

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัย

**ปริมาณกรดฟีนอลิก สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้าน
ปฏิกิริยาออกซิเดชันของเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของมะม่วงพันธุ์ต่างๆ
ที่ระดับความสุกต่างกัน**

**PHENOLIC ACID, TOTAL PHENOLIC CONTENTS AND ANTIOXIDANT
CAPACITIES OF PEEL, FLESH, AND SEED KERNEL OF DIFFERENT
VARIETIES OF MANGO AT DIFFERENT RIPENING STAGES**



RCH
QD
341
P5
ป๑19๗

เลขหมู่.....**115703**
เลขทะเบียน.....**2 ๑ ๒๒. 2554**
วัน,เดือน,ปี.....**๒๑ ส.ค. 2554**

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณ 2550

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีคนนำไปใช้

b. 12 286655
i.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องปริมาณกรดฟีนอลิก สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้าน
ปฏิกิริยาออกซิเดชันของเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของมะม่วงพันธุ์ต่างๆ ที่ระดับความสูงต่างกัน ได้รับ
ทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2550 ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณลลิต
ตา สมประสงค์ และคุณณัฐภรณ์ ไม่อ้อมมือ ผู้ช่วยวิจัยที่มีส่วนให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี และ
ขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในการให้บริการมาโดย
ตลอด



ประพันธ์ ปิ่นศิริโรดม
หัวหน้าโครงการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ ปริมาณกรดฟีนอลิก สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของมะม่วงพันธุ์ต่างๆ ที่ระดับความสุกต่างกัน

PHENOLIC ACID, TOTAL PHENOLIC CONTENTS AND ANTIOXIDANT CAPACITIES OF PEEL, FLESH, AND SEED KERNEL OF DIFFERENT VARIETIES OF MANGO AT DIFFERENT RIPENING STAGES

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก เงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2550

จำนวนเงิน 229,600 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม 2550 ถึง กันยายน 2551

บทคัดย่อ

มะม่วง (*Mangifera indica* L., Anacardiaceae) เป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยมบริโภคและมีผลผลิตเป็นอันดับที่ 5 ของผลิตผลผลไม้ทั้งหมดในโลก ในระหว่างกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากมะม่วง เช่น เนื้อมะม่วงบด น้ำมะม่วงเข้มข้น ซอสมะม่วง มะม่วงหั่นชิ้นในน้ำเชื่อม มะม่วงแช่อิ่มอบแห้ง และมะม่วงกวน มีเปลือกและเมล็ดเป็นของเหลือทิ้ง มะม่วงยังเป็นแหล่งของสารพฤษเคมีที่มีสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของมะม่วง 6 สายพันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทย ทั้งผลดิบและผลสุก

จากการวิเคราะห์ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของมะม่วง 6 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์เขียวเสวย น้ำดอกไม้ แรด โชคอนันต์ ฟาลัน และ แก้วดำ ทั้งผลดิบและสุก พบว่าเมล็ดในของมะม่วงทุกสายพันธุ์ทั้งผลดิบและผลสุก มีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงสุด รองลงมาคือเปลือก และเนื้อ โดยมีปริมาณอยู่ในช่วง 27.82 - 66.95, 9.59 - 21.35 และ 0.29 - 0.83 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสดตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าเปลือกของผลมะม่วงสุกจะมีแนวโน้มของปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดมากกว่าในเปลือกของผลมะม่วงดิบ ขณะที่เนื้อ และเมล็ดในของผลมะม่วงสุกจะมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดต่ำกว่าเนื้อและเมล็ดในของผลมะม่วงดิบ สำหรับเนื้อมะม่วงทั้งดิบและสุกที่มีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงสุดและต่ำสุด ได้แก่ มะม่วงพันธุ์แก้วดำ และฟาลัน ตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ ในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงดิบ และสุก 6 สายพันธุ์ ด้วยวิธี HPLC พบกรดคาเฟอิกในทุกส่วนของมะม่วง ส่วนกรดแกลลิกพบเฉพาะในเนื้อเท่านั้น สำหรับกรดพาราควมาริกพบเพียงในเนื้อมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ เมล็ดในมะม่วงเขียวเสวย และเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้เท่านั้น ขณะที่กรดไซนาปิก และกรดเฟอร์ูลิก พบมากในเมล็ดในของมะม่วงทุกสายพันธุ์ อีกทั้งยังพบในเปลือกของมะม่วงพันธุ์ฟาลัน และแก้วดำ โดยในแต่ละสายพันธุ์ และส่วนต่างๆ ของมะม่วง มีชนิดและปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของกรดฟีนอลิกแตกต่างกันไป จากผลการทดลองที่ได้ แสดงให้เห็นว่ามะม่วงเป็นแหล่งของ สารประกอบโพลีฟีนอล และกรดฟีนอลิกที่ดี โดยเฉพาะเปลือกและเมล็ดในของมะม่วงทุกสายพันธุ์

เมล็ดในของมะม่วงทุกสายพันธุ์มีสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงที่สุด รองลงมาคือ เปลือก และ เนื้อ โดยมีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับ 29.67-167.83, 22.11-47.77 และ 0.24-2.07 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรลอกซ์ต่อกรัมตัวอย่างสด ตามลำดับ มีค่าความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกเท่ากับ 28.66-71.59, 8.95-9.51 และ 0.19-0.99 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรลอกซ์ต่อกรัม ตัวอย่างสด ตามลำดับ และมีค่า ความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ 17.48-90.08, 8.96-26.73, และ 0.28-1.61 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรลอกซ์ต่อกรัมตัวอย่างสด ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังพบว่าเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของมะม่วงไซคอนันต์ ทั้งผลดิบและผลสุกจะมีความสามารถในการ ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงที่สุด สำหรับเปลือกและเนื้อมะม่วงสุกทุกสายพันธุ์ จะมีแนวโน้มของ ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงกว่า เปลือก และเนื้อมะม่วงดิบ จากการศึกษาค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้ง 3 วิธีคือ ความสามารถในการ ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก และความสามารถในการทำลาย ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ของสารสกัดจากมะม่วงทุกสายพันธุ์ พบว่ามีความสัมพันธ์ลักษณะแปรผัน ตามในระดับสูง จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ามะม่วง โดยเฉพาะเปลือกและเมล็ดใน เป็นแหล่งของ สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSTRACT

Mango (*Mangifera indica* L., Anacardiaceae) is an important tropical fruit in the world was ranked in the fifth produce of fruit production. After processing of mango products, such as mango puree, mango juice concentrate, mango sauce, mango slices in syrup, dried mango, and mango candy, peel and seed are of major by-products. It has been reported that mangoes are sources of valuable phytochemicals with antioxidant properties. In this study, antioxidant properties of peel, pulp and seed kernel of green and ripe mangos of 6 cultivars were investigated.

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 mango pulps, the highest amount of total polyphenol was observed in Kaew Dum whereas Fah Lan showed the lowest amount. Phenolic acid, as determined by high performance liquid chromatography, which found in all parts of mangoes was caffeic acid. Gallic acid was found 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 the 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.

Mango seed kernel of all cultivars in ripening stages exhibited the highest DPPH scavenging activity, ferric reducing antioxidant potential (FRAP) and H₂O₂ scavenging activity, followed by those observed in peel and pulp. The DPPH scavenging activities of mango peel, pulp and seed kernel were ranged from 29.67-167.83, 22.11-47.77 and 0.24-2.07 mg trolox equivalent/g fresh wt, while FRAP were 28.66-71.59, 8.95-19.51, and 0.19-0.99 mg trolox equivalent/g fresh wt, and H₂O₂ scavenging activity were 17.48-90.08, 8.96-26.73 and 0.28-1.61 mg trolox equivalent/g fresh wt, respectively. In addition, the peel, pulp and seed kernel of green and ripe Chokanan showed the highest antioxidant properties. Peel and pulp of all ripe mango samples tended to possess higher antioxidant capacities compared to those of green mangoes, while green mango seed kernels showed higher antioxidant potentials over the ripe ones. Correlation analysis was used to explore the relationships amongst the

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และห้ามมิให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

three methods used for antioxidant activity measurement, for all mango extracts, the correlation between DPPH, FRAP and H₂O₂ were highly correlated with positive correlation coefficient. The results indicated that mangoes, especially in peel, and seed kernels, can be good sources of antioxidants



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อภาษาไทย	II
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	IV
สารบัญ	VI
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	4
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการทดลอง	27
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	32
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	56
บรรณานุกรม	58
ภาคผนวก	63
ภาคผนวก ก การวัดค่าความเป็นกรดต่าง	64
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด	65
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซ์	67
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น	70
ภาคผนวก จ วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณ โพลีฟีนอลทั้งหมด	71
ภาคผนวก ฉ การวิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกด้วยวิธี HPLC	73
ภาคผนวก ช การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH	78
ภาคผนวก ซ ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก	82
ภาคผนวก ฌ ความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ค่าพารามิเตอร์สีของเปลือก และเนื้อ ของตัวอย่างมะม่วงดิบและสุก	34
4.2 สมบัติทางเคมีของตัวอย่างมะม่วง	36
4.3 ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของ มะม่วงดิบและสุก 6 สายพันธุ์	37
4.4 ชนิดและปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ ในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของ มะม่วงดิบและสุก 6 สายพันธุ์	42
4.5 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก และความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงดิบและสุก 6 สายพันธุ์	53
4.6 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้ง 3 วิธีที่แตกต่างกัน ในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงดิบและสุก 6 สายพันธุ์	54
4.7 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้ง 3 วิธี และ ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดที่แตกต่างกัน ในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงดิบและสุก 6 สายพันธุ์	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างผลมะม่วง	6
2.2 โครงสร้างพื้นฐานและการระบุตำแหน่งคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลของฟลาโวนอยด์	11
2.3 โครงสร้างหลักของฟลาโวนอยด์กลุ่มต่างๆ	12
2.4 โครงสร้างทางเคมีของกรดฟีนอลิก (phenolic acids) (a) อนุพันธ์ของกรดไฮดรอกซีเบน- โซอิก (hydroxybenzoic acids) และ (b) อนุพันธ์ของกรดไฮโดรซินนามิก (hydrocinnamic acids)	13
2.5 โครงสร้างของแซนโทน	19
2.6 โครงสร้างของแมงจีเฟอร์ิน	19
2.7 โครงสร้างของสารในกลุ่มฟลาโวนอลบางชนิด	20
2.8 โครงสร้างพื้นฐานของแอนโทไซยานิน	21
2.9 ปฏิกริยาของ DPPH assay	23
2.10 ปฏิกริยาของการวิเคราะห์สมบัติการต้านออกซิเดชันโดยวิธี FRAP	23
4.1 ลักษณะปรากฏของเปลือกและเนื้อมะม่วงเขียวเสวยดิบและสุก	32
4.2 ลักษณะปรากฏของเปลือกและเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ดิบและสุก	32
4.3 ลักษณะปรากฏของเปลือกและเนื้อมะม่วงแรดดิบและสุก	33
4.4 ลักษณะปรากฏของเปลือกและเนื้อ มะม่วงโชคอนันต์ดิบและสุก	33
4.5 ลักษณะปรากฏของเปลือกและเนื้อมะม่วงฟ้าลั่นดิบและสุก	33
4.6 ลักษณะปรากฏของเปลือกและเนื้อมะม่วงแก้วดำดิบและสุก	33
4.7 ปริมาณ โพลีฟีนอลทั้งหมดของมะม่วงดิบและสุก 6 สายพันธุ์: (a) เปลือก (b) เนื้อ และ (c) เมล็ดใน	38
4.8 โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานกรดฟีนอลิกซึ่งได้จากการตรวจวิเคราะห์โดยวิธี HPLC เมื่อใช้ตัวตรวจวัดยูวี (UV detector) ที่ความยาวคลื่น 300 นาโนเมตร: (1) กรดแกลลิก (2) กรดคาเฟอิก (3) กรดพาราควมาริก (4) กรดไซนาปิก และ (5) กรดเฟอร์ูลิก	40
4.9 ตัวอย่าง โครมาโตแกรมของสารสกัดจากมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ดิบซึ่งได้จากการตรวจ วิเคราะห์โดยวิธี HPLC เมื่อใช้ตัวตรวจวัดยูวี (UV detector) ที่ความยาวคลื่น 300 นาโน เมตร: (a) เปลือก (b) เนื้อ และ (c) เมล็ดใน และ (1) กรดแกลลิก (2) กรดคาเฟอิก (3) กรด พาราควมาริก (4) กรดไซนาปิก และ (5) กรดเฟอร์ูลิก	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระDPPH ของเปลือก (a) เนื้อ (b) และเมล็ดใน (c) ของมะม่วง 6 สายพันธุ์ที่ระดับความสุกต่างกัน	47
4.11 ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก ของเปลือก (a) เนื้อ (b) และเมล็ดใน (c) ของมะม่วง 6 สายพันธุ์ที่ระดับความสุกต่างกัน	49
4.12 ความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ของเปลือก (a) เนื้อ (b) และเมล็ดใน (c) ของมะม่วง 6 สายพันธุ์ที่ระดับความสุกต่างกัน	52



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

การดำเนินชีวิตของคนเราในปัจจุบันต้องเผชิญกับสารเคมีและสารปนเปื้อนในรูปแบบต่างๆ มากมายซึ่งอาจก่อให้เกิดความผิดปกติของร่างกาย เช่นมลพิษจากท่อไอเสียรถยนต์ โรงงาน อุตสาหกรรม หรือกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ มลพิษเหล่านี้คือส่วนหนึ่งที่เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดอนุมูลอิสระ (free radicals) ขึ้นในร่างกาย และก่อให้เกิดอาการเจ็บป่วยและโรคต่างๆ ตามมา เช่น โรคมะเร็ง (cancer) โรคผนังหลอดเลือดแดงแข็งตัว (atherosclerosis) และโรคชรา จากสาเหตุดังกล่าวก่อให้เกิด กระแสความสนใจดูแลสุขภาพและการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพมากขึ้นตามไปด้วย

การรับประทานอาหารเพื่อสุขภาพ คือการรับประทานอาหารให้ครบทั้ง 5 หมู่อย่างหลากหลาย โดยมีไขมันและโคเลสเตอรอลต่ำ รวมทั้งมีเส้นใยอาหารสูงเพื่อเสริมสร้างสุขภาพที่ได้อย่างเหมาะสม ตามความต้องการในแต่ละวันและวัยของแต่ละบุคคล เป็นที่ทราบกันดีว่าผักและผลไม้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพ เพราะเป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยวิตามิน เกลือแร่ ใยอาหาร และเป็นแหล่งของสารพฤกษเคมี (phytochemicals) ที่สำคัญหลายชนิด โดยเฉพาะสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) ซึ่งมีสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (antioxidant) โดยสามารถยับยั้งหรือทำลายอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในเซลล์ เช่น ฟลาโวนอยด์ (flavonoid) และคาเทชิน (catechin) ที่มีความสามารถในการยับยั้งไลโปเปอร์ออกซิเดชัน (lipid peroxidation) และยับยั้งการทำลายดีเอ็นเอเนื่องจากอนุมูลอิสระ ทั้งยังรักษาอาการอักเสบโดยไปหยุดปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล (hydroxyl) ซุปเปอร์-ออกไซด์ (superoxide) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogenperoxide) (Basu และคณะ, 1999) จึงมีส่วนช่วยลดอัตราเสี่ยงของการเกิดโรคเรื้อรังต่างๆ เช่นโรคหัวใจ โรคความดันโลหิตสูง โรคเบาหวาน โรคมะเร็ง และชะลอความชรา เป็นต้น (โอภาและคณะ, 2551)

มะม่วงเป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยมในการบริโภคสดทั้งผลดิบและสุก รวมถึงสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ เช่น น้ำมะม่วง มะม่วงคอง 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) แอนโทไซยานิน (anthocyanins) และสารโพลีฟีนอล (polyphenols) (Ajila และคณะ, 2007) สำหรับสารโพลีฟีนอลที่สำคัญซึ่งพบในเปลือก เนื้อและเมล็ดมะม่วง ได้แก่ แมงจิเฟอริน (mangiferin) กรดแกลลิก (gallic acid) กรดคาเฟอิก (caffeic acid) และแทนนิน (tannin) เป็นต้น (Abdalla และคณะ, 2007; Ribeiro และคณะ,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2008) ในการศึกษาปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดในผลไม้เขตร้อน (tropical fruit) คือ สับปะรด ชมพู 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 ซึ่งสามารถนำมาสกัดสำหรับใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารเสริมสุขภาพ (nutraceuticals) หรือใช้เป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติ (natural antioxidants) ในผลิตภัณฑ์อาหาร แทนสารปรุงแต่งสังเคราะห์ (synthetic food additives) เพื่อป้องกันการเสื่อมเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารอันมีสาเหตุเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันขององค์ประกอบประเภทไขมันในอาหาร ซึ่งทำให้อาหารมีคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสและคุณค่าทางอาหารลดลง (Balasundram และคณะ, 2006) โดยเฉพาะเปลือกและเมล็ดมะม่วงซึ่งพบว่ามีความสามารถใน การต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงกว่าในส่วนที่รับประทานได้ (Ajila และคณะ, 2007; Someya และคณะ, 2002)

จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ามะม่วงมีสาร โพลีฟีนอลและสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันใน ปริมาณสูง ซึ่งเป็นสารที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพในการต้านอนุมูลอิสระที่เป็นสาเหตุของการเกิดโรคต่างๆ หลายชนิด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาเปรียบเทียบปริมาณ โพลีฟีนอลทั้งหมด และกรดฟีนอลิกหลักที่พบ และศึกษาเปรียบเทียบสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในส่วนของเปลือก เนื้อ และเมล็ดใน ของมะม่วงทั้ง 6 สายพันธุ์ ที่ 2 ระดับความสุก คือผลดิบ และ ผลสุก

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด ของเปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงดิบและสุก 6 สายพันธุ์
2. วิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ ในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงดิบและสุก 6 สายพันธุ์
3. เพื่อศึกษาสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของมะม่วงดิบ และสุก 6 สายพันธุ์
4. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างวิธีวิเคราะห์สมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันแต่ละวิธี ของเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของมะม่วงดิบ และสุก

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปริมาณ โพลีฟีนอลทั้งหมด ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ ได้แก่ กรดแกลลิก (gallic acid) กรดคาเฟอิก (caffeic acid) กรดพาราคูมาริก (*p*-coumaric acid) กรดซินนาปิก (sinapic acid) และกรดเฟอร์ูลิก (ferulic acid) และศึกษาความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยวิธีต่างๆ ได้แก่ ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก และความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ของเปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงดิบและสุก 6 สายพันธุ์ คือ เขียวเสวย น้ำดอกไม้ แรด โชคอนันต์ ฟ้างัน และแก้วดำ ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยทำให้ทราบปริมาณ โพลีฟีนอลทั้งหมด กรดฟีนอลิกและทำให้ทราบทิศทางการเปลี่ยนแปลงของความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในเปลือก เนื้อ และเมล็ดใน ของมะม่วงดิบและสุกสายพันธุ์ต่างๆ เพื่อเป็นฐานข้อมูลเชิงเปรียบเทียบเกี่ยวกับปริมาณ โพลีฟีนอลทั้งหมด นอกจากนี้ยังสามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งจากการแปรรูปคือ เปลือกและเมล็ดมะม่วงต่อไป



บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมะม่วง

มะม่วงถือเป็นผลไม้เมืองร้อนที่สำคัญ และให้ผลผลิตมากเป็นอันดับ 5 ของโลก พบในอินเดียมากกว่า 4,000 ปี และแพร่กระจายไปยังภูมิภาคเอเชียใต้ แอฟริกา และอเมริกาใต้ ปัจจุบันปลูกกันอย่างแพร่หลายทั่วไปในเขตร้อนและร้อนชื้น อินเดียเป็นประเทศที่มีการปลูกมากที่สุด ให้ผลผลิตประมาณ 9 ล้านตันต่อพื้นที่ 1 ล้านเฮกตาร์ (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

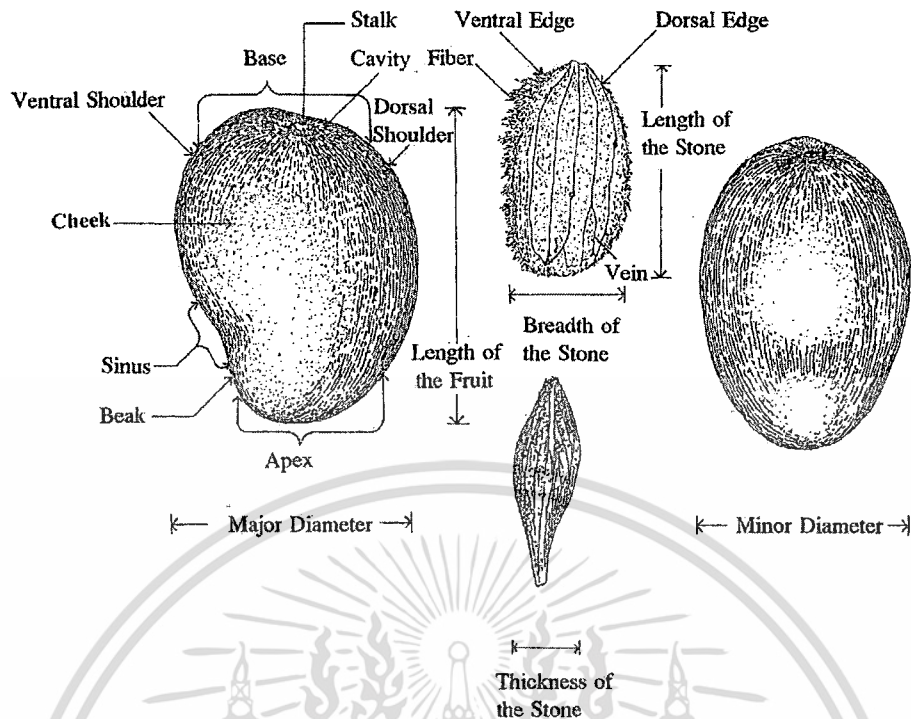
2.1.1 ลักษณะทางพันธุศาสตร์ที่สำคัญของมะม่วง

