.13

ตารางที่ 4.14 ปริมาณและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างการศึกษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทิลีนและวิธีคิดพื้นที่ความดันบรรยากาศ

การเก็บรักษา (สัปดาห์)	ปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมด (มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	ความสามารถในการต้าน อนุมูลอิสระ DPPH (มิลลิกรัมสมมูลวิตามินซี/100 กรัม ตัวอย่างแห้ง)	เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย สารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมด	เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย ความสามารถในการต้าน อนุมูลอิสระDPPH
0	21.68 ± 0.07 ^a	8.85 ± 0.01 ^a	-	-
1	21.58 ± 0.10 ^a	8.86 ± 0.03 ^a	0.47	-
2	19.63 ± 0.03 ^b	8.47 ± 0.10 ^b	9.47	4.31
3	17.53 ± 0.05 ^c	8.52 ± 0.01 ^b	19.18	3.67
4	16.70 ± 0.20 ^d	6.90 ± 0.05 ^c	22.98	22.03
5	15.42 ± 0.20 ^e	6.35 ± 0.04 ^d	28.88	28.22

หมายเหตุ : a-d ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)



รูปที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมด (ก) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ข) ของกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทิลีนและปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.14 และภาพที่ 4.13 (ก) จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทิลีนและปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยที่ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดเริ่มต้นในตัวอย่างกล้วยทอดกรอบแผ่นบางมีค่าเท่ากับ 21.68 ± 0.07 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง ลดลงเป็น 15.42 ± 0.20 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง หลังเก็บรักษาเป็นเวลา 5 สัปดาห์ ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเท่ากับ 28.88 เปอร์เซ็นต์ สาเหตุสำคัญอาจเนื่องมาจากกล้วยทอดกรอบแผ่นบางมีน้ำมันพืชเป็นองค์ประกอบอยู่ ดังนั้นเมื่อเก็บรักษาในภาชนะบรรจุถุงโพลีเอทิลีนในสภาวะบรรยากาศ ซึ่งไม่สามารถป้องกันการสัมผัสกับของออกซิเจนและแสงอันเป็นสาเหตุหลักของการเกิดปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของไขมัน (lipid oxidation) และก่อให้เกิดอนุมูลอิสระมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลในการทำลายสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างการเก็บรักษาได้ นอกจากนี้ออกซิเจนยังทำให้เกิดออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกได้โดยตรงด้วย

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุถุงโพลีเอทิลีนและปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ (ภาพที่ 4.13 (ข)) พบว่ามีแนวโน้มลดลงและเป็นไปในทิศทางเดียวกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด โดยมีค่าลดลงจาก 8.85 ± 0.01 มิลลิกรัมสมมูลย์วิตามินซี/100 กรัมตัวอย่างแห้ง เป็น 6.35 ± 0.04 มิลลิกรัมสมมูลย์วิตามินซี/100 กรัมตัวอย่างแห้งของกล้วยทอดกรอบแผ่นบางที่เก็บรักษานาน 5 สัปดาห์ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย มีค่าเท่ากับ 28.22 เปอร์เซ็นต์

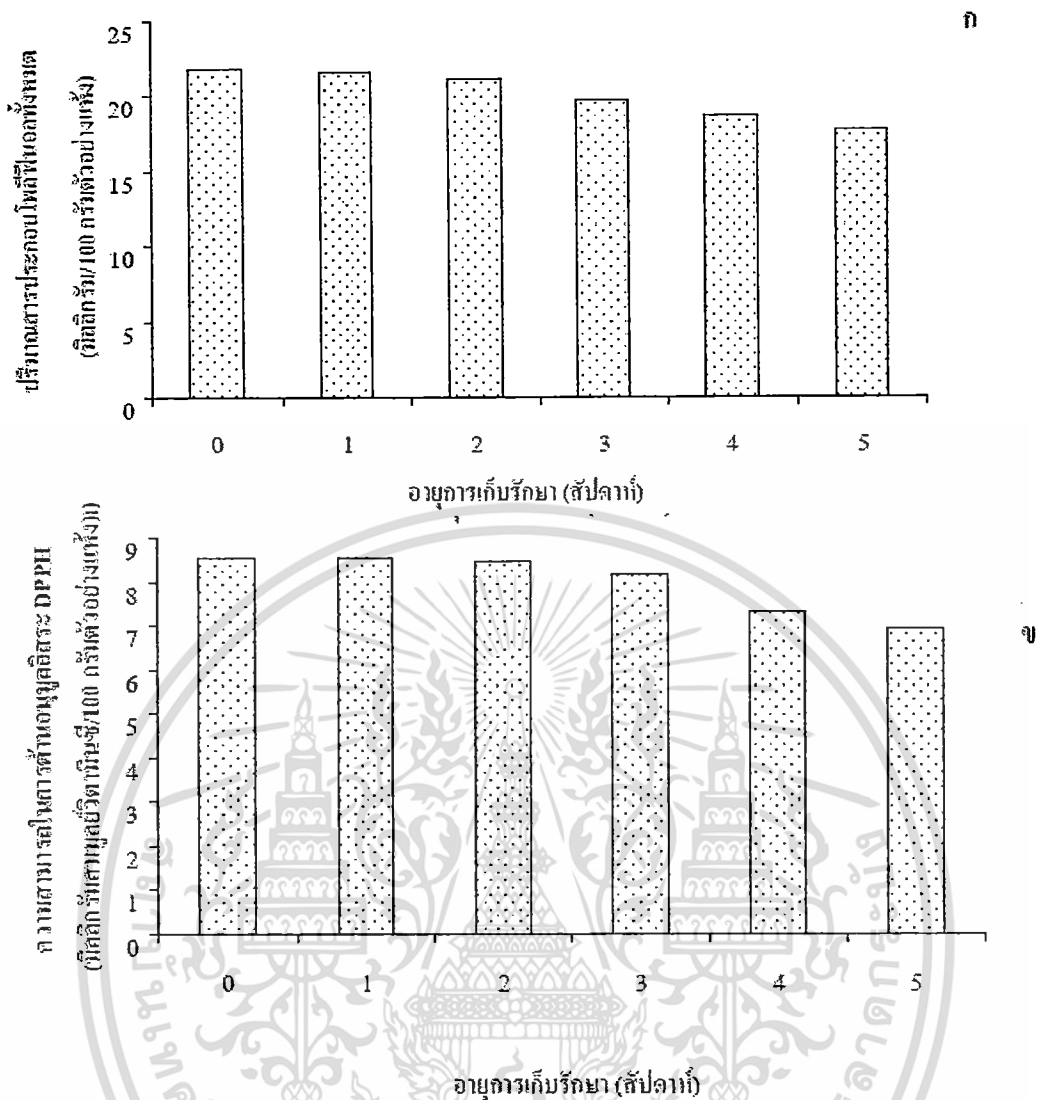
จากตารางที่ 4.15 และภาพที่ 4.14 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของของกล้วยตากในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุถุงโพลีเอทิลีนและปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ

พบว่าปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างกล้วยทอดกรอบแผ่นบางที่เก็บรักษาในถุงโพลีเอทิลีน โดยมีค่าลดลงจาก 21.78 ± 0.17 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง เป็น 17.68 ± 0.03 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง ในตัวอย่างกล้วยทอดกรอบที่เก็บรักษานาน 5 สัปดาห์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ การสูญเสียมีค่าเท่ากับ 18.85 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจาก การใช้ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์เป็นภาชนะบรรจุนั้นสามารถป้องกันตัวอย่างสัมผัสกับแสงจึงสามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไขมันและสารประกอบฟีนอลิกได้บางส่วน อย่างไรก็ตามการบรรจุตัวอย่างภายใต้สภาวะความดันบรรยากาศยังคงมีออกซิเจนหลงเหลืออยู่ ซึ่งจะเป็สาเหตุของปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและสารประกอบฟีนอลิกโดยตรง จึงยังส่งผลให้เกิดการสูญเสียปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างการเก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ได้

ตารางที่ 4.15 ปริมาณและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบโพลตีฟินอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างการรักษาโดยบรรจุในถุงอะลูมิเนียมพอยด์และปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ

การเก็บรักษา (สัปดาห์)	ปริมาณสารประกอบโพลตีฟินอลทั้งหมด (มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (มิลลิกรัมสมมูลวิตามินซี/100 กรัม ตัวอย่างแห้ง)	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบโพลตีฟินอลทั้งหมด	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียอนุมูลอิสระ DPPH
0	21.78 ± 0.17 ^a	8.55 ± 0.05 ^a	-	-
1	21.55 ± 0.03 ^b	8.51 ± 0.06 ^a	1.08	0.39
2	21.13 ± 0.02 ^c	8.47 ± 0.10 ^a	3.01	0.94
3	19.65 ± 0.15 ^d	8.17 ± 0.05 ^b	9.81	4.43
4	18.59 ± 0.20 ^e	7.31 ± 0.02 ^c	14.68	14.39
5	17.68 ± 0.03 ^e	6.90 ± 0.50 ^d	18.85	19.28

หมายเหตุ : a-d ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (ก) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ข) ของกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟลอยด์และปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ

ในทำนองเดียวกันเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟลอยด์และปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ (ตารางที่ 4.15 และภาพที่ 4.14 (ข)) พบว่าการใช้ถุงอะลูมิเนียมฟลอยด์เป็นภาชนะบรรจุส่งผลในการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยทอดกรอบแผ่นบางน้อยกว่าการใช้ถุงโพลีเอทิลีน โดยมีค่าลดลงจาก 8.55 ± 0.05 มิลลิกรัมสมมูลวิตามินซี/100 กรัมตัวอย่างแห้ง เป็น 6.90 ± 0.50 มิลลิกรัมสมมูลวิตามินซี/100 กรัมตัวอย่างแห้ง หลังจากเก็บรักษานาน 5 สัปดาห์ ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์สูญเสียมีค่าเพียง 19.28 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาผลการทดลองจากตารางที่ 4.14-4.15 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยทอดกรอบแผ่นบางที่บรรจุใน

ถุงโพลีเอทิลีนและอะลูมิเนียมฟอยล์ ทำให้ทราบได้ว่าการบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์มีผลในการยับยั้งการสูญเสียสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เนื่องจากถุงอะลูมิเนียมฟอยล์มีลักษณะที่ทึบแสงและสามารถป้องกันออกซิเจนซึมผ่านได้ดีกว่าถุงโพลีเอทิลีน ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับน้ำมันหรือสารประกอบฟีนอลิกที่มีอยู่ภายในผลิตภัณฑ์กล้วยทอดกรอบแผ่นบาง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด ในเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกทั้ง 8 ระดับ พบว่าเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่างกัน จะมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดแตกต่างกัน โดยเมื่อระดับความสุกของกล้วยเพิ่มขึ้น ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้าจะมีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้เปลือกกล้วยน้ำว้าจะมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงกว่าเนื้อกล้วยน้ำว้าที่ทุกระดับความสุก โดยปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในเนื้อกล้วยน้ำว้าจะอยู่ในช่วง 47.97 ± 0.05 ถึง 198.29 ± 0.65 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด ส่วนในเปลือกกล้วยน้ำว้าจะอยู่ในช่วง 175.19 ± 0.40 ถึง 287.56 ± 1.83 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด เมื่อวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (2,2-diphenyl-2-picrylhydrazyl) และความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี Ferric thiocyanate colorimetric method (FTC) ของสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่างกัน พบว่าที่ระดับความสุกของกล้วยน้ำว้าเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC ของสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้ามีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดที่มีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับความสุกเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

