การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของกล้วยตากและกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างกระบวนการแปรรูปและการเก็บรักษา

CHANGES OF PHENOLIC CONTENTS AND ANTIRADICAL PROPERTIES OF DEHYDRATED BANANAS AND BANANA CHIPS DURING PROCESSING AND STORAGE

รามราช หมื่นศรีธาราม

RAMRACH MUNESRITRARAM

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

KMITL-2007-AI-M-053-047

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของกล้วยตากและกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างกระบวนการแปรรูปและการเก็บรักษา

CHANGES OF PHENOLIC CONTENTS AND ANTIRADICAL PROPERTIES OF DEHYDRATED BANANAS AND BANANA CHIPS DURING PROCESSING AND STORAGE

รามราช หมื่นศรีธาราม

RAMRACH MUNESRITRARAM

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....76737
วัน,เดือน,ปี.....- 6 S.A. 2550

.b.....11848261
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

KMITL – 2007 – AI – M – 053 - 047

CHANGES OF PHENOLIC CONTENTS AND ANTIRADICAL PROPERTIES OF DEHYDRATED BANANAS AND BANANA CHIPS DURING PROCESSING AND STORAGE

RAMRACH MUNESRITRARAM

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2007

KMITL – 2007 – AI – M – 053 - 047

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของกล้วยตากและกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างกระบวนการแปรรูปและการเก็บรักษา

Changes of Phenolic Contents and Antiradical Properties of Dehydrated Bananas and Banana Chips During Processing and Storage

ชื่อนักศึกษา นายรามราช หมื่นศรีธาราม

รหัสประจำตัว 47063213

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.เยาวลักษณ์	สุรพันธพิศิษฐ์	
ผศ.ดร.ประพันธ์	ปิ่นศิโรดม	
ดร.ยุพร	พืชกมุทร	
รศ.ดร.ประภาศรี	เทพรักษา	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ 10 ตุลาคม 2550 เวลา 10.00 น.

สถานที่สอบ ณ ห้องสัมมนา D 213 อาคารเจ้าคุณทหาร

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่....19.....**เดือน**...ตุลาคม.....**พ.ศ.**....2550....

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของกล้วยตากและกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างกระบวนการแปรรูปและการเก็บรักษา
นักศึกษา	นายรามราช หมื่นศรีธาราม
รหัสประจำตัว	47063213
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2550
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ. ดร. ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม

บทคัดย่อ

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 กรัมตัวอย่างแห้ง 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 หั่นเป็นชิ้นบาง เก็บในถุงโพลีเอทีลีนทอดและอบ 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

การเก็บรักษากล้วยตากโดยการบรรจุในถุงโพลีเอทีลีนและปิดผนึกที่สภาวะบรรยากาศเป็นเวลา 5 สัปดาห์มีผลทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับ 19.15 และ 23.46 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีการสูญเสียมากกว่ากล้วยตากที่เก็บรักษาในถุงชนิดเดียวกันแต่ปิดผนึกที่สภาวะสุญญากาศ โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์สูญเสียเท่ากับ 3.61 และ 2.06 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับในกล้วยตากที่เก็บรักษา 5 สัปดาห์

นอกจากนี้ในการเก็บรักษากล้วยทอดกรอบแผ่นบางในถุงโพลีเอทีลีนเป็นเวลา 5 สัปดาห์ พบว่ามีการสูญเสียปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับ 28.88 และ 28.22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งการสูญเสียนี้เกิดขึ้นมากกว่าการเก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเท่ากับ 18.85 และ 19.28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Thesis Title	Changes of phenolic contents and antiradical properties of dehydrated bananas and banana chips during processing and storage
Student	Mr. Ramrach Munesritraram
Student ID.	47063213
Degree	Master of Science
Program	Food Science
Year	2007
Thesis Advisor	Assist. Prof. Dr. Praphan Pinsirodom

ABSTRACT

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, 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.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผศ. ดร. ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม ที่ให้เกียรติเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รวมทั้งกรุณาให้ความรู้ ข้อคิดเห็น คำแนะนำอันมีค่า และคำปรึกษาต่างๆ เป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้าในการทำวิจัย ตลอดจนกรุณาเสียสละเวลาในการตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จสมบูรณ์ ข้าพเจ้าของกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่มอบความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาในการศึกษาจนกระทั่งข้าพเจ้าประสบความสำเร็จ

ขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้า ที่ให้การสนับสนุน ให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจในการเรียนและการทำวิจัยตลอดมา

ขอขอบคุณ นักวิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการที่อำนวยความสะดวกในการปฏิบัติการ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ธุรการในงานเอกสารต่างๆ ทำให้งานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์ด้วยดี

ขอขอบคุณพี่ เพื่อน และน้องนักศึกษาระดับปริญญาตรี ปริญญาโท และปริญญาเอกทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจมาโดยตลอด

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่คณาอาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าหวังขอน้อมรับความผิดนั้นแต่เพียงผู้เดียว

รามราช หมื่นศรีธาราม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	III
กิตติกรรมประกาศ	V
สารบัญ	VI
สารบัญตาราง	IX
สารบัญภาพ	XII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 กล้วยน้ำว้า	4
2.2 การแบ่งระดับความสุกของกล้วย	4
2.3 อนุมูลอิสระ	8
2.4 สารต้านออกซิเดชัน (Antioxidant)	8
2.5 สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds)	9
2.6 สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในกล้วย	11
2.7 กล้วยตาก (dehydrated banana)	12
2.8 กล้วยทอดกรอบแผ่นบาง (banana chips)	15
2.9 ผลของความร้อนต่อความเสถียรและสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกในผักและผลไม้	16
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	18
3.1 วัตถุดิบ	18
3.2 เครื่องมือ	18
3.3 สารเคมี	18

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4 สถานที่ทำการทดลอง 19
3.5 วิธีการดำเนินการทดลอง 19

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ 25
4.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในระหว่างการแปรรูปกล้วยตาก 25
4.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง 32
4.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของผลิตภัณฑ์กล้วยตากในระหว่างเก็บรักษา 36
4.4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของผลิตภัณฑ์กล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างเก็บรักษา 42

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 49
5.1 สรุปผลการทดลอง 49
5.2 ข้อเสนอแนะ 50

บรรณานุกรม 51

ภาคผนวก 55
ภาคผนวก ก. การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ pH และปริมาณของแข็งทั้งหมด 56
ภาคผนวก ข. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น 59
ภาคผนวก ค. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน 63
ภาคผนวก ง. การวิเคราะห์สารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด 66

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก จ. การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH 70

ภาคผนวก ฉ. ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ..... 74

ภาคผนวก ช. ภาพผลิตภัณฑ์กล้วยตากและกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง..... 82

ภาคผนวก ซ. ภาพการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์กล้วยตากและกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง..... 85

ประวัติผู้เขียน..... 88

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพบางประการของกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่างกัน	7
2.2	คุณค่าทางอาหารของกล้วยน้ำว้าสดและกล้วยตากต่อ 100 กรัม	13
4.1	ปริมาณและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในแต่ละขั้นตอนของการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 1	26
4.2	ปริมาณและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในแต่ละขั้นตอนของการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 2	29
4.3	ปริมาณและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในแต่ละขั้นตอนของการแปรรูปกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง	33
4.4	ปริมาณและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยตากในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทีลีนและปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ	38
4.5	ปริมาณและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยตากในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทีลีนและปิดผนึกที่สภาวะสุญญากาศ	40
4.6	ปริมาณและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทีลีนและปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ	43
4.7	ปริมาณและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถไนการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์และปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ	46
ก1	ลักษณะทางเคมีบางประการของกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่างกัน	58
ข1	ปริมาณความชื้นในตัวอย่างกล้วยน้ำว้าระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 1	61
ข2	ปริมาณความชื้นในตัวอย่างกล้วยน้ำว้าระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากที่ 2	61

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ข3	ปริมาณความชื้นในตัวอย่างกล้วยน้ำว้าระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง.....	62
ค1	ปริมาณไขมันในตัวอย่างกล้วยน้ำว้าระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง.....	65
ฉ1	วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 1.....	75
ฉ2	วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 1.....	75
ฉ3	วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 2.....	76
ฉ4	วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 2.....	76
ฉ5	วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง.....	77
ฉ6	วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง.....	77
ฉ7	วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของกล้วยตากในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทีลีนปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ.....	78
ฉ8	วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยตากในระหว่าง การเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทีลีนปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ.....	78
ฉ9	วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของกล้วยตากในระหว่าง การเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทีลีนปิดผนึกที่ที่สภาวะสุญญากาศ.....	79

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ฉ10 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยตากในระหว่าง การเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทีลีนปิดผนึกที่สภาวะสุญญากาศ..... 79

ฉ11 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทีลีนปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ..... 80

ฉ12 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่าง การเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทีลีนปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ..... 80

ฉ13 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ผนึกที่ความดันบรรยากาศ..... 81

ฉ14 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ..... 81

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ระดับความสุกของกล้วยหอมทอง 8ระดับ	5
2.2	ระดับความสุกของกล้วยน้ำว้า 8 ระดับ	6
2.3	โครงสร้างทางเคมีของโดพามีน	12
3.1	ขั้นตอนการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 1	20
3.2	ขั้นตอนการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 2	21
3.3	ขั้นตอนการแปรรูปกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง	22
4.1	การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (ก) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ข) ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในแต่ละขั้นตอนของการแปรรูปกล้วยตากโดยวิธีที่ 1	27
4.2	การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (ก) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ข) ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในแต่ละขั้นตอนของการแปรรูปกล้วยตากโดยวิธีที่ 2	30
4.3	การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (ก) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ข) ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในแต่ละขั้นตอนของการแปรรูปกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง	34
4.4	การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (ก) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ข) ของกล้วยตากในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทีลีนและปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ	39
4.5	การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (ก) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ข) ของกล้วยตากในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทีลีนและปิดผนึกที่สภาวะสุญญากาศ	41
4.6	การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (ก) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ข) ของกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทีลีนและปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ	44
4.7	การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (ก) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ข) ของกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟลอยด์และปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ	47

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ง1	กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ 730 นาโนเมตรกับปริมาณกรดแกลลิค	68
จ1	กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณวิตามินซีและเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH	72
ช1	ผลิตภัณฑ์กล้วยตากที่ได้จากการแปรรูปโดยวิธีที่ 1	83
ช2	ผลิตภัณฑ์กล้วยตากที่ได้จากการแปรรูปโดยวิธีที่ 2	83
ช3	ผลิตภัณฑ์กล้วยทอดกรอบแผ่นบาง	84
ซ1	ผลิตภัณฑ์กล้วยตากบรรจุถุงโพลีเอทีลีที่ความดันบรรยากาศ	86
ซ2	ผลิตภัณฑ์กล้วยตากบรรจุถุงโพลีเอทีลีนที่ความดันสุญญากาศ	86
ซ3	ผลิตภัณฑ์กล้วยทอดกรอบแผ่นบางบรรจุถุงโพลีเอทีลีน	87
ซ4	ผลิตภัณฑ์กล้วยทอดกรอบแผ่นบางบรรจุถุงอะลูมิเนียมฟอยด์	87

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

เป็นที่ทราบกันดีว่า การบริโภคอาหารประเภทผักผลไม้เป็นประจำมีส่วนช่วยลดอัตราเสี่ยงของการเกิดโรคเรื้อรังต่างๆ เช่น โรคหัวใจ โรคความดันโลหิตสูง โรคเบาหวาน โรคมะเร็ง เป็นต้น ซึ่งสาเหตุเบื้องต้นสำคัญของการเกิดโรคร้ายแรงต่าง ๆ นั้น เกี่ยวข้องกับสภาวะที่ร่างกายขาดความสมดุลระหว่างปริมาณอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นหรือได้รับเข้าสู่ร่างกาย และการกำจัดอนุมูลอิสระ โดยที่ปริมาณอนุมูลอิสระที่ได้รับสูงกว่าความสามารถที่ร่างกายจะกำจัดได้ทัน เรียกสภาวะดังกล่าวว่า oxidative stress ซึ่งอนุมูลอิสระที่เพิ่มมากขึ้นจะเข้าทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลต่างๆ ในร่างกาย ทำให้เกิดสภาวะทางพยาธิสภาพของโรคต่าง ๆ ดังกล่าว (Katan and Roos, 2004) ผักและผลไม้เป็นแหล่งของสารประกอบหลายชนิดที่มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (antiradicals) และ/หรือ ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (antioxidants) ตัวอย่างเช่น วิตามินซี แคโรทีนอยด์ (carotenoids) และสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) ที่สำคัญได้แก่ กรดฟีนอลิก (phenolic acids) และ เฟลโวนอยด์ (flavonoids) เป็นต้น (Kim and Lee, 2004)

มีรายงาน เกี่ยวกับสารประกอบฟีนอลิกที่สำคัญที่พบในกล้วยหอมทั้งในส่วนของเปลือกและเนื้อ โดยพบสารโดพามีน (dopamine) (Kanazawa and Sakakibara, 2000) และสารในกลุ่มของคาเทชิน (catechins) ชนิดต่างๆ (Someya *et al*., 2002) สารประกอบฟีนอลิกดังกล่าวมีสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี และจะพบในส่วนของเปลือกในปริมาณสูงกว่าเนื้อกล้วย ชุลีกร (2548) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของเปลือกและเนื้อกล้วยน้ำว้าที่ระยะความสุกต่างกัน พบว่าเปลือกกล้วยน้ำว้ามีองค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าเนื้อกล้วย นอกจากนี้ เมื่อระยะความสุกของกล้วยน้ำว้าเพิ่มขึ้น ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของเปลือกและเนื้อกล้วยน้ำว้ามีแนวโน้มลดลง

กล้วยน้ำว้านิยมนำมาบริโภคทั้งแบบสดและที่ผ่านการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์โดยกระบวนการแปรรูปที่แตกต่างกัน เช่น กล้วยตาก กล้วยทอดกรอบแผ่นบาง กล้วยกวน กล้วยน้ำว้าในน้ำเกลือบรรจุกระป๋อง กล้วยทอดหรือกล้วยแขก กล้วยเชื่อม และกล้วยบวชชี เป็นต้น โดยทั่วไปกระบวนการแปรรูปอาหารส่วนใหญ่จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของสารต่างๆ ที่มีอยู่ในอาหาร โดยเฉพาะกรรมวิธีการแปรรูปที่เกี่ยวข้องกับการใช้ความร้อน Murakami และคณะ (2004) ได้ทดลองศึกษาผลของความร้อนต่อปริมาณและความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ

ของสารประกอบฟีนอลิกบางชนิดในหลอดทดลอง พบว่า การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณและความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกที่ทดสอบน้อยมาก อย่างไรก็ตามความร้อนสูงที่ 180 องศาเซลเซียส จะมีผลทำให้สารประกอบฟีนอลิกส่วนใหญ่ถูกทำลายไป แต่ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการสลายตัวของสารประกอบฟีนอลิกบางชนิด ยังคงแสดงสมบัติการต้านอนุมูลอิสระได้ดี นอกจากนี้การผสมสารประกอบฟีนอลิก 2 ชนิดรวมกัน จะทำให้สารผสมดังกล่าวมีความเสถียรต่อความร้อนสูงขึ้น ดังนั้นจึงเป็นที่น่าสนใจว่าปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางใด เมื่อนำกล้วยน้ำว้ามาผ่านกระบวนการแปรรูปที่แตกต่างกันโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์กล้วยตากและกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการผลิตในระดับอุตสาหกรรม โดยกล้วยตากยังเป็นตัวแทนของผลิตภัณฑ์ที่ใช้กล้วยน้ำว้าสุกงอมเป็นวัตถุดิบ ในขณะที่กล้วยทอดกรอบแผ่นบางเป็นตัวแทนของผลิตภัณฑ์ที่ใช้กล้วยน้ำว้าดิบเปลือกเขียวเป็นวัตถุดิบ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากและกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง

1.2.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในระหว่างเก็บรักษาผลิตภัณฑ์กล้วยตากและกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากและกล้วยทอดกรอบแผ่นบางโดยการแปรรูปกล้วยตากนั้นจะศึกษา 2 วิธีที่มีความแตกต่างกันในเรื่องระยะเวลาในการอบแห้ง นอกจากนี้ยังศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์กล้วยตาก และกล้วยกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างการรักษาในสภาวะการบรรจุที่แตกต่างกัน ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะทำให้ทราบถึงผลของกรรมวิธีแปรรูปในแต่ละขั้นตอนต่อการสูญเสียปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างกล้วยน้ำว้า รวมทั้งการ

เปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา และสามารถใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการแปรรูป รวมทั้งสภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์กล้วยตากและกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง

บทที่ 2
ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล้วยน้ำว้า

กล้วยน้ำว้า [Musa (ABB group) "Kluai Numwa"] ชื่ออื่น ๆ กล้วยใต้ (เชียงใหม่ และเชียงราย) กล้วยตานีอ่อง (อุบลราชธานี) กล้วยมะลิอ่อง (จันทบุรี) กล้วยอ่อง (ชัยภูมิ) ชื่อสามัญ Pisang Awak กล้วยน้ำว้ามีลำต้นเทียมสูงไม่เกิน 3.5 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 15 เซนติเมตร กาบลำต้นด้านนอกสีเขียวอ่อน มีประดำเล็กน้อย ด้านในสีเขียวอ่อน ก้านใบมีร่องค่อนข้างแคบ เส้นกลางใบสีเขียว ก้านช่อดอกไม่มีขน ใบประดับรูปไข่ค่อนข้างป้อมม้วนขึ้นปลายป้าน ด้านบนสีแดงอมม่วงมีนวล ด้านล่างสีแดงเข้ม เครือหนึ่งมี 7-10 หวี หวีหนึ่งมี 10-16 ผล ผลกว้าง 3-4 เซนติเมตร ยาว 11-13 เซนติเมตร มีเหลี่ยมก้านผลยาว เปลือกหนา เมื่อสุกเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอมน้ำตาลเนื้อมีสีขาว รสหวาน ที่แกนกลางหรือเรียกว่าไส้กลาง มีสีเหลือง ชมพู หรือขาว ซึ่งทำให้แบ่งออกได้เป็นกล้วยน้ำว้าเหลือง กล้วยน้ำว้าแดง และกล้วยน้ำว้าขาว กล้วยน้ำว้าปลูกได้ทั่วไปในประเทศไทย (เบญจมาศ, 2545)

2.2 การแบ่งระดับความสุกของกล้วย

เมื่อกล้วยสุกคลอโรฟิลล์จะสลายตัวทั้งหมด ทำให้เกิดสีเหลืองแคโรทีนอยด์ปรากฏให้เห็น จากการที่กล้วยมีการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือก พร้อมทั้งเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีที่เปลี่ยนสตาร์ชเป็นน้ำตาล จึงได้มีการแบ่งความสุกของกล้วย เป็น 8 ระดับ เรียกว่า ดัชนีสีเปลือกกล้วย (Peel Color Index) สำหรับในประเทศไทย เบญจมาศ (2545) ได้กล่าวถึงดัชนีสีเปลือกกล้วยหอมทอง โดยแบ่งระดับการสุกของกล้วยหลังจากตัดมาบ่มดังนี้ (ดังแสดงในรูปที่ 2.1)

ระดับที่ 1 เปลือกสีเขียว ผลแข็ง ไม่มีการสุก

ระดับที่ 2 เริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวออกเหลืองนิด ๆ

