



T096988

## ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและสมบัติการต้าน

อนุมูลอิสระของกล้วยพันธุ์ต่างๆ

( Total polyphenol contents and antiradical properties of different varieties of banana )

โดย

นาย สาทิต นิลนวิรัตน์ รหัสนักศึกษา 44040160

นางสาว สาทิตริ พุ่มเพ็ชร รหัสนักศึกษา 44040161

โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร

Faculty of Agricultural Industry

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

King Mongkut's Institute of Technology

เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Ladkrabang

กรุงเทพฯ 10520

Bangkok 10520 Thailand

พ.พ.

๙๖๘๒๗

๒๕๔๗

เลขหมู่.....96988.....  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
เลขทะเบียน.....  
วันเดือนปี..... 5 JUN 2009



## ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของกล้วยพันธุ์ต่างๆ

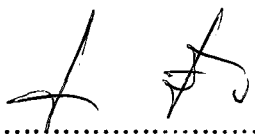
(Total polyphenol contents and antiradical properties of different varieties of banana)

จัดทำโดย

นาย สาริต นิลนวรรณ์ รหัสประจำตัว 44040160

นางสาว สาวตรี พุ่มเพชร รหัสประจำตัว 44040161

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

  
.....

(ผศ.ดร. ประพันธ์ ปินศิริโรดม)

24 / 3 / 2548

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและสมบัติการต้าน  
อนุมูลอิสระของกล้วยพันธุ์ต่างๆ  
(Total polyphenol contents and antiradical properties of  
different varieties of banana )**



**รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2547**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นายสาธิต นิลนวรรตน์ และ นางสาว สาวิตรี พุ่มเพ็ชร : ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของกล้วยพันธุ์ต่างๆ (Total polyphenol contents and antiradical properties of different varieties of banana )

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิริโรคม

### บทคัดย่อ

จากการศึกษาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วย 4 สายพันธุ์ คือ กล้วยน้ำว้า , กล้วยหอม , กล้วยไข่ และกล้วยหักมุก ที่ระดับความสุก 1 และ 5 พบว่าในตัวอย่างเปลือกกล้วยจะมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงกว่า ตัวอย่างเนื้อกล้วยทุกสายพันธุ์ และปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับความสุกเพิ่มขึ้น

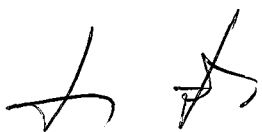
การทดลองสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของกล้วย 4 สายพันธุ์ คือ กล้วยน้ำว้า , กล้วยหอม , กล้วยไข่ และกล้วยหักมุก พบว่าสารสกัดจากเปลือกกล้วย มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่าสารสกัดจากเนื้อกล้วยทุกสายพันธุ์และมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระลดลงเมื่อระดับความสุกเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดกล่าวคือ ตัวอย่างเนื้อหรือเปลือกกล้วยที่มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงจะมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงด้วย

..... สัจฉิลา นิลนวรรตน์

ลายมือชื่อนักศึกษา

..... สาธิต พุ่มเพ็ชร

ลายมือชื่อนักศึกษา



ลายมืออาจารย์ที่ปรึกษา

..... ๒๔, 3, ๒๕๔๘

วัน/เดือน/ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

การทำปัญหาพิเศษในหัวข้อเรื่อง ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและสมบัติ การต้านอนุมูลอิสระของกล้วยพันธุ์ต่างๆ สำเร็จลงได้ด้วยดี ทั้งนี้ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิริโรคม ซึ่งได้ให้ความกรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษตลอดเวลาอันมีค่า ให้คำแนะนำ และชี้แนวทางในการทำปัญหาพิเศษ

ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ตั้งแต่ปี 1 - 4 เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในปัญหาพิเศษเล่มนี้ ขอขอบคุณพี่ๆนักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ทุกคนที่เต็มใจที่คอยดูแลในการปฏิบัติการ การทดลองตลอดมา

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ใส่ใจและให้กำลังใจตลอดมา และขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ ให้สถานที่พักพิง และคอมพิวเตอร์ในการจัดทำรูปเล่มปัญหาพิเศษที่จัดทำเสมอมา

คณะผู้จัดทำ

21 มีนาคม 2548

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญภาพ	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์	2
- 2.1 ประวัติกล้วยในประเทศไทย	2
- 2.2 รูปร่างและลักษณะของกล้วย	2
- 2.3 คุณค่าอาหารของผลกล้วย	5
- 2.4 การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วย	7
- 2.5 อนุมูลอิสระ	11
- 2.6 สมบัติของสารแอนติออกซิเจนต์	13
- 2.7 สารประกอบฟีนอล	14
- 2.8 คุณสมบัติการเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอล	15
- 2.9 ความคงตัวของสารประกอบฟีนอลในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน	17
- 2.10 สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในกล้วย	18
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง	
- 3.1 วัสดุ	20
- 3.2 อุปกรณ์	20
- 3.3 สารเคมี	20
- 3.4 วิธีการทดลอง	21
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	
- 4.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในเปลือกและเนื้อมีกล้วยพันธุ์ต่างๆ	23
- 4.2 การศึกษาสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากเปลือกและเนื้อมีกล้วยพันธุ์ต่างๆ	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	
- 5.1 สรุปผลการทดลอง	35
เอกสารอ้างอิง	36
ภาคผนวก	
- ภาคผนวก ก	38
- ภาคผนวก ข	40
- ภาคผนวก ค	46



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมี แร่ธาตุ และปริมาณวิตามินของผลกล้วยพันธุ์ต่างๆ เป็นกรัมต่อ น้ำหนักสดผลสุก 100 กรัม	6
ตารางที่ 2.2 ชนิดและปริมาณของสารประกอบฟีนอลในส่วนต่างๆ ของพืช	16
ตารางที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์ความชื้นและปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างเปลือกและเนื้อกล้วยพันธุ์ต่างๆ ที่ระดับความสุก 1 และ 5	24
ตารางที่ 4.2 ปริมาณของแข็งแห้งในสารสกัดที่ได้และปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างเปลือกและเนื้อกล้วยพันธุ์ต่างๆ ที่ระดับความสุก 1 และ 5	27
ตารางที่ 4.3 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดจากเปลือกและเนื้อกล้วยพันธุ์ต่างๆที่ระดับความสุก 1 และ 5	30

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 การแบ่งระดับการสุกของกล้วย	10
รูปที่ 2.2 หลักการหาขีดความสามารถของสารแอนติออกซิแดนซ์ในการเป็นตัว ค้ำอนุมูลอิสระ	14
รูปที่ 2.3 โครงสร้างพื้นฐานและการระบุตำแหน่งคาร์บอนอะตอม ในโมเลกุลฟลาโวนอยด์	15
รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของโคพามีน	18
รูปที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของแกดโลแคทีซิน	19
รูปที่ 4.1 กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณ สารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด	23
รูปที่ 4.2 ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดใน 100 กรัม ตัวอย่างเปียก ของเนื้อกล้วยพันธุ์ต่างๆที่ระดับความสุก 1 และ 5	25
รูปที่ 4.3 ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดใน 100 กรัม ตัวอย่างแห้ง ของเนื้อกล้วยพันธุ์ ต่างๆที่ระดับความสุก 1 และ 5	26
รูปที่ 4.4 ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดต่อ 1 กรัมของแข็งแห้ง ในสารสกัดจากกล้วยพันธุ์ต่างๆ ที่ระดับความสุก 1 และ 5	28
รูปที่ 4.5 ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดจาก เนื้อและเปลือกกล้วยสายพันธุ์ต่างๆที่ระดับความสุกที่ 1 และ 5	31
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดกับ เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างสารสกัด จากเนื้อและเปลือกกล้วยทุกพันธุ์	33
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดกับ เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างสารสกัด จากเนื้อและเปลือกกล้วยทุกพันธุ์ที่มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล ทั้งหมดน้อยกว่า 60 มิลลิกรัมต่อ 1 กรัมของแข็งแห้ง	34

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 บทนำ

ในภาวะปัจจุบันที่คนหันมาใส่ใจสุขภาพมากขึ้น โดยการรับประทานอาหารพวกผัก-ผลไม้ ซึ่งอุดมไปด้วยสารประกอบโพลีฟีนอลมากมาย โดยสารประกอบโพลีฟีนอลเหล่านั้นมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ(antioxidant) ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระนี้มีสมบัติต่างๆ ที่มีประโยชน์อันได้แก่ การป้องกันหรือการชะลอความชรา การป้องกันและลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจหรือโรคมะเร็ง ความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรีย เป็นต้น แต่ปริมาณและชนิดของสารประกอบโพลีฟีนอลนั้น มีแตกต่างกันในผัก-ผลไม้แต่ละชนิด

กล้วยเป็นพืชที่ปลูกง่ายและขึ้นดีทุกภาคของประเทศไทยให้ผลตลอดทั้งปี ราคาถูก เป็นผลไม้ที่คนไทยนิยมบริโภคทั้งผลกล้วยดิบและกล้วยสุก (เบญจมาศ, 2545) ที่สำคัญกล้วยหลายชนิดสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย เป็นสินค้าส่งออกและจำหน่ายภายในประเทศได้ มีรายงานว่ากล้วยหอมมีองค์ประกอบของสารประกอบโพลีฟีนอลซึ่งมีสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี โดยปริมาณสารประกอบดังกล่าวในเปลือกสูงกว่าในเนื้อกล้วย นอกจากนี้ระดับความสุกของกล้วยหอม ยังมีผลต่อปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลอีกด้วย (Kanazawa and Sakakibara) ดังนั้นปัญหาพิเศษนี้จึงทดลองเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของเปลือกและเนื้อกล้วยที่ระดับความสุกต่างกันของกล้วยพันธุ์ต่างๆ

#### 1.2 วัตถุประสงค์

- 1.1 ศึกษาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในเปลือกและเนื้อกล้วยพันธุ์ต่างๆ ที่ระดับความสุกต่างกัน
- 1.2 ศึกษาสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกและเนื้อกล้วยพันธุ์ต่างๆ ที่ระดับความสุกต่างกัน

## บทที่ 2 วารสารปริทัศน์

### 2.1 ประวัติกล้วยในประเทศไทย (เบญจมาศ , 2545 )

กล้วยถือเป็นพืชเก่าแก่ในประเทศไทย ผลใช้รับประทานส่วนใบใช้ห่อของกันมาตั้งแต่โบราณ ใบกล้วยมีความทนทานต่อความร้อนมาก ดังจะเห็นได้ว่าขนมที่ใช้ห่อใบตองสามารถปิ้งหรือต้มหรือหนึ่งได้โดยที่อาหารข้างในไม่เสีย

ประเทศไทยเป็นประเทศที่อยู่ทางเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และอยู่ในแถบอัสสัม ซึ่งเป็นถิ่นกำเนิดของกล้วยป่า (*Musa acuminata Colla*) ดังนั้นจึงพบกล้วยป่าอยู่ทั่วประเทศไทย กล้วยป่าที่พบอยู่ในประเทศไทยมีอยู่ 4 sub species คือ

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

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

*Musa acuminata* Colla ssp. *Burmanica* Simmonds

*Musa acuminata* Colla ssp. *siamea* Simmonds

กล้วยป่าที่พบในประเทศไทย นอกจาก *M. acuminata* ทั้ง 4 subspecies แล้วยังพบ *M. itinerans* หรือที่เรียกกันว่ากล้วยหก ซึ่งพบส่วนใหญ่ทางภาคเหนือ เช่นที่คอยอ่างขางและในป่าทั่วทางภาคเหนือ *M. ornata* และ *M.laterita* Roxb หรือที่เรียกว่า กล้วยบัวพบในป่าทางภาคเหนือเช่นกัน สำหรับกล้วยตานี *M. balbisiana* ไม่พบในป่า พบเป็นกล้วยปลูกหลังบ้านทั่วไป ในทุกจังหวัด ทั้งนี้เป็นเพราะกล้วยตานีมีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบประเทศอินเดีย และมีการนำมาปลูกบนพื้นแผ่นดินไทยมาช้านานแล้ว ก่อนที่จะมีการแต่งตั้งเป็นประเทศไทย

### 2.2 รูปร่างและลักษณะของกล้วย (เบญจมาศ , 2545 )

#### 2.2.1 กล้วยหักมุก [Musa ( AAA group ) ‘Kluai Hak Muk’ กลุ่มย่อย Bluggoe] ชื่อสามัญ Silver Bluggoe

กล้วยหักมุกมีลำต้นเทียมสูง 2.5-3.5 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 15 เซนติเมตร กาบลำต้นด้านนอกมีประดับ้างเล็กน้อย มีนวลมาก ด้านในสีเขียวอ่อน ก้านใบมีรวงค่อนข้างแคบและมีปีก เส้นกลางใบสีเขียว มีนวลทางด้านล่าง ก้านช่อดอกไม่มีขน ใบประดับรูปไข่ค่อนข้างป้อม ปลายป้าน และมีสีเหลือง มีนวลงอขึ้น ด้านบนมีนวลหนา ด้านในสีแดงเข้ม ก้านเกสรตัวเมียสูงกว่าเกสรตัวผู้ เครือห้อยลง เครือหนึ่งมีประมาณ 7 หวี หวีหนึ่งมี 10-16 ผล ผลใหญ่กว้าง 4-5

เซนติเมตร ชาว 11-19 เซนติเมตร ก้านผลยาว ลักษณะคล้ายกล้วยน้ำว้า แต่ปลายผลลีบลงมากกว่า และเห็นเหลี่ยมชัดเจน เปลือกหนา เมื่อสุกสีเหลืองอมน้ำตาลมีนวลหนา เนื้อสีส้มคล้ายหักมุกมี 2 ชนิด คือ ชนิดมีนวลที่ผลเรียกว่าหักมุกขาวหรือหักมุกนวล และไม่มีนวลเรียกว่าหักมุกเขียวผิวเปลือกสีเขียวเข้มมีสีดำประกาย เนื้อสีขาว นิยมทำกล้วยฉาบ การปลูกมีทั่วไปทุกภาคแต่มีไม่มากนัก ปลูกเป็นการค้าที่จังหวัดเพชรบุรี กำแพงเพชร ไม่นิยมรับประทานสดส่วนใหญ่จะทอดและฉาบน้ำตาล กล้วยฉาบที่ทำจากกล้วยหักมุกขาวมีสีเหลือง สวยกว่ากล้วยน้ำว้าแต่ส่วนใหญ่ที่ทำกล้วยฉาบมักทำจากกล้วยหักมุกเขียวเพราะหักมุกเขียวคอก ราคาจึงถูก ส่วนหักมุกขาวมักนำมาเผา

2.2.2 กล้วยน้ำว้า [Musa (AAA group) 'Kluai Namwa'] ชื่ออื่นๆ กล้วยใต้ (เชียงใหม่, เชียงราย); กล้วยตานีอ่อง(อุบลราชธานี) ; กล้วยมะลิอ่อง ( จันทบุรี), กล้วยอ่อง ( ชัยภูมิ ) ชื่อสามัญ Pisang Awak

กล้วยน้ำว้ามีลำต้นเทียมสูงไม่เกิน 3.5 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 15 เซนติเมตร กาบลำต้นด้านนอกสีเขียวอ่อน มีประคำเล็กน้อซ ด้านในสีเขียวอ่อน ก้านใบมีร่องค่อนข้างแคบ เส้นกลางใบสีเขียวอมชมพู ก้านช่อดอกไม่มีขน ใบประดับรูปไข่ค่อนข้างป้อม มีวงจั่นปลายมน ด้านบนสีแดงอมม่วงมีนวล ด้านล่างสีแดงเข้ม ก้านของคอกตัวเมียตรง ดอกตัวเมียสีงาช้าง เกสรตัวผู้สีครีม เกสรตัวเมียยาวกว่าเกสรตัวผู้มาก คอกตัวผู้หุ้จรวงหลังจากใบประดับหลุดแล้ว กลีบรวมใหญ่สีชมพูอ่อน ปลายสีเหลือง กลีบรวมเดี่ยวสีขาวใส มีรอยหยักที่ปลาย เครือห้อยลง เครือหนึ่งมี 7 หวี หวีหนึ่งมี 10-16 ผล ผลใหญ่กว่ากล้วยไข่ กว้าง 3-4 เซนติเมตร ชาว 11-13 เซนติเมตร มีเหลี่ยมก้านผลยาว ผลมีความยาวใกล้เคียงกับกล้วยไข่ เปลือกหนากว่ากล้วยไข่ เมื่อสุกเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ปนน้ำตาล เนื้อสีขาว รสหวาน ที่แกนกลางหรือที่เรียกว่า ใส่กลาง มีสีเหลือง ชมพูหรือขาว ซึ่งทำให้แบ่งออกได้เป็นกล้วยน้ำว้าเหลือง กล้วยน้ำว้าแดง และกล้วยน้ำว้าขาว ส่วนกล้วยว่าคำมีเนื้อขาว รสหวาน เปลือกมีสีม่วงและคำมีเนื้อแตกลายงาเป็นสีสนิม นอกจากนี้ยังมีกล้วยน้ำว้าที่ต้นเตี้ยกว่า 2.5 เมตร เรียกว่าน้ำว้าค่อม และกล้วยน้ำว้าเขียวซึ่งเมื่อสุกจะมีสีเหลืองปนเขียว น้ำว้าขนาดเมื่อสุกจะเห็นผลเป็นสีเหลืองนวลหนา น้ำว้าลูกใส่ดำ จะมีแกนกลางสีค่อนข้างดำซึ่งเป็นส่วนของเมล็ดที่ไม่มีการพัฒนา

กล้วยน้ำว้าปลูกทั่วไปในประเทศไทย รับประทานกันมากในทุกๆ ภาค ปลูกเป็นการค้าทั่วไปภาคกลาง ภาคเหนือปลูกมากที่จังหวัดพิษณุโลกเรียกว่าพันธุ์มะลิอ่อง เนื้อกล้วยน้ำว้ามีคุณค่าทางอาหารมากใช้เป็นอาหารเลี้ยงเด็กอ่อน รับประทานสด และทำเป็นขนมหลายชนิด เช่นขนมกล้วย กล้วยทอด กล้วยบวชชี กล้วยตาก กล้วยฉาบ และกล้วยกวน กล้วยตากเป็นสินค้าส่งไปขายต่างประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.3 กล้วยหอมทอง [Musa (AAA group) 'Kluai Hom Thong' กลุ่มย่อย Gros Michel] ชื่ออื่นๆ กล้วยหอม ชื่อสามัญ Hom Thong Banana]