เมื่อวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ และการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในรูปแบบต่าง ๆ คือ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ $^{\circ}\text{OH}$ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ $\text{O}_2^{\cdot-}$ ความสามารถในการทำลาย H_2O_2 ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (FRAP) ของสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้าในระดับความสุกที่ 1 และ 6 เปรียบเทียบกับวิตามินซี และโทรอกซ์ พบว่าวิตามินซี มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH อนุมูลอิสระ $^{\circ}\text{OH}$ และความสามารถในการทำลาย H_2O_2 ได้สูงที่สุด โทรลอกซ์ มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ $\text{O}_2^{\cdot-}$ และความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC ได้สูงที่สุด ส่วนเนื้อกล้วยระยะที่ 6 จะมีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระต่ำที่สุดในทุกวิธีที่ศึกษา ยกเว้นการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC ในกรณีของ FRAP พบว่า สารสกัดจากเปลือกกล้วยที่ระดับความสุกที่ 1 มีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกสูงที่สุด ส่วนสารสกัดจากเนื้อกล้วยที่ระดับความสุก 6 มีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกต่ำที่สุด และสารสกัดจากเปลือกกล้วยจะมีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระและการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงกว่าสารสกัดจากเนื้อกล้วยในแต่ละระดับความสุก นอกจากนี้ ตัวอย่างสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้า วิตามินซีและโทรลอกซ์ จะมีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระและการต้านปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกซิเดชันแตกต่างกันในแต่ละวิธี ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สารแต่ละชนิดจะมีศักยภาพในการทำลายอนุมูลอิสระและการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันแตกต่างกันไป และสารชนิดเดียวกันอาจมีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระและการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันแต่ละชนิดแตกต่างกันด้วย

การวิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่าง ๆ ในเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุก 1 และ 6 พบว่าเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้าทั้งสองระดับความสุก มีปริมาณกรดเกลือมากที่สุด ส่วนกรดโปรโตแคทิวอิก กรดพาราควมาริก และ กรดเฟอร์ริก มีปริมาณค่อนข้างใกล้เคียงกัน และสารสกัดจากเปลือกกล้วยน้ำว้าจะมีปริมาณกรดฟีนอลิกสูงกว่าสารสกัดจากเนื้อกล้วยน้ำว้าเสมอ นอกจากนี้เมื่อระดับความสุกของกล้วยเพิ่มขึ้น ปริมาณกรดฟีนอลิกในสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้าจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากและกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง โดยกระบวนการแปรรูปกล้วยตากแบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ วิธีที่ 1 อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน (วันที่ 1 ใช้เวลาในการอบ 6 ชั่วโมง และวันที่ 2, 3, 4, 5 อบเป็นเวลา 3, 4, 6 และ 4 ชั่วโมงตามลำดับ) และวิธีที่ 2 อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน (วันละ 8 ชั่วโมง) พบว่ากล้วยตากที่ได้จากการแปรรูปโดยวิธีที่ 1 มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดลดลงจากเริ่มต้นมากกว่าตัวอย่างกล้วยตากที่ได้จากการแปรรูปโดยวิธีที่ 2 โดยมีการสูญเสียปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดเท่ากับ 40.13 และ 6.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยตากที่ได้จากการแปรรูปวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด กล่าวคือมีค่าลดลงเท่ากับ 53.10 และ 29.89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลการทดลองสรุปได้ว่ากระบวนการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 2 ซึ่งใช้ระยะเวลาในการอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส สั้นกว่าวิธีที่ 1 มีผลทำให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ลดลงน้อยกว่ากระบวนการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 1 ตัวอย่างกล้วยน้ำว้าที่ผ่านกระบวนการแปรรูปเป็นกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการนึ่ง, หั่นเป็นชิ้นบาง, เก็บในถุง PE, ทอดและอบ พบว่าในแต่ละขั้นตอนของการผลิตนั้น ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างจะลดลงจากวัตถุดิบเริ่มต้นคิดเป็น 22.97, 57.23, 73.08, 98.15, และ 98.28 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ที่มีค่าลดลงจากเริ่มต้นเท่ากับ 33.22, 65.04, 95.63, 99.73, และ 99.75 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังนั้น กระบวนการแปรรูปกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง จะมีผลต่อการสูญเสียปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่ากระบวนการแปรรูปกล้วยตาก ทั้งนี้เนื่องมาจากผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการกระบวนการแปรรูปที่สูงกว่าและพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับออกซิเจนมากกว่านั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในตัวอย่างกล้วยตากที่บรรจุในภาชนะบรรจุ คือ ถุงโพลีเอทิลีนภายใต้ความดันบรรยากาศ เปรียบเทียบกับการบรรจุแบบสุญญากาศโดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 สัปดาห์ พบว่าปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยตากที่บรรจุแบบความดันบรรยากาศมีแนวโน้มลดลงในระหว่างการเก็บรักษามากกว่ากล้วยตากที่บรรจุแบบสุญญากาศ เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับ 19.15 และ 23.46 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างกล้วยตากที่บรรจุแบบสุญญากาศมีการสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในระหว่างการเก็บรักษาน้อยมาก ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์กล้วยตากในถุงโพลีเอทิลีนภายใต้สภาวะสุญญากาศสามารถช่วยลดการสูญเสียปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดี

สำหรับผลิตภัณฑ์กล้วยทอดกรอบแผ่นบางบรรจุในภาชนะบรรจุ 2 ชนิดคือ ถุงโพลีเอทิลีนและถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ ที่ความดันบรรยากาศและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 สัปดาห์พบว่าปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างที่เก็บรักษาในถุงโพลีเอทิลีน มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเท่ากับ 28.88 และ 28.22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่กล้วยทอดกรอบแผ่นบางที่เก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเท่ากับ 18.85 และ 19.28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลการทดลองดังกล่าว จะเห็นว่า ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยทอดกรอบแผ่นบางที่เก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียที่น้อยกว่า จึงสรุปได้ว่าการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์กล้วยทอดกรอบแผ่นบางในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์สามารถช่วยลดการสูญเสียปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดีกว่าการเก็บรักษาในถุงโพลีเอทิลีน

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงลดลงมาก เนื่องจากการใช้ความร้อนที่สูง (150 องศาเซลเซียส) ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาแนวทางในการลดการสูญเสียปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลในระหว่างการแปรรูปกล้วยทอดกรอบแผ่นบางดังกล่าว โดยอาจใช้วิธีการทอดที่อุณหภูมิต่ำลงร่วมกับการลดความดัน (vacuum deep frying)

บรรณานุกรม

กลุ่มแม่บ้านเกษตรกรกรบ้านห้วยโจ้ จังหวัดเชียงใหม่. 2548. กกล้วยอบ.[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก

[http://www.siamvillage.net/gis/lable/product_province_amphur.html\(14/05/2007\)](http://www.siamvillage.net/gis/lable/product_province_amphur.html(14/05/2007)).

กรมส่งเสริมวิชาการเกษตร. 2544. สถิติการเกษตรของประเทศไทยปีการเพาะปลูก 2535-2544. กรุงเทพฯ

: ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

โครงสร้างทางเคมีของโดพามีน [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จากจาก : [http://www.awbc.com/mathews/ch21/dopamine.htm\(14/05/2007\)](http://www.awbc.com/mathews/ch21/dopamine.htm(14/05/2007)).

เบญจมาศ ศิลาชัย. 2538. กกล้วย. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ:

ประชาชน.

ประพันธ์ ปิ่นศิริโรตม และวันทนี ช้างน้อย. 2545. การเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล

ทั้งหมดและศักยภาพการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเมล็ดพืชตระกูลส้มสายพันธุ์ต่าง ๆ ที่ปลูกในประเทศไทย. อาหาร. 32: 300-307.

ธนัท อ้วนอ่อน. 2546. การปรับปรุงคุณภาพและกรรมวิธีการผลิตกล้วยตาก. วิทยานิพนธ์ หลักสูตร

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วัลยา เนาวรัตน์วัฒนา และพัชรี บุญศิริ. 2542. โพรออกซิแดนซ์: อีกโฉมหน้าของแอนติออกซิแดนซ์.

วารสารวิทยาศาสตร์. 53:196-198.

พานิชย์ ยศปัญญา. 2541. กกล้วยในเมืองไทย. มติชน. กรุงเทพฯ.

พรเพ็ญ ปัญญาปิยะกุล และ นิภาพร โดเบลท์. 2548. การปรับปรุงการอบแห้งกล้วยน้ำว้า. การ

ประชุมสัมมนาวิชาการอุตสาหกรรมเกษตรครั้งที่ 7: เทคโนโลยีอาหารก้าวไกลนำครัวไทยสู่ครัวโลก. วันที่ 22-24 มิถุนายน ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติไบเทค บางนา กรุงเทพมหานคร. 5 หน้า.

พรรณนีย์ วิชชาชู. 2537. กกล้วยตากกระทุ้ม...วันนี้ไม่ต้องใช้แดดก็ได้. วารสารส่งเสริมการเกษตร. 24(6) :

10-14.

มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด , รัศมี สุขศรี และ เนื้อทอง วลานวัช. 2548. กกล้วยอบเนย. อาหาร. 35(15): 104-

109.

ระดับความสุกของกล้วยหอมทอง 8 ระดับ <http://www.postharvest.ucdavis.edu/Produce/ProduceFacts>

(4/07/2550).

รชฎ เชื้อวิโรจน์ และ เชียรชัย สันคุษฎี. 2532. ศึกษาและเปรียบเทียบการทำกล้วยตากด้วยเครื่องอบพลัง

แสงอาทิตย์กับการทำกล้วยตากด้วยตู้อบไฟฟ้า. วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร. 6(3) :