ระดับที่ 3 เริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวออกเหลืองมากขึ้น แต่ยังมีสีเขียวมากกว่าสีเหลือง

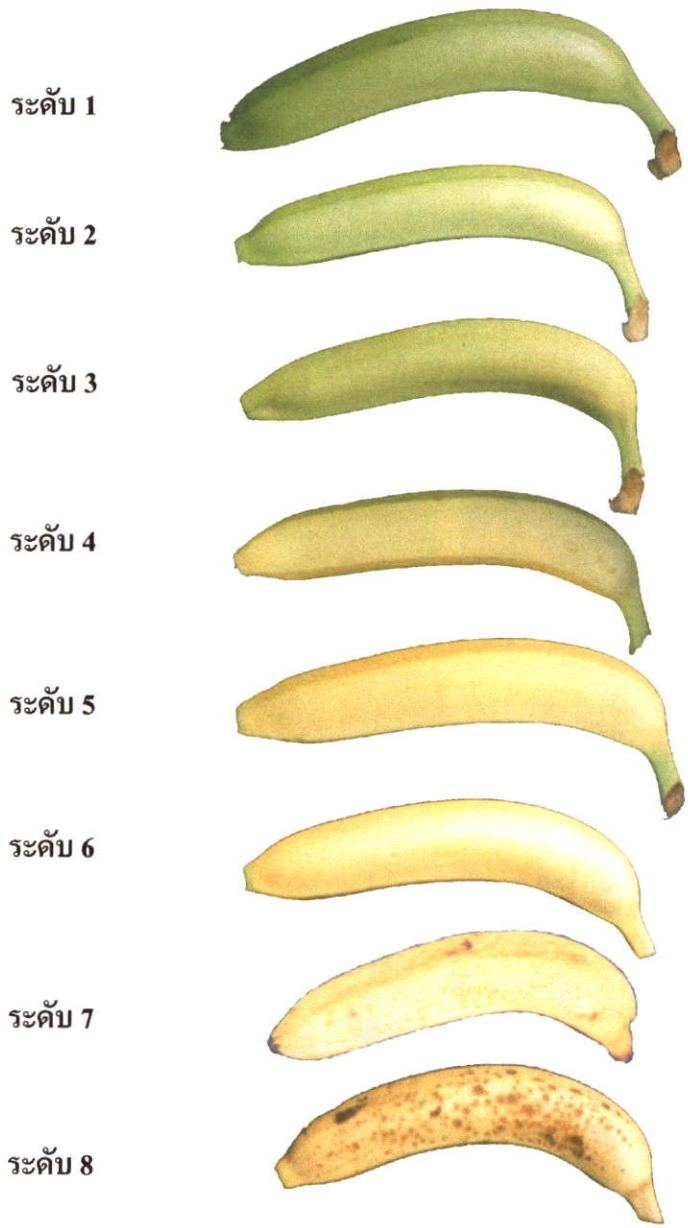
ระดับที่ 4 เริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวออกเหลืองและมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว

ระดับที่ 5 เปลือกเป็นสีเหลือง แต่ปลายยังเป็นสีเขียว

ระดับที่ 6 ทั้งผลมีสีเหลือง

ระดับที่ 7 ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาล (สุกเต็มที่ มีกลิ่นหอม)

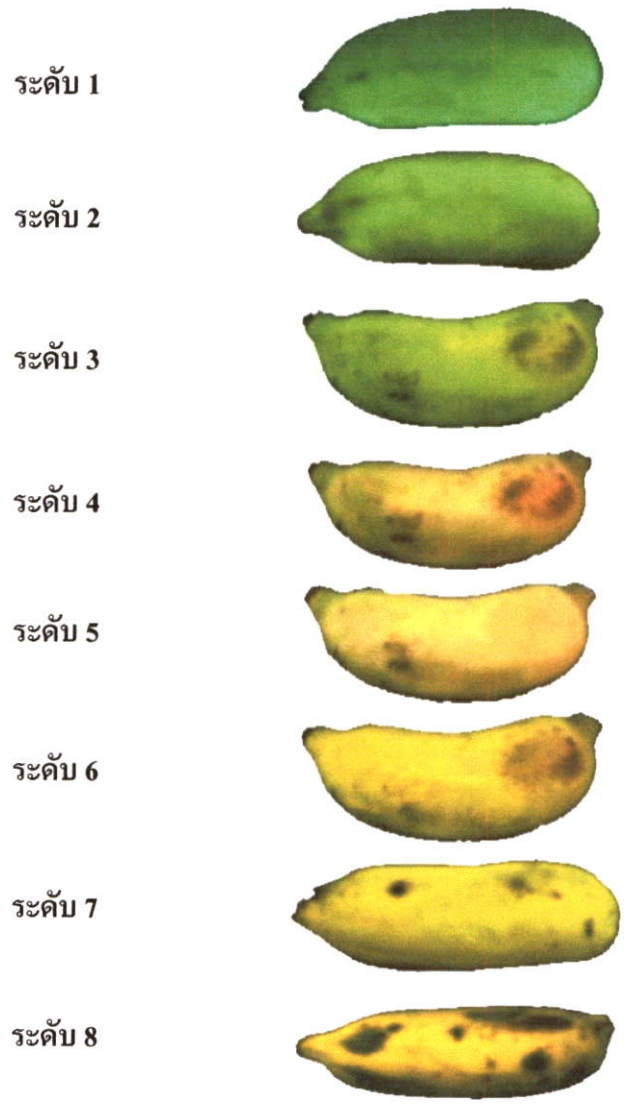
ระดับที่ 8 ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาล (สุกมากเกินไป เนื้อเริ่มอ่อนตัวและมีกลิ่นแรง)



ภาพที่ 2.1 ระดับความสุกของกล้วยหอมทอง 8 ระดับ

ที่มา : Stover and Simmonds, 1987

ชุลีกร (2548) ได้อาศัยหลักการของดัชนีสีเปลือกตามวิธีของเบญจมาศ (2545) ในการแบ่งระดับความสุกของกล้วยน้ำว้าออกเป็น 8 ระดับโดยใช้หลักเดียวกันกับการแบ่งระดับความสุกของกล้วยหอมทอง ดังแสดงในภาพที่ 2.2 สำหรับองค์ประกอบทางเคมีบางประการของกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่างๆ ดังกล่าวแสดงในตารางที่ 2.1



ภาพที่ 2.2 ระดับความสุกของกล้วยน้ำว้า 8 ระดับ

ที่มา : ชุลีกร, 2548

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพบางประการของกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่างกัน

ระดับความสุก	ปริมาของแข็งที่ละลายได้ (องศาบริกซ์)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (กรัมสมมูลกลูโคส/ น้ำหนักกล้วย 100 กรัม)	pH	สีของเปลือกกล้วยน้ำว้า			การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกกล้วยน้ำว้า (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

* $\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)}$

ที่มา : ชุลีกร, 2548

2.3 อนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระ คือ กลุ่มของสารที่มีอิเล็กตรอนวงนอกที่ยังไม่ได้จับคู่ มากกว่าหรือเท่ากับหนึ่งอิเล็กตรอน ดังนั้นจึงมีความว่องไวสูงในการเข้าทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลในเซลล์ของร่างกาย อนุมูลอิสระส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์จะเกิดขึ้นในกระบวนการถ่ายเทอิเล็กตรอนจากโมเลกุลของออกซิเจนไปยังโมเลกุลของน้ำ โดยส่วนใหญ่เกิดเป็นอนุพันธ์ของออกซิเจนที่ไวต่อปฏิกิริยา (reactive oxygen species, ROS) ซึ่งสารกลุ่มนี้ได้แก่ อนุมูลอิสระไฮดรอกซิล (hydroxyl radical, $OH^{\cdot}$) ซูเปอร์ออกไซด์ แอนอิออน (superoxide anion, $O_2^{\cdot}$), ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide, H_2O_2) กรดไฮเปอร์คลอรัส (hypochlorus, HOCl) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีกลุ่มของสารที่เรียกว่าอนุพันธ์ของไนโตรเจนที่ไวต่อปฏิกิริยา (reactive nitrogen species, RNS) ที่สำคัญได้แก่ ไนตริกออกไซด์ (nitric oxide, $NO^{\cdot}$) และ เปอร์ออกไซด์ไนไตรท (peroxynitrite , $ONOO^{\cdot}$) ทั้งกลุ่มของ ROS และ RNS จัดเป็นแหล่งของอนุมูลอิสระที่สำคัญของร่างกาย (วัลยา และพัชรี, 2542) อนุมูลอิสระเกิดได้ทั้งจากภายในร่างกายและภายนอกร่างกาย เช่นเกิดที่ไมโตคอนเดรีย ไมโครโซม เพอร์ออกไซโซม โดยเกิดจากระบบการขนส่งอิเล็กตรอน การเกิดเมตาบอลิซึม ฟาโกไซโตซิส หรือ เกิดจากสารเคมี รังสี ยาบางชนิด และความร้อน (Punchard and Kelly, 1996)

สภาวะ oxidative stress คือ สภาวะที่ร่างกายไม่สามารถควบคุมและป้องกันปริมาณของอนุมูลอิสระให้อยู่ในระดับที่ปกติที่ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายได้ โดยอนุมูลอิสระที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลต่าง ๆ ในร่างกาย เช่น การเกิดออกซิเดชันของไขมัน คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และกรดนิวคลีอิก การสร้างพันธะโควาเลนต์กับโปรตีน เป็นต้น และพบว่าอนุมูลอิสระก่อให้เกิดสภาวะทางพยาธิสภาพในโรคสำคัญบางโรค ได้แก่ มะเร็ง โรคหัวใจ ไขมันอุดตันในเส้นเลือด ไขข้ออักเสบ ต้อกระจก เป็นต้น (วัลยา และพัชรี, 2542)

2.4 สารต้านออกซิเดชัน (Antioxidant)

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

1. สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในกลุ่มของเอนไซม์ที่สร้างได้ในเซลล์ร่างกาย ได้แก่ คาตาเลส (catalase) ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส (superoxide dismutase) และกลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดส (glutathione peroxidase) เป็นต้น

2. สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในกลุ่มของวิตามิน ได้แก่ วิตามินอี ในถั่ว ธัญพืช รำ ข้าวกล้อง งา และวิตามินซีในผลไม้ ผักสด เป็นต้น

3. สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในกลุ่มของแร่ธาตุ เช่น ซิลิเนียม และสังกะสี ซึ่งทำหน้าที่เป็นโคแฟคเตอร์ (co-factors) ของเอนไซม์ต้านออกซิเดชัน

4. สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในกลุ่มของสารเคมีจากพืช (phytochemicals) เป็นสารเคมีจากพืชที่ไม่ใช่วิตามินและสารอาหาร เช่น แคโรทีน (carotene) ไลโคปีน (lycopene) แซนโธฟิล (xanthophyll) แทนนิน (tannin) และฟลาโวนอยด์ (flavonoids) เป็นต้น

2.5 สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds)

สารประกอบฟีนอลิก หรือ โพลีฟีนอล (polyphenol compound) เป็นสารในกลุ่ม secondary metabolite ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในกระบวนการเจริญเติบโต และการขยายพันธุ์ของพืชแต่ละชนิด โดยทั่วไปมีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) มากกว่าหรือเท่ากับ 1 หมู่เกาะกับวงแหวนอะโรมาติก (aromatic ring) สารประกอบฟีนอลิกที่มีหมู่ไฮดรอกซิลมากกว่า 1 หมู่นิยมเรียกว่าสารประกอบโพลีฟีนอล (polyphenol) โดยส่วนใหญ่สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารที่ละลายน้ำ มักพบรวมอยู่กับน้ำตาลในรูปไกลโคไซด์ (glycosides) โดยน้ำตาลดังกล่าวอาจจะเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharides) น้ำตาลโมเลกุลคู่ (disaccharides) หรือโอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharides) ก็ได้ แต่น้ำตาลที่พบมากที่สุดในโมเลกุลของสารประกอบฟีนอลิก คือ กลูโคส (glucose) ส่วนน้ำตาลชนิดอื่นที่พบได้แก่ กาแลคโตส (galactose) แรมโนส (rhamnose) ไซโลส (xylose) อะราบิโนส (arabinose) และอนุพันธุ์ของน้ำตาลเหล่านี้ เช่น กรดกลูโคโรนิก (glucoronic acid) กรดกาแลกตูโรนิก (glalacturonic acid) และอื่น ๆ นอกจากนี้ยังพบว่าอาจมีการรวมตัวกันระหว่างสารประกอบฟีนอลิกกับสารประกอบฟีนอลิกด้วยกันเอง หรือสารประกอบฟีนอลิกกับสารประกอบอื่น ๆ เช่น กรดคาร์บอซิลิก (carboxylic acids) กรดอินทรีย์ (organic acids) เอมีน (amines) และไขมัน (Bravo, 1998) การสร้างสารประกอบฟีนอลิกของพืชจะมีทั้งปัจจัยทางด้านพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้อง นอกจากนี้ยังพบว่าวิธีการเพาะปลูก ระดับความสุก กระบวนการแปรรูป หรือแม้แต่วิธีการเก็บรักษาก็ล้วนแต่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งสิ้น

สารประกอบฟีนอลิกแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) และนอนฟลาโวนอยด์ (non – flavonoids) (Burns *et al.*, 2000)

ฟลาโวนอยด์มี 12 กลุ่มย่อย ได้แก่ ฟลาโวน (flavone) ไอโซฟลาโวน (isoflavone) ฟลาโวนอล (flavonol) ฟลาโวโนน (flavonone) ฟลาวาโนนอล (flavanonol) ฟลาวานอล (flavanol) ลูโค-

แอนโธไซยานิน (lucoanthocyanin) แอนโธไซยานิน (anthocyanin) ชาลโคน (chalcone) ไดไฮโดร-ชาลโคน (dihydrochalcone) ออโรน (aurone) และแซนโธน (xanthone)

นอนฟลาโวนอยด์ ที่สำคัญได้แก่ กรดฟีนอลิก (phenolic acid) ตัวอย่างของกรดฟีนอลิกที่พบมากในผลไม้ทั่วไป คือ กรดแกลลิก (gallic acid) กรดโปรโตเคทิชิวอิก (protocatechuic acid) กรดวานิ-ลิก (valillic acid) กรดพาราคูมาริก (p-coumaric acid) กรดเฟอรูลิก (ferulic acid) เป็นต้น นอกจากนี้ นอนฟลาโวนอยด์ ชนิดอื่น ๆ ได้แก่ ไฮดรอกซีซินนาเมต (hydroxycinnamate) สติล-บิเนส (stibinase)

ความคงตัวของสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในการเป็นสารต้านออกซิเดชันจะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโมเลกุลสารประกอบฟีนอล ซึ่งได้แก่ (วิวัฒน์, 2545)

1. ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH)

เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิลในแต่ละตำแหน่งของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีบทบาทต่อสมบัติของการเป็นสารต้านออกซิเดชัน ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด – ด่างซึ่งจะมีผลทำให้หมู่ไฮดรอกซิลเกิดการเปลี่ยนแปลง จึงน่าจะมีผลต่อสมบัติการเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลด้วยเช่นกัน

2. อุณหภูมิ

อุณหภูมิสูงในระหว่างกระบวนการแปรรูปจะมีผลทำให้สารประกอบฟีนอลโมเลกุลเล็กๆ ระเหยกลายเป็นไอได้ในขณะฟลาโวนอยด์ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลที่มีโครงสร้างแบบ $C_6 - C_3 - C_6$ โดยมีลักษณะเป็นวงแหวน 3 วงต่อกัน จะเกิดการแตกของวงแหวน C และสลายตัวต่อไป โดยวงแหวน B จะเปลี่ยนเป็นกรดคาร์บอซิลิก และวงแหวน A จะเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอกซีอัลดีไฮด์ตามลำดับ และระเหยไปพร้อมกับไอน้ำ

3. แสง

แสงแดดเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่เร่งการสลายตัวหรือการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารประกอบฟีนอล เช่น หมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 5 ในโมเลกุลของแอนโทไซยานินจะสามารถเรืองแสงและไวต่อการสลายตัวเมื่อโดนแสงแดด นอกจากนี้แสงแดดยังเป็นปัจจัยเร่งให้เกิดการสลายตัวเนื่องจากความร้อนให้เกิดเร็วขึ้นด้วย

4. เอนไซม์

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

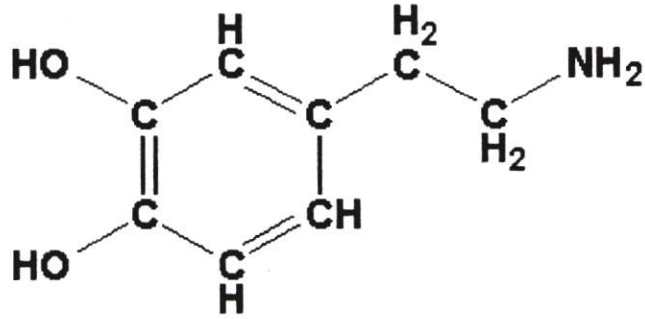
5. การรวมตัวกับโมเลกุลอื่นๆ

สารประกอบฟีนอลสามารถเกิดการรวมตัวกับโมเลกุลอื่นๆ เช่น โปรตีน โพลีแซคคาไรด์ อัลคาลอยด์และแอนโธไซยานินได้ง่าย และปฏิกิริยาอาจจะเป็นแบบสามารถผันกลับได้หรือไม่ได้ นั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ในขณะที่เกิดปฏิกิริยา เช่น ออกซิเจน ไอออนโลหะ เอนไซม์และกรด เป็นต้น ซึ่งจะเป็นตัวการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมดุลของปฏิกิริยา เช่น ทำให้สารประกอบในภาวะสมดุลรวมตัวกันและตกตะกอนแยกออกมา หรือเกิดพันธะโควาเลนท์รวมตัวกันเป็นสารใหม่ ทำให้ปฏิกิริยาไม่สามารถผันกลับได้ หากปรากฏการณ์เหล่านี้มีผลทำให้สารประกอบฟีนอลมีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างไป จะทำให้สารประกอบฟีนอลมีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างไป จะทำให้สารประกอบฟีนอลสูญเสียสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชันไปได้

2.6 สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในกล้วย

Kanazawa and Sakakibara (2000) ได้ศึกษาสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในกล้วยหอม (*Musa cavendish)* พบว่าสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันหลักในกล้วยคือ โดพามีน (dopamine) โดยที่สมบัติในการทำลายอนุมูลอิสระของโดพามีนมีประสิทธิภาพดีกว่า กลูตาไธโอน (glutathione) BHT ฟลาโวน ลูทีโอลิน (flavone luteolin) ฟลาโวนอย เควอซิติน (flavonol quercetin) คาเทชิน (catechin) แต่ใกล้เคียงกับแกลโลคาเทชิน แกลเลค (gallocatechin gallate) นอกจากนี้ยังพบว่ากล้วยมีสารโดพามีน อยู่ในปริมาณที่ค่อนข้างสูงทั้งในเปลือกและในเนื้อ แต่ในเปลือกจะมีปริมาณที่สูงกว่า และเมื่อระยะความสุกเพิ่มขึ้นสารโดพามีนจะมีปริมาณลดลงเล็กน้อย

