การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณโคโพลีฟีนอลและกรดฟีนอลิกในเมล็ดข้าว ระยะ
ต่างๆในข้าวพันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์ปรับปรุง
COMPARATIVE STUDY ON TOTAL POLYPHENOL CONTENTS AND
PHENOLIC ACIDS OF PEEL, PULP AND SEED KERNEL OF GREEN
AND RIPE MANGOES AT DIFFERENT CULTIVARS

ชัญญาวี ใจจารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ
คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2552
ISBN 978-974-7798-056-6

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาเชิงเปรียบเทียบปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด และกรดฟีนอลิก ในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงดิบและสุกสายพันธุ์ต่างๆ

COMPARATIVE STUDY ON TOTAL POLYPHENOL CONTENTS AND PHENOLIC ACIDS OF PEEL, PULP AND SEED KERNEL OF GREEN AND RIPE MANGOES WITH DIFFERENT CULTIVARS

T105543

ณัษฐภรณ์ ไม่อ่อนมือ

NATTHAPORN MAIONMUE

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 105543
วัน,เดือน,ปี 26 พ.ย. 2552

.b.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร
คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2552

KMITL-2009-AI-M-053-056

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPARATIVE STUDY ON TOTAL POLYPHENOL CONTENTS AND PHENOLIC ACIDS OF PEEL, PULP AND SEED KERNEL OF GREEN AND RIPE MANGOES WITH DIFFERENT CULTIVARS

NATTHAPORN MAIONMUE

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE
FACULTY OF AGRO-INDUSTRY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2009

KMITL-2009-AI-M-053-056

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2009

FACULTY OF AGRO-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาเชิงเปรียบเทียบปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด และกรดฟีนอลิกในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงดิบและสุกสายพันธุ์ต่างๆ

Comparative Study on Total Polyphenol Contents and Phenolic Acids of Peel, Pulp and Seed Kernel of Green and Ripe Mangoes with Different Cultivars

ชื่อนักศึกษา นางสาวณัษฐภรณ์ ไม่อ่อนมือ

รหัสประจำตัว 49068502

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์อาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม -

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม	
รศ.เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์	
ดร.ยุพร พืชกมุทร	
รศ.อดิศักดิ์ เอกโสวรรณ	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ 13 ตุลาคม 2552 เวลา 09.00-11.00 น.

สถานที่สอบ ณ ห้องสัมมนา D 213 อาคารเจ้าคุณทหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตรรับรองแล้ว

(รศ.เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์)

รักษาการแทนคณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ 21 **เดือน** ตุลาคม **พ.ศ.** 2552

สำนักทะเบียนและประมวลผล ศจล.
วันที่ส่งเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์
วันที่ 26 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2552
ลงชื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาเชิงเปรียบเทียบปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด และกรดฟีนอลิกในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงดิบและสุกสายพันธุ์ต่างๆ
นักศึกษา	นางสาว ณัษฐภรณ์ ไม่อ่อนมือ
รหัสประจำตัว	49068502
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2552
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ. ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม

บทคัดย่อ

จากการวิเคราะห์ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของมะม่วง 6 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์เขียวเสวย น้ำดอกไม้ แรด โชคอนันต์ ฟ้าลั่น และ แก้วดำ ทั้งผลดิบและสุก พบว่าเมล็ดในของมะม่วงทุกสายพันธุ์ทั้งผลดิบและผลสุก มีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงสุด รองลงมาคือเปลือก และเนื้อ โดยมีปริมาณอยู่ในช่วง 27.82 - 66.95, 9.59 - 21.35 และ 0.29 - 0.83 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าเปลือกของผลมะม่วงสุกจะมีแนวโน้มของปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดมากกว่าในเปลือกของผลมะม่วงดิบ ขณะที่เนื้อ และเมล็ดในของผลมะม่วงสุกจะมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดต่ำกว่าเนื้อและเมล็ดในของผลมะม่วงดิบ สำหรับเนื้อมะม่วงทั้งดิบและสุกที่มีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงสุดและต่ำสุด ได้แก่ มะม่วงพันธุ์แก้วดำ และฟ้าลั่น ตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ ในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงดิบ และสุก 6 สายพันธุ์ ด้วยวิธี HPLC พบกรดคาเฟอิกในทุกส่วนของมะม่วง ส่วนกรดแกลลิกพบเฉพาะในเนื้อเท่านั้น สำหรับกรดพาราคูมาริกพบเพียงในเนื้อมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ เมล็ดในมะม่วงเขียวเสวย และเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้เท่านั้น ขณะที่กรดไซนาปิก และกรดเฟอรูลิก พบมากในเมล็ดในของมะม่วงทุกสายพันธุ์ อีกทั้งยังพบในเปลือกของมะม่วงพันธุ์ฟ้าลั่น และแก้วดำ โดยในแต่ละสายพันธุ์ และส่วนต่างๆ ของมะม่วง มีชนิดและปริมาณของกรดฟีนอลิกแตกต่างกันไป จากผลการทดลองที่ได้ แสดงให้เห็นว่ามะม่วงเป็นแหล่งของสารประกอบโพลีฟีนอล และกรด ฟีนอลิกที่ดี โดยเฉพาะเปลือกและเมล็ดในของมะม่วงทุกสายพันธุ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Comparative study on total polyphenol contents and phenolic acids of peel, pulp and seed kernel of green and ripe mangoes with different cultivars
Student	Miss Natthaporn Maionmue
Student ID.	49068502
Degree	Master of Science
Program	Food Science
Year	2009
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Praphan Pinsirodom

ABSTRACT

In the present study, total polyphenol contents in peel, pulp and seed kernel of green and ripe mangoes of six cultivars (Khiew Sawoey, Nam Dokmai, Rad, Chok Anan, Fah Lan and Kaew Dum) were investigated. Results showed that all mango seed kernels contained highest content of total polyphenol, followed by those observed in peel and pulp with the amount ranged from 27.82 to 66.95, 9.59 to 21.35 and 0.29 to 0.83 mg gallic acid/g fresh wt, respectively. In addition, total polyphenol content found in ripe mango peels was higher than the green peels. On the other hand, pulp and seed kernel of ripe mangoes contained the lower content of total polyphenol than those of green mangoes. For unripe and ripe pulp mangoes, the highest amount of total polyphenol was observed in Kaew Dum whereas Fah Lan showed the lowest. Phenolic acid, as determined by high performance liquid chromatography, which found in all parts of mangoes was caffeic acid. Gallic acid was found especially in the pulp only; as for *p*-coumaric acid was found in all parts of Chok Anan, seed kernel of Khiew Sawoey and peel of Nam Dokmai. While sinapic and ferulic acids were maximal in seed kernel of all varieties; nevertheless, they also found in peel of Fah Lan and Kaew Dum. Different types and phenolic acid content were found in all parts of each mango cultivar. The results indicated that peel and seed kernel of mangoes are good sources of phenolic compounds.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ในหัวข้อเรื่อง การศึกษาเชิงเปรียบเทียบปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด และกรดฟีนอลิกในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงดิบและสุกสายพันธุ์ต่างๆ ได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ทั้งนี้ต้องขอขอบพระคุณ รศ. ดร. ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร. ยุพร พืชกมุทร รศ. เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์ เป็นอย่างยิ่ง ที่ให้ความรู้ คำปรึกษาและได้เสียสละเวลาอันมีค่าเพื่อให้คำแนะนำในการค้นคว้า จัดทำ และเรียบเรียงข้อมูล ทั้งยังช่วยตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนทำให้รูปเล่มวิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ รศ. อดิศักดิ์ เอกโสวรรณ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเป็นกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้ความรู้ คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง และตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้เสร็จสมบูรณ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สนับสนุนทุนในการทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2552 ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณเพื่อนนักศึกษาปริญญาโท พี่ปริญญาเอก พี่นักวิทยาศาสตร์ และพี่เจ้าหน้าที่ทุกคนในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารที่คอยดูแลในการใช้ห้องปฏิบัติการ ตลอดจนบุคคลต่างๆ ที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีมาตลอด

ขอกราบขอบพระคุณ คุณย่า คุณแม่ คุณอา และพี่สาว ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้มาตลอด

ท้ายสุดนี้ ผู้เขียนหวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจ

ณัษฐภรณ์ ไม่อ่อนมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VI

สารบัญรูป.....VII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความสำคัญและที่มา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....2

บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....4

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมะม่วง.....4

2.2 สารประกอบฟีนอลิกและกรดฟีนอลิก.....10

2.3 ฤทธิ์ทางชีวภาพของสารประกอบฟีนอลิก.....14

2.4 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก.....17

2.5 สารประกอบฟีนอลิกที่พบในมะม่วง.....19

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....21

บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการทดลอง.....24

3.1 วัสดุอุปกรณ์.....24

3.2 วิธีดำเนินการทดลอง.....25

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....28

4.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของมะม่วง.....28

4.2 การวิเคราะห์ทางเคมีของมะม่วงดิบและสุก 6 สายพันธุ์.....31

4.3 การวิเคราะห์ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่าง
เปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงดิบและสุก.....33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4 การวิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ ในตัวอย่าง
เปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงดิบและสุก.....36

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....43

บรรณานุกรม.....45

ภาคผนวก.....49
ก. การวัดค่าความเป็นกรดด่าง.....50
ข. การวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด.....51
ค. การวิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซ์.....53
ง. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น.....56
จ. การวิเคราะห์ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด.....57
ฉ. การวิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกด้วยวิธี HPLC.....59

ประวัติผู้เขียน.....64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 ค่าพารามิเตอร์สีที่ได้จากเครื่องวัดสีของเปลือก และเนื้อ ของตัวอย่างมะม่วงดิบและสุก.....30

4.2 สมบัติทางเคมีของตัวอย่างเนื้อมะม่วง..... 32

4.3 ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดในเปลือก เนื้อ และเมล็ดใน
ของมะม่วงดิบและสุก 6 สายพันธุ์.....33

4.4 ชนิดและปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ ในเปลือก เนื้อ และเมล็ดใน
ของมะม่วงดิบและสุก 6 สายพันธุ์.....38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 โครงสร้างผลมะม่วง.....6

2.2 โครงสร้างพื้นฐานและการระบุตำแหน่งคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลของฟลาโวนอยด์.....11

2.3 โครงสร้างหลักของฟลาโวนอยด์กลุ่มต่างๆ.....12

2.4 โครงสร้างทางเคมีของกรดฟีนอลิก.....13

2.5 โครงสร้างของแซนโธน.....20

2.6 โครงสร้างของแมงจิเฟอริน.....20

2.7 โครงสร้างของสารในกลุ่มฟลาโวนอลบางชนิด.....20

2.8 โครงสร้างพื้นฐานของแอนโธไซยานิน.....21

4.1 ลักษณะปรากฏของเปลือกและเนื้อมะม่วงเขียวเสวยดิบและสุก.....28

4.2 ลักษณะปรากฏของเปลือกและเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ดิบและสุก.....28

4.3 ลักษณะปรากฏของเปลือกและเนื้อมะม่วงแรดดิบและสุก.....28

4.4 ลักษณะปรากฏของเปลือกและเนื้อมะม่วงโชคอนันต์ดิบและสุก.....29

4.5 ลักษณะปรากฏของเปลือกและเนื้อมะม่วงฟ้าลั่นดิบและสุก.....29

4.6 ลักษณะปรากฏของเปลือกและเนื้อมะม่วงแก้วดำดิบและสุก.....29

4.7 ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดของมะม่วงดิบและสุก 6 สายพันธุ์.....34

4.8 โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานกรดฟีนอลิกซึ่งได้จากการตรวจวิเคราะห์โดยวิธี HPLC เมื่อใช้ตัวตรวจวัดยูวี (UV detector) ที่ความยาวคลื่น 300 นาโนเมตร.....36

4.9 ตัวอย่างโครมาโตแกรมของสารสกัดจากมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ดิบซึ่งได้จากการตรวจวิเคราะห์โดยวิธี HPLC เมื่อใช้ตัวตรวจวัดยูวี (UV detector) ที่ความยาวคลื่น 300 นาโนเมตร.....37

ค 1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกลูโคสและค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร.....54

จ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดแกลลิกและค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร.....57

ฉ 1 กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกในการวิเคราะห์หาปริมาณกรดแกลลิกโดยวิธี HPLC.....60

ฉ 2 กราฟมาตรฐานของกรดคาเฟอิกในการวิเคราะห์หาปริมาณกรดแกลลิกโดยวิธี HPLC.....60

ฉ 3 กราฟมาตรฐานของกรดพาราคูมาริกในการวิเคราะห์หาปริมาณกรดแกลลิกโดยวิธี HPLC.....61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

ฉ 4 กราฟมาตรฐานของกรดไซนาปิกในการวิเคราะห์หาปริมาณกรดแกลลิกโดยวิธี HPLC.....61

ฉ 5 กราฟมาตรฐานของกรดเฟอรูลิกในการวิเคราะห์หาปริมาณกรดแกลลิกโดยวิธี HPLC.....62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

การดำเนินชีวิตของคนเราในปัจจุบันต้องเผชิญกับสารเคมีและสารปนเปื้อนในรูปแบบต่างๆ มากมายซึ่งอาจก่อให้เกิดความผิดปกติของร่างกาย เช่นมลพิษจากท่อไอเสียรถยนต์ โรงงานอุตสาหกรรม หรือกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ มลพิษเหล่านี้คือส่วนหนึ่งที่เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดอนุมูลอิสระ (free radicals) ขึ้นในร่างกาย และก่อให้เกิดอาการเจ็บป่วยและโรคต่างๆ ตามมา เช่น โรคมะเร็ง (cancer) โรคผนังหลอดเลือดแดงแข็งตัว (atherosclerosis) และโรคชรา จากสาเหตุดังกล่าวก่อให้เกิดกระแสความสนใจดูแลสุขภาพและการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพมากขึ้นตามไปด้วย

การรับประทานอาหารเพื่อสุขภาพ คือการรับประทานอาหารให้ครบทั้ง 5 หมู่อย่างหลากหลาย โดยมีไขมันและโคเลสเตอรอลต่ำ รวมทั้งมีเส้นใยอาหารสูงเพื่อเสริมสร้างสุขภาพที่ดีอย่างเหมาะสมตามความต้องการในแต่ละวันและวัยของแต่ละบุคคล เป็นที่ทราบกันดีว่าผักและผลไม้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพ เพราะเป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยวิตามิน เกลือแร่ ใยอาหาร และเป็นแหล่งของสารพฤกษเคมี (phytochemicals) ที่สำคัญหลายชนิดโดยเฉพาะสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) ซึ่งมีสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (antioxidant) โดยสามารถยับยั้งหรือทำลายอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในเซลล์ เช่น ฟลาโวนอยด์ (flavonoid) และคาเทชิน (catechin) ที่มีความสามารถในการยับยั้งไลปิดเปอร์ออกซิเดชัน (lipid peroxidation) และยับยั้งการทำลายดีเอ็นเอเนื่องจากอนุมูลอิสระ ทั้งยังรักษาอาการอักเสบโดยไปหยุดปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล (hydroxyl) ซุปเปอร์ออกไซด์ (superoxide) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogenperoxide) (Basu และคณะ, 1999) จึงมีส่วนช่วยลดอัตราเสี่ยงของการเกิดโรคเรื้อรังต่างๆ เช่นโรคหัวใจ โรคความดันโลหิตสูง โรคเบาหวาน โรคมะเร็ง และชะลอความชรา เป็นต้น (โอภาและคณะ, 2551)

มะม่วงเป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยมในการบริโภคสดทั้งผลดิบและสุก รวมถึงสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ เช่น น้ำมะม่วง มะม่วงดอง มะม่วงแช่อิ่มอบแห้ง และมะม่วงกวน เป็นต้น ซึ่งผลิตภัณฑ์ต่างๆ เหล่านี้เป็นที่นิยมในประเทศและตลาดโลก ทุกส่วนของมะม่วงไม่ว่าจะเป็นเปลือก เนื้อ หรือเมล็ด มีองค์ประกอบที่มีประโยชน์ คืออุดมด้วยใยอาหาร วิตามินและแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกายหลายชนิด เช่น วิตามินเอ บี 6 ซี และ อี โพแทสเซียม ทองแดง และกรดอะมิโน 17 ชนิด (USDA, 2007) รวมทั้งยังมีสารพฤกษเคมีอีกหลายชนิด เช่น คาโรทีนอยด์ (carotenoids) แอนโธไซยานิน (anthocyanins) และสารโพลีฟีนอล (polyphenols) (Ajila และคณะ, 2007) สำหรับสารโพลีฟีนอลที่สำคัญซึ่งพบในเปลือก เนื้อและเมล็ดมะม่วง ได้แก่ แมงจิเฟอริน (mangiferin) กรดแกลลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(gallic acid) กรดคาเฟอิก (caffeic acid) และ แทนนิน (tannin) เป็นต้น (Abdalla และคณะ, 2007; Ribeiro และคณะ, 2008) ในการศึกษาปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดในผลไม้เขตร้อน (tropical fruit) คือ สับปะรด ชมพู่ เงาะ ลิ้นจี่ ฝรั่ง และมะม่วง (พันธุ์แก้ว) ของ Gorinstein และคณะ (1999) พบว่าในมะม่วงสุกมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงที่สุดคือ 6.25 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด นอกจากนี้ในเปลือกและเมล็ดในของมะม่วงบราซิล พันธุ์ยูบา (Ubá) มีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดมากถึง 57,240 และ 82,540 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง (Ribeiro และคณะ 2008) เปลือกและเมล็ดของมะม่วงเป็นส่วนเหลือทิ้งที่เป็นแหล่งของสารโพลีฟีนอล ซึ่งสามารถนำมาสกัดสำหรับใช้เป็นเภสัชโภชน-ภัณฑ์ (nutraceuticals) สำหรับผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร (dietary supplement) หรือใช้เป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติ (natural antioxidants) ในผลิตภัณฑ์อาหาร แทนสารปรุงแต่งสังเคราะห์ (synthetic food additives) เพื่อป้องกันการเสื่อมเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารอันมีสาเหตุเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันขององค์ประกอบประเภทไขมันในอาหาร ซึ่งทำให้อาหารมีคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสและคุณค่าทางอาหารลดลง (Balasundram และคณะ, 2006) โดยเฉพาะเปลือกและเมล็ดมะม่วงซึ่งพบว่ามีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงกว่าในส่วนที่รับประทานได้ (Ajila และคณะ, 2007; Someya และคณะ, 2002)

จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ามะม่วงมีสารโพลีฟีนอลในปริมาณสูง ซึ่งเป็นสารที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพในการต้านอนุมูลอิสระที่เป็นสาเหตุของการเกิดโรคต่างๆ หลายชนิด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาเปรียบเทียบปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด และกรดฟีนอลิกหลักที่พบในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงดิบและสุก 6 สายพันธุ์เศรษฐกิจของไทย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด ของเปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงดิบและสุก 6 สายพันธุ์
2. วิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ ในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงดิบและสุก 6 สายพันธุ์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด และปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ ได้แก่ กรดแกลลิก (gallic acid) กรดคาเฟอิก (caffeic acid) กรดพาราคูมาริก (*p*-coumaric acid) กรดไซนาปิก (sinapic acid) และกรดเฟอรูลิก (ferulic acid) ของเปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงดิบและสุก 6 สายพันธุ์ คือ เขียวเสวย น้ำดอกไม้ แรด โชคอนันต์ ฟ้าลั่น และแก้วดำ ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยทำให้ทราบปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด และกรดฟีนอลิกในเปลือก เนื้อ และเมล็ดใน ของมะม่วงดิบและสุกสายพันธุ์ต่างๆ เพื่อเป็นฐานข้อมูลเชิงเปรียบเทียบเกี่ยวกับปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด นอกจากนี้ยัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถนำความรู้ที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งจากการแปรรูปคือ เปลือกและเมล็ดมะม่วงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมะม่วง

มะม่วงถือเป็นผลไม้เมืองร้อนที่สำคัญ และให้ผลผลิตมากเป็นอันดับ 5 ของโลก พบในอินเดียมากกว่า 4,000 ปีมาแล้ว และแพร่กระจายไปยังภูมิภาคเอเชียใต้ แอฟริกา และอเมริกาใต้ ปัจจุบันปลูกกันอย่างแพร่หลายทั่วไปในเขตร้อนและร้อนชื้น อินเดียเป็นประเทศที่มีการปลูกมากที่สุด ให้ผลผลิตประมาณ 9 ล้านตันต่อพื้นที่ 1 ล้านแฮกแตร์ (6.25 ล้านไร่) ประเทศไทยมีปริมาณมะม่วงที่สามารถเก็บเกี่ยวได้เป็นอันดับ 3 ของประเทศที่สามารถปลูกมะม่วงได้ (สถาบันคีนันแห่งเอเชีย, 2549) แต่ละปีประเทศไทยมีผลผลิตมะม่วงรวม 1-1.4 ล้านตัน มะม่วงหลายพันธุ์สามารถส่งออกตลาดต่างประเทศในปริมาณร้อยละ 30 ของผลผลิตทั้งหมด อีกประมาณ 20% ของผลผลิตทั้งหมดจะใช้ในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ น้ำมะม่วง มะม่วงดอง มะม่วงแช่อิ่มอบแห้ง และมะม่วงกวน เป็นต้น มะม่วงจัดเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่ง เนื่องจากปลูกง่าย โตเร็ว นอกจากนี้การรับประทานมะม่วงยังเป็นประโยชน์ให้คุณค่าทางอาหารแก่ร่างกาย เนื่องจากเนื้อมะม่วงประกอบด้วยน้ำตาล 15 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 0.5 เปอร์เซ็นต์ และอุดมไปด้วยวิตามิน เอ บี และซี

2.1.1 ลักษณะทางพันธุศาสตร์ที่สำคัญของมะม่วง

มะม่วงมีชื่อเรียกทางวิทยาศาสตร์คือ *Mangifera* Linn. อยู่ในวงศ์อนาคาร์ดิอาซีอี (Anacardiaceae) เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ ต้นสูงได้ถึง 45 เมตร ลำต้นตรง เส้นผ่านศูนย์กลางวัดได้ถึง 120 เซนติเมตร เปลือกและลำต้นแข็ง มีลักษณะขรุขระและมีเกล็ดมาก เปลือกอ่อนสีเขียวแต่เมื่อแก่จะเปลี่ยนเป็นสีเทาปนน้ำตาล เนื้อไม้เมื่ออายุน้อยจะมีสีเขียว เมื่อแก่มีอายุมากขึ้นจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแกมแดง มีกิ่งก้านสาขาใหญ่และแข็งแรง แผ่ออกเป็นทรงพุ่มที่แน่นทึบ เป็นรูปครึ่งวงกลม รูปไข่ หรือรูปไข่ค่อนข้างยาว ไม่ผลัดใบ อายุยืนมากกว่า 100 ปี ที่พบในประเทศไทยมีหลายชนิด เช่น มะม่วงขี้ยา (*Mangifera duperreana* Pierre.) มะม่วงแป๊บ (*M. flave* Evrard.) มะม่วงช้างเหยียบ (*M. aylvatica* Roxb.) มะม่วงป่า (*M. longipetiolata* King.) มะม่วงกะเลง (*M. longipes* Griff.) มะม่วงไขแลนหรือกิเลน (*M. cochichinensis* Engl.) มะม่วงป้อม (*M. lagenifera* Griff.) มะม่วงกะล่อน (*M. caloneura* Kurz.) มะม่วงคัน (*M. quadrifida* Jack.) มะม่วงชัน (*M. gracilipes* Hook. f.) มะม่วงจิ้งหรีด (*M. odorata* Griff.) มะม่วงบาป (*M. camptosperma* Pierre.) เป็นต้น แต่ชนิดที่นิยมปลูกกันอย่างแพร่หลายและเป็นการค้าคือ มะม่วงบ้าน (*Mangifera indica* Linn.) (วิจิตร, 2533)