เอกสารนี้เป็น 144-148.วนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วิวัฒน์ หวังเจริญ. 2545. บทบาทของสารประกอบฟีนอลต่อสุขภาพ. *อาหาร*. 32 (4) : 245 – 253.
- วรนิษฐ์ สมุทรวนิช. 2537. เล็บมือนางอบแห้งของดีจากหลังสวน. *เทคโนโลยีชาวบ้าน* : 6(2) : 25 –28.
- วิไลยา เนาวรัตน์และพัชรี บุญศิริ. 2542. โปรรอกซิแดนท์ : อีกโฉมหน้าของแอนติออกซิแดนท์. *วารสารวิทยาศาสตร์*. 53(3) : 196-198.
- สุภาภรณ์ เพื่อพัฒนาพงศ์. 2546. สมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่างกัน. *ปัญหาพิเศษปริญญาตรี คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ*.
- เอกสารกองโภชนาการ. 2535. คุณค่าทางโภชนาการของกล้วยพันธุ์ต่าง ๆ. กรุงเทพฯ: กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.
- โอภา วัชรคุปต์, ปรีชา บุญจุง, จันทนา บุญยรัตน์, มาลีรักษ์ อัดดีสินทอง. 2549. สารต้านอนุมูลอิสระ. กรุงเทพฯ: พี.เอส.พรินท์.
- Akyildiz, A., Aksay, S., Benli, H., Kiroglu, F. and Fenercioglu, H. 2004. Determination of change in some characteristics of persimmon during dehydration at different temperature. *Food Eng.* 65 : 95-99.
- AOAC. 2000. *Official Methods of Analysis*. 17th ed. Fruit and fruit products, Washington D.C. pp.1 – 31.
- Aruoma, O.I. 1994. Deoxyribose assay for detecting hydroxyl radicals. In *Methods in enzymology*, vol. 233 (Packer, L., ed.). New York: Academic Press, Inc. 57-66.
- Benzie, I.F.F., Strain, J.J. 1999. Ferric reducing/antioxidative power assay: Direct measure of total antioxidant activity of biological fluids and modified version of simultaneous measurement of antioxidant power and ascorbic acid concentration. In *Methods in enzymology*, vol. 299 (Packer, L., ed.). New York: Academic Press, Inc. 15-27.
- Bravo, L. 1998. Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism and nutritional significance. *Nutr. Rev.* 56: 317-333.
- Burns, J., Gardner, P.T., O'Neil, J., Crawford, S., Morecroft, I., McPhail, D.B. 2000. Relationship among antioxidant activity, vasodilation capacity and phenolic content of red wines. *J. Agric. Food Chem.* 48: 220-230.
- Crowther, P.C. 1979. *The Processing of banana products for food use*. London : Rep. Trop. Prod. Inst., G122, : 18pp.
- Ehabe, E.E., Eyabi Eyabi, G.D. and Numfor, F.A. 2005. Effect of sugar and NaCl soaking treatments on the quality of sweet banana figs. *J. Food Eng.* 76 : 573 – 578.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Frankel, E.N., Meyer, A.S. 2000. The problems of using one-dimensional methods to evaluate multifunctional food and biological antioxidants. *J. Sci. Food Agric.* 80: 1925-1941.
- Garcia-Sanchez, F., Carnero, C., Heredia, A. 1988. Fluorometric determination of p-coumaric acid in beer. *J. Agric. Food Chem.* 36: 80-82.
- Gorinstein, S., Belloso, O.M., Park, Y.O., Haruenkit, R., Lojek, A., Ciz, M., Caspi, A., Libman I., Trakhtenberg, S. 2001a. Comparison of some biochemical characteristics of different citrus fruits. *Food Chem.* 74: 309-315.
- Gorinstein, S., Zachwieja, Z., Folta, M., Barton, H., Piotrowicz, J., Zemser, M., Weisz, M., Trakhtenberg, S., Belloso, O.M. 2001b. Comparative contents of dietary fiber, total phenolics and minerals in persimmons and apples. *J. Agric. Food Chem.* 49: 952-957.
- Gorinstein, S., Zemser, M., Haruenkit, R., Chuthakorn, R., Grauer, F., Belloso, O.M., Trakhtenberg, S. 1999. Comparative content of total polyphenols and dietary fiber in tropical fruits and persimmon. *J. Nutr. Biochem.* 10: 367-371.
- Gorinstein, S., Zemser, M., Weisz, M., Halevy, S., Deutsch, J., Tilis, K., Feintuch, D., Guerra, N., Fishman, M., Bartnikowska, E. 1994. Fluorometric analysis of phenolics in persimmons. *Biosci. Biotech. Biochem.* 58: 1087-1092.
- Jimenez-Escrig, A., Rincon, M., Pulido, R., Saura-Calixto, F. 2001. Guava fruit (*Psidium guajava* L.) as a new source of antioxidant dietary fiber. *J. Agric. Food Chem.* 49: 5489-5493.
- John, P., Marchal, J. 1995. Ripening and Biochemistry of fruit. In *Bananas and Plantains*. (Gowen, S., ed). UK: Chapman & Hall.
- Jung, S.T., Park, Y.S., Zofia, Z., Maria, F., Henryk, B., Jadwiga, P., Elena, K., Simon, T. and Shela, G. 2005. Some essential phytochemicals and the antioxidant potential in fresh and dried persimmon. *J. Food Sci . Nutr.* 56 : 105 – 113.
- Kanazawa, K., Sakakibara, H. 2000. High content of dopamine, a strong antioxidant, in cavendish banana. *J. Agric. Food Chem.* 48: 844-848.
- Katan, M.B. and Roos, N.M.D., 2004. Promises and problems of function foods. *J. Food Sci . Nutr.* 44 : 369 – 377.
- Kim, D.O. and Lee, C.Y. 2004. Comprehensive study on vitamin C equivalent antioxidant capacity (VCEAC) of various polyphenolics in scavenging a free radical and its structural relationship. *J. Food Sci . Nutr.* 44 : 253-273.
- Kondo, S., Tsuda, K., Muto, N., Ueda, J. 2002. Antioxidative activity of apple skin or flesh extracts associated with fruit development on selected apple cultivars. *Scientia Hort.* 96: 177-185.

- 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: 309-315.
- Larrauri, J.A., Goni, I., Martin-Carron, N., Ruperez, P., Saura-Calixto, F. 1996. Measurement of health-promoting properties in fruit dietary fibers: antioxidant capacity, fermentability and glucose retardation index. *J. Sci. Food Agric.* 71: 515-519.
- Larrauri, J.A., Ruperez, P. and Calixto, F.S. 1997. Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. *J. Agric. Food Chem.* 45: 1390-1393.
- Laurena, A.C., Garcia, V.V., Mae, E. and Mendoza, T. 1986. Effects of heat on the removal of polyphenols and in vitro protein digestibility of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). *Plant Food Human Nutri.* 37 : 183 – 192.
- Leong, L.P., Shui, G. 2002. An investigation of antioxidant capacity of fruits in Singapore markets. *Food Chem.* 76: 69-75.
- Leontowicz, M., Gorinstein, S., Leontowicz, H., Krzeminski, R., Lojek, A., Katrich, E., Ciz, M., Belloso, O.M., Fortuny, R.S., Haruenkit, R., Trakhtenberg, S. 2003. Apple and pear peel and pulp and their influence on plasma lipids and antioxidant potentials in rats fed cholesterol-containing diets. *J. Agric. Food Chem.* 51: 5780-5785.
- Materska, M., Perucka, I. 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. Biotechnol.* 1: 126-132.
- Murakami, M., Yamaguchi, T., Takamura, H., Matoba, T. 2004. Effects of thermal treatment on radical-scarvenging activity of single and mixed polyphenolic compounds. *J. Food Sci.* 69: 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.
- Park, S.P., Jung, S.T., Kang, S.G., Licon, E.F., Ayala, A.L.M., Tapia, M.A., Belloso, O.M., Trakhtenberg, S. and Gorinstein, S. 2006. Drying of persimmons (*Diospyros kaka* L.) and the

following changes in the studied bioactive compounds and the total radical scavenging activities. *J. Food Tech.* 39 : 784-755.

- Punchard, N.A., Kelly, F.J. 1996. *Free radicals: a practical approach*. Washington, D.C. Oxford university press, Inc. 310 p.
- Rietjens, I., Boersma, M.G., Haan, L., Spenkeling, B., Awad, H.M., Cnubben, N., Van Zenden, J.J., Van der Woude, H., Alink, G.M. and Koeman, J.H. 2002. The pro-oxidant chemistry of the natural antioxidants vitamin C, vitamin E, carotenoids and flavonoids. *Envi.Toxico.Pharma.* 11 : 321-333.
- Salunkhe, D.K., Kadam, S.S. 1995. *Handbook of fruit science and technology*. New York. Marcel Dekker, Inc. 611 p.
- Sanchez-Moreno, C., Larrauri, J.A., Saura-Calixto, F. 1998. A procedure to measure the antiradical efficiency of polyphenols. *J. Sci. Food Agric.* 76: 270-276.
- Someya, S., Yoshiki, Y., Okubo, K. 2002. Antioxidant compounds from bananas (*Musa cavendish*). *Food Chem.* 79: 351-354.
- Stover, R.H., Simmonds, N.W. 1987. *Bananas*. New York. John Wiley and Sons, Inc. 468 p.
- Sun, J., Chu, Y., Wu, X., Liu, R.H. 2002. Antioxidant and antiproliferative activities of common fruits. *J. Agric. Food Chem.* 50: 7449-7454.
- Takamura, H., Yamaguchi, T., Terao, J. and Matoba, T. 2002. Change in radical-scavenging activity of spices and vegetables during cooking. In "Bioactive Compounds in Foods: Effects of Processing and Storage." (T.C. Lee & C.T. Ho., ed) Washington D.C., American Chemical Society, 34-43.
- 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.
- Vinson, J.A., Zubik, L., Bose, P., Samman, N. and Procs, J. 2005. Dried food : Excellent in vitro and in vivo antioxidant. *J. Am. College. Nutri.* 24 : 44 – 50.
- Wang, H., Cao, G., Prior, R.L. 1996. Total antioxidant capacity of fruits. *J. Agric. Food Chem.* 44: 701-705.
- Wang, R. and Zhou, W. 2004. Stability of tea catechins in the breadmarking process *J. Agric. Food Chem.* 52 : 8224-8229.
- Weider, s., Amarowicz, R., Karamac, M. and Fraccek, E. 2002. Changes in endogenous phenolic acids during development of Scale cereal caryopses and after dehydration treatment of unripe-rye grains. *Biochem.* 38 : 595-602.

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก-1

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่างกัน

1) อุปกรณ์

1.1 เครื่องวัดสี (Minolta color meter)

2) วิธีการทดลอง

2.1 นำกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่างๆ มาวัดสีด้วยเครื่องวัดสีที่จุดต่างๆ ทั้งผล 10 จุด และบันทึกผล

2.2 คำนวณการเปลี่ยนแปลงของสี เมื่อระดับความสุกเปลี่ยนแปลงไป โดยให้ค่าสีที่ระดับความสุกที่ 1 เป็นสีที่อ้างอิงในการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น แล้วคำนวณตามสมการ

$$\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$$

ภาคผนวก ก-2

การวิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซ์ (DNS method) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และปริมาณของแข็งทั้งหมด

1) อุปกรณ์

1.1 เครื่อง spectrophotometer

1.2 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath)

1.3 หลอดทดลอง

1.4 เครื่องมือวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด Hand refractometer

1.5 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง pH-meter

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 เติมโพแทสเซียม โซเดียมทาร์เทรท 75 กรัม คนให้ละลาย

3.4 เติม 3,5-ไดไนโตรซาลิไซลิกแอซิด 0.25 กรัม คนให้ละลาย

3.5 เทสารละลายลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) วิธีวิเคราะห์

- 4.1 ชั่งตัวอย่าง 50 กรัม นำไปปั่นกับน้ำกลั่นปริมาณ 100 มิลลิลิตร ด้วยเครื่องปั่นนาน 1 นาที
- 4.2 นำสารละลายที่ได้ไปกรองและวัดปริมาตร
- 4.3 ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 0.4 มิลลิลิตร และสารละลาย DNS 4 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง
- 4.4 นำตะแกรงที่ใส่หลอดทดลองวางในอ่างน้ำเดือดนาน 5 นาที
- 4.5 นำตะแกรงหลอดทดลองแช่ลงในอ่างน้ำเย็นและทำให้เย็นลงทันที
- 4.6 เติมน้ำกลั่นลงในหลอดทดลองอีกหลอดละ 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
- 4.7 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 570 นาโนเมตร
- 4.8 บันทึกผลการทดลอง

5) การเตรียมกราฟมาตรฐาน

- 5.1 ปิเปตสารละลายมาตรฐานกลูโคส 0.1-1.0 มิลลิลิตร (ความเข้มข้น 1 กรัม / 1 ลิตร) ลงในหลอดทดลองปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1 มิลลิลิตร
- 5.2 ปิเปตสารละลาย DNS 4 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง
- 5.3 นำตะแกรงที่ใส่หลอดทดลองวางในอ่างน้ำเดือดนาน 5 นาที
- 5.4 นำตะแกรงหลอดทดลองแช่ลงในอ่างน้ำเย็นและทำให้เย็นลงทันที
- 5.5 เติมน้ำกลั่นลงในหลอดทดลองอีกหลอดละ 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
- 5.6 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 570 นาโนเมตร
- 5.7 บันทึกผลการทดลองและนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟมาตรฐาน

6) การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดและค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) (AOAC, 2000)

นำตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อที่ 4.1 นำมาวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดโดย Hand refractometer และค่าความเป็นกรด-ด่างโดยเครื่องวัด pH-meter

ภาคผนวก ก-3

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

1) อุปกรณ์

- 1.1 ถ้วยอลูมิเนียม (Aluminium can)
- 1.2 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)
- 1.3 โถดูดความชื้น (Desiccators)
- 1.4 คีมหนีบ (Tong)
- 1.5 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็น 1.6 ข้อต้นตักสาร สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) วิธีการทดลอง