กล้วยหอมทองมีลำต้นเทียมสูง 2.5-3.5 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 15 เซนติเมตร กาบลำต้นด้านบนมีประคำเล็กน้อย ด้านในสีเขียวอ่อน และมีเส้นสีชมพูก้านใบมีร่องค่อนข้างกว้าง และมีปีก เส้นกลางใบสีเขียว ก้านช่อดอกมีขน ใบประดับรูปไข่ค่อนข้างกว้างและมีปีก เส้นกลางใบสีเขียว ก้านช่อดอกมีขน ใบประดับรูปไข่ค่อนข้างยาว ปลายแหลม ด้านบนสีแดงอมม่วง มีไข ด้านล่างสีแดงซีด เครือหนึ่งมี 4-6 หวี หวีหนึ่งมี 12-16 ผล ผลใหญ่กว้าง 3-4 เซนติเมตร ยาว 21-25 เซนติเมตร ปลายผลมีจุดเห็นชัด เปลือกบาง เมื่อสุกเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทองแต่ที่ปลายจุดจะเปลี่ยนสีภายหลัง เนื้อนุ่มอ่อน ๆ กลิ่นหอม รสหวาน กล้วยหอมทองส่วนใหญ่ปลูกในแถบภาคกลางโดยเฉพาะจังหวัดปทุมธานี และกรุงเทพฯ หรือจังหวัดใกล้เคียง เคยส่งเป็นสินค้าออกจำนวนมากไปยังฮ่องกง สิงคโปร์ ญี่ปุ่น และยุโรป แต่เนื่องจากคุณภาพในการขนส่งไม่ดี ทำให้ปริมาณการส่งออกลดลงเป็นอย่างมาก แต่ในปัจจุบันได้มีการส่งออกไปประเทศญี่ปุ่นมากขึ้นแล้ว

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

กล้วยไข่มีลำต้นเทียมสูงไม่เกิน 2.5 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 16 เซนติเมตร กาบลำต้นด้านบนสีเขียวปนเหลือง มีประคำหนา ด้านในสีชมพูแดง ก้านใบเขียวอมเหลือง มีร่องกว้าง โคนก้านใบมีปีกสีชมพู ก้านช่อดอกมีขนอ่อน ใบประดับรูปไข่ ม้วนงอขึ้น ปลายค่อนข้างแหลม ด้านบนสีแดงอมม่วง ด้านล่างที่โคนกลีบซีด กลีบรวมใหญ่สีขาว ปลายสีเหลือง กลีบรวมเดี่ยวไม่มีสี เกสรตัวเมียและเกสรตัวผู้มีความยาวใกล้เคียงกัน แต่เกสรตัวเมียสูงกว่าเล็กน้อย เกสรตัวเมียสีเหลือง ส่วนเกสรตัวผู้มีสีชมพู เครือหนึ่งมีประมาณ 7 หวี หวีหนึ่งมีประมาณ 14 ผล ผลค่อนข้างเล็ก กว้าง 2-3 เซนติเมตร ยาว 8-10 เซนติเมตร ก้านผลสั้นเปลือกค่อนข้างบาง เมื่อสุกมีสีเหลืองสดใส บางครั้งมีจุดดำเล็กๆ ประปราย เนื้อสีครีมอมส้ม รสหวาน

กล้วยไข่ปลูกกันมากเป็นการค้าที่จังหวัดกำแพงเพชร ตาก นครสวรรค์ เพชรบุรี และปลูกทั่วไปในสวนหลังบ้านในทั่วทุกภาคของประเทศไทย เพราะเป็นกล้วยที่รสชาติดี และใช้ในเทศกาลสารทไทย ผลรับประทานสด และเป็นเครื่องเคียงของข้าวเม่าลูกและกระยาสารท นอกจากนี้ยังใช้ทำกล้วยเชื่อม ข้าวเม่าทอด และกล้วยบวชชี ปัจจุบันกล้วยไข่เป็นสินค้าส่งออกไปยังประเทศ สิงคโปร์ ญี่ปุ่น และฮ่องกง

### 2.3 คุณค่าอาหารของผลกล้วย ( nutritive value of bananas ) ( เบญจมาศ , 2545 )

กล้วยสุกมักจะมีรสหวานเป็นอาหารที่ย่อยง่าย ระยะเวลาในการย่อยกล้วยสุกหลังจากรับประทานแล้วสั้นกว่าการย่อยส้ม นม กล้วยน้ำว้า หรือแอปเปิ้ลเขียวอีก ดังนั้นกล้วยจึงเหมาะที่จะเป็นอาหารของทารกหรือผู้ที่ประสบปัญหาเกี่ยวกับลำไส้ กล้วยส่วนใหญ่รับประทานได้ทั้งผลดิบและสุก เขามักจะรับประทานกล้วยแทนเนื้อสัตว์ กล้วยเป็นอาหารที่มีคุณค่าสูงพอ ๆ กับมันฝรั่ง แต่มะเขือเทศ คอเรสเตอร์รอลและเกลือแร่ต่ำ จึงเหมาะสำหรับเป็นอาหารของคนที่มีความอ้วน กล้วยมีเกลือโซเดียมเพียงเล็กน้อย และมีโปแตสเซียมอยู่ประมาณ 400 มิลลิกรัม การที่มีโปแตสเซียมสูงจะช่วยลด blood pressure ในประเทศอินเดียมีความเชื่อว่าถ้ารับประทานกล้วยวันละ 2 ผล จะช่วยลด blood pressure ได้ ประมาณ 10 % ภายใน 1 อาทิตย์ กล้วยมี lipid ต่ำและพลังงานสูง กล้วยจึงเป็นอาหารที่แนะนำสำหรับคนชรา ผู้เป็นโรคเกี่ยวกับทางเดินอาหารและเด็กที่ท้องเสียบ่อย ๆ กล้วยสามารถลดแก๊สในกระเพาะ ซึ่งเกิดจากความเครียดและยังมีวิตามิน A ,B6 และ C อีกด้วย

การรับประทานกล้วยที่ต้มหรือทำให้สุกด้วยความร้อนมักจะทำให้วิตามินลดลง ดังนั้นรับประทานกล้วยสดๆ จะได้คุณค่าทางอาหารมากกว่า ปริมาณของวิตามิน C ในกล้วยสุกน้อยกว่ากล้วยดิบ ดังเช่น ในกล้วยน้ำว้าได้มีการศึกษาใน 100 มิลลิกรัมพบว่า ในกล้วยน้ำว้าดิบมีระดับของวิตามิน C อยู่ 30 มิลลิกรัม เมื่อสุกจะมีเพียง 24 มิลลิกรัมและเมื่อสุกงอมจะลดลงเหลือ 19 มิลลิกรัม และเมื่อทำเป็นกล้วยตากจะยิ่งลดลงเหลือเพียง 3 มิลลิกรัมเท่านั้น

กล้วยเมื่อสุกมีเปลือกสีเหลือง พบว่ามีแคโรทีน ( carotene ) คือ

เปลือกมี –carotene 7% , B-carotene 14 % และ lutein 56 %

ส่วนเนื้อ มี –carotene 31% ,B-carotene 28% และ lutein 33 %

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมี แร่ธาตุ และปริมาณวิตามินของผลกล้วยพันธุ์ต่างๆ เป็นกรัม  
ต่อ น้ำหนักสดผลสุก 100 กรัม

องค์ประกอบทางเคมี	หน่วย	กล้วยน้ำว้า	กล้วยหอม	กล้วยไข่	กล้วยหักมุก
พลังงาน	กิโลแคลอรี	139	125	140	112
ความชื้น	กรัม	62.6	66.3	62.8	71.2
โปรตีน	กรัม	1.1	0.9	1.5	1.2
ไขมัน	กรัม	0.2	0.2	0.2	0.2
คาร์โบไฮเดรต	กรัม	33.1	29.8	32.9	26.3
กากอาหาร	กรัม	0.3	0.3	0.4	0.4
ใยอาหาร	กรัม	2.3	1.9	1.9	-
เต้าน้ำ	มิลลิกรัม	0.7	0.9	0.7	0.7
แคลเซียม	มิลลิกรัม	7	26	4	7
ฟอสฟอรัส	มิลลิกรัม	43	46	23	48
เหล็ก	มิลลิกรัม	0.8	0.8	1.0	0.8
B-Carotene	มิลลิกรัม	54	99	729	-
ไทอามีน	มิลลิกรัม	0.04	0.04	0.03	0.08
ไรโบฟลาวิน	มิลลิกรัม	0.02	0.07	0.05	0.11
วิตามินเอ	มิลลิกรัม	1.4	1.0	1.4	0.8
แอสคอบิก	มิลลิกรัม	11	27	2	1

ที่มา : เอกสารกองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข , 2535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วย (สมศักดิ์, 2532)

กล้วยเป็นพืชที่มีการสุกของผลเป็นแบบไคลแมคเทอร์ริก (climacteric type) โดยเมื่อเก็บเกี่ยวกล้วยที่แก่จัดซึ่งเปลือกยังเป็นสีเขียวอยู่ แล้วนำมาบ่ม กล้วยจะมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีภายในเซลล์ ทำให้มีคุณภาพเหมาะสมกับการบริโภคมากยิ่งขึ้น ซึ่งในขณะที่ผลกล้วยกำลังจะสุกกล้วยจะเกิดขบวนการการเปลี่ยนแปลงของผล 2 ลักษณะ คือ

2.4.1 Overt changes เป็นการเปลี่ยนแปลงของสี ลักษณะเนื้อสัมผัส กลิ่นและรส การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสามารถวัดค่าได้ด้วย การมองเห็น คมกลิ่น ชิมรสและการสัมผัสด้วยมือ การสุกของผลกล้วยในแต่ละเครือจะเริ่มจากหวีแรกเรื่อยไปจนถึงหวีสุดท้ายตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงของสีและลักษณะเนื้อจะมีความสัมพันธ์กัน กล่าวคือ ผลกล้วยที่ยังดิบจะมีสีเขียวและเป็นสีเขียวและลักษณะเนื้อแข็งสีขาว เมื่อผลเริ่มสุกจะมีเปลือกสีเขียวอ่อน และลักษณะเนื้อเริ่มอ่อนตัว มีสีขาวขุ่น เนื้อจะเริ่มอ่อนตัวจากข้างในใจกลางมายังข้างนอกและจากส่วนปลายผลไปหาส่วนโคน ต่อมาสีเปลือกจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอมเขียว และลักษณะของเนื้อจะอ่อนทั้งผล สีเปลือกจะค่อยๆ เหลือง ยกเว้นส่วนปลายและก้านยังคงเขียวอยู่ ในที่สุดผลกล้วยทั้งผลจะเหลืองตลอดผล และลักษณะเนื้ออ่อนนุ่มแต่ยังไม่ละ ระดับนี้เป็นระดับการสุกที่เหมาะสมต่อการบริโภค (eating ripe) หลังจากนั้นเปลือกของผลจะเริ่มเสียเนื่องจากเชื้อราเข้าทำลายเป็นจุดเล็กๆ สีน้ำตาลแล้วค่อยๆ ขยายแผ่ไปทั่วทั้งผล ลักษณะเนื้อจะเริ่มและแต่ยังรับประทานได้ รสชาติและกลิ่นของผลกล้วยขณะสุกนี้เป็นผลมาจากความหวานของน้ำตาลที่เปลี่ยนแปลงมาจากสารประกอบคาร์โบไฮเดรต และมีการลดปริมาณของกรดซึ่งเกิดจากสารประกอบที่ระเหยได้ เช่น แอลกอฮอล์และกรดอื่นๆ

2.4.2 Covert change เป็นการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมี การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดขึ้นภายในและเป็นกลไกที่ส่งผลในเรื่องการเปลี่ยนแปลงของสี ลักษณะเนื้อสัมผัส กลิ่น และรสของผลกล้วย การเปลี่ยนแปลงนี้อาจแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ การเปลี่ยนแปลงของกล้วยที่ปล่อยให้สุกคาต้น (preharvest changes) และการเปลี่ยนแปลงระหว่างการสุกของกล้วยตัด (postharvest changes) ในการเปลี่ยนแปลงของกล้วยที่ปล่อยให้สุกคาต้น เป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นไม่สม่ำเสมอในกล้วยหอมทอง ความแห้งของเนื้อผลจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ และจะสูงประมาณ 26% เมื่ออายุได้ 80 วัน หลังจากนั้นเนื้อแห้งจะลดลงขณะนี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงหลายประการ เช่น ปริมาณแป้งในผลจะลดลงเมื่ออายุ 110 วัน และจะเกิดการสะสมของน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตส เมื่ออายุ 120 วันสามารถที่จะวัดปริมาณของกรดในเปลือกและในเนื้อได้ เมื่อมีอายุ 110-120 วันเกิดการสูญเสียคาร์โบไฮเดรตเนื่องจากการหายใจ ทำให้ปริมาณแป้งสูญเสียไปมากกว่าการสะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำตาลและเกิดการปริของผลเมื่ออายุ 100-120 วัน ซึ่งเป็นผลมาจากเกิดการสะสมปริมาณน้ำตาลที่เนื้อของผล ทำให้ความดันออสโมซิสเพิ่มมากขึ้นจึงเกิดการคูดน้ำมากเกินไป ผลกล้วยจะบวมและคั้นให้ผิวเปลือกแตกออกหลังจากที่เครือของกล้วยถูกตัดออกจากต้นแม่แล้ว ในช่วงนี้ก็ยังมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาผลกล้วยยังคงสามารถสังเคราะห์สาร และมีเมตาบอลิซึมได้ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมีดังนี้

2.4.2.1 การหายใจ ผลกล้วยดิบจะมีอัตราการหายใจต่ำ ต่อมาอัตราการหายใจจะค่อยๆเพิ่มสูงขึ้นและจะสูงสุดเมื่อผลกล้วยเริ่มสุก หลังจากนั้นอัตราการหายใจจะลดลงหลังจากที่ผลกล้วยสุกแล้ว แต่อัตราการหายใจของผลกล้วยอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิและสภาพแวดล้อมอื่นๆ เช่น อุณหภูมิสูงจะทำให้อัตราการหายใจของผลสูงขึ้นเป็นผลให้ขบวนการสุกของผลเร็วขึ้นด้วย

2.4.2.2 ปริมาณความชื้นในผล บริเวณผิวเปลือกของผลจะมีปากใบอยู่กระจัดกระจายทั่วทั้งผล ดังนั้น ขบวนการคายน้ำจึงเกิดขึ้นได้ แม้กล้วยจะถูกตัดออกจากต้นแม่แล้วก็ตาม อัตราการคายน้ำลดลงเล็กน้อย ต่อจากนั้นจะค่อยๆเพิ่มสูงขึ้นและสูงที่สุดเมื่อผลกล้วยเริ่มสุก หลังจากนั้นอัตราการคายน้ำจะลดลงอีก หลังจากผลสุกเต็มที่แล้ว ปริมาณความชื้นภายในผลจะเปลี่ยนแปลงเนื่องจากขบวนการหลายอย่างด้วยกัน เช่น การคายน้ำของผล การคูดน้ำของแป้ง และการหายใจของผล เป็นต้น

2.4.2.3 คาร์โบไฮเดรต คาร์โบไฮเดรตของกล้วยในขณะที่เป็นผลดิบจะประกอบด้วยสตาร์ชเป็นส่วนใหญ่โดยมีสตาร์ชสะสมประมาณร้อยละ 20-25 น้ำตาลร้อยละ 1-2 เมื่อกล้วยสุกมีน้ำตาลเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 15-20 และมีสตาร์ชเหลือร้อยละ 1-2 น้ำตาลที่พบในกล้วยสุกส่วนใหญ่ ได้แก่ กลูโคส รองลงมาเป็นฟรักโทสและซูโครสตามลำดับ โดยที่กล้วยสุกจะมีน้ำตาลกลูโคสสูงกว่าฟรักโทสเล็กน้อยในสัดส่วน ร้อยละ 52:48 ทั้งนี้ น้ำตาลบางส่วนได้มาจากการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลส ซึ่งในกล้วยดิบจะมีเฮมิเซลลูโลส ร้อยละ 7-8 และลดลงเหลือร้อยละ 1 เมื่อกล้วยสุก (Simmond ,1966) นอกจากนี้ภายหลังจากกล้วยสุกเต็มที่ ปริมาณน้ำตาลในกล้วยจะลดลง เนื่องจากกล้วยใช้น้ำตาลในการสันดาป ทั้งนี้กล้วยแต่ละพันธุ์ประกอบด้วยสารอาหารหลายชนิดในปริมาณที่แตกต่างกันบ้างเล็กน้อย เช่น ปริมาณน้ำตาลในกล้วยน้ำว้า กล้วยไข่ กล้วยหักมุกและกล้วยหอมทอง พบว่ามีปริมาณร้อยละ 22.1 , 18.41, 16.49 และ 16.42 ตามลำดับ

2.4.2.4 สารประกอบเซลลูโลส ได้แก่ เฮมิเซลลูโลส เพคติน และเซลลูโลส เป็นสารที่ทำให้เนื้อของผลแข็ง การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารดังกล่าว จะเป็นแบบเดียวกันกับของสตาร์ชคือเมื่อผลดิบจะมีปริมาณ 7-8 % เมื่อผลสุกจะมีเพียง 1% ส่วนเพคตินในเนื้อของผลจะเพิ่มปริมาณขึ้นขณะที่ผลสุกแต่ละปริมาณของเพคตินในทุกๆระยะการเปลี่ยนแปลงของผลจะมีเพียงไม่

เกิน 0.5 %ของน้ำหนักผลสดปริมาณดังกล่าวในเนื้อนับว่ามีผลมากเป็น 4 เท่าของปริมาณในเปลือกผล โดยเมื่อกัดด้วยสูกเนื้อจะนิ่มและอ่อนตัวลง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบเพคติน (pectin -substance)ซึ่งได้แก่ โพรโทเพคติน ( protopectin) ซึ่งไม่ละลายน้ำ เปลี่ยนเป็นเพคตินที่ละลายน้ำได้ และมีผลต่อการนิ่มของกัวย ส่วนสารประกอบเซลลูโลสในเปลือกจะไม่แสดงความสำคัญระหว่างการสูกของผลกัวยแต่อย่างใด