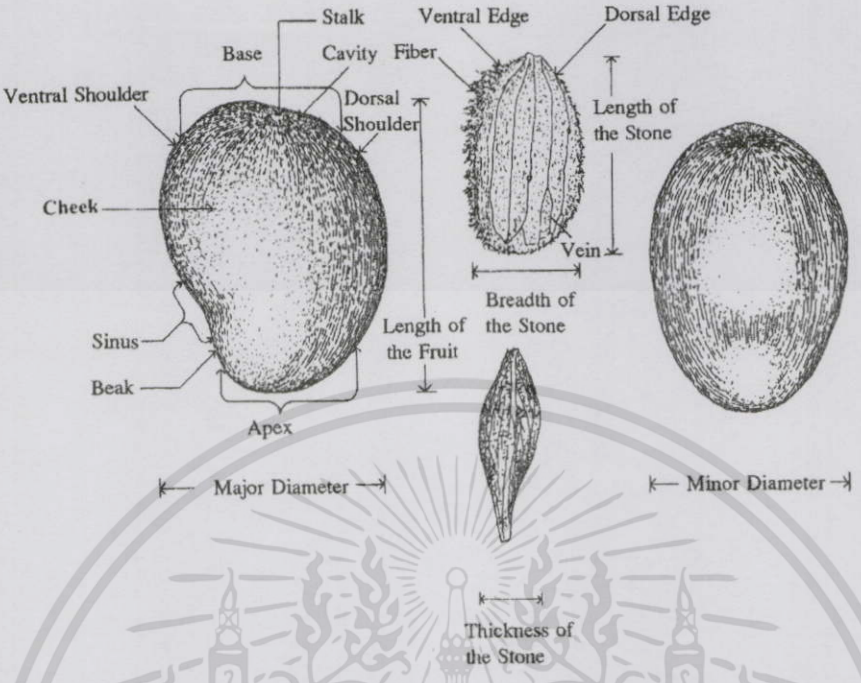
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบมะม่วงเป็นใบเดี่ยว เรียงตัวสลับกันทำให้มีลักษณะใบเรียงตัวเป็นเกลียว ใบไม่มีขน ไม่มีหูใบ ผลิใบออกมาเป็นระยะๆ ใบอ่อนมักมีสีออกแดง เมื่อแก่เปลี่ยนเป็นสีเขียวเข้ม ผิวใบเป็นมัน ก้านใบยาว 1-10 เซนติเมตร แผ่นใบยาว 8-40 เซนติเมตร กว้าง 2-10 เซนติเมตร ใบมีรูปร่างแบบรูป-โล่ รูปไข่ และเรียวยาว ฐานใบแคบ และค่อยๆ กว้างออกคล้ายรูปลิ่มแหลม ขอบใบเรียบ ฐานใบมน ปลายใบเรียวแหลม เส้นกลางใบนูนเด่นชัดทั้ง 2 ด้าน ปากใบอยู่ที่ผิวใบทั้งสองด้าน แต่ผิวใบด้านล่างมีจำนวนปากใบมากกว่าผิวใบด้านบน ใบมะม่วงมีอายุประมาณ 1 ปีหรือมากกว่านั้น

ช่อดอกและดอกของมะม่วงจะออกที่ปลายกิ่งหรือตาตามกิ่ง เป็นแบบช่อแยกแขนง วัดความยาวได้ถึง 10-16 เซนติเมตร ในแต่ละช่อจะมีดอกประมาณ 1,000-6,000 ดอก ก้านช่อดอกมักเจือสีแดงและมักมีขน ดอกมะม่วงมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5-8 มิลลิเมตร ก้านดอกสั้นมาก มีกลิ่นหอม มีหลายสีแตกต่างกัน เช่น สีแดง ชมพูหรือขาว กลีบเลี้ยงมักมี 5 กลีบแยกกัน ดอกหนาแน่นมีขนอ่อนทั่วไป กลีบดอกมี 5 กลีบ และยาวเป็น 2 เท่าของกลีบเลี้ยง มีทั้งดอกเพศผู้และดอกสมบูรณ์เพศในช่อเดียวกัน ปกติจะมีดอกสมบูรณ์เพศอยู่เพียง 1-30 เปอร์เซ็นต์ แต่มักจะอยู่คนละส่วนในช่อ เช่น ในมะม่วงพันธุ์อกร่อง ดอกเพศเมียมีน้อยที่บริเวณโคนช่อ มีมากขึ้นบริเวณกลางช่อ และมีมากที่สุดที่บริเวณปลายช่อ ขณะที่ดอกเพศผู้มีมากที่โคน และน้อยที่สุดบริเวณปลายช่อ ดอกก่อนบานสีเขียว ขาว และน้ำตาล ดอกเพศผู้มีเกสรเพศผู้ยาว 2 มิลลิเมตรจำนวน 4-5 ก้าน ที่ทำงานได้มีจำนวนเพียง 1-2 ก้านเท่านั้น ที่เหลือจะไม่ทำงาน เกสรตัวผู้มีสีชมพู เมื่อแก่จะเปลี่ยนเป็นสีม่วง เกสรเพศเมียเป็นหมัน คือจะฝ่อไปเอง โดยปกติมีเพียง 1 ก้านเท่านั้นที่แข็งแรง ส่วนในดอกสมบูรณ์เพศ หรือดอกเพศเมียจะเห็นรังไข่ชัดเจน มี 1 ช่อง รูปร่างเบี้ยว ไม่มีก้าน ไข่มีจำนวน 1 ฟอง ดอกจะออกประมาณช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ผลจะแก่ภายใน 3-4 เดือนหลังจากดอกบาน

ผลเป็นพวกเนื้อหุ้มเมล็ดแข็ง มีความแตกต่างกันมากในเรื่องของขนาด รูปร่าง สี ปริมาณ-เสี้ยน รสชาติและกลิ่น ความยาวของผลมีตั้งแต่ 2.5-30 เซนติเมตร กว้าง 1.5-10 เซนติเมตร รูปร่างของผลมีตั้งแต่กลมไปจนถึงรูปไข่ค่อนข้างยาว ผลมักจะแบนด้านข้าง รูปร่างของผลอาจแตกต่างกันในส่วนของแก้ม ไหล่ หลัง ปลาย คางและจะงอย ลูกดิบมีสีเขียว เมื่อสุกเปลี่ยนเป็นสีเหลือง หรือเหลืองส้ม มีเมล็ดภายใน 1 เมล็ด รสชาติมีตั้งแต่หวานและฉ่ำน้ำมาก ไปจนถึงเปรี้ยวและค่อนข้างแข็ง กลิ่นมีตั้งแต่กลิ่นอ่อนไปจนถึงกลิ่นรุนแรง ความหนาของเนื้อมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพันธุ์ สำหรับโครงสร้างของผลมะม่วง แสดงดังรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 โครงสร้างผลมะม่วง

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร (2546)

เปลือกมะม่วงมีความแตกต่างกันในเรื่องของความหนาของเปลือก สีของเปลือกดิบและเปลือกสุก โดยความหนาของเปลือกมีขนาดตั้งแต่ 0.09 - 0.25 เซนติเมตร และมีสีต่างๆ เช่น สีเขียว เหลืองและเหลืองแดง เปลือกมะม่วงมีองค์ประกอบของ น้ำตาล เพคติน โปรตีน และเส้นใย โดย เพคติน จากเปลือกมะม่วงนั้น จัดเป็นเพคตินที่มีคุณภาพดี เหมาะสำหรับนำไปใช้ในอุตสาหกรรม ผลิตแยม เยลลี่

เมล็ดมะม่วงที่อยู่ถัดจากเปลือกชั้นในเข้าไป มีขนาดแตกต่างกันไปตั้งแต่ขนาดใหญ่ไป จนถึงเกือบไม่มีเมล็ดหรือเมล็ดลีบ เปลือกหุ้มเมล็ดมีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น คือ ชั้นนอกและชั้นใน มีใบเลี้ยง 2 ใบ อาหารเลี้ยงคัพภะไม่อยู่ในใบเลี้ยง (เฉลิมชัย, 2539)

มะม่วงสามารถแบ่งตามลักษณะการใช้ประโยชน์เป็น 3 ประเภท ได้แก่ มะม่วงรับประทานสุก เช่น อกร่อง น้ำดอกไม้ หนังกลางวัน ทองดำ โชคอนันต์ มหาชนก มะม่วงรับประทานดิบ เช่น เขียวเสวย แรด หนองแซง พิมเสนมัน ฟ้าลั่น และมะม่วงสำหรับอุตสาหกรรมแปรรูป เช่น แก้ว และสามปี นอกจากนี้ยังสามารถจำแนกเป็นกลุ่มต่างๆ โดยใช้ลักษณะใบและทรงผลเป็นหลัก และลักษณะอื่นๆ เป็นองค์ประกอบ ซึ่งสามารถจำแนกกลุ่มได้เป็น 8 กลุ่ม ดังต่อไปนี้คือ กลุ่มแก้ว กลุ่มเขียวเสวย กลุ่มน้ำดอกไม้ กลุ่มหนังกลางวัน กลุ่มอกร่อง กลุ่มพราหมณ์ กลุ่มผลกลม และกลุ่มเบ็ดเตล็ด (เกียรติเกษตร, 2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การจำแนกระยะความสุกของมะม่วง

การสุกของผลมะม่วง คือการเปลี่ยนแปลงที่จะเข้าสู่ระยะ Senescence มะม่วงซึ่งเป็นผลไม้ประเภท Climacteric fruit ลักษณะเด่นที่สำคัญของผลไม้ในกลุ่มนี้คือ มีการเปลี่ยนแปลงของอัตราการหายใจเพิ่มมากขึ้นขณะที่ผลมะม่วงเริ่มสุก พบว่ามีลักษณะการเพิ่มขึ้นของการหายใจก่อนที่จะมีการสุก การจำแนกรูปแบบการหายใจของผลมะม่วงแบ่งออกเป็น 4 ระยะ คือ ระยะ Preclimacteric ระยะนี้ผิวยังคงมีสีเขียวอัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ยังต่ำ ระยะที่สองคือ Climacteric rise ระยะนี้อัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ผิวยังคงเขียว และเนื้อยังแน่นเช่นกัน ระยะที่สามคือ Climacteric peak เป็นระยะที่อัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงสุด โดยทั่วไปจะใช้เวลาประมาณ 6-10 วันหลังการเก็บเกี่ยว ผิวผลเริ่มเปลี่ยนสี เนื้อผลเริ่มนิ่มและเริ่มมีกลิ่นสุก ระยะสุดท้ายคือ Postclimacteric การผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ในระยะนี้จะลดลง สีผิวและกลิ่นพัฒนาเหมาะสมต่อการรับประทาน

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรมเกษตร (2544) จำแนกระยะการสุกของมะม่วง (state of ripeness) ออกเป็น 5 ระยะตามสีเนื้อมะม่วง (pulp color) ที่เปลี่ยนแปลงไป ได้แก่ ระยะดิบ ระยะห่าม ระยะ-สุกพร้อมกิน ระยะสุกเต็มที่ และระยะสุกงอม โดยกระบวนการทางชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับพัฒนาการสุกของมะม่วงที่ทำให้เนื้อมะม่วงมีลักษณะของกลิ่นหอม (aroma) และกลิ่นรส (flavor) แตกต่างกัน ได้แก่

1) ระยะดิบ (Raw) ระยะนี้เนื้อของมะม่วงจะมีสีขาว (greenish white) และส่วนใหญ่จะมีรสชาติเปรี้ยว

2) ระยะห่าม (Half ripe) เนื้อมะม่วงจะมีสีเหลืองนวล (dell yellow) และมีรสเปรี้ยวที่ลดลง

3) ระยะสุกพร้อมกิน (Table ripe) เนื้อมะม่วงมีสีเหลือง (Yellow) และมีความหวาน และกลิ่นหอมมากขึ้น

4) ระยะสุกเต็มที่ (Fully ripe) ระยะนี้เนื้อมะม่วงมีสีเหลือง-ส้ม (Yellow-orange) มีกลิ่นและความหวานที่สูงกว่าระยะสุกพร้อมกิน

5) ระยะสุกงอม (Over ripe) ระยะนี้เนื้อมะม่วงมีสีส้ม (Orange) ซึ่งเป็นระยะที่มีความหวานมากที่สุด และเป็นระยะที่มะม่วงใกล้เสื่อมเสีย

จากการที่มะม่วงเป็นผลไม้ประเภทหนึ่งที่มีการหายใจสูงสุดช่วงผลสุก ซึ่งเป็นผลมาจากการกระตุ้นของก๊าซเอทธิลีนซึ่งเป็นฮอร์โมนที่ควบคุมการสุกของผลไม้ที่มีการสร้างขึ้นภายในผล ในช่วงนี้ ปริมาณก๊าซที่สูงจะเร่งการสุกให้เกิดขึ้นโดยสมบูรณ์ (Ketsa และคณะ, 1999) โดยในเนื้อมะม่วงจะประกอบไปด้วย น้ำ น้ำตาล สตาร์ช เซลลูโลส และที่สำคัญคือ สารประกอบเพคตินที่ทำให้เนื้อมะม่วงมีความหนืดสูง ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและทางเคมีหลายประการ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) สี การเปลี่ยนแปลงสีผิวของผลไม้ส่วนใหญ่เกิดจากการสูญเสียสีเขียว เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ เป็นผลให้คาโรทีนอยด์ที่มีอยู่เดิมปรากฏขึ้น ทำให้เห็นเป็นสีเหลืองชัดเจนขึ้น คาโรทีนอยด์ในผลมะม่วงสุกเป็นเบต้าคาโรทีน

2) การอ่อนตัว เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของส่วนประกอบของผนังเซลล์ที่ประกอบด้วยสารโพลีแซคคาไรด์หลายชนิดที่สำคัญ คือสารประกอบเพคติน เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส จากเอนไซม์ต่างๆ ที่พัฒนาในช่วงสุก โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของเพคติน เนื่องมาจากการทำงานของเอนไซม์ 2 ชนิด คือ โพลีกาแลคทูโรเนส (polygalacturonase) และ เพคติเนสเทอเรส (pectinaseterase) ที่มีความสำคัญต่อการทำให้เนื้อของมะม่วงมีการอ่อนตัว (Mohd และคณะ, 2004)

3) การสูญเสียน้ำหนัก เกิดมากในช่วงสุกเพราะการคายน้ำมากเนื่องจากช่วงนี้ไขที่อยู่ที่ผิวผลที่ช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำจะเสื่อมสลายไปตามธรรมชาติ (จริงแท้, 2541)

4) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid, TSS) ในช่วงเวลาที่มะม่วงสุก แป้งที่สะสมไว้จะสลาย ตัวด้วยกระบวนการไฮโดรไลซิสได้น้ำตาล ทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงขึ้น น้ำตาลในมะม่วงสุกส่วนใหญ่ ร้อยละ 75 เป็นน้ำตาลซูโครส ผลสุกจึงมีน้ำตาลมากกว่าผลดิบทำให้มะม่วงสุกมีรสหวาน

2.1.3 ลักษณะประจำพันธุ์ของมะม่วงสายพันธุ์เศรษกิจ (เฉลิมชัย, 2539)

2.1.3.1 พันธุ์น้ำดอกไม้

เป็นมะม่วงรับประทานผลสุกที่มีผู้นิยมปลูกกันมาก เนื่องจากความต้องการของตลาดทั้งภายในและต่างประเทศมีสูง และยังเป็นพันธุ์ที่สามารถบังคับให้ออกดอกติดผลนอกฤดูได้ดี ให้ผลที่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักประมาณ 400 กรัม ผลกลมยาวปลายแหลม เนื้อมาก เมล็ดเล็ก ผิวเปลือกบาง ผิวผลเรียบ ผลแก่มีเปลือกสีเขียวอ่อนนวล เนื้อแน่น หนา สีขาว รสเปรี้ยวจัด เมื่อแก่มีรสมัน เมื่อผลสุกเปลือกมีสีเหลือง เนื้อเหลือง มีกลิ่นหอม รสหวานไม่จัด ฉ่ำน้ำ ไม่มีเส้นใย เวลาเก็บผลต้องเก็บเมื่อผลแก่จัด โดยสังเกตดูผิวของผล หากตรงส่วนหัวเริ่มมีสีแดงเรื่อๆ จึงสามารถเก็บได้

2.1.3.2 พันธุ์ฟ้าลั่น

เป็นมะม่วงที่มีการเจริญเติบโตดี ติดผลง่าย ผลค่อนข้างดก ต้นอายุ 9-10 ปี ให้ผลผลิตประมาณ 400-500 ผลต่อต้น อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 95 วันหลังดอกบาน เก็บขายได้ก่อนมะม่วงพันธุ์อื่นๆ และสามารถเก็บได้ตั้งแต่ยังอ่อน แต่ความอร่อยอาจสู้เขียวเสวยไม่ได้ ต้นเป็นพุ่มปานกลาง ใบเรียวยาวปลายใบแหลม ขนาดผลไล่เลี่ยกับพันธุ์เขียวเสวย น้ำหนักต่อผลประมาณ 350 กรัม รูปทรงขอบขนานแกมรี หัวโต ปลายแหลม ด้านหลังผลและท้องผลโค้งนูน เมื่อแก่จัดเนื้อเปราะมาก เพียงเอามีดกดเข้าเนื้อเบาๆ ก็จะร้าวลั่นไปตลอดผล เป็นลักษณะเด่นประจำพันธุ์ จึงได้ชื่อว่าฟ้าลั่น เปลือกหนา วัดได้ 0.13 เซนติเมตร เมื่อดิบเปลือกสีเขียว เนื้อสีขาวนวล มีรสชาติมันอมเปรี้ยว เมื่อแก่จัดมีเนื้อสีขาวอมเหลือง รสชาติมันกรอบค่อนข้างจืด ผลสุกผิวมีสีเขียวปนเหลือง เนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีเหลือง รสหวานไม่จัดนัก มีเสี้ยนเล็กน้อย เนื้อมาก เมล็ดลีบ แหลมเล็ก จุดด้อยของพันธุ์นี้คือ ผลมักแตกง่ายเมื่อฝนตก

2.1.3.3 พันธุ์เขียวเสวย

จัดเป็นมะม่วงมัน เหมาะสำหรับรับประทานในระยะแก่จัด เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกกันมาก เพราะความต้องการของตลาดมีสูง ขายง่ายได้ราคาดีเมื่อเทียบกับมะม่วงพันธุ์อื่นๆ มีทรงผลยาว น้ำหนักต่อผลประมาณ 335 กรัม ไซนัสตื้น ปลายผลออกแหลมมน ผิวเรียบ ผิวผลมีสีเขียวเข้ม เปลือกหนาและเหนียว เนื้อสีขาวอมเหลือง เนื้อผลดิบมีรสหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย ผลสุกผิวของเปลือกมีสีเขียวปนเหลือง สีของเนื้อเหลือง ลักษณะเนื้อละเอียด มีเสี้ยนน้อย รสหวานอร่อย เมล็ดทั้งเปลือกหุ้มค่อนข้างยาวแบน เนื้อเมล็ดค่อนข้างเต็ม มีเสี้ยนติดกับเมล็ดน้อย

2.1.3.4 พันธุ์แรด

เป็นมะม่วงพันธุ์เบาคืออออกดอกตลอดปี เจริญเติบโตเร็ว ผลมีขนาดโตปานกลาง น้ำหนักต่อผลประมาณ 200-280 กรัม ลักษณะของผลค่อนข้างกลม หัวใหญ่อ้วน ปลายผลเรียวเล็กน้อยและมน ผิวผลเป็นคลื่นไม่เรียบ ส่วนมากบริเวณด้านหลังของผลจะปรากฏลักษณะที่เห็นได้เด่นชัดเรียกกันว่า "นอ" หรืออาจจะไม่มีเห็นเป็นเพียงรอยจางๆ เปลือกค่อนข้างหนาและเหนียว ผลดิบมีสีเขียวนวล เนื้อสีขาว ลักษณะเนื้อหยาบกรอบและหนา มีรสอมเปรี้ยวเล็กน้อย มีเสี้ยนค่อนข้างมาก เมื่อผลสุกผิวออกเหลืองเข้ม และอาจจะมีสีส้มแต้มที่บริเวณขั้วผล เนื้อสีเหลืองละเอียด รสหวานอ่อนๆ มีกลิ่นหอมเล็กน้อย เมล็ดค่อนข้างสั้น มีเนื้อในเมล็ดค่อนข้างเต็ม

2.1.3.5 พันธุ์แก้ว

มะม่วงแก้วเป็นพันธุ์พื้นบ้านของไทยที่รู้จักกันดี แบ่งออกได้ 3 สายพันธุ์ด้วยกัน คือ แก้วขาวหรือแก้วทอง แก้วดำหรือแก้วแดง และแก้วจุก ผลมะม่วงแก้วขาวเมื่อดิบมีสีเหลืองอมเขียวหรือมีสีขาวนวล เมื่อสุกเนื้อผลมีสีจางกว่ามะม่วงแก้วดำ ส่วนแก้วดำผลดิบผิวมีสีเขียวคล้ำ เนื้อผลสุกมีสีส้มแดง สำหรับสายพันธุ์แก้วจุกนั้นมีสีคล้ายๆ ทั้งแก้วขาวและแก้วดำ แตกต่างกันตรงที่ผลมีขนาดโตกว่าและที่หัวมีจุก มะม่วงแก้วมีน้ำหนักประมาณ 160-200 กรัมต่อผล ผลมีลักษณะกลม ผิวผลสีเขียวเข้ม เปลือกหนาปานกลาง เนื้อผลหยาบมีแป้งมาก มีรสหวานอมเปรี้ยว ผลสุกผิวสีเหลืองเข้ม เนื้อแน่น รสหวาน เมล็ดค่อนข้างใหญ่

2.1.3.6 พันธุ์โชคอนันต์

เป็นพันธุ์ที่กำเนิดมาจากการเพาะเมล็ดมะม่วงสามปี มีถิ่นกำเนิดอยู่ที่จังหวัดเชียงใหม่ เป็นมะม่วงรับประทานสุก ออกทะวายติดผลตลอดปี น้ำหนักประมาณ 270-300 กรัม ผลดิบมีสีเขียวอ่อน ผิวเรียบ ผลสุกผิวสีเหลืองส้ม เปลือกหนา เนื้อผลแน่นสีเหลืองอ่อน รสหวาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 สารประกอบฟีนอลิกและกรดฟีนอลิก

2.2.1 สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds)

สารประกอบฟีนอลิก หรือสารโพลีฟีนอลจัดเป็นสารประกอบทุติยภูมิ (secondary metabolites) ที่พบในผัก ผลไม้และธัญพืชเป็นส่วนใหญ่ โดยทั่วไป โครงสร้างจะประกอบด้วยวงแหวนอะโรมาติก อาจมีหมู่ไฮดรอกซิล 1 หมู่หรือมากกว่า โครงสร้างพื้นฐานของสารประกอบฟีนอลิกจะอยู่ในรูปของไกลโคไซด์ คือสารประกอบ ฟีนอลิกจะจับอยู่กับโมเลกุลของน้ำตาล ซึ่งอาจเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharide) น้ำตาลโมเลกุลคู่ (disaccharide) หรือโอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharide) ก็ได้ แต่น้ำตาลที่พบมากที่สุดได้แก่ กลูโคส (glucose) ส่วนน้ำตาลชนิดอื่นๆ ที่พบได้แก่ กาแลกโตส (galactose) แรมโนส (rhamnose) ไซโรส (xylose) อะราบิโนส (arabinose) และอนุพันธ์ของน้ำตาลเหล่านี้ เช่น กรดกลูโคโรนิก (glucoronic acid) กรดกาแลกตูโรนิก (galacturonic acid) และอื่นๆ นอกจากนี้ ยังอาจมีการรวมตัวกันระหว่างสารประกอบฟีนอลิกกับสารประกอบฟีนอลิกด้วยกันเอง หรือสารประกอบฟีนอลิกกับสารประกอบอื่นๆ เช่น กรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acids) กรดอินทรีย์ (organic acid) เอมีน (amines) และไขมันอีกด้วย (Bravo, 1998) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่พบในพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกันออกไป นอกจากนี้ในส่วนของเนื้อเยื่อที่ต่างกันของผักและผลไม้ชนิดเดียวกัน ปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกก็ยังแตกต่างกันอีกด้วย เนื่องจากปัจจัยทางด้านพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้องกับการสร้างสารประกอบฟีนอลิกของพืช นอกจากนี้ยังพบว่าวิธีการเพาะปลูก ระดับความสุก กระบวนการแปรรูป หรือแม้แต่วิธีการเก็บรักษาก็ล้วนมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งสิ้น

สารประกอบฟีนอลิกถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในกระบวนการเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์ของพืชรวมทั้งช่วยปกป้องพืชจากการติดเชื้อหรือถูกทำลายโดยแมลงหรือจุลินทรีย์ และยังมีหน้าที่เกี่ยวกับการเกิดสีและกลิ่นรส (Karakaya, 2004) อย่างไรก็ตามหน้าที่ที่แน่นอนของสารประกอบฟีนอลิกส่วนใหญ่ในพืชนั้นยังเป็นที่สงสัย แต่ทั้งนี้อาจจำแนกหน้าที่ความสำคัญของสารประกอบฟีนอลิกออกเป็น 3 ประการ ดังนี้ (จริงแท้, 2541)

1) การต้านทานโรค สารประกอบฟีนอลิกหลายชนิดสามารถป้องกัน หรือยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราบางชนิดได้ เช่น กรดโปรโทคาเทชูอิค (protocatechuic acid) ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิกที่มีมากในหอมหัวใหญ่สีม่วง จะต้านทานต่อโรค smudge ที่เกิดจากเชื้อ *Colletotrichum circinan* ได้ดี แต่ในหอมพันธุ์สีขาวจะไม่มีสารชนิดนี้จึงอ่อนแอต่อโรคดังกล่าว นอกจากนั้นยังพบว่า สารที่สกัดได้จากหัวหอมนี้สามารถป้องกันการงอก และยับยั้งการเจริญของเชื้อราชนิดนี้ด้วย

2) รสฝาด รสฝาดของผลไม้หลายๆ ชนิด ขึ้นอยู่กับปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกในผล ช่วงน้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบฟีนอลิกที่ให้ความฝาดนั้นอยู่ในช่วง 500-3,000 ซึ่งสามารถที่