โดพามีน เป็นสารประกอบฟีนอลิกที่มีปริมาณสูงทั้งในเปลือกกล้วย (700 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) และในเนื้อกล้วย (8 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) ซึ่งโครงสร้างทางเคมีของโดพามีนดังแสดงในรูปที่ 2.2 (Salunkhe and Kadam, 1995) ในระยะเก็บเกี่ยวพบว่าปริมาณโดพามีนในเนื้อกล้วยมีปริมาณสูงถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ของแทนนินในเนื้อกล้วยทั้งหมด หลังจากนั้นจะค่อย ๆ ลดลง โดยเปลี่ยนเป็นสารเมตาบอไลท์ เช่น ซาลซินอล (salsinol) ส่วนในเปลือกกล้วยจะประกอบด้วยแทนนินมากกว่าเนื้อ 3-5 เท่าและจะมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดมากกว่า 2 เท่า (John and Marchal, 1995)



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของโดพามีน

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

ในปี 2002 Someya และคณะ ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ของสารสกัดจากเปลือกและเนื้อกล้วยหอม (*Musa cavendish)* ต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (lipid autoxidation) พบว่าเปลือกกล้วยจะมีประสิทธิภาพในการต้านทานปฏิกิริยาออกซิเดชัน สูงกว่าเนื้อกล้วยถึง 2.2 เท่า การแยกสารสกัดจากเปลือกกล้วยและเนื้อกล้วยด้วยวิธี HPLC เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน พบสารที่สำคัญ 3 ชนิดคือ แกลโลคาเทชิน (gallocatechin) คาเทชิน(catechin) และอิพิคาเทชิน (epicatechin) นอกจากนี้ยังพบว่าในเปลือกกล้วยจะมีสารแกลโลคาเทชิน สูงกว่าในเนื้อกล้วย

2.7 กล้วยตาก (dehydrated banana)

กล้วยตากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากกล้วยสุกงอมโดยใช้กรรมวิธีการแปรรูปด้วยการทำแห้ง ซึ่งอาจรู้จักในชื่อ banana figs หรือ fingers consist กระบวนการผลิตกล้วยตากนั้นสามารถทำได้หลายวิธีแต่กระบวนการแปรรูปหลักคือ กล้วยสุกงอม ปอกเปลือก นำมาทำแห้งให้มีความชื้นสุดท้ายอยู่ประมาณ 12 – 18 เปอร์เซ็นต์ โดยจะใช้การทำแห้งทั้งผลหรือนำมาฝานเป็นแผ่นก่อนนำมาทำแห้งก็ได้ ในสมัยเริ่มแรกจะใช้แสงอาทิตย์ในการทำแห้ง อย่างไรก็ตามการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิในการทำแห้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงมีการปรับปรุงมาใช้ตู้อบแห้ง ซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิในการอบแห้งได้ดี (Crowther, 1979)

ในประเทศไทยกล้วยตากนิยมผลิตจากผลกล้วยน้ำว้าที่สุกงอม ปอกเปลือกเอาแต่เนื้อกล้วยไปตากแดดหรืออบในตู้อบที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ กล้วยตากเป็นกล้วยแปรรูปที่รู้จักกันดี และเป็นที่นิยมบริโภคกันมากทั้งในประเทศ และมีการผลิตกล้วยตากส่งออกยังต่างประเทศอีกด้วย กล้วยตากที่มีชื่อเสียงอยู่ที่จังหวัดพิษณุโลก ได้แก่ กล้วยตากบางกระทุ่ม กล้วยที่ใช้คือน้ำว้าขาวหรือกล้วยน้ำว้ามะลิอ่อง ซึ่งมีรสหวาน จะให้กล้วยตากที่มีสีสวย และรสหวาน (เบญจมาศ, 2545) จากตารางที่

2.2 เมื่อเปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารของกล้วยน้ำว้าและผลิตภัณฑ์กล้วยตากต่อน้ำหนัก 100 กรัม จะเห็นว่าปริมาณของพลังงาน คาร์โบไฮเดรต และโปรตีนในกล้วยตากจะมีปริมาณมากกว่าในกล้วยน้ำว้า แต่ปริมาณของไขมันในกล้วยตากจะต่ำกว่าในกล้วยน้ำว้าสด

ตารางที่ 2.2 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

การผลิตกล้วยตากในประเทศไทยเป็นที่รู้จักกันมานานแล้วโดยมีการผลิตทั่วทุกภาคของประเทศ ในแต่ละพื้นที่อาจแตกต่างกันไปในรายละเอียดของขั้นตอนการผลิตโดยเฉพาะในเรื่องระยะเวลาในการอบแห้ง ตัวอย่างเช่นในการแปรรูปกล้วยตากตามวิธีของกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรหลวงวัง จังหวัดอ่างทอง ที่รายงานโดย พรเพ็ญและนิภาพร (2548) จะอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 – 6 ชั่วโมง แต่ใช้เวลาในการอบถึง 5 วัน ในขณะที่การแปรรูปกล้วยตากตามวิธีของกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรห้วยโจ้ จังหวัดเชียงใหม่ (2548) จะใช้อุณหภูมิในการอบที่ 60 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมงและเสร็จสิ้นภายในเวลา 2 วัน เป็นต้น อย่างไรก็ตามขั้นตอนการผลิตกล้วยตาก อาจสรุปขั้นตอนหลัก ๆ ที่สำคัญในการผลิตได้ดังนี้ (ธนัท, 2546)

1) การคัดเลือกวัตถุดิบ

กล้วยทุกชนิด เช่น กล้วยหอม กล้วยไข่ กล้วยเล็บมือนาง หรือกล้วยน้ำว้า สามารถผลิตเป็นกล้วยตากได้ แต่อาจมีลักษณะที่ต่างกันเล็กน้อย คือ กล้วยตาก ที่ทำจากกล้วยหอม กล้วยไข่ และ

กล้วยเล็บมือนาง มีรสอร่อยและกลิ่นหอมกว่ากล้วยน้ำว้าแต่สีเข้มกว่า สิ่งที่ต้องคำนึงในการเลือกใช้ชนิดของกล้วยมาผลิตเป็นกล้วยตาก คือ ราคาของกล้วย ชนิดของกล้วยที่มีในแหล่งผลิต ปริมาณเพียงพอต่อการแปรรูป และคุณภาพของกล้วยตากที่ผลิตได้ กล้วยตากที่มีขายในท้องตลาดปัจจุบันผลิตจากกล้วยน้ำว้าและกล้วยเล็บมือนาง กล้วยตากจากกล้วยเล็บมือนางมีการผลิตกันมากในจังหวัดทางภาคใต้เพราะเป็นกล้วยพื้นเมืองของภาคใต้โดยเฉพาะที่จังหวัดชุมพร มีการผลิตกล้วยเล็บมือนางแห้งออกจำหน่ายตามท้องตลาด (วรนิธิ์, 2537) ส่วนกล้วยตากที่ผลิตจากกล้วยน้ำว้านั้นเป็นที่รู้จักดี โดยเฉพาะที่ผลิตจากอำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก กล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่องหรือที่เรียกว่าพันธุ์ไส้ขาวเป็นพันธุ์ที่เหมาะสมในการผลิต เพราะเมื่อแปรรูปเป็นกล้วยตากมีสีสวย กลิ่นหอม รสชาติหวาน รู้สึกนุ่มเวลากัดไม่สะดุดไส้ เนื้อละเอียด และกล้วยพันธุ์นี้มีขนาดผลสม่ำเสมอและดูสวยงาม (พานิชย์, 2541)

2) การเตรียมกล้วยก่อนการอบ

กล้วยที่นำมาเตรียมผลิตเป็นกล้วยตาก ควรเป็นกล้วยที่สุกด้วยการบ่มตามธรรมชาติ หลีกเลี่ยงการใช้กล้วยที่สุกจากต้นเพราะอาจมีไข่แมลงวันทองติดมา กล้วยสุกสังเกตได้จากเปลือกธรรมชาติของกล้วยมีสีเหลืองนวลคล้ายสีดอกกระดังงา นำกล้วยสุกปอกเปลือกและอาจมีการลอกเส้นใยกล้วยออกด้วยก็ได้แล้วจึงนำไปลดความชื้น ลักษณะของกล้วยที่ทำแห้งมีทั้งกล้วยทั้งลูกไม่มีการหั่น หรือตัดปลายทั้ง 2 ด้านประมาณ 0.5 เซนติเมตร หรือหั่นตามยาว 1 ครั้ง หรือ 2 ครั้ง หรือผ่าสี่ นอกจากนี้อาจนำกล้วยที่ปอกเปลือกแล้วไปแช่ในสารละลายบางชนิดก่อนการทำแห้ง สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เข้มข้นประมาณร้อยละ 0.05 – 1 นานประมาณ 30 นาที หรือสารละลายเกลือเข้มข้นร้อยละ 5 นานประมาณ 20 – 30 นาที หรือลวกกล้วยในน้ำเดือดเป็นระยะเวลาหนึ่งก่อนนำกล้วยไปทำแห้ง (รชฎ และ เธียรชัย, 2532) Ehahe และคณะ (2005) ทดลอง นำกล้วยหอมสุกมาแช่สารละลายน้ำตาลและ/หรือเกลือก่อนนำไปอบแห้ง ซึ่งทำให้กล้วยอบแห้งที่ได้มีความชื้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกล้วยอบแห้งที่ได้ ทางด้าน เนื้อสัมผัส สี กลิ่น รส พบว่ากล้วยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายน้ำตาลและ/หรือเกลือได้รับการยอมรับมากกว่ากล้วยอบแห้งที่ในกระบวนการผลิตไม่ผ่านการแช่สารละลายน้ำตาลและ/หรือเกลือ

3) การทำแห้ง

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

การทำแห้งที่ใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์แต่เดิม คือ การตากแดด โดยนำกล้วยที่เตรียมเสร็จแล้ววางบนแผงตากกล้วยในที่โล่งแจ้ง ใช้เวลาประมาณ 6 – 7 วัน (พรรณนีย์, 2537) แต่วิธีนี้มัก

มีการปนเปื้อนของสิ่งสกปรกระหว่างการตาก มีการพัฒนาเป็นการใช้ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถลดเวลาตากเหลือประมาณ 4 – 5 วัน และยังช่วยลดการปนเปื้อนของสิ่งสกปรกระหว่างการทำแห้งได้ด้วย การทำแห้งด้วยวิธีนี้เสียค่าใช้จ่ายต่ำ อุณหภูมิหรือความร้อนที่ใช้ทำแห้งไม่คงที่ ระยะเวลาทำแห้งค่อนข้างนาน (รชฎ และ เธียรชัย, 2532)

2.8 กล้วยทอดกรอบแผ่นบาง (banana chips)

กล้วยทอดกรอบแผ่นบาง (banana chips หรือ banana crisps) เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะคล้ายกับมันฝรั่งแผ่นทอดกรอบ (potato chips) โดยใช้กล้วยดิบเป็นวัตถุดิบ นำมาฝานเป็นแผ่นบาง ผึ่งให้แห้ง จากนั้นจึงนำมาทอดในน้ำมันท่วม (Crowther, 1979) ในประเทศไทยนิยมใช้กล้วยน้ำว้าหรือกล้วยหักมุก (*Musa* (ABB group) "Kluai Hak Muk") และปัจจุบันมีการใช้กล้วยหอมด้วย ประเทศฟิลิปปินส์ นิยมใช้กล้วยซาบา (*Musa* (BBB group) "Saba") ซึ่งมีลักษณะคล้ายกล้วยหิน (*Musa* (BBB group) "Kluai Hin") การฝานกล้วยอาจจะฝานตามยาวหรือตามขวางก็ได้ ปัจจุบันมีการส่งกล้วยทอดกรอบแผ่นบางออกขายต่างประเทศ แต่กล้วยทอดกรอบแผ่นบางมีข้อเสียที่ว่า เมื่อเก็บไว้นานจะมีกลิ่นหืน และสูญเสียความกรอบเนื่องจากการดูดความชื้น สำหรับในประเทศไทยหลังจากทอดแล้วนิยมฉาบด้วยน้ำตาลเรียกว่า กล้วยฉาบ (เบญจมาศ, 2545) หรือปรุงรสด้วยเกลือหรือสารปรุงแต่งกลิ่นรสอื่นๆ

กรรมวิธีการผลิตกล้วยทอดกรอบในแต่ละพื้นที่ของประเทศไทยนั้นโดยมากจะมีกระบวนการแปรรูปที่คล้ายคลึงกันคือ นำกล้วยมาปอกเปลือก ล้างให้สะอาด หั่นเป็นชิ้นบางและทอด แต่อาจมีความแตกต่างกันบ้างเล็กน้อยรายละเอียดในแต่ละวิธีการแปรรูป โดยสามารถสรุปขั้นตอนหลัก ๆ ของการแปรรูปกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง ดังนี้ (มณฑาทิพย์และคณะ, 2548)

1) ปอกเปลือกกล้วย โดยกรีดตามยาวของผลกล้วยโดยรอบหรือนำกล้วยมานึ่งโดยไอน้ำก่อนเพื่อความสะดวกในการปอกเปลือก และดึงเปลือกออกจากนั้นแช่ในสารละลายเกลือหรือสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ หรืออาจใช้น้ำส้มสายชูมาเจือจางเพื่อใช้ในการแช่กล้วย

2) นำกล้วยที่ผ่านการแช่สารละลายเกลือหรือสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ มาล้างให้สะอาด ทิ้งให้สะเด็ดน้ำ ฝานกล้วยตามยาวของผล หรือฝานเป็นชิ้นบางตามขวางประมาณ 0.2 – 0.5 เซนติเมตร ผึ่งกล้วยให้ยางกล้วยหมาด ๆ โดยอาจผึ่งบนตะแกรงหรือนำมาบ่มในถุงพลาสติกเพื่อเป็นการปรับความชื้นให้กล้วยแต่ละชิ้นมีความชื้นใกล้เคียงกันหรือในบางกรณีอาจนำมาทอดเลยโดยไม่ต้องผ่านการผึ่งให้แห้งก่อนก็ได้

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

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

2.9 ผลของความร้อนต่อความเสถียรและสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกในผักและผลไม้

ในผักและผลไม้สด เราสามารถพบปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกและสารอื่นๆที่มีสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันอยู่ในปริมาณมาก แต่เมื่อนำผักและผลไม้นั้นมาผ่านกระบวนการแปรรูปโดยอาศัยความร้อนเช่น การอบแห้ง การต้ม การลวก หรือการทอดจะมีผลทำให้ปริมาณสารสารประกอบฟีนอลิกและสารอื่นๆที่มีสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ลดลงเนื่องจากเกิดการสลายตัวเมื่อได้รับความร้อน

Laurena และคณะ (1986) ศึกษาการสูญเสียปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในถั่วฝักยาวที่ผ่านกระบวนการพาสเจอไรส์ และการให้ความร้อนโดยไมโครเวฟจากผลการทดลองพบว่าตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนโดยไมโครเวฟจะมีการสูญเสียปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเท่ากับ 71 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยกว่าตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนโดยกระบวนการพาสเจอไรส์ 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 นั้นพบว่าปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันไม่มีความแตกต่างกับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

Akyildiz และคณะ (2004) ศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในผลพลับ (persimmon) ฝานแผ่นบาง โดยเปรียบเทียบวิธีที่ผ่านการแช่น้ำและแช่สารละลายซัลไฟต์ และการอบที่อุณหภูมิที่แตกต่างกันคือ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 ชั่วโมง 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง โดยในผลพลับฝานแผ่นบาง อบที่ 60 องศาเซลเซียส มีการสลายตัวของสารประกอบฟีนอลิกน้อยที่สุด ตามด้วย 75 องศาเซลเซียส และ 90 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และผลพลับฝานแผ่นบางที่ผ่านการแช่สารละลายซัลไฟต์มีการสลายตัวของสารประกอบฟีนอลิกน้อยกว่าผลพลับฝานแผ่นบางที่แช่น้ำ จากผลการทดลองดังกล่าวทำให้ทราบ

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ว่าการใช้ความร้อนในการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นมีผลในการสลายตัวของสารประกอบฟีนอลิกมากขึ้นแม้จะใช้ระยะเวลาที่สั้นกว่าก็ตาม และการแช่สารละลายซัลไฟต์ยังช่วยลดการสลายตัวของสารประกอบฟีนอลิกในผลพลับฝานบางอีกด้วย

Murakami และคณะ (2004) ศึกษาผลของความร้อนต่อสมบัติการทำลายอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิก โดยให้ความร้อนกับสารละลายของสารประกอบรูทิน (rutin) ลูทิโอลิน (luteolin) ลูทิโอลิน-7-กลูโคไซด์ (luteolin-7glucoside) และ กรดคลอโรจินิก (chlorogenic) พบว่าการให้ความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส มีผลต่อการสลายตัวของสารประกอบฟีนอลิกเพียงเล็กน้อย แต่การสลายตัวจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อให้ความร้อนที่ 180 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม สารประกอบฟีนอลิกบางชนิดเมื่อสลายตัวแล้ว จะให้สารผลิตภัณฑ์ที่ยังคงมีสมบัติการทำลายอนุมูลอิสระได้ดี นอกจากนี้ยังพบว่าสารผสมระหว่างสารประกอบฟีนอลิก 2 ชนิดมีผลทำให้สารละลายของสารผสมมีความเสถียรต่อความร้อนสูงขึ้นด้วย

Vinson และคณะ (2005) ศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างผลไม้ 6 ชนิด โดยเปรียบเทียบระหว่างผลสดกับผลที่ผ่านกระบวนการทำแห้งได้แก่ แอปริคอท, แคนเบอร์รี, อินทผลัม, ฟิก, องุ่นและพลัม จากการทดลองพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในผลสดเท่ากับ 1,478, 2,344, 12,730, 2,859, 1,219 และ 1,754 มิลลิกรัมต่อตัวอย่างแห้ง 100 กรัมตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างผลไม้ทั้ง 6 ชนิดที่ผ่านกระบวนการทำแห้ง พบว่า กระบวนการทำแห้งมีผลทำให้ทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมีค่าลดลงเหลือเท่ากับ 497, 889, 2,129, 360, 592 และ 1,012 มิลลิกรัมต่อตัวอย่างแห้ง 100 กรัมตามลำดับ

Park และคณะ (2006) ศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และผลการยับยั้งอนุมูลอิสระในผลพลับสดและผลพลับที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีตากแดด และวิธีอบที่ 60 องศาเซลเซียส เป็น เวลา 12 ชั่วโมง โดยพบว่าในผลสดจะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าผลพลับที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีตากแดด และวิธีอบที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.3 , 0.9 และ 0.8 มิลลิกรัมต่อ100 กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ สมบัติการยับยั้งอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH ในผลสดและที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีตากแดด และ วิธีอบที่ 60 องศาเซลเซียสเป็น เวลา 12 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 70, 59 และ 55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และโดยวิธี ABTS มีค่าเท่ากับ 58, 53 และ 46 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ากระบวนการแปรรูปโดยการทำแห้งผลพลับมีผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลพลับสด ซึ่งผลการทดลองนี้ สอดคล้องกับรายงานของ Jung และคณะ(2005) ซึ่งศึกษาสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของผลพลับสดเปรียบเทียบกับผลพลับแห้ง พบว่า สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีค่าลดลงจาก 88 เป็น 84 เปอร์เซ็นต์เมื่อนำผลพลับสดมาผ่านกระบวนการทำแห้ง