2.4.2.5 ปริมาณกรด เนื้อของผลจะมีปริมาณกรดสูงสุดเมื่อผลใกล้สุกหรือกำลังสุก ต่อมาจะลดปริมาณลงตลอดเวลาหลังจากที่ผลสุกเต็มที่ บริเวณที่เปลือกของผลจะมีปริมาณกรดที่เปลี่ยนแปลงเป็นแบบเคียวกับเนื้อของผลความเป็นกรดเป็นด่างของเนื้อผลดิบจะอยู่ระหว่าง 5.0-5.8 และผลสุกอยู่ระหว่าง 4.2-4.8 เนื้อผลสุกที่รับประทานสด จะมีปริมาณกรดเพียงครึ่งหนึ่งของเนื้อผลสุกที่ใช้ปรุงอาหาร ในผลดิบจะมีปริมาณของกรดออกซาลิกมากที่สุด รองลงมาเป็นมาลิกและซิตริก เมื่อผลสุกจะมีปริมาณออกซาลิกลดลงทำให้ปริมาณมาลิกสูงที่สุด

2.4.2.6 แทนนิน เป็นสารฟีนอลิก ในกัวยดิบแทนนินอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ทำให้เกิดรสฝาดและเกิดสีน้ำตาลเมื่อกัดกัวยเกิดบาดแผลจากการปอกหั่น เนื่องจากการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส โดยการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสจะเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะ preclimacteric หลังจากนั้นจะค่อยลดลงจนสุกเต็มที่ เอนไซม์ดังกล่าวจะกระตุ้นให้แทนนินทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ และเปลี่ยนเป็นสารประกอบสีน้ำตาล แทนนินเมื่อทำปฏิกิริยากับกรดและได้รับความร้อนจะเปลี่ยนเป็นสารประกอบโมเลกุลใหญ่ที่เรียกว่า tannin red หรือ phorbaphene แทนนินเมื่อทำปฏิกิริยากับเหล็กที่มาจากมิดหรือภาชนะที่ใช้จะเกิดสีน้ำตาลเงินดำของ tannic acid เมื่อผลไม้สุกแทนนินเปลี่ยนอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำทำให้รสฝาดของกัวยหายไป (Von , 1950) ในระยะที่เก็บเกี่ยวของเนื้อกัวยจะพบโคพามีนมากถึง ของแทนนินในเนื้อกัวยทั้งหมด หลังจากนั้น 4 วัน ก็จะค่อยๆลดลงจาก ไมโครกรัมต่อกรัม 60 จนถึง 25 ไมโครกรัมต่อกรัมของน้ำหนักเนื้อกัวยสด โดยจะฟอร์มตัวเป็นสารเมตาบอไลต์ เช่น ซาลซินอล( salsinol) ส่วนในเปลือกกัวยจะประกอบด้วยแทนนินมากกว่าเนื้อ 3-5 เท่า และจะมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดมากกว่าถึง 2 เท่า ( John and Marchal ,1995)

2.4.2.7 เม็ดสี (pigment ) ผิวเปลือกของผลดิบจะมีเม็ดสีของคลอโรฟิลล์ แครโรทีน และแซนโทฟิลล์อยู่ร่วมกัน โดยการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของกัวย เป็นเครื่องบ่งชี้ถึงระดับความสุกของกัวย เปลือกกัวยจะเริ่มมีสีเหลืองหลังจากถึงจุดที่มีการหายใจสูงสุด(climacteric peak ) เปลือกดิบมีคลอโรฟิลล์ ( chlorophyll ) 50 ไมโครกรัมต่อกรัมของน้ำหนักสด แซนโทฟิลล์ (Xanthophyll) 5-7 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักสด และแครโรทีนอยด์( carotenoid) 1.3-3.5 ไมโครกรัมต่อกรัมของน้ำหนักสด (Palmer,1971) เมื่อกัดด้วยสูกคลอโรฟิลล์จะสลายตัวทั้งหมด ทำให้สีเหลือง

แคโรทีนอยด์ปรากฏให้เห็นจากการที่กล้วยมีการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือก พร้อมทั้งเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีเปลี่ยนสตาโรซเป็นน้ำตาล จึงแบ่งความสุกของกล้วยตามสีของเปลือกเป็น 8 ชั้น เรียกว่าดัชนีสีเปลือกกล้วย ( Peel Color Index ) สำหรับในประเทศไทย เบลูจมาศ(2545) ได้ศึกษาดัชนีสีเปลือกกล้วยหอมทองแสดงดังรูปที่ 2.1

การแบ่งระดับการสุกของกล้วย หลังจากตัดมาบ่มดังนี้

- ระดับที่ 1 เปลือกสีเขียว ผลแข็ง ไม่มีการสุก
- ระดับที่ 2 เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเป็นเหลืองนิดๆ
- ระดับที่ 3 เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเป็นเหลืองมากขึ้น แต่ยังมีสีเขียวมากกว่าสีเหลือง
- ระดับที่ 4 เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองและมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว
- ระดับที่ 5 เปลือกเป็นสีเหลือง แต่ปลายยังเป็นสีเขียว
- ระดับที่ 6 ทั้งผลมีสีเหลือง (ผลสุก)
- ระดับที่ 7 ทั้งผลมีสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาล(สุกเต็มที่ มีกลิ่นหอม)
- ระดับที่ 8 ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาลมากขึ้น ( สุกมากเกินไป เนื้อเริ่มอ่อนตัวและมีกลิ่นแรง)



รูปที่ 2.1 การแบ่งระดับการสุกของกล้วย

ที่มา : เบลูจมาศ , 2545

นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงในช่วงระหว่างการสุกของกล้วยหลังจากเครือกล้วยถูกตัดมาแล้ว ยังมี การเปลี่ยนแปลงอีกหลายอย่าง เช่น การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจน พบว่าขณะที่ผลสุกจะไม่มี

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนโตรเจนมากนั้ก ในผลสุกอยู่ในระหว่าง0.5-1.5% ส่วนไขมันพบว่า ในขณะผลสุกไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงมากนั้กเช่นกัน ขณะที่ผลสุกจะอยู่ระหว่าง 0.2-0.5 % เท่านั้น และสารระเหยที่หักกลั้นในขณะผลสุก สารที่พบได้แก่ สารประกอบเอสเทอร์ เป็นต้น

## 2.5 อนุมูลอิสระ ( free radical ) หรือ ROS ( Reactive oxygen species )

อนุมูลอิสระ ( free radical ) หรือ ROS ( Reactive oxygen species ) คือโมเลกุลหรืออิเล็้กตรอนที่มีอิเล็้กตรอนคู่โดดเดี่ยวอยู่รอบนอกและมีอายุสั้นประมาณ 1 หรือ  $10^{-3}$ - $10^{-10}$  วินาที จึงจัดว่าเป็นโมเลกุลที่ไม่เสถียรและว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยสามารถตรวจวัดด้วย Electron Spin Resonance ( ESR ) โมเลกุลหรืออิออนชนิดนี้เป็นตัวก่อให้เกิดปฏิกิริยาถูกโซ่ ตัวอย่างของอนุมูลอิสระ ( free radical ) หรือ ROS มีคั้งนี้ Superoxide anion radical  $O_2^{\bullet-}$ , Hydroxyl radical  $HO^{\bullet}$ , Peroxide radical  $ROO^{\bullet}$ , Peroxyl radical  $LOO^{\bullet}$ , Hydrogen-peroxide  $H_2O_2$ , Ozone  $O_3$ , Singlet oxygen  $^1O_2$ , Hydrogen radical  $H^{\bullet}$ , Methyl-radical  $CH_3^{\bullet}$

2.5.1 ชนิดของอนุมูลอิสระสามารถแบ่งได้อย่างง่างๆ คือ

2.5.1.1 อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในร่างกาย ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของร่างกายเอง

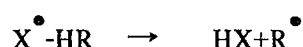
2.5.1.2 อนุมูลอิสระจากภายนอกร่างกาย

- ( 1. ) การติดเชื้อทั้งจากแบคทีเรีย และไวรัส
- ( 2. ) การอักเสบชนิดไม่ทราบสาเหตุ ( autoimmune diseases ) เช่นข้ออักเสบรูมาตอยด์ โรคเก๊าท์
- ( 3. ) รังสี
- ( 4. ) สิ่งแวดล้อมที่เป็นมลพิษ เช่น ควันเสี่ย และเขม่าจากเครื่องขนต์ ควันบุหรือขาม่าแมลง
- ( 5. ) การออกกำลังกายอย่างหักโหม

โดยหลักการทางเคมีอนุมูลอิสระและ ROS เกิดขึ้นโดยปฏิกิริยาการแยกอย่างสมมาตร ( symmetric separation )



อนุมูลอิสระอื่น ๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร  
สงวนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง

จากที่กล่าวมาแล้วว่าอนุมูลอิสระถูกสร้างขึ้นมาทั้งจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของร่างกายเอง และในภาวะที่ผิดปกติ เช่น ภาวะของโรค หรือภาวะที่ร่างกายแวดล้อมด้วย มลพิษโดยภาวะที่ผิดปกติจะส่งผลให้ร่างกายเกิดการสะสมของ อนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจำเป็นที่ร่างกายต้องหาทางป้องกันการ โคนทำลายจากอนุมูลอิสระเหล่านั้นต้องหาทางป้องกันการ โคนทำลายจากอนุมูลอิสระเหล่านั้น ( พรทิพย์ , 2546 )

ร่างกายมีกลไกที่สามารถป้องกันตัวเองจากอันตรายของอนุมูลอิสระที่สำคัญ 2 วิธี คือ (1) กลไกการซ่อมแซม DNA ( DNA repair ) การตัด DNA ส่วนที่ผิดปกตินั้นออกไป และการสร้างสาย DNA ที่ปกติขึ้นมาแทนที่และ (2) การใช้สารแอนติออกซิแดนซ์ ซึ่งเกิดได้ทั้งจากภายในและภายนอกในร่างกาย คือจากการรับประทานอาหารเข้าไป สารแอนติออกซิแดนซ์จะเป็นตัวจัดการกับอนุมูลอิสระเหล่านั้น ก่อนที่มันจะเข้าทำลายต่อ DNA จากข้อมูลทางระบาดวิทยาพบว่าประชากรที่บริโภคพืชผัก ผลไม้ ที่มีสารแอนติออกซิแดนซ์ จะเป็นโรคมะเร็งน้อยมาก สารแอนติออกซิแดนซ์ เช่น วิตามินซี สามารถลดการเกิดการกลายพันธุ์และการเกิดมะเร็งได้(ประไพภัทร, 2547 ) แต่อย่างไรก็ตามมีบางภาวะที่อนุมูลอิสระมีมากเกินไปที่ระบบแอนติออกซิแดนซ์จะจัดการได้ จะเกิดสภาวะที่เรียกว่า oxidative stress ขึ้นมาซึ่งจะส่งผลต่างๆ ต่อเซลล์สิ่งมีชีวิต ( พรทิพย์ , 2546 )

สภาวะออกซิเดทีฟสเตรส (oxidative stress) คือ สภาวะที่ร่างกายไม่สามารถควบคุมและป้องกันปริมาณของอนุมูลอิสระให้อยู่ในระดับปกติที่ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายได้ โดยอนุมูลอิสระที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลต่างๆภายในร่างกาย เช่น การเกิดออกซิเดชันของไขมัน , คาร์โบไฮเดรต , โปรตีน และกรดนิวคลีอิก การสร้างพันธะโควาเลนต์กับโปรตีน เป็นผลทำให้เกิด inactivation ของโปรตีน เป็นต้น และพบว่าอนุมูลอิสระก่อให้เกิดสภาวะทางพยาธิสภาพในโรคสำคัญบางโรคได้แก่ มะเร็ง , โรคหัวใจ , ไขมันอุดตันในเส้นเลือด , ไช้ออกเสบ , ต้อกระจก เป็นต้น (วิชา และ พัชร , 2542)

การทำลายโมเลกุลที่เป็นต้นเหตุการเกิดของอนุมูลอิสระ นับเป็นกลไกการทำงานของระบบแอนติออกซิแดนซ์ที่สำคัญกลไกหนึ่ง ซึ่งเป็นการทำงานที่อาศัยเอนไซม์หรือโมเลกุล สารแอนติออกซิแดนซ์ที่พบในร่างกายและจัดเป็นเอนไซม์ได้แก่

Superoxide dismutase ( SOD ) , Catalase ( CAT ) , Glutathione peroxidase ( GPX )

Glutathione reductase ( GR ) , Glutathione S-transferase ( GST )

ส่วนสารแอนติออกซิแดนซ์ที่พบในร่างกายแต่ไม่จัดเป็นเอนไซม์ได้แก่

Glutathione , Haptoglobin , Hemopexin , Lipoic acid , Uric acid , Ceruloplasmin , Bilirubin , Cysteine , Albumin , Transferrin

สารแอนติออกซิแดนท์เหล่านี้จะทำลายอนุมูลอิสระโดยการจับกับอนุมูลอิสระ ลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ( พรทิพย์ , 2546 )

## 2.6 สมบัติของสารแอนติออกซิแดนท์ (antioxidant )

สารต้านออกซิเดชัน คือ สารที่ทำหน้าที่ต่อต้านหรือยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ในที่นี้หมายถึงสารที่สามารถยับยั้งและควบคุมป้องกันอนุมูลอิสระไม่ให้ไปกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ( Gordon ,1990)

สารต้านออกซิเดชัน หมายถึง สารที่มีในปริมาณน้อยเทียบเท่ากับสารที่สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งสามารถยับยั้งหรือหน่วงเหนี่ยวให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันไม่เกิดขึ้น (วินัย, 2545)

สารที่จัดเป็นสารแอนติออกซิแดนท์ที่มีกลไกการทำงานดังนี้ คือ

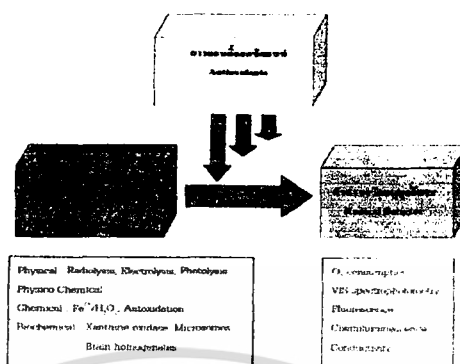
1. กำจัดออกซิเจน (ROS)
2. กำจัดแรดดิคอลลอิสระ
3. กำจัดโลหะไอออน

สารต้านออกซิเดชันที่พบในธรรมชาติแบ่งได้เป็น 4 ประเภท คือ

1. เอนไซม์ที่ผลิตขึ้นในร่างกาย ได้แก่ ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส คาตาเลส กลูตาไรโอนเปอร์ออกซิเดส และเมทไธโอนีนรีดักเตส (methionine reductase) เป็นต้น
2. วิตามินต้านออกซิเดชัน ได้แก่ วิตามินอี ในถั่ว ธัญพืช รำ ข้าวกล้อง งา และวิตามินซี ในผลไม้ ผักสด เป็นต้น
3. แร่ธาตุ เช่น ซีลีเนียม และสังกะสีเป็นโคแฟกเตอร์ ( co-factors) ของเอนไซม์ต้านออกซิเดชัน
4. สารพฤกษเคมี ( phytochemicals) เป็นสารเคมีจากพืชที่ไม่ใช่วิตามินและสารอาหาร เช่น แครอทีน(carotene) ไลโคพีน(lycopene) แชนโทฟิล (xanthophyl) เทนนิน(tennin) และฟลาโวนอยด์ (flavonoid) เป็นต้น (ไมตรี กุทริจิตต์ และคณะ, 2543)

หลักการในการหาขีดความสามารถด้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน

หลักการหาขีดความสามารถในการเป็นตัวต้านอนุมูลอิสระของสารแอนติออกซิเดนท์ ส่วนใหญ่ทำโดยอาศัยหลักการดังรูปที่ 2.2 นั่นคือขั้นแรกจะเป็นการสร้างอนุมูลอิสระขึ้นมาก่อน แล้วจึงเติมสารแอนติออกซิเดนท์ลงไป จากนั้นทำการตรวจวัดหาอนุมูลที่เหลือหลังจากเกิดปฏิกิริยา ซึ่งหลักการนี้สามารถนำไปใช้ได้อย่างหลากหลายขึ้นอยู่กับการเลือกชนิดของตัวกำเนิดอนุมูลอิสระและชนิดของตัวตรวจวัดอนุมูลอิสระ (พรทิพย์ , 2546)



รูปที่ 1 หลักการของวิธีการต่างๆในการกำจัดยาปฏิชีวนะในน้ำดื่ม

**รูปที่ 2.2** หลักการหาขีดความสามารถของสารแอนติออกซิแดนซ์ในการเป็นตัว

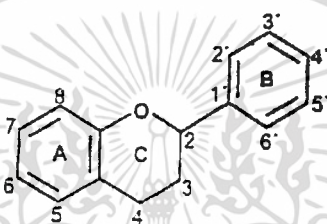
ต้านอนุมูลอิสระ

ที่มา : พรทิพย์ , 2546

**2.7 สารประกอบฟีนอล (Bravo, 1998)**

สารประกอบฟีนอล (phenolic compounds) เป็นสารในกลุ่ม secondary metabolite ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในกระบวนการเจริญเติบโต และการขยายพันธุ์ของพืชแต่ละชนิด ดังนั้นรูปแบบของสารประกอบฟีนอล ในพืชแต่ละชนิดจึงมีความแตกต่างกันออกไป ในปัจจุบันพบว่ามีสารประกอบฟีนอลที่ทราบโครงสร้างแน่นอนแล้วมากกว่า 8,000 ชนิด ตั้งแต่กลุ่มที่มีโครงสร้างอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิก (phenolic acids) ไปจนถึงกลุ่มที่มีโครงสร้างเป็นโพลีเมอร์ เช่น แทนนิน (tannins) โครงสร้างพื้นฐานของสารประกอบฟีนอลจะเกิดจากการรวมตัวของโมเลกุลน้ำตาลตั้งแต่ 1 โมเลกุลขึ้นไปกับหมู่ไฮดรอกซิล (OH-group) โดยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharides) น้ำตาลโมเลกุลคู่ (disaccharides) หรือ โอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharides) ก็ได้ แต่น้ำตาลชนิดที่พบมากที่สุด ในโมเลกุลของสารประกอบฟีนอล คือ กลูโคส (glucose) ส่วนน้ำตาลชนิดอื่นที่พบ ได้แก่ กาแลกโตส (galactose) แรมโนส (rhamnose) ซาโรส (xylose) อะราบิโนส (arabinose) และอนุพันธ์ของน้ำตาลเหล่านี้ เช่น กรดกลูโคโรนิก (glucuronic acid) กรดกาแลกตูโรนิก (galacturonic acid) และอื่นๆ นอกจากนี้ยังพบว่าอาจมีการรวมตัวกันระหว่างสารประกอบฟีนอลกับสารประกอบฟีนอลด้วยกันเองหรือสารประกอบฟีนอลกับสารประกอบอื่นๆ เช่น กรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acids) กรดอินทรีย์ (organic acids) อะมีน (amines) และไขมันอีกด้วย

สารประกอบฟีนอลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำซึ่งสามารถพบได้โดยทั่วไปและมีความสำคัญ ประกอบด้วย ฟีนอล (phenols, C<sub>6</sub>) กรดฟีนอลิก (phenolic acids, C<sub>6</sub>-C<sub>1</sub>) ฟีนิลโพรพานอยด์ (phenylpropanoids, C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub>) และฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ตัวอย่างของฟีนอล ได้แก่ phenol , cresol , thymol , resocinol , orcinol และอื่นๆ ซึ่งสามารถพบได้ทั่วไปในพืชที่ถูกลำไยใช้เป็นเครื่องเทศ รวมทั้ง hydroquinone และอนุพันธ์ (เช่น arbutine และ sesamol) และ phloroglucinol ด้วย สำหรับตัวอย่างของกรดฟีนอลิก ได้แก่ gallic acid , vanillic acid , syringic acid , p-hydroxybenzoic acid และอัลดีไฮด์ของกรดฟีนอลิก (เช่น vanillin , p-hydroxybenzaldehyde syringaldehyde) ซึ่งสามารถพบได้ทั่วไปในพืชชั้นสูงและเฟิร์น

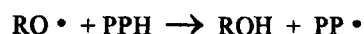
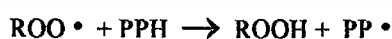


รูปที่ 2.3 โครงสร้างพื้นฐานและการระบุตำแหน่งคาร์บอนอะตอม  
ในโมเลกุลฟลาโวนอยด์

ที่มา : Brovo , 1998

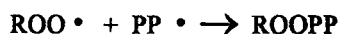
## 2.8 คุณสมบัติการเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอล

คุณสมบัติที่ได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบันของสารประกอบฟีนอล คือ การเป็นสารต้านออกซิเดชัน (antioxidants) และสารต้านการกลายพันธุ์ (antimutagens) ซึ่งเกิดจากอนุมูลอิสระ (free radicals) และการใช้สารประกอบฟีนอลในการป้องกันโรคต่างๆ โดยเฉพาะโรคหัวใจขาดเลือด และมะเร็ง โดยสารประกอบฟีนอลจะทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระและไอออนของโลหะที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่นๆ ด้วยการให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระอย่างรวดเร็ว ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้



เมื่อสารประกอบฟีนอลให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระไปแล้ว อนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลจะค่อนข้างมีเสถียรภาพ ดังนั้นจึงไม่ทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นต่อไป ยิ่งไปกว่านั้นอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลบางชนิดยังคงสามารถรวมตัวกับอนุมูลอิสระอื่นได้อีก

ด้วย จึงทำให้สารประกอบฟีนอลเหล่านั้นสามารถลดจำนวนอนุมูลอิสระลงได้ถึง 2 เท่า ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้ (Bravo, 1998)



แต่ความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลยังขึ้นอยู่กับระบบด้วย ดังนั้นการศึกษาหรือเปรียบเทียบคุณสมบัติดังกล่าวจึงจำเป็นต้องระบุนรายละเอียดของระบบให้ชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสับสเตรทที่เป็นเป้าหมายของระบบ (Frankel, 1999) นอกจากนี้ยังพบว่า ในภาวะที่มีสารประกอบฟีนอลความเข้มข้นสูง พีเอชสูง และมีเหล็กอยู่ด้วยนั้น สารประกอบฟีนอลอาจจะเป็นตัวเริ่มต้นของกระบวนการออกซิเดชันเสียเองได้ (Bravo, 1998)

สารประกอบฟีนอลที่ถูกรับว่ามีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชันนั้น สามารถพบได้ในส่วนต่างๆ ของพืช เช่น เมล็ด (ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วลิสง เมล็ดฝ้าย มัสตาร์ด ข้าว และงา) ผล (ได้แก่ องุ่น ส้ม พริกไทยดำ และโอลิว) ใบ (ได้แก่ ชา และเครื่องเทศต่างๆ) และส่วนอื่นๆ (ได้แก่ มันเทศ และหัวหอม) (Amiot et al., 1997) และหนึ่งในสารประกอบฟีนอลซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชันที่เป็นที่รู้จักกันคืออยู่แล้ว คือ วิตามินอี ส่วนสารประกอบฟีนอลอื่นๆ ที่กำลังได้รับความสนใจอย่างมาก คือ flavonoids (ได้แก่ flavones, flavonols, isoflavones, catechins, flavonones และ chalcones) และ cinnamic acid derivatives (ได้แก่ caffeic acid, ferulic acid, chlorogenic acid และอื่นๆ) โดยสามารถพบทั้ง flavonoids และ cinnamic acid derivatives ได้ในเกือบทุกส่วนของพืช แต่จะมีความแตกต่างกันออกไปในด้านของชนิดและปริมาณซึ่งอาจสรุปเป็นแนวโน้มได้ดังตารางที่ 2.4 (Pratt 1992)

ตารางที่ 2.2 ชนิดและปริมาณของสารประกอบฟีนอลในส่วนต่างๆ ของพืช

ส่วนของพืชชนิดและปริมาณของสารประกอบฟีนอล	
ผล	Cinnamic acids > catechins $\approx$ leucoanthocyanins (flavan3,4-diols) > flavonols
ใบ	Flavonols $\approx$ cinnamic acids > catechins $\approx$ leucoanthocyanins
เนื้อไม้	Catechins $\approx$ leucoanthocyanins > flavonols > cinnamic acids
เปลือกไม้	เหมือนในเนื้อไม้แต่จะมีปริมาณสูงกว่า

ที่มา : Pratt, 1992

## 2.9 ความคงตัวของสารประกอบฟีนอลในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน

ความคงตัวของสารประกอบฟีนอลในการเป็นสารต้านออกซิเดชันจะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโมเลกุลสารประกอบฟีนอล ดังตัวอย่างต่อไปนี้ คือ

1. ค่าความเป็นกรดค่า (pH)
2. อุณหภูมิ
3. แสง
4. เอ็นไซม์
5. การรวมตัวกับโมเลกุลอื่นๆ

เนื่องจาก OH-group ในแต่ละตำแหน่งของสารประกอบฟีนอลมีบทบาทต่อคุณสมบัติของการเป็นสารต้านออกซิเดชัน ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดค่าซึ่งจะมีผลให้ OH-group เกิดการเปลี่ยนแปลง จึงน่าจะมีผลต่อสมบัติของการเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลด้วยเช่นเดียวกัน (Jackman and Smith, 1996)

อุณหภูมิสูงในระหว่างการแปรรูปจะมีผลทำให้สารประกอบฟีนอลโมเลกุลเล็กๆ ระเหยกลายเป็นไอไปได้ในขณะพลาไวโนอยด์ ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลที่มีโครงสร้างแบบ C6-C3-C6 โดยมีลักษณะเป็นวงแหวน 3 วงต่อกัน จะเกิดการแตกของวงแหวน C และสลายตัวต่อไป โดยวงแหวน B จะเปลี่ยนเป็นกรดคาร์บอกซิลิก และวงแหวน A จะเปลี่ยนเป็นคาร์บอกซีอัลดีไฮด์ตามลำดับ (Jackman and Smith, 1996) และระเหยไปพร้อมกับไอน้ำ (Kim and Pratt, 1992)

แสงแดดเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่เร่งการสลายตัวหรือการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารประกอบฟีนอล เช่น OH-group ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 5 ในโมเลกุลของแอนโทไซยานินจะสามารถเรืองแสงและไวต่อการสลายตัวเมื่อโดนแสงแดด นอกจากนี้แสงแดดยังเป็นปัจจัยเร่งให้เกิดการสลายตัวเนื่องจากความร้อนให้เกิดเร็วขึ้นด้วย (Jackman and Smith, 1996)

ในสภาพที่มีเอ็นไซม์ polyphenoloxidase อยู่ด้วยจะเป็นการเร่งการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลบางชนิดให้เกิดได้เร็วขึ้น แต่อัตราเร่งปฏิกิริยาจะแตกต่างกันออกไป เช่น Fu et al. (1992) พบว่า polyphenoloxidase สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ(-)-epicatechin ได้ดีกว่า(+)-catechin

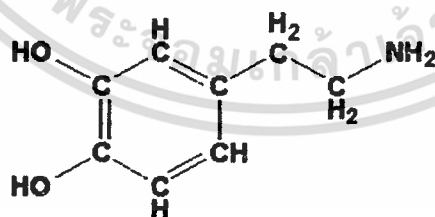
สารประกอบฟีนอลสามารถเกิดการรวมตัวกับโมเลกุลอื่นๆ เช่น โปรตีน โพลีแซคคาไรด์ อัลคาลอยด์และแอนโทไซยานินได้ง่าย และปฏิกิริยาอาจจะเป็นแบบสามารถผันกลับได้หรือไม่ได้นั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ในขณะที่เกิดปฏิกิริยา เช่น ออกซิเจน ไอออนโลหะ เอ็นไซม์และกรดเป็นต้น ซึ่งจะเป็นตัวการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมดุลของปฏิกิริยา เช่น ทำให้สารประกอบใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาวะสมดุลรวมตัวกันและตกตะกอนแยกออกมา หรือเกิดพันธะโควาเลนต์รวมกันเป็นสารใหม่ ทำให้ปฏิกิริยาไม่สามารถผันกลับได้ (Haslam et al., 1992) หาก ปรากฏการณ์เหล่านี้มีผลทำให้ให้ สารประกอบฟีนอลมีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างไป จะทำให้สารประกอบฟีนอลสูญเสีย สมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน ไปได้

## 2.10 สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในกล้วย

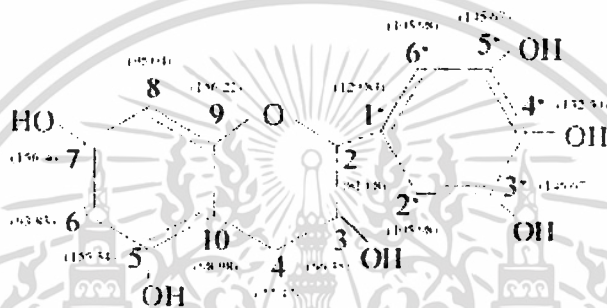
เนื่องจากกล้วยเป็นพืชที่พบในเขตร้อนจึงมีระบบที่สามารถป้องกันตัวเองจาก ออกซิเดทีฟสเตรส ซึ่งมีสาเหตุมาจากแสงแดดที่แรงและที่อุณหภูมิสูง โดยการผลิตสารต้าน ปฏิกิริยาออกซิเดชัน ในปริมาณมากในกล้วยมีองค์ประกอบของโดพามีน ( dopamine) ซึ่งมี โครงสร้างดังรูปที่ 2.4 ทั้งในเปลือกและเนื้อในปริมาณสูงปริมาณโดพามีนในกล้วยหอม (*Musa cavendish*) ลดลงเล็กน้อยเมื่อระดับความสุกเพิ่มขึ้น โดยมีปริมาณอยู่ที่ระดับ 80-560 และ 2.5- 10 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ของเปลือกและเนื้อกล้วยตามลำดับ โดยความแตกต่างนี้อาจจะมีสาเหตุ มาจากในส่วนที่แตกต่างกัน ที่ระดับความสุกต่าง ๆ ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ( ascorbic acid ) จะ คงที่ปริมาณ 10 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ทั้งในเนื้อและเปลือก แคโรทีน ( carotenes) และ โทโคฟี รอลจะพบมากในเปลือกและพบน้อยในเนื้อกล้วย ดังนั้นศักยภาพในการต้านออกซิเดชันที่ดีของ กล้วยจึงเป็นผลมาจากโดพามีน ซึ่งมากกว่าสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันอื่นๆ ในผลไม้ชนิดนี้ โดย ศักยภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของโดพามีนดีกว่า บีเอชเอ (BHA) , บีเอชที ( BHT), ฟลาโวนอยด์ , กลูตาไรโอน , แคทีชิน , แกลโลแคทีชิน แกลเลท ( gallic catechin gallic ) และ กรดแอสคอร์บิกในปริมาณที่เท่ากัน ( Kanazawa and Sakakibara, 2000)



รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของโดพามีน

ที่มา : [www.aw-bc.com/mathews/ ch21/dopamine.htm](http://www.aw-bc.com/mathews/ch21/dopamine.htm)

นอกจากนี้ Someya และคณะ (2002) ได้ศึกษาปริมาณและชนิดของสารประกอบที่มีสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในกล้วยหอมชนิดเดียวกัน พบว่าแกลโลแคทีชินเป็นสารที่พบมากในเปลือกกล้วยซึ่งพบในปริมาณที่สูงกว่าในเนื้อกล้วย ในระดับ 158 มิลลิกรัม และ 29.6 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแห้งตามลำดับ โดยที่สารสกัดจากเปลือกกล้วยมีสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ดีกว่าสารสกัดจากเนื้อกล้วย



รูปที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของแกลโลแคทีชิน

ที่มา : Somya , 2002

### บทที่ 3

#### อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

#### 3.1 วัตถุประสงค์

กล้วยน้ำว้า , กล้วยหอม , กล้วยไข่และกล้วยหักมุก ที่ความสุกระดับ 1 และ 5 ชั่วจากตลาดหัวตะเข้ เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

#### 3.2 อุปกรณ์

1. เครื่องทำสูญญากาศสำหรับกรอง
2. เครื่องบดผสมแบบเปียก ( Blender )
3. ตู้อบลมร้อน ( hot air oven )
4. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ( Water Bath )
5. Hot plate
6. สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) พร้อม cell
7. เครื่องเขย่า (Vertex)
8. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1

#### 3.3 สารเคมี

1. เอธานอล 95 %
2.  $\text{Na}_2\text{CO}_3$
3. Folin-Ciocalteu
4. กรดแกลติก
5. 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl ( DPPH )

### 3.4 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

#### 3.4.1 การเตรียมสารสกัดจากเปลือกและเนื้อกล้วย

นำตัวอย่างกล้วยสายพันธุ์ต่าง ๆ ที่ระดับความสุกต่าง 2 ระดับ คือ ระดับ 1 และระดับ 5 มาล้างเป็นเวลา 10 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปแยกส่วนเปลือกและเนื้อออกโดยตัดส่วนหัวและส่วนปลายทิ้งไป ชั่งตัวอย่างเปลือกกล้วยหรือเนื้อกล้วย ตัวอย่างละ 10 กรัม เติมหาซาลอล 95% 100 มิลลิลิตร แล้วนำไป บดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดผสมที่ความเร็วสูง 3 นาทีสำหรับเนื้อกล้วย และ 4 นาทีสำหรับเปลือกกล้วย ถ่ายตัวอย่างที่บดแล้วใส่ในบีกเกอร์ปิดด้วยกระดาษฟิวส์ นำไปให้ความร้อนในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยคนทุก ๆ 10 นาที เมื่อครบกำหนดเวลาแล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปกรองด้วยบุชเนอร์ใช้กระดาษกรอง whatman เบอร์ 1 แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยมหาซาลอล เก็บตัวอย่างที่สกัดได้ในขวดสีชา ที่อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส

#### 3.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (total polyphenols)

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดใช้วิธีที่รายงานโดย Yildirim และคณะ (2001) โดยที่สารประกอบโพลีฟีนอลทำปฏิกิริยากับ Folin-Ciocalteu และคิดตามสีน้ำเงินที่เกิดขึ้นโดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร ใช้กรดแกลลิก (Gallic acid) เป็นสารประกอบโพลีฟีนอลมาตรฐาน

##### 3.4.2.1 การเตรียมกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก

การเตรียมสารละลายมาตรฐานของกรดแกลลิกความเข้มข้น 400 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร โดยละลายกรดแกลลิก 0.02 กรัม ด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรให้เป็น 50 มิลลิลิตร จากนั้นบีบอัดสารละลายมาตรฐานดังกล่าวใส่หลอดทดลองขนาด 15 มิลลิลิตร หลอดละ 0, 0.05, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30 และ 0.35 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่นให้ปริมาตรรวมในแต่ละหลอดเป็น 10 มิลลิลิตร

นำหลอดทดลองทั้งหมดมาเติมสารละลาย Folin-Ciocalteu หลอดละ 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที จากนั้นเติมสารละลาย  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ความเข้มข้น 10% ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณกรดแกลลิกเป็นไมโครกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง

### 3.4.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างสารสกัดจากเนื้อกล้วยและเปลือกกล้วย

ปิเปตสารที่สกัดได้ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลองขนาด 15 มิลลิลิตรเติมน้ำกลั่น 9.6 มิลลิลิตร และสารละลาย Folin-Ciocalteu 0.5 มิลลิลิตรผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที จากนั้นเติมสารละลาย  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ความเข้มข้น 10% ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร โดยใช้ น้ำกลั่นแทนสารสกัดสำหรับ blank

### 3.4.2.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH

การวิเคราะห์สมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกและเนื้อกล้วยจะใช้วิธี DPPH assay (Murakami *et al.*, 2004) วิธีนี้จะอาศัยการติดตามความสามารถของตัวอย่างสารสกัดในการยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระของ 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl หรือ DPPH ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระที่ทำให้สารละลายมีสีม่วงและสามารถดูดกลืนแสงได้ที่ 517 นาโนเมตร ดังนั้นถ้าสารตัวอย่างมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระของสารดังกล่าวได้ดี จะทำให้สีม่วงจางลงมาก

วิธีการวิเคราะห์ทำโดยปิเปตสารสกัดตัวอย่าง 0.07 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองเติมเอธานอล 40% ให้มีปริมาตรรวมเป็น 5.4 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.8 mM ( ชั่ง DPPH 0.007 กรัม ละลายในเอธานอล 95 % 20 มิลลิลิตร ) ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตรลงไปผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร และเตรียมปฏิกิริยาควบคุม โดยปิเปตเอธานอล 95 % แทนตัวอย่างสารสกัด คำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ตามสมการต่อไปนี้

$$\% \text{ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH} = \left( 1 - \frac{A_{\text{sample}}}{A_{\text{control}}} \right) \times 100$$

$A_{\text{sample}}$  = ค่าการดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาของตัวอย่างสารสกัด