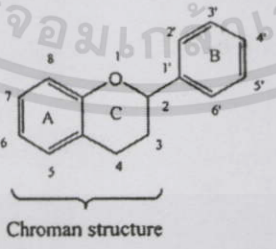
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะรวมตัวกับโมเลกุลของโปรตีนในปากทำให้รู้สึกฝาดได้ เมื่อผลไม้แก่จัด (mature) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมักจะลดลง นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลิกยังเกิดการรวมตัวเป็นโมเลกุลใหญ่ (polymerization) และการรวมตัวจะเกิดขึ้นเรื่อยๆ จากโมเลกุลที่ละลายน้ำกลายเป็นโมเลกุลที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งทำให้ความฝาดลดลง รสขมในพืชตระกูลส้มนั้นเป็นผลจากนารินจิน (naringin) ซึ่งพบมากและเป็นสารประกอบฟีนอลิกที่ให้รสขมสูง ส่วนรสขมของแตงกวานั้นเกิดจากสารคูเคอ-ไบทาซิน (cucurbitacin) หรือรสขมซึ่งเกิดจากลิโมนอยด์ (limonoids) ในพวกส้ม ไม่ใช่สารประกอบฟีนอลิกแต่เป็นสารประกอบพวกไตรเตอพีนอยด์ (triterpenoid)

3) สี นอกจากแอนโธไซยานินซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิกชนิดหนึ่งที่ให้สีกับผักและผลไม้แล้ว สารประกอบฟีนอลิกอื่นๆ ที่ปกติไม่มีสีอาจทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นได้ เนื่องจากการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase, PPO) ซึ่งเปลี่ยนโมเลกุลของฟีนอลไปเป็นควิโนน (quinone) แล้วเกิดโพลีเมอร์ไรเซชัน (polymerization) ขึ้น และมีสีน้ำตาล ปริมาณของ PPO จะมีมากในผลไม้เมื่อผลยังเล็ก และลดลงเมื่อผลเจริญเติบโตขึ้นจนบริบูรณ์และสุก สันนิษฐานกันว่าควิโนนที่ได้จากการทำงานของ PPO มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้

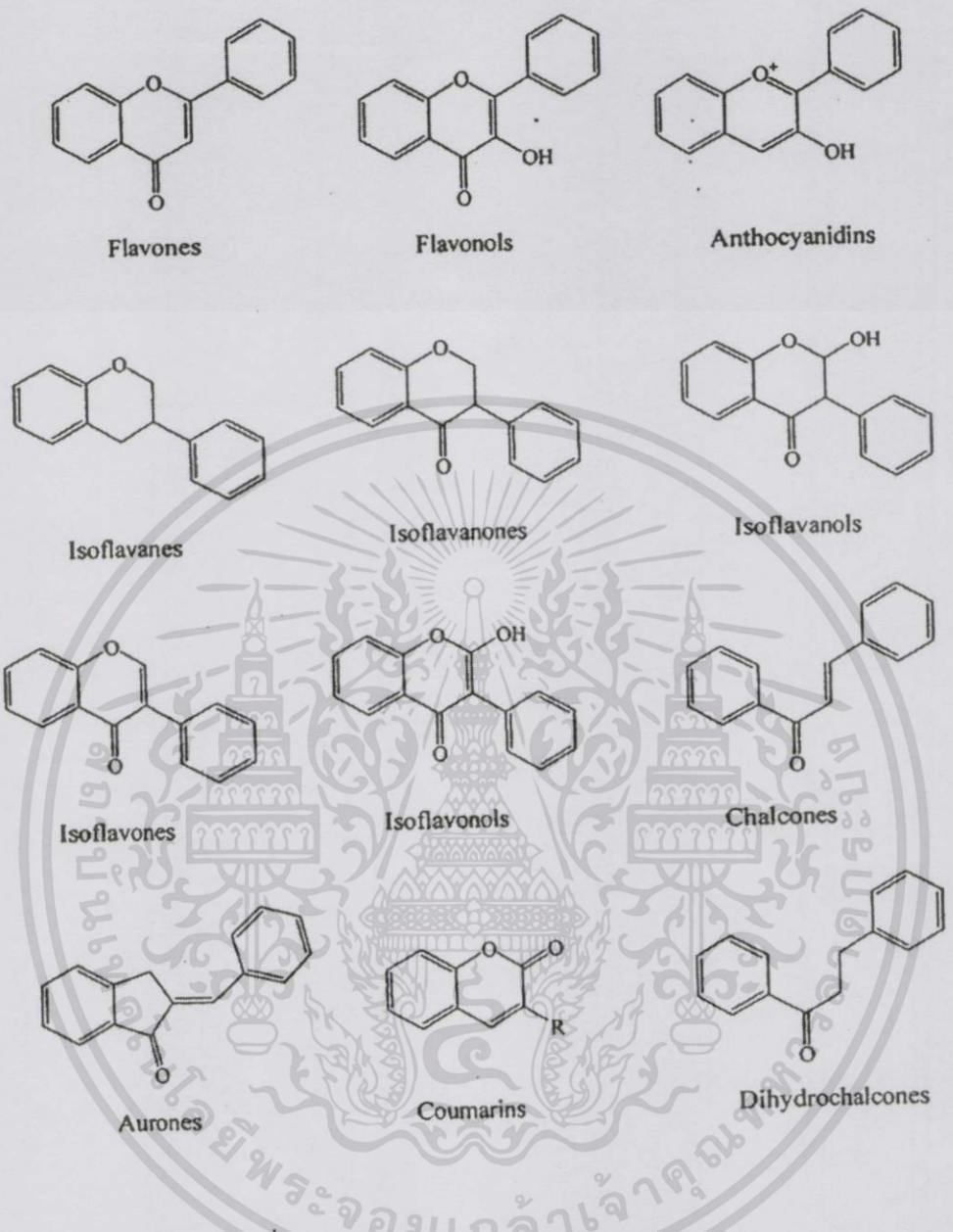
สารประกอบโพลีฟีนอลแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) และ นอน-ฟลาโวนอยด์ (non-flavonoids) (Burns และคณะ, 2000)

ฟลาโวนอยด์เป็นกลุ่มของสารสารประกอบโพลีฟีนอลกลุ่มใหญ่ที่พบมากในพืชชั้นสูง ในทุกส่วนของพืช ไม่ว่าจะเป็นใบ ราก เนื้อไม้ เปลือกต้น ดอก ผล หรือเมล็ด มีหน้าที่ทางชีวภาพหลายชนิด โดยเฉพาะการทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ มีโครงสร้างเป็นวงแหวนอะโรมาติก (aromatic ring) 3 วง (A, B และ C) ประกอบด้วยคาร์บอน 15 อะตอม โครงสร้างพื้นฐานเป็นแบบไดฟีนิวโพรเพน (diphenylpropanes) (C_6-C_3-C_6) โดยมี A- และ B-ring เป็นวงแหวนฟีนิว (phenyl ring) และ C-ring เป็นวงแหวนแลคโตน (lactone ring) ทำให้โครงสร้างหลักที่ได้เหมือนโครงสร้างหลักของวิตามินอี ที่เป็นโครงสร้างแบบโครแมน (chroman structure) ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างพื้นฐานและการระบุตำแหน่งคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลของฟลาโวนอยด์
ที่มา: โอภาและคณะ (2551)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 โครงสร้างหลักของฟลาโวนอยด์กลุ่มต่างๆ

ที่มา: โอภาและคณะ (2551)

องค์ประกอบสำคัญที่ทำให้ฟลาโวนอยด์แต่ละชนิดมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระแตกต่างกันคือ จำนวนและตำแหน่งของหมู่ OH ใน A- และ B-ring โดยเฉพาะที่ B-ring จะมีผลกระทบมากที่สุด ฟลาโวนอยด์สามารถแบ่งตามโครงสร้างพื้นฐานออกเป็นกลุ่มต่างๆได้ 12 กลุ่มย่อย คือ ฟลาโวน (flavone) ไอโซฟลาโวน (isoflavone) ฟลาโวนอล (flavonol) ฟลาวาโนน (flavanone) ฟลาวาโนนอล (flavanonol) ฟลาวานอล (flavanol) ลูโคแอนโธไซยานิน

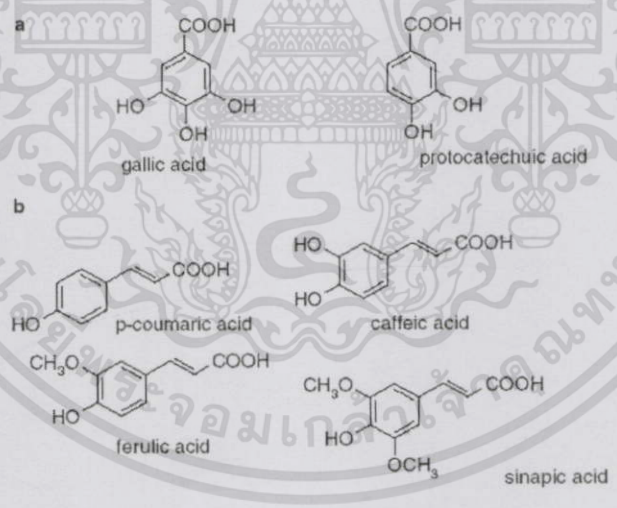
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(lucoanthocyanin) แอนโธไซยานิน (anthocyanin) ชาลโคน (chalcone) ไดไฮโดรชาลโคน (dihydrochalcone) ออโรน (aurone) และแซนโธน (xanthone) โครงสร้างแสดงในรูปที่ 2.3

นอนฟลาโวนอยด์ ที่สำคัญได้แก่ กรดฟีนอลิก (phenolic acid) ตัวอย่างที่พบมากในผลไม้ทั่วไปคือ กรดแกลลิก (gallic acid) กรดโปรโตเคทิชิวอิก (protocatechuic acid) กรดวานิลิก (vanillic acid) กรดพาราคูมาริก (p-coumaric acid) กรดเฟอรูลิก (ferulic acid) เป็นต้น นอกจากนี้ นอนฟลาโวนอยด์ ชนิดอื่นๆ ได้แก่ ไฮดรอกซีซินนาเมต (hydroxycinnamate) สติลบิเนส (stibinase) เป็นต้น

2.2.2 กรดฟีนอลิก (Phenolic acids)

กรดฟีนอลิกจัดเป็นสารประกอบฟีนอลิกกลุ่มใหญ่ที่พบมากในพืชที่ใช้เป็นอาหาร สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ กรดฟีนอลิกที่เป็นอนุพันธ์ของกรดไฮโดรเบนโซอิก (hydroxybenzoic acids) ตัวอย่างได้แก่ กรดแกลลิก (gallic acid) กรดโปรโตคาเทชูอิก (protocatechuic acid) เป็นต้น และกรดฟีนอลิกที่เป็นอนุพันธ์ของกรดไฮโดรซินามิก (hydrocinnamic acids) ได้แก่ กรดพาราคูมาลิก (*p*-coumaric acid) กรดคาเฟอิก (caffeic acid) กรดเฟอรูลิก (ferulic acid) เป็นต้น สำหรับโครงสร้างทางเคมีของกรดฟีนอลิกทั้งสองกลุ่มแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของกรดฟีนอลิก (phenolic acids) (a) อนุพันธ์ของกรดไฮดรอกซีเบนโซอิก (hydroxybenzoic acids) และ (b) อนุพันธ์ของกรดไฮโดรซินนามิก (hydrocinnamic acids)

ที่มา : Balasundram และคณะ (2006)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารในกลุ่มกรดฟีนอลิก และเอสเทอร์ของกรดฟีนอลิก จะขึ้นอยู่กับจำนวนหมู่แทนที่ไฮดรอกซิลในโมเลกุล สมบัติในการดึงอิเล็กตรอนของหมู่คาร์บอกซิลิกในกรดเบนโซอิกจะส่งผลให้ความสามารถในการให้ไฮโดรเจนของไฮดรอกซี เบนโซเอทน้อยลง ดังนั้นจะพบว่าสารกลุ่มไฮดรอกซีซินนามิกจะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่า (โอภา และคณะ, 2551)

กรดฟีนอลิกแต่ละชนิดจะมีสมบัติทางเภสัชวิทยา (pharmacological property) ที่แตกต่างกันออกไป เช่น กรด 4-โพรพอกซีซินนามิก (4-Propoxycinnamic acid) มีสมบัติต้านเชื้อมาลาเรีย (Weisner และคณะ, 2001) กรดแกลลิกและอนุพันธ์มีความสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียทั้งแกรมลบและแกรมบวก (Binutu และ Cordell, 2000) รวมทั้งยังมีสมบัติต้านการอักเสบและมีความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็ง กรดเฟอรูริกและกรดคาเฟอิกมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และเชื้อรา (Mehrotra, 1997) กรดซินนามิกและอนุพันธ์ช่วยป้องกันการติดเชื้อจากจุลินทรีย์ก่อโรค และยับยั้งการเจริญ เติบโตของเชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* (Champbel และคณะ, 1999)

2.3 ฤทธิ์ทางชีวภาพของสารประกอบฟีนอลิก

2.3.1 การต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน

สมบัติที่ได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบันของสารประกอบฟีนอลิกคือ สมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติ ทั้งในอาหารและระบบของสิ่งมีชีวิต โดยสารประกอบฟีนอลิกจะทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระและไอออนของโลหะที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่นๆ ด้วยการให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระอย่างรวดเร็ว ดังสมการที่ (2.3) และ (2.4) เมื่อ PP คือสารประกอบฟีนอลิกที่เข้าทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระต่างๆ คือ $R^{\bullet}$ และ $RO^{\bullet}$

$$R^{\bullet} + PP \longrightarrow R + PP^{\bullet} \quad (2.3)$$

$$RO^{\bullet} + PP \longrightarrow RO + PP^{\bullet} \quad (2.4)$$

$$R^{\bullet} + PP^{\bullet} \longrightarrow RPP \quad (2.5)$$

$$RO^{\bullet} + PP^{\bullet} \longrightarrow ROPP \quad (2.6)$$

เมื่อสารประกอบฟีนอลิกให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระไปแล้ว อนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกจะค่อนข้างมีเสถียรภาพ ดังนั้นจึงไม่ทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นต่อไป ยิ่งไปกว่านั้น อนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกบางชนิดยังสามารถรวมตัวกับอนุมูลอิสระอื่นได้อีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วย จึงทำให้สามารถลดจำนวนอนุมูลอิสระลงได้ 2 เท่า ดังสมการที่ (2.5) และ (2.6) (พิชญ์อร, 2547)

แต่ความสามารถในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกยังขึ้นอยู่กับระบบด้วย ดังนั้นการศึกษาหรือเปรียบเทียบคุณสมบัติดังกล่าวจึงจำเป็นต้องระบุรายละเอียดของระบบให้ชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสับสเตรทที่เป็นเป้าหมายของระบบ นอกจากนี้ยังพบว่าในสภาวะที่มีสารประกอบฟีนอลิกความเข้มข้นสูง ค่าความเป็นกรดด่างสูง และมีเหล็กอยู่ด้วยนั้น สารประกอบฟีนอลิกอาจเป็นตัวเริ่มต้นของกระบวนการออกซิเดชันเสียเองได้

สารประกอบฟีนอลิกที่พบว่ามีสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันนั้น สามารถพบได้ในส่วนต่างๆ ของพืช เช่น เมล็ด (ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วลิสง เมล็ดฝ้าย มัสตาร์ด ข้าว และ งา) ผล (ได้แก่ องุ่น ส้ม พริกไทยดำ และโอลีฟ) ใบ (ได้แก่ ชา และเครื่องเทศต่างๆ) และส่วนอื่นๆ (ได้แก่ มันเทศ และหัวหอม) สารประกอบฟีนอลิกที่กำลังได้รับความสนใจอย่างมาก คือ ฟลาโวนอยด์ (ได้แก่ ฟลาโวน ไอโซฟลาโวน ฟลาโวนอล ฟลาวาโนน และ ชาลโคน) และอนุพันธ์ของกรดไฮโดรซินนามิก (ได้แก่ กรดคาเฟอิก กรดเฟอรูลิก กรดคาโลเจนิก และอื่นๆ) โดยจะสามารถพบทั้งฟลาโวนอยด์และอนุพันธ์ของกรดไฮโดรซินนามิกได้เกือบทุกส่วนของพืช แต่จะมีความสามารถแตกต่างกันออกไปในด้านของชนิดและปริมาณ (วิวัฒน์, 2545)

2.3.2 การต้านโรคต่างๆ (นวลศรีและอัญชนา, 2545)

2.3.2.1 บทบาทต่อโรคมะเร็ง

โรคมะเร็งสามารถเกิดขึ้นได้จากการที่ร่างกายได้รับสารเคมี รังสี หรือไวรัส จากสิ่งแวดล้อม สิ่งแปลกปลอมเหล่านี้จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระดับของดีเอ็นเอส่งผลให้เกิดความผิดปกติของเซลล์และเนื้อเยื่อขึ้นตามลำดับ สารประกอบฟีนอลบางชนิดมีบทบาททั้งในด้านส่งเสริมและป้องกันมะเร็งได้ โดยกลุ่มที่มีบทบาททั้ง 2 ด้านดังกล่าวนี้ คือสารประกอบฟีนอลิกและแคติคอล (catechol) เนื่องจากในสภาพปกติสารดังกล่าวจะเข้าทำปฏิกิริยากับไนไตรท์ ทำให้ไนไตรท์หมดสภาพในการเป็นสารก่อมะเร็ง และส่วนที่เหลือจะถูกเปลี่ยนเป็นควิโนน (quinones) ซึ่งสามารถถูกกำจัดออกจากร่างกายได้ด้วยเอนไซม์กลูทาไทโอน ทรานเฟอเรส (glutathione transferase) ในกระบวนการทางกำจัดสารเคมีแปลกปลอมที่เข้ามาในร่างกาย (xenobiotic metabolism) แต่หากร่างกายได้รับฟีนอล และแคติคอลในปริมาณสูงมากจนระบบดังกล่าวไม่สามารถกำจัดได้หมด ควิโนนจะเข้าทำปฏิกิริยากับโปรตีน และก่อให้เกิดอนุมูลอิสระต่างๆ ซึ่งเท่ากับมีผลในการส่งเสริมให้เกิดมะเร็งขึ้นได้ สำหรับกลไกการลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งของสารประกอบฟีนอลิกสามารถแบ่งได้หลายลักษณะ เช่น ยับยั้งการเกิดสารก่อมะเร็ง ป้องกันปัจจัยต่างๆ ที่ส่งเสริมให้เกิดโรคมะเร็ง หยุดการเจริญและแพร่กระจายของเซลล์มะเร็ง ลดอัตราเกิดการกลายพันธุ์ของเซลล์ และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.2 บทบาทต่อโรคหัวใจและหลอดเลือด

สารต้านอนุมูลอิสระสามารถลดการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดได้ โดยการยับยั้งการรวมตัวของไขมันชนิด LDL (low density lipoprotein) กับออกซิเจน ทำให้ไม่เกิดอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ยังมีผลในการเพิ่มปริมาณไขมันชนิด HDL (high density lipoprotein) ให้สูงขึ้น ซึ่งไขมันชนิดนี้เป็นไขมันที่ดีทำให้ลดโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดแดงแข็งตัวได้

2.3.2.3 บทบาทต่อโรคต้อกระจก

โรคต้อกระจกมีสาเหตุมาจากการเกิดอนุมูลอิสระขึ้นในเลนส์ตา โดยในเลนส์ตามีกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งเข้าทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ง่าย และมีรังสีอัลตราไวโอเลตเป็นตัวกระตุ้น ดังนั้นสารต้านอนุมูลอิสระจะเข้าทำหน้าที่โดยไปจับกับอนุมูลอิสระทำให้อนุมูลอิสระไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อไปอีกได้

2.3.2.4 บทบาทต่อการเสื่อมของเซลล์

รังสีอัลตราไวโอเลตในแสงแดดเป็นตัวการสำคัญที่กระตุ้นให้เกิดอนุมูลอิสระที่ผิวหนัง และยังทำปฏิกิริยาต่อเซลล์ข้างเคียง ทำให้เซลล์เสื่อมสภาพหรือตายเร็วกว่าปกติ ส่งผลให้ผิวหนังเกิดการเหี่ยวย่น หรือแก่ชราก่อนวัย สารต้านอนุมูลอิสระสามารถป้องกันการเสื่อมของเซลล์ได้โดยการป้องกันผนังเซลล์ไม่ให้ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจนเกิดเป็นอนุมูลอิสระเข้าทำลายเซลล์ได้

2.3.3 การต้านจุลินทรีย์

สารประกอบโพลีฟีนอลมีคุณสมบัติ ขอบข่าย และการออกฤทธิ์ในการยับยั้งหรือทำลายจุลินทรีย์ที่แตกต่างกัน โดยการขัดขวางการสร้างส่วนต่างๆ ของเซลล์ คือ ออกฤทธิ์ที่ระดับผนังเซลล์ ระดับเยื่อหุ้มเซลล์ และสุดท้ายออกฤทธิ์ที่ระดับการสังเคราะห์ไซโตพลาสซึม (มาลิน, 2540)

2.3.3.1 การออกฤทธิ์ที่ระดับผนังเซลล์

โดยไปยับยั้งการสร้างผนังเซลล์ ทั้งนี้แบคทีเรียและราต่างมีผนังเซลล์ ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่นอกสุดของเซลล์ เป็นชั้นที่แข็งแรง คงทน เพื่อทำหน้าที่ป้องกันสิ่งที่อยู่ภายในเซลล์ ลักษณะโครงสร้างผนังเซลล์ของกลุ่มเชื้อทั้งสองต่างกัน สำหรับแบคทีเรีย ผนังเซลล์เป็นโครงสร้างสำคัญที่ใช้ในการจำแนกชนิดของแบคทีเรียตามลักษณะการติดสีแกรม (gram-stain) และการติดสีแบบแอซิด ฟาส์ท (acid-fast) การย้อมด้วยวิธีแรกทำให้สามารถแบ่งแบคทีเรียเป็นสองพวก คือ พวกติดสีแกรมบวก และแกรมลบ แบคทีเรียทั้งสองพวกนี้มีโครงสร้างพื้นฐานของผนังเซลล์เป็นแบบเปปติโดไกลแคน (peptidoglycan) แบคทีเรียแกรมบวกมีส่วนนี้หนามากกว่าแบคทีเรียแกรมลบ แต่พวกแกรมลบมีส่วนของไลโพโพลีแซคคาไรด์ (lipopolysaccharide) หุ้มรอบอีกชั้นหนึ่ง สารต้านจุลินทรีย์ชนิดที่มีกลไกการออกฤทธิ์ยับยั้งการสร้างผนังเซลล์ส่วนใหญ่เป็นพวกที่ยับยั้งการสังเคราะห์เปปติโดไกลแคน ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของผนังเซลล์ทำให้ผนังเซลล์ไม่แข็งแรง แบคทีเรีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าฉลาดกระบัง

แบ่งตัวไม่ได้ ได้แต่ยืดออกจึงเกิดรูที่ผนังเซลล์ ทำให้องค์ประกอบภายในเซลล์ไหลออกมาภายนอกและเซลล์แตกในที่สุด

2.3.3.2 การออกฤทธิ์ที่ระดับเยื่อหุ้มเซลล์

เยื่อหุ้มเซลล์เป็นส่วนที่ถัดจากผนังเซลล์เข้ามา หน้าที่ของเยื่อหุ้มเซลล์โดยทั่วไปคือเป็น osmotic barrier ที่ช่วยป้องกันไม่ให้สารต่างๆ เข้าหรือออกจากเซลล์ง่ายเกินไป อีกทั้งมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งอิเล็กตรอน (electron transport) สารต้านจุลินทรีย์จะไปรบกวนหน้าที่ของเยื่อหุ้มเซลล์ นอกจากนี้จะเข้าไปแทรกระหว่างโปรตีนและไลปิดของเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้เซลล์เกิดการฉีกขาด เป็นผลให้สารในไซโตพลาสซึมไหลออกมาทำให้เซลล์ตาย

2.3.3.3 การออกฤทธิ์ที่ระดับการสังเคราะห์ไซโตพลาสซึม

โดยไปยับยั้งการนำไทมีน (thymine) เข้าไปจับกับนิวคลีโอไทด์ตัวอื่นๆ ทำให้การสร้างดีเอ็นเอไม่สมบูรณ์ และไปยับยั้งการสร้างโปรตีน โดยไปทำให้กรดอะมิโนไม่สามารถต่อกันเป็นโพลีเปปไทด์ได้ จึงไม่สามารถสร้างโปรตีนได้