76737

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 กล้วยน้ำว้า [Musa (ABB Group) "Kluai Num Wa"] ที่ใช้ในการทดลองซื้อจากตลาดหัวตะเข้ เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร โดยคัดเลือกกล้วยน้ำว้าแก่จัดเปลือกเขียว (ระดับความสุกที่ 1) สำหรับใช้ในการแปรรูปกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง และเมื่อนำกล้วยน้ำว้าดังกล่าวมาบ่มที่อุณภูมิห้องโดยใช้กระดาษหนังสือพิมพ์คลุมจนกล้วยสุกงอม (ระดับความสุกมากกว่าระดับ 8) จะใช้สำหรับการแปรรูปกล้วยตาก การควบคุมระดับความสุกของกล้วยน้ำว้า เพื่อให้ได้วัตถุดิบเริ่มต้นใกล้เคียงกันทุกครั้งของการทดลอง โดยจะพิจารณาจากปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ pH และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

3.1.2 เกลือที่ใช้ในการทดลอง เป็นเกลือบริโภคผสมไอโอดีน ยี่ห้อปรุงทิพย์ ผลิต-บรรจุโดยบริษัท อุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์ จำกัด 146 หมู่ 3 ถ. ตลาดแค – พิมาย ต.กระเบื้องใหญ่ อ.พิมาย จ.นครราชสีมา

3.2 เครื่องมือ

3.2.1 ยูวี –วิสซิเบิล สเปคโตรโฟโตมิเตอร์	(Shimadzu, UV – 1601, Japan)
3.2.2 เครื่องชั่งละเอียด	(Sartorius, BP 3100S, Germany)
3.2.3 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง	(Mettler Toledo, MP220, Germany)
3.2.4 ปั๊มสุญญากาศ	(Vacuum system BUCHI B-169, Switzerland)
3.2.5 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ	(Memmert, Germany)
3.2.6 ตู้อบลมร้อนแบบถาด	(TATCH OV663, Thailand)

3.3 สารเคมี

3.3.1 เอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ (Ethanol)	(Merck, USA)
3.3.2 1,1 – Diphenyl-1-picryl-hydrazyl (DPPH)	(Sigma, USA)
3.3.3 โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)	(Sigma, USA)

3.3.4 Folin-Ciocalteu (BHD, England)

3.3.5 กรดแกลลิก (gallic acid) (Sigma, USA)

3.3.6 กรดแอสคอบิก (ascorbic acid) (Sigma, USA)

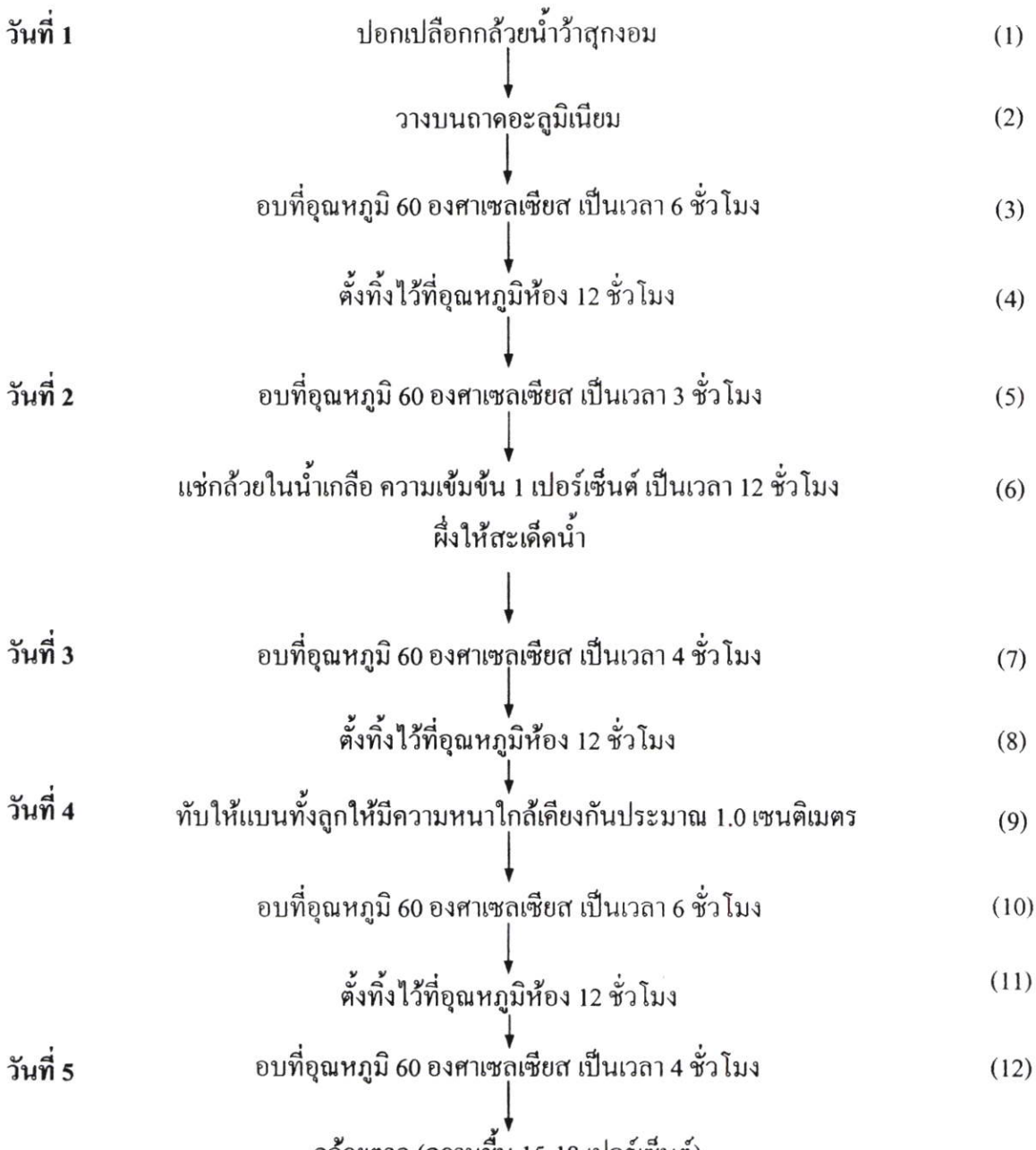
3.4 สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการ โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.5 วิธีดำเนินการทดลอง

3.5.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปตากและกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง

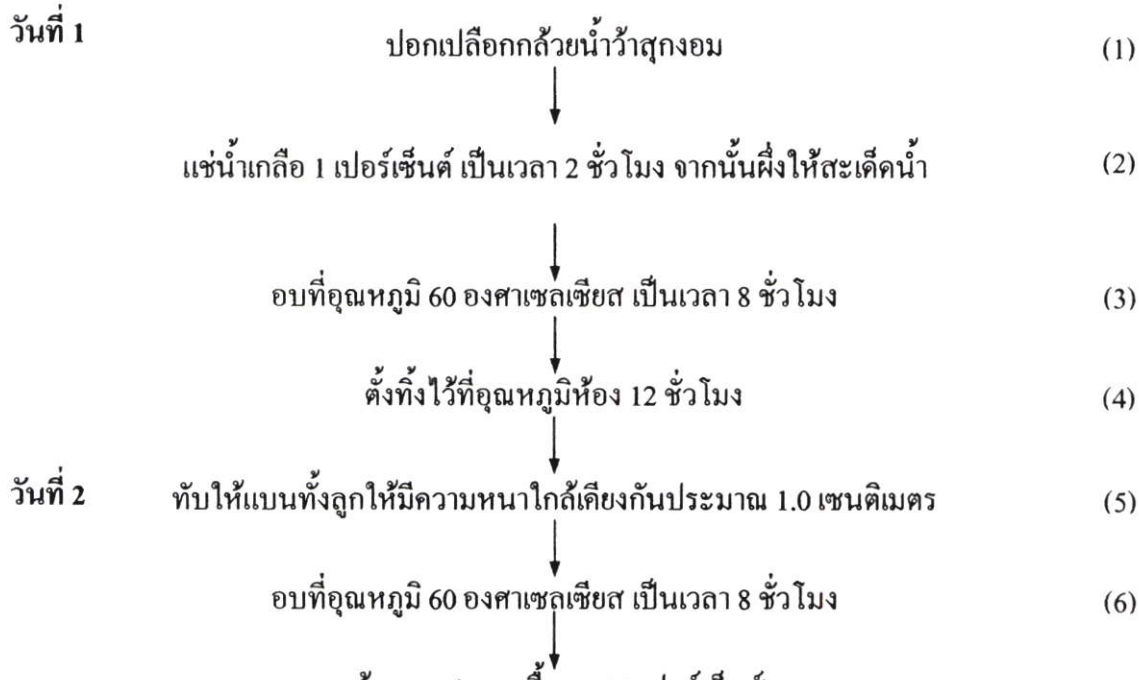
ทดลองผลิตกล้วยตากโดยวิธีจากกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรหลวงวัง จังหวัดอ่างทองที่รายงานโดยพรเพ็ญและนิภาพร (2548) ซึ่งมีขั้นตอนดังแสดงในแผนภูมิภาพที่ 3.1 (วิธีที่ 1) และวิธีของกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรห้วยโจ้ จังหวัดเชียงใหม่ (2548) ดังรายละเอียดขั้นตอนในแผนภูมิภาพที่ 3.2 (วิธีที่ 2) และทดลองผลิตกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง ตามวิธีที่รายงานโดย มณฑาทิพย์ และคณะ (2548) ดังรายละเอียดในแผนภูมิภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 1

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

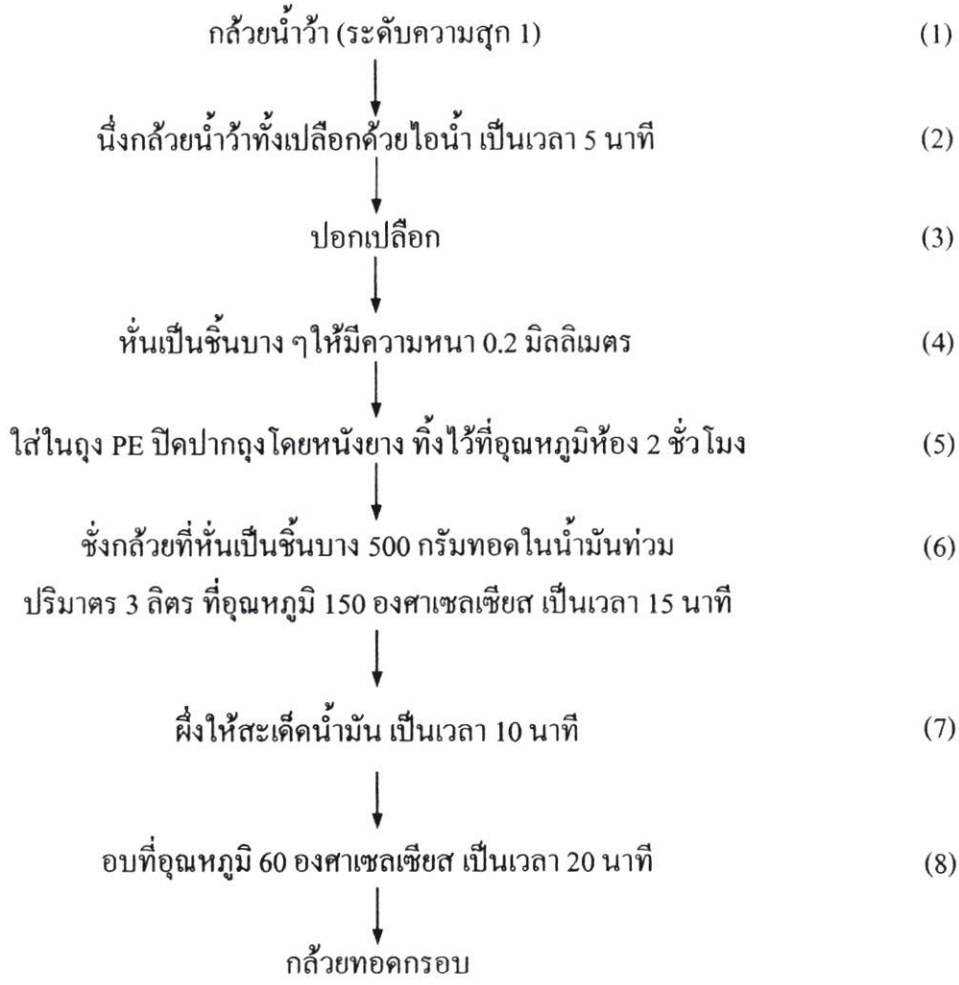
ที่มา : พรเพ็ญและนิภาพร (2548)



ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 2

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

ที่มา : กลุ่มแม่บ้านเกษตรกรห้วยโจ้ จังหวัดเชียงใหม่ (2548)



ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการแปรรูปกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง

หมายเหตุ: เก็บตัวอย่างกล้วยน้ำว้าจากขั้นตอนที่ (1), (2),(4), (5), (6), และ(8) ตามที่ระบุในแผนภูมิ

ที่มา : มณฑาทิพย์และคณะ (2548)

เก็บตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในแต่ละขั้นตอนการแปรรูปกล้วยตากและกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง ตามที่ระบุไว้ในภาพที่ 3.1, 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ จากนั้นนำมาเตรียมสารสกัดตามวิธีในข้อ 3.5.2 นำสารสกัดที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดตามวิธีในหัวข้อ 3.5.3 และความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ตามวิธีในข้อ 3.5.4

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของตัวอย่างจากขั้นตอนการผลิตกล้วยตากและกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง โดยใช้แผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ใช้

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

3.5.2 การเตรียมสารสกัดจากตัวอย่างกล้วยน้ำว้า

3.5.2.1 การเตรียมสารสกัดจากตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในขั้นตอนการผลิตกล้วยตาก

ชั่งตัวอย่างกล้วยน้ำว้าจากขั้นตอนการผลิตกล้วยตาก 5.00 กรัมโดยน้ำหนักแห้ง ปั่นผสมกับเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นเวลา 3 นาที สกัดโดยวิธี รีฟลักซ์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส กรองสารสกัดด้วยกระดาษกรอง Whatman No.4 โดยใช้ เครื่องกรองสุญญากาศ ปรับปริมาตรสารสกัดที่ได้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ (ดัดแปลงจาก John and Mrachel, 1995)

3.5.2.2 การเตรียมสารสกัดจากตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในขั้นตอนการผลิตทอดกรอบแผ่นบาง

ตัวอย่างกล้วยน้ำว้าก่อนทอดจะใช้วิธีการสกัดเหมือนกับกรณีกล้วยตากในข้อ 3.5.2.1 ทุกประการ

สำหรับตัวอย่างกล้วยทอดกรอบแผ่นบางนำมาสกัดไขมันโดยนำตัวอย่าง 10 กรัมมาบดให้ละเอียด และแช่ในเฮกเซน 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.4 และระเหยเฮกเซนออกจากตัวอย่างโดยตั้งทิ้งไว้ในตู้ดูดควันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง (Wang and Zhou, 2004) แล้วจึงนำตัวอย่างปริมาณ 5.00 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง ปั่นผสมกับเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นเวลา 3 นาที สกัดโดยวิธีรีฟลักซ์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส กรองสารสกัดด้วยกระดาษกรอง Whatman No.4 โดยใช้เครื่องกรองสุญญากาศ ปรับปริมาตรสารสกัดเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์

3.5.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (Total polyphenol contents)

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด จะใช้วิธีที่รายงานโดย ประพันธ์ และวันทนีย์ (2545) โดยที่สารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดจะทำปฏิกิริยากับ Folin-Ciocalteu เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงิน ซึ่งสามารถนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 730 นาโนเมตร ใช้กรดแกลลิกเป็นสารประกอบฟีนอลมาตรฐาน รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์ดังแสดงในภาคผนวก ง

3.5.4 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH จะใช้วิธีที่รายงานโดย Murakami และคณะ (2004) โดยมีหลักการคือ สารละลายของอนุมูลอิสระ DPPH จะมีสีม่วงแดง ซึ่งดูดกลืนแสงได้ที่ 517 นาโนเมตร ในกรณีตัวอย่างสารสกัดที่มีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระได้ดี

จะทำให้สีม่วงแดงของสารละลาย DPPH จางลงได้มากกว่าตัวอย่างสารสกัดที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระได้น้อย รายงานค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในหน่วยของมิลลิกรัมสมมูลของวิตามินซี ต่อ 100 กรัมตัวอย่างแห้ง รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์ดังแสดงในภาคผนวก จ

3.5.5 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์กล้วยตากและกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างเก็บรักษา

นำตัวอย่างกล้วยตากที่เตรียมได้ตามวิธีในแผนภูมิภาพที่ 3.2 มาบรรจุในถุงโพลี-เอทีลีน ขนาด 15 x 20 เซนติเมตร หนา 40 ไมครอน โดยบรรจุตัวอย่างถุงละประมาณ 20 กรัม จากนั้นปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ และ สุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส)

นำตัวอย่างกล้วยทอดกรอบแผ่นบางที่เตรียมได้ตามวิธีในแผนภูมิภาพที่ 3.3 มาบรรจุในถุง 2 ชนิดคือ ถุงโพลีเอทีลีนขนาด 15 x 20 เซนติเมตร หนา 40 ไมครอน และถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ (Polyethylene Terepthalate/Aluminium/polyethylene) ขนาด 15 x 20 เซนติเมตร หนา 57 ไมครอน โดยบรรจุตัวอย่างถุงละประมาณ 20 กรัม จากนั้นปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส)

เก็บตัวอย่างกล้วยตากหรือกล้วยทอดกรอบแผ่นบางทุกสัปดาห์เป็นเวลา 5 สัปดาห์ นำตัวอย่างที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระตามวิธีในข้อ 3.5.3 และ 3.5.4 ตามลำดับ วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของตัวอย่างกล้วยตากและกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง โดยใช้แผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิจารณ์

4.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตาก

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 1 โดยคำนวณปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด ในหน่วยของมิลลิกรัมกรดแกลลิค ต่อ 100 กรัมตัวอย่างแห้งและคำนวณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในหน่วยของมิลลิกรัมสมมูลย์วิตามินซีต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1