มะม่วงมีชื่อเรียกทางวิทยาศาสตร์คือ *Mangifera* Linn. อยู่ในวงศ์อนาคาร์ดิอาซีอี (Anacardiaceae) เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ ต้นสูงได้ถึง 45 เมตร ลำต้นตรง เส้นผ่านศูนย์กลางวัดได้ถึง 120 เซนติเมตร เปลือกและลำต้นแข็ง มีลักษณะขรุขระและมีเก็ดมาก เปลือกอ่อนสีเขียวแต่เมื่อแก่จะเปลี่ยนเป็นสีเทาปนน้ำตาล เนื้อไม้เมื่ออายุน้อยจะมีสีเขียว เมื่อแก่มีอายุมากขึ้นจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแกมแดง มีกิ่งก้านสาขาใหญ่และแข็งแรง แผลออกเป็นทรงพุ่มที่แน่นทึบเป็นรูปครึ่งวงกลม รูปไข่ หรือรูปไข่ก่อนข้างยาว ไม่ผลัดใบ อายุยืนมากกว่า 100 ปี ที่พบในประเทศไทยมีหลายชนิด เช่น มะม่วงช้ำยา (*Mangifera duperreana* Pierre.) มะม่วงแป็บ (*M. flave* Evrard.) มะม่วงข้างเหยียบ (*M. aylvatica* Roxb.) มะม่วงป่า (*M. longipetiolata* King.) มะม่วงกะเลง (*M. longipes* Griff.) มะม่วงไขลานหรือกิเลน (*M. cochichinensis* Engl.) มะม่วงป้อม (*M. lagenifera* Griff.) มะม่วงกะล่อน (*M. caloneura* Kurz.) มะม่วงคั้น (*M. quadrifida* Jack.) มะม่วงชัน (*M. gracilipes* Hook. f.) มะม่วงจิ้งหรีด (*M. odorata* Griff.) มะม่วงบาป (*M. camptosperma* Pierre.) เป็นต้น แต่ชนิดที่นิยมปลูกกันอย่างแพร่หลายและเป็นการค้าคือ มะม่วงบ้าน (*Mangifera indica* Linn.) (วิจิตร, 2533)

ใบมะม่วงเป็นใบเดี่ยว เรียงตัวสลับกันทำให้มีลักษณะใบเรียงตัวเป็นเกลียว ใบไม่มีขน ไม่มีหูใบ ผลิใบออกมาเป็นระยะๆ ใบอ่อนมักมีสีออกแดง เมื่อแก่เปลี่ยนเป็นสีเขียวเข้ม ผิวใบเป็นมันก้านใบยาว 1-10 เซนติเมตร แผ่นใบยาว 8-40 เซนติเมตร กว้าง 2-10 เซนติเมตร ใบมีรูปร่างแบบรูปโล่ รูปไข่ และเรียวยาว ฐานใบแคบ และค่อยๆ กว้างออกคล้ายรูปลิ้นแหลม ขอบใบเรียบ ฐานใบมน ปลายใบเรียวแหลม เส้นกลางใบนูนเด่นชัดทั้ง 2 ด้าน ปากใบอยู่ที่ผิวใบทั้งสองด้าน แต่ผิวใบด้านล่างมีจำนวนปากใบมากกว่าผิวใบด้านบน ใบมะม่วงมีอายุประมาณ 1 ปีหรือมากกว่านั้น

ช่อดอกและดอกของมะม่วงจะออกที่ปลายกิ่งหรือตามกิ่ง เป็นแบบช่อแยกแขนง วัดความยาวได้ถึง 10-16 เซนติเมตร ในแต่ละช่อจะมีดอกประมาณ 1,000-6,000 ดอก ก้านช่อดอกมักเจอสีแดง และมีขน 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 ขณะที่ดอกเพศผู้มีมากที่สุดที่โคน และน้อยที่สุดบริเวณปลายช่อ ดอกก่อนบานสีเขียว ขาว และน้ำตาล ดอกเพศผู้มีเกสรเพศผู้ยาว 2 มิลลิเมตรจำนวน 4-5 ก้าน ที่ทำงานได้มีจำนวนเพียง 1-2 ก้านเท่านั้น ที่เหลือจะไม่ทำงาน เกสรตัวผู้มีสีชมพู เมื่อแก่จะเปลี่ยนเป็นสีม่วง เกสรเพศเมียเป็นหมัน คือจะฝ่อไปเองโดยปกติมีเพียง 1 ก้านเท่านั้นที่แข็งแรง ส่วนในดอกสมบูรณ์เพศ หรือดอกเพศเมียจะเห็นรังไข่ชัดเจน มี 1 ช่อ รูปร่างเบี้ยว ไม่มีก้าน ไข่มีจำนวน 1 ฟอง ดอกจะออกประมาณช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ผลจะแก่ภายใน 3-4 เดือนหลังจากดอกบาน

ผลเป็นพวงเนื้อหุ้มเมล็ดแข็ง มีความแตกต่างกันมากในเรื่องของขนาด รูปร่าง สี ปริมาณเส้นใย รสชาติและกลิ่น ความยาวของผลมีตั้งแต่ 2.5-30 เซนติเมตร กว้าง 1.5-10 เซนติเมตร รูปร่างของผลมีตั้งแต่กลมไปจนถึงรูปไข่ก่อนข้างยาว ผลมักจะแบนด้านข้าง รูปร่างของผลอาจแตกต่างกันในส่วนองแก้ม ใหญ่ หลัง ปลาย คางและจะงอย ลูกดิบมีสีเขียว เมื่อสุกเปลี่ยนเป็นสีเหลือง หรือเหลืองส้ม มีเมล็ดภายใน 1 เมล็ด รสชาติมีตั้งแต่หวานและน้ำนํามาก ไปจนถึงเปรี้ยวและค่อนข้างแข็ง กลิ่นมีตั้งแต่กลิ่นอ่อนไปจนถึงกลิ่นรุนแรง ความหนาของเนื้อมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพันธุ์ สำหรับ โครงสร้างของผลมะม่วง แสดงดังรูปที่ 2.1



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 เหมาะสำหรับนำไปใช้ในอุตสาหกรรมผลิตแยม เยลลี่

เมล็ดมะม่วงที่อยู่ถัดจากเปลือกชั้นในเข้าไป มีขนาดแตกต่างกันไปตั้งแต่ขนาดใหญ่ไปจนถึงเกือบ ไม่มีเมล็ดหรือเมล็ดลีบ เปลือกหุ้มเมล็ดมีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น คือ ชั้นนอกและชั้นใน มีใบเลี้ยง 2 ใบ อาหารเลี้ยงชีพจะไม่อยู่ในใบเลี้ยง (เฉลิมชัย, 2539)

มะม่วงสามารถแบ่งตามลักษณะการใช้ประโยชน์เป็น 3 ประเภท ได้แก่ มะม่วงรับประทานสุก เช่น อกร่อง น้ำดอกไม้ หนั่งกลางวัน ทองดำ โชคอนันต์ มหาชนก มะม่วงรับประทานดิบ เช่น เขียวสวย แรด หนองแซง พิมเสนมัน ฟ้ายัน และมะม่วงสำหรับอุตสาหกรรมแปรรูป เช่น แก้ว และสามปี นอกจากนี้ยังสามารถจำแนกเป็นกลุ่มต่างๆ โดยใช้ลักษณะใบและทรงผลเป็นหลัก และลักษณะอื่นๆ เป็นองค์ประกอบ ซึ่งสามารถจำแนกกลุ่มได้เป็น 8 กลุ่ม ดังต่อไปนี้คือ กลุ่มแก้ว กลุ่มเขียวสวย กลุ่มน้ำดอกไม้ กลุ่มหนั่งกลางวัน กลุ่มอกร่อง กลุ่มพราหมณ์ กลุ่มผลกลม และกลุ่มเบ็ดเตล็ด (เกียรติเกษตร, 2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การจำแนกระยะความสุกของมะม่วง

การสุกของผลมะม่วง คือการเปลี่ยนแปลงที่จะเข้าสู่ระยะ Senescence มะม่วงซึ่งเป็นผลไม้ประเภท Climacteric fruit ลักษณะเด่นที่สำคัญของผลไม้ในกลุ่มนี้คือ มีการเปลี่ยนแปลงของอัตราการหายใจเพิ่มมากขึ้นขณะที่ผลมะม่วงเริ่มสุก พบว่ามีลักษณะการเพิ่มขึ้นของการหายใจก่อนที่จะมีการสุก การจำแนกรูปแบบการหายใจของผลมะม่วงแบ่งออกเป็น 4 ระยะ คือ ระยะ Preclimacteric ระยะนี้ฝัวยังคงมีสีเขียวอัตราการผลิtkาร์บอนไดออกไซด์ยังต่ำ ระยะที่สองคือ Climacteric rise ระยะนี้อัตราการผลิtkาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ฝัวยังคงเขียว และเนื้อยังแน่นเช่นกัน ระยะที่สามคือ Climacteric peak เป็นระยะที่อัตราการผลิtkาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงสุด โดยทั่วไปจะใช้เวลาประมาณ 6-10 วันหลังการเก็บเกี่ยว ฝัวยเริ่มเปลี่ยนสี เนื้อผลเริ่มนิ่มและเริ่มมีกลิ่นสุก ระยะสุดท้ายคือ Postclimacteric การผลิtkาร์บอนไดออกไซด์ในระยะนี้จะลดลง สีผิวและกลิ่นพัฒนาเหมาะสมต่อการรับประทาน

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

- 1) ระยะดิบ (Raw) ระยะนี้เนื้อของมะม่วงจะมีสีขาว (greenish white) และส่วนใหญ่จะมีรสขชาติเปรี้ยว
- 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) ระยะสุกอม (Over ripe) ระยะนี้เนื้อมะม่วงมีสีส้ม (Orange) ซึ่งเป็นระยะที่มีความหวานมากที่สุด และเป็นระยะที่มะม่วงใกล้เสื่อมเสีย

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

- 1) สี การเปลี่ยนแปลงสีผิวของผลไม้ส่วนใหญ่เกิดจากการสูญเสียสีเขียว เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ เป็นผลให้คาโรทีนอยด์ที่มีอยู่เดิมปรากฏขึ้น ทำให้เห็นเป็นสีเหลืองชัดเจนขึ้น คาโรทีนอยด์ในผลมะม่วงสุกเป็นเบต้าคาโรทีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรรมการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

3) การสูญเสียน้ำหนัก เกิดมากในช่วงสุกเพราะการคายน้ำมากเนื่องจากช่วงนี้ใบที่อยู่ที่ผิวผลที่ช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำจะเสื่อมสลายไปตามธรรมชาติ (จริงแท้, 2541)

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

2.1.3 ลักษณะประจำพันธุ์ของมะม่วงสายพันธุ์เศรษฐกิจ (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 มีกลิ่นหอมรสหวาน ไม่จัด น้ำน้ำ 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 แต่ความอร่อยอาจสู้เขียวสวยไม่ได้ ต้นเป็นพุ่มปานกลาง ใบเรียวยาวปลายใบแหลม ขนาดผลไล่เลี่ยกับพันธุ์เขียวสวย น้ำหนักต่อผลประมาณ 350 กรัม รูปทรงขอบขนานแกมรี หัวโต ปลายแหลม ด้านหลังผลและท้องผลโค้งนูน เมื่อแก่จัดเนื้อเปราะมาก เพียงเอามีดกดเข้าเนื้อเบาๆ ก็จะร่วงลงไปตลอดผล เป็นลักษณะเด่นประจำพันธุ์ จึงได้ชื่อว่าฟ้าลั่น เปลือกหนา วัดได้ 0.13 เซนติเมตร เมื่อดิบเปลือกสีเขียว เนื้อสีขาวนวล มีรสชาติมันอมเปรี้ยว เมื่อแก่จัดมีเนื้อสีขาวอมเหลือง รสชาติมันกรอบค่อนข้างจัด ผลสุกผิวมีสีเขียวปนเหลือง เนื้อสีเหลือง รสหวานไม่จัดนัก มีเส้นใยเล็กน้อย เนื้อมาก เมล็ดสีส้ม แลมนเล็ก จุดค้อยของพันธุ์นี้คือ ผลมักแตกง่ายเมื่อฝนตก

2.1.3.3 พันธุ์เขียวเสวย

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

2.1.3.4 พันธุ์แรด

เป็นมะม่วงพันธุ์เบาที่ออกดอกตลอดปี เจริญเติบโตเร็ว ผลมีขนาดโตปานกลาง น้ำหนักต่อผลประมาณ 200-280 กรัม ลักษณะของผลค่อนข้างกลม หัวใหญ่อ้วน ปลายผลเรียวเล็กน้อย และมน ผิวผลเป็นคลื่นไม่เรียบ ส่วนมากบริเวณด้านหลังของผลจะปรากฏลักษณะที่เห็นได้เด่นชัดเรียกกันว่า “นอ” หรืออาจจะไม่มีเห็นเป็นเพียงรอยจางๆ เปลือกค่อนข้างหนาและเหนียว ผลดิบมีสีเขียววนวล เนื้อสีขาว ลักษณะเนื้อหยาบกรอบและหนา มีรสอมเปรี้ยวเล็กน้อย มีเสี้ยนค่อนข้างมาก เมื่อผลสุกผิวออกเหลืองเข้ม และอาจจะมีสีส้มแต้มที่บริเวณขั้วผล เนื้อสีเหลือง ละเอียด รสหวานอ่อนๆ มีกลิ่นหอมเล็กน้อย เมล็ดค่อนข้างสั้น มีเนื้อในเมล็ดค่อนข้างเต็ม

2.1.3.5 พันธุ์แก้ว

มะม่วงแก้วเป็นพันธุ์พื้นบ้านของไทยที่รู้จักกันดี แบ่งออกได้ 3 สายพันธุ์ด้วยกัน คือ แก้วขาวหรือแก้วทอง แก้วดำหรือแก้วแดง และแก้วจุก ผลมะม่วงแก้วขาวเมื่อดิบมีสีเหลืองอมเขียวหรือมีสีขาววนวล เมื่อสุกเนื้อผลมีสีจางกว่ามะม่วงแก้วดำ ส่วนแก้วดำผลดิบผิวมีสีเขียวคล้ำ เนื้อผลสุกมีสีส้มแดง สำหรับสายพันธุ์แก้วจุกนั้นมีสีคล้ายๆ ทั้งแก้วขาวและแก้วดำ แตกต่างกันตรงที่ผลมีขนาดโตกว่า และที่หัวมีจุก 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

2.2 สารประกอบฟีนอลิกและกรดฟีนอลิก

2.2.1 สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds)

สารประกอบฟีนอลิก หรือสาร โพลีฟีนอลจัดเป็นสารประกอบทุติยภูมิ (secondary metabolites) ที่พบในผัก ผลไม้และธัญพืชเป็นส่วนใหญ่ โดยทั่วไป โครงสร้างจะประกอบด้วยวงแหวนอะโรมาติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษายเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปยังประชาชนแล้ว การค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาจมีหมู่ไฮดรอกซิล 1 หมู่หรือมากกว่า โครงสร้างพื้นฐานของสารประกอบฟีนอลิกจะอยู่ในรูปของ ไกลโคไซด์ คือสารประกอบ ฟีนอลิกจะจับอยู่กับ โมเลกุลของน้ำตาล ซึ่งอาจเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharide) น้ำตาลโมเลกุลคู่ (disaccharide) หรือ โอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharide) ก็ได้ แต่ น้ำตาลที่พบมากที่สุดได้แก่ กลูโคส (glucose) ส่วนน้ำตาลชนิดอื่นๆ ที่พบได้แก่ กาแลกโตส (galactose) แรมโนส (rhamnose) ไซโรส (xylose) อะราบิโนส (arabinose) และอนุพันธ์ของน้ำตาลเหล่านี้ เช่น กรดกลูโคโรนิก (glucuronic acid) กรดกาแลกทูโรนิก (galacturonic acid) และอื่นๆ นอกจากนี้ ยังอาจมีการรวมตัวกันระหว่างสารประกอบฟีนอลิกกับสารประกอบฟีนอลิกด้วยตัวเอง หรือสารประกอบฟีนอลิกกับสารประกอบอื่นๆ เช่น กรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acids) กรดอินทรีย์ (organic acid) เอมีน (amines) และไขมันอีกด้วย (Bravo, 1998) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่พบในพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกันออกไป นอกจากนี้ในส่วนของเนื้อเยื่อที่ต่างกันของผักและผลไม้ชนิดเดียวกัน ปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกก็ยังแตกต่างกันอีกด้วย เนื่องจากปัจจัยทางด้านพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้องกับการสร้างสารประกอบฟีนอลิกของพืช นอกจากนี้ยังพบว่าวิธีการเพาะปลูก ระดับความสุก กระบวนการแปร-รูป หรือแม้แต่วิธีการเก็บรักษาที่ล้วนมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งสิ้น

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

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

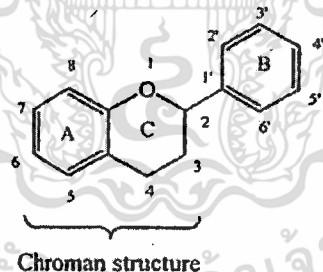
2) รสฝาด รสฝาดของผลไม้หลายๆ ชนิด ขึ้นอยู่กับปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกในผล ช่วงน้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบฟีนอลิกที่ให้ความฝาดนั้นอยู่ในช่วง 500-3,000 ซึ่งสามารถที่จะรวมตัวกับโมเลกุลของโปรตีนในปากทำให้รู้สึกฝาดได้ เมื่อผลไม้แก่จัด (mature) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมักจะลดลง นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลิกยังเกิดการรวมตัวเป็นโมเลกุลใหญ่ (polymerization) และการรวมตัวจะเกิดขึ้นเรื่อยๆ จากโมเลกุลที่ละลายน้ำกลายเป็นโมเลกุลที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งทำให้ความฝาดลดลง รสขมในพืชตระกูลส้มนั้นเป็นผลจากนารินจิน (naringin) ซึ่งพบมากและเป็นสารประกอบฟีนอลิกที่ทำให้รสขมสูง ส่วนรสขมของแตงกวานั้นเกิดจากสารคูเคอ-ไบทาซิน

(cucurbitacin) หรือรสขมซึ่งเกิดจากลิโมนอยด์ (limonoids) ในพวกส้ม ไม่ใช่สารประกอบฟีนอลิกแต่เป็นสารประกอบพวกไตรเตอเพนอยด์ (triterpenoid)

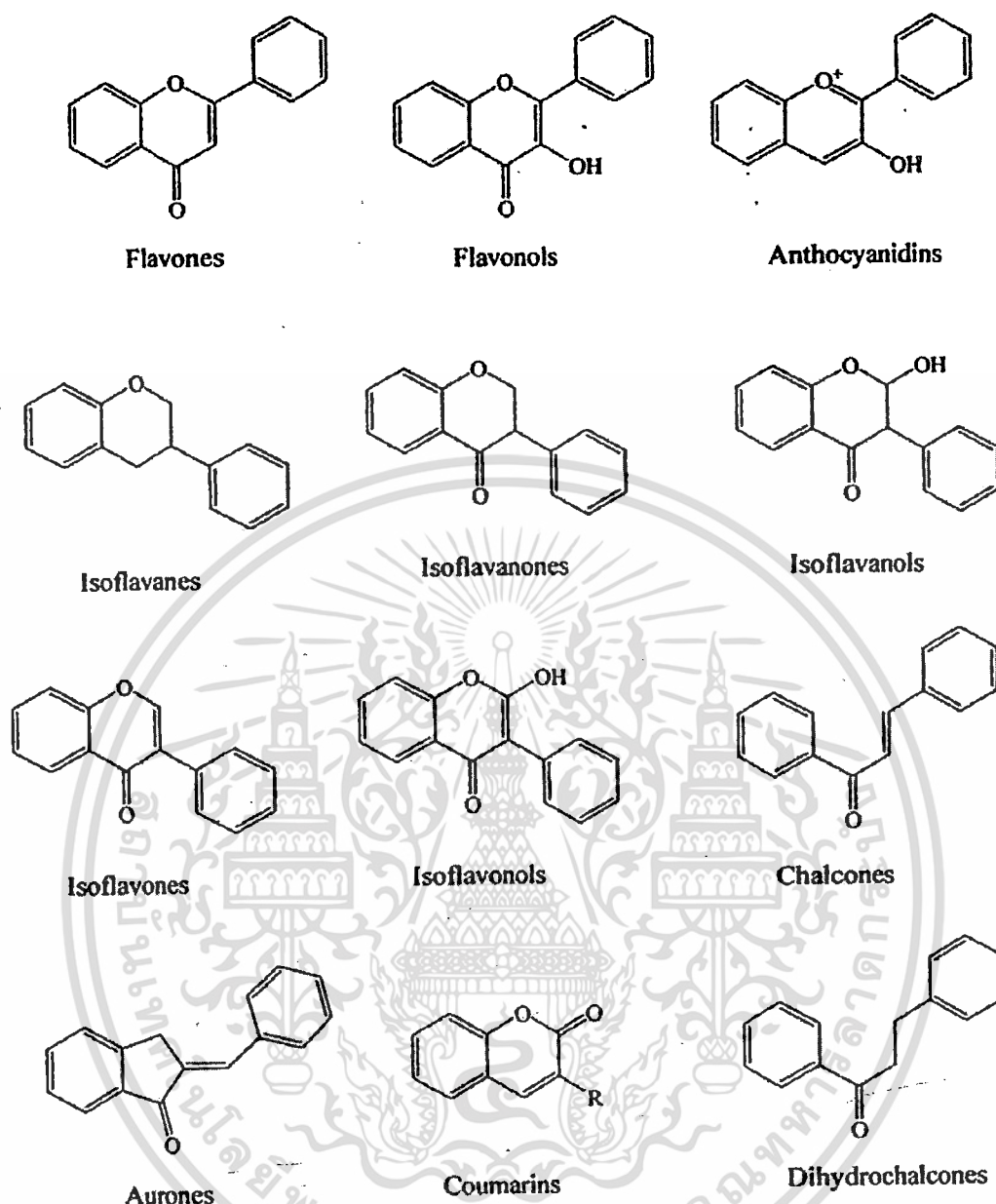
3) สี นอกจากแอนโทไซยานินซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิกชนิดหนึ่งที่ทำให้สีกับผักและผลไม้แล้ว สารประกอบฟีนอลิกอื่นๆ ที่ปกติไม่มีสีอาจทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นได้ เนื่องจากการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase, PPO) ซึ่งเปลี่ยนโมเลกุลของฟีนอลไปเป็นควิโนน (quinone) แล้วเกิดโพลีเมอร์ไรเซชัน (polymerization)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

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

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



รูปที่ 2.2 โครงสร้างพื้นฐานและการระบุตำแหน่งคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลของฟลาโวนอยด์
ที่มา: โอภาและคณะ (2551)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างหลักของฟลาโวนอยด์กลุ่มต่างๆ

ที่มา: โอภาและคณะ (2551)