Cowan (1999) ได้ศึกษาผลของสารประกอบโพลีฟีนอลที่สกัดได้จากพืชชนิดต่างๆ ต่อการยับยั้งแบคทีเรียก่อโรค พบว่าสารประกอบโพลีฟีนอลในพืช ได้แก่ กรดไฮดรอกซีซินนามิก (hydroxycinnamic acid) ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) โปรแอนโธไซนานิดิน (proanthocyanidins: tannins) แอนโธไซยานิน (anthocyanins) ฟลาโวน (flavons) ฟลาโวนอล (flavonols) มีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียก่อโรค โดยกลไกที่เกี่ยวข้องกับการยับยั้งการทำงานของไฮโดรไลติก เอนไซม์ (hydrolytic enzymes) ได้แก่ โปรติเอส (proteases) และคาร์โบไฮโดรเลส (carbohydrolases) จึงมีผลต่อการทำงานของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในชั้นเยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งส่งผลต่อการเกาะติดของแบคทีเรียก่อโรค ทำให้สภาวะการเกาะติดเสียสภาพไป และยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์ทำให้เซลล์ตายในที่สุด

2.4 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

2.4.1 การวิเคราะห์ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด

วิธี Folin – Ciocalteu เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด ในพืชผักผลไม้ และเครื่องดื่มต่างๆ เช่นเดียวกับวิธี Folin – Denis แต่มีความแตกต่างกันของสารเคมี (reagent) ที่ใช้บางตัว โดยทั้งสองวิธีใช้ตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบทั้งหมดที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในโมเลกุล และไม่คำนึงถึงน้ำหนักโมเลกุลของโพลีฟีนอลนั้นๆ ดังนั้นการวิเคราะห์ในรูปแบบนี้จึงไม่มีการระบุชนิดของโพลีฟีนอลที่มีอยู่ในตัวอย่าง ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยารีดักชัน - ออกซิเดชัน (reduction - oxidation) โดยโพลีฟีนอลถูกออกซิไดซ์ในสภาวะที่เป็นด่าง การทำให้เกิดปฏิกิริยาเนื่องจากโมลิบทังสเตท ไอออน (molybdtungstate ion) เหมือนกัน โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
105543

สารเคมีของวิธี Folin – Denis ประกอบด้วยโซเดียมทังสเตท (sodiumtungstate) ฟอสโฟโมลิบดิก (phosphomolibdic) กรดออโทฟอสฟอริก (orthophosphoric acid) และโซเดียมไบคาร์บอเนต (sodium bicarbonate) ส่วนสารเคมีของวิธี Folin – Ciocalteu ประกอบด้วยโซเดียมทังสเตท โซเดียมโมลิบเดต (sodium molybdate) กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) และโซเดียมคาร์บอเนต (sodium carconate) (Friruzi และคณะ, 2005; Blasco และคณะ, 2005) ติดตามการเปลี่ยนแปลงสีจากปฏิกิริยาของไอออน (Mo(VI)) ซึ่งมีสีเหลือง เมื่อได้รับอิเล็กตรอนจากสารต้านออกซิเดชันแล้วจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ (Mo(V)) ที่มีสีน้ำเงิน (Prior และคณะ, 2005) ดังสมการที่ (2.1) และ (2.2)

$$Na_2WO_4/Na_2MoO_4 \longrightarrow (\text{phenol-}MoW_{11}O_{40})^{-4} \quad (2.1)$$

$$Mo(VI)\ (\text{yellow}) + e^- \longrightarrow Mo(V)\ (\text{blue}) \quad (2.2)$$

วิธี Folin – Denis สามารถติดตามปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นโดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 750 นาโนเมตร ส่วนวิธี Folin – Ciocalteu สามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างพืชนิยมรายงานเป็นค่าปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมด (total polyphenol contents) โดยใช้กรดแกลลิก (gallic acid) เป็นสารมาตรฐาน (วิวัฒน์, 2545)

2.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกโดย HPLC

โครมาโทกราฟีเป็นเทคนิคในการแยกองค์ประกอบต่างๆ ในของผสมที่อยู่ในภาวะสมดุลระหว่างเฟส 2 เฟสออกจากกัน โดยอาศัยความแตกต่างของการกระจายตัว เทคนิคโครมาโทกราฟีได้ถูกนำมาใช้สำหรับการแยก การตรวจสอบ และวัดปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีของสารผสมต่างๆ โดยอาศัยหลักการกระจายตัวระหว่างเฟส 2 เฟส คือ เฟสอยู่กับที่ (stationary phase) และเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase)

โครมาโทกราฟีสมรรถนะสูง (High performance liquid chromatography: HPLC) อาศัยหลักการของ ของเหลวความดันสูงจะสร้างแรงพา (impelling force) ดันสารต่างๆ ในสารตัวอย่างผ่านไปบนเฟสคงที่ (stationary phase) ซึ่งเฟสคงที่จะสร้างแรงหน่วง (retention force) ต่อสารชนิดต่างๆ ซึ่งจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง ประจุ ความจำเพาะ (specificity) การดูดซับ (adsorption) การละลาย (solubility) ของสาร ดังนั้นความแตกต่างกันของแรงหน่วงจึงทำให้โมเลกุลของสารแต่ละชนิดเคลื่อนที่ออกมาจากคอลัมน์ซึ่งบรรจุเฟสคงที่ในเวลาชะ (retention time) ที่แตกต่างกัน (ชูชาติ, 2544) HPLC เป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการตรวจวิเคราะห์แยกสารผสม สามารถประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์สารต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง ทั้งในอุตสาหกรรมต่างๆ ทางการแพทย์ และทางวิทยาศาสตร์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

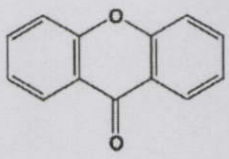
Schieber และคณะ (2000) วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในน้ำมะม่วงเข้มข้น (mango puree concentrate) โดยวิธี HPLC ใช้คอลัมน์ LiChrospher RP18e เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร ยาว 250 มิลลิเมตร ขนาดอนุภาคที่บรรจุในคอลัมน์ (particle size) 5 ไมครอน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) แบบเกรเดียน (gradient) ของสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร (eluent A) และ สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ ต่ออะซิโตไนไตร อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร (eluent B) อัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่เท่ากับ 1 มิลลิลิตร/นาที โดยใช้เครื่องตรวจวัดแบบยูวี (UV detector) ที่ความยาวคลื่นตั้งแต่ 200-600 นาโนเมตร โดยวิเคราะห์หาแทนนิน (tannin) กรดเบนโซอิก (benzoic acid) กรดไฮดรอกซีซินนามิก (hydroxycinnamic acid) และฟลาโวนอล (flavonols) ชนิดต่างๆ ในขณะที่ Singh และคณะ (2004) วิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ ได้แก่ กรดแทนนิก (tannic acid) กรดแกลลิก (gallic acid) กรดวานิลลิก (vanillic acid) กรดคาเฟอิก (caffeic acid) กรดเฟอรูลิก (ferulic acid) กรดคลอโรเจนิก (chlorogenic acid) และกรดซินนามิก (cinnamic acid) ในเนื้อมะม่วงพันธุ์เศรษฐกิจของประเทศอินเดีย 6 สายพันธุ์ โดยใช้คอลัมน์ Luna C-18 เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.6 มิลลิเมตร ยาว 250 มิลลิเมตร ขนาดอนุภาคที่บรรจุในคอลัมน์ 5 ไมครอน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เฟสเคลื่อนที่ใช้สภาวะไอโซเครติก (isocratic condition) ของเมธานอลต่อ สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.4 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วน 80:20 โดยปริมาตร อัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่เท่ากับ 1 มิลลิลิตร/นาที โดยใช้เครื่องตรวจวัดแบบยูวี ที่ความยาวคลื่น 290 นาโนเมตร

2.5 สารประกอบฟีนอลิกที่พบในมะม่วง

สารประกอบฟีนอลิกสามารถพบได้ในทุกส่วนของมะม่วง เช่น เปลือกลำต้น ผล ราก และใบ ในส่วนของผลมะม่วงนั้นพบสารประกอบฟีนอลิก ทั้งในเปลือก เนื้อ และเมล็ดใน โดยมีปริมาณมากที่สุดในส่วนของเมล็ด (Soong และ Barlow, 2004) ในส่วนเปลือกมะม่วงนั้น พบว่าเปลือกมะม่วงสุกมีปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าในเปลือกมะม่วงดิบ (Ajila และคณะ, 2007) สารประกอบฟีนอลิกที่พบมากในมะม่วงคือ

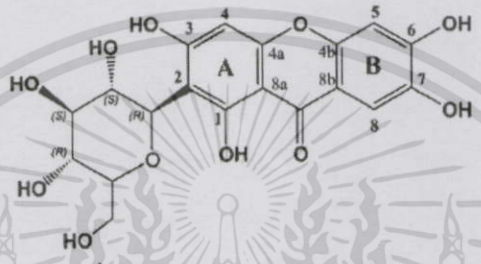
2.5.1 สารในกลุ่มแซนโธนกลัยโคไซด์ (xanthone *C*-glycosides) ซึ่งพบว่ามีองค์ประกอบของแมงจิเฟอริน (mangiferin) ไอโซแมงจิเฟอริน (isomangiferin) แมงจิเฟอริน แกลเลต (mangiferin gallate) และ ไอโซแมงจิเฟอริน แกลเลต (isomangiferin gallate) โดยมีปริมาณของแมงจิเฟอรินมากที่สุด (Berardini และคณะ, 2005) โครงสร้างของแซนโธนและแมงจิเฟอรินแสดงในรูปที่ 2.5 และ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของแซนโธน

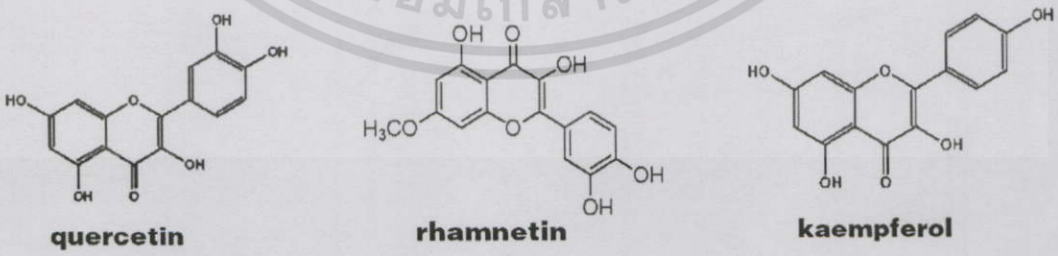
ที่มา: ดัดแปลงจาก Masibo และ He (2008)



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของแมงจิเฟอริน

ที่มา: Masibo และ He (2008)

2.5.2 สารในกลุ่มฟลาโวนอลกลัยโคไซด์ (flavonol *O*-glycosides) ซึ่งพบว่ามีองค์ประกอบของเคอร์ซิติน กาแลคโตไซด์ (quercetin 3-*O*-glycosides) เคอร์ซิตินกลูโคไซด์ (quercetin 3-*O*-glucoside) เคอร์ซิตินไซโลไซด์ (quercetin 3-*O*-xyloside) เคอร์ซิตินอะราบิโนไพราโนไซด์ (quercetin 3-*O*-arabinopyanoside) เคอร์ซิตินอะราบิโนฟูราโนไซด์ (quercetin 3-*O*-arabinofuranoside) เคอร์ซิตินแรมโนไซด์ (quercetin 3-*O*-rhamnoside) แคมฟีรอลกลูโคไซด์ (kaempferol 3-*O*-glucoside) แรมเนตินกาแลกโตไซด์/กลูโคไซด์ (rhamnetin 3-*O*-galactoside /glucoside) และเคอร์ซิติน (quercetin) โดยมีปริมาณของเคอร์ซิตินกาแลคโตไซด์มากที่สุด (Berardini และคณะ, 2005) โครงสร้างของสารกลุ่มฟลาโวนอลบางชนิดแสดงในรูปที่ 2.7



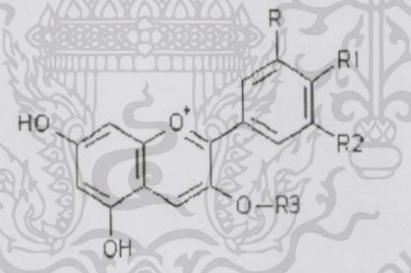
รูปที่ 2.7 โครงสร้างของสารในกลุ่มฟลาโวนอลบางชนิด

ที่มา: ดัดแปลงจาก Masibo และ He (2008)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 คาโรทีนอยด์ (Carotenoids) พบว่ามีปริมาณมากในส่วนของเปลือกมะม่วงสุก (Ajila และคณะ, 2007) คาโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุกลุ่มใหญ่ พบอยู่ร่วมกับคลอโรฟิลล์ (chlorophylls) ในคลอโรพลาส (chloroplasts) และโครโมพลาส (chromoplasts) ให้สีแดง ส้ม และเหลือง คาโรทีนอยด์แบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อย คือ คาโรทีน (carotenes) และแซนโทฟิลล์ (xanthophylls) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ที่มีการเติมออกซิเจน (oxygenated derivatives) ทั้งสองกลุ่มนี้ไม่ละลายน้ำ แต่แซนโทฟิลล์มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) น้อยกว่าคาโรทีน กลุ่มของคาโรทีนอยด์ที่พบมากในมะม่วง คือ เบต้า-คาโรทีน (β-carotene) ซึ่งสามารถเปลี่ยนไปเป็นวิตามินเอได้ โดยพบมากในมะม่วงสุก

2.5.4 แอนโธไซยานิน (Anthocyanin) เป็นสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ พบมากในส่วนของเปลือกมะม่วงสุก (Ajila และคณะ, 2007) ให้สีโทนแดง น้ำเงิน หรือม่วง โมเลกุลของแอนโธไซยานินประกอบด้วย แอนโธไซยานิดิน (anthocyanidin) และน้ำตาล 1-2 โมเลกุล ซึ่งน้ำตาลเหล่านี้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ที่อาจมีคาร์บอนในโมเลกุลจำนวน 5 หรือ 6 อะตอมก็ได้ เช่น น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลฟรุคโตส หรือน้ำตาลอะราบิโนส เป็นต้น แอนโธไซยานิดินที่พบมากในธรรมชาตินั้น มีเพียง 3 ชนิด คือ ไซยานิดิน (cyanidin) เพลาร์โกนิดิน (pelargonidin) และเดลฟินิดิน (delphindin) โครงสร้างพื้นฐานของแอนโธไซยานินมีชื่อเรียกว่า flavylium cation ซึ่งประกอบด้วยวงแหวน 3 วง คือ วงแหวน A (A-ring) วงแหวน B (B-ring) และวงแหวน C (C-ring) โดยที่แอนโธไซยานินแต่ละชนิดจะแตกต่างกันที่หมู่แทนที่บนคาร์บอนตำแหน่งต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 โครงสร้างพื้นฐานของแอนโธไซยานิน

ที่มา: Masibo และ He (2008)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พงศธร และคณะ (2551) ได้ศึกษาปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระและการต้านจุลินทรีย์ของสารสกัดจากเปลือกผลไม้ 8 ชนิด ได้แก่ มังคุด มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ กล้วยหอม ทุเรียน ลองกอง มะละกอ ส้ม และสับปะรด พบว่าเปลือกมะม่วง มีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระและการต้านจุลินทรีย์ทั้งหมดสูงกว่าเปลือกผลไม้ชนิดอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยกเว้นเปลือกมังคุด โดยเปลือกมะม่วงมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด 142.6 ± 7.6 มิลลิกรัมแกลลิก /100 กรัมน้ำหนักแห้ง

Schieber และคณะ (2000) ศึกษาสารประกอบฟีนอลิกในน้ำมะม่วงเข้มข้น (mango puree concentrate) พบสาร ฟลาโวนอล และกรดฟีนอลิกหลายชนิด ได้แก่ แมงจิเฟอริน กรดแกลลิก แกลโลแทนนิน (gallotannin) เคอร์ซิติน ไอโซเคอร์ซิติน กรดอิลาจิก (ellagic acid) และเบต้า-กลูโค แกลลิน (β-glucogallin) โดยมีปริมาณกรดแกลลิก 6.9 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และแมงจิเฟอริน 4.4 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ในปี 2004 Singh และคณะ ทำการวิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกในเนื้อมะม่วงพันธุ์เศรษฐกิจของประเทศอินเดีย 6 สายพันธุ์ (Deshi, Langra, Chausa, Mallika, Dashahari และ Amrapali) ทั้งดิบและสุกพบกรดฟีนอลิก 7 ชนิด ได้แก่ กรดแทนนิก กรดแกลลิก กรดวานิลลิก กรดคาเฟอิก กรดเฟอรูลิก กรดคลอโรเจนิก และกรดซินนามิก โดยพบกรดแทนนิกมากที่สุดปริมาณ 3,550 ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด ในมะม่วงพันธุ์ Dashahari รองลงมาคือกรดคาเฟอิก และกรด-แกลลิกโดยมีปริมาณ 300 และ 230 ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด ในมะม่วงพันธุ์ Langra และ Chausa ตามลำดับ

Beradini และคณะ (2005) พบว่ามีสารประกอบฟีนอลิกหลายชนิด โดยพบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม 4066 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง สารประกอบฟีนอลิก 2 ชนิดหลักที่พบมาก คือ แมงจิเฟอริน (mangiferin) และ เคอร์ซิตินกาแลคโตไซด์ (quercetin 3-*O*-glucoside) นอกจากนี้ยังพบแอนโธไซยานิน (anthocyanin) ประมาณ 203-565 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และระดับความสุก และ Beradini และคณะ (2005) ยังศึกษาความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกมะม่วงพบว่า สารสกัดจากเปลือกมะม่วงมีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงกว่า สารแมงจิเฟอริน และสารเคอร์ซิตินกลูโคไซด์มาตรฐาน แสดงให้เห็นว่าความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันต้องใช้สารประกอบทั้งหมดร่วมกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน

ในปี 2007 Ahmed และคณะ ศึกษาชนิดและปริมาณสารโพลีฟีนอลในเมล็ดมะม่วงที่เหลือทิ้งจากโรงงานทำน้ำมะม่วงในประเทศอียิปต์ พบสารโพลีฟีนอล 112 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง โดยมีแทนนิน (tannin) 20.7 เปอร์เซ็นต์ วานิลลิน (vanillin) 20.2 เปอร์เซ็นต์ คูมาริน (coumarin) 12.6 เปอร์เซ็นต์ กรดซินนามิก (cinnamic acid) 11.2 เปอร์เซ็นต์ กรดเฟอรูลิก (ferulic acid) 10.4 เปอร์เซ็นต์ กรดคาเฟอิก (caffeic acid) 7.7 เปอร์เซ็นต์ กรดแกลลิก (gallic acid) 6 เปอร์เซ็นต์ และแมงจิเฟอริน 4.2 เปอร์เซ็นต์

Ajila และคณะ (2007) ศึกษาปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด ปริมาณแคโรทีนอยด์ ปริมาณแอนโธไซยานิน ในมะม่วง 2 สายพันธุ์ คือพันธุ์ Raspuri และ Badami พบว่ามะม่วงดิบเปลือกเขียวทั้ง 2 สายพันธุ์ มีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดในส่วนของเปลือกสูงกว่ามะม่วงสุก ในขณะที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณแคโรทีนอยด์ และปริมาณแอนโธไซยานินในเปลือกมะม่วงสุกมีค่ามากกว่าในเปลือกมะม่วงดิบ

การทดลองของ Maisuthisakul และ Pasuk (2007) ได้รายงานปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดในเมล็ดมะม่วงสุกของไทย 11 สายพันธุ์ (แก้ว น้ำดอกไม้ เขียวเสวย พิมเสน โชคอนันต์ แรด ฟ้าลั่น หัวช้าง มันเดือนเก้า อกร่อง และมหาชนก) พบว่าเมล็ดมะม่วงแก้วสุกมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงที่สุด รองลงมาคือเมล็ดมะม่วงโชคอนันต์สุก โดยมีปริมาณคือ 116.98 และ 115.38 มิลลิกรัมแกลลิก/100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ และเมล็ดมะม่วงมันเดือนเก้าสุก มีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 65.43 มิลลิกรัมแกลลิก/100 กรัมน้ำหนักสด

Ribeiro และคณะ (2007) ศึกษาปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดในเนื้อมะม่วงสุก 4 สายพันธุ์ (Haden, Tommy Atkins, Palmer และ Ubá) พบว่าปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดในเนื้อมะม่วงสุกทั้ง 4 สายพันธุ์มีความแตกต่างกันอยู่ในช่วง 48.40 (พันธุ์ Haden) ถึง 208.70 มิลลิกรัมแกลลิก/100 กรัมน้ำหนักสด (พันธุ์ Ubá) ต่อมาในปี 2008 Ribeiro และคณะ ได้ศึกษาปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดในเปลือกและเมล็ดของมะม่วงสุกทั้ง 4 สายพันธุ์ พบว่าในเปลือกและเมล็ดมะม่วงสุกพันธุ์ Ubá มีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงสุด โดยมีปริมาณ 57,240 และ 82,540 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง หรือมีมากกว่าเนื้อถึง 4.6 และ 7.3 เท่า ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ Soong และ Barlow (2004) ที่ศึกษาปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดในส่วนเนื้อและเมล็ดของมะม่วง พบว่าในส่วนของเมล็ดนั้นมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงกว่าในส่วนของเนื้อมะม่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการทดลอง

3.1 วัสดุอุปกรณ์

3.1.1 วัตถุดิบ

มะม่วง 6 สายพันธุ์ ได้แก่ เขียวเสวย น้ำดอกไม้ แรด โชคอนันต์ ฟ้าลั่น และ แก้วดำ ซื้อจากตลาดไท ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง และตลาดสี่มุมเมือง ตำบลคูคต อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง	SUNTEX, SP-701	เยอรมัน
- เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง	Sartorius, BT 3100s	เยอรมัน
- เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง	SHIMADZU UV-1601	ญี่ปุ่น
- ชุดกรอง Suction Flask และ Vacuum pump	BUCHI B-169	สวิสเซอร์แลนด์
- เครื่องวัดสี	Minolta, CR 300	ญี่ปุ่น
- เครื่องผสม (Vortex Mixer)	Wiggen Hauser	มาเลเซีย
- เครื่องบดละเอียด	Moulinex	แมกซิโก
- ตู้อบลมร้อน	Memmert UM 400	เยอรมัน
- ออโต้ปิเปต	Gilson	ฝรั่งเศส
- เครื่อง HPLC	Agilent 1100	อเมริกา
- อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath)	Memmert	เยอรมัน
- เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge)	Allegra 64 R	อเมริกา

3.1.3 สารเคมี

- เอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์	Lab-Scan	ไอร์แลนด์
- Folin-Ciocalteau reagent	BDH	อังกฤษ
- โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)	Merck	เยอรมัน
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH)	Sigma	เยอรมัน
- โพแทสเซียม พาทาเลต (Potassium phthalate, $KHC_8H_40_4$)	Sigma	เยอรมัน
- เมธานอล	Lab-Scan	ไอร์แลนด์
- กรดซิตริก	Lab-Scan	ไอร์แลนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กรดแกลลิก (Gallic acid)	Sigma	เยอรมัน
- กรดคาเฟอิก (Caffeic acid)	Sigma	เยอรมัน
- กรดพาราคูมาริก (*p*-coumaric acid)	Sigma	เยอรมัน
- กรดไซนาปิก (sinapic acid)	Sigma	เยอรมัน
- กรดเฟอรูลิก (ferulic acid)	Sigma	เยอรมัน
- อะซิโตไนไตร (Acetonitrile)	Lab-Scan	ไอร์แลนด์
- น้ำ HPLC grade	Lab-Scan	ไอร์แลนด์

3.2 วิธีดำเนินการทดลอง

3.2.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของมะม่วง

3.2.1.1 การเตรียมตัวอย่าง

มะม่วง 6 สายพันธุ์ ได้แก่ เขียวเสวย น้ำดอกไม้ แรด โชคอนันต์ ฟ้าลั่น และ แก้วดำ ซื้อจากตลาดไท และตลาดสี่มุมเมือง จังหวัดปทุมธานี โดยเลือกผลแก่จัดที่มีเปลือกสีเขียวทั้งผลและเนื้อในยังไม่สุก นำมาแบ่งเป็น 2 กลุ่ม โดยใช้เกณฑ์พิจารณาตามการจำแนกระยะการสุกของมะม่วงของกรมส่งเสริมอุตสาหกรรมเกษตร คือ

กลุ่มที่ 1 ใช้ระยะดิบ นำมาล้างให้สะอาด ถ่ายรูป วัดสีเปลือกและเนื้อ จากนั้นแยกส่วน เปลือก เนื้อ และเมล็ดไปแช่แข็งที่ -70 องศาเซลเซียสก่อนจะนำมาทดลองต่อไป

กลุ่มที่ 2 ใช้ระยะสุกเต็มที่ โดยนำไปบ่มให้สุก นิ่ม เปลือกเหลือง โดยวางไว้ในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 28-30 องศาเซลเซียส ใช้กระดาษหนังสือพิมพ์ 2 ชั้น คลุมไว้ จากนั้นเตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกับกลุ่มที่ 1