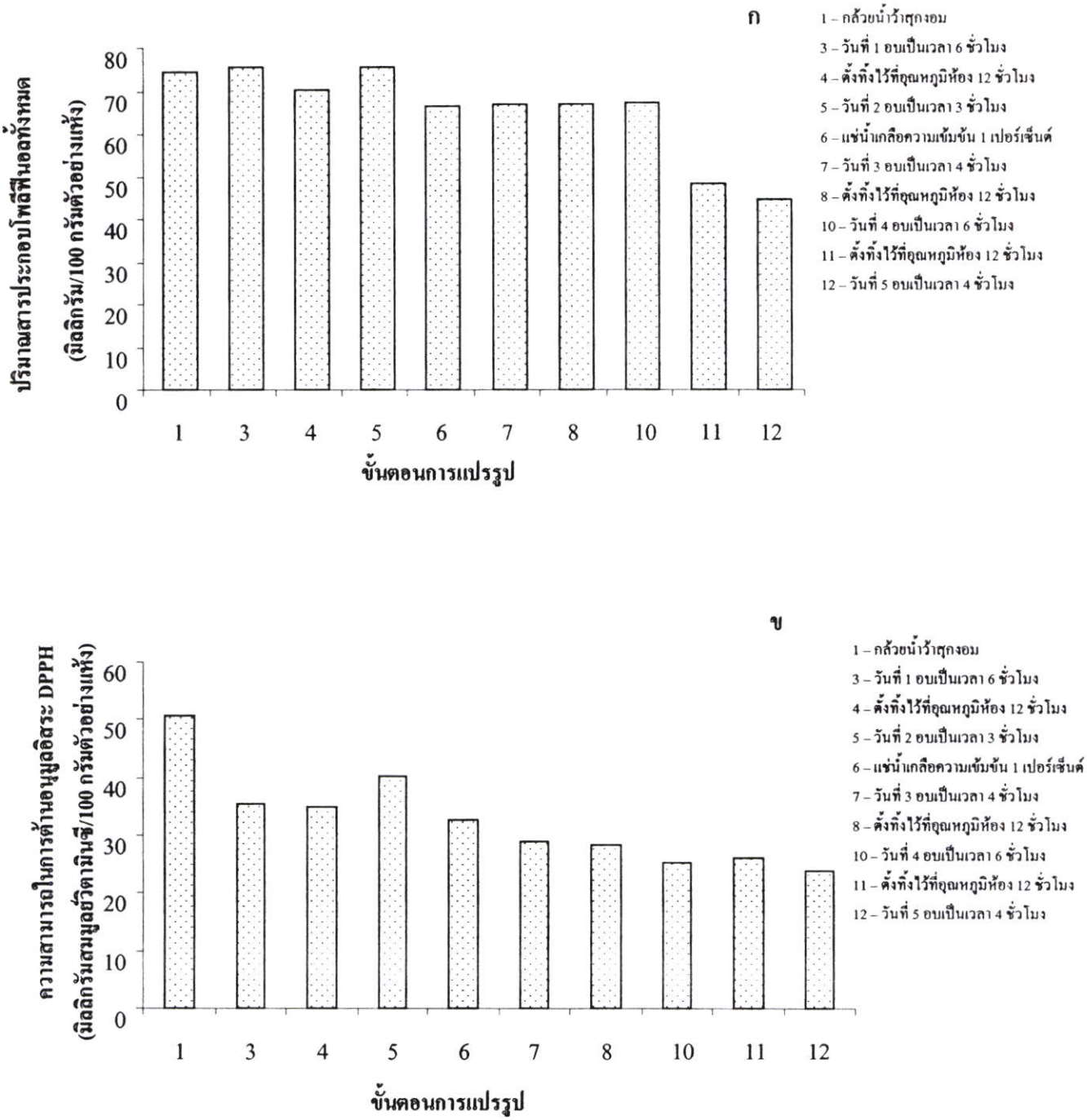
เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 1 (ภาพที่ 3.1) ซึ่งผ่านการอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน (วันที่ 1 ใช้เวลาในการอบ 6 ชั่วโมง และวันที่ 2, 3, 4, 5 อบเป็นเวลา 3, 4, 6 และ 4 ชั่วโมงตามลำดับ) จากผลการทดลองในภาพที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าในระหว่างขั้นตอนที่ 1, 3, 4 และ 5 ปริมาณของสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดค่อนข้างคงที่ และมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยในขั้นตอนที่ 6 (แช่น้ำเกลือ) โดยมีปริมาณลดลงจาก 74.24 $\pm$ 1.51 มิลลิกรัม/100 กรัมในตัวอย่างกล้วยน้ำว้าเริ่มต้นเป็น 66.41 + 3.41 มิลลิกรัม/100 กรัมในตัวอย่างกล้วยน้ำว้าหลังจากแช่น้ำเกลือและปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดจะค่อนข้างคงที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดลดลงอย่างเห็นได้ชัดในขั้นตอนที่ 11 – 12 คือลดลงเหลือ 44.44 ± 0.57 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียของปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในระหว่างขั้นตอนการแปรรูปกล้วยตากเท่ากับ 40.13 เปอร์เซ็นต์ของเริ่มต้น ถึงแม้ว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเพียง 60 องศาเซลเซียส ซึ่งถือว่าเป็นอุณหภูมิที่ค่อนข้างต่ำ ทำให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดมีอัตราการเปลี่ยนแปลงน้อย แต่เมื่อใช้ระยะเวลาการให้ความร้อนนานจะส่งผล ทำให้สารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดถูกทำลายได้มากขึ้น นอกจากนี้การตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อกระจายความชื้นให้สม่ำเสมอในตัวอย่าง เป็นเวลานานก็อาจเป็นสาเหตุของการสูญเสียปริมาณสารประกอบโพลีพีนอลทั้งหมด อันเนื่องจากการสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ (Rietjens *et al.*, 2002)

ตารางที่ 4.1 ปริมาณและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในแต่ละขั้นตอนของการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 1

ขั้นตอนการแปรรูป	ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (มิลลิกรัมสมมูลย์วิตามินซี/100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด	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-แช่น้ำเกลือ ความเข้มข้น 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 : หมายเลขกำกับขั้นตอนการแปรรูปสอดคล้องกับหมายเลขที่ระบุในแผนภูมิภาพที่ 3.1

: $^{a-f}$ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (ก) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ข) ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในแต่ละขั้นตอนของการแปรรูปกล้วยตากโดยวิธีที่ 1

หมายเหตุ : หมายเลขกำกับขั้นตอนการแปรรูปสอดคล้องกับหมายเลขที่ระบุในแผนภูมิ ภาพที่ 3.1

เป็นที่น่าสังเกตว่าการตั้งตัวอย่างกล้วยน้ำว้าทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 ชั่วโมง หลังจากการอบในแต่ละวันของขั้นตอนที่ 4, 8 และ 11 นั้น พบว่า ตัวอย่างกล้วยน้ำว้าจากขั้นตอนที่ 11 มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดลดลงมาก ในขณะที่ตัวอย่างกล้วยน้ำว้าจากขั้นตอนที่ 4 และ 8 นั้นยังคงมีปริมาณค่อนข้างคงที่ ทั้งๆ ที่ทิ้งไว้เป็นเวลา 12 ชั่วโมงเหมือนกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในขั้นตอนที่ 9 ได้นำตัวอย่างกล้วยน้ำว้ามาทับให้แบนทั้งลูกโดยให้มีความหนาประมาณ 1.0 เซนติเมตร ทำให้ตัวอย่างกล้วยน้ำว้ามีพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศมากขึ้น ตัวอย่างกล้วยน้ำว้าที่ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 12 ชั่วโมงในขั้นตอนที่ 11 จึงเกิดการสูญเสียปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลมากกว่าในขั้นตอนที่ 4 และ 8

เมื่อพิจารณาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 1 ((ตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1 (ข)) จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีแนวโน้มสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด กล่าวคือความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH จะมีแนวโน้มลดลงเมื่อตัวอย่างกล้วยน้ำว้าผ่านขั้นตอนต่าง ๆ ในการแปรรูป โดยมีค่าลดลงจากเริ่มต้น 50.65 ± 0.61 มิลลิกรัมสมมูลย์ของวิตามินซี/100 กรัมตัวอย่างแห้งในกล้วยน้ำว้าเริ่มต้น เป็น 23.76 ± 0.96 มิลลิกรัมสมมูลย์ของวิตามินซี/100 กรัมตัวอย่างแห้ง ของผลิตภัณฑ์สุดท้าย และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับ 53.10 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH จากภาพที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดมีอัตราการลดลงที่น้อยกว่าการลดลงของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สำหรับสาเหตุที่ทำให้เกิดแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในลักษณะดังกล่าวจะได้กล่าวถึงในลำดับต่อไป

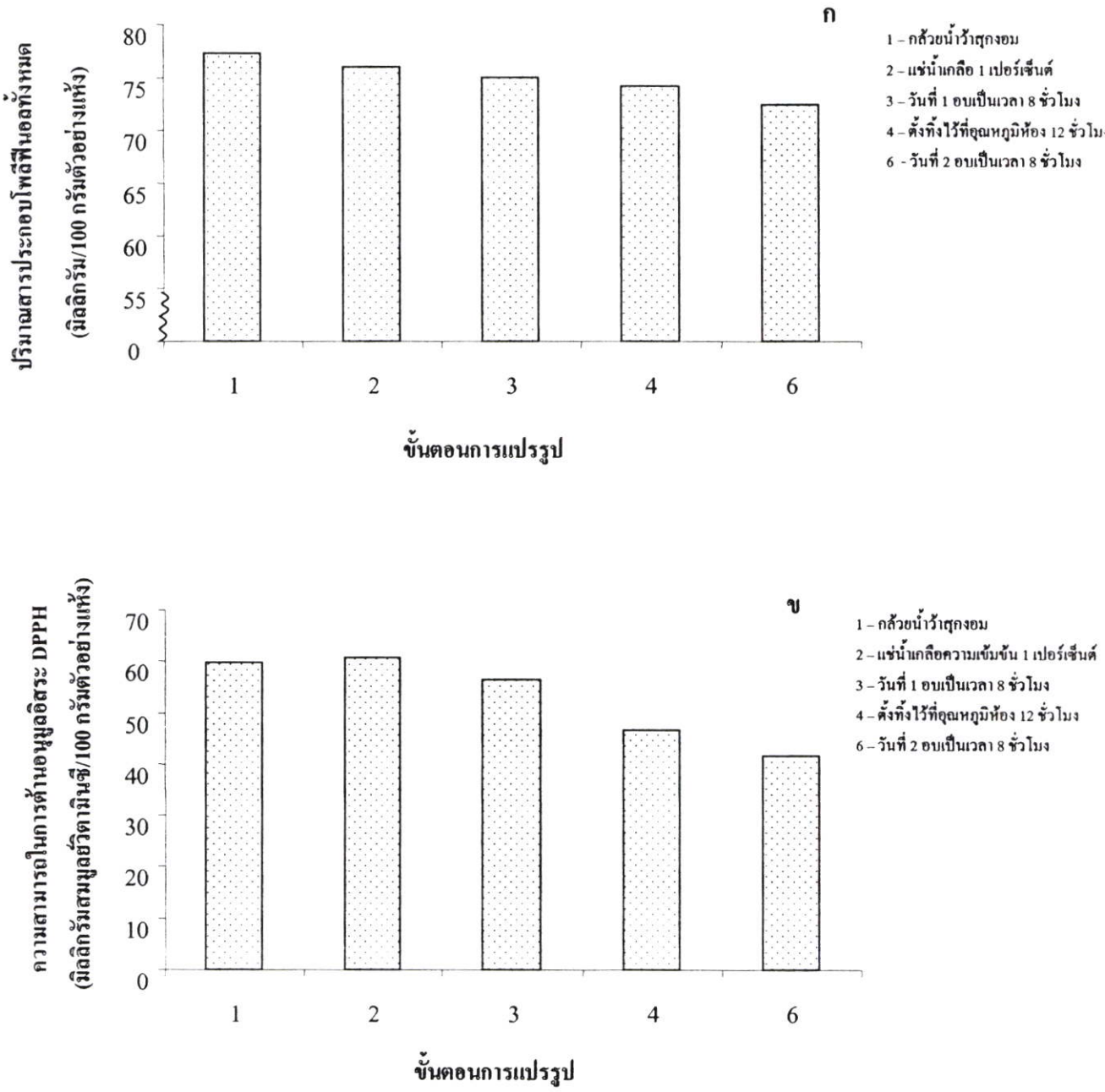
จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 2 ได้ผลการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในแต่ละขั้นตอนของการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 2

ขั้นตอนการแปรรูป	ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (มิลลิกรัมสมมูลย์วิตามินซี/100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH
1-กล้วยน้ำว้าสุกงอม	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 : หมายเลขกำกับขั้นตอนการแปรรูปสอดคล้องกับหมายเลขที่ระบุในแผนภูมิภาพที่ 3.2

: $^{a-c}$ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (ก) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ข) ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในแต่ละขั้นตอนของการแปรรูปกล้วยตากโดยวิธีที่ 2

หมายเหตุ : หมายเลขกำกับขั้นตอนการแปรรูปสอดคล้องกับหมายเลขที่ระบุในแผนภูมิ ภาพที่ 3.2

จากข้อมูลในตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.2 (ก) จะเห็นได้ว่าปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 2 ซึ่งผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน (วันละ 8 ชั่วโมง) พบว่าในขั้นตอนของการแปรรูป 1 – 6 นั้น ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยในทุกขั้นตอน โดยมีปริมาณลดลงจาก 77.32 ± 6.16 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้งในกล้วยน้ำว้าเริ่มต้น เป็น 72.45 ± 2.54 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้งในผลิตภัณฑ์สุดท้ายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียมีค่าเท่ากับ 6.30 เปอร์เซ็นต์สำหรับขั้นตอนสุดท้ายเมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยน้ำว้าเริ่มต้น

เมื่อเปรียบเทียบกระบวนการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 1 กับวิธีที่ 2 จะเห็นได้ว่า กระบวนการแปรรูปวิธีการที่ 1 ซึ่งใช้เวลาในการอบแห้งและตั้งทิ้งไว้หลังการอบแต่ละครั้ง (เพื่อให้ความชื้นในกล้วยแต่ละชิ้นสม่ำเสมอ) เป็นเวลานานกว่ากระบวนการแปรรูปวิธีที่ 2 มีผลทำให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในผลิตภัณฑ์กล้วยตากที่ได้มีค่าที่น้อยกว่า เนื่องจากในระหว่างที่วางทิ้งไว้นั้น กล้วยน้ำว้ามีการสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการออกซิเดชันของสารประกอบโพลีฟีนอล (Tamamura *et al.*, 2002)

จากภาพที่ 4.2 (ข) แสดงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 2 จะเห็นได้ว่าในตัวอย่างกล้วยน้ำว้าจากขั้นตอนที่ 1-3 มีแนวโน้มความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ค่อนข้างคงที่ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด((ภาพที่ 4.2 (ก)) อย่างไรก็ตามตัวอย่างกล้วยน้ำว้าจากขั้นตอนที่ 4-6 มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลงจากเริ่มต้น 59.85 ± 0.49 เป็น 41.72 ± 8.03 มิลลิกรัมสมมูลย์วิตามินซี/100 กรัมตัวอย่างแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเท่ากับ 29.89 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเพียง 6.30 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.2) การที่ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย ในขณะที่ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ลดลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งสังเกตได้ในทำนองเดียวกันกับกรณีผลการทดลองการแปรรูปกล้วยตากโดยวิธีที่ 1 (ตารางที่ 4.1) อาจเป็นไปได้ว่าเมื่อสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากได้รับความร้อนทำให้โครงสร้างเกิดการเปลี่ยนแปลง ในทิศทางที่ส่งผลให้สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ลดลงแต่ยังคงเป็นสารในกลุ่มของสารประกอบโพลีฟีนอล ซึ่งสามารถตรวจวิเคราะห์ได้โดยวิธีนี้ใช้ในการทดลอง ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดจึงดูเหมือนมีแนวโน้มที่ลดลงน้อยกว่า (Murakami *et al.*, 2003)

4.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง

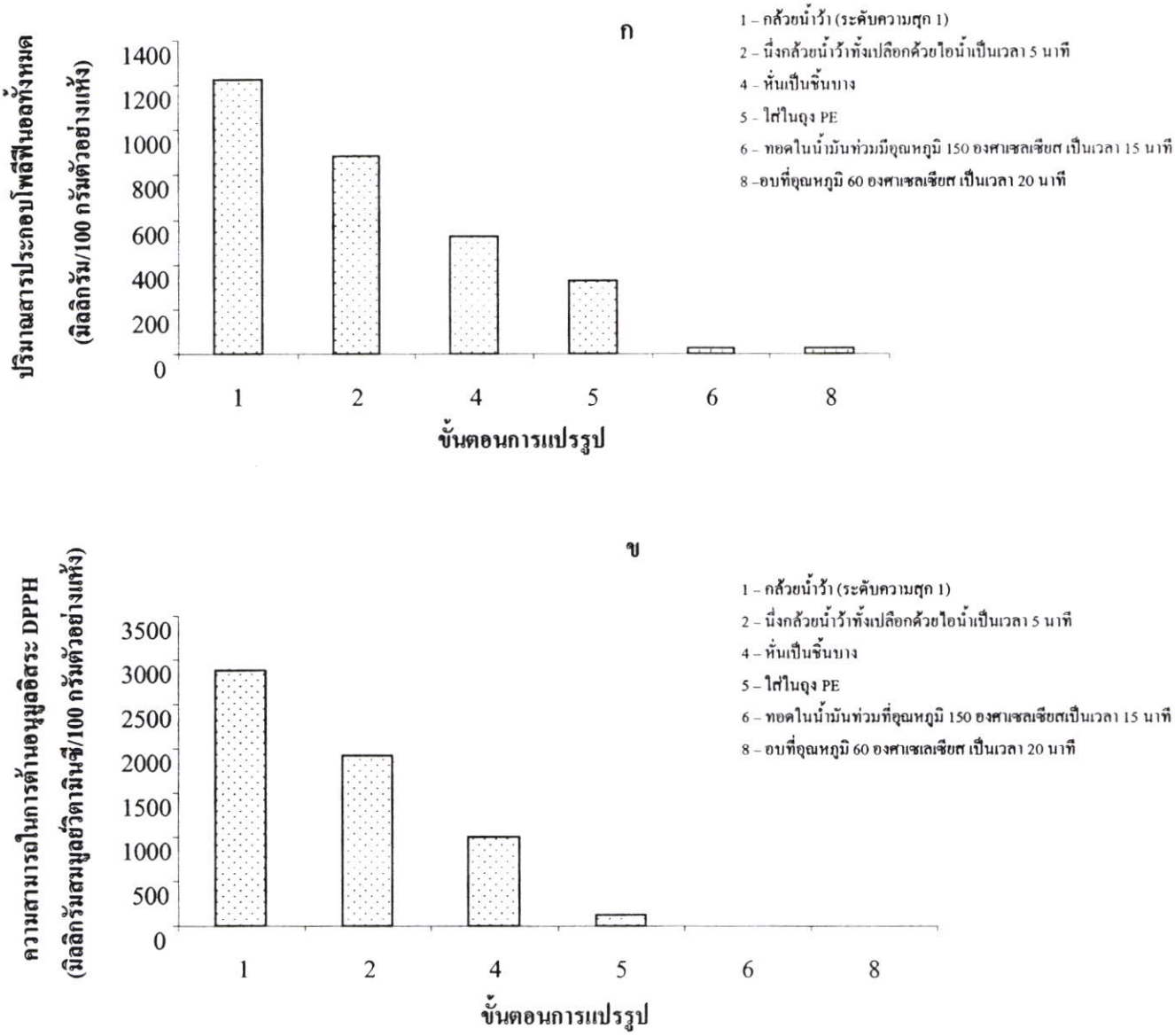
จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง โดยคำนวณปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด ในหน่วยของมิลลิกรัมกรดแกลลิค ต่อ 100 กรัมตัวอย่างแห้งและคำนวณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในหน่วยของมิลลิกรัมสมมูลย์วิตามินซีต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ปริมาณและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในแต่ละขั้นตอนของการแปรรูปกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง

ขั้นตอนการแปรรูป	ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (มิลลิกรัมสมมูลย์วิตามินซี/100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด	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 : หมายเลขกำกับขั้นตอนการแปรรูปสอดคล้องกับหมายเลขที่ระบุในแผนภูมิภาพที่ 3.3

: [a-e]ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (ก) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ข) ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในแต่ละขั้นตอนของการแปรรูปกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง

หมายเหตุ : หมายเลขกำกับขั้นตอนการแปรรูปสอดคล้องกับหมายเลขที่ระบุในแผนภูมิ ภาพที่ 3.3