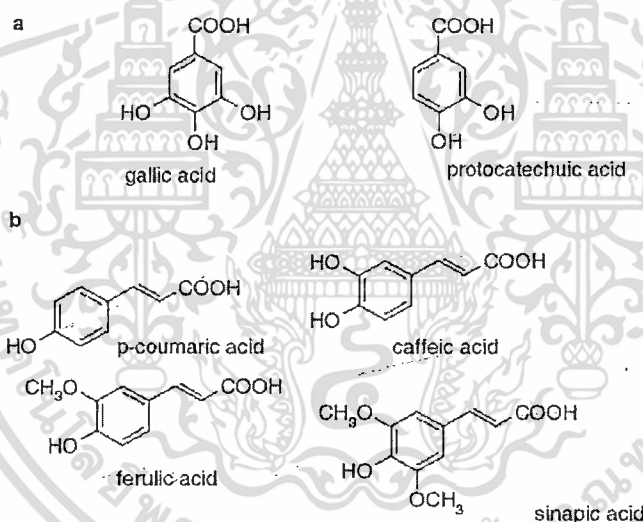
องค์ประกอบสำคัญที่ทำให้ฟลาโวนอยด์แต่ละชนิดมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระแตกต่างกันคือ จำนวนและตำแหน่งของหมู่ OH ใน A- และ B-ring โดยเฉพาะที่ B-ring จะมีผลกระทบมากที่สุด ฟลาโวนอยด์สามารถแบ่งตามโครงสร้างพื้นฐานออกเป็นกลุ่มต่างๆ ได้ 12 กลุ่มย่อย คือ ฟลาโวน (flavone) ไอโซฟลาโวน (isoflavone) ฟลาโวนอล (flavonol) ฟลาวาโนน (flavanone) ฟลาวาโนนอล (flavanonol) ฟลาวานอล (flavanol) ลูโคแอนโทไซยานิน (lucoanthocyanin) แอนโทไซยานิน (anthocyanin) ชาลโคน (chalcone) ไดไฮโดรชาลโคน (dihydrochalcone) ออโรน (aurone) และแซนโทน (xanthone) โครงสร้างแสดงในรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอнопลาโวนอยด์ ที่สำคัญได้แก่ กรดฟีนอลิก (phenolic acid) ตัวอย่างที่พบมากในผลไม้ทั่วไป คือ กรดแกลลิก (gallic acid) กรดโปรโตแคเทคิซิก (protocatechuic acid) กรควานิลลิก (vanillic acid) กรดพาราควมาริก (p-coumaric acid) กรดเฟอรูลิก (ferulic acid) เป็นต้น นอกจากนี้ นอнопลาโวนอยด์ ชนิดอื่นๆ ได้แก่ ไฮดรอกซีซินนามัต (hydroxycinnamate) สติลบินเนส (stibinase) เป็นต้น

2.2.2 กรดฟีนอลิก (Phenolic acids)

กรดฟีนอลิกจัดเป็นสารประกอบฟีนอลิกกลุ่มใหญ่ที่พบมากในพืชที่ใช้เป็นอาหาร สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ กรดฟีนอลิกที่เป็นอนุพันธ์ของกรดไฮโดรเบนโซอิก (hydroxybenzoic acids) ตัวอย่างได้แก่ กรดแกลลิก (gallic acid) กรดโปรโตแคเทคิซิก (protocatechuic acid) เป็นต้น และกรดฟีนอลิกที่เป็นอนุพันธ์ของกรดไฮโดรซินนามิก (hydrocinnamic acids) ได้แก่ กรดพาราควมาริก (p-coumaric acid) กรดคาเฟอิก (caffeic acid) กรดเฟอรูลิก (ferulic acid) เป็นต้น สำหรับโครงสร้างทางเคมีของกรดฟีนอลิกทั้งสองกลุ่มแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของกรดฟีนอลิก (phenolic acids) (a) อนุพันธ์ของกรดไฮดรอกซีเบน-โซอิก (hydroxybenzoic acids) และ (b) อนุพันธ์ของกรดไฮโดรซินนามิก (hydrocinnamic acids)
ที่มา : Balasundram และคณะ (2006)

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารในกลุ่มกรดฟีนอลิกและเอสเทอร์ของกรดฟีนอลิก จะขึ้นอยู่กับจำนวนหมู่แทนที่ไฮดรอกซิลในโมเลกุล สมบัติในการดึงอิเล็กตรอนของหมู่คาร์บอกซิลิก ในกรดเบนโซอิกจะส่งผลให้ความสามารถในการให้ไฮโดรเจนของไฮดรอกซีเบน-โซอิกน้อยลง ดังนั้นจะพบว่าสารกลุ่มไฮดรอกซีซินนามิกจะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่า (โสภาและคณะ, 2550)

กรดฟีนอลิกแต่ละชนิดจะมีสมบัติทางเภสัชวิทยา (pharmacological property) ที่แตกต่างกันออกไป เช่น กรด 4-โพรพอกซีซินนามิก (4-Propoxycinnamic acid) มีสมบัติต้านเชื้อมาลาเรีย (Weisner และคณะ, 2001) กรดแกลลิกและอนุพันธ์มีความสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียทั้งแกรมลบและแกรมบวก (Binutu และ Cordell, 2000) รวมทั้งยังมีสมบัติต้านการอักเสบ และมีความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็ง กรดเฟอร์ริกและกรดคาเฟอิกมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และเชื้อรา (Mehrotra, 1997) กรดซินนามิกและอนุพันธ์ช่วยป้องกันการติดเชื้อจากจุลินทรีย์ก่อโรค และยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *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[•] และ RO[•]



เมื่อสารประกอบฟีนอลิกให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระไปแล้ว อนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกจะค่อนข้างมีเสถียรภาพ ดังนั้นจึงไม่ทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นต่อไป ยิ่งไปกว่านั้น อนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกบางชนิดยังสามารถรวมตัวกับอนุมูลอิสระอื่นได้อีกด้วย จึงทำให้สามารถลดจำนวนอนุมูลอิสระลงได้ 2 เท่า ดังสมการที่ (2.5) และ (2.6) (พิชญ์อร, 2547)

แต่ความสามารถในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกยังขึ้นอยู่กับระบบด้วย ดังนั้นการศึกษาหรือเปรียบเทียบคุณสมบัติดังกล่าวจึงจำเป็นต้องระบุนรายละเอียดของระบบให้ชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสัณฐานที่เป็นเป้าหมายของระบบ นอกจากนี้ยังพบว่าในสภาวะที่มีสารประกอบฟีนอลิกความเข้มข้นสูง ค่าความเป็นกรดต่ำสูง และมีเหล็กอยู่ด้วยนั้น สารประกอบฟีนอลิกอาจเป็นตัวเริ่มต้นของกระบวนการออกซิเดชันเสียเองได้

สารประกอบฟีนอลิกที่พบว่ามีสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันนั้น สามารถพบได้ในส่วนต่างๆ ของพืช เช่น เมล็ด (ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วลิสง เมล็ดฝ้าย มัสตาร์ด ข้าว และ งา) ผล (ได้แก่ องุ่น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส้ม พริกไทยดำ และโอสีฟ) ใบ (ได้แก่ ชา และเครื่องดื่มต่างๆ) และส่วนอื่นๆ (ได้แก่ มันเทศ และหัวหอม) สารประกอบฟีนอลิกที่กำลังได้รับความสนใจอย่างมาก คือ ฟลาโวนอยด์ (ได้แก่ ฟลาโวน ไอโซฟลาโวน ฟลาโวนอล ฟลาวาโนน และ ซาลิโคน) และอนุพันธ์ของกรดไฮโดรซินนามิก (ได้แก่ กรดคาเฟอิก กรเฟอรูลิก กรดคาโลเจนิก และอื่นๆ) โดยจะสามารถพบทั้ง ฟลาโวนอยด์และอนุพันธ์ของกรดไฮโดรซินนามิกได้เกือบทุกส่วนของพืช แต่จะมีความสามารถแตกต่างกันออกไปในด้านของชนิดและปริมาณ (วิวัฒน์, 2545)

2.3.2 การต้านโรคต่างๆ

2.3.2.1 บทบาทต่อโรคมะเร็ง

โรคมะเร็งสามารถเกิดขึ้นได้จากการที่ร่างกายได้รับสารเคมี รังสี หรือไวรัส จากสิ่งแวดล้อม สิ่งแปลกปลอมเหล่านี้จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระดับของดีเอ็นเอส่งผลให้เกิดความผิดปกติของเซลล์และเนื้อเยื่อขึ้นตามลำดับ และมีรายงานว่า สารประกอบฟีนอลบางชนิดมีบทบาททั้งในด้านส่งเสริมและป้องกันมะเร็งได้ โดยกลุ่มที่มีบทบาททั้ง 2 ด้านดังกล่าวนี้ คือสารในกลุ่มของฟีนอล (phenols) และแคตคิอล (catechol) เนื่องจากในสภาพปกติสารดังกล่าวจะเข้าทำปฏิกิริยากับไนโตรที่ ทำให้ไนโตรที่หมดสภาพในการเป็นสารก่อมะเร็ง และส่วนที่เหลือจะถูกเปลี่ยนเป็นควิโนน (quinones) ซึ่งสามารถถูกกำจัดออกจากร่างกายได้ด้วยเอนไซม์กลูตาไทโอน ทรานสเฟอเรส (glutathione transferase) ในกระบวนการทางกำจัดสารเคมีแปลกปลอมที่เข้ามาในร่างกาย (xenobiotic metabolism) แต่หากร่างกายได้รับฟีนอล และแคตคิอลในปริมาณสูงมากจนระบบดังกล่าวไม่สามารถกำจัดได้หมด ควิโนนจะเข้าทำปฏิกิริยากับโปรตีน และก่อให้เกิดอนุมูลอิสระต่างๆ ซึ่งเท่ากับมีผลในการส่งเสริมให้เกิดมะเร็งขึ้นได้ ในขณะที่สารในกลุ่มโพลีฟีนอลจะมีแต่บทบาทในด้านที่เป็นประโยชน์เท่านั้น คือจะทำหน้าที่ในการกำจัดอนุมูลอิสระในไนโตรที่ และโลหะ สำหรับกลไกการลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งของสารประกอบฟีนอลสามารถแบ่งได้หลายลักษณะ เช่น ยับยั้งการเกิดสารก่อมะเร็ง ป้องกันปัจจัยต่างๆ ที่ส่งเสริมให้เกิดโรคมะเร็ง หยุดการเจริญและแพร่กระจายของเซลล์มะเร็ง ลดอัตราเกิดการกลายพันธุ์ของเซลล์ และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย

2.3.2.2 บทบาทต่อโรคหัวใจและหลอดเลือด

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

2.3.2.3 บทบาทต่อโรคต่อกระดูก

โรคต่อกระดูกมีสาเหตุมาจากการเกิดอนุมูลอิสระขึ้นในเลนส์ตา โดยในเลนส์ตามีกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งเข้าทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ง่าย และมีรังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นเอกสารอันเป็นเอกสารที่ส่งอันตรายสูงสำหรับการทำงานเพื่อการศึกษานี้ เมื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวกระตุ้น ดังนั้นสารต้านอนุมูลอิสระจะเข้าทำหน้าที่โดยไปจับกับอนุมูลอิสระ ทำให้อนุมูลอิสระไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาถูกโซ่ต่อไปอีกได้

2.3.2.4 บทบาทต่อการเสื่อมของเซลล์

รังสีอัลตราไวโอเล็ตในแสงแดดเป็นตัวการสำคัญที่กระตุ้นให้เกิดอนุมูลอิสระที่ผิวหนัง และยังทำปฏิกิริยาต่อเซลล์ข้างเคียง ทำให้เซลล์เสื่อมสภาพหรือตายเร็วกว่าปกติ ส่งผลให้ผิวหนังเกิดการเหี่ยวย่น หรือแก่ชราก่อนวัย สารต้านอนุมูลอิสระสามารถป้องกันการเสื่อมของเซลล์ได้ โดยการป้องกันผนังเซลล์ไม่ให้ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจนเกิดเป็นอนุมูลอิสระเข้าทำลายเซลล์ได้ (นวลศรีและอัญญา, 2545)

2.3.3 การต้านจุลินทรีย์

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

2.3.3.1 การออกฤทธิ์ที่ระดับผนังเซลล์

โดยไปยับยั้งการสร้างผนังเซลล์ ทั้งนี้แบคทีเรียและราต่างมีผนังเซลล์ ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่นอกสุดของเซลล์ เป็นชั้นที่แข็งแรง คงทน เพื่อทำหน้าที่ป้องกันสิ่งที่อยู่ภายในเซลล์ ลักษณะโครงสร้างผนังเซลล์ของกลุ่มเชื้อทั้งสองต่างกัน สำหรับแบคทีเรีย ผนังเซลล์เป็นโครงสร้างสำคัญที่ใช้ในการจำแนกชนิดของแบคทีเรียตามลักษณะการติดสีแกรม (gram-stain) และการติดสีแบบ แอซิด ฟาสท์ (acid-fast) การย้อมด้วยวิธีแรกทำให้สามารถแบ่งแบคทีเรียเป็นสองพวก คือ พวกติดสีแกรมบวก และแกรมลบ แบคทีเรียทั้งสองพวกนี้มีโครงสร้างพื้นฐานของผนังเซลล์เป็นแบบเปปติโด-โกลแคน (peptidoglycan) แบคทีเรียแกรมบวกมีส่วนนี้หนามากกว่าแบคทีเรียแกรมลบ แต่พวกแกรมลบมีส่วนของไลโปโพลีแซคคาไรด์ (lipopolysaccharide) หุ้มรอบอีกชั้นหนึ่ง สารต้านจุลิน- ทริยชนิดที่มีกลไกการออกฤทธิ์ยับยั้งการสร้างผนังเซลล์ส่วนใหญ่เป็นพวกที่ยับยั้งการสังเคราะห์ เปปติโด โกลแคน ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของผนังเซลล์ทำให้ผนังเซลล์ไม่แข็งแรง แบคทีเรียแบ่งตัวไม่ได้ ได้แต่ยืดอกออก จึงเกิดรูที่ผนังเซลล์ ทำให้องค์ประกอบภายในเซลล์ไหลออกมาภายนอก และเซลล์แตกในที่สุด

2.3.3.2 การออกฤทธิ์ที่ระดับเยื่อหุ้มเซลล์

เยื่อหุ้มเซลล์เป็นส่วนที่ถัดจากผนังเซลล์เข้ามา หน้าที่ของเยื่อหุ้มเซลล์โดยทั่วไปคือเป็น osmotic barrier ที่ช่วยป้องกันไม่ให้สารต่างๆ เข้าหรือออกจากเซลล์ง่ายเกินไป อีกทั้งมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งอิเล็กตรอน (electron transport) สารต้านจุลินทรีย์จะไปรบกวนหน้าที่ของเยื่อหุ้มเซลล์ นอกจากนี้จะเข้าไปแทรกกระหว่างโปรตีนและไลปิดของเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้เซลล์เกิดการฉีกขาดเป็นผลให้สารในไซโตพลาสซึมไหลออกมาทำให้เซลล์ตาย

2.3.3.3 การออกฤทธิ์ที่ระดับการสังเคราะห์ไอโตพลาสซึม

โดยไปยับยั้งการนำไทมีน (thymine) เข้าไปจับกับนิวคลีโอไทด์ตัวอื่นๆ ทำให้การสร้างดีเอ็นเอไม่สมบูรณ์ และไปยับยั้งการสร้างโปรตีน โดยไปทำให้กรดอะมิโนไม่สามารถต่อกันเป็นโพลีเปปไทด์ได้ จึงไม่สามารถสร้างโปรตีนได้

Cowan (1999) ได้ศึกษาผลของสารประกอบโพลีฟีนอลที่สกัดได้จากพืชชนิดต่างๆ ต่อการยับยั้งแบคทีเรียก่อโรค พบว่าสารประกอบโพลีฟีนอลในพืช ได้แก่ กรดไฮดรอกซีซินนามิก (hydroxycinnamic acid) ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) โปรแอนโทไซยานิน (proanthocyanidins: tannins) แอนโทไซยานิน (anthocyanins) ฟลาโวน (flavons) ฟลาโวนอล (flavonols) มีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียก่อโรค โดยกลไกที่เกี่ยวข้องกับการยับยั้งการทำงานของไฮโดรไลติก เอนไซม์ (hydrolytic enzymes) ได้แก่ โปรติเอส (proteases) และคาร์โบไฮโดรเลส (carbohydrolases) จึงมีผลต่อการทำงานของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในชั้นเยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งส่งผลต่อการเกาะติดของแบคทีเรียก่อโรค ทำให้สถานะการเกาะติดเสียสภาพไป 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) โดยโพลีฟีนอลถูกออกซิไดซ์ในสถานะที่เป็นด่าง การทำให้เกิดปฏิกิริยาเนื่องจากโมลิบดัมไอออน (molybdenum ion) เหมือนกัน โดยสารเคมีของวิธี Folin - Denis ประกอบด้วยโซเดียมทังสเตต (sodiumtungstate) ฟอสโฟโมลิบดิก (phosphomolibdic) กรดออร์โทฟอสฟอริก (orthophosphoric acid) และโซเดียมไบคาร์บอเนต (sodium bicarbonate) ส่วนสารเคมีของวิธี Folin - Ciocalteu ประกอบด้วยโซเดียมทังสเตต โซเดียมโมลิบเดต (sodium molybdate) กรดออร์โทฟอสฟอริก (phosphoric acid) และโซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate) (Friruzi และคณะ, 2005; Blasco และคณะ, 2005) ติดตามการเปลี่ยนแปลงสีจากปฏิกิริยาของไอออน (Mo(VI)) ซึ่งมีสีเหลือง เมื่อได้รับอิเล็กตรอนจากสารต้านออกซิเดชันแล้วจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ (Mo(V)) ที่มีสีน้ำเงิน (Prior และคณะ, 2005) ดังสมการที่ (2.1) และ (2.2)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

2.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกโดย HPLC

โครมาโทกราฟีเป็นเทคนิคในการแยกองค์ประกอบต่างๆ ในของผสมที่อยู่ในภาวะสมดุลระหว่างเฟส 2 เฟสออกจากกัน โดยอาศัยความแตกต่างของการกระจายตัว เทคนิคโครมาโทกราฟีได้นำมาใช้สำหรับการแยก 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) ซึ่งเฟสคงที่สร้างแรงหน่วง (retention force) ต่อสารชนิดต่างๆ ซึ่งจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง ประจุ ความจำเพาะ (specificity) การดูดซับ (adsorption) การละลาย (solubility) ของสาร ดังนั้นความแตกต่างกันของแรงหน่วงจึงทำให้โมเลกุลของสารแต่ละชนิดเคลื่อนที่ออกมาจากคอลัมน์ซึ่งบรรจุเฟสคงที่ในเวลาชะ (retention time) ที่แตกต่างกัน (ชูชาติ, 2544) HPLC เป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการตรวจวิเคราะห์แยกสารผสม สามารถประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์สารต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง ทั้งในอุตสาหกรรมต่างๆ ทางการ แพทย์ และทางวิทยาศาสตร์ เป็นต้น

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) แบบเกรเดียนต์ (gradient) ของสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร (eluent A) และ สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ ต่ออะซิโตนไทร อัตรารส่วน 50:50 โดยปริมาตร (eluent B) อัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่เท่ากับ 1 มิลลิลิตร/นาที่ 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) กรดเฟอร์ูลิก (ferulic acid) กรดคลอโรเจนิค (chlorogenic acid) และกรดซินนามิก (cinnamic acid) ในเนื้อมะม่วงพันธุ์เศรษฐกิจของประเทศอินเดีย

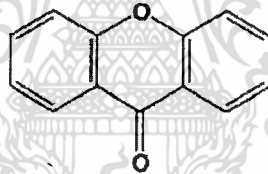
6 สายพันธุ์ โดยใช้คอลัมน์ Luna C-18 เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.6 มิลลิเมตร ยาว 250 มิลลิเมตร ขนาด

อนุภาคที่บรรจุในคอลัมน์ 5 ไมครอน ที่อุณหภูมิ 25 องศา-เซลเซียส เฟสเคลื่อนที่ใช้สภาวะไอโซครติก (isocratic condition) ของเมธานอลต่อ สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.4 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วน 80:20 โดยปริมาตร อัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่เท่ากับ 1 มิลลิลิตร/นาที โดยใช้เครื่องตรวจวัดแบบยูวี ที่ความยาวคลื่น 290 นาโนเมตร

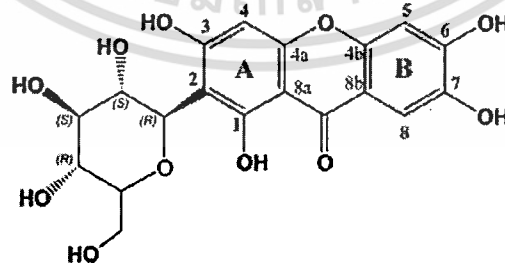
2.5 สารประกอบฟีนอลิกที่พบในมะม่วง

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

2.5.1 สารในกลุ่มแซนโทนไกลโคไซด์ (xanthone C-glycosides) ซึ่งพบว่ามีส่วนประกอบของแมงจิเฟอริน (mangiferin) ไอโซแมงจิเฟอริน (isomangiferin) แมงจิเฟอริน แกลเลต (mangiferin gallate) และ ไอโซแมงจิเฟอริน แกลเลต (isomangiferin gallate) โดยมีปริมาณของแมงจิเฟอรินมากที่สุด (Berardini และคณะ, 2005) โครงสร้างของแซนโทนและแมงจิเฟอรินแสดงในรูปที่ 2.5 และ 2.6

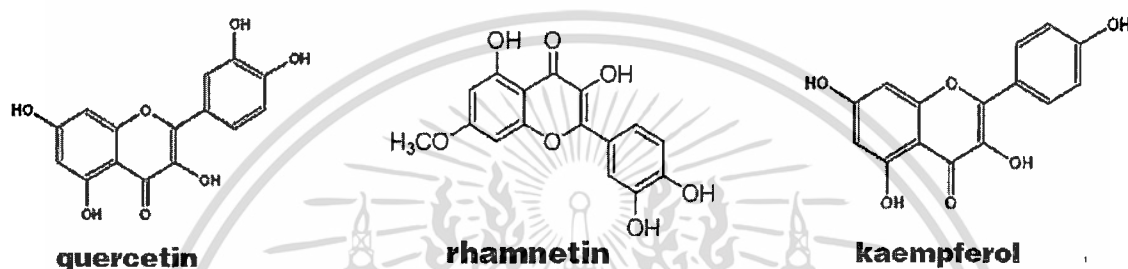


รูปที่ 2.5 โครงสร้างของแซนโทน
ที่มา: ดัดแปลงจาก Masibo และ He (2008)



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของแมงจิเฟอริน
ที่มา: Masibo และ He (2008)

2.5.2 สารในกลุ่มฟลาโวนอลกลัยโคไซด์ (flavonol O-glycosides) ซึ่งพบว่ามีองค์ประกอบของส่วนเคอร์ซีติน กาแลคโตไซด์ (quercetin 3-O-glycosides) เคอร์ซีตินกลูโคไซด์ (quercetin 3-O-glucoside) เคอร์ซีตินไซโลไซด์ (quercetin 3-O-xyloside) เคอร์ซีตินอะราบิโนไพราโนไซด์ (quercetin 3-O-arabinopyranoside) เคอร์ซีตินอะราบิโนฟูราโนไซด์ (quercetin 3-O-arabinofuranoside) เคอร์ซีตินแรมโนไซด์ (quercetin 3-O-rhamnoside) แคมฟีรอลกลูโคไซด์ (kaempferol 3-O-glucoside) แรมเนตินกาแลคโตไซด์/กลูโคไซด์ (rhamnetin 3-O-galactoside /glucoside) และเคอร์ซีติน (quercetin) โดยมีปริมาณของเคอร์ซีตินกาแลคโตไซด์มากที่สุด (Berardini และคณะ, 2005) โครงสร้างของสารกลุ่มฟลาโวนอลบางชนิดแสดงในรูปที่ 2.7