3.2.1.2 การวัดสีด้วยเครื่องวัดสี

วัดสีเปลือกและเนื้อของมะม่วงทุกสายพันธุ์ ทั้งดิบและสุก โดยวัดสีตัวอย่างเปลือกและเนื้อมะม่วง 6 ผล แบ่งออกเป็นตัวอย่างเปลือกและเนื้อมะม่วงดิบ 3 ผล และตัวอย่างเปลือกและเนื้อมะม่วงสุก 3 ผล ผลละ 10 ตำแหน่ง โดยบันทึกค่า CIE L*, a* และ b*

3.2.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของตัวอย่างมะม่วง

ตัวอย่างเปลือกและเมล็ดในของมะม่วงทุกสายพันธุ์ ทั้งดิบและสุก จะวิเคราะห์เฉพาะปริมาณความชื้นเท่านั้น สำหรับตัวอย่างเนื้อมะม่วงทุกสายพันธุ์ ทั้งดิบและสุก จะวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดด่าง ปริมาณกรดทั้งหมด (total titratable acidity) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid) และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วิเคราะห์ค่าความเป็นกรดด่างด้วย pH meter รายละเอียดวิธีวิเคราะห์ดูได้จากภาคผนวก ก
- วิเคราะห์ความเป็นกรดทั้งหมด (AOAC, 2000) รายละเอียดวิธีวิเคราะห์ดูได้จากภาคผนวก ข
- วิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในตัวอย่างน้ำที่บีบคั้นได้จากเนื้อมะม่วงโดยใช้ hand refractrometer
- วิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซ์โดย DNS method ใช้วิธีซึ่งรายงานโดย Neilson (1998) รายละเอียดวิธีวิเคราะห์ดูได้จากภาคผนวก ค
- วิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990) รายละเอียดวิธีวิเคราะห์ดูได้จากภาคผนวก ง

3.2.3 การศึกษาปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดของเปลือก เนื้อและเมล็ดในมะม่วงดิบและสุก

3.2.3.1 การเตรียมสารสกัดจากตัวอย่างมะม่วง

การเตรียมสารสกัดจากตัวอย่างมะม่วง ทำโดยการนำเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของมะม่วง ปริมาณ 1, 20 และ 0.5 กรัม ตามลำดับ มาผสมกับเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ 100 มิลลิลิตร บดให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้ที่ความเร็วสูงสุด เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โดยใช้อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้กระจกนาฬิกาปิด คนทุก 10 นาที นำสารสกัดที่ได้มากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.4 ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตรด้วยเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดต่อไป

3.2.3.2 วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด (total polyphenol contents)

การวิเคราะห์ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดในส่วน เปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วง ใช้วิธีที่รายงานโดย Singleton และ Lamuela-Raventos (1999) โดยสารโพลีฟีนอลจะทำปฏิกิริยากับ Folin-Ciocalteu ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินที่มีการดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร รายละเอียดการวิเคราะห์ดูได้จากภาคผนวก จ

3.2.4 การศึกษาปริมาณกรดฟีนอลิกในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงดิบและสุก

3.2.4.1 การเตรียมสารสกัดจากตัวอย่างมะม่วง

การเตรียมสารสกัดจากตัวอย่างมะม่วง เพื่อใช้วิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ โดยวิธี HPLC จะใช้วิธีที่ดัดแปลงจาก Singh และคณะ (2004) โดยชั่งเปลือก เนื้อและเมล็ดในมะม่วง ตัวอย่างละ 2 กรัม แยกแต่ละส่วนบดผสมกับเมธานอลปริมาตร 10 มิลลิลิตร จนละเอียดด้วยโกร่ง (motar) เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที นำสารสกัดที่ได้มากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 ส่วนใสที่ได้นำมาระเหยเมธานอลด้วยก๊าซไนโตรเจน จนเหลือปริมาตร 1 มิลลิลิตร กรองสารสกัดผ่านเมมเบรนที่มีขนาด 0.22 ไมครอน เจือจางตัวอย่างให้เหมาะสมก่อนนำมาวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ ในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงดิบและสุก

วิเคราะห์ปริมาณกรดแกลลิก (gallic acid) กรดคาเฟอิก (caffeic acid) กรดพาราคูมาริก (*p*-coumaric acid) กรดไซนาปิก (sinapic acid) และกรดเฟอรูลิก (ferulic acid) ในส่วน เปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วง ด้วยเครื่อง HPLC (Agilent 1100) โดยใช้เครื่องตรวจวัดแบบยูวี (UV detector) ที่ความยาวคลื่น 300 นาโนเมตร เตรียมกราฟมาตรฐานของกรดฟีนอลิกแต่ละชนิดสำหรับใช้ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์ดูได้จากภาคผนวก ฉ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของมะม่วง

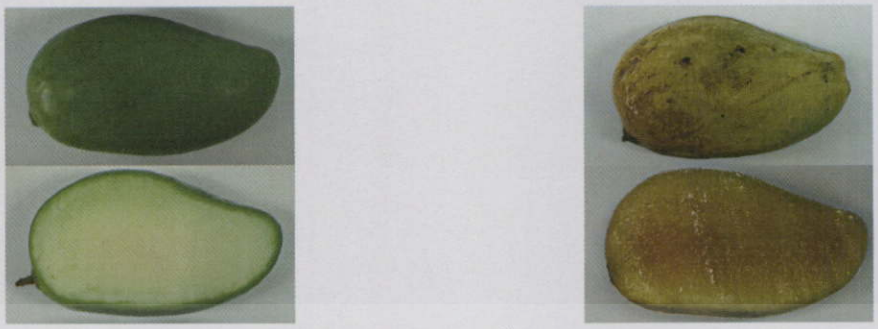
ลักษณะปรากฏของตัวอย่างมะม่วงดิบและสุก 6 สายพันธุ์ ได้แก่ เขียวเสวย น้ำดอกไม้ แรด โชคอนันต์ ฟ้าลั่น และแก้วดำ แสดงดังรูปที่ 4.1 – 4.6 (ภาพทางซ้ายมือเป็นมะม่วงดิบ และภาพทางขวามือเป็นมะม่วงสุก)

รูปที่ 4.1 ลักษณะปรากฏของเปลือกและเนื้อมะม่วงเขียวเสวยดิบและสุก

รูปที่ 4.2 ลักษณะปรากฏของเปลือกและเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ดิบและสุก

รูปที่ 4.3 ลักษณะปรากฏของเปลือกและเนื้อมะม่วงแรดดิบและสุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ลักษณะปรากฏของเปลือกและเนื้อ มะม่วงโชคอนันต์ดิบและสุก

รูปที่ 4.5 ลักษณะปรากฏของเปลือกและเนื้อมะม่วงฟ้าลั่นดิบและสุก

รูปที่ 4.6 ลักษณะปรากฏของเปลือกและเนื้อมะม่วงแก้วดำดิบและสุก

สำหรับการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกและเนื้อมะม่วงแสดงในตารางที่ 4.1 โดยรายงานผลการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกและเนื้อมะม่วงด้วยค่า L*, a* และ b* จะเห็นได้ว่าเมื่อมะม่วงสุกค่าความสว่าง (ค่า L*) ของเปลือกมีค่าเพิ่มขึ้น ขณะที่ค่าความสว่างของส่วนเนื้อมีค่าลดลง สำหรับค่า a* เมื่อมีค่าเป็นลบคือสีเขียว หากเป็นบวกคือสีแดง และค่า b* เมื่อมีค่าเป็นลบคือสีน้ำเงิน หากเป็นบวกคือสีเหลือง จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าในตัวอย่างมะม่วงนั้นค่า a* จะมีค่าติดลบน้อยลงจนถึงมีค่าเป็นบวกเมื่อมะม่วงสุก ส่วน ค่า b* จะเพิ่มขึ้นทั้งในส่วนเปลือกและเนื้อของมะม่วง แสดงว่าเมื่อมะม่วงสุกทั้งเปลือกและเนื้อมีสีเขียวลดลงและมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะปรากฏที่สังเกตได้ด้วยตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์สีของเปลือก และเนื้อ ของตัวอย่างมะม่วงดิบและสุก

สายพันธุ์	ตัวอย่างมะม่วง	ค่า L*	ค่า a*	ค่า b*
เขียวเสวย	เปลือกดิบ	46.18 ± 1.73	-13.47 ± 0.52	16.95 ± 1.61
	เปลือกสุก	62.79 ± 1.74	-5.95 ± 2.19	47.51 ± 3.56
	เนื้อดิบ	83.54 ± 0.68	-5.23 ± 0.53	32.70 ± 3.06
	เนื้อสุก	73.93 ± 2.74	-1.46 ± 0.89	59.57 ± 1.36
น้ำดอกไม้	เปลือกดิบ	55.71 ± 2.56	-17.53 ± 1.13	29.61 ± 3.12
	เปลือกสุก	67.24 ± 2.49	4.01 ± 1.65	37.91 ± 3.00
	เนื้อดิบ	84.93 ± 1.68	-5.36 ± 1.18	13.51 ± 2.07
	เนื้อสุก	69.40 ± 1.71	9.49 ± 1.06	53.32 ± 1.58
แรด	เปลือกดิบ	59.17 ± 1.04	-18.03 ± 0.63	31.57 ± 1.56
	เปลือกสุก	71.02 ± 1.68	-1.38 ± 2.63	43.91 ± 3.42
	เนื้อดิบ	86.57 ± 3.59	-5.71 ± 1.28	18.31 ± 1.65
	เนื้อสุก	79.56 ± 1.26	-3.04 ± 0.37	40.55 ± 1.76
โชคอนันต์	เปลือกดิบ	54.46 ± 3.65	-17.35 ± 0.91	27.61 ± 1.99
	เปลือกสุก	71.60 ± 1.48	-3.11 ± 1.30	46.80 ± 3.66
	เนื้อดิบ	84.89 ± 0.95	-6.69 ± 0.99	22.55 ± 0.95
	เนื้อสุก	73.15 ± 0.83	6.05 ± 1.86	56.52 ± 1.35
ฟ้าลั่น	เปลือกดิบ	46.59 ± 1.13	-16.56 ± 0.24	22.90 ± 0.69
	เปลือกสุก	60.67 ± 2.53	-8.40 ± 3.16	37.51 ± 2.05
	เนื้อดิบ	84.44 ± 1.15	-6.68 ± 0.23	23.50 ± 0.64
	เนื้อสุก	72.59 ± 0.54	-0.75 ± 0.03	49.44 ± 0.53
แก้วดำ	เปลือกดิบ	49.56 ± 2.15	-18.36 ± 0.81	26.99 ± 2.89
	เปลือกสุก	71.28 ± 1.89	5.48 ± 2.29	54.31 ± 3.91
	เนื้อดิบ	84.78 ± 0.78	-6.54 ± 1.35	16.87 ± 2.25
	เนื้อสุก	66.49 ± 4.19	16.93 ± 2.90	64.87 ± 2.89

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของมะม่วงดิบและสุก 6 สายพันธุ์

จากการศึกษาสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของมะม่วงดิบและสุก 6 สายพันธุ์ โดยวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณกรดทั้งหมด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณความชื้น ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2

จากตารางที่ 4.2 พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในเนื้อมะม่วงดิบอยู่ในช่วง 2.68 - 4.30 ส่วนในเนื้อมะม่วงสุกมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 4.48 - 5.24 ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณกรดทั้งหมดที่มีค่าลดลงเฉลี่ยจาก 5.08 เปอร์เซ็นต์ เป็นเฉลี่ย 0.78 เปอร์เซ็นต์ กล่าวคือเมื่อมะม่วงสุกจะมีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณกรดทั้งหมดลดลง เมื่อพิจารณาแต่ละสายพันธุ์ พบว่าเนื้อมะม่วงฟ้าลั่นดิบมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงที่สุด รองมาคือพันธุ์เขียวเสวย แรด น้ำดอกไม้ โชคอนันต์ และเนื้อมะม่วงแก้วดำดิบมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำที่สุด สำหรับปริมาณกรดทั้งหมดนั้นจะสอดคล้องกับค่าความเป็นกรด-ด่าง กล่าวคือพันธุ์ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูง ก็จะมีปริมาณกรดทั้งหมดต่ำ จะเห็นว่าพันธุ์ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงคือมีปริมาณกรดทั้งหมดต่ำเมื่อยังดิบนั้น เป็นมะม่วงที่มีรสหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อยหรือเรียกกันว่ามะม่วงมัน ได้แก่ พันธุ์เขียวเสวย ฟ้าลั่น และแรด ในขณะเดียวกัน ปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในรูปของกลูโคส มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมะม่วงสุก โดยปริมาณของแข็งที่ละลายได้เฉลี่ย เพิ่มขึ้นจาก 8.88 เป็น 17.55 องศาบริกซ์ และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เฉลี่ย จะเพิ่มขึ้นจาก 12.69 เป็น 16.02 มิลลิกรัม/มะม่วง 1 กรัม โดยปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในเนื้อมะม่วงสุก เนื่องจากในกระบวนการสุกของผลไม้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ขององค์ประกอบทางเคมี เช่นเมื่อมะม่วงสุกแป้งจะสลายตัวเป็นน้ำตาลด้วยกระบวนการไฮโดรไลซิส ทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงขึ้น มีการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบเพคติน ซึ่งได้แก่ โปรโตเพคติน (protopectin) ซึ่งไม่ละลายน้ำ เปลี่ยนเป็นเพคตินที่ละลายน้ำได้ เป็นผลให้เนื้อมะม่วงมีลักษณะเนื้อสัมผัสนิ่มขึ้น (Mohd และคณะ, 2004) ปริมาณความชื้นในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของมะม่วงทุกสายพันธุ์ มีปริมาณอยู่ในช่วง 39.25 ± 0.33 ถึง 86.62 ± 0.41 เปอร์เซ็นต์ ในเนื้อมะม่วงมีปริมาณความชื้นสูงที่สุด รองลงมาคือเปลือก และเมล็ดในของมะม่วง โดยมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 80.67, 72.07 และ 58.91 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางเคมีของตัวอย่างมะม่วง

สมบัติทางเคมีของตัวอย่างมะม่วง	ระดับความสุก	สายพันธุ์					
		เขียวเสวย	น้ำดอกไม้	แรด	โชคอนันต์	ฟ้าลั่น	แก้วดำ
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	เนื้อมะม่วงดิบ	4.12 ± 0.02	3.33 ± 0.00	3.41 ± 0.00	2.97 ± 0.00	4.30 ± 0.00	2.68 ± 0.00
	เนื้อมะม่วงสุก	5.05 ± 0.00	5.24 ± 0.01	4.89 ± 0.00	4.48 ± 0.00	5.20 ± 0.10	4.57 ± 0.00
ปริมาณกรดทั้งหมด (%โดยน้ำหนัก เทียบกับกรดซิตริก)	เนื้อมะม่วงดิบ	2.13 ± 0.00	6.40 ± 0.21	4.69 ± 0.00	5.55 ± 0.00	3.04 ± 0.05	8.68 ± 0.25
	เนื้อมะม่วงสุก	0.85 ± 0.00	0.64 ± 0.00	0.85 ± 0.00	0.78 ± 0.02	0.77 ± 0.00	0.78 ± 0.02
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	เนื้อมะม่วงดิบ	13.60 ± 0.00	8.00 ± 0.00	7.40 ± 0.00	7.80 ± 0.00	9.50 ± 0.40	7.00 ± 0.00
	เนื้อมะม่วงสุก	21.50 ± 0.00	20.20 ± 0.00	14.00 ± 0.00	12.00 ± 0.00	19.60 ± 0.60	18.00 ± 0.00
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (มิลลิกรัมกลูโคส/กรัมตัวอย่าง)	เนื้อมะม่วงดิบ	12.69 ± 0.43	14.13 ± 0.09	11.78 ± 0.40	15.86 ± 0.47	10.91 ± 0.03	10.76 ± 0.12
	เนื้อมะม่วงสุก	14.82 ± 0.22	17.62 ± 0.40	12.44 ± 0.37	19.05 ± 0.28	17.41 ± 0.33	14.78 ± 0.87
ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก)	เปลือกมะม่วงดิบ	67.62 ± 0.02	70.93 ± 0.39	79.33 ± 0.74	76.66 ± 0.22	70.75 ± 0.38	71.57 ± 0.17
	เปลือกมะม่วงสุก	69.80 ± 0.45	68.62 ± 2.23	78.16 ± 0.37	71.24 ± 0.68	68.36 ± 1.69	71.83 ± 0.60
	เนื้อมะม่วงดิบ	75.99 ± 0.34	80.69 ± 0.46	84.82 ± 0.34	86.62 ± 0.41	77.10 ± 6.01	84.62 ± 0.43
	เนื้อมะม่วงสุก	75.98 ± 0.44	78.46 ± 0.34	84.53 ± 0.10	83.67 ± 0.64	75.23 ± 3.55	80.31 ± 0.44
	เมล็ดในมะม่วงดิบ	56.24 ± 0.48	60.84 ± 0.49	68.42 ± 0.03	71.81 ± 0.96	65.32 ± 3.82	49.65 ± 0.33
	เมล็ดในมะม่วงสุก	59.36 ± 0.64	49.21 ± 4.09	54.93 ± 0.32	55.83 ± 0.44	76.03 ± 7.18	39.25 ± 0.33

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3 การวิเคราะห์ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างเปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงดิบและสุก

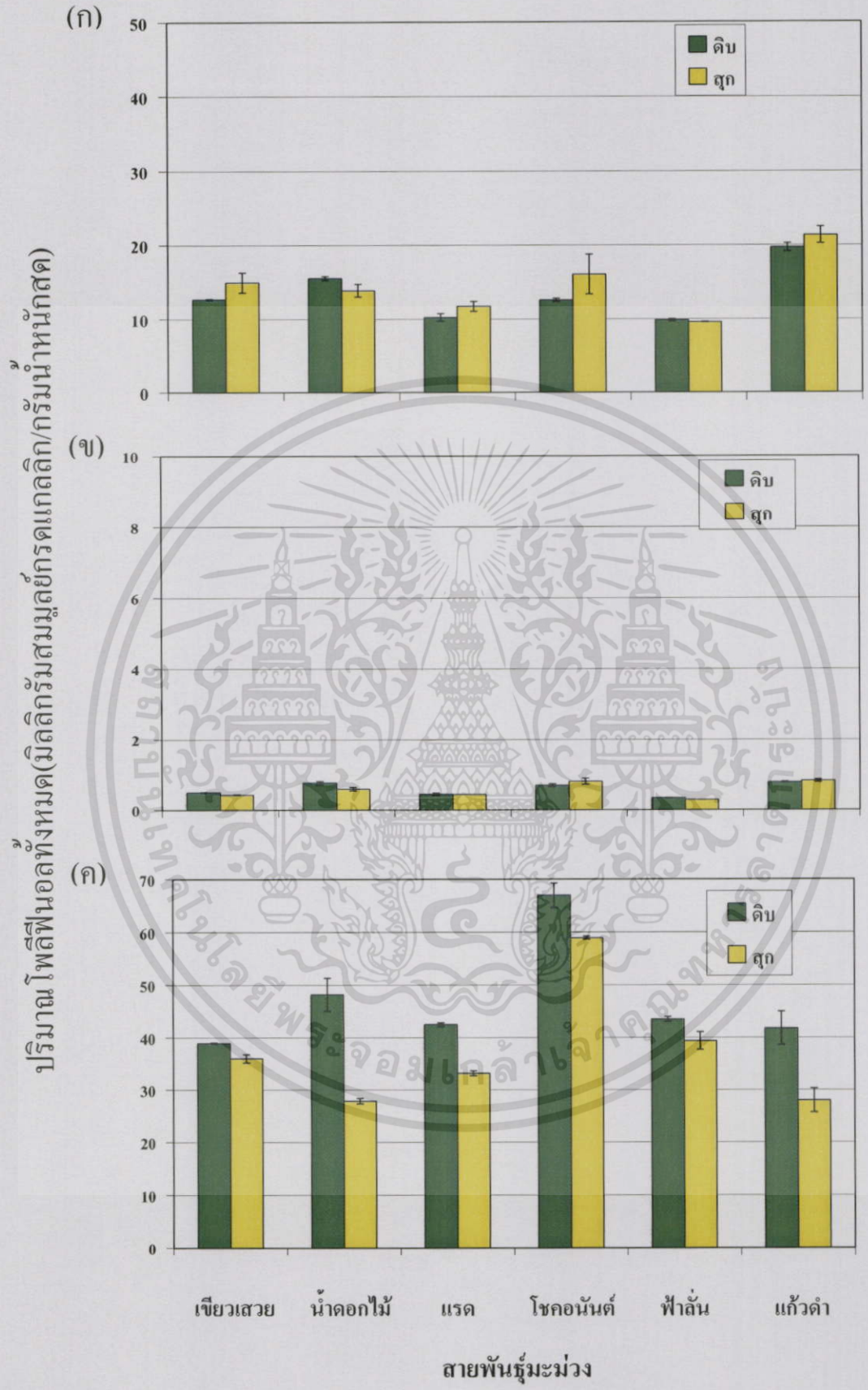
จากการวิเคราะห์ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของมะม่วงดิบและสุก 6 สายพันธุ์ คำนวณหาปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดโดยใช้กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก และรายงานในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักสด ได้ผลดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.7

ตารางที่ 4.3 ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของ มะม่วงดิบและสุก 6 สายพันธุ์

สายพันธุ์มะม่วง	ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด (มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักสด)		
	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด
เขียวเสวย (ดิบ)	12.64 ± 0.08	0.50 ± 0.01	38.88 ± 0.13
เขียวเสวย (สุก)	14.93 ± 1.35	0.43 ± 0.01	35.96 ± 0.81
น้ำดอกไม้ (ดิบ)	15.51 ± 0.27	0.77 ± 0.05	48.15 ± 3.13
น้ำดอกไม้ (สุก)	13.85 ± 0.87	0.60 ± 0.05	27.82 ± 0.51
แรด (ดิบ)	10.22 ± 0.51	0.45 ± 0.04	42.44 ± 0.37
แรด (สุก)	11.70 ± 0.66	0.44 ± 0.00	33.14 ± 0.47
โชคอนันต์ (ดิบ)	12.55 ± 0.22	0.70 ± 0.04	66.95 ± 2.33
โชคอนันต์ (สุก)	16.05 ± 2.69	0.81 ± 0.09	58.89 ± 0.33
ฟ้าลั่น (ดิบ)	9.86 ± 0.16	0.34 ± 0.01	43.46 ± 0.48
ฟ้าลั่น (สุก)	9.59 ± 0.05	0.29 ± 0.01	39.32 ± 1.69
แก้วดำ (ดิบ)	19.66 ± 0.57	0.79 ± 0.02	41.76 ± 3.18
แก้วดำ (สุก)	21.35 ± 1.14	0.83 ± 0.04	27.95 ± 2.33

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดของมะม่วงดิบและสุก 6 สายพันธุ์: (ก) เปลือก (ข) เนื้อ และ (ค) เมล็ดใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าเปลือก เนื้อ และเมล็ดมะม่วงทั้ง 6 สายพันธุ์ มีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดแตกต่างกัน โดยเมล็ดมะม่วงดิบและสุกทุกสายพันธุ์มีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงสุด รองลงมาคือเปลือกและเนื้อโดยมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดอยู่ในช่วง 27.82 - 66.95, 9.59 - 21.35 และ 0.29 - 0.83 มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการรายงานของ Soong และ Barlow (2004) และ Ribeiro และคณะ (2008) ที่รายงานว่าเมล็ดและเปลือกของมะม่วงมีปริมาณของสารประกอบ ฟีนอลิกสูงกว่าในส่วนของเนื้อ

จากข้อมูลการทดลองที่ได้ยังพบว่าเปลือกและเนื้อมะม่วงแก้วสุกมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงสุด ขณะที่มะม่วงฟ้าลั่นสุกมีปริมาณโพลีฟีนอลต่ำสุดทั้งในเปลือกและเนื้อ การทดลองของ Maisuthisakul และ Pasuk (2007) ได้รายงานปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดในเมล็ดมะม่วงสุกของไทย 11 สายพันธุ์ คือ แก้ว น้ำดอกไม้ เขียวเสวย พิมเสน โชคอนันต์ แรด ฟ้าลั่น หัวช้าง มันเดือนเก้า อกร่อง และมหาชนก โดยพบว่าเมล็ดมะม่วงแก้วสุกมีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่าเมล็ดมะม่วงโชคอนันต์สุก และเมล็ดมะม่วงน้ำดอกไม้สุกก็มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่าเมล็ดมะม่วงเขียวเสวยสุก โดยมีปริมาณคือ 116.98, 115.38, 100.83 และ 93.63 มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิก/100 กรัมน้ำหนักสด หรือเท่ากับ 1.17, 1.15, 1.01 และ 0.94 มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ข้อมูลดังกล่าวมีความแตกต่างจากผลการทดลองที่ได้ในตารางที่ 4.3 ที่ระบุว่าปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดในเมล็ดมะม่วงโชคอนันต์สุกนั้นมีปริมาณมากที่สุด และเมล็ดมะม่วงน้ำดอกไม้สุกมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดต่ำสุด ความแตกต่างที่เกิดขึ้นอาจมีผลมาจากวิธีวิเคราะห์ โดยเฉพาะขั้นตอนการสกัดแตกต่างกัน ซึ่งในการทดลองของ Maisuthisakul และ Pasuk (2007) ใช้การสกัดแบบแช่เย็นคือ ใช้การแช่ย่าในที่มืดเป็นเวลา 4 ชั่วโมงครึ่ง แต่การทดลองนี้ใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงในการสกัด อีกทั้งปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดที่ต่างกันอาจเกิดจากแหล่งของตัวอย่างมะม่วง สภาพแวดล้อมในการเพาะปลูก สารอาหารในดิน รวมถึงระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน เป็นต้น