- 2.1 นำถ้วยอลูมิเนียมอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่
- 2.2 ชั่งตัวอย่างกล้วยตากและกล้วยทอดกรอบแผ่นบางที่บดละเอียดตัวอย่างละ 5 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียดใส่ในถ้วยอลูมิเนียม
- 2.3 นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 – 18 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่
- 2.4 ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น 3-4 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนัก
- 2.5 คำนวณหาปริมาณความชื้น โดยใช้สูตร
 ความชื้น (เปอร์เซ็นต์) = $\frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$

ภาคผนวก ก-4

การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

การวิเคราะห์ปริมาณไขมันในตัวอย่างกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง

การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (ether extract หรือ crude fat) ซึ่งรวมถึงฟอสโฟลิปิดและสเตอรอลแล้วยังรวมถึงเม็คสตีที่ละลายได้ในไขมันน้ำมันที่จำเป็น (essential oils) และสารประกอบที่ละลายได้ในอีเทอร์อีกด้วย

1) อุปกรณ์

- 1.1 ทิมเบิล (thimble)
- 1.2 ชุดสกัดไขมัน (Soxhlet)
- 1.3 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)
- 1.4 โถดูดความชื้น (Desiccators)
- 1.5 คีมหนีบ (Tong)
- 1.6 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
- 1.7 ซ้อนตักสาร

2) วิธีการทดลอง

- 2.1 ชั่งตัวอย่างที่อบแห้งแล้ว 10 กรัมในทิมเบิล ปิดด้านบนของตัวอย่างด้วยสำลี หรือกระดาษกรองป้องกันการฟุ้งกระจายของตัวอย่าง
- 2.2 บรรจุทิมเบิลในชุดสกัดไขมันโดยทิมเบิลอยู่ในหลอดสกัด (extraction thimble) ซึ่งด้านบนต่อกับคอนเดนเซอร์ (condenser) ส่วนด้านล่างต่อกับขวดก้นกลม (round – bottom flask) ชนิด 2 หรือ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ตวงปิโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether) 150 มิลลิลิตรในขวดก้นกลมต่อสายยางนำน้ำเข้าออกจากคอนเดนเซอร์ก่อนเปิดสวิสซ์ของเตา (heating mantle) ปรับระดับความร้อนอย่างเหมาะสม (เช่น 150 หยดต่อนาที) เพื่อให้ไอของปิโตรเลียมอีเทอร์ ความแน่นลงบนตัวอย่างอย่างต่อเนื่อง นาน 2-3 ชั่วโมง

2.4 นำส่วนของไขมันไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที เพื่อไล่อปิโตรเลียมอีเทอร์ให้หมด จากนั้นทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ก่อนนำไปชั่งน้ำหนักของไขมัน (crude fat)

2.5 เตรียมบีกเกอร์แห้งสะอาด ทราบน้ำหนักมาก่อนสำหรับชั่งน้ำมันที่สกัดได้ ในกรณีที่มีปริมาณน้ำมันน้อยให้ชั่งน้ำมันที่สกัดได้ในภาชนะเดิม

2.6 คำนวณปริมาณไขมัน (เปอร์เซ็นต์) =
$$\frac{\text{น.น. บีกเกอร์และไขมัน} - \text{น.น. บีกเกอร์}}{\text{น.น. ตัวอย่างแห้ง}} \times 100$$

ภาคผนวก ก-5

การวิเคราะห์สารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (total polyphenol contents)

1. สารเคมี

1.1 Folin-Ciocalteu

1.2 โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์

1.3 สารละลายกรดแกลลิกความเข้มข้น 400 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

2. การเตรียมกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก

2.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้นเริ่มต้น 400 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

2.2 ปิเปตสารละลายมาตรฐานดังกล่าวใส่หลอดทดลอง หลอดละ 0, 0.05, 0.15, 0.20, 0.30 และ 0.35 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาตรรวมในแต่ละหลอดเป็น 10 มิลลิลิตร

2.3 เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที

2.4 เติมสารละลาย โซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที

2.5 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร

2.6 เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณกรดแกลลิกในหน่วยไมโครกรัม

3. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลในตัวอย่างสารสกัด

3.1 ปิเปตตัวอย่างสารสกัด ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตรปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาตรรวมเป็น

10 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที

3.3 เติมสารละลาย โซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที

3.4 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร โดยใช้น้ำกลั่นเป็น blank

ภาคผนวก ก-6

การวิเคราะห์ความสามารถในการทำละลายอนุมูลอิสระ DPPH

การวิเคราะห์ความสามารถในการทำละลายอนุมูลอิสระ DPPH จะใช้วิธีที่รายงานโดย Murakami และคณะ (2004) โดยมีหลักการคือ สารละลายของอนุมูลอิสระ DPPH จะมีสีม่วงแดง ซึ่งดูดกลืนแสงได้ที่ 517 นาโนเมตร ในกรณีตัวอย่างสารสกัดที่มีฤทธิ์ในการทำละลายอนุมูลอิสระได้ดี จะทำให้สีม่วงแดงของสารละลาย DPPH จางลงได้มากกว่าตัวอย่างสารสกัดที่มีฤทธิ์ในการทำละลายอนุมูลอิสระได้น้อย

1. สารเคมี

1.1 สารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.8 มิลลิโมลาร์ โดยชั่ง DPPH 0.0158 กรัม ละลายในเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ปรับปริมาตรให้เป็น 50 มิลลิลิตร

1.2 เอทานอล ความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์

2. วิธีวิเคราะห์

2.1 ปิเปตสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.8 มิลลิโมลาร์ 0.12 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง

2.2 ปิเปตตัวอย่างสารสกัด และเอทานอล ความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์ โดยให้ปริมาตรของสารละลายที่ทำปฏิกิริยารวมทั้งหมดเป็น 1.2 มิลลิลิตร นั่นคือปริมาตรรวมของตัวอย่างสารสกัด และเอทานอล ความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์ จะต้องเท่ากับ 1.08 มิลลิลิตร

2.3 ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที

2.4 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยใช้เอทานอล ความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์เป็น blank

2.5 คำนวณเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยแทนค่าในสมการดังนี้

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

ภาคผนวก ก-7

ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี Ferric thiocyanate colorimetric method (FTC)

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC จะใช้วิธีที่รายงานโดย Larrauri และคณะ (1996) มีหลักการคือ วัดปริมาณเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นในขั้นเริ่มต้น (initial stages) ของปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดลิโนเลอิก (linoleic acid) โดยให้ทำปฏิกิริยากับ FeCl_2 เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีแดง และสามารถดูดกลืนแสงได้ที่ 500 นาโนเมตร ดังนั้นถ้ามีปริมาณเปอร์ออกไซด์เกิดขึ้นในปฏิกิริยามากสีแดงที่เกิดขึ้นก็จะเข้มมาก

1 สารเคมี

1.1 สารละลายกรดลิโนเลอิก (linoleic acid) 2.51 เปอร์เซ็นต์

ชั่งกรดลิโนเลอิก 2.51 กรัม ละลายใน เอทานอล 99.99 เปอร์เซ็นต์ แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร

1.2 สารละลายแอมโมเนียม ไธโอไซยาเนต (ammonium thiocyanate) 30 เปอร์เซ็นต์

1.3 สารละลายเฟอร์รัส คลอไรด์ (ferrous chloride) 0.02 โมลาร์

ชั่ง $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 0.199 กรัม ละลายใน HCl ความเข้มข้น 3.5 เปอร์เซ็นต์ แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 50 มิลลิลิตร

1.4 ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7 ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์

1.5 เอทานอล 75 เปอร์เซ็นต์

2 วิธีวิเคราะห์

2.1 บีบสารละลายกรดลิโนเลอิก 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) นำไปบ่มไว้ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ที่ 40 องศาเซลเซียส ในที่ที่ไม่มีแสงรบกวน

2.6 บีบสารละลายปฏิกิริยาปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ที่เวลาของปฏิกิริยาทุก ๆ 24 ชั่วโมง คือ 0, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมงตามลำดับ

2.7 เติมเอทานอล 75 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 9.7 มิลลิลิตร

2.8 เติมสารละลายแอมโมเนียม ไธโอไซยาเนต 30 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร

2.9 เติมสารละลายเฟอร์รัส คลอไรด์ ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร โดยที่หลอดควบคุมจะใช้น้ำกลั่น แทนตัวอย่าง สำหรับ blank ใช้ เอธานอล 75 เปอร์เซ็นต์ แทนตัวอย่าง

2.11 คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC โดยแทนค่าในสมการดังนี้

$$100 - \left\{ \frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างชั่วโมงที่ 96} / \text{ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างชั่วโมงที่ 0}}{\text{ค่าการดูดกลืนแสงของหลอดควบคุมชั่วโมงที่ 96} / \text{ค่าการดูดกลืนแสงของหลอดควบคุมชั่วโมงที่ 0}} \times 100 \right\}$$

ภาคผนวก ก-8

การวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระและการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในรูปแบบต่าง ๆ

ภาคผนวก ก-8/1 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH

การวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH จะใช้วิธีที่รายงานโดย Murakami *et al.* (2004) โดยมีหลักการคือ สารละลายของอนุมูลอิสระ DPPH จะมีสีม่วงแดง ซึ่งดูดกลืนแสงได้ที่ 517 นาโนเมตร ในกรณีตัวอย่างสารสกัดที่มีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระได้ดี จะทำให้สีม่วงแดงของสารละลาย DPPH จางลงได้มากกว่าตัวอย่างสารสกัดที่มีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระได้น้อย

1. สารเคมี

1.1 สารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.8 มิลลิโมลาร์ โดยชั่ง DPPH 0.0158 กรัม ละลายใน เอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ปรับปริมาตรให้เป็น 50 มิลลิลิตร

1.2 เอธานอล ความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์

2. วิธีวิเคราะห์

2.1 ปิเปตสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.8 มิลลิโมลาร์ 0.12 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง

2.2 ปิเปตตัวอย่างสารสกัด และเอธานอล ความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์ โดยให้ปริมาตรของสารละลายที่ทำปฏิกิริยารวมทั้งหมดเป็น 1.2 มิลลิลิตร นั่นคือปริมาตรรวมของตัวอย่างสารสกัด และเอธานอล ความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์ จะต้องเท่ากับ 1.08 มิลลิลิตร

2.3 ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที

2.4 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยใช้เอธานอล ความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์เป็น blank

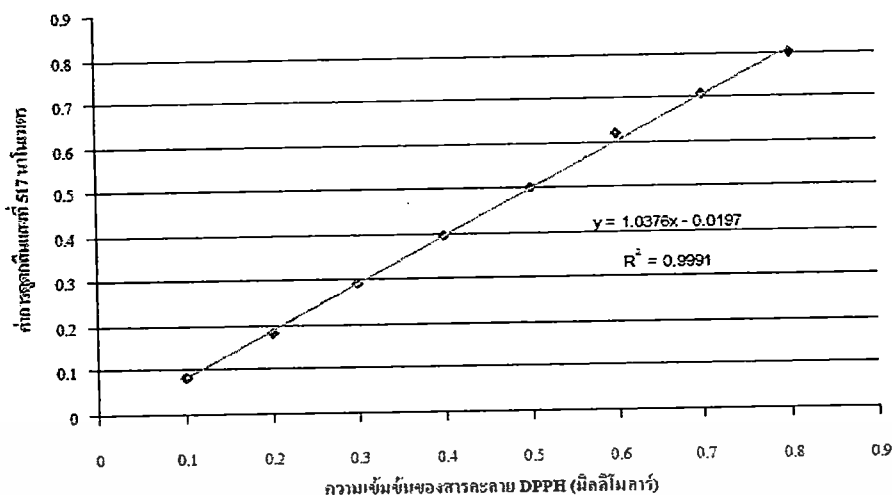
2.5 คำนวณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

3. ตัวอย่างการคำนวณ (Sanchez-Moreno *et al.*, 1998)