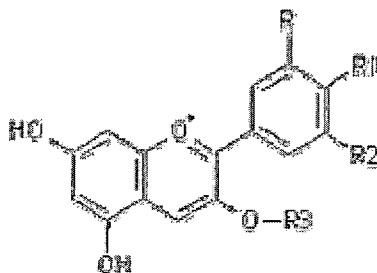


รูปที่ 2.7 โครงสร้างของสารในกลุ่มฟลาโวนอลบางชนิด
ที่มา: ดัดแปลงจาก Masibo และ He (2008)

2.5.3 คาโรทีนอยด์ (Carotenoids) พบว่ามีปริมาณมากในส่วนของเปลือกมะม่วงสุก (Ajila และคณะ, 2007) คาโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุกลุ่มใหญ่ พบอยู่ร่วมกับคลอโรฟิลล์ (chlorophylls) ในคลอโรพลาสต์ (chloroplasts) และโครโมพลาสต์ (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 แอนโทไซยานิน (Anthocyanin) เป็นสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ พบมากในส่วนของเปลือกมะม่วงสุก (Ajila และคณะ, 2007) ซึ่งละลายอยู่ในถุงเซลล์ (cell sap) ให้สีโทนแดง น้ำเงิน หรือม่วง โมเลกุลของแอนโทไซยานินประกอบด้วย แอนโทไซยานิดิน (anthocyanidin) และน้ำตาล 1-2 โมเลกุล ซึ่งน้ำตาลเหล่านี้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ที่อาจมีคาร์บอนในโมเลกุลจำนวน 5 หรือ 6 อะตอมก็ได้ เช่น น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลฟรุคโตส หรือน้ำตาลอะราบิโนส เป็นต้น แอนโทไซยานิดินที่พบมากในธรรมชาติมีเพียง 3 ชนิด คือ ไซยานิดิน (cyanidin) เพลาร์โกนินิดิน (pelargonidin) และเดลฟินิดิน (delphinidin) โครงสร้างพื้นฐานของแอนโทไซยานินมีชื่อเรียกว่า flavylium cation ซึ่งประกอบด้วยวง

แหวน 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 สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Antioxidant)

สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน หมายถึง สารประกอบใดๆ ในระดับความเข้มข้นต่ำเมื่อเทียบกับสารตั้งต้นที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน สามารถชะลอหรือป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ (Willcox และคณะ, 2004) ในที่นี้คือสารที่สามารถยับยั้งและควบคุมอนุมูลอิสระไม่ให้ไปกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (วิลลา และพัชรี, 2542) ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเช่น กระบวนการออกซิเดชันที่ทำให้เหล็กกลายเป็นสนิม ทำให้แอปเปิ้ลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลหรือทำให้น้ำมันพืชเหม็นหืน หรือกระบวนการออกซิเดชันที่เกิดในร่างกาย เช่น มลพิษทางอากาศ การหายใจ ควันบูห์ รังสียูวี ล้วนทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นในร่างกายของเราซึ่งสร้างความเสียหายต่อร่างกายได้ ในความเป็นจริงไม่มีสารประกอบสารใดสารหนึ่งสามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชันได้ทั้งหมด แต่ละกลไกอาจต้องใช้สารต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกันในการหยุดกระบวนการออกซิเดชัน

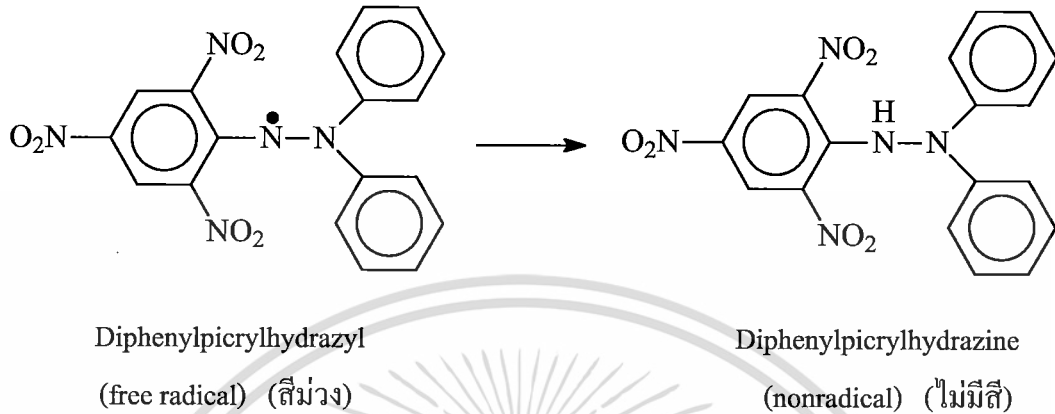
ในอีกแง่มุมหนึ่ง กระบวนการออกซิเดชันเป็นกระบวนการที่สำคัญต่อร่างกาย เช่น เราใช้ออกซิเจนจากอากาศที่หายใจเข้าไปไปเผาผลาญอาหารที่ร่างกายได้รับให้เป็นพลังงานสำหรับการทำงานของเซลล์ต่างๆ แต่ก็ทำให้เกิดอนุมูลอิสระเป็นผลพลอยได้ อนุมูลอิสระต่างๆ ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลที่สำคัญในร่างกาย เช่น ไขมัน โปรตีน ดีเอ็นเอ ทำให้เกิดความเสียหายต่อโมเลกุลดังกล่าว ตัวอย่างเช่น เมื่ออนุมูลอิสระทำปฏิกิริยากับแอลดีแอล (LDL : low - density lipoprotein) ทำให้เกิดออกซิไดซ์แอลดีแอล (oxidized LDL) ซึ่งมีหลักฐานยืนยันว่า ออกซิไดซ์ แอลดีแอล เป็นสาเหตุของการเกิดภาวะหลอดเลือดแดงแข็ง ทำให้เกิดการอุดตันของหลอดเลือดและเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคหัวใจ (ศรีวัฒนา และคณะ, 2548)

สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่พบในธรรมชาติมี 4 ประเภทดังนี้ (Frankel และ Meyer, 2000)

1) สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในกลุ่มของเอนไซม์ที่สร้างได้ในเซลล์ร่างกาย ได้แก่ คาตาเลส(catalase) ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (superoxide dismutase) และ กลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดส (glutathione peroxidase) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Brand-Williams และคณะ, 1995) โดยสารตัวอย่างที่มีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดีจะทำให้สีม่วงจางหายไปมากขึ้น สามารถติดตามประสิทธิภาพการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ได้ โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงได้ดังรูปที่ 2.4

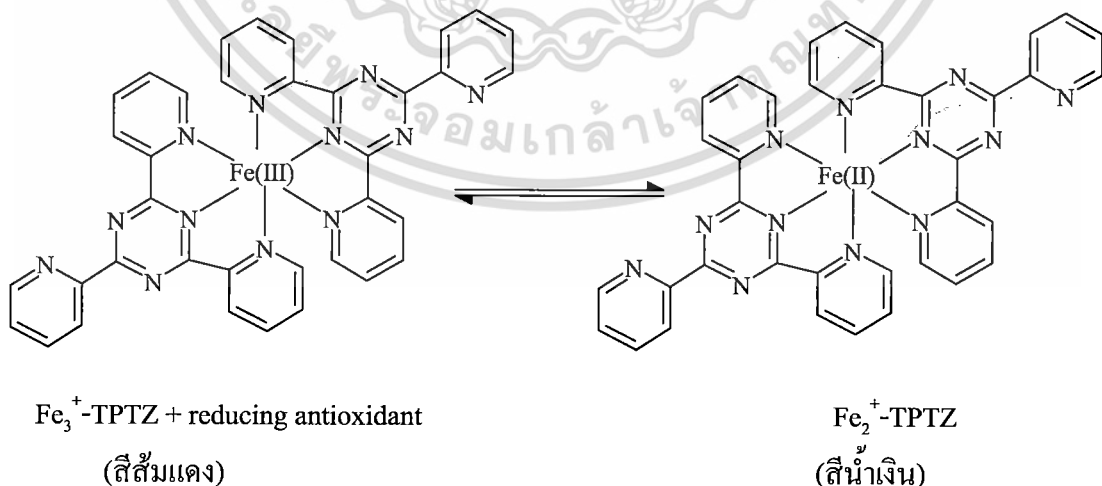


รูปที่ 2.9 ปฏิกิริยาของ DPPH assay

ที่มา: ดัดแปลงจาก Molyneux (2004)

2.7.2 The ferric reducing antioxidant power assay (FRAP)

FRAP เป็นวิธีการทดสอบโดยตรงเพื่อวัดความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันรวมทั้งหมด (total antioxidant power) โดยวัดความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันภายใต้สภาวะความเป็นกรด สารประกอบเชิงซ้อน ferric tripyridyltriazine (Fe^{III} -TPTZ) จะถูกรีดิวซ์ได้เป็น ferrous tripyridyltriazine (Fe^{II} -TPTZ) ซึ่งให้สารสีน้ำเงินและสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงสีนี้โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร (Benzie และ Strain, 1996) ดังปฏิกิริยา ในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.10 ปฏิกิริยาของการวิเคราะห์สมบัตการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยวิธี FRAP

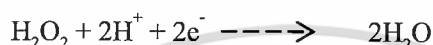
ที่มา: ดัดแปลงจาก Prior และคณะ (2005)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นหากสารใดให้อิเล็กตรอนเพื่อเปลี่ยน Fe^{III} -TPTZ ไปเป็น Fe^{II} -TPTZ ได้ดีก็จะทำให้สารละลายมีค่าการดูดกลืนแสงมาก ซึ่งแสดงว่าสารนั้นมีความสามารถในการต้านออกซิเดนต์โดยการรีดิวซ์ Fe^{3+} ให้เป็น Fe^{2+} ได้ดี

2.7.3 Hydrogen peroxide scavenging assay

การวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) สามารถใช้ในการประเมินความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของตัวอย่างต่ออนุพันธ์ของออกซิเจนที่ไวต่อปฏิกิริยา (Reactive oxygen species, ROS) โดยติดตามปริมาณ H_2O_2 ที่เหลืออยู่ซึ่ง H_2O_2 ดูดกลืนแสงได้ที่ 230 นาโนเมตร ดังสมการต่อไปนี้ (Yen และ Chen, 1995)



ในกรณีสารสกัดที่มีฤทธิ์ในการทำลาย H_2O_2 ได้ดีจะทำให้เกิดการสลายตัวของ H_2O_2 มาก

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี 2004 Singh และคณะ ทำการวิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกในเนื้อมะม่วงพันธุ์เศรษฐกิจของประเทศอินเดีย 6 สายพันธุ์ (Deshi, Langra, Chausa, Mallika, Dashahari และ Amrapali) ทั้งดิบและสุกพบกรดฟีนอลิก 7 ชนิด ได้แก่ กรดแทนนิก กรดแกลลิก กรควานิลลิก กรดคาเฟอิก กรดเฟอร์ูลิก กรดคลอโรเจนิก และกรดซินนามิก โดยพบกรดแทนนิกมากที่สุดปริมาณ 3,550 ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด รองลงมาคือกรดคาเฟอิก และกรดแกลลิกโดยมีปริมาณ 300 และ 230 ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสดตามลำดับ

ในส่วนของเปลือกมะม่วง Beradini และคณะ (2005) พบว่ามีสารประกอบฟีนอลิกหลายชนิด โดยพบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม 4066 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง สารประกอบฟีนอลิก 2 ชนิดหลักที่พบมาก คือ แมงจิเฟอริน (mangiferin) และ เคอร์ซีตินก้าแลคโตไซด์ (quercetin 3-O-glucoside) นอกจากนี้ยังพบแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ประมาณ 203-565 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และระดับความสุก และ Beradini และคณะ (2005) ยังศึกษาความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกมะม่วงพบว่า สารสกัดจากเปลือกมะม่วงมีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงกว่า สารแมงจิเฟอริน และสารเคอร์ซีตินกลูโคไซด์มาตรฐาน แสดงให้เห็นว่าความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันต้องใช้สารประกอบทั้งหมดร่วมกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน

ในปี 2007 Ahmed และคณะ ศึกษาชนิดและปริมาณสารโพลีฟีนอลในเมล็ดมะม่วงที่เหลือทิ้งจากโรงงานทำน้ำมะม่วงในประเทศอียิปต์ พบสาร โพลีฟีนอล 112 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง โดยมีแทนนิน (tannin) 20.7 เปอร์เซ็นต์ วานิลลิน (vanillin) 20.2 เปอร์เซ็นต์ คูมาริน (coumarin) 12.6 เปอร์เซ็นต์ กรดซินนามิก (cinnamic acid) 11.2 เปอร์เซ็นต์ กรดเฟอร์ูลิก (ferulic acid) 10.4 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดคาเฟอิก (caffeic acid) 7.7 เปอร์เซ็นต์ กรดแกลลิก (gallic acid) 6 เปอร์เซ็นต์ และแมงจิเฟอริน 4.2 เปอร์เซ็นต์

Ajila และคณะ (2007a) ศึกษาปริมาณของสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด ปริมาณแคโรทีนอยด์ ปริมาณแอนโทไซยานิน ในมะม่วง 2 สายพันธุ์ คือพันธุ์ Raspuri และ Badami พบว่ามะม่วงดิบทั้ง 2 สายพันธุ์ มีปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกในส่วนของเปลือกสูงกว่ามะม่วงสุก ในขณะที่ปริมาณแคโรทีนอยด์ และปริมาณแอนโทไซยานินในเปลือกมะม่วงสุกมีค่ามากกว่าในเปลือกมะม่วงดิบ นอกจากนี้ยังศึกษาความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยการหาค่า reducing power การต้านอนุมูลอิสระ DPPH การยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน และการยับยั้งเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (lipoxygenase) พบว่า สารสกัดจากเปลือกมะม่วงพันธุ์ Badami มีค่า reducing power สูง ในขณะที่สารสกัดจากเปลือกมะม่วงพันธุ์ Raspuri มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดี นอกจากนี้สารสกัดจากเปลือกมะม่วงสุกมีความสามารถในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้ดี ในขณะที่สารสกัดจากเปลือกมะม่วงดิบมีความสามารถในการยับยั้งเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส และมีความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวได้ดี

Ajila และคณะ (2007b) ศึกษาองค์ประกอบที่มีคุณค่าในเปลือกมะม่วงดิบและสุกของมะม่วง 2 สายพันธุ์ คือ พันธุ์ Raspuri และ Badami พบว่าเปลือกมะม่วงประกอบด้วยองค์ประกอบที่มีความสำคัญคือ สารประกอบฟีนอลิก แคโรทีนอยด์ วิตามินซี วิตามินอี และเส้นใยอาหาร โดยในส่วนของเปลือกมะม่วงดิบทั้ง 2 สายพันธุ์ มีปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าในเปลือกมะม่วงสุก ในขณะที่ปริมาณแคโรทีนอยด์ ปริมาณวิตามินซี ปริมาณวิตามินอี และปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำในเปลือกมะม่วงสุกมีค่ามากกว่าในเปลือกมะม่วงดิบ โดยเปลือกมะม่วงสุกพันธุ์ Badami มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดสูงที่สุด และเปลือกมะม่วงดิบพันธุ์ Raspuri มีปริมาณของใยอาหารทั้งหมดต่ำที่สุด

การทดลองของ Maisuthisakul และ Pasuk (2007) ได้รายงานปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด ในเมล็ดมะม่วงสุกของไทย 11 สายพันธุ์ (แก้ว น้ำดอกไม้ เขียวเสวย พิมเสน โชคอนันต์ แรด ฟาดัน หัวช้าง มั่นเดือนแก้ว อกร่อง และมหาชนก) พบว่าเมล็ดมะม่วงแก้วสุกมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงที่สุด รองลงมาคือเมล็ดมะม่วงโชคอนันต์สุก โดยมีปริมาณคือ 116.98 และ 115.38 มิลลิกรัม แกลลิก/100 กรัม น้ำหนักสดตามลำดับ และเมล็ดมะม่วงมันเดือนแก้วสุก มีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 65.43 มิลลิกรัมแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักสด

Ribeiro และคณะ (2007) ศึกษาปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดในเนื้อมะม่วงสุก 4 สายพันธุ์ (Haden, Tommy Atkins, Palmer และ Ubá) พบว่าปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดในเนื้อมะม่วงสุกทั้ง 4 สายพันธุ์มีความแตกต่างกันอยู่ในช่วง 48.40 (พันธุ์ Haden) ถึง 208.70 มิลลิกรัมแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักสด (พันธุ์ Ubá) ต่อมาในปี 2008 Ribeiro และคณะ ได้ศึกษาปริมาณของสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอล (flavonol) และ แซนโทน ไกลโคไซด์ (xanthone glycoside) ความสามารถในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตให้ถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยการหาค่า reducing power การต้านอนุมูลอิสระ DPPH โดยศึกษาใน เนื้อเปลือก และเมล็ดในของมะม่วงสุก จากบราซิล 4 สายพันธุ์ พบว่าเมล็ดในและเปลือกของมะม่วงสุกพันธุ์ Uba มีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงสุดโดยมีปริมาณ 82,540 และ 57,240 มิลลิกรัม/กิโลกรัม น้ำหนักแห้งหรือมีมากกว่าเนื้อถึง 4.6 และ 7.3 เท่าตามลำดับซึ่งสอดคล้องกับ Soong และ Barlow (2004) ที่ศึกษาปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดในส่วนเนื้อและเมล็ดของมะม่วง พบว่าในส่วนของเมล็ดนั้นมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงกว่าในส่วนของเนื้อมะม่วง ในเนื้อและเปลือกของมะม่วงพันธุ์ Uba พบฟลาโวนอยด์ 12 ชนิด และ แซนโทน ไกลโคไซด์ ในด้านความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน นั้นพบว่า ในเปลือกและ เมล็ดมีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี โดยจากการศึกษาพบว่า มะม่วงพันธุ์ Uba มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุดรองลงมาคือ Tommy atkins, Haden และ Palmer ตามลำดับ ในเนื้อของมะม่วงทั้ง 4 สายพันธุ์ แสดงสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่า ใน BHA และ กรดแกลลิก

พงศธร และคณะ (2551) ได้ศึกษาปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระและการต้านจุลินทรีย์ของสารสกัดจากเปลือกผลไม้ 8 ชนิด ได้แก่ มังคุด มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ กล้วยหอม ทุเรียน ลองกอง มะละกอ ส้ม และสับปะรด พบว่าเปลือกมะม่วง มีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระและการต้านจุลินทรีย์ทั้งหมดสูงกว่าเปลือกผลไม้อื่น ยกเว้นเปลือกมังคุด โดยเปลือกมะม่วงมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด 142.6 ± 7.6 มิลลิกรัมแกลลิก /100กรัม น้ำหนักแห้ง

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการทดลอง

3.1 วัสดุอุปกรณ์

3.1.1 วัตถุดิบ

มะม่วง 6 สายพันธุ์ ได้แก่ เขียวเสวย น้ำดอกไม้ แรด โชคอนันต์ ฟ้าลั่น และ แก้วคำ ซึ่งจากตลาดไท 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	เม็กซิโก
- ตู้อบลมร้อน	Memmert UM 400	เยอรมัน
- ออโต้ปีเปต	Gilson	ฝรั่งเศส
- เครื่อง HPLC	Agilent 1100	อเมริกา
- อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath)	Memmert	เยอรมัน
- เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge)	Allegra 64 R	อเมริกา

3.1.3 สารเคมี

- เอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์	Lab-Scan	ไอร์แลนด์
- Folin-Ciocalteu reagent	BDH	อังกฤษ
- โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)	Merck	เยอรมัน
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH)	Sigma	เยอรมัน
- โพแทสเซียม ฟาทาเลต (Potassium phthalate, $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$)	Sigma	เยอรมัน
- เมทานอล	Lab-Scan	ไอร์แลนด์
- กรดซिटริก	Lab-Scan	ไอร์แลนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กรดแกลลิก (Gallic acid)	Sigma	เยอรมัน
- กรดคาเฟอิก (Caffeic acid)	Sigma	เยอรมัน
- กรดพาราความาริก (<i>p</i> -coumaric acid)	Sigma	เยอรมัน
- กรดซินนาปิก (sinapic acid)	Sigma	เยอรมัน
- กรดเฟอร์ูลิก (ferulic acid)	Sigma	เยอรมัน
- อะซิโตไนไตร (Acetonitrile)	Lab-Scan	ไอร์แลนด์
- น้ำ HPLC grade	Lab-Scan	ไอร์แลนด์
- กรดไฮโดรคลอริก (HCl)	Merck	เยอรมัน
- 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical (DPPH)	Sigma	เยอรมัน
- โทรลอกซ์ (Torlox)	Aldrich	เยอรมัน
- Sodium dihydrogen phosphate monohydrate ($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	Merck	เยอรมัน
- Disodium hydrogen phosphate heptahydrate ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	Merck	เยอรมัน
- เฟอร์ริก คลอไรด์ ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	Aldrich	เยอรมัน
- กรดอะซิติก (CH_3COOH)	Merck	เยอรมัน
- 2,4,6-tripyridyl-s-triazine (TPTZ)	Sigma	เยอรมัน

3.2 วิธีดำเนินการทดลอง

3.2.1 การเตรียมตัวอย่าง

มะม่วง 6 สายพันธุ์ ได้แก่ เขียวเสวย น้ำดอกไม้ แรด โชคอนันต์ ฟ้าถัน และ แก้วดำ ซึ่งจากตลาดไท และตลาดสี่มุมเมือง จังหวัดปทุมธานี โดยเลือกผลแก่จัดที่มีเปลือกสีเขียวทั้งผลและเนื้อในยังไม่สุก นำมาแบ่งเป็น 2 กลุ่ม โดยใช้เกณฑ์พิจารณาตามการจำแนกระยะการสุกของมะม่วง ของกรมส่งเสริมอุตสาหกรรมเกษตร คือ

กลุ่มที่ 1 ใช้ระยะดิบ นำมาล้างให้สะอาด ถ่ายรูป วัสดุเปลือกและเนื้อ จากนั้นแยกส่วน เปลือกเนื้อ และเมล็ด ไปแช่แข็งที่ -70 องศาเซลเซียสก่อนจะนำมาทดลองต่อไป

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

3.2.2 การวัดสีด้วยเครื่องวัดสี

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

3.2.3 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของตัวอย่างมะม่วง

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

- วิเคราะห์ค่าความเป็นกรดต่างด้วย pH meter รายละเอียดวิธีวิเคราะห์ดูได้จากภาคผนวก ก
- วิเคราะห์ความเป็นกรดทั้งหมด (AOAC, 2000) รายละเอียดวิธีวิเคราะห์ดูได้จากภาคผนวก ข
- วิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในตัวอย่างน้ำที่บีบคั้นได้จากเนื้อมะม่วง โดยใช้ hand refractrometer
- วิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซ์โดย DNS method ใช้วิธีซึ่งรายงาน โดย Neilson (1998) รายละเอียดวิธีวิเคราะห์ดูได้จากภาคผนวก ค
- วิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 1990) รายละเอียดวิธีวิเคราะห์ดูได้จากภาคผนวก ง