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการนึ่ง หั่นเป็นชิ้นบาง เก็บในถุงโพลีเอทีลีน การทอดและอบ จากภาพที่ 4.3 (ก) จะเห็นได้ว่าปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดจะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในแต่ละขั้นตอนของการแปรรูป สำหรับตัวอย่างกล้วยน้ำว้าที่ผ่านขั้นตอนการนึ่ง ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดจะลดลงจาก 1,222.48 ± 104.86 เป็น 880.56 ± 84.44 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง เนื่องจากตัวอย่างกล้วยน้ำว้ามีการสัมผัสกับไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูง และในขั้นตอนการหั่น รวมถึงการบรรจุไว้ในถุงโพลีเอทีลีน ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดลดลงเหลือ 523.23 ± 64.24 และ 329.04 ± 15.96 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ ซึ่งในขั้นตอนการหั่นและเก็บตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในถุงโพลีเอทีลีนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวรวมไปถึงระยะเวลาที่ตัวอย่างกล้วยน้ำว้ามีการสัมผัสกับออกซิเจน อันเป็นสาเหตุของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งจะส่งผลในการทำลายสารประกอบโพลีฟีนอลได้ (Rietjens *et al.*, 2002) นอกจากนี้ Takamura และคณะ (2002) พบว่าเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในผลไม้มีประสิทธิภาพในการทำงานที่สูงขึ้นเมื่อตัวอย่างมีการสัมผัสกับออกซิเจน ซึ่งส่งผลให้เกิดออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกให้อยู่ในรูปที่สูญเสียสมบัติการยับยั้งอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในขั้นตอนหลังจากการเก็บไว้ในถุงโพลีเอทีลีนจะสังเกตเห็นได้ว่ามีสีคล้ำขึ้น แสดงให้เห็นว่ายังอาจมีปฏิกิริยาสีน้ำตาลโดยใช้เอนไซม์เกิดขึ้น เนื่องจากสารตั้งต้นของการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลดังกล่าวคือสารประกอบฟีนอลิก ดังนั้นจึงอาจส่งผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างลดลงได้

ต่อมาในขั้นตอนการทอดและการอบ ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดมีค่าลดลงอย่างมากโดยจะเหลือเพียง 22.60 ± 0.04 และ 20.98 ± 0.20 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลจากการใช้อุณหภูมิที่สูงถึง 150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาทีในการทอดตัวอย่างนั้นเอง ซึ่งการสูญเสียปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในผลิตภัณฑ์สุดท้ายคิดเป็น 98.28 เปอร์เซ็นต์

เมื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง จากผลการทดลองในภาพที่ 4.3 (ข) แสดงให้เห็นว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้ามีแนวโน้มลดลงและเป็นไปในทิศทางเดียวกับปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด ซึ่งมีปริมาณที่ลดลงในทุกขั้นตอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จาก 2,873.53 ± 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 จะเห็นว่ามีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด กล่าวคือ ตัวอย่างกล้วยน้ำว้าที่มีการสูญเสียปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงก็จะมีการสูญเสียความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงด้วย

4.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของผลิตภัณฑ์กล้วยตากในระหว่างเก็บรักษา

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของของกล้วยตากในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุถุงโพลีเอทิลีนและปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ โดยคำนวณปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด ในหน่วยของมิลลิกรัมกรดแกลลิค ต่อ 100 กรัมตัวอย่างแห้งและคำนวณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในหน่วยของมิลลิกรัมสมมูลย์วิตามินซีต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ได้ผลการทดลองดังตาราง

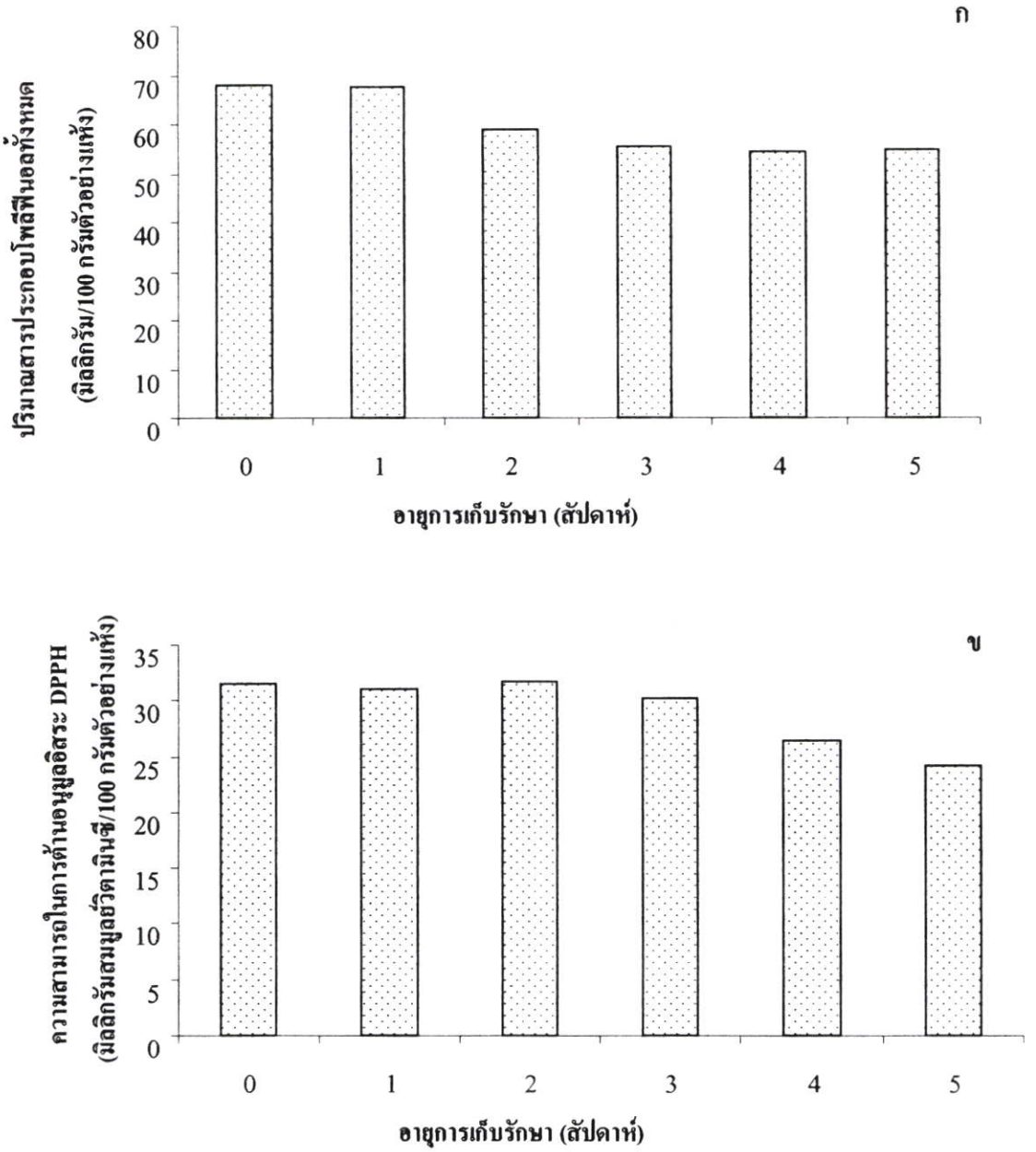
ที่ 4.4 และภาพที่ 4.4 จะเห็นว่าปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของกล้วยตากในระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะดังกล่าว มีค่าค่อนข้างคงที่ในสัปดาห์แรก และจะมีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัดในสัปดาห์ที่ 2 – 5 โดยปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดลดลงจาก 67.78 ± 0.10 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง ในตัวอย่างกล้วยตากเริ่มต้นเป็น 54.80 ± 0.25 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้งในตัวอย่างกล้วยตากที่เก็บรักษาเป็นเวลา 5 สัปดาห์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 19.15 เปอร์เซ็นต์ การที่ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการบรรจุกล้วยตากในถุงโพลีเอทิลีนที่ความดันบรรยากาศนั้น ตัวอย่างยังคงมีการสัมผัสกับออกซิเจน ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจึงทำให้เกิดการทำลายสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างกล้วยตากได้

เมื่อพิจารณาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยตากในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทิลีนและปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ (ตารางที่ 4.4 และ ภาพที่ 4.4) จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีแนวโน้มที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดกล่าวคือ เมื่ออายุการเก็บรักษากล้วยตากนานขึ้น ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ลดลง จาก 31.57 ± 0.18 มิลลิกรัมสมมูลย์วิตามินซี/100 กรัมตัวอย่างแห้ง ในกล้วยตากเริ่มต้น เป็น 24.17 ± 3.64 มิลลิกรัมสมมูลย์วิตามินซี/100 กรัมตัวอย่างแห้งในตัวอย่างกล้วยตากในสัปดาห์ที่ 5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเท่ากับ 23.46 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.4 ปริมาณและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยตากในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทีลีนและปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ

การเก็บรักษา (สัปดาห์)	ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (มิลลิกรัมสมมูลย์วิตามินซี/100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด	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^{e}	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} ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



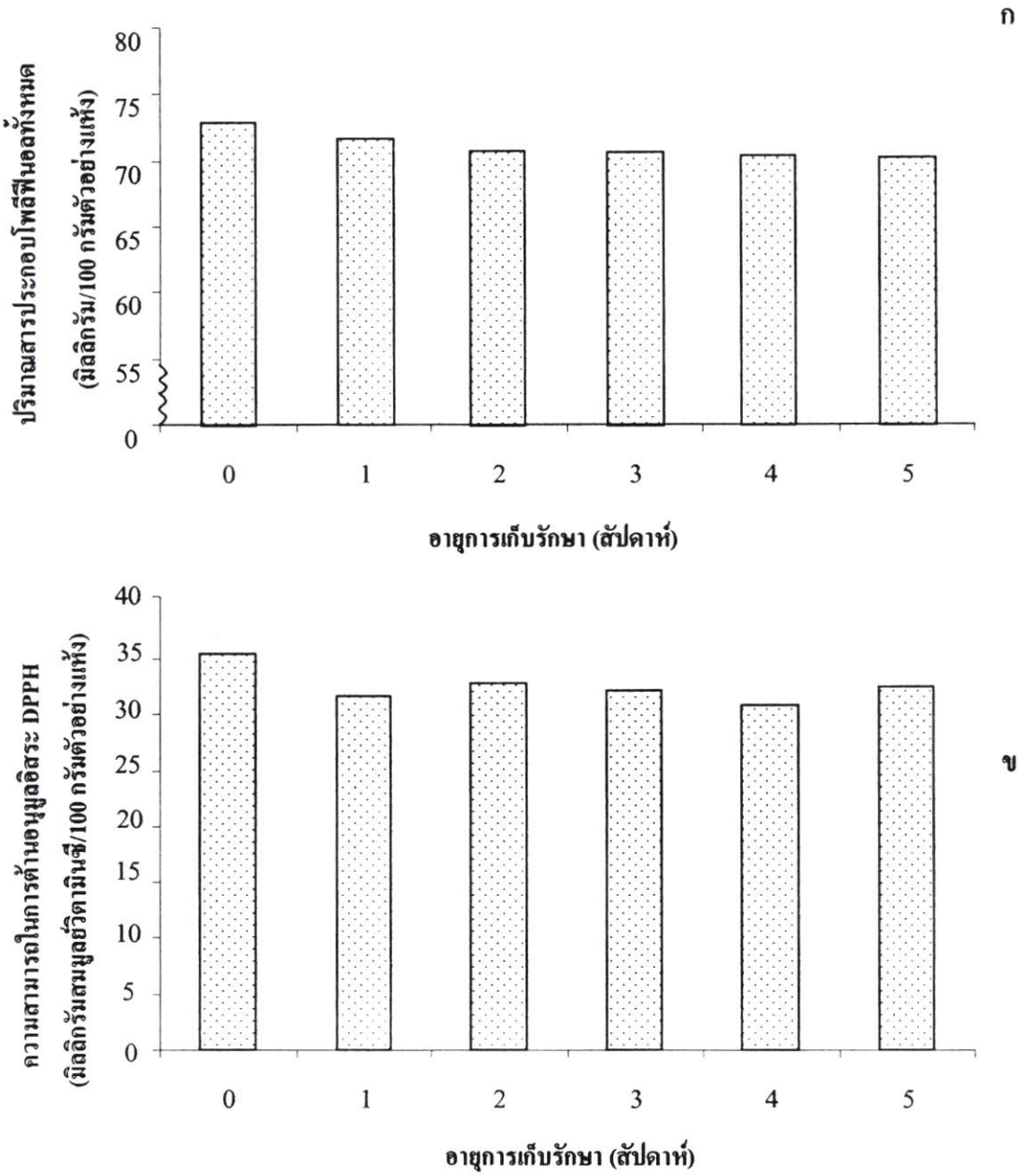
ภาพที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (ก) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ข) ของกล้วยตากในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทีลีนและปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยตากในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทีลีนและปิดผนึกที่สภาวะสุญญากาศผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ปริมาณและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยตากในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทีลีนและปิดผนึกที่สภาวะสุญญากาศ

การเก็บรักษา (สัปดาห์)	ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (มิลลิกรัมสมมูลย์วิตามินซี/100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด	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 ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (ก) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ข) ของกล้วยตากในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทีลีนและปิดผนึกที่สภาวะสุญญากาศ

จากตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยตากในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุถุงโพลีเอทิลีนและปิดผนึกที่สภาวะสุญญากาศ พบว่าปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของตัวอย่างกล้วยตากในระหว่างการเก็บรักษาตั้งแต่ 0 – 5 สัปดาห์ มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยตากที่บรรจุในถุงโพลีเอทีลีนและปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ (ตารางที่ 4.4)

ทั้งนี้เนื่องจาก ในการบรรจุแบบปิดผนึกที่สภาวะสุญญากาศนั้น มีการไล่ออกซิเจนออกจากระบบ ทำให้ภายในภาชนะบรรจุปราศจากออกซิเจนซึ่งเป็นต้นเหตุสำคัญของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

จากผลการทดลองทั้งหมดดังกล่าวข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการบรรจุกล้วยตากที่สภาวะสุญญากาศมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การสูญเสียปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในระหว่างการเก็บรักษาลดลงอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้เนื่องจากออกซิเจนที่เป็นปัจจัยสำคัญของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันถูกป้องกันไม่ให้สัมผัสกับผลิตภัณฑ์กล้วยตาก จึงเป็นการรักษาสารประกอบโพลีฟีนอลให้ยังคงอยู่ในปริมาณที่ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์กล้วยตากเริ่มต้น ซึ่งผลดังกล่าวทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยตากเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

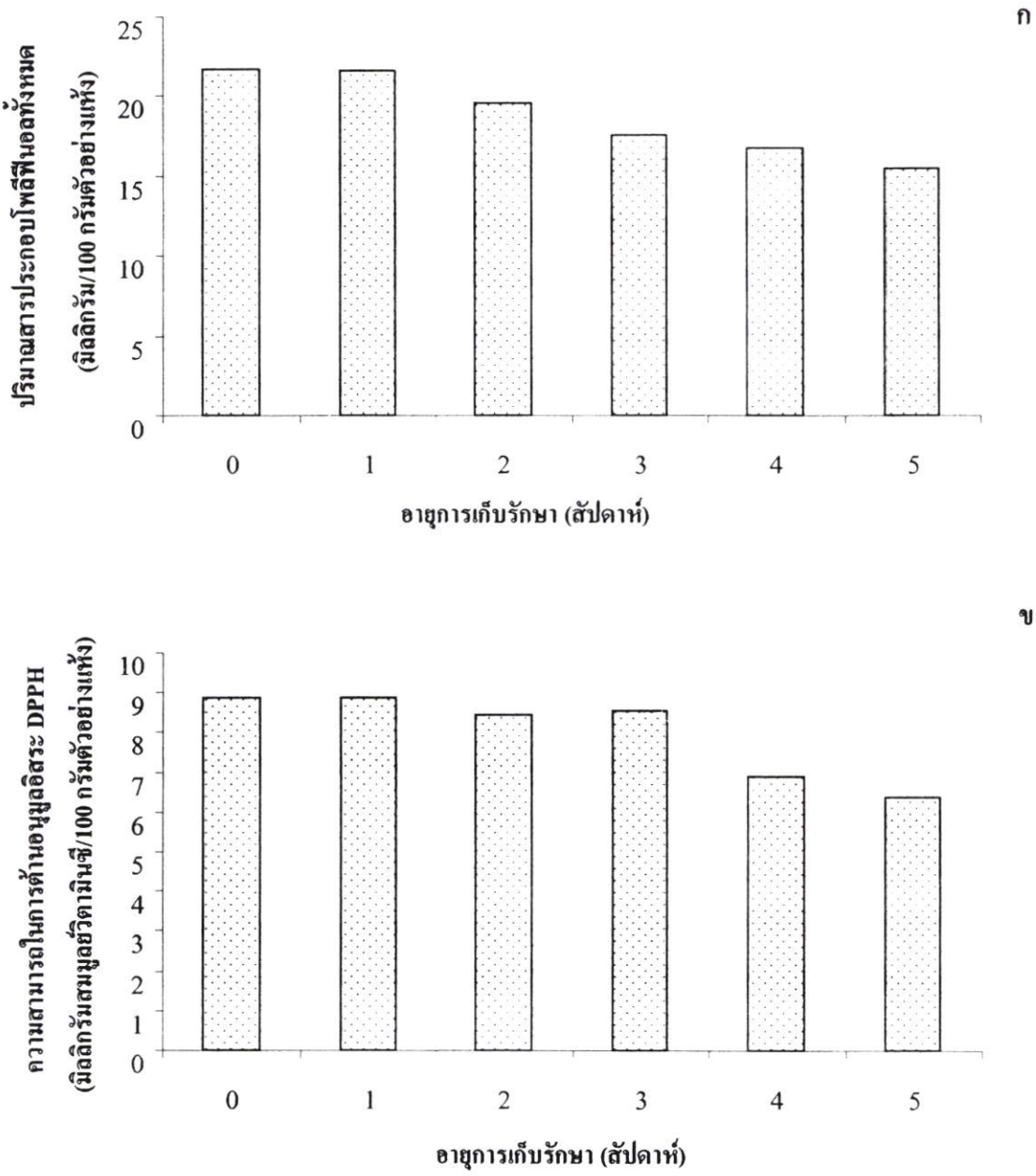
4.4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของผลิตภัณฑ์กล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างเก็บรักษา

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุถุงโพลีเอทิลีนและปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศโดยคำนวณปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด ในหน่วยของมิลลิกรัมกรดแกลลิค ต่อ 100 กรัมตัวอย่างแห้งและคำนวณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในหน่วยของมิลลิกรัมสมมูลย์วิตามินซีต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ปริมาณและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทีลีนและปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ

อายุการเก็บรักษา (สัปดาห์)	ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (มิลลิกรัมสมมูลย์วิตามินซี/100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH
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 ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (ก) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ข) ของกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทีลีนและปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.6 (ก) จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของกล้วยทอดกรอบผ่านบางในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทีลีนและปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยที่ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดเริ่มต้น

ในตัวอย่างกล้วยทอดกรอบแผ่นบางมีค่าเท่ากับ 21.68 ± 0.07 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง ลดลงเป็น 15.42 ± 0.20 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง หลังเก็บรักษาเป็นเวลา 5 สัปดาห์ ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเท่ากับ 28.88 เปอร์เซ็นต์ สาเหตุสำคัญอาจเนื่องมาจากกล้วยทอดกรอบแผ่นบางมีน้ำมันพืชเป็นองค์ประกอบอยู่ ดังนั้นเมื่อเก็บรักษาในภาชนะบรรจุถุงโพลีเอทีลีนในสภาวะบรรยากาศ ซึ่งไม่สามารถป้องกันการสัมผัสกับของออกซิเจนและแสงอันเป็นสาเหตุหลักของการเกิดปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันของไขมัน (lipid oxidation) และก่อให้เกิดอนุมูลอิสระมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลในการทำลายสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างการเก็บรักษาได้ นอกจากนี้ออกซิเจนยังทำให้เกิดออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกได้โดยตรงด้วย