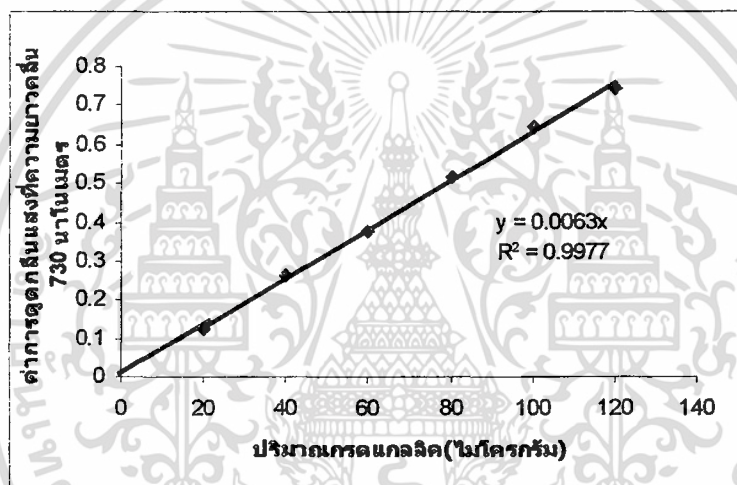
$A_{\text{control}}$  = ค่าการดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาควบคุม

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการวิจารณ์

#### 4.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในเปลือกและเนื้อกล้วยพันธุ์ต่างๆ

จากการเตรียมกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก ซึ่งใช้เป็นสารประกอบโพลีฟีนอลมาตรฐานในการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในสารสกัดจากเปลือกและเนื้อกล้วยพันธุ์ต่างๆ ได้กราฟเป็นเส้นตรงที่มีสมการคือ  $y = 0.0063x$  และมีค่า  $R^2 = 0.9977$  ดังแสดงรูปที่ 4.1



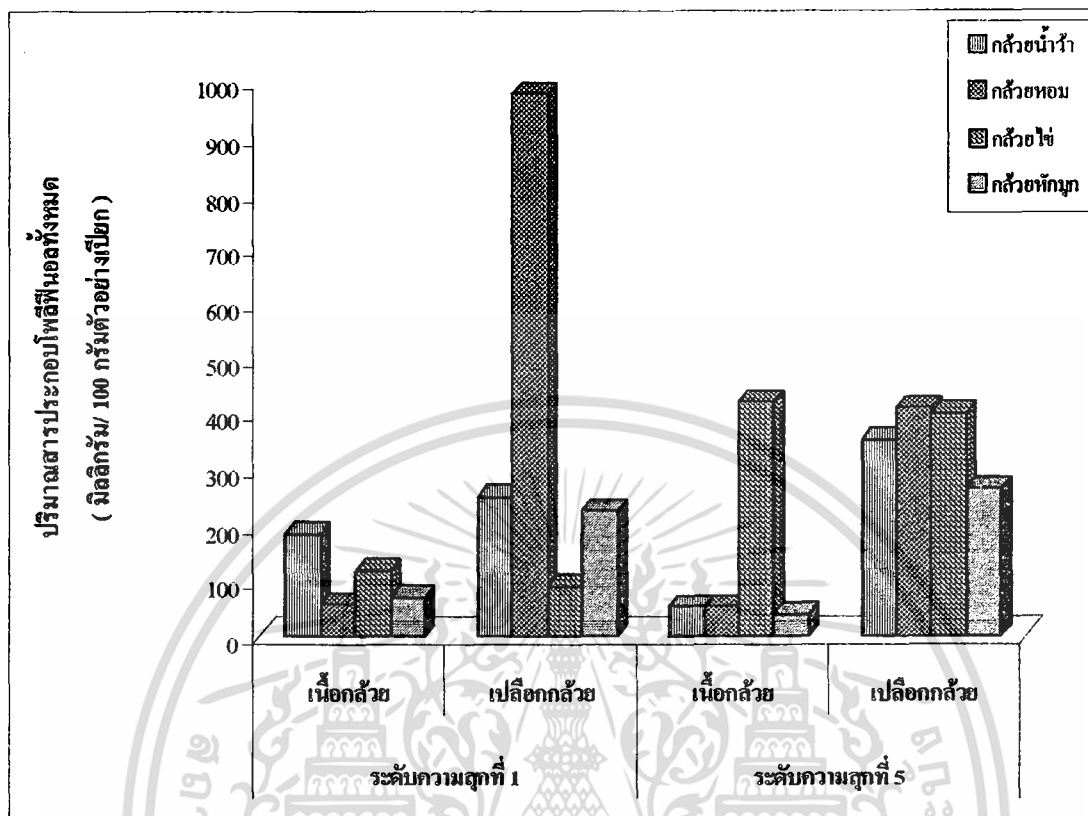
รูปที่ 4.1 กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด

จากการทดลองวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในเปลือกและเนื้อกล้วยนำว่า กล้วยหอม กล้วยไข่ และ กล้วยหักมุก ความสูงต่างกัน 2 ระดับ คือระดับ 1 และระดับ 5 โดยนำตัวอย่างแต่ละชนิดมาสกัดด้วยเอธานอล 95% จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดในสารสกัดที่ได้ โดยสารประกอบโพลีฟีนอลจะทำปฏิกิริยากับสารละลาย Folin-Ciocalteu และติดตามสีน้ำเงินที่เกิดขึ้นโดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 730 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่าง โดยใช้กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกข้างต้น ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.2-4.5

ตารางที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์ความชื้นและปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างเปลือก และเนื้อกล้วยพันธุ์ต่างๆ ที่ระดับความสุก 1 และ 5

ตัวอย่าง	ระดับความสุก	เปอร์เซ็นต์ความชื้นทั้งหมด	ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด	
			มิลลิกรัม/100กรัม ตัวอย่างเปียก	มิลลิกรัม/100กรัม ตัวอย่างแห้ง
เนื้อกล้วยน้ำว้า	1	67.57 ± 0.79	183.93± 1.51	567.11± 4.64
เปลือกกล้วยน้ำว้า	1	87.81 ± 0.29	250.63 ±5.39	2056.87 ± 43.74
เนื้อกล้วยน้ำว้า	5	68.07 ± 0.80	54.12 ± 5.38	169.48 ± 16.84
เปลือกกล้วยน้ำว้า	5	72.64 ± 2.40	351.33 ± 1.38	1284.31± 5.05
เนื้อกล้วยหอม	1	70.99 ± 2.07	57.85 ± 4.94	199.39 ± 17.03
เปลือกกล้วยหอม	1	86.63 ± 0.20	977.83 ± 1.59	3656.24 ± 11.89
เนื้อกล้วยหอม	5	76.11 ± 0.26	54.09 ± 0.35	226.46 ± 1.48
เปลือกกล้วยหอม	5	82.57 ± 0.13	407.29 ± 7.89	2336.20 ± 45.23
เนื้อกล้วยไข่	1	67.31 ± 0.25	118.00 ± 0.39	360.99± 1.20
เปลือกกล้วยไข่	1	83.21 ± 0.19	90.99 ± 3.51	2504.26 ± 18.76
เนื้อกล้วยไข่	5	70.01 ± 0.09	420.49 ± 3.15	303.43 ± 11.72
เปลือกกล้วยไข่	5	76.23 ± 0.04	398.34 ± 1.24	1676.11 ± 5.21
เนื้อกล้วยหักมุก	1	69.29 ± 0.40	71.99 ± 2.08	234.44 ± 6.76
เปลือกกล้วยหักมุก	1	85.30 ± 0.83	225.29 ± 6.59	1532.29 ± 44.80
เนื้อกล้วยหักมุก	5	71.80 ± 0.06	39.99 ± 1.11	141.82 ± 3.93
เปลือกกล้วยหักมุก	5	80.52 ± 0.80	263.67 ± 0.86	1456.08 ± 4.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



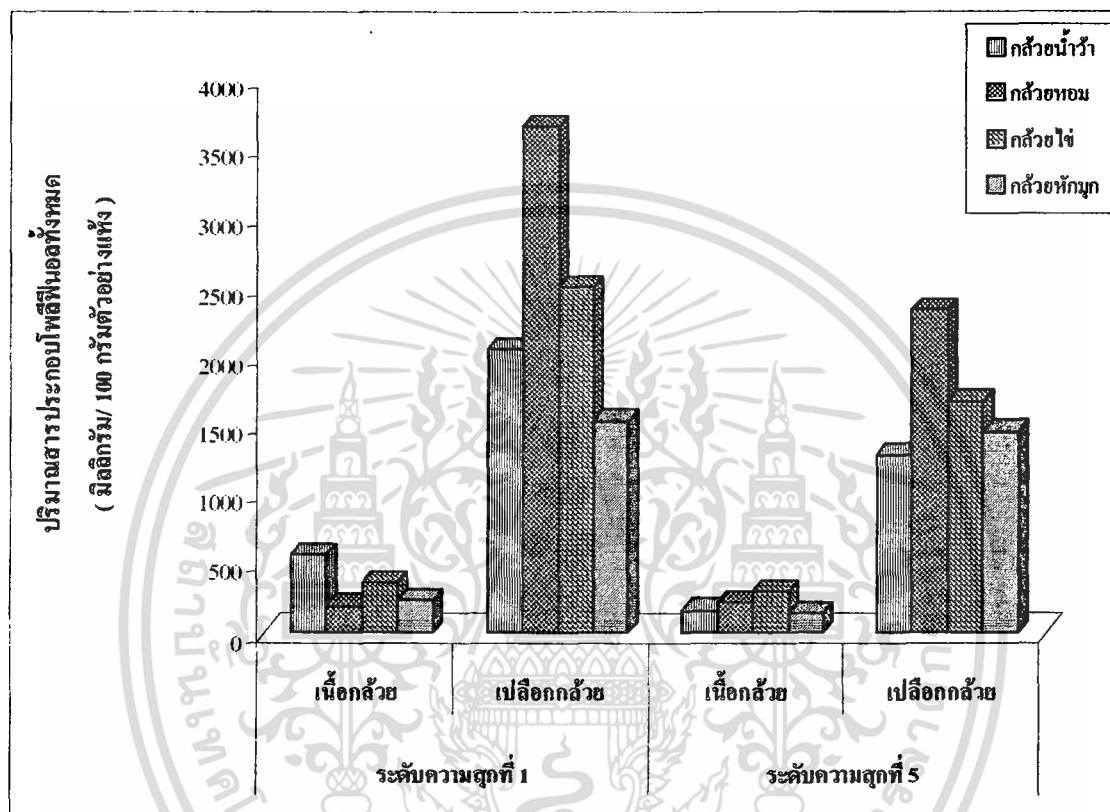
รูปที่ 4.2 ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดใน 100 กรัม ตัวอย่างเปียกของเนื้อกล้วยพันธุ์ต่างๆ ที่ระดับความสุก 1 และ 5

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 เมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่าง 100 กรัม น้ำหนักเปียกของ เนื้อและเปลือกกล้วยที่ระดับความสุกที่ 1 และ 5 พบว่าในตัวอย่างกล้วยน้ำว้า, กล้วยหอม และ กล้วยหักมุก มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในส่วนของเปลือกกล้วยสูงกว่าในส่วนของเนื้อกล้วยทั้งสองระดับความสุก แต่ในตัวอย่างกล้วยไข่กลับมีแนวโน้มของปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในเนื้อกล้วยสูงกว่าในเปลือกกล้วยเล็กน้อย และเมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในส่วนของเปลือกกล้วยและเนื้อกล้วยเมื่อระดับความสุกเพิ่มขึ้น พบว่าในตัวอย่างกล้วยน้ำว้า, กล้วยหอม และกล้วยหักมุก นั้น ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งในส่วนของเนื้อและเปลือกกล้วย จะมีแนวโน้มลดลง เมื่อระดับความสุกเพิ่มขึ้น แต่ในตัวอย่างกล้วยไข่ ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดทั้งในส่วนของเนื้อและเปลือกกลับมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อระดับความสุกมากขึ้น

สาเหตุที่แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล เมื่อระดับความสุกของกล้วยเพิ่มขึ้น ในกรณีของกล้วยไข่ไม่เป็นที่ชัดเจนเท่ากับกล้วยพันธุ์อื่นๆ อาจเป็นผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาจากการที่ตัวอย่างเป็ยคมี่ปริมาณความชื้นแตกต่างกัน (ตารางที่ 4.1) และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างแห้ง 100 กรัม ผลการเปรียบเทียบแสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดใน 100 กรัม ตัวอย่างแห้งของเนื้อกล้วยพันธุ์ต่างๆ ที่ระดับความสุก 1 และ 5

จากรูปที่ 4.3 เมื่อพิจารณาตัวอย่างแห้ง (dry basis) จะเห็นได้ค่อนข้างชัดเจนว่ากล้วยทุกสายพันธุ์จะมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในส่วนของเปลือกสูงกว่าในส่วนของเนื้อที่ระดับความสุกทั้งสองระดับ นอกจากนี้เมื่อระดับความสุกของกล้วยเพิ่มขึ้น เปลือกและเนื้อกล้วยทุกสายพันธุ์จะมีแนวโน้มของปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลลดลง ยกเว้นตัวอย่างเนื้อกล้วยหอมพบว่าที่ระดับความสุก 5 ตัวอย่างเนื้อกล้วยหอมจะมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลสูงกว่าที่ระดับความสุก 1 เล็กน้อย ซึ่งอาจเป็นผลมาจากปริมาณของแข็งแห้ง (day matter) ที่ไม่เท่ากันของตัวอย่างสารสกัดที่ได้จากกล้วยที่ระดับความสุก 1 และ 5 โดยปริมาณของแข็งแห้งนี้มีผลต่อปริมาณ

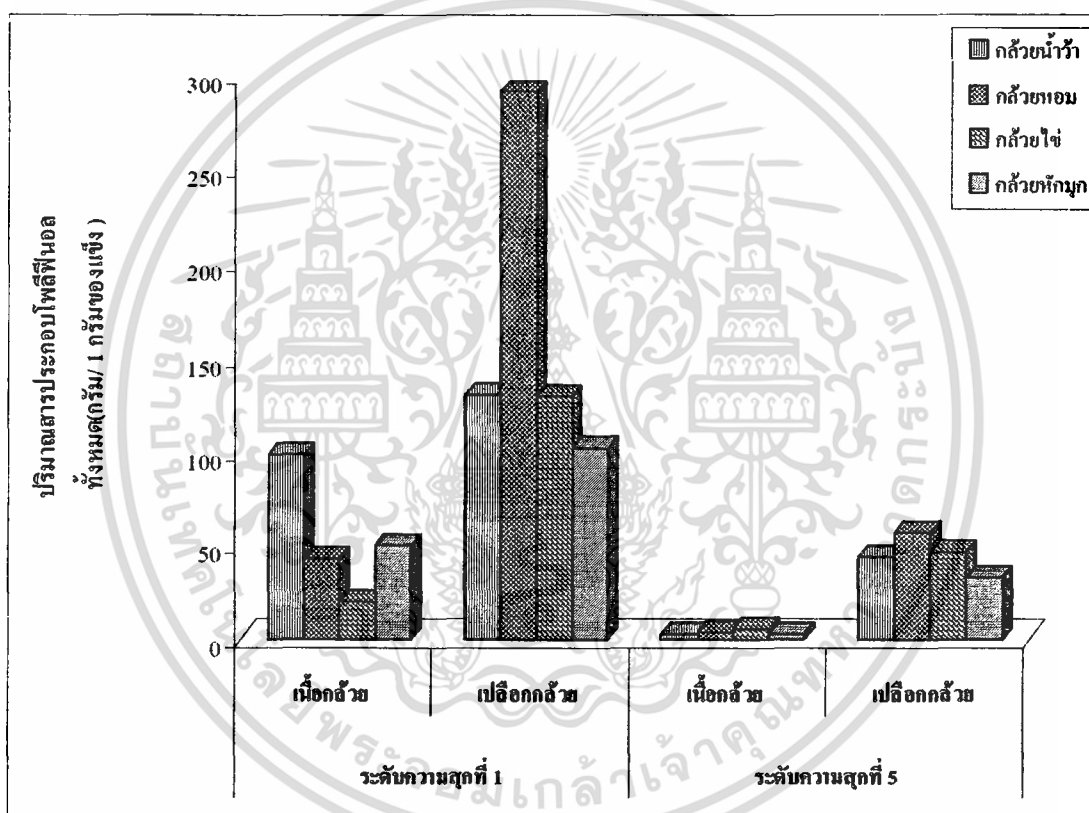
สารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้ และเมื่อทดลองคำนวณปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดต่อปริมาณของแข็งแห้งของสารสกัดเท่ากัน ซึ่งผลการคำนวณแสดง ได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณของแข็งแห้งในสารสกัดที่ได้และปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างเปลือกและเนื้อกล้วยพันธุ์ต่างๆ ที่ระดับความสุก 1 และ 5

ตัวอย่าง	ระดับความสุก	ปริมาณของแข็งแห้งในสารสกัดที่ได้ (กรัม/100มิลลิกรัมสารสกัด)	ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (มิลลิกรัม/กรัมของแข็งแห้ง)
เนื้อกล้วยน้ำว้า	1	0.1874 ± 0.00	99.05 ± 2.37
เปลือกกล้วยน้ำว้า	1	1.8711 ± 0.00	130.84 ± 5.19
เนื้อกล้วยน้ำว้า	5	0.1926 ± 0.00	3.02 ± 0.11
เปลือกกล้วยน้ำว้า	5	0.8140 ± 0.01	43.42 ± 0.37
เนื้อกล้วยหอม	1	0.1284 ± 0.01	43.10 ± 1.35
เปลือกกล้วยหอม	1	1.4034 ± 0.03	291.27 ± 5.92
เนื้อกล้วยหอม	5	0.1782 ± 0.00	3.89 ± 0.04
เปลือกกล้วยหอม	5	0.7198 ± 0.01	57.25 ± 2.28
เนื้อกล้วยไข่	1	0.5956 ± 0.00	19.87 ± 0.03
เปลือกกล้วยไข่	1	1.7117 ± 0.04	130.20 ± 1.29
เนื้อกล้วยไข่	5	0.3240 ± 0.01	5.34 ± 0.08
เปลือกกล้วยไข่	5	0.8849 ± 0.02	46.31 ± 0.95
เนื้อกล้วยหักมุก	1	0.1454 ± 0.01	49.80 ± 4.24
เปลือกกล้วยหักมุก	1	1.2459 ± 0.02	102.80 ± 1.16
เนื้อกล้วยหักมุก	5	0.2159 ± 0.00	3.19 ± 0.08
เปลือกกล้วยหักมุก	5	0.8536 ± 0.01	33.33 ± 0.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่า ปริมาณของแข็งแห้งของสารสกัดจากเปลือกและเนื้อกล้วยมีค่าไม่เท่ากัน โดยปริมาณของแข็งแห้งในเปลือกกล้วยจะมีค่ามากกว่าในเนื้อกล้วย ซึ่งเมื่อคำนวณโดยให้ปริมาณของแข็งแห้งเท่ากัน แล้วพิจารณาแนวโน้มปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลในสารสกัดเนื้อกล้วยหอม พบว่าปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดต่อ 1 กรัมของแข็งแห้ง ในสารสกัดจากเนื้อกล้วยที่ระดับความสุก 1 มีจะค่ามากกว่าที่ระดับความสุกที่ 5 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับความสุกมากขึ้นในทุกตัวอย่างพันธุ์กล้วยที่ศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดต่อ 1 กรัมของแข็งแห้งในสารสกัดจากกล้วยพันธุ์ต่างๆ ที่ระดับความสุก 1 และ 5