3.1 สร้างกราฟมาตรฐานของสารละลาย DPPH โดยมีสมการเส้นตรงคือ $y = 1.0376x - 0.0197$

และค่า $R^2 = 0.9991$ ดังแสดงในรูปภาคผนวก ก-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สงวนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาคผนวก ก-1 กราฟมาตรฐานของสารละลาย DPPH

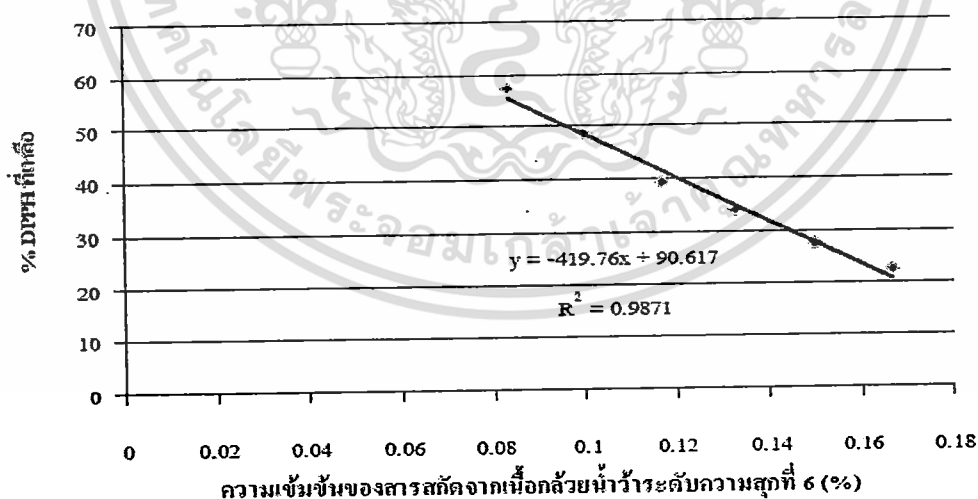
3.2 นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง แทนค่าในสมการ $y = 1.0376x - 0.0197$ เพื่อหาค่าความเข้มข้นของสารละลาย DPPH ($[DPPH]_T$)

3.3 นำค่าความเข้มข้นของสารละลาย DPPH ($[DPPH]_T$) ที่ได้จากการคำนวณในข้อ 3.2 แทนค่าในสมการ

$$\% \text{ DPPH ที่เหลือ} = [DPPH]_T / [DPPH]_0 \times 100$$

โดยที่ $[DPPH]_0$ คือ ความเข้มข้นของสารละลาย DPPH ของหลอดควบคุม (control)

3.4 นำค่า % DPPH ที่เหลือ ที่ได้จากการคำนวณในข้อ 3.3 มาสร้างกราฟ ดังรูปภาคผนวก ก-2



รูปภาคผนวก ก-2 กราฟปริมาณ DPPH ที่เหลือ เมื่อใช้สารสกัดจากเนื้อกล้วยน้ำว้าระดับความสุกที่ 6 ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

3.5 คำนวณหาค่า EC_{50} จากสมการเส้นตรงที่ได้จากการสร้างกราฟในข้อ 3.4 นั่นคือ

$$y = -419.76x + 90.617 \text{ โดยให้ค่า } y = 50 \%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 สำหรับการคำนวณหาค่า EC_{50} ของวิตามินซีและโทรออกซ์ ใช้วิธีการคำนวณเช่นเดียวกับตัวอย่างสารสกัดดังกล่าวข้างต้น

ภาคผนวก ก-8/2 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล ($^{\circ}OH$)

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ $^{\circ}OH$ จะใช้วิธีที่รายงานโดย Aruoma (1994) โดยมีหลักการคือ Fe^{2+} จะทำปฏิกิริยากับ H_2O_2 ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ $^{\circ}OH$ เนื่องจากปฏิกิริยา Fenton จากนั้นอนุมูลอิสระ $^{\circ}OH$ จะทำปฏิกิริยากับ deoxyribose ทำให้เกิดการสลายตัวของ deoxyribose และทำให้เกิดสีชมพูซึ่งดูดกลืนแสงได้ที่ 532 นาโนเมตร ดังนั้นถ้ามีอนุมูลอิสระ $^{\circ}OH$ มาก deoxyribose ก็จะสลายตัวมาก สีชมพูที่เกิดขึ้นจึงเข้ม แต่ถ้าตัวอย่างสารสกัดที่มีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระได้ดี จะทำให้สีชมพูจางลงได้มากกว่าตัวอย่างสารสกัดที่มีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระได้น้อย

1. สารเคมี

1. สารละลายกรดไตรคลอโรอะซิติก/ไตรบาบิทอริก (TCA / TBA)

1.1 ชั่ง กรดไตรคลอโรอะซิติก (TCA) 15 กรัม และ ไตรบาบิทอริก (TBA) 0.375 กรัม ละลายใน HCl ความเข้มข้น 0.25 นอร์มอล แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร

1.2 ผสมสารละลายในข้อ 1.1 กับ BHT ความเข้มข้น 0.2 เปอร์เซ็นต์ (โดยชั่ง BHT 0.2 กรัม ละลายในเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร โดยผสมก่อนที่จะใช้เท่านั้น

2. สารละลาย Deoxyribose-Ascorbic acid

ชั่ง deoxyribose 90 มิลลิกรัม และ ascorbic acid 8.45 มิลลิกรัม ละลายในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.4 ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 10 มิลลิลิตร

3. สารละลาย EDTA- $FeCl_3$

ชั่ง EDTA 37.2 มิลลิกรัม และ $FeCl_3 \cdot 6 H_2O$ 27 มิลลิกรัม ละลายในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.4 ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร

4. H_2O_2 ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์

2. วิธีวิเคราะห์

2.1 ปิเปิดสารละลาย EDTA- $FeCl_3$ ปริมาตร 60 ไมโครลิตร

2.2 เติมสารละลาย Deoxyribose-Ascorbic acid ปริมาตร 50 ไมโครลิตร

2.3 เติม H_2O_2 ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 120 ไมโครลิตร

2.4 เติมตัวอย่างสารสกัด ปริมาตร 25 ไมโครลิตร

2.5 เติมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.4 ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 945 ไมโครลิตร

2.6 ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) นำไปบ่มไว้ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 37

องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 เมื่อครบ 1 ชั่วโมง ปิเปตสารละลายปฏิกิริยาข้างต้น 0.6 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย TCA / TBA ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร

2.8 ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) และนำไปบ่มในอ่างน้ำเดือด เป็นเวลา 10 นาที ทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

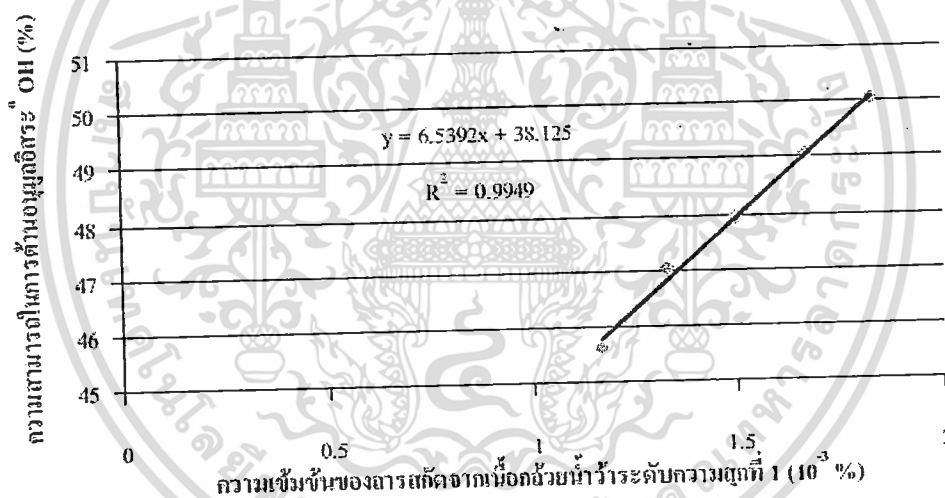
2.9 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร โดยที่หลอดควบคุม (control) จะใช้ฟอสเฟตบัพเฟอร์แทนตัวอย่าง สำหรับ blank ให้ใช้ HCl ความเข้มข้น 0.25 นอร์มอล แทนสารละลาย TCA / TBA

3 ตัวอย่างการคำนวณ

3.1 คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ °OH ของตัวอย่างสารสกัด โดยแทนค่าในสมการดังนี้

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

3.2 นำค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ °OH ที่ได้จากการคำนวณในข้อ 3.1 มาสร้างกราฟดังรูปภาคผนวก ก-3



รูปภาคผนวก ก-3 กราฟเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ °OH เมื่อใช้สารสกัดจากเนื้อกล้วยน้ำว้าระดับความสุกที่ 1 ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

3.3 คำนวณหาค่า EC₅₀ จากสมการเส้นตรงที่ได้จากการสร้างกราฟในข้อ 3.2 นั่นคือ

$$y = 6.5392x + 38.125 \text{ โดยให้ค่า } y = 50 \%$$

3.4 สำหรับการคำนวณหาค่า EC 50 ของวิตามินซีและโทรอกซ์ ใช้วิธีการคำนวณเช่นเดียวกับตัวอย่างสารสกัดดังกล่าวข้างต้น

ภาคผนวก ก-8/3 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระซูเปอร์ออกไซด์ ($O_2^{\cdot-}$)

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ $O_2^{\cdot-}$ จะใช้วิธีที่รายงานโดย Yen และ Chen (1995) โดยอนุมูลอิสระ $O_2^{\cdot-}$ เป็นแหล่งของอนุมูลอิสระหลายชนิด เช่น peroxy, alkoxy, hydroxy เป็นต้น ซึ่งอนุมูลเหล่านี้จะเกิดจาก $O_2^{\cdot-}$ ผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน หรือ ปฏิกิริยา Fenton ดังนั้นถ้าตัวอย่างสารสกัดที่มีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระ $O_2^{\cdot-}$ ได้ดี ก็จะสามารถลดการเกิดอนุมูลอิสระชนิดอื่น ๆ ได้อีก

1. สารเคมี

1.1 สารละลาย NADH

ชั่ง NADH 0.034 กรัม ละลายในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.4 ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร

1.2 สารละลาย ไนโตรเตตระโซเลียม บลูคลอไรด์ (nitrotetrazolium blue chloride, NBT)

ชั่ง NBT 0.012 กรัม ละลายในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.4 ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร

1.3 สารละลาย ฟีนาซีน เมทโซซัลเฟต (phenazine methosulfate, PMS)

ชั่ง PMS 0.0018 กรัม ละลายในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.4 ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร

2. วิธีทดลอง

2.1 ปิเปตตัวอย่างสารสกัด ปริมาตร 1 มิลลิลิตร

2.2 เติมสารละลาย PMS ปริมาตร 1 มิลลิลิตร

2.3 เติมสารละลาย NADH ปริมาตร 1 มิลลิลิตร

2.4 เติมสารละลาย NBT ปริมาตร 1 มิลลิลิตร

2.5 ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 นาที

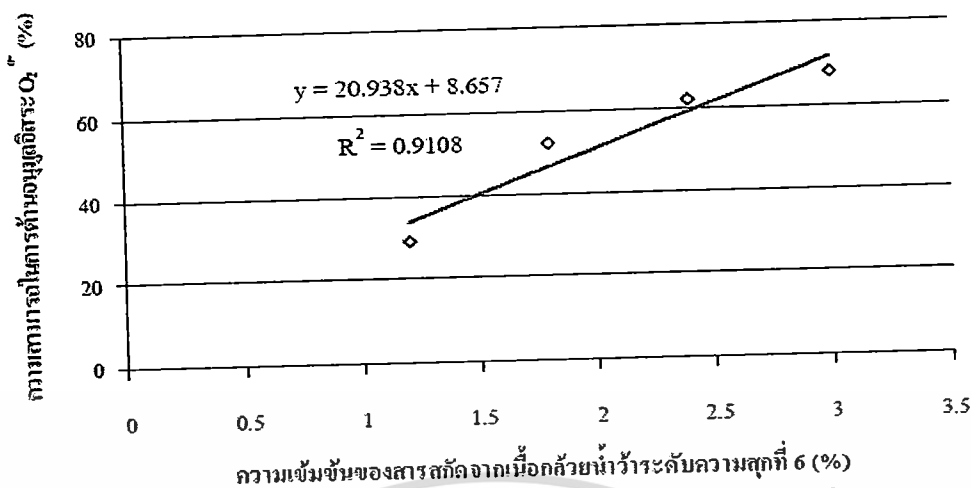
2.6 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร