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุถุงโพลีเอทีลีนและปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ ((ภาพที่ 4.6 (ข)) พบว่ามีแนวโน้มลดลงและเป็นไปในทิศทางเดียวกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด โดยมีค่าลดลงจาก 8.85 ± 0.01 มิลลิกรัมสมมูลย์วิตามินซี/100 กรัมตัวอย่างแห้ง เป็น 6.35 ± 0.04 มิลลิกรัมสมมูลย์วิตามินซี/100 กรัมตัวอย่างแห้งของกล้วยทอดกรอบแผ่นบางที่เก็บรักษานาน 5 สัปดาห์ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย มีค่าเท่ากับ 28.22 เปอร์เซ็นต์

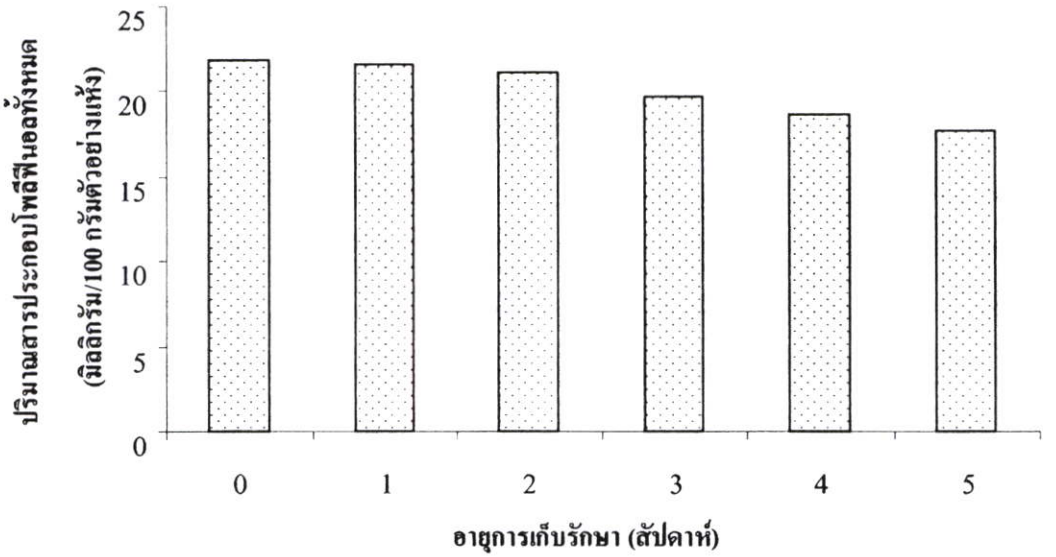
จากตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.7 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของของกล้วยตากในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุถุงโพลีเอทีลีนและปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ

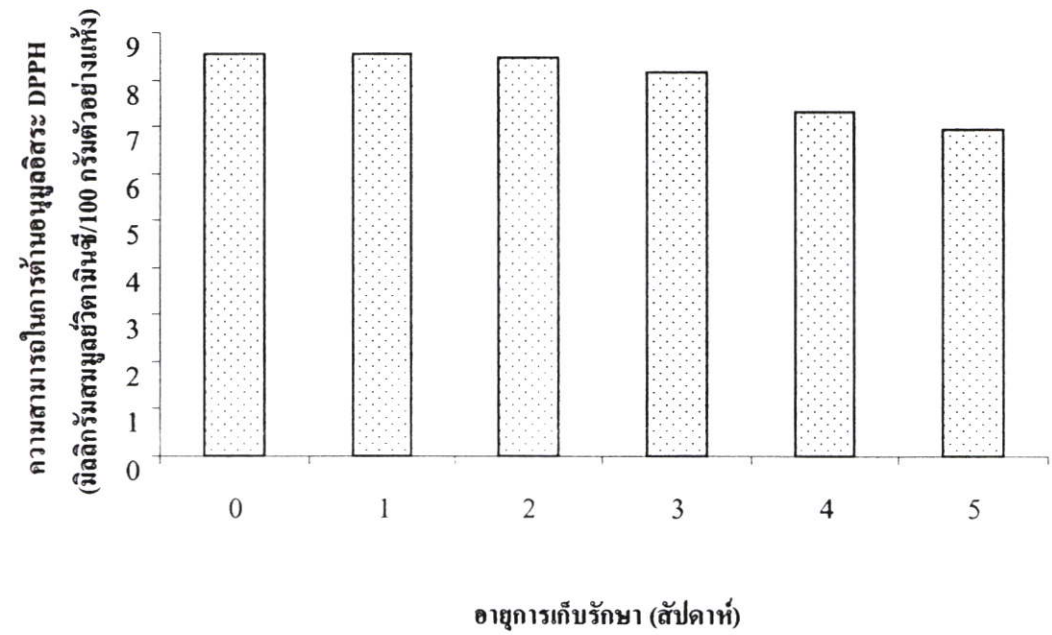
พบว่าปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างกล้วยทอดกรอบแผ่นบางที่เก็บรักษาในถุงโพลีเอทีลีน โดยมีค่าลดลงจาก 21.78 ± 0.17 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง เป็น 17.68 ± 0.03 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง ในตัวอย่างกล้วยทอดกรอบที่เก็บรักษานาน 5 สัปดาห์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียมีค่าเท่ากับ 18.85 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจาก การใช้ถุงอะลูมิเนียมฟอยด์เป็นภาชนะบรรจุนั้น สามารถป้องกันตัวอย่างสัมผัสกับแสงจึงสามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไขมันและสารประกอบฟีนอลิกได้บางส่วน อย่างไรก็ตามการบรรจุตัวอย่างภายใต้สภาวะความดันบรรยากาศยังคงมีออกซิเจนหลงเหลืออยู่ ซึ่งจะเป็นสาเหตุของปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและสารประกอบฟีนอลิกโดยตรง จึงยังส่งผลให้เกิดการสูญเสียปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างการเก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ได้

ตารางที่ 4.7 ปริมาณและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์และปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ

อายุการเก็บรักษา (สัปดาห์)	ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (มิลลิกรัมสมมูลย์วิตามินซี/100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ 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 : $^{a-d}$ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)





ภาพที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (ก) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ข) ของกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟลอยด์และปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ

ในทำนองเดียวกันเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงอะลูมิเนียม-ฟอยด์และปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ((ตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.7 (ข)) พบว่าการใช้ถุงอะลูมิเนียมฟอยด์เป็นภาชนะบรรจุส่งผลในการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยทอดกรอบแผ่นบางน้อยกว่าการใช้ถุงโพลีเอทีลีน โดยมีค่าลดลงจาก 8.55 ± 0.05 มิลลิกรัมสมมูลย์วิตามินซี/100 กรัมตัวอย่างแห้ง เป็น 6.90 ± 0.50 มิลลิกรัมสมมูลย์วิตามินซี/100 กรัมตัวอย่างแห้ง หลังจากเก็บรักษานาน 5 สัปดาห์ ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์สูญเสียมีค่าเพียง 19.28 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาผลการทดลองจากตารางที่ 4.6 – 4.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพ-ลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยทอดกรอบแผ่นบางที่บรรจุในถุงโพลีเอทิลีนและอะลูมิเนียมฟอยด์ ทำให้ทราบได้ว่าการบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์มีผลในการยับยั้งการสูญเสียสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เนื่องจากถุงอะลูมิเนียมฟอยด์มีลักษณะที่ทึบแสงและสามารถป้องกันออกซิเจนซึมผ่านได้ดีกว่าถุงโพลีเอทีลีน ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับน้ำมันหรือสารประกอบฟีนอลิกที่มีอยู่ภายในผลิตภัณฑ์กล้วยทอดกรอบแผ่นบาง

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากและกล้วยทอดกรอบแผ่นบางโดยกระบวนการแปรรูปกล้วยตากแบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ วิธีที่ 1 อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน (วันที่ 1 ใช้เวลาในการอบ 6 ชั่วโมง เละวันที่ 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 ทั้งนี้เนื่องมาจากผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการกระบวนการแปรรูปที่สูงกว่าและพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับออกซิเจนมากกว่านั้นเอง

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในตัวอย่างกล้วยตากที่บรรจุในภาชนะบรรจุ คือ ถุงโพลีเอทีลีนภายใต้ความดันบรรยากาศเปรียบเทียบกับการบรรจุแบบสุญญากาศโดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 สัปดาห์ พบว่า

ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยตากที่บรรจุแบบความดันบรรยากาศมีแนวโน้มลดลงในระหว่างการเก็บรักษามากกว่ากล้วยตากที่บรรจุแบบสุญญากาศ เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับ 19.15 และ 23.46 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างกล้วยตากที่บรรจุแบบสุญญากาศมีการสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในระหว่างการเก็บรักษาน้อยมาก ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์กล้วยตากในถุงโพลีเอทีลีนภายใต้สภาวะสุญญากาศสามารถช่วยลดการสูญเสียปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดี

สำหรับผลิตภัณฑ์กล้วยทอดกรอบแผ่นบางบรรจุในภาชนะบรรจุ 2 ชนิดคือ ถุงโพลีเอทีลีนและถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ ที่ความดันบรรยากาศและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 สัปดาห์ พบว่าปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างที่เก็บรักษาในถุงโพลีเอทีลีน มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเท่ากับ 28.88 และ 28.22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่กล้วยทอดกรอบแผ่นบางที่เก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเท่ากับ 18.85 และ 19.28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลการทดลองดังกล่าว จะเห็นว่า ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยทอดกรอบแผ่นบางที่เก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียที่น้อยกว่า จึงสรุปได้ว่าการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์กล้วยทอดกรอบแผ่นบางในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์สามารถช่วยลดการสูญเสียปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดีกว่าการเก็บรักษาในถุงโพลีเอทีลีน

5.2 ข้อเสนอแนะ

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

บรรณานุกรม

กลุ่มแม่บ้านเกษตรกรบ้านห้วยโจ้ จังหวัดเชียงใหม่. 2548. กล้วยอบ.[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www. siamvillage.net/gis/lable/product_province_amphur.html(14/05/2007).

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

ชุลีกร สินธพรัตนะ. 2548. ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกและเนื้อกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่างกัน. วิทยานิพนธ์ หลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

ธนัท อ้วนอ่อน. 2546. การปรับปรุงคุณภาพและกรรมวิธีการผลิตกล้วยตาก. วิทยานิพนธ์ หลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เบญจมาศ ศิลาย้อย. 2545. *กล้วย*. พิมพ์ครั้งที่ 3. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม และวันทนีย์ ช้างน้อย. 2545. การเปรียบเทียบสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและศักยภาพการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเมล็ดพืชตระกูลส้มสายพันธุ์ต่าง ๆ ที่ปลูกในประเทศไทย. *อาหาร*. 32(5) : 300-307.

พานิชย์ ยศปัญญา. 2541. กล้วยในเมืองไทย. มติชน. กรุงเทพฯ.

พรเพ็ญ ปัญจปิยะกุล และ นิภาพร โคเบลท์. 2548. การปรับปรุงการอบแห้งกล้วยน้ำว้า. การประชุมสัมมนาวิชาการอุตสาหกรรมเกษตรครั้งที่ 7: เทคโนโลยีอาหารก้าวไกลนำครัวไทยสู่ครัวโลก.วันที่ 22-24 มิถุนายน ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติไบเทค บางนา กรุงเทพมหานคร. 5 หน้า.

พรรณนีย์ วิชชาชู. 2537. กล้วยตากกระทุ่ม...วันนี้ไม่ต้องใช้แดดก็ได้. *วารสารส่งเสริมการเกษตร*. 24(6) : 10 – 14.

มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด , รัศมี ศุภศรี และ เนื้อทอง วลานุวัช. 2548. กล้วยอบเนย. *อาหาร*. 35(15) : 104-109.

ระดับความสุกของกล้วยหอมทอง 8 ระดับ http://www.postharvest.ucdavis.edu/Produce/ProduceFacts (4 / 07 / 2550).

รชฎ เชื้อวิโรจน์ และ เธียรชัย สันดุษฎี. 2532. ศึกษาและเปรียบเทียบการทำกล้วยตากด้วยเครื่องอบพลังแสงอาทิตย์กับการทำกล้วยตากด้วยตู้อบไฟฟ้า. *วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร*. 6(3) : 144 – 148.

วิวัฒน์ หวังเจริญ. 2545. บทบาทของสารประกอบฟีนอลต่อสุขภาพ. *อาหาร*. 32 (4) : 245 – 253.

วรนิธิ์ สมุทรวนิช. 2537. เล็บมือนางอบแห้งของดีจากหลังสวน. *เทคโนโลยีชาวบ้าน* : 6(2) : 25 – 28.

วัลยา เนาวรัตน์และพัชรี บุญศิริ. 2542. โปรออกซิแดนท์ : อีกโฉมหน้าของแอนติออกซิแดนท์. *วารสารวิทยาศาสตร์*. 53(3) : 196-198.

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.

Bravo, L. 1998. Polyphenols : chemistry, dietary sources, metabolism and nutritional significance. *Nutr. Rev.* 56 : 317-333.

Bruns, J., Gardner, P.T., O'Neil, J., Crawford, S., Morecroft, I. and 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.

Frankel, E.N. and Meyer, A.S. 2000. Review the problems of using one-dimensional methods to evaluate multifunctional food and biological antioxidants. *J. Sci. Food Agric.* 80 : 1925-1941.

John, P. and 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 . Nut.r* : 56 : 105 – 113.

Kananzawa, K. and 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 scaverging a free radical and its structural relationship. *J. Food Sci . Nutr.* 44 : 253-273.

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.

Murakami, M., Yamaguchi, T., Takamura, H. and Matoba, T. 2004. Effects of thermal treatment on radical-scavenging activity of single and mixed polyphenolic compounds. *J. Food Sci.* 69 : FCT7-FCT10.

Park, S.P., Jumg, S.T., Kang, S.G., Licon, E.F., Ayala, A.L.M., Tapia, M.A., Belloso, O.M., Trakhtonberk, 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. and Kelly, F.J. 1996. *Oxidants, antioxidants, and free radicals*. Washington D.C. : Taylor and Francis.

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. and Kadam, S.S. 1995. *Handbook of fruit science and technology*. New York: Oxford University press, Inc. 611 p.

Someya, S., Yoshiki, Y. and Okubo, K. 2002. Antioxidant compounds from banana (Musa Cavendish). *Food Chem.* 79 : 351-354.

Stover, R.H. and Simmond, N.W. 1987. *Bananas*. New York: John Wiley and Sons. 468p.

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., 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, 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.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ pH และปริมาณของแข็งทั้งหมด

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในตัวอย่างกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่างกัน (AOAC, 2000)

1) อุปกรณ์

1.1 เครื่อง spectrophotometer

1.2 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath)

1.3 หลอดทดลอง

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 เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 กรัมและใช้แท่งแก้วคนให้ละลาย

3.3 เติมโพแทสเซียม โซเดียมทาร์เทรท 75 กรัม คนให้ละลาย

3.4 เติมกรด 3,5 – ไดไนโตรซาลิไซลิก 0.25 กรัม คนให้ละลาย

3.5 เทสารละลายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ถึงขีด

4) วิธีวิเคราะห์

4.1 ชั่งตัวอย่างกล้วยน้ำว้า 50 กรัม นำไปปั่นกับน้ำกลั่นปริมาณ 100 มิลลิลิตร ด้วยเครื่องปั่นที่ความเร็วสูงสุดนาน 1 นาที

4.2 นำสารละลายที่ได้ไปกรองและวัดปริมาตร

4.3 ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร และสารละลาย DNS 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง

4.4 นำไปต้มในอ่างน้ำเดือดนาน 5 นาที

4.5 หลังจากครบกำหนดเวลา หลอดทดลองแช่ลงในอ่างน้ำเย็นและทำให้เย็นลงทันที

4.6 เติมน้ำกลั่นลงในหลอดทดลองอีกหลอดละ 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

4.7 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร

4.8 บันทึกผลการทดลอง

5) การเตรียมกราฟมาตรฐาน

5.1 ปิเปตสารละลายมาตรฐานกลูโคส 0.1 – 1.0 มิลลิลิตร (ความเข้มข้น 1 กรัม/1 ลิตร) ลงในหลอดทดลองปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้แต่ละหลอดมีปริมาตรเป็น 1 มิลลิลิตร

5.2 ปิเปตสารละลาย DNS 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง

5.3 นำไปต้มในอ่างน้ำเดือดนาน 5 นาที

5.4 หลังจากครบกำหนดเวลา ให้นำหลอดทดลองแช่ลงอ่างน้ำเย็นและทำให้เย็นลงทันที

5.5 เติมน้ำกลั่นลงในหลอดทดลองอีกหลอดละ 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

5.6 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร

5.7 บันทึกผลการทดลองและนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟมาตรฐาน

การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดและค่า pH(AOAC, 2000)

นำตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อที่ 4.1 นำมาวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดโดย reflactometerc และค่า PH โดย pH-meter

ตารางที่ ก1 ลักษณะทางเคมีบางประการของกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่างกัน

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

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

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

1.6 ช้อนตักสาร

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 คำนวณหาปริมาณความชื้นโดยใช้สูตร

$$\text{ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ})}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

ตารางที่ ข1 ปริมาณความชื้นในตัวอย่างกล้วยน้ำว้าระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 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 อบเป็นเวลาเป็นเวลา 3 ชั่วโมง	46.51 ± 1.09
6-แช่กล้วยในน้ำเกลือ ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์	48.94 ± 3.07
7-วันที่ 3 อบเป็นเวลาเป็นเวลา 4 ชั่วโมง	35.39 ± 1.11
8-ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 12 ชั่วโมง	35.42 ± 2.22
10-วันที่ 4 อบเป็นเวลาเป็นเวลา 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 : หมายเลขกำกับขั้นตอนสอดคล้องกับหมายเลขที่ระบุในแผนภูมิ ภาพที่ 3.1

ตารางที่ ข2 ปริมาณความชื้นในตัวอย่างกล้วยน้ำว้าระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากที่ 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 : หมายเลขกำกับขั้นตอนสอดคล้องกับหมายเลขที่ระบุในแผนภูมิ ภาพที่ 3.2

ตารางที่ ข3 ปริมาณความชื้นในตัวอย่างกล้วยน้ำว้าระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง

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

หมายเหตุ : หมายเลขกำกับขั้นตอนสอดคล้องกับหมายเลขที่ระบุในแผนภูมิ ภาพที่ 3.3

ภาคผนวก ค
การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

การวิเคราะห์ปริมาณไขมันในตัวอย่างกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง (AOAC. 2000)

การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (ether extract หรือ crude fat) ซึ่งรวมไปถึงฟอสฟอลิปิดและสเตอรอล แล้วยังรวมถึงเม็ดสีที่ละลายได้ในไขมันน้ำมันที่จำเป็น (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 ช้อนตักสาร

2) วิธีการทดลอง

2.1 ชั่งตัวอย่างที่อบแห้งแล้ว 10 กรัมในทิมเบิล ปิดด้านบนของตัวอย่างด้วยสำลี หรือกระดาษกรองป้องกันการฟุ้งกระจายของตัวอย่าง

2.2 บรรจุทิมเบิลในชุดสกัดไขมันโดยทิมเบิลอยู่ในหลอดสกัด (extraction thimble) ซึ่งด้านบนต่อกับคอนเดนเซอร์ (condenser) ส่วนด้านล่างต่อกับขวดก้นกลม (round – bottom flask) ชนิด 2 หรือ 3 คอ