ผลการทดลองดังกล่าวข้างต้นสอดคล้องกับการทดลองของ Kanazawa และ Sakakibara (2000) และผลการทดลองของ Someya และคณะ (2002) ซึ่งรายงานว่า ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล ทั้งหมดในเปลือกกล้วยหอมจะมีปริมาณสูงกว่าในผลกล้วยหอม (*Musa Cavendish*) และปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดลดลงเล็กน้อยเมื่อกล้วยมีระดับความสุกเพิ่มขึ้น

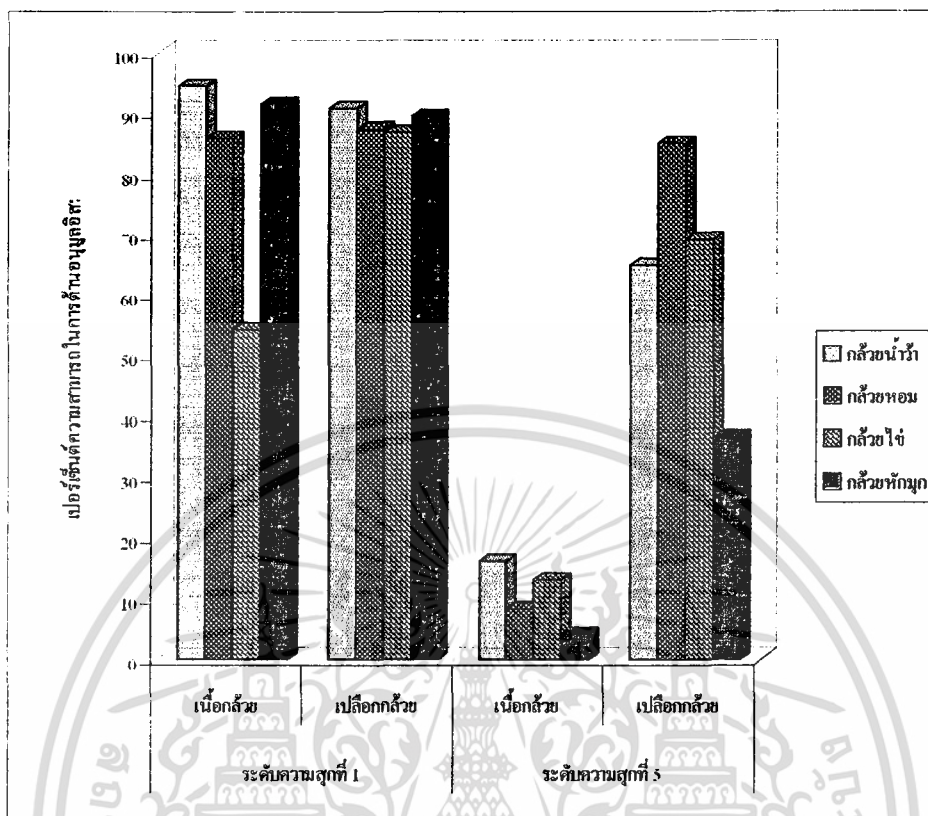
#### 4.2 การศึกษาสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากเปลือกและเนื้อกล้วยพันธุ์ต่างๆ

จากการวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากเปลือกและเนื้อกล้วยพันธุ์ต่างๆ โดยวิธีออสซิลการติดตามความสามารถของตัวอย่างสารสกัดในการยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระของ 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl หรือ DPPH ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระที่ทำให้สารละลายมีสีม่วงและสามารถดูดกลืนแสงได้ที่ 517 นาโนเมตร ถ้าสารตัวอย่างมีฤทธิ์ในการทำลาอนุมูลอิสระของสารดังกล่าวได้ จะทำให้สีม่วงจางลง เปรียบเทียบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระในรูปของเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระตามวิธีที่ทดลองในข้อ 3.4.2.3 แต่เนื่องจากในการวิเคราะห์เมื่อกรองแยกสารสกัดที่ได้ พบว่าในตัวอย่างสารสกัดที่ได้จากแต่ละตัวอย่างมีปริมาณของแข็งแห้ง (dry matter content) ไม่เท่ากัน( ตารางที่ 4.1) ทำให้ในการวิเคราะห์โดยใช้ปริมาณตัวอย่างที่เท่ากัน อาจทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างสารสกัดที่ได้ผิดไปจากความเป็นจริง ดังนั้นในการวิเคราะห์หาค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างสารสกัดจึงคำนวณเทียบกับปริมาณของแข็งแห้งทั้งหมดที่มีอยู่ในสารสกัดแต่ละตัวอย่าง เพื่อให้ได้ปริมาณตัวอย่างสารสกัดที่มีปริมาณของแข็งแห้งทั้งหมดเท่ากัน แล้วจึงใช้ปริมาณตัวอย่างสารสกัดที่คำนวณ ได้จากการเทียบกับปริมาณของแข็งแห้งทั้งหมดไปวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.8-4.11

ตารางที่ 4.3 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดจากเปลือกและเนื้อกล้วย  
พันธุ์ต่างๆที่ระดับความสูง 1 และ 5

ตัวอย่าง	ระดับความสูง	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (%)
เนื้อกล้วยน้ำว้า	1	94.51 ± 0.29
เปลือกกล้วยน้ำว้า	1	90.96 ± 2.71
เนื้อกล้วยน้ำว้า	5	16.33 ± 4.59
เปลือกกล้วยน้ำว้า	5	64.99 ± 0.01
เนื้อกล้วยหอม	1	85.94 ± 1.85
เปลือกกล้วยหอม	1	87.47 ± 0.43
เนื้อกล้วยหอม	5	8.29 ± 0.96
เปลือกกล้วยหอม	5	85.04 ± 4.29
เนื้อกล้วยไข่	1	54.46 ± 1.69
เปลือกกล้วยไข่	1	86.91 ± 0.27
เนื้อกล้วยไข่	5	13.07 ± 0.78
เปลือกกล้วยไข่	5	69.17 ± 0.80
เนื้อกล้วยหักมุก	1	91.64 ± 1.45
เปลือกกล้วยหักมุก	1	89.58 ± 0.52
เนื้อกล้วยหักมุก	5	4.25 ± 0.52
เปลือกกล้วยหักมุก	5	36.47 ± 5.81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยสายพันธุ์ต่างๆที่ระดับความสุกที่ 1 และ 5

การวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.5 พบว่าในสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยทั้ง 4 พันธุ์ที่ระดับความสุก 1 ตัวอย่างสารสกัดจากเปลือกกล้วยหอม และ เปลือกกล้วยขมิ้น จะมียค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าตัวอย่างสารสกัดจากเนื้อของกล้วยทั้งสองชนิด ยกเว้นในสารสกัดจากกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอกมุก พบว่ามีค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในส่วนของสารสกัดจากเนื้อมากกว่าส่วนสารสกัดจากเปลือกเล็กน้อย โดยสารสกัดจากเปลือกกล้วยระดับความสุก 1 ของกล้วยเกือบทุกพันธุ์ ที่ศึกษาจะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในปริมาณที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยที่ในสารสกัดเนื้อกล้วยน้ำว้ามีค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด (94.51%)

สำหรับในสารสกัดจากกล้วยระดับความสุก 5 พบว่าสารสกัดจากกล้วยทุกสายพันธุ์ จะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากเปลือกมากกว่าสารสกัดจากเนื้อ โดยสารสกัดจากเปลือกกล้วยหอมมีค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด

(85.04%) รองมาได้แก่ กล้วยไข่ กล้วยน้ำว้า กล้วยห้กมูก ตามลำดับ ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดจากเนื้อพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งจะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับสารสกัดจากส่วนของเปลือกที่ระดับความสุกที่ 5 และสารสกัดจากเนื้อกล้วยและเปลือกกล้วยที่ระดับความสุกที่ 1 ของกล้วยทุกสายพันธุ์ (รูปที่ 4.5)

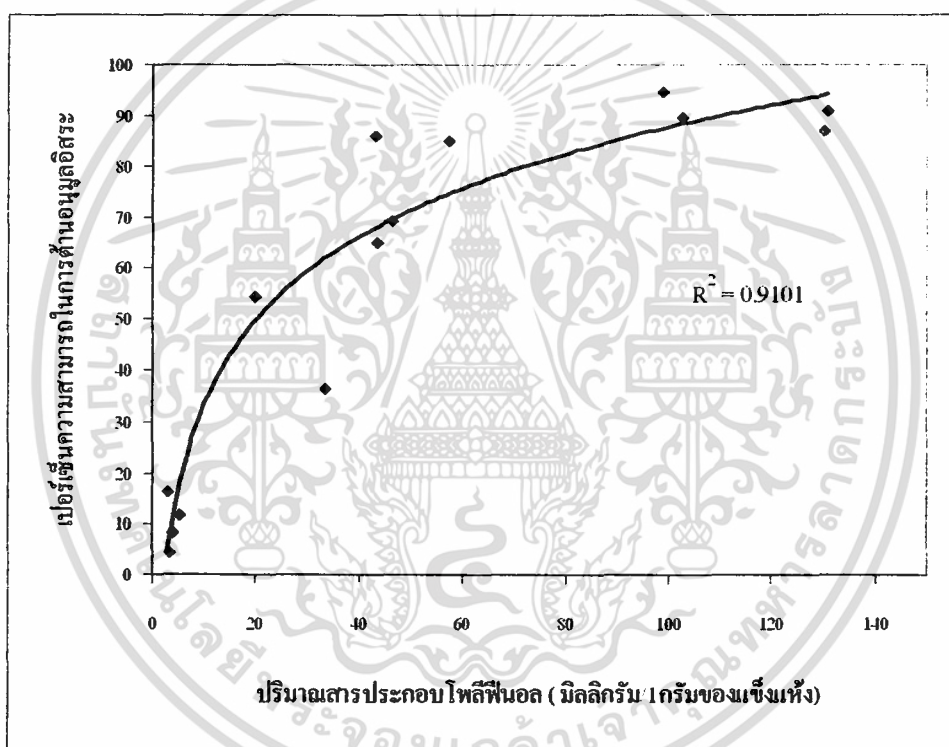
เมื่อเปรียบเทียบ ค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดจากกล้วยระดับความสุก 1 และ 5 พบว่าในสารสกัดจากเปลือกและเนื้อกล้วยระดับความสุก 1 เกือบทุกตัวอย่าง จะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสารสกัดจากเปลือกและเนื้อกล้วยระดับความสุก 5 ซึ่งแสดงว่าเมื่อระดับความสุกเพิ่มมากขึ้นเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจะมีค่าลดลงในทุกตัวอย่างพันธุ์กล้วย

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์โดยรวมระหว่างปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลและ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (รูปที่ 4.4 และ 4.5) จะเห็นได้ว่าโดยทั่วไปตัวอย่าง สารสกัดจากเปลือกหรือเนื้อของกล้วยที่มีปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลสูง ก็จะมีแนวโน้มของ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงด้วย อย่างไรก็ตาม มีสารสกัดจากเปลือกหรือเนื้อ กล้วยหลายตัวอย่างที่ไม่มีความสัมพันธ์ในทิศทางดังกล่าว ตัวอย่างเช่น สารสกัดเนื้อกล้วยน้ำว้าที่ ระดับความสุก 1 ซึ่งมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดต่ำกว่าสารสกัดจากเปลือกกล้วยน้ำว้า ที่ระดับความสุกเดียวกัน (รูปที่ 4.4) แต่กลับมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่า (รูปที่ 4.5) ในทำนองเดียวกันที่ระดับความสุกที่ 1 สารสกัดจากเนื้อกล้วยห้กมูก ซึ่งมีปริมาณ สารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดต่ำกว่าสารสกัดจากเปลือกกล้วยห้กมูกประมาณครึ่งหนึ่ง แต่กลับมี ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ใกล้เคียงกัน เป็นต้น

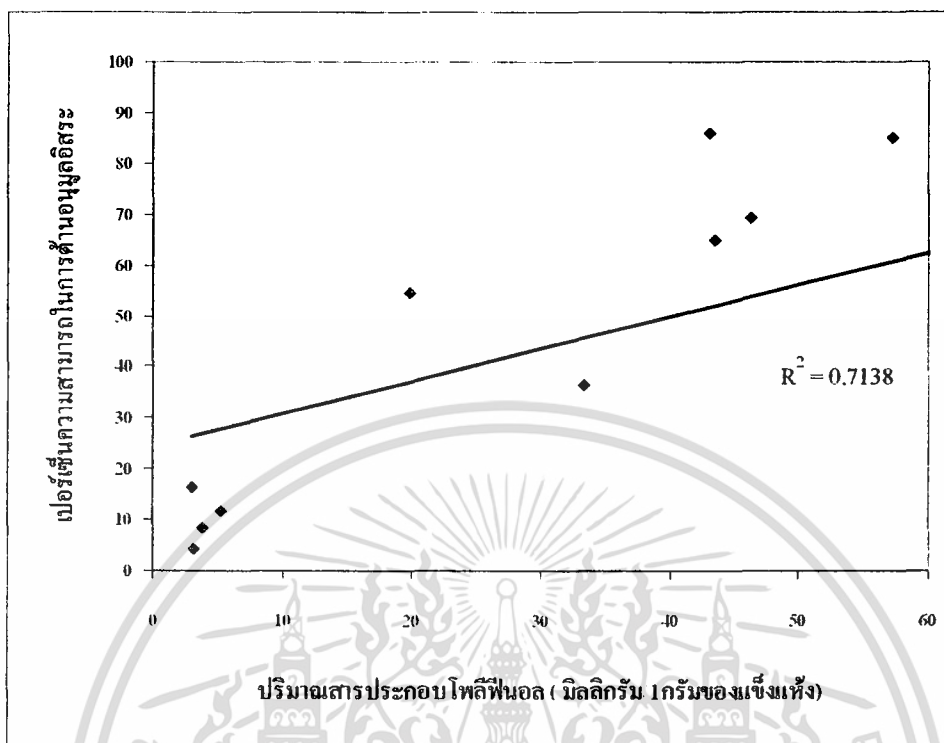
ทั้งนี้อาจเนื่องจากการที่สารประกอบโพลีฟีนอล ไม่ได้เป็นองค์ประกอบทางเคมีเพียงชนิด เดียวที่พบในกล้วย ซึ่งมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH แต่ยังมีสารประกอบอื่นๆ เช่น วิตามิน C และแคโรทีนอยด์ เป็นต้น ซึ่งมีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH เช่นเดียวกัน หรือการที่สารประกอบโพลีฟีนอลที่พบในส่วนของกล้วยที่ต่างกันหรือสายพันธุ์ ต่างกัน อาจมีความแตกต่างกันทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH แตกต่างกันด้วย

นอกจากนี้เมื่อนำค่าปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างสารสกัดทั้งหมด (ยกเว้นสารสกัดจากเปลือกกล้วยหอมระดับ 1 และสารสกัดจากเนื้อกล้วยห้กมูกระดับ 1) มาเขียน กราฟความสัมพันธ์กับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH จะได้กราฟความสัมพันธ์ที่มี ลักษณะเป็นแบบพาราโบลาดังกราฟรูปที่ 4.6 ( $r^2 = 0.9101$ ) โดยที่ตัวอย่างสารสกัดที่มีปริมาณ สารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงกว่า 60 มิลลิกรัมต่อ 1 กรัมของแห้งแห้งจะให้ค่าความสามารถ

ในการทำลาชอนุมูลอิสระ DPPH ที่ค่อนข้างคงที่ ซึ่งลักษณะของกราฟดังกล่าวน่าจะคิดจากการที่ ปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมดที่ระดับมากกว่า 60 มิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งแห้งเป็นระดับ ที่มากเกินไปในการทำลาชโมเลกุลของอนุมูลอิสระ DPPH ได้สมบูรณ์ ( เข้าใกล้ 100 % ) ดังนั้นการ เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดกับความสามารถในการ ด้านอนุมูลอิสระ DPPH จึงพิจารณาเฉพาะตัวอย่างสารสกัดที่มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล ทั้งหมดต่ำกว่า 60 มิลลิกรัมต่อ 1 กรัมของแข็งแห้ง ดังกราฟรูปที่ 4.7 ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่า ความสามารถของค่าทั้งสองดังกล่าวมีความสัมพันธ์เชิงบวก โดยเมื่อปริมาณสารประกอบโพลี- ฟีนอลทั้งหมดสูงขึ้นสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างสารสกัดจะสูงขึ้นด้วย ( $r^2 = 0.7138$ )



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดกับเปอร์เซ็นต์ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างสารสกัดจากเนื้อและเปลือก กล้วยทุกพันธุ์



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดกับเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างสารสกัดจากเนื้อและเปลือกกล้วยทุกพันธุ์ที่มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดน้อยกว่า 60 มิลลิกรัมต่อ 1 กรัมของขิงแห้ง