3.2.4 การศึกษาปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดของเปลือก เนื้อและเมล็ดในมะม่วงดิบและสุก

3.2.4.1 การเตรียมสารสกัดจากตัวอย่างมะม่วง

การเตรียมสารสกัดจากตัวอย่างมะม่วง ทำโดยการนำเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของมะม่วง ปริมาณ 1, 20 และ 0.5 กรัม ตามลำดับ มาผสมกับเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ 100 มิลลิลิตร บดให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้ที่ความเร็วสูงสุด เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โดยใช้อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้กระจกนาฬิกาปิด คนทุก 10 นาที นำสารสกัดที่ได้มากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดต่อไป

3.2.4.2 วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด (total polyphenol contents)

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

3.2.5 การศึกษาปริมาณกรดฟีนอลิกในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงดิบและสุก

3.2.5.1 การเตรียมสารสกัดจากตัวอย่างมะม่วง

การเตรียมสารสกัดจากตัวอย่างมะม่วง เพื่อใช้วิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ โดยวิธี HPLC จะใช้วิธีที่ดัดแปลงจาก Singh และคณะ (2004) โดยหั่นเปลือก เนื้อและเมล็ดในมะม่วง ตัวอย่างละ 2 กรัม แยกแต่ละส่วนบดผสมกับเมทานอลปริมาตร 10 มิลลิลิตร จนละเอียดด้วยโกร่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่จะขอสงวนสิทธิ์ในการตีพิมพ์ ไม่ว่าการตีพิมพ์อื่นใดอีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(motar) เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที นำสารสกัดที่ได้มากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ส่วนใสที่ได้นำมาระเหยเมธานอลด้วยก๊าซไนโตรเจน จนเหลือปริมาตร 1 มิลลิลิตร กรองสารสกัดผ่านเมมเบรนที่มีขนาด 0.22 ไมครอน ก่อนนำมาวิเคราะห์

3.2.5.2 การวิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ ในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงดิบและสุก

วิเคราะห์ปริมาณกรดแกลลิก (gallic acid) กรดคาเฟอิก (caffeic acid) กรดพาราควมาริก (*p*-coumaric acid) กรดซินนาปิก (sinapic acid) และกรดเฟอร์ูลิก (ferulic acid) ในส่วน เปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วง ด้วยเครื่อง HPLC (Agilent 1100) โดยใช้เครื่องตรวจวัดแบบยูวี (UV detector) ที่ความยาวคลื่น 300 นาโนเมตร ในการวิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ จะต้องสร้างกราฟมาตรฐานของกรดฟีนอลิกแต่ละชนิด รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์หาคูได้จากภาคผนวก จ

3.2.6 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน

3.2.6.1 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 เบอร์ 4 ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตรด้วยเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ เพื่อนำไปวิเคราะห์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อไป

2.6.2 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระตัวอย่างส่วนต่างๆของมะม่วง จะใช้วิธี DPPH method ซึ่งรายงานโดย Murakami และคณะ (2004) วิธีการวิเคราะห์ทำโดยปีเปตสารสกัดที่ได้ในข้อ 8.3 มา 0.07 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองปรับปริมาตรด้วยเอธานอล 95% ให้ปริมาตรรวมเป็น 5.4 มิลลิลิตร เติมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.8 มิลลิโมลาร์ (ซึ่ง DPPH 0.0316 กรัม ละลายในเอธานอล 95% ปรับให้เป็น 100 มิลลิลิตร) ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร ลงไปผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร และเตรียมปฏิกิริยาควบคุมโดยปีเปตเอธานอล 95% แทนตัวอย่างสารสกัด จำนวนเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ตามสมการต่อไปนี้

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

โดยที่ A_{sample} = ค่าการดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาของตัวอย่างสารสกัด

A_{control} = ค่าการดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH จะรายงานในหน่วยของมิลลิกรัมสมมูลย์ของ โทรลอกซ์ต่อกรัมตัวอย่างสด โดยใช้กราฟมาตรฐานของโทรลอกซ์รายละเอียดการวิเคราะห์หาค่าได้จาก ภาคผนวก ข

3.2.6.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก

การวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก จะใช้วิธีที่ดัดแปลงจาก Benzie และคณะ (1999) โดยปีเปตสารสกัดที่ได้ในข้อ 3.2.4.1 มา 0.1 มิลลิลิตร เติมสารละลาย FRAP reagent (เตรียมโดยใช้อะซิเตต บัฟเฟอร์ pH 3.6 ความเข้มข้น 3 มิลลิโมลาร์ ผสมกับ TPTZ ความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ และ $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ ในอัตราส่วน 5:1:1) ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 8 นาที นำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร และคำนวณหาค่าความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของตัวอย่าง ในหน่วยของมิลลิกรัมสมมูลย์ของโทรลอกซ์ต่อกรัมตัวอย่างสด โดยใช้กราฟมาตรฐานของโทรลอกซ์ รายละเอียดการวิเคราะห์หาค่าได้จากภาคผนวก ข

3.2.6.4 การวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

การวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) จะวิเคราะห์ตามวิธีที่รายงานโดย Yen และ Chen (1995) โดยปีเปตสารสกัดที่ได้ในข้อ 3.2.4.1 มา 0.1 มิลลิลิตร เติมสารละลาย H_2O_2 ความเข้มข้น 90 มิลลิโมลาร์ ที่ละลายในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.4 ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตรผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที นำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 230 นาโนเมตร และคำนวณหาค่าความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ของตัวอย่าง ในหน่วยของมิลลิกรัมสมมูลย์ของโทรลอกซ์ต่อกรัมตัวอย่างสด โดยใช้กราฟมาตรฐานของโทรลอกซ์ รายละเอียดการวิเคราะห์หาค่าได้จากภาคผนวก ฉ

3.2.7 การหาความสัมพันธ์ของสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันแต่ละวิธีของเปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงดิบและสุก 6 สายพันธุ์

วิเคราะห์ทางสถิติโดยหาความแตกต่างของสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของตัวอย่างมะม่วงแต่ละชนิด โดยใช้แผนการทดลองแบบ Completely Block Design (CBD) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ของวิธีวิเคราะห์สมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันแต่ละวิธี รายละเอียดการวิเคราะห์หาค่าได้จากภาคผนวก ฉ

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี และลักษณะทางกายภาพของมะม่วงดิบ และสุก 6 สายพันธุ์

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และลักษณะทางกายภาพบางประการของเนื้อมะม่วง และการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกและเนื้อมะม่วง ที่นำมาใช้ในการทดลอง โดยวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณกรดทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์กรดซิตริก) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยวิธี DNS ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (องศาบริกซ์) และสีของเปลือกและเนื้อของมะม่วงสายพันธุ์ต่างๆ 6 สายพันธุ์ เพื่อให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของมะม่วงจากมะม่วงดิบเป็นมะม่วงสุก โดยใช้เกณฑ์ในการจำแนกระยะการสุกของมะม่วงซึ่งรายงานโดย กรมส่งเสริมอุตสาหกรรมเกษตร (2544) โดยมะม่วงดิบ จะใช้มะม่วงในระยะดิบ (raw) เนื้อมะม่วงจะยังมีสีเขียวอมเขียวอ่อนๆ และมะม่วงสุกจะใช้มะม่วงในระยะสุกเต็ม (fully ripe) ซึ่งระยะนี้เนื้อจะมีสีเหลือง-ส้ม และมีกลิ่นหอมมากขึ้น

ลักษณะปรากฏของตัวอย่างมะม่วงดิบและสุก 6 สายพันธุ์ ได้แก่ เขียวเสวย น้ำดอกไม้ แรด โชคอนันต์ ฟาลัน และแก้วดำ แสดงดังรูปที่ 4.1-4.6 สำหรับการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกและเนื้อของมะม่วงจากระยะดิบไปเป็นระยะสุกเต็มที่ที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีทำให้เกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ เป็นผลให้สีเหลืองของสารในกลุ่มคาโรทีนอยด์ปรากฏให้เห็นเด่นชัดขึ้น

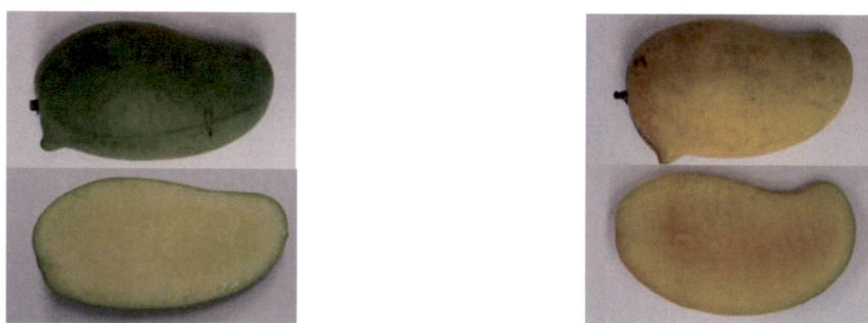


รูปที่ 4.1 ลักษณะปรากฏของเปลือกและเนื้อมะม่วงเขียวเสวยดิบและสุก



รูปที่ 4.2 ลักษณะปรากฏของเปลือกและเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ดิบและสุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ลักษณะปรากฏของเปลือกและเนื้อมะม่วงเรดคิบและสุก



รูปที่ 4.4 ลักษณะปรากฏของเปลือกและเนื้อ มะม่วง โทคอนันต์คิบและสุก



รูปที่ 4.5 ลักษณะปรากฏของเปลือกและเนื้อมะม่วงฟ้าต้นคิบและสุก



รูปที่ 4.6 ลักษณะปรากฏของเปลือกและเนื้อมะม่วงแก้วดำคิบและสุก

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
โศคนันต์	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

สำหรับการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกและเนื้อมะม่วงแสดงในตารางที่ 4.1 โดยรายงานผลการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกและเนื้อมะม่วงด้วยค่า L*, a* และ b* จะเห็นได้ว่าเมื่อมะม่วงสุกค่าความสว่าง (ค่า L*) ของเปลือกมีค่าเพิ่มขึ้น ขณะที่ค่าความสว่างของส่วนเนื้อมีค่าลดลง สำหรับค่า a* เมื่อมีค่าเป็นลบคือสีเขียว หากเป็นบวกคือสีแดง และค่า b* เมื่อมีค่าเป็นลบคือสีน้ำเงิน หากเป็นบวกคือสีเหลือง จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าในตัวอย่างมะม่วงนั้นค่า a^* จะมีค่าติดลบน้อยลงจนถึงมีค่าเป็นบวกเมื่อมะม่วงสุก ส่วน ค่า b^* จะเพิ่มขึ้นทั้งในส่วนเปลือกและเนื้อของมะม่วง แสดงว่าเมื่อมะม่วงสุกทั้งเปลือกและเนื้อมีสีเขียวลดลงและมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะปรากฏที่สังเกตได้ด้วยตา

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 ในขณะที่เดียวกัน ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในรูปของกลูโคส มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมะม่วงสุก โดยปริมาณของแข็งที่ละลายได้เฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 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 โพรโตเพคติน (protopectin) ซึ่งไม่ละลายน้ำ เปลี่ยนเป็นเพคตินที่ละลายน้ำได้ เป็นผลให้เนื้อมะม่วงมีลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่มขึ้น (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

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางเคมีของตัวอย่างมะม่วง

สมบัติทางเคมีของตัวอย่างมะม่วง	ระดับความสุก	สายพันธุ์						
		เขียวสวย	น้ำดอกไม้	แรด	โศคนันต์	ฟ้าต้น	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

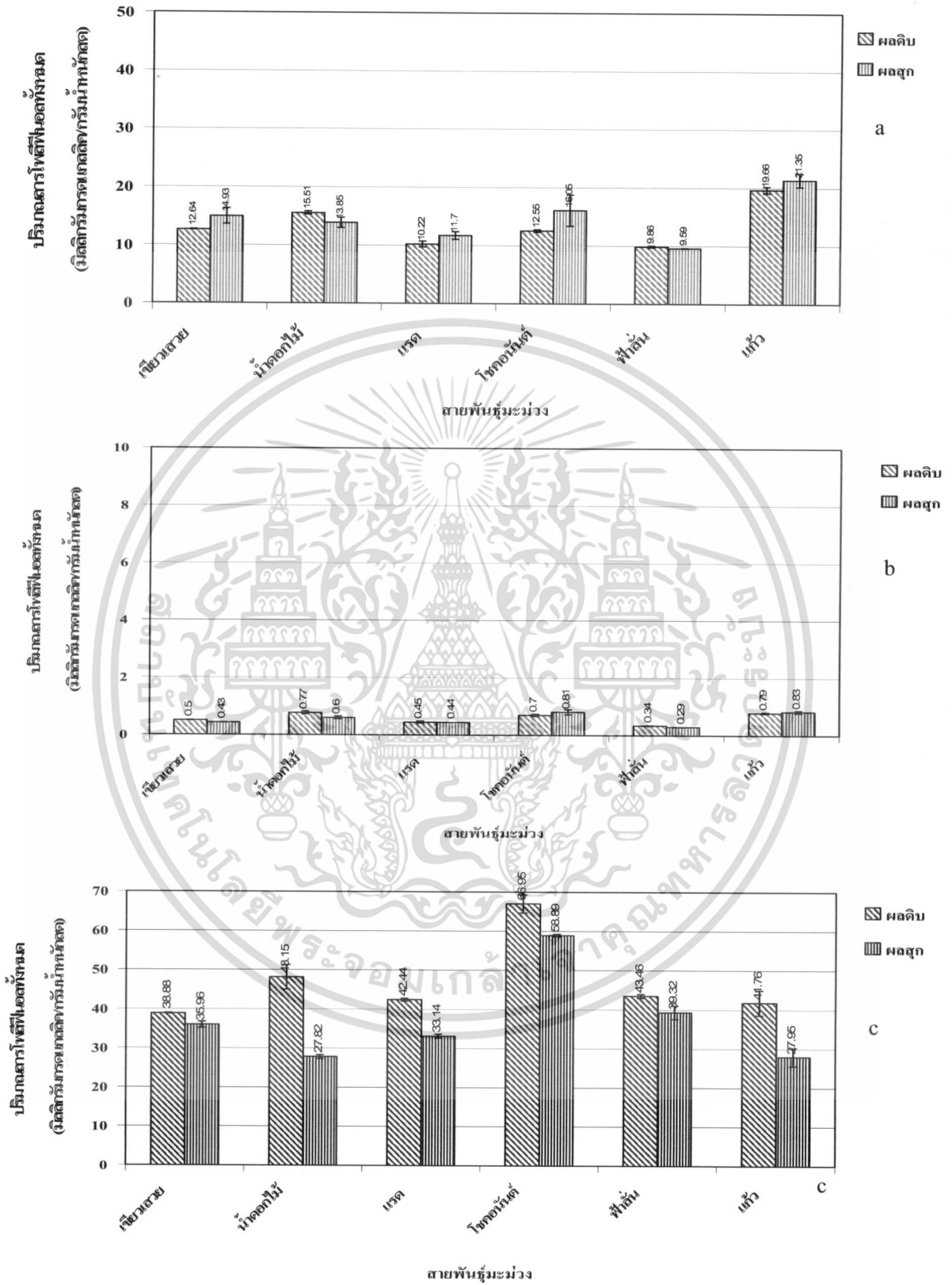
4.2 การวิเคราะห์ปริมาณโพสไฟฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของมะม่วงดิบและสุก

จากการวิเคราะห์ปริมาณโพสไฟฟีนอลทั้งหมดในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของมะม่วงดิบและสุก 6 สายพันธุ์ คำนวณหาปริมาณโพสไฟฟีนอลทั้งหมดโดยใช้กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก และรายงานในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักสด ได้ผลดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.7

ตารางที่ 4.3 ปริมาณ โพสไฟฟีนอลทั้งหมดในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของ มะม่วงดิบและสุก 6 สายพันธุ์

สายพันธุ์มะม่วง	ปริมาณ โพสไฟฟีนอลทั้งหมด (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



รูปที่ 4.7 ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดของมะม่วงดิบและสุก 6 สายพันธุ์: (a) เปลือก (b) เนื้อ และ (c) เมล็ดใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าเปลือก เนื้อ และเมล็ดมะม่วงทั้ง 6 สายพันธุ์ มีปริมาณโพลียีนอลทั้งหมดแตกต่างกัน โดยเมล็ดมะม่วงดิบและสุกทุกสายพันธุ์มีปริมาณ โพลียีนอลทั้งหมดสูงสุด รองลงมาคือเปลือกและเนื้อ โดยมีปริมาณโพลียีนอลทั้งหมดอยู่ในช่วง 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

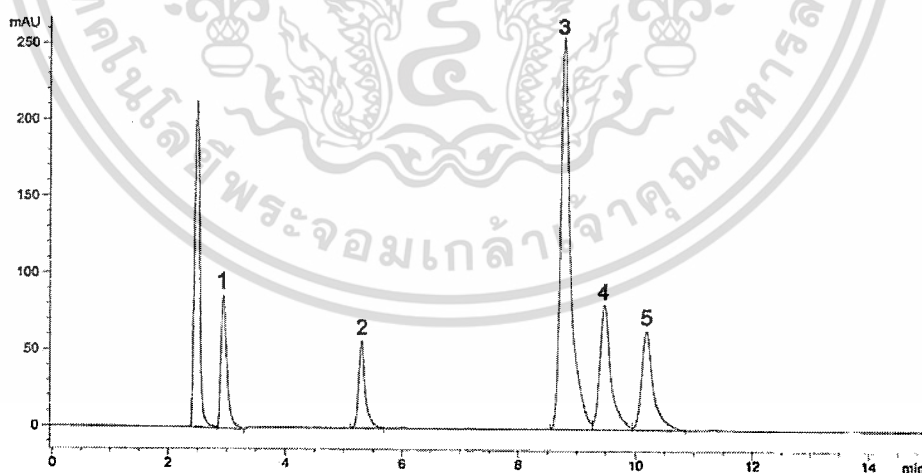
จากข้อมูลการทดลองที่ได้ยังพบว่าเปลือกและเนื้อมะม่วงแก้วสุกมีปริมาณโพลียีนอลทั้งหมดสูงสุด ขณะที่มะม่วงฟ้าลั่นสุกมีปริมาณ โพลียีนอลต่ำสุดทั้งในเปลือกและเนื้อ การทดลองของ Maisuthisakul และ Pasuk (2007) ได้รายงานปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดในเมล็ดมะม่วงสุกของไทย 11 สายพันธุ์ คือ แก้ว น้ำดอกไม้ เขียวสวย พิมเสน โชคอนันต์ แรด ฟ้าลั่น หัวช้าง มั่นเดือนแก้ว อกร่อง และมหาชน โดยพบว่าเมล็ดมะม่วงแก้วสุกมีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่าเมล็ดมะม่วงโชคอนันต์สุก และเมล็ดมะม่วงน้ำดอกไม้สุกก็มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่าเมล็ดมะม่วงเขียวสวยสุก 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 ที่ระบุว่าปริมาณโพลียีนอลทั้งหมดในเมล็ดมะม่วงโชคอนันต์สุกนั้นมีปริมาณมากที่สุด และเมล็ดมะม่วงน้ำดอกไม้สุกมีปริมาณ โพลียีนอลทั้งหมดต่ำสุด ความแตกต่างที่เกิดขึ้นอาจมีผลมาจากวิธีวิเคราะห์ โดยเฉพาะขั้นตอนการสกัดแตกต่างกัน ซึ่งในการทดลองของ Maisuthisakul และ Pasuk (2007) ใช้การสกัดแบบเย็นคือ ใช้การแช่ยาในที่มีดเป็นเวลา 4 ชั่วโมงครั้ง แต่การทดลองนี้ใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงในการสกัด อีกทั้งปริมาณโพลียีนอลทั้งหมดที่ต่างกันอาจเกิดจากแหล่งของตัวอย่างมะม่วง สภาพแวดล้อมในการเพาะปลูก สารอาหารในดิน รวมถึงระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน เป็นต้น

จากรูปที่ 4.7 เปรียบเทียบของปริมาณโพลียีนอลทั้งหมดโดยน้ำหนักสด ของมะม่วงดิบและมะม่วงสุก 6 สายพันธุ์ จะเห็นได้ว่ามะม่วงต่างสายพันธุ์กัน มีปริมาณ โพลียีนอลทั้งหมดแตกต่างกัน ในรูปที่ 4.7(ก) ในส่วนของเปลือกมะม่วงดิบ พบว่าเปลือกมะม่วงแก้วดำมีปริมาณ โพลียีนอลสูงสุด รองลงมา คือ เปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้ เขียวสวย โชคอนันต์ แรด และฟ้าลั่น ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับนภชลัช (2549) ที่วิเคราะห์ปริมาณโพลียีนอลทั้งหมด ในเปลือกมะม่วงดิบ 4 สายพันธุ์ ได้รายงานว่าเปลือกมะม่วงแก้วมีปริมาณโพลียีนอลสูงสุด รองลงมา คือ เปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้ เขียวสวย และฟ้าลั่น ตามลำดับ ปริมาณโพลียีนอลทั้งหมดในเปลือกมะม่วงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมะม่วงสุก ยกเว้นในบางสายพันธุ์ คือ น้ำดอกไม้ และฟ้าลั่น ที่เมื่อสุกจะมีปริมาณลดลงเล็กน้อย ซึ่งคล้ายคลึงกับการทดลองของ Ajila และคณะ (2007) ที่พบว่าเปลือกมะม่วงดิบพันธุ์ Raspuri และ Badami จะมีปริมาณสารประกอบโพลียีนอลสูงกว่าในเปลือกมะม่วงสุก