3. ตัวอย่างการคำนวณ

3.1 คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ $O_2^{\cdot-}$ ของตัวอย่างสารสกัด โดยแทนค่าในสมการดังนี้

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

3.2 นำค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ $O_2^{\cdot-}$ ที่ได้จากการคำนวณในข้อ 3.1 มาสร้างกราฟดังรูปภาคผนวก ก-4



รูปภาคผนวก ก-4 กราฟเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ O₂⁻ เมื่อใช้สารสกัดจากเนื้อกล้วยน้ำว้าระดับความสุกที่ 6 ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

3.3 คำนวณหาค่า EC₅₀ จากสมการเส้นตรงที่ได้จากการสร้างกราฟในข้อ 3.2 นั่นคือ

$$y = 20.938x + 8.657 \text{ โดยให้ค่า } y = 50 \%$$

3.4 สำหรับการคำนวณหาค่า EC₅₀ ของวิตามินซีและโทรอกซ์ ใช้วิธีการคำนวณเช่นเดียวกับตัวอย่างสารสกัดดังกล่าวข้างต้น

ภาคผนวก ก-8/4 ความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂)

การวิเคราะห์ความสามารถในการทำลาย H₂O₂ จะใช้วิธีที่รายงานโดย Yen และ Chen (1995) โดยวัดปริมาณ H₂O₂ ที่เหลืออยู่ ซึ่งดูคลื่นแสงได้ที่ 230 นาโนเมตร ในกรณีตัวอย่างสารสกัดที่มีฤทธิ์ในการทำลาย H₂O₂ ได้ดี จะทำให้เกิดการสลายตัวของ H₂O₂ มาก

1. สารเคมี

1.1 H₂O₂ ความเข้มข้น 4 มิลลิโมลาร์

ปิเปต H₂O₂ ความเข้มข้น 30 % มา 0.0408 มิลลิลิตร ละลายในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.4 ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร

1.2 ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.4 ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

2. วิธีทดลอง

2.1 ปิเปตตัวอย่างสารสกัด ปริมาตร 4 มิลลิลิตร

2.2 เติม H₂O₂ ความเข้มข้น 4 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร

2.3 ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที

2.4 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 230 นาโนเมตร

2.5 สำหรับ blank ให้ใช้ ตัวอย่างที่วิเคราะห์ผสมกับ phosphate buffer โดยไม่ต้องมี H₂O₂

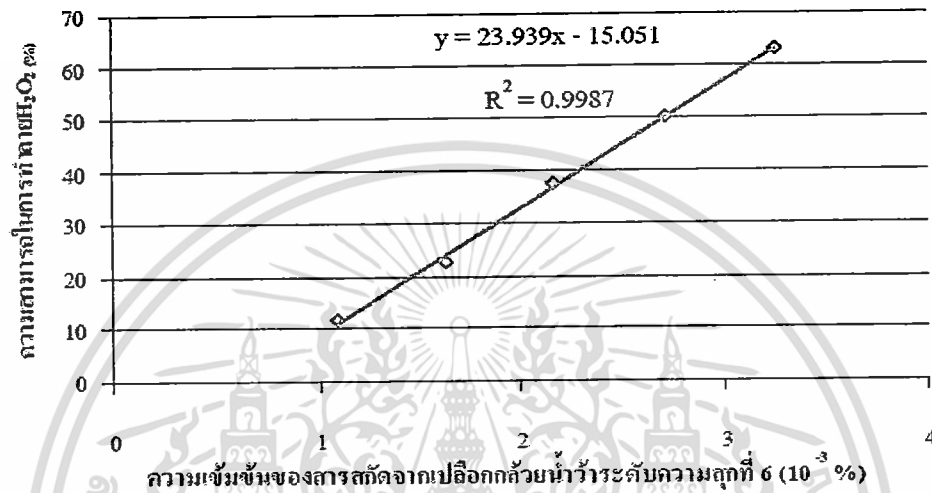
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตัวอย่างการคำนวณ

3.1 คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำลาย H₂O₂ ของตัวอย่างสารสกัดโดยแทนค่าในสมการดังนี้

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

3.2 นำค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำลาย H₂O₂ ที่ได้จากการคำนวณในข้อ 3.1 มาสร้างกราฟดังรูปภาคผนวก ก-5



รูปภาคผนวก ก-5 กราฟเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำลาย H₂O₂ เมื่อใช้สารสกัดจากเปลือกกล้วยน้ำว้าระดับความสุกที่ 6 ที่ความเข้มข้นต่างๆ

3.3 คำนวณหาค่า EC₅₀ จากสมการเส้นตรงที่ได้จากการสร้างกราฟในข้อ 3.2 นั่นคือ

$$y = 23.939x + 15.051 \text{ โดยให้ค่า } y = 50 \%$$

3.4 สำหรับการคำนวณหาค่า EC₅₀ ของวิตามินซีและโทรอกซ์ ใช้วิธีการคำนวณเช่นเดียวกับตัวอย่างสารสกัดดังกล่าวข้างต้น

ภาคผนวก ก-8/5 ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี Ferric thiocyanate colorimetric method (FTC)

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC จะใช้วิธีที่รายงานโดย Larrauri *et al.* (1996) มีหลักการคือ วัดปริมาณเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นในขั้นเริ่มต้น (initial stages) ของปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดลิโนเลอิก (linoleic acid) โดยให้ทำปฏิกิริยากับ FeCl₂ เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีแดง และสามารถดูดกลืนแสงได้ที่ 500 นาโนเมตร ดังนั้นถ้ามีปริมาณเปอร์ออกไซด์เกิดขึ้นในปฏิกิริยามากสีแดงที่เกิดขึ้นก็จะเข้มมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อประโยชน์ทางการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สารเคมี

1.1 สารละลายกรดลิโนเลอิก (linoleic acid) 2.51 เปอร์เซ็นต์

ซึ่งกรดลิโนเลอิก 2.51 กรัม ละลายใน เอทานอล 99.99 เปอร์เซ็นต์ แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100

มิลลิลิตร

1.2 สารละลายแอมโมเนียม ไธโอไซยาเนต (ammonium thiocyanate) 30 เปอร์เซ็นต์

1.3 สารละลายเฟอร์รัส คลอไรด์ (ferrous chloride) 0.02 โมลาร์

ซึ่ง $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 0.199 กรัม ละลายใน HCl ความเข้มข้น 3.5 เปอร์เซ็นต์ แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 50 มิลลิลิตร

1.4 ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7 ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์

1.5 เอทานอล 75 เปอร์เซ็นต์

2. วิธีวิเคราะห์

2.1 ปิเปตสารละลายกรดลิโนเลอิก 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) นำไปบ่มไว้ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ที่ 40 องศาเซลเซียส ในที่ไม่มีแสงรบกวน

2.6 ปิเปตสารละลายปฏิกิริยาปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ที่เวลาของปฏิกิริยาทุก ๆ 24 ชั่วโมง คือ 0, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมงตามลำดับ

2.7 เติมเอทานอล 75 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 9.7 มิลลิลิตร

2.8 เติมสารละลายแอมโมเนียม ไธโอไซยาเนต 30 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร

2.9 เติมสารละลายเฟอร์รัส คลอไรด์ ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 นาที

2.10 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร โดยที่หลอดควบคุมจะใช้น้ำกลั่น แทนตัวอย่าง สำหรับ blank ใช้ เอทานอล 75 เปอร์เซ็นต์ แทนตัวอย่าง

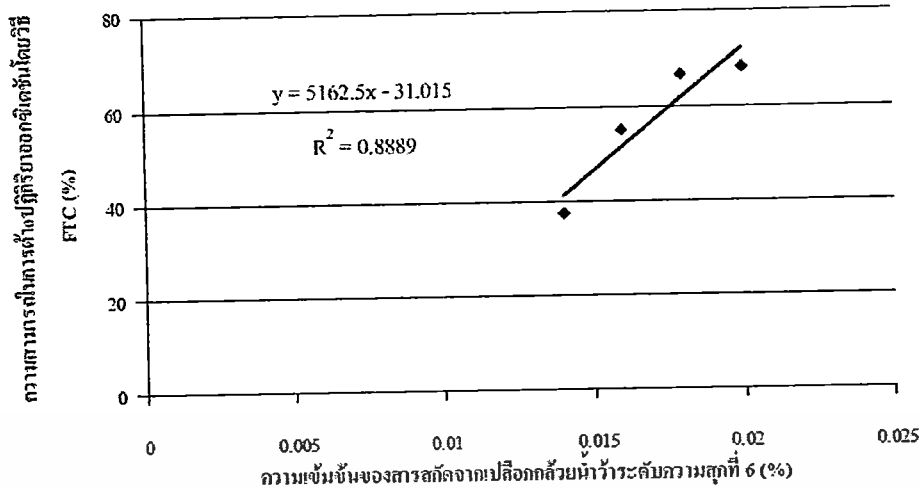
3. ตัวอย่างการคำนวณ

3.1 คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC ของ ตัวอย่างสารสกัด โดยแทนค่าในสมการดังนี้

$$100 - \left\{ \frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างชั่วโมงที่ 96} / \text{ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างชั่วโมงที่ 0} \times 100}{\text{ค่าการดูดกลืนแสงของหลอดควบคุมชั่วโมงที่ 96} / \text{ค่าการดูดกลืนแสงของหลอดควบคุมชั่วโมงที่ 0}} \right\}$$

3.2 นำค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยวิธี FTC ที่ได้จากการคำนวณในข้อ 3.1 มาสร้างกราฟดังรูปภาคผนวก ก-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาคผนวก ก-6 กราฟเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี FTC เมื่อใช้สารสกัดจากเปลือกกล้วยน้ำว้าระดับความสุกที่ 6 ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

3.3 คำนวณค่า EC_{50} จากสมการเส้นตรงที่ได้จากการสร้างกราฟในข้อ 3.2 นั่นคือ

$$y = 5162.5x - 31.015 \text{ โดยให้ค่า } y = 50 \%$$

3.4 สำหรับการคำนวณค่า EC_{50} ของวิตามินซีและโทรอกซ์ ใช้วิธีการคำนวณเช่นเดียวกับตัวอย่างสารสกัดดังกล่าวข้างต้น

ภาคผนวก ก-8/6 ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (Ferric reducing antioxidative potential, FRAP)

การวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก จะใช้วิธีที่รายงานโดย Benzie และ Strain 1999 มีหลักการคือ ดูความสามารถของตัวอย่างสารสกัดในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (Fe^{3+}) ให้เป็นเฟอร์รัส (Fe^{2+}) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับสารละลาย TPTZ ภายใต้อุณหภูมิที่เป็นกรด เกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีน้ำเงิน และสามารถดูดกลืนแสงได้ที่ 593 นาโนเมตร

1. สารเคมี

1.1 อะซิเตต บัฟเฟอร์ (Acetate buffer) pH 3.6 ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

ซึ่ง sodium acetate trihydrate 3.1 กรัม ผสมกับ glacial acetic acid 16 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1 ลิตร