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง การหาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างสารสกัดจากกล้วย 4 พันธุ์คือ กล้วยน้ำว้า, กล้วยหอม, กล้วยไข่ และ กล้วยหักมุก ที่ระดับความสุกที่ 1 และระดับความสุกที่ 5 พบว่าปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างสารสกัดจากเปลือกกล้วยจะมีค่ามากกว่าในตัวอย่างสารสกัดจากเนื้อกล้วยทุกพันธุ์ที่ศึกษา เมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดพบต่อตัวอย่างเนื้อหรือเปลือก 100 กรัม น้ำหนักแห้ง พบว่าที่ระดับความสุกที่ 1 ตัวอย่างเนื้อกล้วยมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลจากสูงไปต่ำดังนี้ เนื้อกล้วยน้ำว้า, เนื้อกล้วยไข่, เนื้อกล้วยหักมุก และเนื้อกล้วยหอม ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างเปลือกกล้วยมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลจากสูงไปต่ำดังนี้ เปลือกกล้วยหอม, เปลือกกล้วยไข่, เปลือกกล้วยน้ำว้าและเปลือกกล้วยหักมุกตามลำดับ และที่ระดับความสุกที่ 5 ตัวอย่างเนื้อกล้วยมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลจากสูงไปต่ำดังนี้ เนื้อกล้วยไข่, เนื้อกล้วยหอม, เนื้อกล้วยน้ำว้า และ เนื้อกล้วยหักมุก ส่วนตัวอย่างเปลือกกล้วยมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลจากสูงไปต่ำดังนี้ เปลือกกล้วยหอม, เปลือกกล้วยไข่, เปลือกกล้วยหักมุก และ เปลือกกล้วยน้ำว้าตามลำดับ ซึ่งในตัวอย่างสารสกัดทั้งจากเปลือกกล้วยและเนื้อกล้วยของทุกพันธุ์กล้วย มีแนวโน้มของปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดลดลงเมื่อระดับความสุกเพิ่มขึ้น

และเมื่อนำไปวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระพบว่า ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างสารสกัดจากเปลือกกล้วยจะมากกว่าในตัวอย่างสารสกัดจากเนื้อกล้วย นั่นคือเมื่อปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดสูง ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระก็จะสูงด้วย โดยความสามารถในการอนุมูลอิสระจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับความสุกเพิ่มมากขึ้น ดังกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดกับเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในกล้วยพันธุ์ต่างๆ จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์ไปทางบวกกับปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด

ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ทำให้ทราบว่าในเปลือกกล้วยและเนื้อกล้วยมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระสูง จึงควรส่งเสริมมีการบริโภคกล้วยมากขึ้นและยังสามารถนำสารสกัดจากเปลือกกล้วยไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร โดยเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งน่าจะมีการศึกษาต่อไป

## เอกสารอ้างอิง

- เบญจมาศ ศิลาชัย. 2545. กล้วย. พิมพ์ครั้งที่ 3. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ประไพภัทร คลังทรัพย์ . 2547 . “การศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากพืช” . วารสาร LAB.TODAY . หน้า 37
- พรทิพย์ วิรัชวงศ์ . 2546 . “อนุมูลอิสระ(free radicals) /สารต้านอนุมูลอิสระ ( antioxidants )” . วารสาร R&D Newsletter .10(3):18-21
- ไมตรี สุจิตร และ คณะ. 2543 .ความสามารถของสารสำคัญในการต่อต้านออกซิเดชันในสมุนไพรไทย. เชียงใหม่: คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- วัลยา เนาวรัตน์วัฒนาและ พัชรี บุญศิริ . 2542 . โปรออกซิแดนซ์ : อีกโฉมหน้าของแอนตี้ออกซิแดนซ์. วารสารวิทยาศาสตร์. 53(3) : 196-198
- วิวัฒน์ หวังเจริญ. 2545. “บทบาทของสารประกอบฟีนอลต่อสุขภาพ”. วารสารอาหาร. 32 (4) : 245-253 หน้า.
- สมศักดิ์ วรรณศิริ . 2532 . สวนกล้วย. กรุงเทพฯ: บริษัท สามัคคีสาร จำกัด
- AOAC. 1995. Official Method of Analysis. 16<sup>th</sup> ed. Virginia : The Association of Official Analytical Chemist
- Bravo, L. 1998. Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism and nutritional significance. Nutrition Reviews 56(11):317-333.
- “Dopamine” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.aw-bc.com/mathews/ch21/dopamine.htm>
- Gordon, M.H. 1990. The Mechanism of Antioxidant Action in Vitro. In B.J.F. Hudson(ed). Food Antioxidant. England : Elsevier science publishers.
- Haslam, E., Lilley, T.H., Warminski, E., Liao, H., Cai, Y., Martin, R., Gaffney, S.H., Goulding, P.N. and Luck, G. 1992. Polyphenol Complexation. In “Phenolic Compounds in Food and Their Effects on Health : Analysis, Occurrence, & Chemistry “ Editors: Ho, C.T., Lee, C.Y. and Huang, M.T. American Chemical Society , Washington, D.C. pp 8-50
- Jackman, R.L. and Smith, J.L. 1996. Anthocyanins and betalains. In “natural food colorants.” 2<sup>nd</sup> ed. Editors: Hendry, G.A.F. and Houghton, J.D. Blackie Academic & Professional, Glasgow. Pp 244-309.

- Jackman, R.L. and Smith, J.L. 1996. Anthocyanins and betalains. In "natural food colorants." 2<sup>nd</sup> ed. Editors: Hendry, G.A.F. and Houghton, J.D. Blackie Academic & Professional, Glasgow. Pp 244-309.
- John. P., Marchal, J. 1995. Ripening and Biochemistry of fruit. In Gowen, S(ed). Bananas and Plantains. UK : Chapman & Hall
- Kanazawa, K., Sakakibara, H. 2000. "High Content of Dopamine, a Strong Antioxidant, in Cavendish Banana". J.Agric. Food Chem. 48 : 844-848.
- Kim, M-C. and Pratt, D.E. 1992. Thermal Degradation of Phenolic Antioxidation . In "Phenolic Compounds in Food and Their Effects on Health II: Antioxidation & Cancer Prevention " Editors: Huang, M.T., Ho, C.T. and Lee, C.Y. American Chemical Society, Washington, D.C. pp 200-218
- Murakami, M., Yamaguchi, T., Takamura, H., Matoba, T. 2004. Effect of thermal treatment on radical-scavenging activity of single and mixed polyphenolic compounds. J. Food Sci. 69 : FCT 7-FCT 10
- Palmer, J.K. 1971 The biochemistry of Fruits and Their Product. Volume 2. London : Academic Press
- Pratt, D.E. 1992. Natural Antioxidant from plant material. " In Phenolic compounds in food and their effects on health II : Antioxidants & Cancer Prevention " Editor: Huang, M.T. Ho, C.T. and Lee, C.Y. American Chemical Society, Washington, D.C. pp 54-7
- Simmond, N.W. 1966 Banana. 2<sup>nd</sup> ed. London : Longman
- Someya, S., Yoshiki, Y. and Okubo, K. 2002. "Antioxidant compounds from banana (*Musa Cavendish*)". Food Chem. 79 : 351-354.
- Von Loesecke, H.W. 1950. Bananas. 2<sup>nd</sup> ed. New York : Interscience Publishing Inc
- Yildirim A., Mari A. and Kara A. A. 2001. "Determination of Antioxidant and Antimicrobial Activity of *Rumex crispus* L. Extracts". J.Agr. Food Chem. 49 : 4083-4089.

## ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นในเนื้อกล้วยและเปลือกกล้วย จะใช้วิธีของ AOAC (1995) การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นในตัวอย่างเนื้อและเปลือกกล้วยมีขั้นตอนดังนี้

### 1. อุปกรณ์

- 1.1 Aluminium can
- 1.2 Hot air oven
- 1.3 Dessicator
- 1.4 Tong
- 1.5 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
- 1.6 ซ้อนตักสาร

### 2. วิธีการวิเคราะห์

- 2.1 นำ Aluminium can อบที่อุณหภูมิ  $130 \pm 3$  องศาเซลเซียส นำมาชั่งจนน้ำหนักคงที่
- 2.2 ชั่งตัวอย่างเนื้อกล้วยและเปลือกกล้วยที่ทำการตัดเป็นชิ้นเล็กๆแล้วตัวอย่างละ 2 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียด ตักใส่ Aluminium can
- 2.3 นำไปอบใน Hot air oven ที่อุณหภูมิ 102 -105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 – 18 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่
- 2.4 ทิ้งให้เย็นใน Dessicator
- 2.5 ชั่งน้ำหนัก
- 2.6 คำนวณหาปริมาณความชื้นโดยใช้สูตร

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

ตารางที่ 1ก ปริมาตรร้อยละความชื้นทั้งหมดในตัวอย่างเนื้อกล้วยและเปลือกกล้วยที่ระดับความสุก 1 และ 5 ของกล้วยน้ำว้า , กล้วยหอม , กล้วยไข่ และกล้วยหักมุก

ตัวอย่างพันธุ์กล้วย	ร้อยละความชื้นทั้งหมดในตัวอย่างเนื้อและเปลือกกล้วย			
	ความสุกระดับที่ 1		ความสุกระดับที่ 5	
	เนื้อกล้วย	เปลือกกล้วย	เนื้อกล้วย	เปลือกกล้วย
กล้วยน้ำว้า	67.57 ± 0.79	87.81 ± 0.29	68.07 ± 0.80	72.64 ± 2.45
กล้วยหอม	70.99 ± 2.06	86.63 ± 0.2	76.11 ± 0.26	82.57 ± 0.13
กล้วยไข่	67.31 ± 0.25	83.21 ± 0.19	70.01 ± 0.08	76.23 ± 0.04
กล้วยหักมุก	69.29 ± 0.4	85.30 ± 0.83	71.80 ± 0.06	80.52 ± 0.8

หมายเหตุ \* ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

การคำนวณปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างเนื้อกล้วยและเปลือกกล้วยที่ระดับความสุก 1 และ 5 ของกล้วยพันธุ์ต่างๆ

ตารางที่ 1x ค่าการดูดกลืนแสงที่ 730 นาโนเมตร ของสารประกอบโพลีฟีนอลมาตรฐาน

ความเข้มข้นของกรดแกลลิก (ไมโครกรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง ( 730 นาโนเมตร )			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	0.000	0.000	0.000	0.000
20	0.120	0.121	0.138	0.126
40	0.261	0.258	0.265	0.261
60	0.416	0.323	0.397	0.379
80	0.534	0.515	0.505	0.518
100	0.649	0.640	0.639	0.643
120	0.740	0.741	0.744	0.742

ตารางที่ 2x ค่าการดูดกลืนแสงที่ 730 นาโนเมตร ของตัวอย่างสารสกัดเนื้อกล้วยและเปลือกกล้วยที่ระดับความสุกที่ 1 และ 5 ของกล้วยพันธุ์ต่างๆ

ตัวอย่าง		ค่าการดูดกลืนแสง		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ตัวอย่างสารสกัดเนื้อกล้วยน้ำว้า ที่ระดับความสุกที่ 1	บีกเกอร์ที่ 1	0.464	0.466	0.465
	บีกเกอร์ที่ 2	0.460	0.475	0.476
	บีกเกอร์ที่ 3	0.344	0.332	0.334
ตัวอย่างสารสกัดเปลือกกล้วยน้ำว้า ที่ระดับความสุกที่ 1	บีกเกอร์ที่ 1	0.610	0.640	0.622
	บีกเกอร์ที่ 2	0.636	0.620	0.638
	บีกเกอร์ที่ 3	0.640	0.652	0.654

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง		ค่าการดูดกลืนแสง		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ตัวอย่างสารสกัดเนื้อกล้วยน้ำว้า ที่ระดับ ความสุกที่ 5	บีกเกอร์ที่ 1	0.142	0.133	0.141
	บีกเกอร์ที่ 2	0.147	0.145	0.147
	บีกเกอร์ที่ 3	-	-	-
ตัวอย่างสารสกัดเปลือกกล้วยน้ำว้า ที่ระดับ ความสุกที่ 5	บีกเกอร์ที่ 1	0.882	0.892	0.900
	บีกเกอร์ที่ 2	0.888	0.886	0.896
	บีกเกอร์ที่ 3	-	-	-
ตัวอย่างสารสกัดเนื้อกล้วยหอม ที่ระดับ ความสุกที่ 1	บีกเกอร์ที่ 1	0.132	0.137	0.140
	บีกเกอร์ที่ 2	0.141	0.143	0.143
	บีกเกอร์ที่ 3	0.157	0.164	0.160
ตัวอย่างสารสกัดเปลือกกล้วยหอม ที่ระดับ ความสุกที่ 1	บีกเกอร์ที่ 1	1.148	1.158	1.200
	บีกเกอร์ที่ 2	1.298	1.296	1.326
	บีกเกอร์ที่ 3	1.306	1.294	1.324
ตัวอย่างสารสกัดเนื้อกล้วยหอม ที่ระดับ ความสุกที่ 5	บีกเกอร์ที่ 1	0.139	0.134	0.140
	บีกเกอร์ที่ 2	0.137	0.138	0.133
	บีกเกอร์ที่ 3	0.143	0.142	0.132
ตัวอย่างสารสกัดเปลือกกล้วยหอม ที่ระดับ ความสุกที่ 5	บีกเกอร์ที่ 1	1.052	1.052	1.122
	บีกเกอร์ที่ 2	1.122	1.100	1.108
	บีกเกอร์ที่ 3	1.126	0.968	1.022
ตัวอย่างสารสกัดเนื้อกล้วยไข่ ที่ระดับความ สุกที่ 1	บีกเกอร์ที่ 1	0.300	0.295	0.301
	บีกเกอร์ที่ 2	0.242	0.247	0.256
	บีกเกอร์ที่ 3	0.301	0.298	0.294
ตัวอย่างสารสกัดเปลือกกล้วยไข่ ที่ระดับ ความสุกที่ 1	บีกเกอร์ที่ 1	1.052	1.046	1.094
	บีกเกอร์ที่ 2	1.074	1.076	1.056
	บีกเกอร์ที่ 3	1.040	1.040	1.036
ตัวอย่างสารสกัดเนื้อกล้วยไข่ ที่ระดับความ สุกที่ 5	บีกเกอร์ที่ 1	0.225	0.204	0.244
	บีกเกอร์ที่ 2	0.238	0.244	0.227
	บีกเกอร์ที่ 3	0.265	0.261	0.264

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง		ค่าดูดกลืนแสง		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ตัวอย่างสารสกัดเปลือกกล้วยไข่ ที่ระดับ ความสุกที่ 5	บีกเกอร์ที่ 1	1.038	1.034	1.030
	บีกเกอร์ที่ 2	0.944	0.980	0.980
	บีกเกอร์ที่ 3	1.024	1.030	1.038
ตัวอย่างสารสกัดเนื้อกล้วยหักมุก ที่ระดับ ความสุกที่ 1	บีกเกอร์ที่ 1	0.136	0.139	0.135
	บีกเกอร์ที่ 2	0.186	0.184	0.186
	บีกเกอร์ที่ 3	0.175	0.175	0.186
ตัวอย่างสารสกัดเปลือกกล้วยหักมุกที่ระดับ ความสุกที่ 1	บีกเกอร์ที่ 1	0.559	0.546	0.555
	บีกเกอร์ที่ 2	0.566	0.570	0.560
	บีกเกอร์ที่ 3	0.589	0.591	0.582
ตัวอย่างสารสกัดเนื้อกล้วยหักมุก ที่ระดับ ความสุกที่ 5	บีกเกอร์ที่ 1	0.098	0.111	0.100
	บีกเกอร์ที่ 2	0.099	0.098	0.100
	บีกเกอร์ที่ 3	0.103	0.101	0.091
ตัวอย่างสารสกัดเปลือกกล้วยหักมุก ที่ ระดับความสุกที่ 5	บีกเกอร์ที่ 1	0.774	0.767	0.763
	บีกเกอร์ที่ 2	0.722	0.722	0.712
	บีกเกอร์ที่ 3	0.710	0.715	0.720

### การคำนวณ

สูตรการคำนวณปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด

สมการเส้นตรงจากกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

$$Y = 0.0063X \quad ; R^2 = 0.9977$$

เมื่อ Y = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างสารสกัดที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร

X = ปริมาณแกลลิก (ไมโครกรัม / 0.5 มิลลิตรสารสกัด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างสารสกัดจากเนื้อกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกที่ 1

ปริมาณตัวอย่างสารสกัดจากเนื้อกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกที่ 1 0.4 มิลลิลิตร  
ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร เท่ากับ 0.464

แทนค่าสูตร  $0.464 = 0.0063X$

$X = 73.65$  ไมโครกรัม / 0.4 มิลลิลิตรของตัวอย่างสารสกัด

ตัวอย่างสารสกัดที่มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด = 73.65 ไมโครกรัม / 0.4 มิลลิลิตรของ  
ตัวอย่างสารสกัด

ตัวอย่างสารสกัดที่มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด = 18452.38 ไมโครกรัม / 100 มิลลิลิตร  
ของ ตัวอย่างสารสกัด

สารสกัดจากตัวอย่างเนื้อกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกที่ 1 100 มิลลิลิตร เท่ากับ ปริมาณของตัวอย่าง  
เนื้อกล้วยน้ำว้าเปียกที่ระดับความสุกที่ 1 10.09 กรัม

ดังนั้น

ตัวอย่างสารสกัดที่มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด = 18452.38 ไมโครกรัม / 10.09 กรัม  
ของ ตัวอย่างเนื้อกล้วยน้ำว้าเปียกที่

ระดับความสุกที่ 1

ตัวอย่างสารสกัดที่มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด = 182865.22 ไมโครกรัม / 100 กรัมของ  
ตัวอย่างเนื้อกล้วยน้ำว้าเปียกที่

ระดับความสุกที่ 1

ดังนั้น

ตัวอย่างสารสกัดที่มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด = 182.87 มิลลิกรัม / 100 กรัมของ  
ตัวอย่างเนื้อกล้วยน้ำว้าเปียกที่ระดับความ

สุกที่ 1

จากตารางร้อยละความชื้นในตารางที่ 1ก พบว่าในตัวอย่างเนื้อกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกที่ 1

ร้อยละความชื้นของตัวอย่างเนื้อกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกที่ 1 = 67.57

ซึ่งหมายถึง ในตัวอย่างเนื้อกล้วยน้ำว้าเปียกที่ระดับความสุกที่ 1 100 กรัม จะมีปริมาณของเนื้อกล้วย  
แห้ง ไม่รวมน้ำเท่ากับ  $100 - 67.57 = 32.43$  กรัม

ดังนั้น

ปริมาณเนื้อกล้วยน้ำว้าเปียกที่ระดับความสุกที่ 1 10.09 กรัม จะมีปริมาณของเนื้อกล้วยแห้งไม่รวมน้ำเท่ากับ  $\frac{32.43}{100} \times 10.09 = 3.27$  กรัม  
ซึ่ง ปริมาณของเนื้อกล้วยแห้งไม่รวมน้ำ 3.27 กรัม จะมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด = 18452.38

ไมโครกรัม / 100 มิลลิกรัมของตัวอย่าง

สารสกัด

ดังนั้น ปริมาณของเนื้อกล้วยแห้งไม่รวมน้ำ 100 กรัม จะมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด =  $\frac{18452.38}{3.27} \times 100 = 5.64 \times 10^5$  ไมโครกรัม / 100 น้ำหนักกล้วยแห้ง