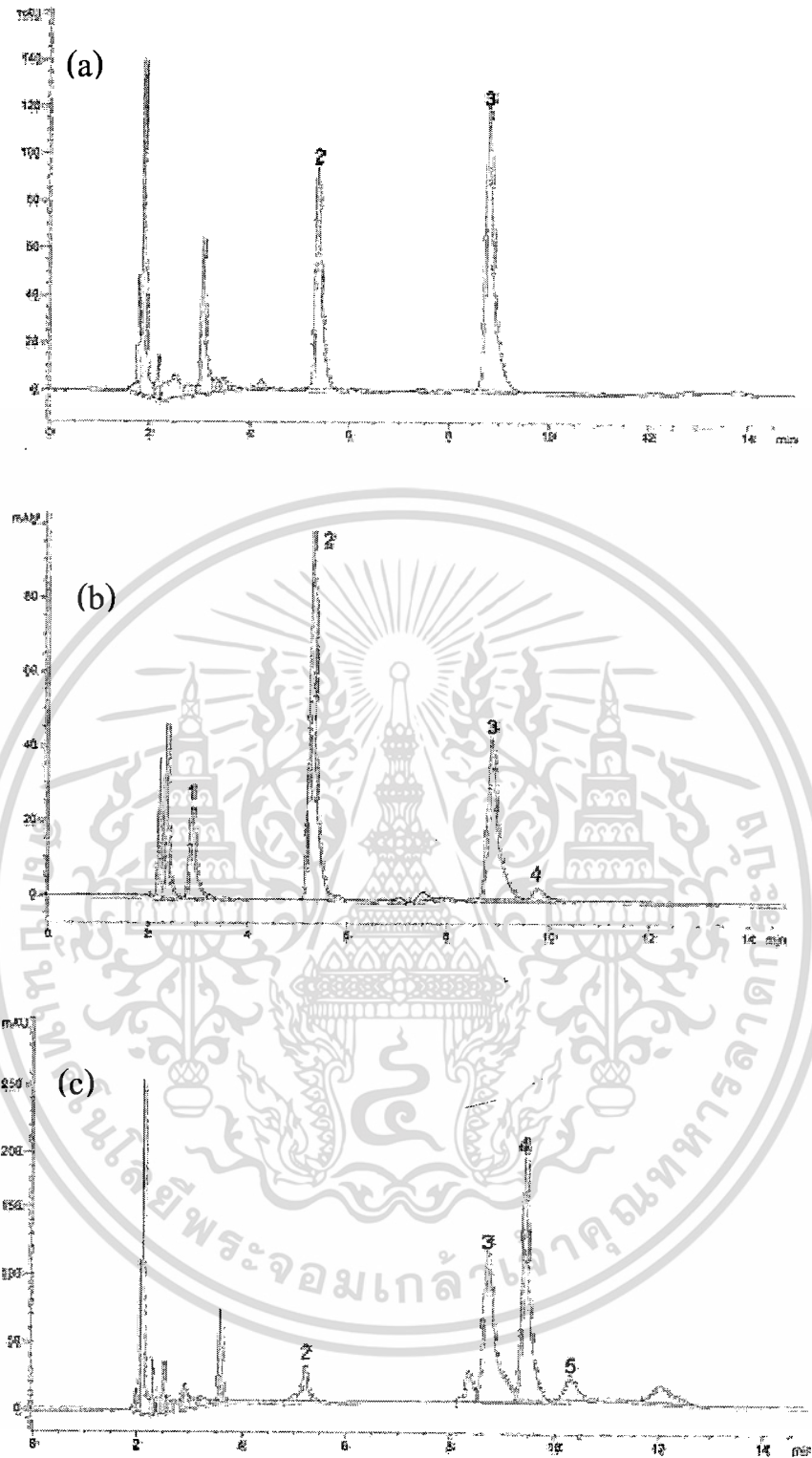
Singh และคณะ (2004) รายงานว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในเนื้อมะม่วง 6 สายพันธุ์ (Deshi, Langra, Chausa, Mallika, Dashahari and Amrapali) จะเพิ่มขึ้นทุกสายพันธุ์เมื่อมะม่วงสุก เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้พบว่าสอดคล้องกับเนื้อมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ และแก้วเท่านั้น แต่อีก 4 สายพันธุ์ปริมาณโพลีฟีนอลในเนื้อมะม่วงมีแนวโน้มลดลงเมื่อสุก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

4.3 การวิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ ในตัวอย่างเปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงดิบและสุก

จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ ด้วยวิธี HPLC โดยมีสารมาตรฐานเปรียบเทียบ คือ กรดแกลลิก (gallic acid) กรดคาเฟอิก (caffeic acid) กรดพาราควมาริก (p-coumaric acid) กรดไซนาปิก (sinapic acid) และกรดเฟอร์ูลิก (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 เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงโชคอนันต์ดิบ ด้วยวิธี HPLC ตัวอย่างเปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงดิบและสุก 6 สายพันธุ์ มีองค์ประกอบของกรดฟีนอลิกทั้งชนิดและปริมาณแตกต่างกันไป ดังแสดงในตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.8 โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานกรดฟีนอลิกซึ่งได้จากการตรวจวิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC เมื่อใช้ตัวตรวจวัดยูวี (UV detector) ที่ความยาวคลื่น 300 นาโนเมตร: (1) กรดแกลลิก (2) กรดคาเฟอิก (3) กรดพาราควมาริก (4) กรดไซนาปิก และ (5) กรดเฟอร์ูลิก



รูปที่ 4.9 ตัวอย่างโครมาโตแกรมของสารสกัดจากมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ดิบซึ่งได้จากการตรวจวิเคราะห์โดยวิธี HPLC เมื่อใช้ตัวตรวจวัดยูวี (UV detector) ที่ความยาวคลื่น 300 นาโนเมตร: (a) เปลือก (b) เนื้อ และ (c) เมล็ดใน และ (1) กรดแกลลิก (2) กรดคาเฟอิก (3) กรดพาราควมาริก (4) กรดไซนาปิก และ (5) กรดเฟอร์ูลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ชนิดและปริมาณกรดพีนอลิกชนิดต่างๆ ในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของ มะม่วงดิบและสุก 6 สายพันธุ์

สายพันธุ์	ตัวอย่างมะม่วง	ปริมาณกรดพีนอลิก (มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด)						รวม
		กรดแกลลิก	กรดคาเฟอิก	กรดพาราควินิก	กรดไซนาบิก	กรดเพอรูติก		
เขียวสาย	เปลือกดิบ	nd	9.51 ± 0.22	nd	nd	nd	nd	9.51
	เปลือกสุก	nd	18.41 ± 1.49	nd	nd	nd	nd	18.41
	เนื้อดิบ	5.35 ± 0.13	0.26 ± 0.07	nd	nd	nd	nd	5.61
	เนื้อสุก	20.89 ± 0.12	16.17 ± 1.09	nd	nd	nd	nd	37.06
	เมล็ดดิบ	nd	105.22 ± 3.29	334.94 ± 0.36	826.36 ± 23.38	283.98 ± 0.23		1550.50
	เมล็ดสุก	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	nd	7.72
	เปลือกสุก	nd	8.89 ± 0.28	1.03 ± 0.03	nd	nd	nd	9.92
	เนื้อดิบ	8.33 ± 0.00	nd	nd	nd	nd	nd	8.33
	เนื้อสุก	27.03 ± 0.03	nd	nd	nd	nd	nd	27.03
	เมล็ดดิบ	nd	122.15 ± 10.28	nd	588.80 ± 45.62	191.16 ± 26.35		902.11
	เมล็ดสุก	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 ชนิดและปริมาณกรดพีนอลิกชนิดต่างๆ ในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของ มะม่วงดิบและสุก 6 สายพันธุ์ (ต่อ)

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

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง

nd = ไม่สามารถตรวจวัดได้

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

สายพันธุ์	ตัวอย่างมะม่วง	ปริมาณกรดพีนอลิก (มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด)						รวม
		กรดแกลลิก	กรดคาเฟอิก	กรดพาราฮูมาริก	กรดไซนาบิก	กรดเฟอร์ูลิก		
ฟ้าถัน	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	
	เมล็ดดิบ	nd	174.37 ± 14.75	nd	1028.96 ± 31.43	407.02 ± 0.00	1610.35	
	เมล็ดสุก	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	
	เมล็ดดิบ	nd	149.77 ± 2.09	nd	1375.58 ± 33.39	293.56 ± 8.27	1818.91	
	เมล็ดสุก	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 ยกเว้นสายพันธุ์โชคอนันต์ที่พบในเปลือกและเนื้อที่มีปริมาณมากกว่าในเมล็ดใน และพบเฉพาะเมล็ดในสุกของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ โชคอนันต์ และแก้วดำ มีปริมาณกรดคาเฟอิกสูงกว่าเมล็ดในดิบ ในส่วนเปลือกสุกจะพบกรดคาเฟอิก มากกว่าเปลือกดิบทุกสายพันธุ์ เมื่อพิจารณาในส่วนของเนื้อมะม่วง พบว่าเนื้อมะม่วงสุกพันธุ์เขียวเสวย และโชคอนันต์เท่านั้นที่มีกรดคาเฟอิกสูงกว่าเนื้อมะม่วงดิบ ซึ่งแตกต่างกับการทดลองของ Singh และคณะ (2004) ที่พบปริมาณกรดคาเฟอิกในส่วนเปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงดิบทุกสายพันธุ์ (Langra, Chausa และ Amrapalli) มากกว่าในมะม่วงสุก

เมล็ดในของมะม่วงสุกทุกสายพันธุ์เป็นแหล่งของกรดไซนาปิก และกรดเฟอร์ูลิก โดยกรดไซนาปิกมีปริมาณสูงกว่ากรดฟีนอลิกชนิดอื่น โดยมีปริมาณอยู่ในช่วง 454.65 – 1,375.58 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด และกรดเฟอร์ูลิกมีปริมาณในช่วง 168.63 – 407.02 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด อีกทั้งยังพบว่าเมล็ดในมะม่วงดิบจะพบปริมาณกรด 2 ชนิดนี้มีแนวโน้มสูงกว่าเมล็ดในมะม่วงสุก ยกเว้นเมล็ดในดิบของมะม่วงน้ำดอกไม้ ที่มีปริมาณกรดไซนาปิก และกรดเฟอร์ูลิกต่ำกว่าเมล็ดในมะม่วงสุก และนอกจากนี้ยังพบกรดไซนาปิก และกรดเฟอร์ูลิกในเปลือกมะม่วงฟ้าลั่น และแก้วดำ และในเนื้อของมะม่วง โชคอนันต์ ยังพบกรดไซนาปิกปริมาณเล็กน้อยอีกด้วย ส่วนกรดพาราความาติก พบเฉพาะเมล็ดมะม่วงเขียวเสวย เปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้ และทุกส่วนของมะม่วง โชคอนันต์ โดยส่วนเมล็ดในของมะม่วง โชคอนันต์มีปริมาณกรดพาราความาติกสูงที่สุด 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) ด้วยเครื่องสเปกโตรฟลูออโรมิเตอร์ (Spectrofluorometer) พบว่ามะม่วงแก้วสุก มีปริมาณกรดแกลลิก (397.4 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด) สูงกว่ามะม่วงแก้วดิบ (231.6 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด) ซึ่งไม่สอดคล้องกับการทดลองนี้ที่พบว่ามะม่วงแก้วดำดิบมีปริมาณกรดแกลลิกสูงกว่ามะม่วงแก้วดำสุก โดยมีปริมาณเท่ากับ 10.47 และ 7.17 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักสด ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นที่น่าสังเกตว่าเมื่อมะม่วงสุกนั้นปริมาณกรดฟีนอลิกในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของมะม่วง บางสายพันธุ์มีค่าที่ไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกับปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมด ดังการทดลองในข้อ 4.2 กล่าวคือเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของมะม่วงน้ำดอกไม้ และเปลือกกับเนื้อของมะม่วงฟ้าลั่นสุกมี ปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมดต่ำกว่าในมะม่วงน้ำดอกไม้ และฟ้าลั่นดิบ ขณะที่ปริมาณกรดฟีนอลิก ของมะม่วงทั้ง 2 สายพันธุ์นั้นสูงขึ้นเมื่อสุก ในทางตรงกันข้ามเปลือก และเนื้อมะม่วงแก้วดำสุกจะมี ปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมดเพิ่มขึ้น แต่กลับมีปริมาณกรดฟีนอลิกลดลง เกิดจากปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมด และปริมาณกรดฟีนอลิกทั้งหมด ไม่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ทั้งนี้ เนื่องจากในสารสกัดจากเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของมะม่วงทุกสายพันธุ์ที่ใช้ในการทดลองมี ปริมาณกรดฟีนอลิกเฉลี่ย คิดเป็น 25.4 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร หรือเป็นสัดส่วน 1 ใน 4 ของปริมาณ สารโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างมะม่วง อีกทั้งกรดฟีนอลิกที่ใช้ในการทดลองเป็นเพียงส่วนหนึ่งของ กรดฟีนอลิกทั้งหมดที่พบในมะม่วง ดังนั้นปริมาณกรดฟีนอลิกจึงไม่สัมพันธ์กับแนวโน้มปริมาณโพลี- ฟีนอลทั้งหมดซึ่งมีสารประกอบฟีนอลิกชนิดอื่นๆ เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย อย่างไรก็ตาม ชนิดและ ปริมาณของกรดฟีนอลิกจะเปลี่ยนแปลง และแตกต่างกันเนื่องจากฤดูกาล สายพันธุ์ ระดับความสุก ของมะม่วง และการเข้าทำลายของแมลงและจุลินทรีย์ (Schieber และคณะ, 2000)

4.4 ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงดิบและสุก

จากการศึกษาความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธีต่างกัน 3 วิธี ได้แก่ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก และความสามารถใน การทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยรายงานความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและการต้าน ปฏิกิริยาออกซิเดชันดังกล่าวในหน่วยของมิลลิกรัมสมมูลย์ของโทรลอกซ์ต่อกรัมตัวอย่างสด โดยใช้ กราฟมาตรฐานของโทรลอกซ์ ผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

4.4.1 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH

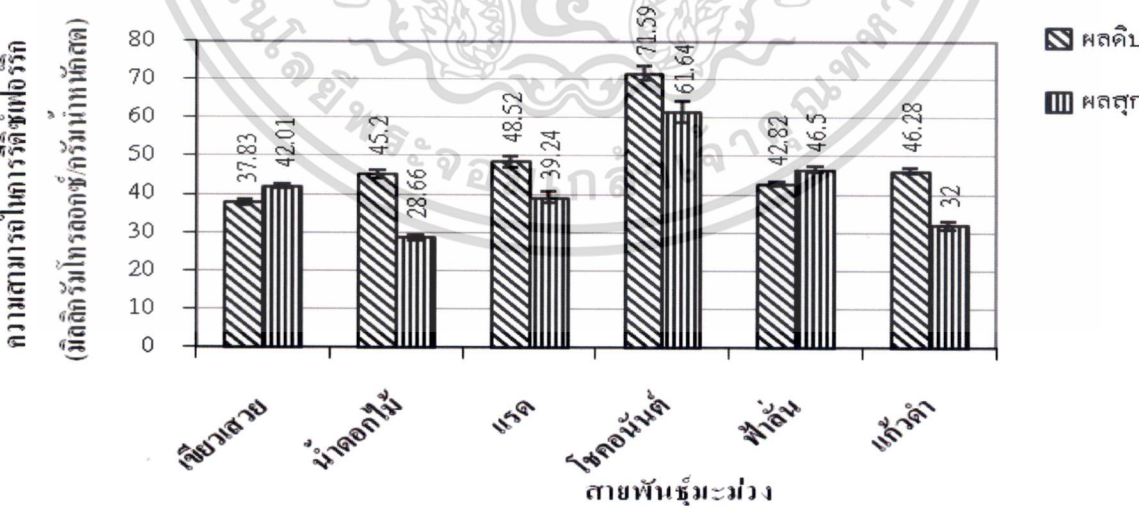
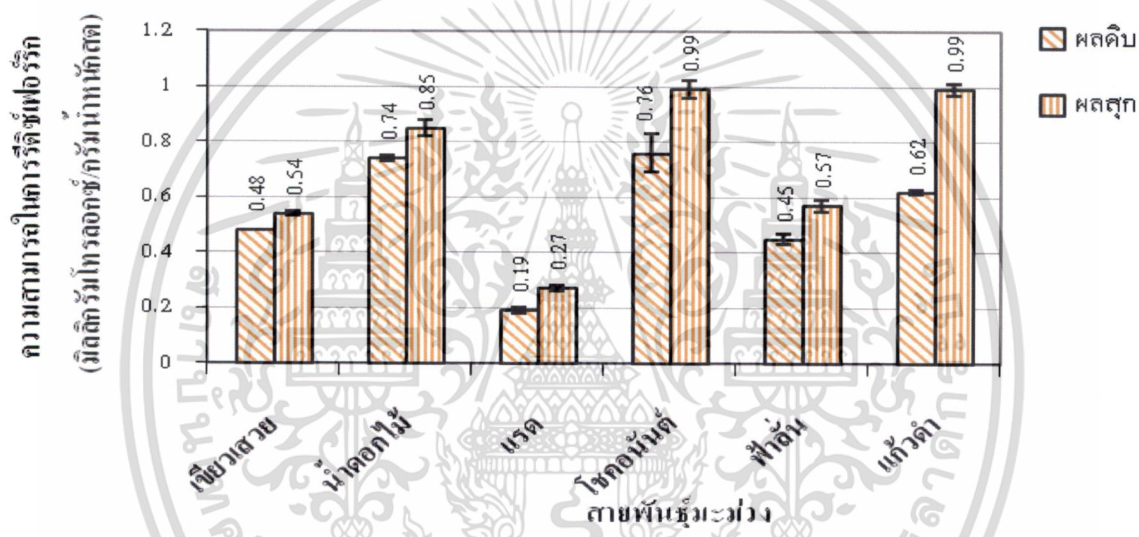
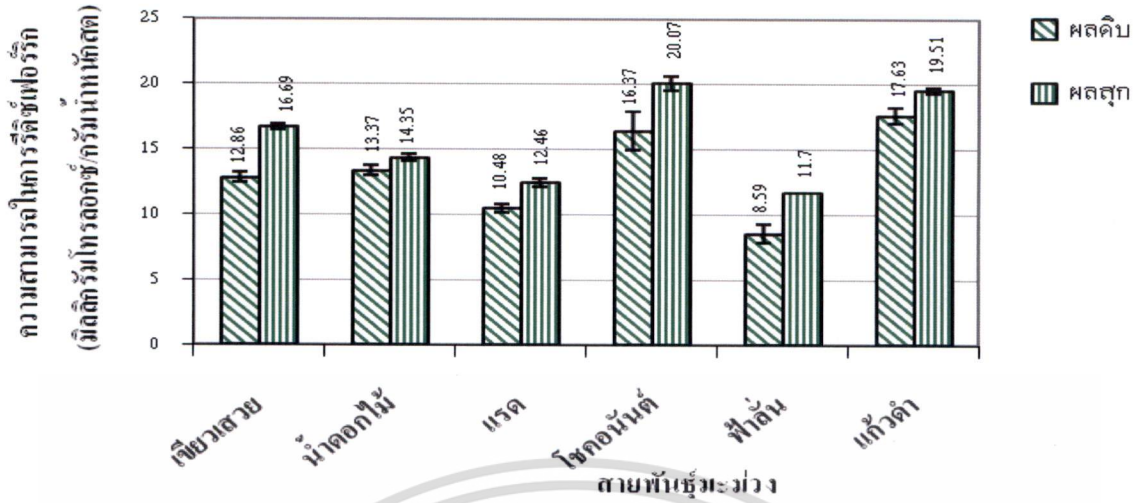
จากการตรวจวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดเปลือก เนื้อ และเมล็ดในทั้งผลดิบและผลสุกของมะม่วง 6 สายพันธุ์ โดยรายงานผลในหน่วยของมิลลิกรัมสมมูลย์ ของโทรลอกซ์ต่อกรัมตัวอย่างสด

ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าเมล็ดในของมะม่วงทุกสายพันธุ์ทั้งผลดิบ และผลสุกมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุดโดยมีค่าอยู่ในช่วง 29.67 – 167.83 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรลอคซ์/กรัมตัวอย่างสด รองลงมาคือ เปลือกซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 22.11 – 47.77 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรลอคซ์/กรัมตัวอย่างสด และในเนื้อมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ต่ำที่สุด อยู่ในช่วง 0.24 - 2.07 มิลลิกรัมสมมูลย์ โทรลอคซ์/กรัมตัวอย่างสด เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบในแต่ละสายพันธุ์จะเห็นได้ว่าเมล็ดในของมะม่วง โชคอนันต์มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุดทั้งในผลดิบและผลสุก สำหรับเปลือกนั้นพบว่าสายพันธุ์ที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงสุดคือ เปลือกของมะม่วงแก้ว ในขณะที่เนื้อมะม่วงทุกสายพันธุ์ที่ทั้งสองระดับความสุกจะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับเมล็ดและเปลือก อย่างไรก็ตามเนื้อมะม่วงสุกทุกสายพันธุ์มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเนื้อมะม่วงดิบ

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.7 เมื่อพิจารณาที่ระดับความสุกต่างกัน คือในมะม่วงดิบและมะม่วงสุกพบว่าเมล็ดในของมะม่วงดิบทุกสายพันธุ์มีแนวโน้มของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่าในมะม่วงสุกเล็กน้อย แต่เปลือก และ เนื้อของมะม่วงสุกจะมีแนวโน้มของค่าดังกล่าวสูงกว่าในเปลือกและเนื้อมะม่วงดิบ ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ajila และคณะ (2007a) ที่ศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของเปลือกมะม่วง 2 สายพันธุ์ คือ Raspuri และ Badami ทั้งผลดิบและผลสุก โดยพบว่าเปลือกมะม่วงทั้งสองสายพันธุ์ที่ทั้งสองระดับความสุกมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่าเนื้อมะม่วง และในเปลือกมะม่วงสุกจะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูง กว่าในเปลือกมะม่วงดิบ

4.4.2 ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก

จากการวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารสกัดเปลือก เนื้อ และเมล็ดของมะม่วง 6 สายพันธุ์ ทั้งผลดิบและผลสุก โดยรายงานผลในหน่วยของมิลลิกรัมสมมูลย์ของโทร-ลอคซ์ต่อกรัมตัวอย่างสด ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4.11 ความสามารถในการรติวิซเฟอริริก ของเปลือก (a) เนื้อ (b) และเมล็ดใน (c) ของมะม่วง 6 สายพันธุ์ที่ระดับความสุกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของตัวอย่างมะม่วงทั้ง 6 สายพันธุ์ มีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH กล่าวคือเมล็ดในของ มะม่วงทุกสายพันธุ์ที่ทั้งผลดิบ และ ผลสุกมีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกสูงที่สุดคือมีค่าอยู่ในช่วง 28.66 – 71.59 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรอกซ์/กรัมตัวอย่างสด รองลงมาคือ เปลือกซึ่งมีค่า 8.95 – 19.51 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรอกซ์/กรัมตัวอย่างสด และต่ำที่สุดคือเนื้อมะม่วง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.19 – 0.99 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรอกซ์/กรัมตัวอย่างสด เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบในแต่ละสายพันธุ์จะเห็นได้ว่าทั้ง เปลือก เนื้อ และเมล็ดในของมะม่วง ไซคอนันต์มีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก สูงที่สุดทั้งในผลดิบและผลสุก ขณะที่เนื้อมะม่วงทุกสายพันธุ์ทั้งผลดิบ และ ผลสุกจะมีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับเมล็ดและเปลือก อย่างไรก็ตามเนื้อมะม่วงสุกทุกสายพันธุ์มีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกสูงขึ้นเมื่อเทียบกับเนื้อมะม่วงดิบ เมื่อพิจารณาที่ระดับความสุกต่างกัน คือในมะม่วงดิบและมะม่วงสุกพบว่าเมล็ดในของมะม่วงดิบส่วนใหญ่มีแนวโน้มของความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกสูงกว่าในมะม่วงสุกเล็กน้อย ยกเว้นเมล็ดในของมะม่วงเขียวเสวยและฟ้าลั่น ซึ่งเมล็ดในมะม่วงสุกจะมีค่าสูงกว่าเมล็ดในมะม่วงดิบเล็กน้อย แต่เปลือกและเนื้อของมะม่วงสุกจะมีแนวโน้มของค่าดังกล่าวสูงกว่าในเปลือกและเนื้อมะม่วงดิบ