1.2 สารละลาย TPTZ (2,4,6-Tris (2-pyridyl)-s-triazine) ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ใน HCl ความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์

ซึ่ง TPTZ 0.156 กรัม ละลายใน HCl ความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 50 มิลลิลิตร

1.3 สารละลาย $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ในวาระการวิจัยในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั่ง $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.27 กรัม ละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 50 มิลลิลิตร

1.4 FRAP reagent

ผสมสารละลายที่เตรียมไว้ทั้งหมดคั่งที่กล่าวมาข้างต้น โดยให้มีอัตราส่วนของอะซิเตดบัฟเฟอร์ : สารละลาย TPTZ : สารละลาย $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ เป็น 10:1:1 โดยปริมาตร ตามลำดับ ซึ่งจะต้องเตรียมใหม่ทุกวัน

2. การเตรียมกราฟมาตรฐานวิตามินซี

2.1 ปิเปตสารละลายมาตรฐานวิตามินซีใส่หลอดทดลอง โดยให้แต่ละหลอดมีความเข้มข้น 3, 6, 9, 12, 15, 18 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรรวมในแต่ละหลอดเป็น 0.1 มิลลิลิตร

2.2 เติมสารละลาย FRAP reagent ปริมาตร 3 มิลลิลิตร

2.3 ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 8 นาที

2.4 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร

2.5 เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณวิตามินซีในหน่วยไมโครกรัม

3. การเตรียมกราฟมาตรฐานโทรออกซ์

3.1 ปิเปตสารละลายมาตรฐานโทรออกซ์ใส่หลอดทดลอง โดยให้แต่ละหลอดมีความเข้มข้น 6, 12, 18, 24, 30, 36 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรรวมในแต่ละหลอดเป็น 0.1 มิลลิลิตร

3.2 เติมสารละลาย FRAP reagent ปริมาตร 3 มิลลิลิตร

3.3 ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 8 นาที

3.4 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร

3.5 เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณโทรออกซ์ในหน่วยไมโครกรัม

4. การวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก ในตัวอย่างสารสกัด

4.1 ปิเปตตัวอย่างสารสกัด ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร

4.2 เติมสารละลาย FRAP reagent ปริมาตร 3 มิลลิลิตร

4.3 ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 8 นาที

4.4 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร

5. ตัวอย่างการคำนวณ

คำนวณความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของตัวอย่างสารสกัด สมมูลกับวิตามินซี หรือโทรออกซ์ โดยนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการวิเคราะห์ ในข้อ 4 มาแทนค่าในสมการเส้นตรงที่ได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟมาตรฐานวิตามินซี และกราฟมาตรฐานโทรอกซ์ ดังรูปภาคผนวก ก-7 และ ก-8 โดยมีตัวอย่างการคำนวณดังนี้

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างสารสกัดเปลือกกล้วยระดับความสูงที่ 1 ได้ค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.493 เมื่อนำไปแทนในสมการที่ได้จากกราฟมาตรฐานของวิตามินซี คือ $y = 0.0445x + 0.0014$

ดังนั้น ค่า $x = 11.047$ ไมโครกรัม

ปีเปตตัวอย่างสารสกัดมา 0.2 มิลลิลิตร มีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกสมมูลกับวิตามินซี 11.047 ไมโครกรัม

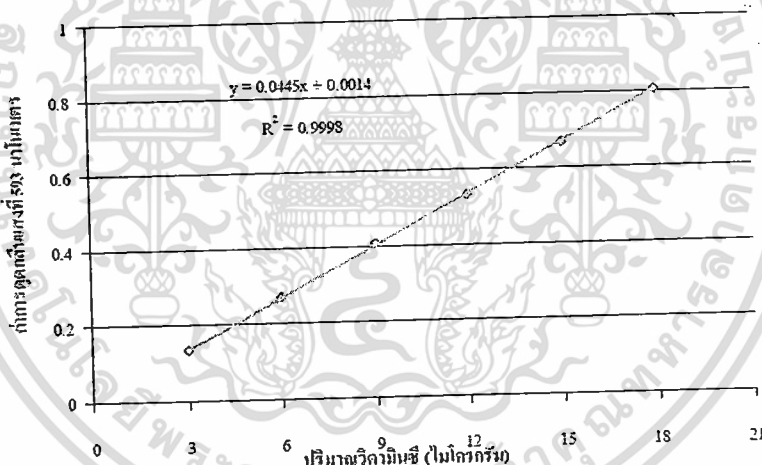
ถ้าปีเปตตัวอย่างสารสกัดมา 5 มิลลิลิตร มีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกสมมูลกับวิตามินซี $(11.047/0.2) \times 5 = 276.175$ ไมโครกรัม

โดยที่ตัวอย่างสารสกัด 5 มิลลิลิตรนั้นมีเนื้อของสารสกัดอยู่ 5×10^{-4} กรัม

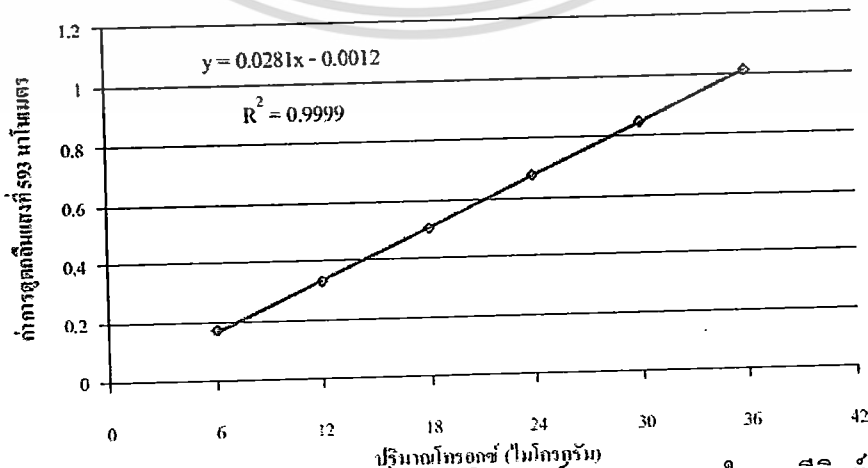
ดังนั้นสารสกัด 5×10^{-4} กรัม จึงมีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกสมมูลกับวิตามินซี 276.175

ไมโครกรัม

ถ้าสารสกัด 1 กรัม จะมีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกสมมูลกับวิตามินซี $276.175/5 \times 10^{-4} = 552.350$ มิลลิกรัมสมมูลวิตามินซี/กรัมสารสกัด



รูปภาคผนวก ก-7 กราฟมาตรฐานของวิตามินซีในการวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก



รูปภาคผนวก ก-8 กราฟมาตรฐานของโทรอกซ์ในการวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก-9

การวิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่าง ๆ

การวิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่าง ๆ

วิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่าง ๆ คือ กรดแกลลิก (gallic acid) กรดพาราควมาริก (p-coumaric acid) กรดเฟอร์ูลิก (ferulic acid) และ กรดโปรโตแคทิวอิก (protocatechuic acid) โดยวิธีสเปกโตรฟลูออโรเมทรี (spectro fluorometry) ซึ่งรายงานโดย Garcia-Sanchez *et al.* (1988) และ Gorinstein *et al.* (1994 และ 2001b) โดยมีหลักการคือ กรดฟีนอลิกแต่ละชนิดที่ pH ใดๆ ที่กำหนด จะมีค่าความยาวคลื่นกระตุ้น (excitation wavelength) และความยาวคลื่นแสงที่เรืองแสง (emission wavelength) เฉพาะ ตัวอย่างเช่น กรดแกลลิก มีค่าความยาวคลื่นกระตุ้นเท่ากับ 260 นาโนเมตร และมีค่าความยาวคลื่นแสงที่เรืองแสงเท่ากับ 357 นาโนเมตรที่ pH 4.63 ในการวิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่าง ๆ จะต้องสร้างกราฟมาตรฐานของกรดฟีนอลิกแต่ละชนิด

1. การเตรียมกราฟมาตรฐานของกรดฟีนอลิก

1.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานของกรดฟีนอลิกแต่ละชนิด โดยให้ความเข้มข้นเริ่มต้นเป็น 0.1 มิลลิโมลาร์

1.2 เปิดสารละลายมาตรฐานของกรดฟีนอลิกแต่ละชนิดใส่หลอดทดลอง โดยให้แต่ละหลอดมีความเข้มข้น 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรให้ได้ 10 มิลลิลิตร ด้วยบัฟเฟอร์ ที่ pH ที่เหมาะสมสำหรับ กรดฟีนอลิกแต่ละชนิด ดังนี้

- กรดแกลลิก pH 4.63
- กรดโปรโตแคทิวอิก pH 10.7
- กรดพาราควมาริก pH 10.7
- กรดเฟอร์ูลิก pH 11.2

1.3 ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer)

1.4 นำไปวัดค่าความเข้มแสง (Intensity) ด้วยเครื่องสเปกโตรฟลูออโรมิเตอร์ (Spectrofluorometer) โดยกรดฟีนอลิกแต่ละชนิด จะมีค่าความยาวคลื่นกระตุ้น (excitation wavelength) และความยาวคลื่นแสงที่เรืองแสง (emission wavelength) เฉพาะ ดังนี้

- กรดแกลลิก ค่าความยาวคลื่นกระตุ้น 260 นาโนเมตร ความยาวคลื่นแสงที่เรืองแสง 357 นาโนเมตร

- กรดโปรโตแคทิวอิก ค่าความยาวคลื่นกระตุ้น 290 นาโนเมตร ความยาวคลื่นแสงที่เรืองแสง 363 นาโนเมตร

- กรดพาราควมาริก ค่าความยาวคลื่นกระตุ้น 330 นาโนเมตร ความยาวคลื่นแสงที่เรืองแสง 443 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กรดเพอรูริก ค่าความยาวคลื่นกระตุ้น 340 นาโนเมตร ความยาวคลื่นแสงที่เรืองแสง 460 นาโนเมตร

1.5 บันทึกผลการทดลอง และนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟมาตรฐาน

2. การวิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่าง ๆ

2.1 บีบตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตรจากนั้นปรับปริมาตรให้ได้ 10 มิลลิลิตร ด้วยบัฟเฟอร์ที่ pH ที่เหมาะสมสำหรับ กรดฟีนอลิกแต่ละชนิด ดังกล่าวข้างต้น

2.2 ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer)

2.3 นำไปวัดค่าความเข้มแสง ด้วยเครื่องสเปกโตรฟลูออโรมิเตอร์ (Spectrofluorometer) ที่ค่าความยาวคลื่นกระตุ้น (excitation wavelength) และความยาวคลื่นแสงที่เรืองแสง (emission wavelength) เฉพาะ สำหรับกรดฟีนอลิกแต่ละชนิดดังกล่าวข้างต้น

2.4 บันทึกผลการทดลอง และนำค่าที่ได้คำนวณหาปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ โดยใช้กราฟมาตรฐาน ในหน่วยมิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักกล้วยสด

3. ตัวอย่างการคำนวณ

คำนวณปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ ของตัวอย่างสารสกัด โดยนำค่าความเข้มแสงที่ได้จากการวิเคราะห์ ในข้อ 2 มาแทนค่าในสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟมาตรฐานของกรดฟีนอลิกแต่ละชนิด ดังรูปภาคผนวก ก-9 ถึง ก-12 โดยมีตัวอย่างการคำนวณดังนี้

จากการวิเคราะห์หาปริมาณกรดแกลลิกในตัวอย่างสารสกัดเนื้อมีกล้วยระดับความสุกที่ 6 ได้ค่าความเข้มแสงเท่ากับ 18.82 เมื่อนำไปแทนในสมการที่ได้จากกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก คือ

$$y = 11.411x + 0.804 \text{ ดังนั้น ค่า } x = 1.579 \text{ ไมโครกรัม}$$

บีบตัวอย่างสารสกัดมา 0.05 มิลลิลิตร มีปริมาณกรดแกลลิก 1.579 ไมโครกรัม

ถ้าบีบตัวอย่างสารสกัดมา 10 มิลลิลิตร มีปริมาณกรดแกลลิก $(1.579/0.05) \times 10 = 315.80$