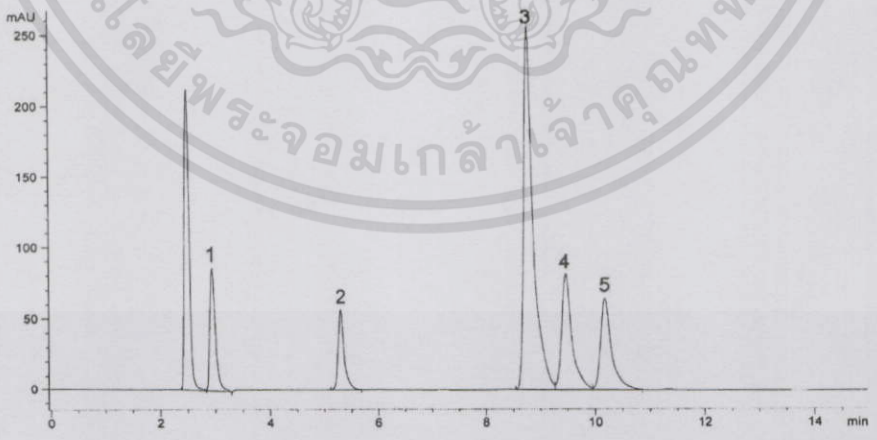
จากรูปที่ 4.7 เปรียบเทียบของปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดโดยน้ำหนักสด ของมะม่วงดิบและมะม่วงสุก 6 สายพันธุ์ จะเห็นได้ว่ามะม่วงต่างสายพันธุ์กัน มีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดแตกต่างกัน ในรูปที่ 4.7(ก) ในส่วนของเปลือกมะม่วงดิบ พบว่าเปลือกมะม่วงแก้วดำมีปริมาณโพลีฟีนอลสูงสุด รองลงมา คือ เปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้ เขียวเสวย โชคอนันต์ แรด และฟ้าลั่น ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับนภชลัช (2549) ที่วิเคราะห์ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด ในเปลือกมะม่วงดิบ 4 สายพันธุ์ ได้รายงานว่าเปลือกมะม่วงแก้วมีปริมาณโพลีฟีนอลสูงสุด รองลงมา คือ เปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้ เขียวเสวย และฟ้าลั่น ตามลำดับ ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดในเปลือกมะม่วงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมะม่วงสุก ยกเว้นในบางสายพันธุ์ คือ น้ำดอกไม้ และฟ้าลั่น ที่เมื่อสุกจะมีปริมาณลดลงเล็กน้อย ซึ่งคล้ายคลึงกับการทดลองของ Ajila และคณะ (2007) ที่พบว่าเปลือกมะม่วงดิบพันธุ์ Raspuri และ Badami จะมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลสูงกว่าในเปลือกมะม่วงสุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Singh และคณะ (2004) รายงานว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในเนื้อมะม่วง 6 สายพันธุ์ (Deshi, Langra, Chausa, Mallika, Dashahari and Amrapali) จะเพิ่มขึ้นทุกสายพันธุ์เมื่อมะม่วงสุก เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้พบว่าสอดคล้องกับเนื้อมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ และแก้วเท่านั้น แต่อีก 4 สายพันธุ์ปริมาณโพลีฟีนอลในเนื้อมะม่วงมีแนวโน้มลดลงเมื่อสุก ดังรูปที่ 4.7(ข) ในขณะที่ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดในเมล็ดมะม่วงทุกสายพันธุ์เมื่อสุก มีแนวโน้มลดลงเฉลี่ย 18.9% และพันธุ์น้ำดอกไม้มีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดลดลงมากที่สุดถึง 41.7% (รูปที่ 4.7(ค)) โดยทั่วไปสายพันธุ์ และส่วนของเนื้อเยื่อที่ต่างกันของผักและผลไม้ชนิดเดียวกันอาจเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความแตกต่างของปริมาณโพลีฟีนอล (Bravo, 1998) อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นชัดเจนว่ามะม่วงดิบและสุกก็มีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดแตกต่างกันด้วย

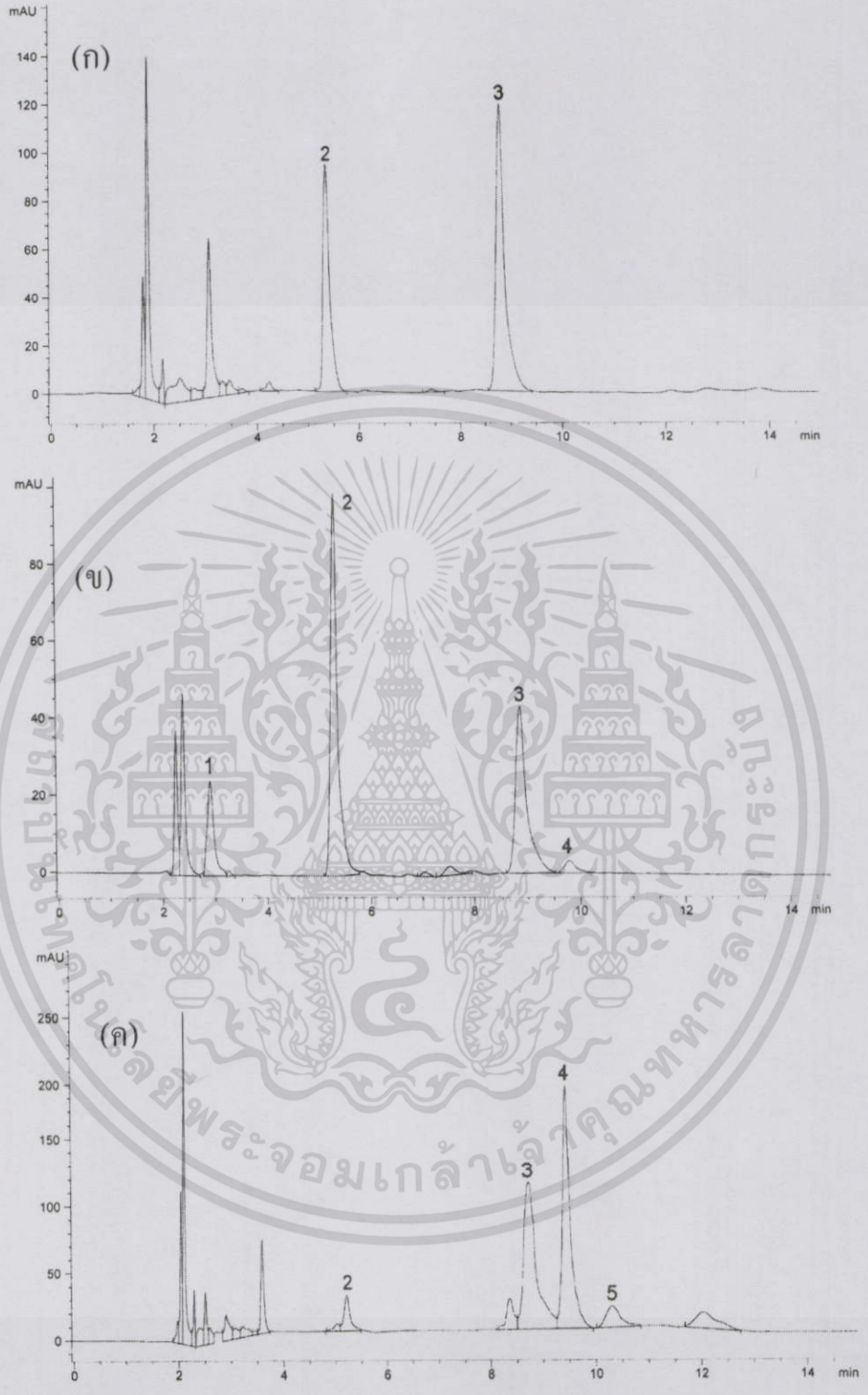
4.4 การวิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ ในตัวอย่างเปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงดิบและสุก

จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ ด้วยวิธี HPLC โดยมีสารมาตรฐานเปรียบเทียบ คือ กรดแกลลิก (gallic acid) กรดคาเฟอิก (caffeic acid) กรดพาราคูมาริก (p-coumaric acid) กรดไซนาปิก (sinapic acid) และกรดเฟอรูลิก (ferulic acid) พบว่าเวลาชะ (retention time; R_t) ของสารมาตรฐาน เท่ากับ 2.941, 5.297, 8.777, 9.469 และ 10.179 นาที ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.8 สำหรับรูปที่ 4.9 แสดงตัวอย่างของโครมาโตแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ ในเปลือก เนื้อและเมล็ดในมะม่วงโชคอนันต์ดิบ ด้วยวิธี HPLC ตัวอย่างเปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงดิบและสุก 6 สาย-พันธุ์ มีองค์ประกอบของกรดฟีนอลิกทั้งชนิดและปริมาณแตกต่างกันไป ดังแสดงในตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.8 โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานกรดฟีนอลิกซึ่งได้จากการตรวจวิเคราะห์โดยวิธี HPLC เมื่อใช้ตัวตรวจวัดยูวี (UV detector) ที่ความยาวคลื่น 300 นาโนเมตร: (1) กรดแกลลิก (2) กรดคาเฟอิก (3) กรดพาราคูมาริก (4) กรดไซนาปิก และ (5) กรดเฟอรูลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ตัวอย่างโครมาโตแกรมของสารสกัดจากมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ดิบซึ่งได้จากการตรวจวิเคราะห์โดยวิธี HPLC เมื่อใช้ตัวตรวจวัดยูวี (UV detector) ที่ความยาวคลื่น 300 นาโนเมตร: (ก) เปลือก (ข) เนื้อ และ (ค) เมล็ดใน และ (1) กรดแกลลิก (2) กรดคาเฟอิก (3) กรดพาราคูมาริก (4) กรดไซนาปิก และ (5) กรดเฟอรูลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ชนิดและปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ ในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของ มะม่วงดิบและสุก 6 สายพันธุ์

สายพันธุ์	ตัวอย่างมะม่วง	ปริมาณกรดฟีนอลิก (มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด)					
		กรดแกลลิก	กรดคาเฟอิก	กรดพาราคูมาริก	กรดไซนาปิก	กรดเฟอรูลิก	รวม
เขียวเสวย	เปลือกดิบ	nd	9.51 ± 0.22	nd	nd	nd	9.51
	เปลือกสุก	nd	18.41 ± 1.49	nd	nd	nd	18.41
	เนื้อดิบ	5.35 ± 0.13	0.26 ± 0.07	nd	nd	nd	5.61
	เนื้อสุก	20.89 ± 0.12	16.17 ± 1.09	nd	nd	nd	37.06
	เมล็ดในดิบ	nd	105.22 ± 3.29	334.94 ± 0.36	826.36 ± 23.38	283.98 ± 0.23	1550.50
	เมล็ดในสุก	nd	101.30 ± 10.15	241.76 ± 16.98	454.65 ± 15.27	211.36 ± 0.36	1009.07
น้ำดอกไม้	เปลือกดิบ	nd	6.36 ± 1.00	1.36 ± 0.02	nd	nd	7.72
	เปลือกสุก	nd	8.89 ± 0.28	1.03 ± 0.03	nd	nd	9.92
	เนื้อดิบ	8.33 ± 0.00	nd	nd	nd	nd	8.33
	เนื้อสุก	27.03 ± 0.03	nd	nd	nd	nd	27.03
	เมล็ดในดิบ	nd	122.15 ± 10.28	nd	588.80 ± 45.62	191.16 ± 26.35	902.11
	เมล็ดในสุก	nd	326.90 ± 12.73	nd	1137.09 ± 79.80	299.66 ± 5.03	1763.65

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง

nd = ไม่สามารถตรวจวัดได้

ตารางที่ 4.4 ชนิดและปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ ในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของ มะม่วงดิบและสุก 6 สายพันธุ์ (ต่อ)

สายพันธุ์	ตัวอย่างมะม่วง	ปริมาณกรดฟีนอลิก (มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด)					
		กรดแกลลิก	กรดคาเฟอิก	กรดพาราคูมาริก	กรดไซนาปิก	กรดเฟอรูลิก	รวม
แรด	เปลือกดิบ	nd	7.65 ± 0.44	nd	nd	nd	7.65
	เปลือกสุก	nd	14.29 ± 0.84	nd	nd	nd	14.29
	เนื้อดิบ	5.77 ± 0.32	14.29 ± 0.47	nd	nd	nd	20.06
	เนื้อสุก	7.53 ± 0.51	5.65 ± 0.39	nd	nd	nd	13.18
	เมล็ดในดิบ	nd	98.12 ± 2.52	nd	786.58 ± 22.02	254.69 ± 14.17	1139.39
	เมล็ดในสุก	nd	90.77 ± 1.86	nd	658.79 ± 43.63	207.00 ± 2.84	856.56
โชคอนันต์	เปลือกดิบ	nd	16.23 ± 3.08	23.45 ± 0.93	nd	nd	39.68
	เปลือกสุก	nd	36.60 ± 0.80	42.06 ± 0.32	nd	nd	78.66
	เนื้อดิบ	11.76 ± 0.91	13.55 ± 1.39	8.09 ± 0.10	1.88 ± 0.15	nd	35.28
	เนื้อสุก	9.72 ± 0.57	17.20 ± 3.09	10.36 ± 0.23	2.85 ± 1.51	nd	40.13
	เมล็ดในดิบ	nd	7.04 ± 2.14	444.64 ± 34.83	997.75 ± 98.52	344.18 ± 7.87	1793.61
	เมล็ดในสุก	nd	8.73 ± 0.50	591.49 ±10.55	858.45 ± 55.85	185.21 ±13.37	1643.88

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง

nd = ไม่สามารถตรวจวัดได้

ตารางที่ 4.4 ชนิดและปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ ในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของ มะม่วงดิบและสุก 6 สายพันธุ์ (ต่อ)

สายพันธุ์	ตัวอย่างมะม่วง	ปริมาณกรดฟีนอลิก (มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด)					
		กรดแกลลิก	กรดคาเฟอิก	กรดพาราคูมาริก	กรดไซนาปิก	กรดเฟอรูลิก	รวม
ฟ้าลั่น	เปลือกดิบ	nd	2.84 ± 0.13	nd	12.06 ± 0.44	4.93 ± 0.26	19.83
	เปลือกสุก	nd	9.96 ± 0.83	nd	27.22 ± 1.34	12.27 ± 1.85	49.45
	เนื้อดิบ	2.29 ± 0.00	13.74 ± 1.35	nd	nd	nd	16.03
	เนื้อสุก	23.33 ± 4.28	2.54 ± 1.17	nd	nd	nd	25.87
	เมล็ดในดิบ	nd	174.37 ± 14.75	nd	1028.96 ± 31.43	407.02 ± 0.00	1610.35
	เมล็ดในสุก	nd	89.43 ± 9.89	nd	845.61 ± 35.00	267.22 ± 10.97	1202.26
แก้วดำ	เปลือกดิบ	nd	30.09 ± 0.02	nd	158.72 ± 6.74	73.30 ± 3.68	262.11
	เปลือกสุก	nd	38.20 ± 0.00	nd	97.87 ± 0.00	55.34 ± 0.00	191.41
	เนื้อดิบ	10.47 ± 0.28	1.72 ± 0.05	nd	nd	nd	12.19
	เนื้อสุก	7.17 ± 0.00	0.03 ± 0.00	nd	nd	nd	7.20
	เมล็ดในดิบ	nd	149.77 ± 2.09	nd	1375.58 ± 33.39	293.56 ± 8.27	1818.91
	เมล็ดในสุก	nd	187.44 ± 15.07	nd	490.85 ± 32.39	168.63 ± 2.53	846.92

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง

nd = ไม่สามารถตรวจวัดได้

ในจำนวนกรดฟีนอลิกที่วิเคราะห์ทั้งหมดดังตารางที่ 4.4 พบกรดคาเฟอิกในทุกส่วนของมะม่วงทุกสายพันธุ์ ยกเว้นในเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ โดยในแต่ละส่วนของมะม่วงมีปริมาณกรดคาเฟอิกแตกต่างกันตั้งแต่ 0.03 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด (เนื้อมะม่วงแก้วดำสุก) ไปจนถึง 326.90 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด (เมล็ดในของมะม่วงน้ำดอกไม้สุก) โดยพบกรดคาเฟอิกในเมล็ดในของมะม่วงทุกสายพันธุ์ในปริมาณสูงกว่าส่วนอื่นๆ ของผลมะม่วงเกือบทุกสายพันธุ์ ยกเว้นสายพันธุ์โชคอนันต์ที่พบในเปลือกและเนื้อมีปริมาณมากกว่าในเมล็ดใน และพบเฉพาะเมล็ดในสุกของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ โชคอนันต์ และแก้วดำ มีปริมาณกรดคาเฟอิกสูงกว่าเมล็ดในดิบ ในส่วนเปลือกสุกจะพบกรดคาเฟอิก มากกว่าเปลือกดิบทุกสายพันธุ์ เมื่อพิจารณาในส่วนของเนื้อมะม่วง พบว่าเนื้อมะม่วงสุกพันธุ์เขียวเสวย และโชคอนันต์เท่านั้นที่มีกรดคาเฟอิกสูงกว่าเนื้อมะม่วงดิบ ซึ่งแตกต่างกับการทดลองของ Singh และคณะ (2004) ที่พบปริมาณกรดคาเฟอิกในส่วนเปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงดิบทุกสายพันธุ์ (Langra, Chausa และ Amrapalli) มากกว่าในมะม่วงสุก

เมล็ดในของมะม่วงสุกทุกสายพันธุ์เป็นแหล่งของกรดไซนาปิก และกรดเฟอรูลิก โดยกรดไซนาปิกมีปริมาณสูงกว่ากรดฟีนอลิกชนิดอื่น โดยมีปริมาณอยู่ในช่วง 454.65 – 1,375.58 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด และกรดเฟอรูลิกมีปริมาณในช่วง 168.63 – 407.02 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด อีกทั้งยังพบว่าเมล็ดในมะม่วงดิบจะพบปริมาณกรด 2 ชนิดนี้มีแนวโน้มสูงกว่าเมล็ดในมะม่วงสุก ยกเว้นเมล็ดในดิบของมะม่วงน้ำดอกไม้ ที่มีปริมาณกรดไซนาปิก และกรดเฟอรูลิกต่ำกว่าเมล็ดในมะม่วงสุก และนอกจากนี้ยังพบกรดไซนาปิก และกรดเฟอรูลิกในเปลือกมะม่วงฟ้าลั่น และแก้วดำ และในเนื้อของมะม่วงโชคอนันต์ ยังพบกรดไซนาปิกปริมาณเล็กน้อยอีกด้วย ส่วนกรดพาราคูมาลิก พบเฉพาะเมล็ดมะม่วงเขียวเสวย เปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้ และทุกส่วนของมะม่วง โชคอนันต์ โดยส่วนเมล็ดในของมะม่วงโชคอนันต์มีปริมาณกรดพาราคูมาลิกสูงที่สุด รองลงมาคือเปลือกและเนื้อตามลำดับ

กรดแกลลิกพบเฉพาะในเนื้อมะม่วงดิบ และสุกทุกสายพันธุ์ เนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้สุกมีปริมาณกรดแกลลิกสูงสุด เท่ากับ 27.03 มิลลิกรัม/ 100 กรัมน้ำหนักสด และกรดแกลลิกในเนื้อมะม่วงสุกทุกสายพันธุ์มีแนวโน้มสูงกว่าในเนื้อมะม่วงดิบ ยกเว้นพันธุ์โชคอนันต์ และแก้วดำที่เนื้อมะม่วงสุกมีปริมาณกรดแกลลิกต่ำกว่าเนื้อมะม่วงดิบ ซึ่งพบว่ามีแนวโน้มตรงกับการทดลองของ Singh และคณะ (2004) ที่พบว่าเนื้อมะม่วงสุก 4 สายพันธุ์ มีกรดแกลลิกสูงกว่าเนื้อมะม่วงดิบ ยกเว้นมะม่วงสุก 2 สายพันธุ์ คือพันธุ์ Chausa และพันธุ์ Amrapali ที่มีปริมาณกรดแกลลิกต่ำกว่า แต่ในการทดลองของ Gorinstein และคณะ (1999) ที่ศึกษาปริมาณกรดแกลลิกในผลไม้เขตร้อน 8 ชนิด โดยใช้หลักการเรืองแสงของแสงฟลูออเรสเซนส์ (Fluorescence) ด้วยเครื่องสเปคโตรฟลูออโรมิเตอร์ (Spectrofluorometer) พบว่ามะม่วงแก้วสุก มีปริมาณกรดแกลลิก (397.4 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด) สูงกว่ามะม่วงแก้วดิบ (231.6 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด) ซึ่งไม่สอดคล้องกับการทดลองนี้ที่พบว่ามะม่วงแก้วดำดิบมีปริมาณกรดแกลลิกสูงกว่ามะม่วงแก้วดำสุกโดยมีปริมาณเท่ากับ10.47 และ7.17 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นที่น่าสังเกตว่าเมื่อมะม่วงสุกนั้นปริมาณกรดฟีนอลิกในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของมะม่วงบางสายพันธุ์มีค่าที่ไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกับปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมด ดังการทดลองในข้อ 4.2 กล่าวคือเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของมะม่วงน้ำดอกไม้ และเปลือกกับเนื้อของมะม่วงฟ้าลั่นสุกมีปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมดต่ำกว่าในมะม่วงน้ำดอกไม้ และฟ้าลั่นดิบ ขณะที่ปริมาณกรดฟีนอลิกของมะม่วงทั้ง 2 สายพันธุ์นั้นสูงขึ้นเมื่อสุก ในทางตรงกันข้ามเปลือก และเนื้อมะม่วงแก้วดำสุกจะมีปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมดเพิ่มขึ้น แต่กลับมีปริมาณกรดฟีนอลิกลดลง เกิดจากปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด และปริมาณกรดฟีนอลิกทั้งหมดไม่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากในสารสกัดจากเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของมะม่วงทุกสายพันธุ์ที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณกรดฟีนอลิกเฉลี่ย คิดเป็น 25.4 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร หรือเป็นสัดส่วน 1 ใน 4 ของปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างมะม่วง อีกทั้งกรดฟีนอลิกที่ใช้ในการทดลองเป็นเพียงส่วนหนึ่งของกรดฟีนอลิกทั้งหมดที่พบในมะม่วง ดังนั้นปริมาณกรดฟีนอลิกจึงไม่สัมพันธ์กับแนวโน้มปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดซึ่งมีสารประกอบฟีนอลิกชนิดอื่นๆ เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย อย่างไรก็ตาม ชนิดและปริมาณของกรดฟีนอลิกจะเปลี่ยนแปลง และแตกต่างกันเนื่องมาจากฤดูกาล สายพันธุ์ ระดับความสุกของมะม่วง และการเข้าทำลายของแมลงและจุลินทรีย์ (Schieber และคณะ, 2000)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี และกายภาพ ของตัวอย่างเปลือก และเนื้อของมะม่วง 6 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์เขียวเสวย น้ำดอกไม้ แรด โชคอนันต์ ฟ้าลั่น และแก้วดำ โดยแบ่งตัวอย่างเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มมะม่วงดิบและกลุ่มมะม่วงสุก พบว่าเปลือกมะม่วงทั้ง 6 สายพันธุ์มีค่าความสว่างเพิ่มขึ้น ค่าสีเขียวลดลง และค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้นเมื่อสุก เนื้อมะม่วงทั้ง 6 สายพันธุ์มีค่าความสว่างและ ค่าสีเขียวลดลง ส่วนค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้นเมื่อสุก ค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นในเนื้อมะม่วงสุก สอดคล้องกับปริมาณกรดทั้งหมดที่มีแนวโน้มลดลงเมื่อสุก ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในเนื้อมะม่วงสุกทุกสายพันธุ์ ส่วนปริมาณความชื้นนั้นพบว่าเนื้อมะม่วงมีปริมาณความชื้นสูงที่สุด รองลงมาคือ เปลือก และเมล็ดในของมะม่วง ตามลำดับ ในการวิเคราะห์ปริมาณโพลี-ฟีนอลทั้งหมด พบว่าเมล็ดในมะม่วงดิบและสุกทุกสายพันธุ์มีปริมาณโพลีฟีนอลสูงที่สุด รองลงมาคือ เปลือก และเนื้อโดยมีปริมาณอยู่ในช่วง 27.82 - 66.95, 9.59 - 21.35 และ 0.29 - 0.83 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ โดยที่เมล็ดมะม่วงจะมีปริมาณ โพลีฟีนอลสูงกว่าเปลือกและเนื้อเฉลี่ยถึง 3.1 และ 78.8 เท่า ตามลำดับ นอกจากนี้ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดในเปลือกมะม่วงดิบจะมีแนวโน้มต่ำกว่าเปลือกมะม่วงสุก ในขณะที่เนื้อ และเมล็ดมะม่วงดิบจะมีแนวโน้มปริมาณ โพลีฟีนอลทั้งหมดสูงกว่าเนื้อและเมล็ดมะม่วงสุก

สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ ในส่วนเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของมะม่วงดิบ และสุก 6 สายพันธุ์ พบกรดคาเฟอิก พบทุกส่วนของมะม่วงทุกสายพันธุ์ ยกเว้นในเนื้อของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ กรดแกลลิกพบเฉพาะในเนื้อมะม่วงดิบ และสุกทั้ง 6 สายพันธุ์ ส่วนกรดพารา-คูมาริกในมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยพบเฉพาะในเมล็ดใน เช่นเดียวกับมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่พบเพียงในเปลือกเท่านั้น และยังพบกรดพาราคูมาริกในทุกส่วนของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์อีกด้วย ขณะที่กรดไซ-นาปิก และกรดเฟอรูลิก พบมากในเมล็ดในของมะม่วงทุกสายพันธุ์ อีกทั้งยังพบในเปลือกของมะม่วงพันธุ์ฟ้าลั่น และแก้วดำ แต่พบเฉพาะกรดไซนาปิกเพียงเล็กน้อยในเนื้อของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า มะม่วงพันธุ์โชคอนันต์มีปริมาณกรดฟีนอลิกสูงที่สุด รองลงมาคือ มะม่วงพันธุ์ฟ้าลั่น แก้วดำ น้ำดอกไม้ เขียวเสวย และแรด ตามลำดับ โดยมะม่วงแต่ละสายพันธุ์ มีชนิดและปริมาณของกรดฟีนอลิกแตกต่างกันไป เมื่อพิจารณาในแต่ละส่วนของมะม่วงพบว่า เมล็ดในมะม่วงทุกสายพันธุ์มีปริมาณกรดฟีนอลิกสูงสุด ส่วนในเปลือก และเนื้อมีปริมาณกรดฟีนอลิกใกล้เคียงกัน

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า เนื้อมะม่วงซึ่งเป็นส่วนที่รับประทานได้ มีปริมาณกรดฟีนอลิก และสาร โพลีฟีนอลทั้งหมดต่ำที่สุด ขณะที่เปลือกและเมล็ดใน ซึ่งเป็นส่วนเหลือทิ้งมากกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ของทั้งผลมะม่วง กลับมีปริมาณกรดฟีนอลิก และสาร โพลีฟีนอลทั้งหมดมากกว่า โดยเฉพาะเปลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมล็ดในมะม่วงโชคอนันต์ และแก้วดำที่มีปริมาณกรดฟีนอลิก และสารโพลีฟีนอลทั้งหมดมากกว่ามะม่วงพันธุ์อื่นๆ อีกทั้งยังใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร ซึ่งมีส่วนเปลือก และเมล็ดเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก แต่ไม่เฉพาะมะม่วง 2 สายพันธุ์นี้เท่านั้น เปลือกและเมล็ดในของมะม่วงพันธุ์อื่นก็มีปริมาณกรดฟีนอลิก และสารโพลีฟีนอลทั้งหมดไม่ต่างกันมากนัก แต่นักวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นศึกษาเฉพาะประโยชน์จากเปลือกมะม่วงในแง่เป็นแหล่งของเพคตินที่มีคุณภาพ แต่ในความเป็นจริงแล้วเปลือกไม่ได้เป็นแหล่งของเพคตินเพียงอย่างเดียว แต่ยังเป็นแหล่งสำคัญของสารโพลีฟีนอลอีกด้วย จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของเปลือก และเมล็ดในมะม่วง เพื่อพัฒนาการสกัดสารในด้านการนำไปใช้ประโยชน์แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสุขภาพ หรือใช้เติมในผลิตภัณฑ์อาหาร เพื่อวัตถุประสงค์ด้านการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติ หรือเพิ่มคุณค่าเชิงสุขภาพต่อไป นอกจากนี้มะม่วงแก้ว และโชคอนันต์ดิบยังเป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการแปรรูปมะม่วงดอง และมะม่วงแช่อิ่ม จึงน่าจะมีการศึกษาต่อไปถึงผลของกระบวนการแปรรูปโดยวิธีการดอง หรือแช่อิ่มมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และสมบัติการต้านออกซิเดชันของเปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงอย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กรมวิชาการเกษตร. 2546. *ฐานข้อมูลเชื้อพันธุ์พืช : มะม่วง เล่ม 2*. กรุงเทพฯ: ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย. 142 หน้า.

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรมเกษตร. 2544. *รายงานเกณฑ์คุณภาพและวิธีการตรวจวัดคุณภาพวัตถุดิบมะม่วงเพื่ออุตสาหกรรมเกษตร*. กรุงเทพฯ: ส่วนอุตสาหกรรมเกษตรสำนักพัฒนาอุตสาหกรรม.

จริงแท้ ศิริพาณิช. 2541. *สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 396 หน้า.

เฉลิมชัย แก้ววรชาติ. 2539. *การปลูกมะม่วง*. กรุงเทพฯ: อักษรสยามการพิมพ์. 88 หน้า.

ชูชาติ อารีจิตรานุสรณ์. 2544. *เครื่องมือวิทยาศาสตร์ (Scientific instruments)*. พิมพ์ครั้งที่ 3. ภาควิชาเคมีคลินิก คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 259 หน้า.

นภชลัช ยอดพรหม. 2549. สมบัติการต้านจุลินทรีย์ของสารสกัดจากเปลือกมะม่วงต่อจุลินทรีย์ก่อโรคที่มีโอกาสปนเปื้อนในโยเกิร์ต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทสาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

นวลศรี รักอริยะธรรม และ อัญชนา เจนวิถีสุข. 2545. *แอนติออกซิเดนท์: สารต้านมะเร็งในผัก-สมุนไพรไทย*. เชียงใหม่: นพบุรีการพิมพ์. 281 หน้า.

พงศธร ล้อสุวรรณ จิตศิริ ราชตนะพันธุ์ และ ศศิธร จันทนวรางกูร. 2551. สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ และการต้านจุลินทรีย์ของเปลือกผลไม้. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46: สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. กรุงเทพฯ. 554-561.

พิชญ์อร ไหมสุทธิสกุล. 2547. ศักยภาพการต้านอนุมูลอิสระและการตรวจประเมินกิจกรรมการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารจากพืช. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย*. 24(2): 18-35.

มาลิน จุลศิริ. 2540. *ยาต้านจุลชีพ*. กรุงเทพฯ: สถาบันพัฒนาการสาธารณสุขอาเซียน. 209 หน้า.

วิจิตร วังใน. 2533. *การทำสวนมะม่วง*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 28 หน้า.

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

สถาบันคีนันแห่งเอเชีย. 2549. โครงการจัดทำแผนที่เครือข่ายวิสาหกิจ (Cluster Mapping) เพื่อยกระดับความสามารถในการแข่งขันของภาคการผลิตและบริการ. กรุงเทพฯ : หจก. อุดมรัตน์การพิมพ์และดีไซน์. หน้า 33-35.

โอภา วัชระคุปต์ ปรีชา บุญจูง จันทนา ยุญยะรัตน์ และมาลีรักษ์ อัตต์สินทอง. 2551. *สารต้านอนุมูลอิสระ*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: นิวไทยมิตรการพิมพ์. 280 หน้า.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abdalla, A.E.M., Darwish, S.M., Ayad, E.H.E. & El-Hamahmy, R.M. 2007. Egyptian mango by-product 1. Compositional quality of mango seed kernel. *Food Chemistry*. 103: 1134-1140.

Adebowale, Y.A., Adeyemi, A. & oshodi, A.A. 2005. Variability in the physicochemical, nutritional and antinutritinal attributes of six *Mucuna* species. *Food Chemistry*. 88: 37-48.

Ajila, C.M., Naidu, K.A., Bhat, S.G. & Prasada Rao, U.J.S. 2007. Bioactive compounds and antioxidant potential of mango peel extract. *Food Chemistry*. 105: 982-988.

AOAC 1990. Official Methods of Analysis. Association of official Analytical Chemists, Inc, Virginia. 1298 p.

AOAC 2000. Official Methods of Analysis of AOAC International, (17th ed.), Gaithersburg, MD, USA.

Balasundram, N., Sundram, K. & Samman, S. 2006. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*. 99: 191–203.

Basu, T.K., Temple, N.J. & Gars, M.L. 1999. *Antioxidants in human health and disease.* London: CABI.

Berardini, N., Knödler, M., Schieber, A. & Carle, R. 2005. Utilization of mango peels as a source of pectin and polyphenolics. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 6: 442-452.

Binutu, O.A. & Cordell, G.A. 2000. Gallic acid derivatives from *Mezoneuron benthamianum* leaves. *Pharmaceutical Biology*. 34: 284-286.

Blasco, A.J., Rogerio, M.C., Gonzalez M.C. & Escarpa, A. 2005. "Electrochemical Index" as a screening method to determine "total polyphenolics" in foods :A Proposal. *Analytica Chimica Acta.* 539: 237-244.

Bravo, L. 1998. Polyphenols: Chemistry, dietary sources, metabolism and nutritional significance. *Nutrition Reviews.* 56(11): 317-333.

Burns, J., Gardner, P.T., O'Neil, J., Crawford, S., Morecroft, I. & McPhail, D.B. 2000. Relationship among antioxidant activity, vasodilation capacity and phenolic content of red wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48: 220-230.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Champbel, A., Viegas, C.A. & Sa′-Correia, I. 1999. Effect of cinnamic acid on the growth and on plasma membrane H^+-ATPase activity of *Saccharomyces cerevisiae*. *International Journal of Food Microbiology*. 50: 173-179.

Cowan, M.M. 1999. Plants products as antimicrobial agents. *Clinical Microbiology Review*. 12: 564-582.

Goorinstein, S., Zemser, M., Haruenkit, R., Chuthakorn, R., Grauer, F., Martin-Belloso, O. & Trakhtenberg, S. 1999. Comparative content of total polyphenols and dietary fiber in tropical fruits and persimmon. *Journal of Nutrition and Biochemistry*. 10: 367-371.

Kabuki, T., Nakajima, H., Arai, M., Ueda, S., Kuwabara, Y. & Dosako, S. 2000. Characterization of novel antimicrobial compounds from mango (*Mangifera indica* L.) Kernel seeds. *Food Chemistry*. 71: 61-66.

Karakaya, S. 2004. Bioavailability of phenolic compounds. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* . 44(6): 453-464.

Ketsa, S., Chidtragool, J., Klein, D. & Lurie, S. 1999. Ethylene synthesis in mango fruit following neat treatment. *Posthavest Biology and Technology*. 15(1): 65-72.

Maisuthisakul, P. & Pasuk, S. 2007. *Antioxidant properties and Phenolic Phytochemicals from Various Cultivars of Thai Mango Seed Kernels*. The 9th Agro-Industrial Conference. Food Innovation Asia 2007: "Q" Food for Good Life. 14-15 June 2007. BITEC Bangkok, Thailand.

Masibo, M. & He, Q. 2008. Major mango polyphenols and their potential significance to human health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 7: 309-319.

Mehrotra, R.S. 1997. *Defense mechanism in plants. In* Plant Pathology. New Delhi: Tata-McGrew Hill. pp.544.

Mohd, Z., Chin, L. & Lagan, H. 2004. A Comparative study on wall degrading enzymes, pectin modifications and softening during ripening of selected tropical fruits. *Plant Science*. 167(2): 317-327.

Neilson, S.S. 1998. *Food Analysis*. 2nd edition. Aspen Publishers.Inc. Gaithersbrug, Maryland.

Prior, R.L., Wu, X. & Schaich, K. 2005. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in food and dietary supplement. . *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53: 4290-4302.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ribriro, S.M.R., Barbosa, L.C.A., Queiroz, J.H., Knodler, M. & Schieber, A. 2008. Phenolic compounds and antioxidant capacity of Brazilian mango (*Mangifera indica* L.) varieties. *Food Chemistry*. 110: 620-626.

Ribriro, S.M.R., Queiroz, J.H., Queiroz, M.E.L.R., Campos, F.M. & Sant'ana, H.M.P. 2007. Antioxidant in Mango (*Mangifera indica* L.) Pulp. *Plant Foods for Human Nutrition* 62: 13–17.

Schieber, A., Ullrich, W. & Carle, R. 2000. Characterization of polyphenols in mango puree concentrate by HPLC with diode array and mass spectrometric detection. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 1: 161-166.

Singh, U.P., Singh, D.P., Singh, M., Maurya, S., Srivastava, J.S., Singh, R.B. & Singh, S.P. 2004. Characterization of phenolic compounds in some Indian mango cultivars. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 55(2): 163-169.

Singleton, V.L. & Lamuela-Raventos, R.M. 1999. Analysis of total phenol and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*. 299: 152-178.

Someya, S., Yoshiki, Y. & Okubo, K. 2002. Antioxidant compounds from bananas (*Musa Cavendish*). *Food Chemistry*. 79(3): 351-354.

Soong, Y.Y. & Barlow, P.J. 2004. Antioxidant activity and phenolic content of selected fruit seeds. *Food Chemistry*. 88: 411-417.

USDA. 2007. National Nutrient Database for Standard Reference. Washington, DC : United States Dept. of Agriculture.

Weisner, J., Mitsch, A., Wissner, P., Jomaa, H. & Schlitzer, M. 2001. Structure-activity relationships of novel antimalarial agents. Part 2: cinnamic acid derivatives. *Bioorganic and Medicinal Chemisty*. 11: 423-424.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การวัดค่าความเป็นกรดด่าง

วัดความเป็นกรดด่าง (pH) ใช้วิธีซึ่งรายงานโดย Cheng และคณะ (2007) โดยนำเนื้อมะม่วงมาปั่นด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้จนสังเกตเห็นว่าเนื้อมะม่วงละเอียด จากนั้นจึงกรองด้วยผ้าขาวบาง บีบคั้นน้ำลงในบีกเกอร์ จากนั้นวัดด้วยเครื่อง pH meter ขั้วอิเลคโทรดแก้วที่อุณหภูมิห้อง

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)

วิธีวิเคราะห์

1. กด cal ที่เครื่องจนกระทั่งขึ้น Ct1
2. จุ่ม probe ลงใน pH 7 กด Enter รอจนกระทั่ง Ct2 ปรากฏ
3. ล้างหัว probe ด้วยน้ำกลั่น ซับด้วยกระดาษทิชชู
4. จุ่ม probe ลงใน pH4 กด Enter รอจนปรากฏค่า slope ในช่วง 56-62 (ค่าติดลบ)
5. ล้างหัว probe ด้วยน้ำกลั่น ซับด้วยกระดาษทิชชู
6. จุ่ม probe ลงในตัวอย่าง กด Enter 2 ครั้ง จะปรากฏค่า pH ของตัวอย่าง

หมายเหตุ

- pH buffer ต้องมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง
- ในขั้นตอนที่ 2 ใช้เวลาไม่เกิน 10-15 นาที ถ้าเกินให้ปิดเครื่องและทำการ Calibrate ใหม่
- ถ้าไม่ขึ้น Ct2 แต่ขึ้น Et3 ให้ปิดเครื่องและทำการ Calibrate ใหม่ ถ้ายังไม่ได้ให้เปลี่ยน pH buffer ที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด

การวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดของตัวอย่างเนื้อมะม่วงใช้วิธีของ AOAC (2000) ค่าความเป็นกรดที่วิเคราะห์ได้นิยมเรียกว่า total titratable acidity ในงานวิจัยนี้จะรายงานปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรด ซิตริก ซึ่งมีวิธีการวิเคราะห์ดังนี้

อุปกรณ์

1. บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร
2. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
3. ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตร
4. กระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร
5. ขวดปรับปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร
6. บีกเกอร์ขนาด 100 และ 300 มิลลิลิตร
7. แท่งแก้วคนสาร
8. ช้อนตักสาร

สารเคมี

1. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล (N)
2. ฟีนอล์ฟทาลีน (phenolphthalein) ความเข้มข้น 1%
3. เอธานอล (ethanol) ความเข้มข้น 95%
4. โพแทสเซียมพทาเลต (potassium phthalate)

การเตรียมสารเคมี

1. สารละลาย NaOH มาตรฐาน

เตรียมสารละลายมาตรฐาน NaOH 0.1 N (โดยประมาณ) โดยชั่ง NaOH 2 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร จากนั้นนำไป standardize ด้วยสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมพทาเลต ($KHC_8H_4O_4$)

วิธี standardize สารละลาย NaOH ทำโดย

1) ละลาย $KHC_8H_4O_4$ ที่ผ่านการอบแห้งที่ 120 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง และทำให้เย็นใน desiccator ปริมาณ 0.6000-0.7000 กรัม ในน้ำกลั่น 75 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่
2) หยดสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 1% ในสารละลาย $KHC_8H_4O_4$ จำนวน 2 หยด
3) นำไปไตเตรตกับสารละลาย NaOH ที่บรรจุอยู่ในบิวเรต จนกระทั่งสารละลายปฏิกิริยาเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพูอ่อนที่คงตัว โดยทำการไตเตรต 3 ครั้ง บันทึกปริมาตร NaOH ที่ใช้ในการไตเตรต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Normality ของ NaOH} = \frac{\text{จำนวนกรัม } KHC_8H_4O_4 \times 1000}{\text{มิลลิลิตร NaOH} \times 204.229}$$

2. สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 1%

ละลายฟีนอล์ฟทาลีน 1 กรัม ในเอธานอล 95% 100 มิลลิลิตร

การสกัดตัวอย่าง

1. ชั่งตัวอย่างเนื้อมะม่วง 15 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 300 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร แล้วนำมาปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้ความเร็วสูง
3. ต้มในอ่างน้ำเดือด ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้กระจกนาฬิกาปิด ตั้งทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
4. กรองสารตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร

วิธีวิเคราะห์

1. ปิเปตสารละลายตัวอย่างเนื้อมะม่วง 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่น 75 มิลลิลิตร หยดสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 2 หยด
3. ไตเตรตด้วยสารละลาย NaOH มาตรฐาน จนได้สีชมพูจางๆ คงที่ บันทึกปริมาตรของสารละลาย NaOH ที่ใช้ในการไตเตรต ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง
4. คำนวณหาปริมาณกรดทั้งหมดในสารละลายตัวอย่างเนื้อมะม่วง

$$\text{ปริมาณกรดทั้งหมด (\%)} = \frac{(V)(N)(eq.Wt.)(100)}{(1000)(v)}$$

เมื่อ V = ปริมาณของสารละลายมาตรฐาน NaOH

N = normality ของสารละลายมาตรฐาน NaOH

v = ปริมาตรของสารละลายตัวอย่าง

eq.Wt. = น้ำหนักสมมูลย์ของกรดซิตริกเท่ากับ 64 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซ์

การวิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซ์โดย DNS method จะใช้วิธีซึ่งรายงานโดย Neilson (1998)

สารเคมี

1. กรด 3, 5-ไดไนโตรซาลิไซลิก (3,5-dinitrosalicylic acid)
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH)
3. โพแทสเซียม โซเดียมทาร์เทรท (Potassium sodium tartrate)
4. กลูโคส (Glucose)

การเตรียมสารเคมี

1. Dinitrosalicylic reagent (DNS reagent)

ละลาย 3, 5- dinitrosalicylic acid 1 กรัมใน 2 N NaOH 20 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร จากนั้นเติมโพแทสเซียม โซเดียมทาร์เทรทลงไป 30 กรัม คนให้ละลาย ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

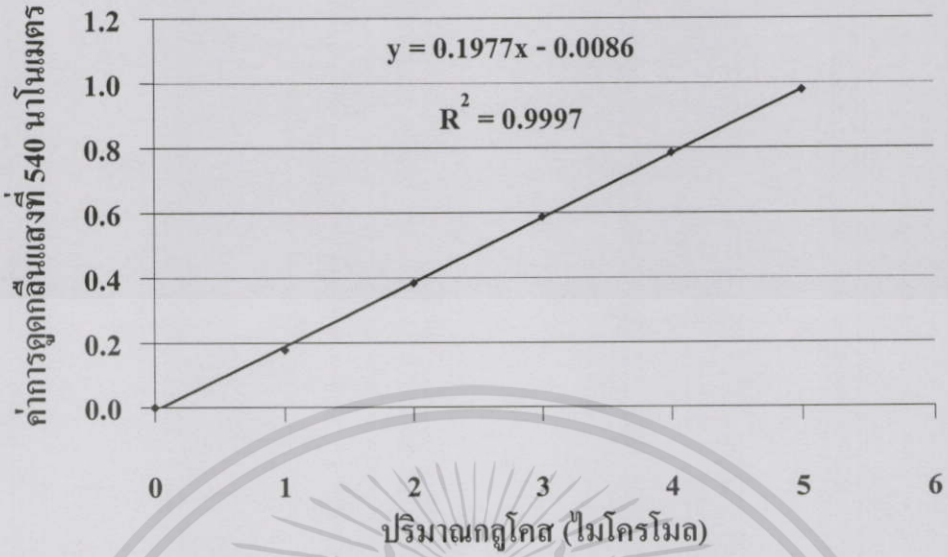
2. สารละลายกลูโคสมาตรฐาน

เตรียมสารละลายกลูโคสที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง (MW = 180.2) โดยละลายกลูโคส 0.0901 กรัมในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ได้สารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 5.0 ไมโครโมล/มิลลิลิตร

การเตรียมกราฟมาตรฐาน

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานกลูโคส (ความเข้มข้น 5.0 ไมโครโมล/มิลลิลิตร) 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1 มิลลิลิตร
2. เติม DNS reagents หลอดละ 1 มิลลิลิตร ปิดฝาหลอดทดลองแล้วเขย่าให้เข้ากัน
3. นำหลอดทดลองแช่ในอ่างน้ำเดือดนาน 3 นาที แล้วนำมาแช่ในน้ำเย็นทันที
4. เมื่อเย็นจนถึงอุณหภูมิห้องแล้ว เติมน้ำกลั่นลงไปหลอดละ 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
5. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร
6. บันทึกผลการทดลองและนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณกลูโคสในแต่ละความเข้มข้น จะได้กราฟมาตรฐานของสารละลายกลูโคส แสดงดังรูปที่ ค.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกลูโคสและค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร

การสกัดตัวอย่าง

1. ชั่งตัวอย่างเนื้อมะม่วง 15 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 300 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร แล้วนำมาปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้ความเร็วสูง
3. ต้มในอ่างน้ำเดือด ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้กระจกนาฬิกาปิดตั้งทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
4. กรองสารตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร

การวิเคราะห์

1. ปิเปตตัวอย่างสารสกัด 0.2 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 0.8 มิลลิลิตรและเติม DNS reagent 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง ปิดฝาหลอดทดลองแล้วเขย่าให้เข้ากัน
2. นำหลอดทดลองแช่ในอ่างน้ำเดือดนาน 3 นาที แล้วนำมาแช่ในน้ำเย็นทันที
3. เมื่อเย็นจนถึงอุณหภูมิห้องแล้ว เติมน้ำกลั่นลงไปหลอดละ 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
4. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร คำนวณปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในตัวอย่างโดยใช้กราฟมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

การคำนวณปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

สมการจากกราฟมาตรฐานของสารละลายกลูโคส

$$y = 0.1977x - 0.0086 ; R^2 = 0.9997$$

เมื่อ y = ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร

x = ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (ไมโครโมล/ 0.2 มิลลิลิตรสารสกัดตัวอย่าง)

c = จุดตัดแกน y

ตัวอย่างการคำนวณ

สารสกัดจากตัวอย่างเนื้อมะม่วงเขียวเสวยดิบ

ครั้งที่ 1 ปริมาณสารสกัดตัวอย่างเนื้อมะม่วงเขียวเสวยดิบ 0.2 มิลลิลิตร

ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร เท่ากับ 0.423

แทนค่าในสูตรจะได้

$0.423 = 0.1977x - 0.0086$

$x = 2.138$ ไมโครโมล / 0.2 มิลลิลิตรของสารสกัดตัวอย่าง

ตัวอย่างสารสกัด 0.2 มิลลิลิตร มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 2.138 ไมโครโมล

ตัวอย่างสารสกัด 100 มิลลิลิตร มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ

$$\frac{2.138 \times 100}{0.2} = 1091.55 \text{ ไมโครโมล/100 มิลลิลิตร}$$

โดยที่ตัวอย่างสารสกัด 100 มิลลิลิตรนั้น มีเนื้อตัวอย่างมะม่วงเขียวเสวยดิบอยู่ 15 กรัม

= 1091.55 ไมโครโมล/15 กรัมตัวอย่าง

ดังนั้นเนื้อตัวอย่างมะม่วงเขียวเสวยดิบ 15 กรัม

มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ $\frac{1091.55}{15} = 72.77$ ไมโครโมล/กรัมตัวอย่าง