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH และ ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกจะเห็นได้ว่าตัวอย่างมะม่วงที่มีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH สูงจะมีแนวโน้มของมีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกได้ดีด้วย

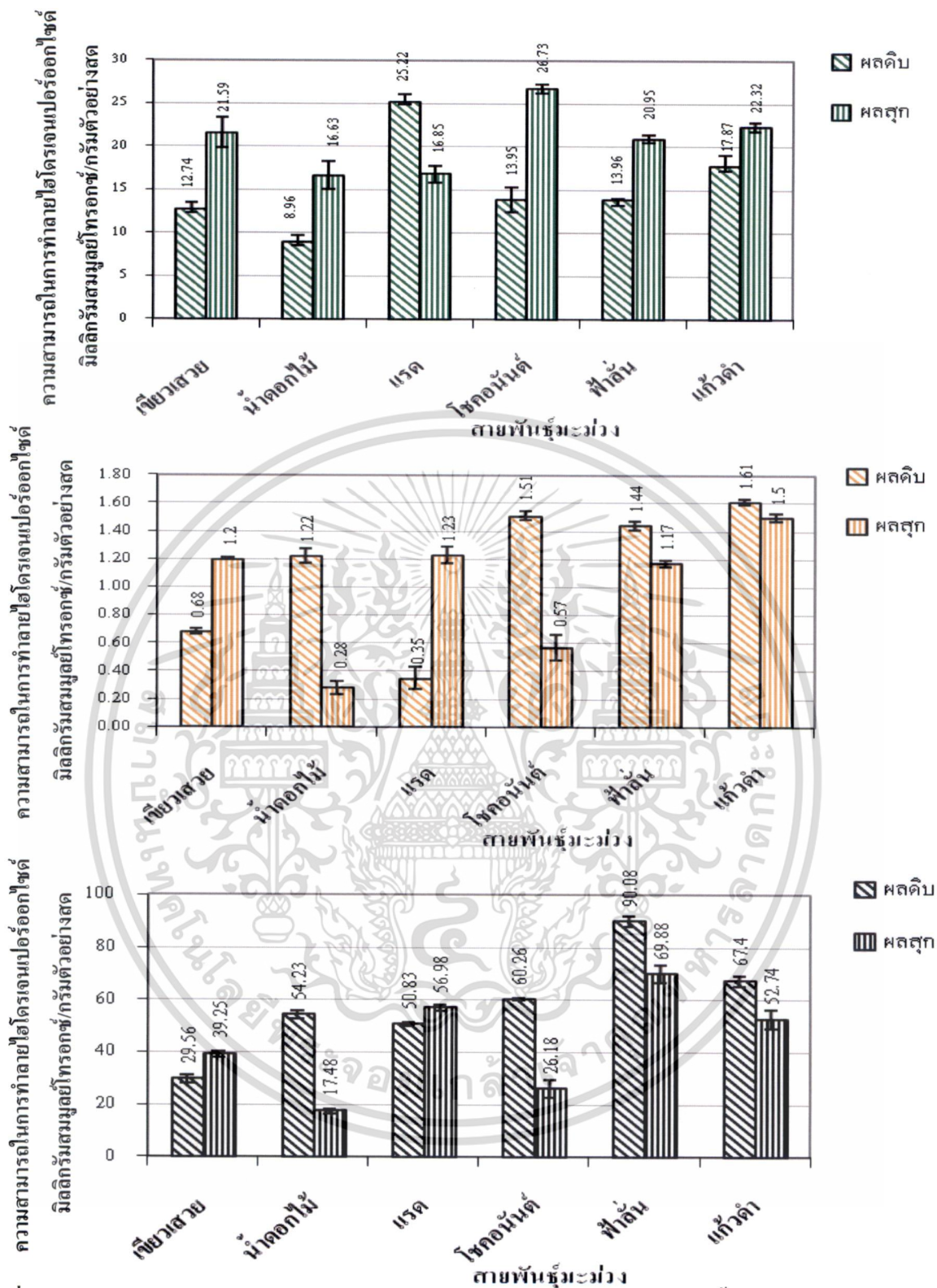
เป็นที่น่าสังเกตว่า ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของเปลือก และเนื้อของมะม่วงสุกจะมีค่าสูงกว่าในเปลือกและเนื้อของมะม่วงดิบ ทั้งนี้ อาจจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสีผิวของมะม่วง ซึ่งพบว่าเมื่อมะม่วงสุกทั้งเปลือกและเนื้อของมะม่วงจะมีสีเขียวลดลงและมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น สีเหลืองที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากสารในกลุ่มคาโรทีนอยด์ จากการทดลองของ Chen และคณะในปี 2007 พบสารในกลุ่มของคาโรทีนอยด์หลายชนิดในมะม่วงสุกของไต้หวันที่สำคัญคือ ไวโอลาแซนทิน (violaxanthin) และ ทรานส์เบต้าคาโรทีน (*trans*- β -carotene) สอดคล้องกับผลการทดลองของ Charoensiri และคณะในปี 2009 ซึ่งพบว่าในมะม่วงสุกพันธุ์น้ำดอกไม้มีเบต้าคาโรทีน และไลโคปีนสูง ในขณะที่มะม่วงดิบพันธุ์เขียวเสวย และแรดจะมีปริมาณของแคโรทีนอยด์ดังกล่าวที่ต่ำกว่ามาก ดังนั้นเมื่อปริมาณเบต้าคาโรทีน และไลโคปีนเพิ่มสูงขึ้นในมะม่วงสุกจึงมีสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มสูงขึ้น

4.4.3 ความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

จากการวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ของสารสกัดเปลือก เนื้อ และเมล็ดของมะม่วง 6 สายพันธุ์ ทั้งผลดิบและผลสุก โดยรายงานผลในหน่วยของมิลลิกรัมสมมูลย์ของโทรอกซ์ต่อกรัมตัวอย่างสด ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.9 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบในส่วนต่างๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติเห็นาเปไซบระเฮชนด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของมะม่วงจะเห็นได้ว่าความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก กล่าวคือเมล็ดในของมะม่วงทุกสายพันธุ์ที่ทั้งผลดิบและผลสุกมีความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สูงที่สุดคือมีค่าอยู่ในช่วง 17.48 – 90.08 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรออกซ์/กรัมตัวอย่างสด รองลงมาคือเปลือกซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 8.96 – 26.73 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรออกซ์/กรัมตัวอย่างสด และต่ำที่สุดคือเนื้อมะม่วงโดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.28 – 1.61 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรออกซ์/กรัมตัวอย่างสด แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบในแต่ละสายพันธุ์จะเห็นได้ว่าเมล็ดในของมะม่วงฟาลันมีความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สูงที่สุดทั้งในผลดิบและผลสุกซึ่งแตกต่างจากความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก ที่เมล็ดมะม่วงสายพันธุ์โชคอนันต์จะมีค่าสูงที่สุด สำหรับเปลือกนั้นพบว่าสายพันธุ์ที่มีความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สูงสุดคือ เปลือกของมะม่วงโชคอนันต์ ในขณะที่เนื้อมะม่วงทุกสายพันธุ์ที่ทั้งสองระดับความสุกจะมีความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับเมล็ดและเปลือก

เมื่อพิจารณาที่ระดับความสุกต่างกัน คือในมะม่วงดิบและมะม่วงสุกพบว่าเมล็ดใน และเนื้อของมะม่วงดิบทุกสายพันธุ์มีแนวโน้มของความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สูงกว่าในมะม่วงสุก ยกเว้นมะม่วงพันธุ์เขียวเสวย และแรด ที่เมล็ดในและเนื้อของมะม่วงสุกจะสูงกว่าเมล็ดในและเนื้อของมะม่วงดิบเล็กน้อย แต่ในเปลือกของมะม่วงสุกเกือบทุกสายพันธุ์จะมีแนวโน้มของค่าดังกล่าวสูงกว่าในเปลือกมะม่วงดิบ ยกเว้นเปลือกมะม่วงแรดที่มีความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลดลงเมื่อสุก



รูปที่ 4.12 ความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ของเปลือก (a) เนื้อ (b) และเมล็ดใน (c) ของมะม่วง 6 สายพันธุ์ที่ระดับความสุกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ความสามารถในการรีดิวซ์เพอร์ริค และความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในเปลือก เนื้อ และเมล็ดค
ในมะม่วงดิบและสุก 6 สายพันธุ์

พันธุ์ มะม่วง	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (มิลลิกรัมสมมูล ไซโรออกซิก/กรัมตัวอย่าง)			ความสามารถในการรีดิวซ์เพอร์ริค (มิลลิกรัมสมมูล ไซโรออกซิก/กรัมตัวอย่าง)			ความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ ออกไซด์ (มิลลิกรัมสมมูล ไซโรออกซิก/กรัมตัวอย่าง)		
	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด
เขียวสวย(ดิบ)	31.95±1.16 ^e	0.71±0.01 ^f	95.79±1.36 ^f	12.86±0.35 ^{ef}	0.48±0.00 ^f	37.83±0.99 ^f	12.74±0.88 ^d	0.68±0.02 ^d	29.56±1.70 ^e
เขียวสวย(สุก)	37.28±1.27 ^g	0.85±0.03 ^g	89.51±0.64 ^{gh}	16.69±0.59 ^g	0.54±0.01 ^g	42.01±0.66 ^{gh}	21.59±1.99 ^b	1.20±0.2 ^c	39.25±1.24 ^d
น้ำดอกไม้(ดิบ)	36.32±0.83 ^{ef}	1.39±0.01 ^d	92.23±7.43 ^{fg}	13.37±0.42 ^e	0.74±0.01 ^e	45.20±0.79 ^{fg}	8.96±0.88 ^e	1.22±0.06 ^c	54.23±1.62 ^d
น้ำดอกไม้(สุก)	36.11±0.72 ^{ef}	1.67±0.03 ^d	72.65±3.88 ^d	14.35±0.20 ^d	0.85±0.04 ^b	28.66±0.53 ^d	16.63±1.83 ^c	0.28±0.06 ^f	17.48±1.10 ^f
แรด(ดิบ)	39.62±1.23 ^b	1.64±0.01 ^e	109.08±1.59 ^e	10.48±0.32 ^h	0.19±0.01 ^h	48.52±0.96 ^e	25.22±0.90 ^a	0.35±0.10 ^f	50.83±0.84 ^d
แรด(สุก)	40.05±0.34 ^a	2.07±0.04 ^a	89.18±2.37 ^{gh}	12.46±0.18 ^f	0.27±0.01 ^e	39.24±0.46 ^{gh}	16.85±1.07 ^c	1.23±0.07 ^c	56.98±1.37 ^c
โศกอินทน์(ดิบ)	29.88±0.43 ^h	1.40±0.08 ^d	167.83±3.19 ^a	16.37±0.65 ^c	0.76±0.06 ^c	71.59±1.96 ^a	13.95±1.45 ^d	1.51±0.04 ^b	60.26±0.37 ^c
โศกอินทน์(สุก)	35.14±0.66 ^f	1.88±0.08 ^b	149.36±4.64 ^b	20.07±0.23 ^a	0.99±0.03 ^a	61.64±3.06 ^b	26.73±0.59 ^a	0.57±0.11 ^e	26.18±3.77 ^h
ฟ้าลั่น(ดิบ)	20.11±0.54 ⁱ	0.24±0.00 ^h	49.15±1.38 ^j	8.59±0.76 ⁱ	0.45±0.02 ^f	42.82±0.62 ^j	13.96±0.07 ^d	1.44±0.03 ^b	90.08±2.39 ^a
ฟ้าลั่น(สุก)	21.30±0.12 ⁱ	0.34±0.01 ^e	29.67±0.57 ^k	11.70±0.04 ^e	0.57±0.02 ^e	46.50±0.83 ⁱ	20.95±0.47 ^b	1.17±0.02 ^c	69.88±3.82 ^b
แก้วดำ(ดิบ)	43.51±0.34 ^d	1.46±0.06 ^d	130.31±2.72 ^c	17.63±0.57 ^b	0.62±0.01 ^d	46.28±0.69 ^c	17.87±1.35 ^e	1.61±0.03 ^a	67.40±2.19 ^b
แก้วดำ(สุก)	47.77±0.94 ^c	1.91±0.06 ^b	84.43±3.20 ^h	19.51±0.12 ^a	0.99±0.02 ^a	32.00±1.17 ^h	22.32±0.52 ^b	1.50±0.04 ^b	52.74±4.24 ^d

หมายเหตุ

ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

*) ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันตามแนวตั้ง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้น เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยหาความแตกต่างของสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของตัวอย่างมะม่วงแต่ละชนิดโดยใช้แผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) และวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบความแตกต่างตามวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงตารางที่ 4.3 โดยจะเห็นได้ว่า ในมะม่วงสายพันธุ์ที่แตกต่างกันก็จะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก และ ความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ก็จะมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันแต่ละวิธีในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงดิบและสุก 6 สายพันธุ์

จากการนำข้อมูลที่ได้จากผลการทดลองทั้งหมดมาศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้ง 3 วิธี โดยคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) ผลแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.6 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้ง 3 วิธีที่แตกต่างกัน ในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงดิบและสุก 6 สายพันธุ์

ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH	ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก	ความสามารถในการทำลาย H ₂ O ₂
ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH	1	0.935*	0.709*
ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก		1	0.827*
ความสามารถในการทำลาย H ₂ O ₂			1

หมายเหตุ* มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.7 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้ง 3 วิธี และ ปริมาณ โพลีฟีนอลทั้งหมดที่แตกต่างกัน ในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงดิบและสุก 6 สายพันธุ์

ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH	ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก	ความสามารถในการทำลาย H ₂ O ₂	ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด
ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH	1	0.935*	0.709*	0.934*
ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก		1	0.827*	0.993*
ความสามารถในการทำลาย H ₂ O ₂			1	0.814
ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด				1

หมายเหตุ* มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.6 เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันแต่ละวิธีได้แก่ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก และ ความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ของ เปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงดิบและสุก 6 สายพันธุ์ พบว่าโดยภาพรวมความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้ง 3 วิธี มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตามกัน กล่าวคือตัวอย่างสารสกัดมะม่วงที่มี ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงก็จะมีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก และ ความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สูงด้วยและเมื่อพิจารณาตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้ง 3 วิธีและปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดก็พบว่าแปรผันตามกันกล่าวคือสารสกัดที่มีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงก็จะมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงด้วย ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Guorong และคณะในปี 2009 ที่ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยวิธีต่างๆ คือ DPPH ((2,2- diphenyl-1-picrylhydrazyl) radical scavenging assay), FRAP (ferric reducing antioxidant power), ABTS (antioxidant capacity determined by radical cation), ORAC (oxygen radical absorbance capacity), SRSA (superoxide radical scavenging activity) และ MCC (metal chelating capacity) ในผลกีวี 8 สายพันธุ์ เมื่อนำมาศึกษาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแต่ละวิธีพบว่ามีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันในระดับสูง ยกเว้น MCC ที่ไม่พบความสัมพันธ์กับวิธีอื่นๆ นอกจากนี้ค่าความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยวิธีต่างๆยังมีความสัมพันธ์ในลักษณะแปรผันตามกับปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดและวิตามินซีอีกด้วย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี และกายภาพ ของตัวอย่างเปลือก และเนื้อของมะม่วง 6 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์เขียวเสวย น้ำดอกไม้ แรด โชคอนันต์ ฟาลัน 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 ในการวิเคราะห์ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด พบว่าเมล็ดในมะม่วงดิบและสุกทุกสายพันธุ์มีปริมาณ โพลีฟีนอลสูงที่สุด รองลงมาคือ เปลือก และเนื้อ โดยมีปริมาณอยู่ในช่วง 27.82 - 66.95, 9.59 - 21.35 และ 0.29 - 0.83 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ โดยที่เมล็ดมะม่วงจะมีปริมาณ โพลีฟีนอลสูงกว่าเปลือกและเนื้อเฉลี่ยถึง 3.1 และ 78.8 เท่า ตามลำดับ นอกจากนี้ปริมาณ โพลีฟีนอลทั้งหมดในเปลือกมะม่วงดิบจะมีแนวโน้มต่ำกว่าเปลือกมะม่วงสุก ในขณะที่เนื้อ และเมล็ดมะม่วงดิบจะมีแนวโน้มปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงกว่าเนื้อและเมล็ดมะม่วงสุก

สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ ในส่วนเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของมะม่วงดิบ และสุก 6 สายพันธุ์ พบกรดคาเฟอิก พบทุกส่วนของมะม่วงทุกสายพันธุ์ ยกเว้นในเนื้อของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ กรดแกลลิกพบเฉพาะในเนื้อมะม่วงดิบ และสุกทั้ง 6 สายพันธุ์ ส่วนกรดพาราควมาริกในมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยพบเฉพาะในเมล็ดใน เช่นเดียวกับมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่พบเพียงในเปลือกเท่านั้น และยังพบกรดพาราควมาริกในทุกส่วนของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์อีกด้วย ขณะที่กรดไซนาปิก และกรดเฟอร์ูลิก พบมากในเมล็ดในของมะม่วงทุกสายพันธุ์ อีกทั้งยังพบในเปลือกของมะม่วงพันธุ์ฟาลัน และแก้วดำ แต่พบเฉพาะกรดไซนาปิกเพียงเล็กน้อยในเนื้อของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า มะม่วงพันธุ์โชคอนันต์มีปริมาณกรดฟีนอลิกสูงที่สุด รองลงมาคือ มะม่วงพันธุ์ฟาลัน แก้วดำ น้ำดอกไม้ เขียวเสวย และแรด ตามลำดับ โดยมะม่วงแต่ละสายพันธุ์ มีชนิดและปริมาณของกรดฟีนอลิกแตกต่างกันไป เมื่อพิจารณาในแต่ละส่วนของมะม่วงพบว่า เมล็ดในมะม่วงทุกสายพันธุ์มีปริมาณกรดฟีนอลิกสูงสุด ส่วนในเปลือก และเนื้อมีปริมาณกรดฟีนอลิกใกล้เคียงกัน

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า เนื้อมะม่วงซึ่งเป็นส่วนที่รับประทานได้ มีปริมาณกรดฟีนอลิก และสารโพลีฟีนอลทั้งหมดต่ำที่สุด ขณะที่เปลือกและเมล็ดใน ซึ่งเป็นส่วนเหลือทิ้งมากกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ของทั้งผลมะม่วง กลับมีปริมาณกรดฟีนอลิก และสารโพลีฟีนอลทั้งหมดมากกว่า โดยเฉพาะเปลือก และเมล็ดในมะม่วงโชคอนันต์ และแก้วดำที่มีปริมาณกรดฟีนอลิก และสารโพลีฟีนอลทั้งหมดมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มะม่วงพันธุ์อื่นๆ อีกทั้งยังใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร ซึ่งมีส่วนเปลือก และเมล็ดเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก แต่ไม่เฉพาะมะม่วง 2 สายพันธุ์นี้เท่านั้น เปลือกและเมล็ดในของมะม่วงพันธุ์อื่นก็มีปริมาณกรดฟีนอลิก และสาร โพลีฟีนอลทั้งหมดไม่ต่างกันมากนัก แต่นักวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นศึกษาเฉพาะประโยชน์จากเปลือกมะม่วงในแง่เป็นแหล่งของเพคตินที่มีคุณภาพ แต่ในความเป็นจริงแล้วเปลือกไม่ได้เป็นแหล่งของเพคตินเพียงอย่างเดียว แต่ยังเป็นแหล่งสำคัญของสาร โพลีฟีนอลอีกด้วย

จากการตรวจวิเคราะห์สมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก และความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ของเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของมะม่วง 6 สายพันธุ์ ดังกล่าวทั้งผลดิบและผลสุก พบว่าเมล็ดในของมะม่วงทุกสายพันธุ์มีสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงที่สุด รองลงมาคือ เปลือก และ เนื้อ โดยมีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH อยู่ในช่วง 29.67 – 167.83, 22.11 – 47.77 และ 0.24 – 2.07 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรลอคซ์ต่อกรัมตัวอย่างสด ตามลำดับ มีค่าความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกอยู่ในช่วง 28.66-71.59, 8.95 -19.51 และ 0.19-0.99 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรลอคซ์ต่อกรัมตัวอย่างสด ตามลำดับ และมีค่า ความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อยู่ในช่วง 17.48 – 90.08, 8.96 – 26.73, และ 0.28-1.61 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรลอคซ์ต่อกรัมตัวอย่างสด ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของมะม่วง โชคอนันต์ ที่ทั้งสองระดับความสุกจะมีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงที่สุด เมื่อพิจารณาที่ระดับความสุกต่างกันพบว่า เมล็ดในของมะม่วงดิบส่วนใหญ่จะมีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน สูงกว่าเมล็ดในของมะม่วงสุก สำหรับเปลือกและเนื้อมะม่วงสุกทุกสายพันธุ์ จะมีแนวโน้มของความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงกว่า เปลือก และเนื้อมะม่วงดิบ เมื่อวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้งสามวิธีและปริมาณ โพลีฟีนอลทั้งหมด พบว่ามีความสัมพันธ์กันในลักษณะแปรผันตามกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ามะม่วงเป็นผลไม้ที่มีสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ดี โดยเฉพาะเมล็ดในและเปลือกของมะม่วงซึ่งเป็นของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของเปลือก และเมล็ดในมะม่วง เพื่อพัฒนาการสกัดสารในด้านการนำไปใช้ประโยชน์แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสุขภาพ หรือใช้เติมในผลิตภัณฑ์อาหาร เพื่อวัตถุประสงค์ด้านการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติ หรือเพิ่มคุณค่าเชิงสุขภาพต่อไป นอกจากนี้มะม่วงแก้ว และ โชคอนันต์ดิบยังเป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการแปรรูปมะม่วงคอง และมะม่วงแช่อิ่ม จึงน่าจะมีการศึกษาต่อไปถึงผลของกระบวนการแปรรูปโดยวิธีการคอง หรือแช่อิ่มมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และสมบัติการต้านออกซิเดชันของเปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงอย่างไร

บรรณานุกรม

- กรมวิชาการเกษตร. 2546. ฐานข้อมูลเชื้อพันธุ์พืช : มะม่วง เล่ม 2. กรุงเทพฯ: ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย. 142 หน้า.
- กรมส่งเสริมอุตสาหกรรมเกษตร. 2544. รายงานเกณฑ์คุณภาพและวิธีการตรวจวัดคุณภาพวัตถุดิบมะม่วงเพื่ออุตสาหกรรมเกษตร. กรุงเทพฯ: ส่วนอุตสาหกรรมเกษตรสำนักพัฒนาอุตสาหกรรม.
- จริงแท้ ศิริพานิช. 2541. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 396 หน้า.
- เฉลิมชัย แก้วราชาติ. 2539. การปลูกมะม่วง. กรุงเทพฯ: อักษรสยามการพิมพ์. 88 หน้า.
- ชูชาติ อารีจิตรานุสรณ์. 2544. เครื่องมือวิทยาศาสตร์ (Scientific instruments). พิมพ์ครั้งที่ 3. ภาควิชาเคมีคลินิก คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 259 หน้า.
- รัชชชัย รัตน์ชเลส, พฤกษ์ ยิบมันตะศิริ และ รุ่งทิพย์ อุทุมพันธ์. 2546. มะม่วงแก้ว : ไม้ผลเพื่อความหวังและฟื้นฟูทรัพยากรธรรมชาติ. ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มติชน. 199 หน้า.
- นภชลัช ยอดพรหม. 2549. สมบัติการต้านจุลินทรีย์ของสารสกัดจากเปลือกมะม่วงต่อจุลินทรีย์ก่อโรคที่มีโอกาสปนเปื้อนในโยเกิร์ต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทสาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- นवलศรี รักอริยะธรรม และ อัญชญา เจนวิถีสุข. 2545. แอนติออกซิเดนท์: สารต้านมะเร็งในผัก-สมุนไพรไทย. เชียงใหม่: นพบุรีการพิมพ์. 281 หน้า.
- พงศธร ลือสุวรรณ จิตศิริ ราชตะนนะพันธ์ และ ศศิธร จันทนวางกูร. 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 วังน. 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 วัชรระคุปต์ ปรีชา บุญจุง จันทนา ยุญยะรัตน์ และมาลีรักษ์ อัดต์สินทอง. 2551. สารต้านอนุมูลอิสระ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: นิวไทยมิตรการพิมพ์. 280 หน้า.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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., Bhat, S.G. & Prasada Rao, U.J.S. 2007a. Valuable components of raw and ripe peels from two Indian mango varieties. *Food Chemistry*. 102: 1006–1011.
- Ajila, C.M., Naidu, K.A., Bhat, S.G. & Prasada Rao, U.J.S. 2007b. 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.
- Beerh, O.P., Raghuramaiah, B. & Krishnamurthy, G.V. 1976. Utilization of mango waste; recovery of juice from waste pulp and peel. *Journal of Food Science and Technology*. 13: 138-141.
- Benzie, I.F.F. & Strain, J.J. 1999. Ferric reducing/antioxidative power assay : Direct measure of total antioxidant activity of biological fluids and modified version of simultaneous measurement of antioxidant power and ascorbic acid concentration. In *Methods in enzymology*, vol.299 (Packer, L., ed.). New York : Academic Press, Inc. 15-27.
- 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.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. & Berset, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Journal of Food Science and Technology*. 28: 25-30.