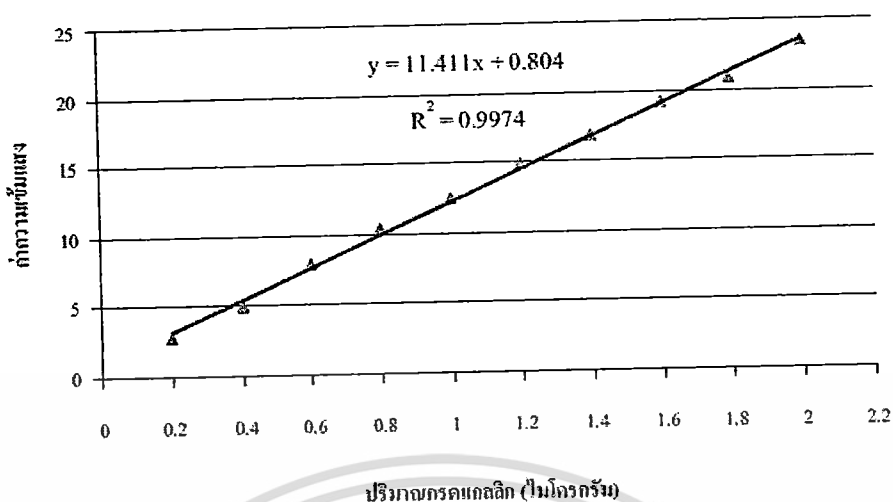
ไมโครกรัม

โดยที่ตัวอย่างสารสกัด 10 มิลลิลิตรนั้นมาจากน้ำหนักสดเริ่มต้น 20 กรัม

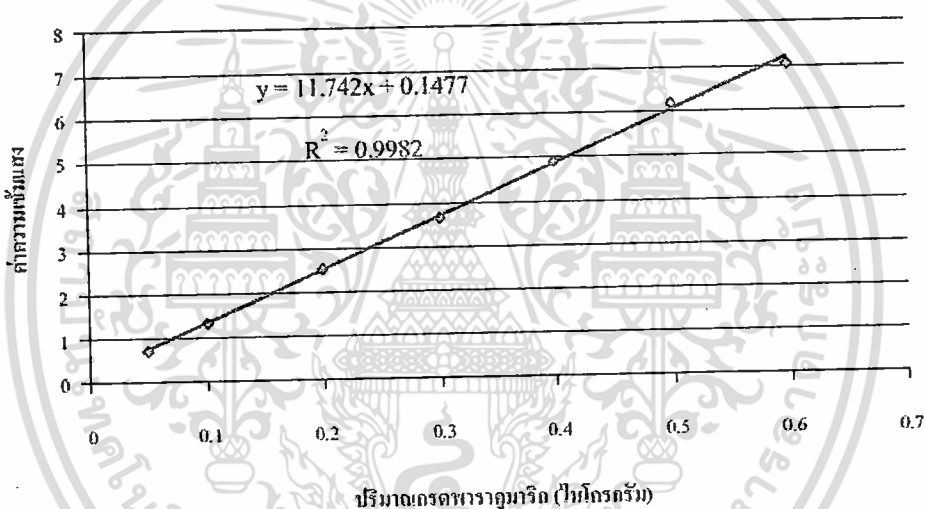
ดังนั้นเนื้อมีกล้วยสด 20 กรัม จึงมีปริมาณกรดแกลลิก 315.80 ไมโครกรัม

ถ้าเนื้อมีกล้วยสด 100 กรัม จะมีปริมาณกรดแกลลิก $(315.80/20) \times 100 = 1.58$ มิลลิกรัม/100 กรัม

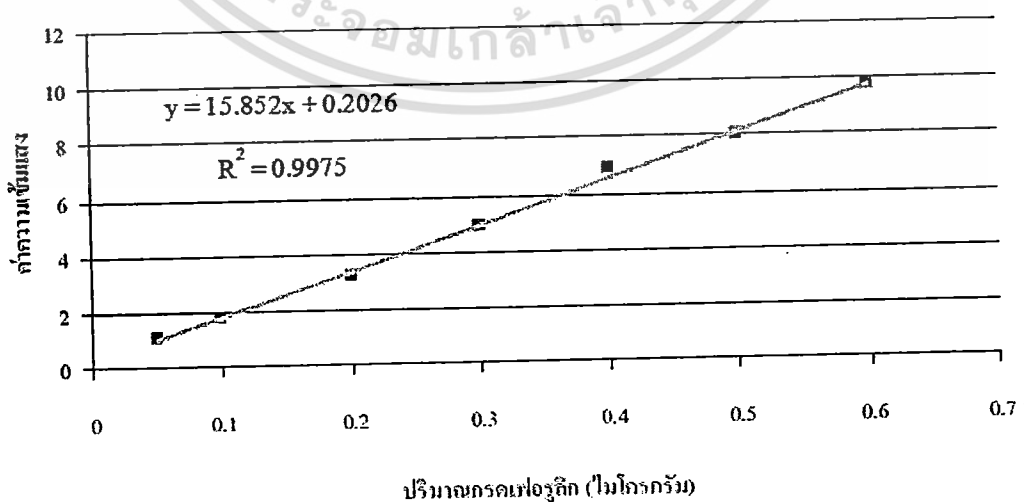
น้ำหนักสด



รูปภาคผนวก ก-9 กราฟมาตรฐานของกรดแคลเซียมในการวิเคราะห์หาปริมาณกรดแคลเซียม

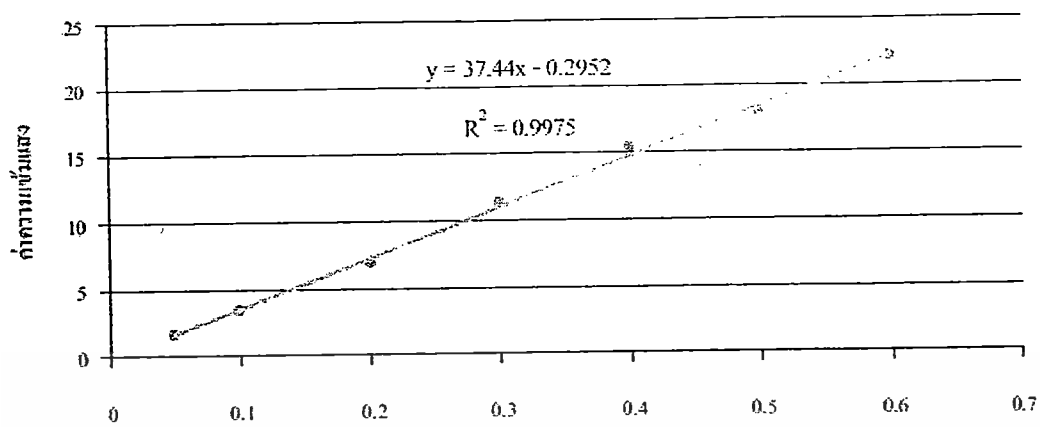


รูปภาคผนวก ก-10 กราฟมาตรฐานของกรดพาราคลอริกในการวิเคราะห์หาปริมาณกรดพาราคลอริก



รูปภาคผนวก ก-11 กราฟมาตรฐานของกรดเพอรูติกในการวิเคราะห์หาปริมาณกรดเพอรูติก

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของโรงเรียนเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ปริมาณกรดโปรโตแคทชีวอิก (ในโกรกรัม)

รูปภาคผนวก ก-12 กราฟมาตรฐานของกรดโปรโตแคทชีวอิกในการวิเคราะห์หาปริมาณกรดโปรโตแคทชีวอิก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

ตารางแสดงผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวก ข-1 ลักษณะทางเคมีบางประการของกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่างกัน

ระดับความสุก	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (กรัมสมมูลกลูโคส/ น้ำหนักกล้วย 100 กรัม)	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (องศาบริกซ์)
1	0.14±1.86	6.54±0.00	4.67±0.00
มากกว่าระดับ 8	4.03±1.42	4.43±0.00	30.14±0.00

ตารางภาคผนวก ข-2 ปริมาณความชื้นในตัวอย่างกล้วยน้ำว้าระหว่างกระบวนการแปรรูปวิธีที่ 1

ขั้นตอนการแปรรูป	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)
1- กล้วยน้ำว้าสุกงอม	68.85±1.19
3- วันที่ 1 อบเป็นเวลา 6 ชั่วโมง	50.72±1.13
4- ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 12 ชั่วโมง	50.90±2.25
5- วันที่ 2 อบเป็นเวลา 3 ชั่วโมง	46.51±1.09
6- แช่กล้วยในน้ำเกลือ ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์	48.94±3.07
7- วันที่ 3 อบเป็นเวลา 4 ชั่วโมง	35.39±1.11
8- ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 12 ชั่วโมง	35.42±2.22
10- วันที่ 4 อบเป็นเวลา 6 ชั่วโมง	26.15±2.18
11- ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 12 ชั่วโมง	26.76±3.13
12- วันที่ 5 อบเป็นเวลา 4 ชั่วโมง	16.93±1.01

หมายเหตุ: หมายเลขกำกับขั้นตอนสอดคล้องกับหมายเลขที่ระบุในผังการผลิต 3.1

ตารางภาคผนวก ข-3 ปริมาณความชื้นในตัวอย่างกล้วยน้ำว้าระหว่างกระบวนการแปรรูปวิธีที่ 2

ขั้นตอนการแปรรูป	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)
1- น้ำว้าสุกงอม	68.80±1.22
2- แช่น้ำเกลือ 1 เปอร์เซ็นต์	72.06±1.19
3- วันที่ 1 อบเป็นเวลา 8 ชั่วโมง	38.61±3.36
4- ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 12 ชั่วโมง	39.35±3.01
6- กล้วยตาก (ความชื้น 15-18 เปอร์เซ็นต์)	17.31±2.62

หมายเหตุ: หมายเลขกำกับขั้นตอนสอดคล้องกับหมายเลขที่ระบุในผังการผลิต 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวก ข-4 ปริมาณความชื้นในตัวอย่างกล้วยน้ำว้าระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยทอด
กรอบแผ่นบาง

ขั้นตอนการแปรรูป	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)
1-กล้วยน้ำว้า (ระดับความสุก 1)	63.42±2.09
2-นึ่งกล้วยน้ำว้าทิ้งเปลือกด้วยไอน้ำ นาน 5 นาที	61.65±3.11
4-หั่นเป็นชิ้นบาง	57.15±2.19
5-ใส่ในถุง PE	56.94±3.52
6-ทอดในน้ำมันท่วมที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที	2.82±2.55
8-อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที	2.68±1.17

หมายเหตุ: หมายเลขกำกับขั้นตอนสอดคล้องกับหมายเลขที่ระบุในผังการผลิต 3.3

ตารางภาคผนวก ข-5 ปริมาณไขมันในตัวอย่างกล้วยน้ำว้าระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยทอดกรอบ
แผ่นบาง

ขั้นตอนการแปรรูป	ไขมัน (เปอร์เซ็นต์)
1-กล้วยน้ำว้า (ระดับความสุก 1)	0.26±1.25
2-นึ่งกล้วยน้ำว้าทิ้งเปลือกด้วยไอน้ำ นาน 5 นาที	0.25±1.34
4-หั่นเป็นชิ้นบาง	0.21±0.97
5-ใส่ในถุง PE	0.23±2.01
6-ทอดในน้ำมันท่วมที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที	27.86±1.35
8-อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที	26.13±1.95

หมายเหตุ: หมายเลขกำกับขั้นตอนสอดคล้องกับหมายเลขที่ระบุในผังการผลิต 3.3