ตัวอย่างสารสกัดมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด = 563.82 มิลลิกรัม / 100 น้ำหนักกล้วยแห้ง

เนื่องจากปริมาณของแข็งทั้งหมดของสารสกัดในแต่ละระดับความสุกมีค่าไม่เท่ากัน โดยที่ในระดับความสุกที่ 5 นั้นจะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดมากกว่าในระดับความสุกที่ 1 ซึ่งปริมาณของแข็งนี้มีผลต่อค่าของปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลด้วย

ตารางที่ 3ข ตารางแสดงปริมาณของแข็งทั้งหมดในตัวอย่างสารสกัดเนื้อกล้วยและเปลือกกล้วยที่ระดับความสุกที่ 1 และ 5 ของกล้วยพันธุ์น้ำว้า, กล้วยหอม, กล้วยไข่ และกล้วยหักมุก

ตัวอย่างพันธุ์กล้วย	ปริมาณของแข็งทั้งหมดในตัวอย่างเนื้อและเปลือกกล้วย (กรัม)			
	ความสุกระดับที่ 1		ความสุกระดับที่ 5	
	เนื้อกล้วย	เปลือกกล้วย	เนื้อกล้วย	เปลือกกล้วย
กล้วยน้ำว้า	0.1874 ± 0.0030	0.1926 ± 0.0050	1.8710 ± 0.0004	0.8140 ± 0.0080
กล้วยหอม	0.1249 ± 0.0080	0.1772 ± 0.0030	1.4033 ± 0.0260	0.7058 ± 0.0260
กล้วยไข่	0.5753 ± 0.0350	0.3243 ± 0.0040	1.7334 ± 0.0046	0.8778 ± 0.0170
กล้วยหักมุก	0.1524 ± 0.0012	0.2179 ± 0.0040	1.2459 ± 0.0240	0.8710 ± 0.3100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น

ปริมาณของแข็งทั้งหมดในตัวอย่างสารสกัดเนื้อกล้วยที่ระดับความสุกที่ 1

ตัวอย่างสารสกัดมีปริมาณของแข็งทั้งหมด = 0.1874 กรัม / 100 มิลลิลิตรสารสกัด

ตัวอย่างสารสกัดมีปริมาณของแข็งทั้งหมด =  $7.58 \times 10^{-4}$  กรัม / 0.4 มิลลิลิตรสารสกัด

ดังนั้น

ตัวอย่างสารสกัดมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด = 73.65 ไมโครกรัม / 0.4 มิลลิลิตรของ  
ตัวอย่างสารสกัด

สารสกัดมีปริมาณของแข็งทั้งหมด  $7.58 \times 10^{-4}$  กรัมจะมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด  
73.65 ไมโครกรัม

ถ้าสารสกัดมีปริมาณของแข็งทั้งหมด 1 กรัมจะมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด =

$$\frac{73.65}{7.58 \times 10^{-4}} \times 1 = 9.74 \times 10^4 \text{ ไมโครกรัม} / 1 \text{ กรัมปริมาณของแข็งแห้ง}$$

ตัวอย่างสารสกัดมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด 97.4 มิลลิกรัม / 1 กรัมปริมาณ  
ของแข็งแห้ง

## ภาคผนวก ก

การคำนวณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดจากเนื้อกล้วยและเปลือกกล้วยที่ระดับความสุก 1 และ 5 ของกล้วยพันธุ์ต่างๆ

ตารางที่ 1ค ค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร ของตัวอย่างเนื้อกล้วยและเปลือกกล้วยที่ระดับความสุก 1 และ 5 ของกล้วยพันธุ์ต่างๆ

ตัวอย่างกล้วย		ค่าการดูดกลืนแสง		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ตัวอย่างสารสกัดเนื้อกล้วยน้ำว้า ที่ระดับความสุกที่ 1	Control	0.822	0.825	0.831
	บีกเกอร์ที่ 1	0.508	0.456	0.409
	บีกเกอร์ที่ 2	0.452	0.446	0.486
	บีกเกอร์ที่ 3	0.594	0.568	0.577
ตัวอย่างสารสกัดเปลือกกล้วยน้ำว้า ที่ระดับความสุกที่ 1	Control	0.793	0.796	0.836
	บีกเกอร์ที่ 1	0.598	0.630	0.600
	บีกเกอร์ที่ 2	0.591	0.593	0.617
	บีกเกอร์ที่ 3	0.640	0.652	0.654
ตัวอย่างสารสกัดเนื้อกล้วยน้ำว้า ที่ระดับความสุกที่ 5	Control	0.935	-	-
	บีกเกอร์ที่ 1	0.736	0.755	0.765
	บีกเกอร์ที่ 2	0.797	0.814	0.827
	บีกเกอร์ที่ 3	-	-	-
ตัวอย่างสารสกัดเปลือกกล้วยน้ำว้า ที่ระดับความสุกที่ 5	Control	0.935	-	-
	บีกเกอร์ที่ 1	0.323	0.353	0.308
	บีกเกอร์ที่ 2	0.344	0.319	0.317
	บีกเกอร์ที่ 3	-	-	-
ตัวอย่างสารสกัดเนื้อกล้วยหอม ที่ระดับความสุกที่ 1	Control	0.883	0.894	0.893
	บีกเกอร์ที่ 1	0.817	0.800	0.817
	บีกเกอร์ที่ 2	0.829	0.826	0.817
	บีกเกอร์ที่ 3	0.828	0.817	0.827

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง		ค่าคุณลักษณะ		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ตัวอย่างสารสกัดเปลือกกล้วยหอม ที่ระดับ ความสุกที่ 1	Control	0.883	0.894	0.893
	บีกเกอร์ที่ 1	0.413	0.408	0.406
	บีกเกอร์ที่ 2	0.453	0.346	0.345
	บีกเกอร์ที่ 3	0.405	0.390	0.397
ตัวอย่างสารสกัดเนื้อมีกล้วยหอม ที่ระดับ ความสุกที่ 5	Control	0.726	0.725	0.708
	บีกเกอร์ที่ 1	0.638	0.666	0.699
	บีกเกอร์ที่ 2	0.655	0.667	0.669
	บีกเกอร์ที่ 3	0.656	0.673	0.664
ตัวอย่างสารสกัดเปลือกกล้วยหอม ที่ระดับ ความสุกที่ 5	Control	0.726	0.725	0.708
	บีกเกอร์ที่ 1	0.085	0.083	0.103
	บีกเกอร์ที่ 2	0.125	0.164	0.141
	บีกเกอร์ที่ 3	0.091	0.089	0.088
ตัวอย่างสารสกัดเนื้อมีกล้วยไข่ ที่ระดับ ความสุกที่ 1	Control	0.867	0.862	0.888
	บีกเกอร์ที่ 1	0.723	0.744	0.745
	บีกเกอร์ที่ 2	0.756	0.776	0.794
	บีกเกอร์ที่ 3	0.770	0.764	0.775
ตัวอย่างสารสกัดเปลือกกล้วยไข่ ที่ระดับ ความสุกที่ 1	Control	0.766	-	-
	บีกเกอร์ที่ 1	0.285	0.315	0.234
	บีกเกอร์ที่ 2	0.264	0.267	0.181
	บีกเกอร์ที่ 3	0.185	0.295	0.292
ตัวอย่างสารสกัดเนื้อมีกล้วยไข่ ที่ระดับความ สุกที่ 5	Control	0.751	-	-
	บีกเกอร์ที่ 1	0.754	0.663	0.651
	บีกเกอร์ที่ 2	0.659	0.650	0.637
	บีกเกอร์ที่ 3	0.670	0.722	0.695

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง		ค่าการดูดกลืนแสง		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ตัวอย่างสารสกัดเปลือกกล้วยไข่ ที่ระดับ ความสุกที่ 5	Control	0.751	-	-
	บีกเกอร์ที่ 1	0.231	0.236	0.240
	บีกเกอร์ที่ 2	0.141	0.271	0.262
	บีกเกอร์ที่ 3	0.207	0.247	0.249
ตัวอย่างสารสกัดเนื้อกล้วยหักมุก ที่ระดับ ความสุกที่ 1	Control	0.807	0.808	0.820
	บีกเกอร์ที่ 1	0.732	0.716	0.733
	บีกเกอร์ที่ 2	0.671	0.664	0.685
	บีกเกอร์ที่ 3	0.655	0.688	0.698
ตัวอย่างสารสกัดเปลือกกล้วยหักมุกที่ระดับ ความสุกที่ 1	Control	0.807	0.808	0.820
	บีกเกอร์ที่ 1	0.576	0.583	0.603
	บีกเกอร์ที่ 2	0.582	0.550	0.546
	บีกเกอร์ที่ 3	0.601	0.555	0.585
ตัวอย่างสารสกัดเนื้อกล้วยหักมุก ที่ระดับ ความสุกที่ 5	Control	0.793	0.805	0.802
	บีกเกอร์ที่ 1	0.761	0.755	0.770
	บีกเกอร์ที่ 2	0.755	0.780	0.762
	บีกเกอร์ที่ 3	0.777	0.762	0.772
ตัวอย่างสารสกัดเปลือกกล้วยหักมุก ที่ ระดับความสุกที่ 5	Control	0.793	0.805	0.802
	บีกเกอร์ที่ 1	0.479	0.495	0.466
	บีกเกอร์ที่ 2	0.492	0.505	0.524
	บีกเกอร์ที่ 3	0.518	0.537	0.558

**หมายเหตุ :** สารละลาย DPPH ในเอธานอลที่ใช้วิเคราะห์มีความเข้มข้น 0.8 มิลลิโมลาร์ปริมาตร  
ของตัวอย่างสารสกัดที่ใช้ในการทดสอบเท่ากับ 0.07 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การคำนวณ

สมการคำนวณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (%)

$$\text{ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (\%)} = \left\{ 1 - \frac{\text{Absorbance of sample}}{\text{Absorbance of control}} \right\} \times 100$$

### ตัวอย่างการคำนวณ

สารสกัดจากตัวอย่างเนื้อกล้วยน้ำว้า ที่ระดับความสุกที่ 1

ใช้ปริมาณของตัวอย่างสารสกัด = 0.07 มิลลิลิตร

ค่าการดูดกลืนแสงของตัว control ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ที่เวลา 30 นาที เท่ากับ 0.826

ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างสารสกัดที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ที่เวลา 30 นาที เท่ากับ 0.508

$$\begin{aligned} \text{แทนค่าสูตร} \quad \text{ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (\%)} &= \left\{ 1 - \frac{0.508}{0.826} \right\} \times 100 \\ &= 38.49 \% \end{aligned}$$

เนื่องจากปริมาณของแข็งทั้งหมดของสารสกัดในแต่ละระดับความสุกมีค่าไม่เท่ากัน โดยที่ในระดับความสุกที่ 5 นั้นจะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดมากกว่าในระดับความสุกที่ 1 ซึ่งปริมาณของแข็งนี้มีผลต่อค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (%) ด้วย ดังตารางปริมาณของแข็งทั้งหมด ตารางที่ 3ข

### ดังนั้น

คำนวณหาปริมาณตัวอย่างที่ใช้ในวันในการหาค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (%) โดยให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดของความสุกระดับที่ 1 มีค่าเท่ากับที่ความสุกระดับที่ 5

ปริมาณของแข็งทั้งหมดของตัวอย่างเนื้อกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกระดับที่ 1 = 0.1874 มิลลิกรัม / 100 มิลลิลิตรสารสกัด

### ดังนั้น

ปริมาณของแข็งทั้งหมดของตัวอย่างเนื้อกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกระดับที่ 1 ของ 0.07 มิลลิลิตรสารสกัด จะมีค่า =  $1.31 \times 10^{-4}$  มิลลิกรัม / 0.07 มิลลิลิตรสารสกัด

ส่วน ปริมาณของแข็งทั้งหมดของตัวอย่างเนื้อกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกระดับที่ 5 = 1.8710 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตรสารสกัด  
ดังนั้น

ปริมาณของแข็งทั้งหมดของตัวอย่างเนื้อกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกระดับที่ 5 ของ 0.07

มิลลิลิตรสารสกัด จะมีค่า =  $1.31 \times 10^{-3}$  มิลลิกรัม / 0.07 มิลลิลิตรสารสกัด

ซึ่งเมื่อทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดของตัวอย่างสารสกัดเนื้อกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกที่ 1 = ที่ระดับความสุกที่ 5 ต้องใช้การเพิ่มปริมาณของตัวอย่างที่ใช้วัดของตัวอย่างสารสกัดเนื้อกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกที่ 1 ดังนี้

ปริมาณของแข็งทั้งหมดของตัวอย่างเนื้อกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกระดับที่ 5 ของ 0.07

มิลลิลิตรสารสกัดมีค่ามากกว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดของตัวอย่างเนื้อกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุก

ระดับที่ 1 ของ 0.07 มิลลิลิตรสารสกัด =  $\frac{1.31 \times 10^{-3}}{1.31 \times 10^{-4}} = 10$  เท่า แสดงว่าต้องเพิ่มปริมาณตัวอย่างที่

ใช้วัดอีก  $0.07 \times 10 = 0.70$  มิลลิลิตร ซึ่งจะแสดงค่าการดูดกลืนแสงหลังจากปรับค่าปริมาณของแข็ง  
ได้ดังตารางที่ 2ค

ตารางที่ 2ค ค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร ของตัวอย่างเนื้อกล้วยและเปลือกกล้วยที่ระดับความสุก 1 และ 5 ของกล้วยพันธุ์น้ำว้า, กล้วยหอม, กล้วยไข่ และกล้วยหักมุก ที่ความเข้มข้น DPPH 0.8 N หลังจากทำให้ปริมาณของแข็งแห้งทั้งหมดของตัวอย่างสารสกัดเนื้อกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกที่ 1 = ที่ระดับความสุกที่ 5

ตัวอย่างกล้วย		ค่าการดูดกลืนแสง		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ตัวอย่างสารสกัดเนื้อกล้วยน้ำว้า ที่ระดับความสุกที่ 1	Control	0.802	0.785	0.782
	บีกเกอร์ที่ 1	0.045	0.044	0.033
	บีกเกอร์ที่ 2	0.044	0.044	0.046
	บีกเกอร์ที่ 3	0.044	0.046	0.044
ตัวอย่างสารสกัดเปลือกกล้วยน้ำว้า ที่ระดับความสุกที่ 1	Control	0.816	0.823	0.813
	บีกเกอร์ที่ 1	0.073	0.063	0.078
	บีกเกอร์ที่ 2	0.053	0.047	0.056
	บีกเกอร์ที่ 3	0.101	0.092	0.096

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง		ค่าคุณลักษณะ		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ตัวอย่างสารสกัดเนื้อกล้วยหอม ที่ระดับ ความสุกที่ 1	Control	0.840	0.846	0.851
	บีกเกอร์ที่ 1	0.129	0.112	0.136
	บีกเกอร์ที่ 2	0.140	0.132	0.122
	บีกเกอร์ที่ 3	0.102	0.100	0.102
ตัวอย่างสารสกัดเปลือกกล้วยหอม ที่ระดับ ความสุกที่ 1	Control	0.845	0.846	0.842
	บีกเกอร์ที่ 1	0.109	0.108	0.109
	บีกเกอร์ที่ 2	0.106	0.106	0.109
	บีกเกอร์ที่ 3	0.099	0.105	0.101
ตัวอย่างสารสกัดเนื้อกล้วยไข่ ที่ระดับความ สุกที่ 1	Control	0.811	0.821	0.837
	บีกเกอร์ที่ 1	0.363	0.223	0.367
	บีกเกอร์ที่ 2	0.458	0.443	0.443
	บีกเกอร์ที่ 3	0.394	0.392	0.368
ตัวอย่างสารสกัดเปลือกกล้วยไข่ ที่ระดับ ความสุกที่ 1	Control	0.827	0.817	0.816
	บีกเกอร์ที่ 1	0.110	0.108	0.110
	บีกเกอร์ที่ 2	0.104	0.107	0.104
	บีกเกอร์ที่ 3	0.108	0.106	0.109
ตัวอย่างสารสกัดเนื้อกล้วยหักมุก ที่ระดับ ความสุกที่ 1	Control	0.826	0.837	0.819
	บีกเกอร์ที่ 1	0.340	0.348	0.337
	บีกเกอร์ที่ 2	0.060	0.060	0.062
	บีกเกอร์ที่ 3	0.082	0.076	0.075
ตัวอย่างสารสกัดเปลือกกล้วยหักมุกที่ระดับ ความสุกที่ 1	Control	0.831	0.858	0.851
	บีกเกอร์ที่ 1	0.081	0.087	0.090
	บีกเกอร์ที่ 2	0.083	0.089	0.108
	บีกเกอร์ที่ 3	0.086	0.086	0.084

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นคำนวณค่า %ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระใหม่ ได้ดังนี้  
 สารสกัดจากตัวอย่างเนื้อกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกที่ 1 เมื่อปริมาณของแข็งแห้งทั้งหมดเท่ากับ  
 ระดับความสุกที่ 5

ใช้ปริมาณของตัวอย่างสารสกัด = 0.70 มิลลิกรัม

ค่าการดูดกลืนแสงของตัว control ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ที่เวลา 30 นาที เท่ากับ  
 0.790

ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างสารสกัดที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ที่เวลา 30 นาที  
 เท่ากับ 0.045

แทนค่าสูตร ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (%) =  $\left\{ 1 - \frac{0.045}{0.790} \right\} \times 100$   
 = 94.43 %



### ประวัติผู้เขียน

นายสาริต นิลนวัฒน์ เกิดเมื่อวันที่ 15 กรกฎาคม 2526 ณ จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จ การศึกษาระดับมัธยมปลายที่โรงเรียนสตรีวิทยา 2 จังหวัดกรุงเทพมหานคร ในปีพุทธศักราช 2543 และได้ศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษา ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร ที่สถาบันเทคโนโลยีพระ จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2544 ถึง 2547

นางสาวสาวิตรี พุ่มเพชร เกิดเมื่อวันที่ 22 พฤศจิกายน 2524 ณ จังหวัดปราจีนบุรี สำเร็จ การศึกษาระดับมัธยมปลายที่โรงเรียนปรางค์นารายณ์อรัญ จังหวัดปราจีนบุรี ในปีพุทธศักราช 2542 และได้ศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษา ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร ที่สถาบันเทคโนโลยีพระ จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2544 ถึง 2547



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้