1 โมล กลูโคส หนักเท่ากับ 180.2 กรัม

1 ไมโครโมล กลูโคส หนักเท่ากับ 180.2 ไมโครกรัม

ดังนั้น 72.77 ไมโครโมล เท่ากับ $\frac{180.2 \times 72.77}{1}$

= 13,113.15 ไมโครกรัมกลูโคส/กรัมตัวอย่าง

= 13.11 มิลลิกรัมกลูโคส/กรัมตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นในตัวอย่างเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของมะม่วง (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. ถ้วยอลูมิเนียม (Aluminium can)
2. โถดูดความชื้น (Disiccator)
3. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)
4. Tong
5. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
6. ช้อนตักสาร

วิธีวิเคราะห์

1. นำถ้วยอลูมิเนียมอบที่อุณหภูมิ 130 ± 3 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่
2. ชั่งตัวอย่างมะม่วงที่สับละเอียด ตัวอย่างละ 5 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียดใส่ในถ้วยอลูมิเนียม
3. นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมงจนน้ำหนักคงที่
4. ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น
5. ชั่งน้ำหนัก แล้วคำนวณหาปริมาณความชื้นโดยใช้สูตร

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด (total polyphenol contents)

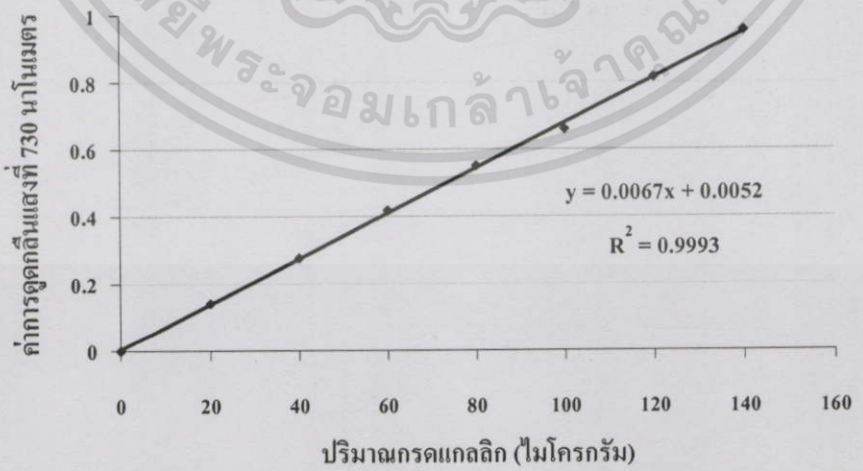
การวิเคราะห์ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดในส่วน เปลือก เนื้อ และเมล็ดมะม่วง ใช้วิธีที่รายงานโดย Singleton และ Lamuela-Raventos (1999) โดยสารโพลีฟีนอลจะทำปฏิกิริยากับ Folin-Ciocalteu ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินที่มีการดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร และใช้กรดแกลลิกเป็นสารประกอบฟีนอลิกมาตรฐาน

สารเคมี

1. Folin-Ciocalteu
2. โซเดียมคาร์บอเนต ($NaCO_3$) ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์
3. สารละลายกรดแกลลิกความเข้มข้น 400 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

การเตรียมกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้นเริ่มต้น 400 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร
2. ปิเปตสารละลายมาตรฐานดังกล่าวใส่หลอดทดลอง หลอดละ 0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30 และ 0.35 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาตรรวมในแต่ละหลอดเป็น 10 มิลลิลิตร
3. เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน วางตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที
4. เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน วางตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที
5. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร โดยใช้น้ำกลั่นเป็น blank
6. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณกรดแกลลิกในหน่วยไมโครกรัม



รูปที่ จ.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดแกลลิกและค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างสารสกัดจากเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของมะม่วง

วิธีการวิเคราะห์ทำโดยดูดสารสกัดที่เจือจางให้มีความเข้มข้นที่เหมาะสมมา 0.5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาตรรวมเป็น 10 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณสาร โพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของมะม่วง โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก

การคำนวณ

การคำนวณปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมด

สมการจากกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก

$$y = 0.0067x + 0.0052 \; ; R^2 = 0.9993$$

เมื่อ y = ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร

x = ปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมด (ไมโครกรัม/ 0.5 มิลลิลิตรสารสกัดตัวอย่าง)

c = จุดตัดแกน y

ตัวอย่างการคำนวณ

สารสกัดจากตัวอย่างเปลือกมะม่วงเขียวเสวยดิบ

ครั้งที่ 1 ปริมาณสารสกัดตัวอย่างเปลือกมะม่วงเขียวเสวยดิบ 0.5 มิลลิลิตร

ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร เท่ากับ 0.433

แทนค่าในสูตรจะได้

$0.433 = 0.0067x + 0.0052$

$x = 63.81$ ไมโครกรัม / 0.5 มิลลิลิตรของสารสกัดตัวอย่าง

สารสกัดตัวอย่างมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด = 63.81 ไมโครกรัม / 0.5 มิลลิลิตรของสารสกัด

สารสกัดตัวอย่างมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด = 12,762 ไมโครกรัม / 100 มิลลิลิตรของสารสกัด

ในสารสกัดตัวอย่างเปลือกมะม่วงเขียวเสวยดิบ 100 มิลลิลิตร เตรียมได้จากการสกัดตัวอย่างเปลือกมะม่วงเขียวเสวยดิบ 1 กรัม

ดังนั้น

เปลือกมะม่วงเขียวเสวยดิบมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด = 12,762 ไมโครกรัม / 1 กรัมตัวอย่าง

= 12.76 มิลลิกรัม / 1 กรัมตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

การวิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกด้วยวิธี HPLC

วิเคราะห์ปริมาณกรดแกลลิก (gallic acid) กรดคาเฟอิก (caffeic acid) กรดพาราคูมาริก (*p*-coumaric acid) กรดไซนาปิก (sinapic acid) และกรดเฟอรูลิก (ferulic acid) ในส่วน เปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วง ด้วยเครื่อง HPLC (Agilent 1100) โดยใช้คอลัมน์ SynerSi 4μ C-18 Phenomenex เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.6 มิลลิเมตร ยาว 250 มิลลิเมตร ขนาดอนุภาคที่บรรจุในคอลัมน์ (particle size) 4 ไมครอน ใช้สารสกัดปริมาตร 5 ไมโครลิตร เฟสเคลื่อนที่ใช้สารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร และอะซิโตไนไตรสำหรับการทำ HPLC (HPLC grade) ที่กรองผ่านเมมเบรนขนาด 0.22 ไมครอน อัตราส่วน 80 : 20 โดยปริมาตร อัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่เท่ากับ 1 มิลลิลิตรต่อนาที โดยใช้ตัวตรวจวัดยูวี (UV detector) ที่ความยาวคลื่น 300 นาโนเมตร ในการวิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ จะต้องสร้างกราฟมาตรฐานของกรดฟีนอลิกแต่ละชนิด

การเตรียมกราฟมาตรฐานของกรดฟีนอลิก

1.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานของกรดฟีนอลิกแต่ละชนิดโดยใช้เมธานอล เป็นตัวทำละลายให้ความเข้มข้นเริ่มต้นเป็น 400 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

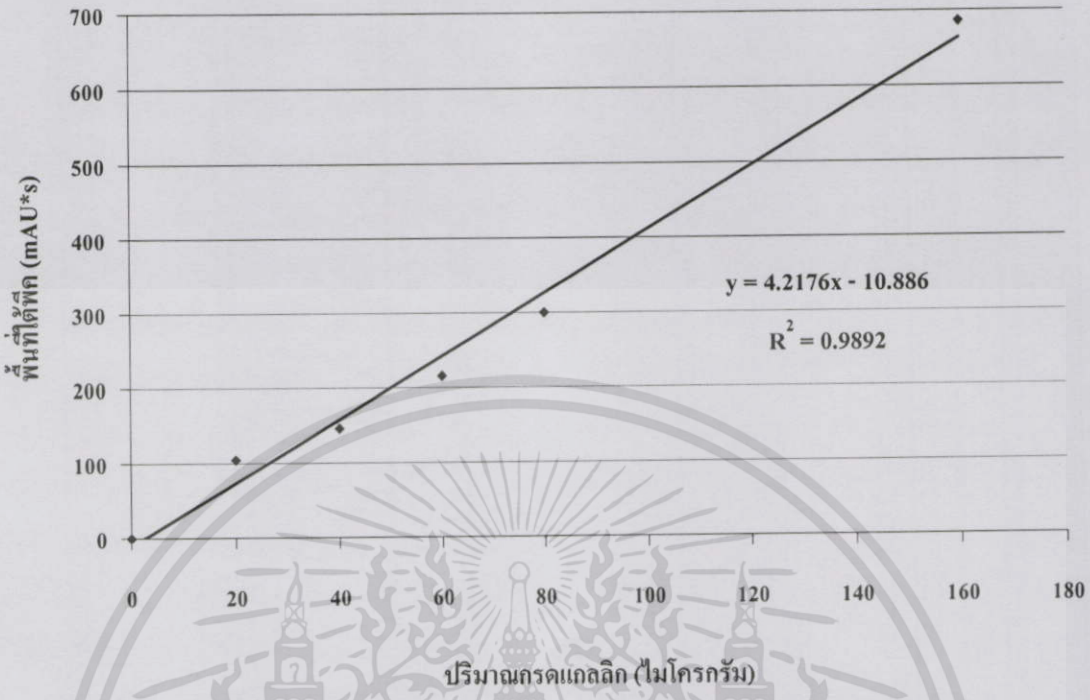
1.2 ปิเปตสารละลายมาตรฐานของกรดฟีนอลิกแต่ละชนิดใส่ขวดสีชา โดยให้แต่ละขวดมีความเข้มข้นดังตาราง แล้วปรับปริมาตรด้วยเมธานอลให้ปริมาตรรวมในแต่ละขวดเป็น 10 มิลลิลิตร

ชนิดของกรดฟีนอลิก	ความเข้มข้น (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)				
	ขวดที่ 1	ขวดที่ 2	ขวดที่ 3	ขวดที่ 4	ขวดที่ 5
กรดแกลลิก	20	40	60	80	160
กรดคาเฟอิก	160	20	40	60	80
กรดพาราคูมาลิก	80	160	20	40	60
กรดไซนาปิก	60	80	160	20	40
กรดเฟอรูลิก	40	60	80	160	20

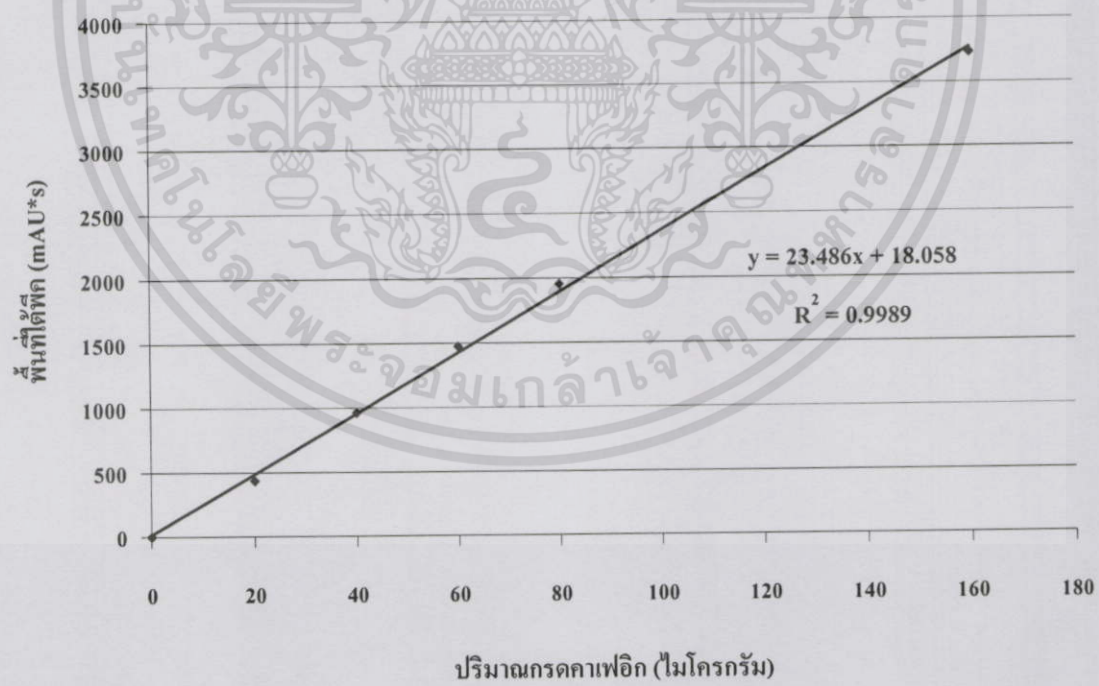
1.3 ฉีดสารละลายมาตรฐานของกรดฟีนอลิกปริมาตร 5 ไมโครลิตร แต่ละชนิดแยกกัน โดยกรองสารละลายมาตรฐานของกรดฟีนอลิกแต่ละชนิดผ่านเมมเบรนที่มีขนาด 0.22 ไมครอนก่อนฉีด เพื่อดูเวลาชะ (retention time; R_t) ของกรดฟีนอลิก

1.4 ฉีดสารละลายมาตรฐานของกรดฟีนอลิกรวม ตั้งแต่ขวดที่ 1-5 ปริมาตร 5 ไมโครลิตร โดยกรองสารละลายผ่านเมมเบรนที่มีขนาด 0.22 ไมครอนก่อนฉีด เขียนกราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้พีค (mAU*s) กับความเข้มข้นของกรดฟีนอลิกแต่ละชนิดในหน่วยไมโครกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

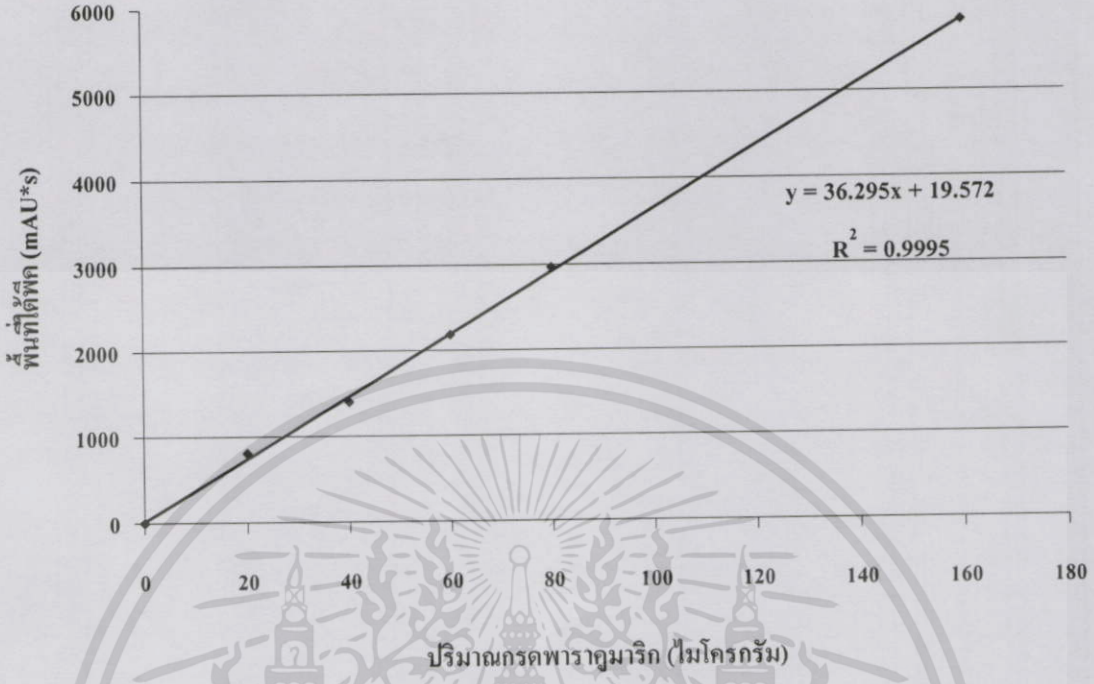


รูปที่ ฉ.1 กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกในการวิเคราะห์หาปริมาณกรดแกลลิกโดยวิธี HPLC

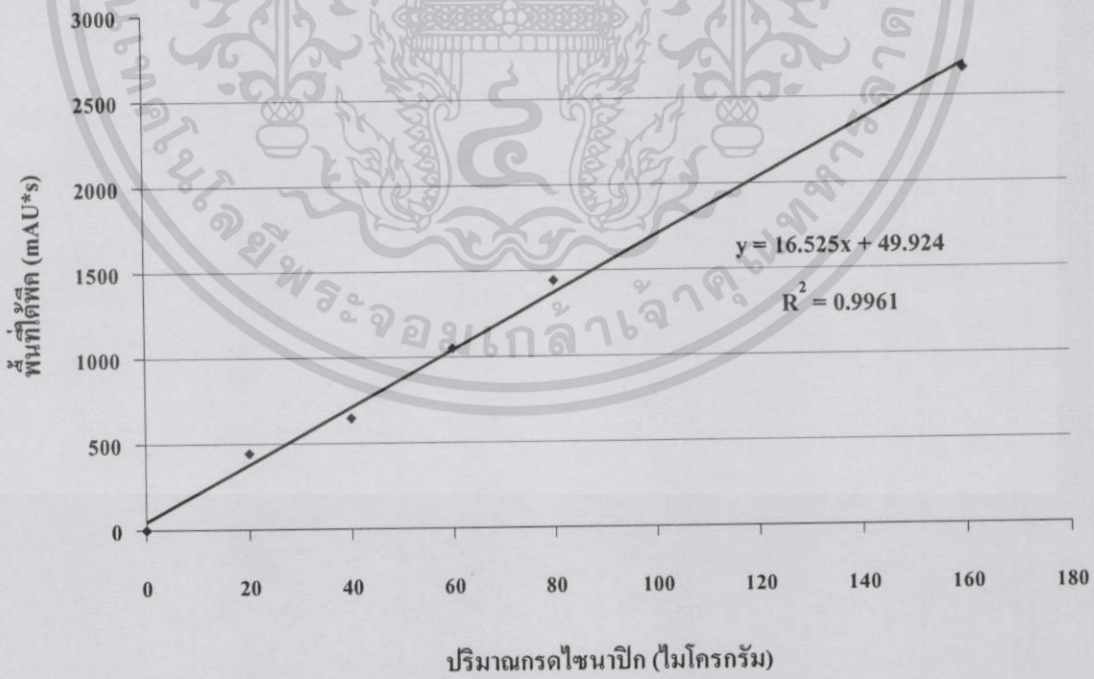


รูปที่ ฉ.2 กราฟมาตรฐานของกรดคาเฟอิกในการวิเคราะห์หาปริมาณกรดคาเฟอิกโดยวิธี HPLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

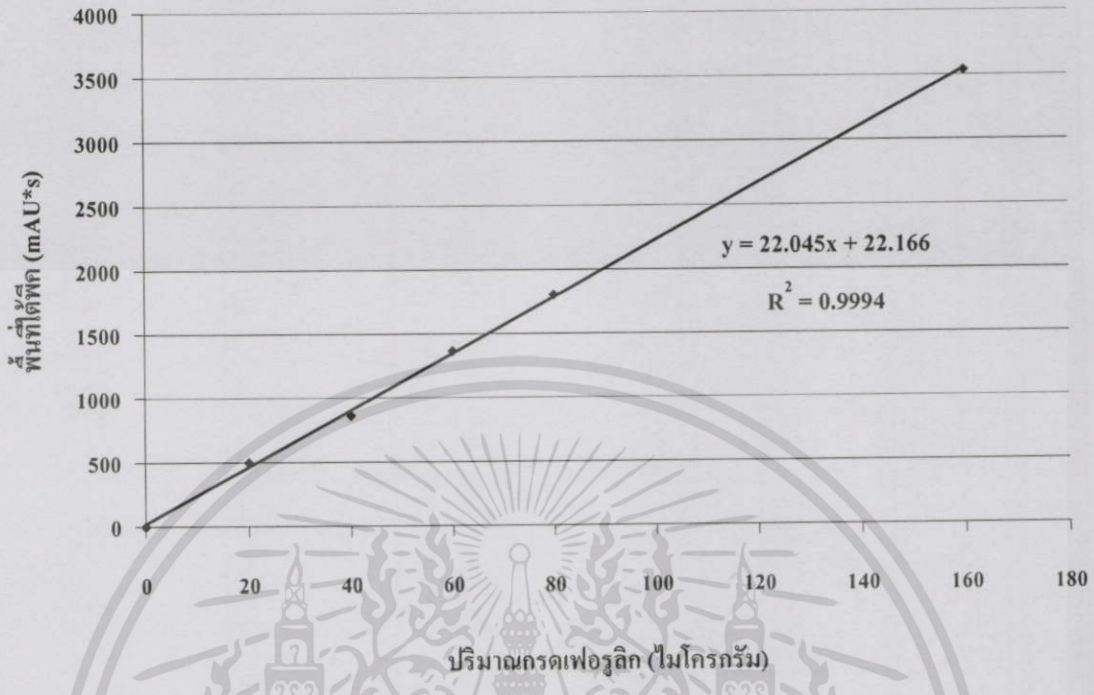


รูปที่ ฉ.3 กราฟมาตรฐานของกรดพาราคูมาริกในการวิเคราะห์หาปริมาณกรดพาราคูมาริกโดยวิธี HPLC



ที่ ฉ.4 กราฟมาตรฐานของกรดไซนาปิกในการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไซนาปิกโดยวิธี HPLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ที่ ฉ.5 กราฟมาตรฐานของกรดเฟอรูลิกในการวิเคราะห์หาปริมาณกรดเฟอรูลิกโดยวิธี HPLC

การวิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ ในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงดิบและสุก

การวิเคราะห์กรดฟีนอลิกทำโดยฉีดสารสกัดตัวอย่างมะม่วงที่เจือจางเหมาะสมปริมาตร 5 ไมโครลิตรในขวดไวออล (vial) ที่กรองผ่านเมมเบรนขนาด 0.22 ไมครอน โดยกำหนดให้เครื่องหยุดการตรวจวัดหลังจากฉีดสารละลายแล้ว (stop time) เป็นเวลา 20 นาที ค่าที่ได้คำนวณหาปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ โดยเทียบกราฟมาตรฐาน

การคำนวณ

คำนวณปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ ของตัวอย่างสารสกัด โดยเปรียบเทียบพื้นที่ใต้พีคที่วัดได้จากการเทียบเวลาชะ (R_t) ของสารละลายมาตรฐานของกรดฟีนอลิกแต่ละชนิด กับกราฟของสารมาตรฐานมาแทนค่าในสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟของกรดฟีนอลิกแต่ละชนิด ดังรูปที่ ฉ.1-ฉ.5 โดยมีตัวอย่างการคำนวณดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ

คำนวณปริมาณกรดคาเฟอิกจากตัวอย่างเปลือกมะม่วงแก้วดำดิบ

สมการจากกราฟมาตรฐานของกรดคาเฟอิก

$$y = 23.486x + 18.058; R^2 = 0.9989$$

เมื่อ y = พื้นที่ใต้พีค (mAU*s) ที่ได้จากการเทียบเวลาชะ (R_t) ของสารละลายมาตรฐานของกรดคาเฟอิก

x = ปริมาณกรดคาเฟอิก (ไมโครกรัม/ 5 ไมโครลิตรสารสกัดตัวอย่าง)

c = จุดตัดแกน y

สารสกัดจากตัวอย่างเปลือกมะม่วงแก้วดำดิบ

ครั้งที่ 1 ปริมาณสารสกัดตัวอย่างเปลือกมะม่วงแก้วดำดิบ 5 ไมโครลิตร

พื้นที่ใต้พีค เท่ากับ 88.69 mAU*s

แทนค่าในสูตรจะได้

88.69 = 23.486x + 18.058

x = 3.007 ไมโครกรัม / 5 ไมโครลิตรของสารสกัดตัวอย่าง

สารสกัดตัวอย่างมีปริมาณกรดคาเฟอิก = 3.007 ไมโครกรัม / 5 ไมโครลิตรของสารสกัด

= 3.007 ไมโครกรัม / 0.005 มิลลิลิตรของสารสกัด

= 601.4 ไมโครกรัม / 1 มิลลิลิตรของสารสกัด

ในสารสกัดตัวอย่างเปลือกมะม่วงแก้วดำดิบ 1 มิลลิลิตร เตรียมได้จากการสกัดตัวอย่างเปลือกมะม่วงแก้วดำดิบ 2 กรัม ดังนั้น

เปลือกมะม่วงแก้วดำดิบมีปริมาณกรดคาเฟอิก = 601.4 ไมโครกรัม / 2 กรัมตัวอย่าง

= 30.07 มิลลิกรัม / 100 กรัมตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นางสาวณัษฐภรณ์ ไม่อ่อนมือ เกิดวันที่ 14 กันยายน พ.ศ. 2526 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาจุลชีววิทยาอุตสาหกรรม จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร ปีการศึกษา 2547 ศึกษาต่อในระดับวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร ปีการศึกษา 2549 และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้