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

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

2.5 เตรียมบีกเกอร์แห้งสะอาด ทราบน้ำหนักมาก่อนสำหรับชั่งน้ำมันที่สกัดได้ ในกรณีที่ปริมาณน้ำมันน้อยให้ชั่งน้ำมันที่สกัดได้ในภาชนะเดิม

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

ตารางที่ ค1 ปริมาณไขมันในตัวอย่างกล้วยน้ำว้าระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง

ขั้นตอนการแปรรูป	ไขมัน (เปอร์เซ็นต์)
1-กล้วยน้ำว้า (ระดับความสุก 1)	0.26 ± 1.25
2-นึ่งกล้วยน้ำว้าทั้งเปลือกด้วยไอน้ำ 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 : หมายเลขกำกับขั้นตอนสอดคล้องกับหมายเลขที่ระบุในแผนภูมิ ภาพที่ 3.3

ภาคผนวก ง
การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด

การวิเคราะห์สารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (Total Polyphenol contents) (ประพันธ์และวันทนีย์, 2545)

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 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 730 นาโนเมตร

2.6 เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณกรดแกลลิกในหน่วยไมโครกรัม

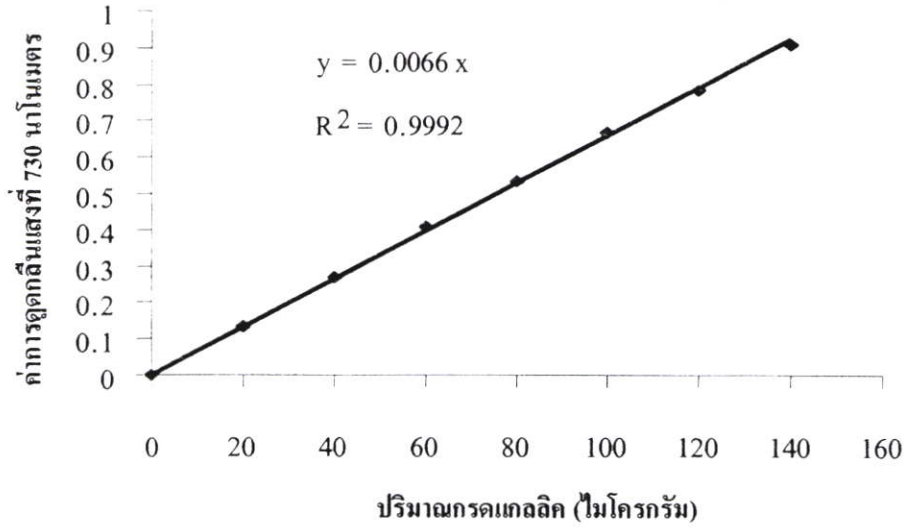
3) การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างสารสกัด

3.1 ปิเปตตัวอย่างสกัด ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาตรรวมเป็น 10 มิลลิลิตร

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

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

3.4 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 730 นาโนเมตร โดยใช้น้ำกลั่นเป็น blank



ภาพที่ ง1 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ 730 นาโนเมตรกับปริมาณกรดแกลลิค

ตัวอย่างการคำนวณ

สารสกัดตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 1 ในขั้นตอนอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในวันที่1 ที่เวลาในการอบแห้งชั่วโมงที่ 0 บิกเกอร์ที่ 1 โดยใช้ปริมาตรสารสกัดตัวอย่างกล้วยน้ำว้า 0.5 มิลลิลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 730 นาโนเมตร ครั้งที่ 1 ได้ 0.12

จากกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิค ดังภาพ ที่ ง1 ได้สมการเส้นตรง

$y = 0.0066x$, $R^2 = 0.9992$

แทนค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่างกล้วยน้ำว้าที่วัดได้ในสมการ $y = 0.0066x$

จะได้ $x = 0.12 / 0.0066$

$= 18.1818$ ไมโครกรัม / 0.5 มิลลิลิตร

$= 18.1818 \times 10^{-3}$ มิลลิกรัม / 0.5 มิลลิลิตร

$= ((18.1818 \times 10^{-3}) \times 100)/0.5$ มิลลิกรัม / 100 มิลลิลิตร

$= 3.6363$ มิลลิกรัม / 100 มิลลิลิตร

จากการเตรียมสารสกัดตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในข้อที่ 3.5.2 สารสกัด 100 มิลลิลิตรจะมีปริมาณตัวอย่างอยู่ในสารสกัด 5 กรัมตัวอย่างแห้ง ดังนั้นจากค่าที่คำนวณได้จะมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดเท่ากับ 3.6363 มิลลิกรัม / 5 กรัมตัวอย่างแห้ง

ตัวอย่างแห้ง 5 กรัม	มีสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด	3.6363 มิลลิกรัม
ตัวอย่างแห้ง 100 กรัม	มีสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด	(3.6363 x 100) / 5
		= 72.7260 มิลลิกรัม

ดังนั้นในตัวอย่างสารสกัดกล้วยน้ำว้าระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 1 โดยอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส วันที่1 ที่เวลาในการอบแห้งชั่วโมงที่ 0 บิกเกอร์ที่ 1 การวัดค่าดูดกลืนแสงครั้งที่ 1 จะมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดเท่ากับ 72.73 มิลลิกรัม / 100 กรัมตัวอย่างแห้ง

ภาคผนวก จ
การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH จะใช้วิธีที่รายงานโดย Murakami และคณะ (2004) โดยมีหลักการคือ สารละลายของอนุมูลอิสระ DPPH จะมีสีม่วงแดง ซึ่งดูดกลืนแสงได้ที่ 517 นาโนเมตร ในกรณีตัวอย่างสารสกัดที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระได้ดี จะทำให้สีม่วงแดงของสารละลาย DPPH จางลงได้มากกว่าตัวอย่างสารสกัดที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระได้น้อย

1) สารเคมี

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

1.2 เอธานอล ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์

2) วิธีการวิเคราะห์

2.1 ปิเปตสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.8 มิลลิโมลาร์ จำนวน 0.6 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง

2.2 ปิเปตตัวอย่างสารสกัด และเอธานอล ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยให้ปริมาตรของสารละลายที่ทำปฏิกิริยารวมทั้งหมดเป็น 6.0 มิลลิลิตร นั่นคือปริมาตรรวมของตัวอย่างสารสกัดและเอธานอล จะต้องเท่ากับ 5.4 มิลลิลิตร

2.3 ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที

2.4 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร โดยใช้เอธานอลความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์เป็น blank

2.5 คำนวณเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ(% inhibition) โดยแทนค่าในสมการดังนี้

เปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ =

{1 – (ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง / ค่าการดูดกลืนแสงของหลอดควบคุม)} x 100

2.6 คำนวณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในหน่วยของ มิลิกรัมสมมูลย์วิตามินซี / 100 กรัมตัวอย่างแห้ง

3. วิธีการเตรียมกราฟมาตรฐานวิตามินซี

3.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานวิตามินซีความเข้มข้น 50 ไมโครกรัม / มิลลิลิตร

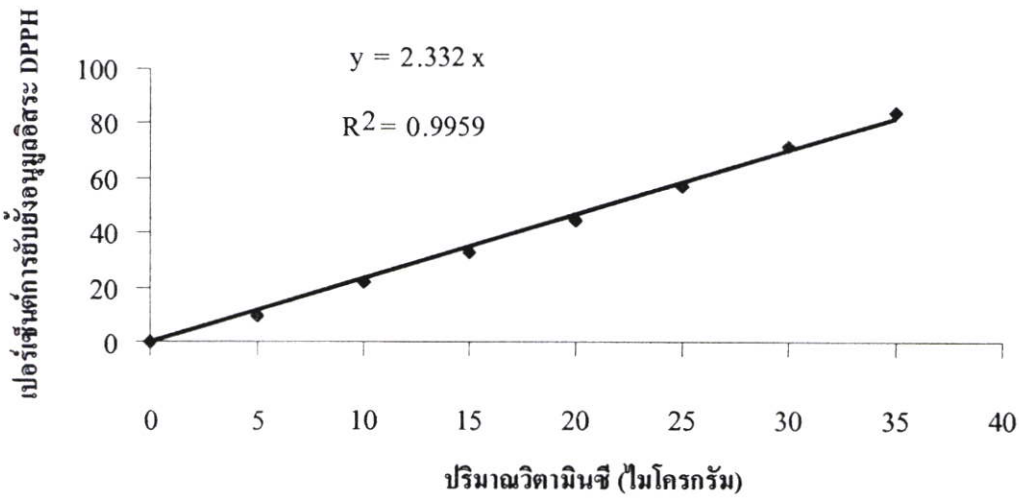
3.2 ปิเปตสารละลายมาตรฐานดังกล่าวใส่ในหลอดทดลองหลอดละ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 และ 0.7 มิลลิลิตร (จะได้ความเข้มข้นของสารละลาย 5, 10, 15, 20, 25, 30 และ35 ไมโครกรัม / มิลลิลิตร) ปรับปริมาตรด้วยเอธานอลความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ให้เป็น 5.4 มิลลิลิตร

3.3 ปิเปตสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.8 มิลลิโมลาร์ จำนวน 0.6 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง

3.4 ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที

3.5 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร โดยใช้เอธานอลความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์เป็น blank

3.6 คำนวณเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ(% inhibition) โดยแทนค่าในสมการ



ภาพที่ จ1 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณวิตามินซีและเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH

ตัวอย่างการคำนวณ

จากตัวอย่างสารสกัดกล้วยน้ำว้าระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 1 โดยอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส วันที่1 ที่เวลาในการอบแห้งชั่วโมงที่ 0 บิกเกอร์ที่ 1 โดยใช้ปริมาตรสารสกัดกล้วยน้ำว้า 0.5 มิลลิลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร ครั้งที่ 1 ได้ 0.545 และค่าการดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาควบคุม (control) ได้ 0.774

จากการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ตามวิธีในข้อที่ 5.3.4 จะได้

เปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH $= (1 - (A_{517\ sample} / A_{517\ control})) \times 100$

$= (1 - (0.545 / 0.774)) \times 100$

$= 29.59$

จากกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณวิตามินซีและเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ดังภาพที่ จ1 ซึ่งได้สมการเส้นตรง $y = 2.332x$, $R^2 = 0.9959$

แทนเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ที่ได้ในสมการ $y = 2.332x$

จะได้ x = 29.59 / 2.332

= 12.6887 ไมโครกรัมสมมูลย์วิตามินซี

= 12.6887 x 10^{-3} มิลลิกรัมสมมูลย์วิตามินซี

= ((12.6887 x 10^{-3}) / 0.5) x 100 มิลลิกรัมสมมูลย์วิตามินซี /100 มิลลิลิตร

= 2.5377 มิลลิกรัมสมมูลย์วิตามินซี /100 มิลลิลิตร

จากการเตรียมสารสกัดตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในข้อที่ 3.5.2 สารสกัด 100 มิลลิลิตรจะมีปริมาณตัวอย่างกล้วยน้ำว้าอยู่ในสารสกัด 5 กรัมตัวอย่างแห้ง ดังนั้นจากค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ที่คำนวณได้จะมีค่าเท่ากับ 3.6363 มิลลิกรัม / 5 กรัมตัวอย่างแห้ง

ตัวอย่างแห้ง 5 กรัม เมื่อเทียบเป็นปริมาณวิตามินซี	2.5377 มิลลิกรัมสมมูลย์วิตามินซี
ตัวอย่างแห้ง 100 กรัม เมื่อเทียบเป็นปริมาณวิตามินซี	= (2.5377 x 100) / 5
	= 50.674 มิลลิกรัมสมมูลย์วิตามินซี

ดังนั้นในตัวอย่างสารสกัดกล้วยน้ำว้าระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 1 โดยอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส วันที่ 1ที่เวลาในการอบแห้งชั่วโมงที่ 0 บิกเกอร์ที่ 1 การวัดค่าดูดกลืนแสงครั้งที่ 1 มีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เมื่อเทียบเป็นปริมาณวิตามินซี เท่ากับ 50.67 มิลลิกรัมสมมูลย์วิตามินซี / 100 กรัมตัวอย่างแห้ง

ภาคผนวก ฉ

ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ

ตารางที่ ฉ1 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 1

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	6313.809	10	631.381	219.390	.000
Intercept	257514.252	1	257514.252	89480.230	.000
TREATMENT	6276.324	9	697.369	242.320	.000
BLOCK	37.484	1	37.484	13.025	.001
Error	141.017	49	2.878		
Total	263969.077	60			
Corrected Total	6454.825	59			

a R Squared = .978 (Adjusted R Squared = .974)

ตารางที่ ฉ2 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 1

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2963.659	10	296.366	49.383	.000
Intercept	68010.688	1	68010.688	11332.603	.000
TREATMENT	2907.786	9	323.087	53.836	.000
BLOCK	55.874	1	55.874	9.310	.004
Error	294.065	49	6.001		
Total	71268.413	60			
Corrected Total	3257.725	59			

a R Squared = .910 (Adjusted R Squared = .891)

ตารางที่ ฉ3 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 2

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	309.480	5	61.896	6.448	.001
Intercept	154844.372	1	154844.372	16131.982	.000
BLOCK	139.523	1	139.523	14.536	.001
TREATMENT	169.957	4	42.489	4.427	.008
Error	230.366	24	9.599		
Total	155384.218	30			
Corrected Total	539.847	29			

a R Squared = .573 (Adjusted R Squared = .484)

ตารางที่ ฉ4 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยตากวิธีที่ 2

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	6962.927	5	1392.585	65.287	.000
Intercept	83210.590	1	83210.590	3901.062	.000
BLOCK	84.727	1	84.727	3.972	.058
TREATMENT	6878.200	4	1719.550	80.616	.000
Error	511.926	24	21.330		
Total	90685.443	30			
Corrected Total	7474.853	29			

a R Squared = .932 (Adjusted R Squared = .917)

ตารางที่ ฉ5 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	6970519.555	6	1161753.259	513.848	.000
Intercept	8993334.567	1	8993334.567	3977.789	.000
TREATMENT	6923545.925	5	1384709.185	612.463	.000
BLOCK	46973.630	1	46973.630	20.777	.000
Error	65565.748	29	2260.888		
Total	16029419.869	36			
Corrected Total	7036085.302	35			

a R Squared = .991 (Adjusted R Squared = .989)

ตารางที่ ฉ6 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในระหว่างกระบวนการแปรรูปกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	42579031.245	6	7096505.207	2176.050	.000
Intercept	35249029.958	1	35249029.958	10808.652	.000
TREATMENT	42533866.612	5	8506773.322	2608.490	.000
BLOCK	45164.633	1	45164.633	13.849	.001
Error	94574.412	29	3261.187		
Total	77922635.614	36			
Corrected Total	42673605.657	35			

a R Squared = .998 (Adjusted R Squared = .997

ตารางที่ ฉ7 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของกล้วยตากในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทีลีนปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	599.654	5	119.931	1649.744	.000
Intercept	64273.800	1	64273.800	884136.862	.000
WEEK	599.654	5	119.931	1649.744	.000
Error	.872	12	0.0073		
Total	64874.327	18			
Corrected Total	600.527	17			

a R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .998)

ตารางที่ ฉ8 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยตากในระหว่าง การเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทีลีนปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	147.569	5	29.514	12.969	.000
Intercept	15296.079	1	15296.079	6721.470	.000
WEEK	147.569	5	29.514	12.969	.000
Error	27.308	12	2.276		
Total	15470.956	18			
Corrected Total	174.878	17			

a R Squared = .844 (Adjusted R Squared = .779)

ตารางที่ ฉ9 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของกล้วยตากในระหว่าง การเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทีลีนปิดผนึกที่ที่สภาวะสุญญากาศ

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	15.162	5	3.032	33.331	.000
Intercept	91065.325	1	91065.325	1000969.632	.000
WEEK	15.162	5	3.032	33.331	.000
Error	1.092	12	0.091		
Total	91081.578	18			
Corrected Total	16.253	17			

a R Squared = .933 (Adjusted R Squared = .905)

ตารางที่ ฉ10 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยตากในระหว่าง การเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทีลีนปิดผนึกที่สภาวะสุญญากาศ

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	14.114	5	2.823	70.142	.000
Intercept	21234.737	1	21234.737	527632.164	.000
WEEK	14.114	5	2.823	70.142	.000
Error	.483	12	0.04		
Total	21249.335	18			
Corrected Total	14.597	17			

a R Squared = .967 (Adjusted R Squared = .953)

ตารางที่ ฉ11 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทีลีนปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	102.558	5	20.512	1230.128	.000
Intercept	6332.861	1	6332.861	379795.121	.000
WEEK	102.558	5	20.512	1230.128	.000
Error	.200	12	0.017		
Total	6435.619	18			
Corrected Total	102.758	17			

a R Squared = .998 (Adjusted R Squared = .997)

ตารางที่ ฉ12 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่าง การเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงโพลีเอทีลีนปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	17.666	5	3.533	1377.740	.000
Intercept	1149.663	1	1149.663	448296.873	.000
WEEK	17.666	5	3.533	1377.740	.000
Error	3.077E-02	12	0.00026		
Total	1167.360	18			
Corrected Total	17.697	17			

a R Squared = .998 (Adjusted R Squared = .998)

ตารางที่ ฉ13 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ผนึกที่ความดันบรรยากาศ

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	43.065	5	8.613	545.921	.000
Intercept	7244.513	1	7244.513	459184.127	.000
WEEK	43.065	5	8.613	545.921	.000
Error	.189	12	0.016		
Total	7287.767	18			
Corrected Total	43.254	17			

a R Squared = .996 (Adjusted R Squared = .994)

ตารางที่ ฉ14 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยทอดกรอบแผ่นบางนระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศ

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	7.454	5	1.491	501.185	.000
Intercept	1147.746	1	1147.746	385831.542	.000
WEEK	7.454	5	1.491	501.185	.000
Error	3.570E-02	12	0.003		
Total	1155.237	18			
Corrected Total	7.490	17			

a R Squared = .995 (Adjusted R Squared = .993)

ภาพที่ ช1 ผลิตภัณฑ์กล้วยตากที่ได้จากการแปรรูปโดยวิธีที่ 1

ภาพที่ ช2 ผลิตภัณฑ์กล้วยตากที่ได้จากการแปรรูปโดยวิธีที่ 2

ภาพที่ ช3 ผลิตภัณฑ์กล้วยทอดกรอบแผ่นบาง

ภาคผนวก ซ

ภาพการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์กล้วยตากและกล้วยทอดกรอบแผ่นบาง

ภาพที่ ซ1 ผลิตภัณฑ์กล้วยตากบรรจุถุงโพลีเอทีลีนที่ความดันบรรยากาศ

ภาพที่ ซ2 ผลิตภัณฑ์กล้วยตากบรรจุถุงโพลีเอทีลีนที่ความดันสุญญากาศ

ภาพที่ ซ3 ผลิตภัณฑ์กล้วยทอดกรอบแผ่นบางบรรจุถุงโพลีเอทีลีน

ภาพที่ ซ4 ผลิตภัณฑ์กล้วยทอดกรอบแผ่นบางบรรจุถุงอะลูมิเนียมฟอยด์

ประวัติผู้เขียน

นายรามราช หมื่นศรีธาราม เกิดวันที่ 30 มีนาคม พ.ศ. 2524 อ. เมือง จ. ราชบุรี สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตบางพระ ชลบุรี เมื่อปี พ.ศ. 2546 และศึกษาต่อระดับวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2550