- 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.
- 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.
- Charoensiri R., Kongkachuichai R., Suknicom S., Sungpuag P. 2009. Beta-carotene, lycopene, and alpha-tocopherol contents of selected Thai fruits *Food Chemistry*. 113: 202–207.
- Chen J.P., Tai C.Y., Chen B.H. 2007. Effects of different drying treatments on the stability of carotenoids in Taiwanese mango (*Mangifera indica* L.). *Food Chemistry*. 100: 1005–1010.
- Cowan, M.M. 1999. Plants products as antimicrobial agents. *Clinical Microbiology Review*. 12: 564-582.
- Charoensiri R., Kongkachuichai R., Suknicom S., Sungpuag P. 2009. Beta-carotene, lycopene, and alpha-tocopherol contents of selected Thai fruits *Food Chemistry*. 113: 202–207.
- Frankel, E.N. & Meyer, A.S. 2000. The problems of using one-dimensional methods to evaluate multifunctional food and biological antioxidants. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 80: 1925-1941.
- 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.
- Guorong Du, Mingjun Li, Fengwang Ma, Dong Liang. 2009. Antioxidant capacity and the relationship with polyphenol and Vitamin C in *Actinidia* fruits. *Food Chemistry* 113 (2009) 557–562
- 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. *Postharvest Biology and Technology*. 15(1): 65-72.

- Kriengsak Thaiponga, Unaroj Boonprakoba, Kevin Crosbyb, Luis Cisneros-Zevallosc, David Hawkins Byrne. 2006. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis* 19: 669–675
- Loelillet, D. 1994. The European mango market: A promising tropical fruit. *Fruit*. 49: 332-334.
- 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-McGraw 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.
- Molyneux, D. 2004. 'Neglected' disease but unrecognised successes: challenges and opportunities for infectious disease control. *Lancet*. 364: 380-383.
- Murakami, M., Yamaguchi, T., Takamura, H. & Matoba, T. 2004. Effect of thermal treatment on radical scavenging activity of single and mixed polyphenolic compounds. *Journal of food science*. 69(1): FCT7-FCT10.
- 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.
- Punchard, N.A. & Kelly, F.J. 1996. *Free radicals: a practical approach*. Washington, D.C. Oxford university press, Inc. 310 p.
- Ribeiro, 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 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 Chemistry*. 11: 423-424.
- Willcox, J.K., Ash, S.L. & Catignani, G.L. 2004. Antioxidants and prevention of chronic disease. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 44: 275-295.
- Yen, G.C. & Chen, A.Y. 1995. Antioxidant activity of various tea extracts in relation to their antimutagenicity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 43: 27-37.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การวัดค่าความเป็นกรดต่าง

วัดความเป็นกรดต่าง (pH) ใช้วิธีซึ่งรายงานโดย Cheng และคณะ (2007) โดยนำเนื้อมะม่วงมาปั่นด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้จนสังเกตเห็นว่าเนื้อมะม่วงละเอียด จากนั้นจึงกรองด้วยผ้าขาวบาง บีบคั้นน้ำลงในบีกเกอร์ จากนั้นวัดด้วยเครื่อง pH meter ขั้วอิเล็กโทรดแก้วที่อุณหภูมิห้อง

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 ชั้บด้วยกระดาษทิชชู
4. จุ่ม probe ลงใน pH4 กด Enter รอจนปรากฏค่า slope ในช่วง 56-62 (ค่าติดลบ)
5. ล้างหัว probe ด้วยน้ำกลั่น ชั้บด้วยกระดาษทิชชู
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

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. ซ้อนตักสาร

สารเคมี

1. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล (N)
2. ฟีนอล์ฟทาลีน (phenolphthalein) ความเข้มข้น 1%
3. เอทานอล (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 ด้วยสารละลายมาตรฐาน โพแทสเซียมพทาเลต ($\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$)

วิธี standardize สารละลาย NaOH ทำโดย

- 1) ละลาย $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ ที่ผ่านการอบแห้งที่ 120 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง และทำให้เย็นใน desiccator ปริมาณ 0.6000-0.7000 กรัม ในน้ำกลั่น 75 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่
- 2) หยดสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 1% ในสารละลาย $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ จำนวน 2 หยด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) นำไปไตเตรตกับสารละลาย NaOH ที่บรรจุอยู่ในบิวเรต จนกระทั่งสารละลาย ปฏิกริยาเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพูอ่อนที่คงตัว โดยทำการไตเตรต 3 ครั้ง บันทึก ปริมาตร NaOH ที่ใช้ในการไตเตรต

$$\text{Normality ของ NaOH} = \frac{\text{จำนวนกรัม KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4 \times 1000}{\text{มิลลิลิตร NaOH} \times 204.229}$$

2. สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 1%

ละลายฟีนอล์ฟทาลีน 1 กรัม ในเอทานอล 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 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดวัด ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

วิธีวิเคราะห์

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

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

เมื่อ	V	= ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน NaOH
	N	= normality ของสารละลายมาตรฐาน NaOH
	v	= ปริมาตรของสารละลายตัวอย่าง
	eq. Wt.	= น้ำหนักสมมูลของกรดซिटริกเท่ากับ 64 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซ์

การวิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซ์โดย DNS method จะใช้วิธีซึ่งรายงาน โดย 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

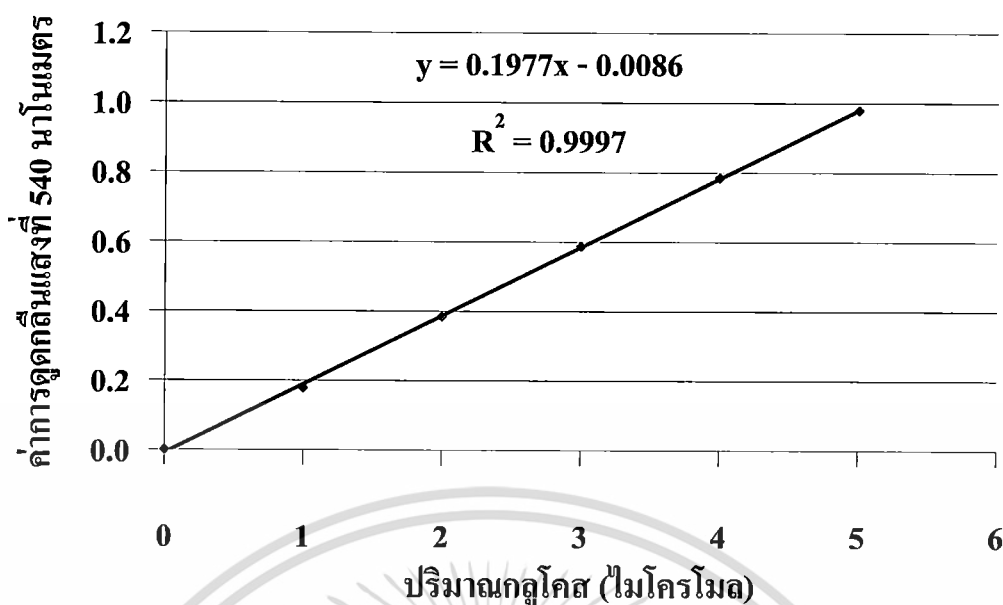
2. สารละลายกลูโคสมาตรฐาน

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

การเตรียมกราฟมาตรฐาน

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานกลูโคส (ความเข้มข้น 5.0 ไมโคร โมล/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 ก.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 โดยใช้กระดาษฟิคาปิด ตั้งทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
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

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

$$0.423 = 0.1977x - 0.0086$$

$$x = 2.138 \text{ ไมโครโมล} / 0.2 \text{ มิลลิลิตรของสารสกัดตัวอย่าง}$$

ตัวอย่างสารสกัด 0.2 มิลลิลิตร มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 2.138 ไมโครโมล

ตัวอย่างสารสกัด 100 มิลลิลิตร มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ

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

โดยที่ตัวอย่างสารสกัด 100 มิลลิลิตรนั้น มีเนื้อตัวอย่างมะม่วงเขียวเสวยดิบอยู่ 15 กรัม

$$= 1091.55 \text{ ไมโครโมล} / 15 \text{ กรัมตัวอย่าง}$$

ดังนั้นเนื้อตัวอย่างมะม่วงเขียวเสวยดิบ 15 กรัม

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

15

1 โมล กลูโคสหนักเท่ากับ 180.2 กรัม

1 ไมโครโมล กลูโคสหนักเท่ากับ 180.2 ไมโครกรัม

ดังนั้น 72.77 ไมโครโมล เท่ากับ $\frac{180.2 \times 72.77}{1000}$

1

$$= 13,113.15 \text{ ไมโครกรัมกลูโคส/กรัมตัวอย่าง}$$

$$= 13.11 \text{ มิลลิกรัมกลูโคส/กรัมตัวอย่าง}$$

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 แล้วคำนวณหาปริมาณความชื้น โดยใช้สูตร

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

ภาคผนวก จ

วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด (total polyphenol contents)

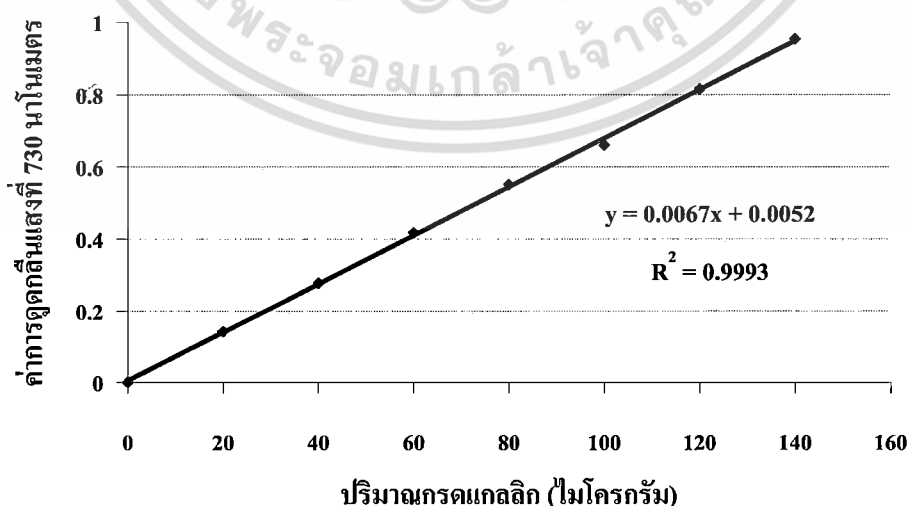
การวิเคราะห์ปริมาณ โพลีฟีนอลทั้งหมดในส่วน เปลือก เนื้อ และเมล็ดมะม่วง ใช้วิธีที่รายงาน โดย Singleton และ Lamuela-Raventos (1999) โดยสารโพลีฟีนอลจะทำปฏิกิริยากับ Folin-Ciocalteu ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินที่มีการดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร และใช้กรดแกลลิกเป็นสารประกอบฟีนอลิกมาตรฐาน

สารเคมี

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

การเตรียมกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้นเริ่มต้น 400 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร
2. บีบสารละลายมาตรฐานดังกล่าวใส่หลอดทดลอง 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 โดยใช้ น้ำกลั่นเป็น blank
6. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณกรดแกลลิกในหน่วยไมโครกรัม



รูปที่ จ.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดแกลลิกและค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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 กำหนดหาปริมาณสาร โพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของมะม่วง โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก

การคำนวณ

การคำนวณปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมด

สมการจากกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก

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

เมื่อ y = ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร

x = ปริมาณสาร โพลีฟีนอลทั้งหมด (ไมโครกรัม/ 0.5 มิลลิลิตรสารสกัดตัวอย่าง)

c = จุดตัดแกน y

ตัวอย่างการคำนวณ

สารสกัดจากตัวอย่างเปลือกมะม่วงเขียวเสวยดิบ

ครั้งที่ 1 ปริมาณสารสกัดตัวอย่างเปลือกมะม่วงเขียวเสวยดิบ 0.5 มิลลิลิตร

ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร เท่ากับ 0.433

แทนค่าในสูตรจะได้

$$0.433 = 0.0067x + 0.0052$$

$$x = 63.81 \text{ ไมโครกรัม} / 0.5 \text{ มิลลิลิตรของสารสกัดตัวอย่าง}$$

สารสกัดตัวอย่างมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด = 63.81 ไมโครกรัม / 0.5 มิลลิลิตรของสารสกัด

สารสกัดตัวอย่างมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด = 12,762 ไมโครกรัม / 100 มิลลิลิตรของสาร

สกัด

ในสารสกัดตัวอย่างเปลือกมะม่วงเขียวเสวยดิบ 100 มิลลิลิตร เตรียมได้จากการสกัดตัวอย่าง

เปลือกมะม่วงเขียวเสวยดิบ 1 กรัม

ดังนั้น

เปลือกมะม่วงเขียวเสวยดิบมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด = 12,762 ไมโครกรัม / 1 กรัมตัวอย่าง

$$= 12.76 \text{ มิลลิกรัม} / 1 \text{ กรัมตัวอย่าง}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

การวิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกด้วยวิธี HPLC

วิเคราะห์ปริมาณกรดแกลลิก (gallic acid) กรดคาเฟอิก (caffeic acid) กรดพาราความาริก (*p*-coumaric acid) กรดไซนาปิก (sinapic acid) และกรดเฟอร์ูลิก (ferulic acid) ในส่วน เปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วง ด้วยเครื่อง HPLC (Agilent 1100) โดยใช้คอลัมน์ SynerSi 4 μ C-18 Phenomenex เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.6 มิลลิเมตร ยาว 250 มิลลิเมตร ขนาดอนุภาคที่บรรจุในคอลัมน์ (particle size) 4 ไมครอน ใช้สารสกัดปริมาตร 5 ไมโครลิตร เฟสเคลื่อนที่ใช้สารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร และอะซิโตนในไตรสำหรับการทำ 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

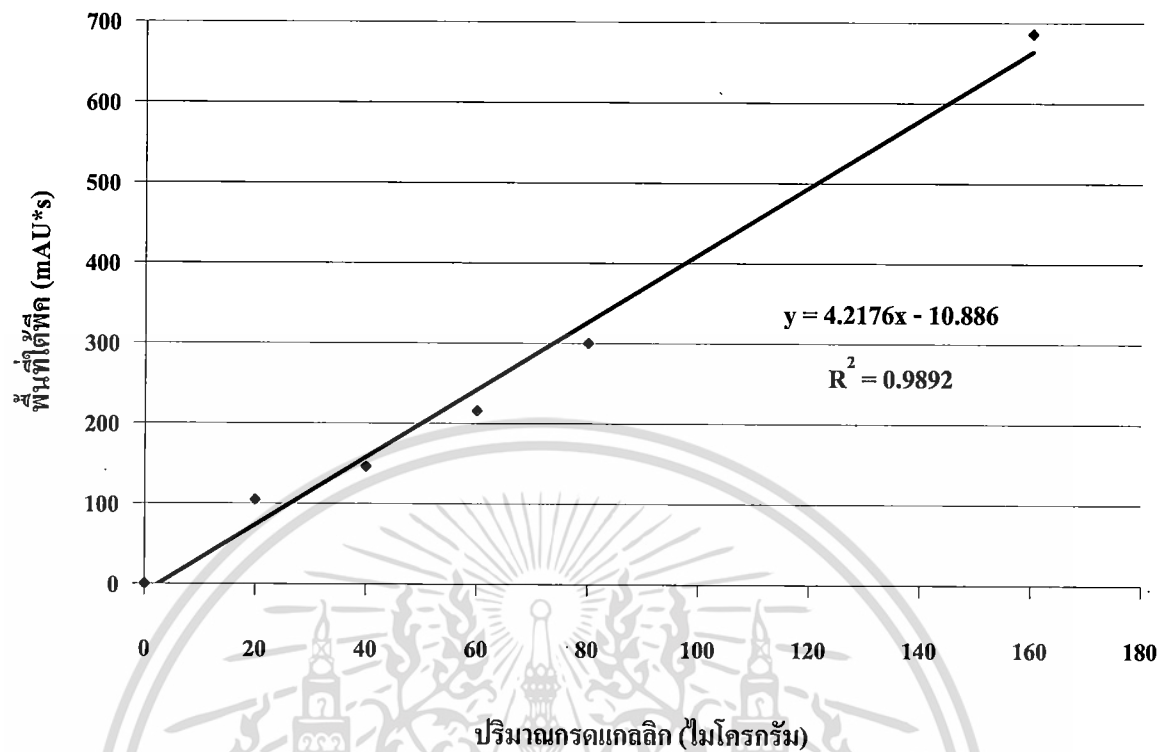
1.2 ปิ่เปิดสารละลายมาตรฐานของกรดฟีนอลิกแต่ละชนิดใส่ขวดสีชา โดยให้แต่ละขวดมีความเข้มข้นดังตาราง แล้วปรับปริมาตรด้วยเมธานอลให้ปริมาตรรวมในแต่ละขวดเป็น 10 มิลลิลิตร

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
กรดพาราความาริก	80	160	20	40	60
กรดไซนาปิก	60	80	160	20	40
กรดเฟอร์ูลิก	40	60	80	160	20

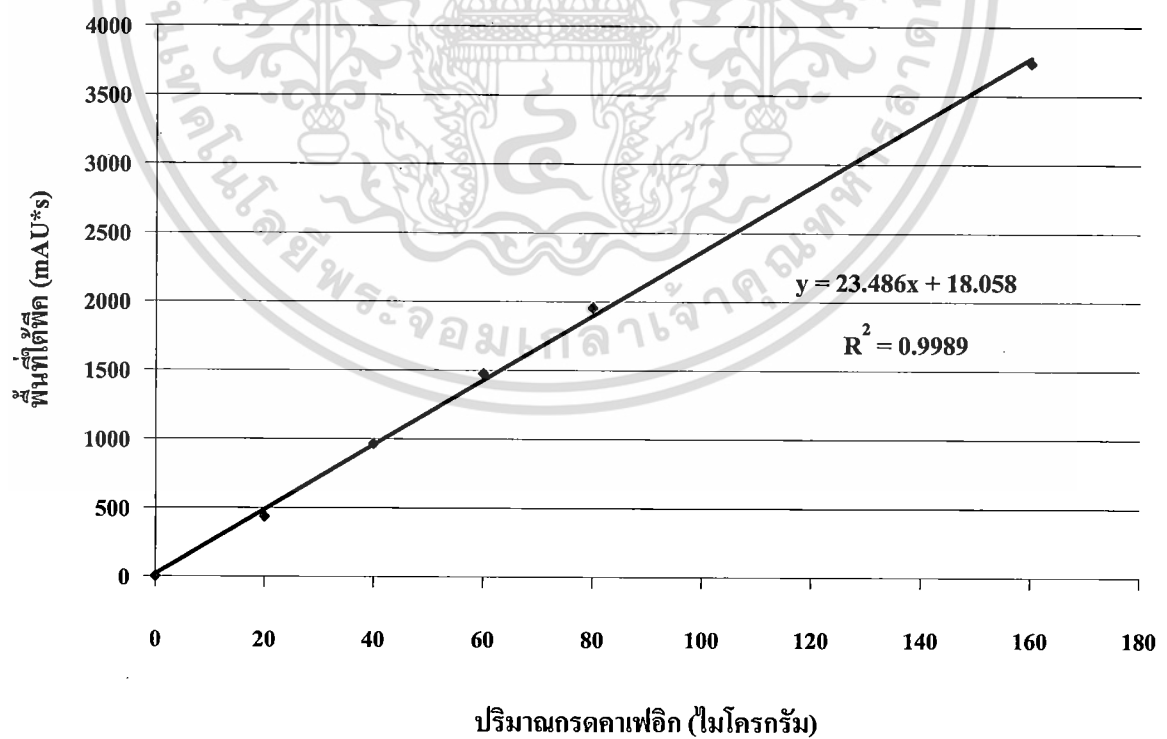
1.3 ฉีดสารละลายมาตรฐานของกรดฟีนอลิกปริมาตร 5 ไมโครลิตร แต่ละชนิดแยกกัน โดยกรองสารละลายมาตรฐานของกรดฟีนอลิกแต่ละชนิดผ่านเมมเบรนที่มีขนาด 0.22 ไมครอนก่อนฉีดเพื่อดูเวลาชะ (retention time; R_t) ของกรดฟีนอลิก

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

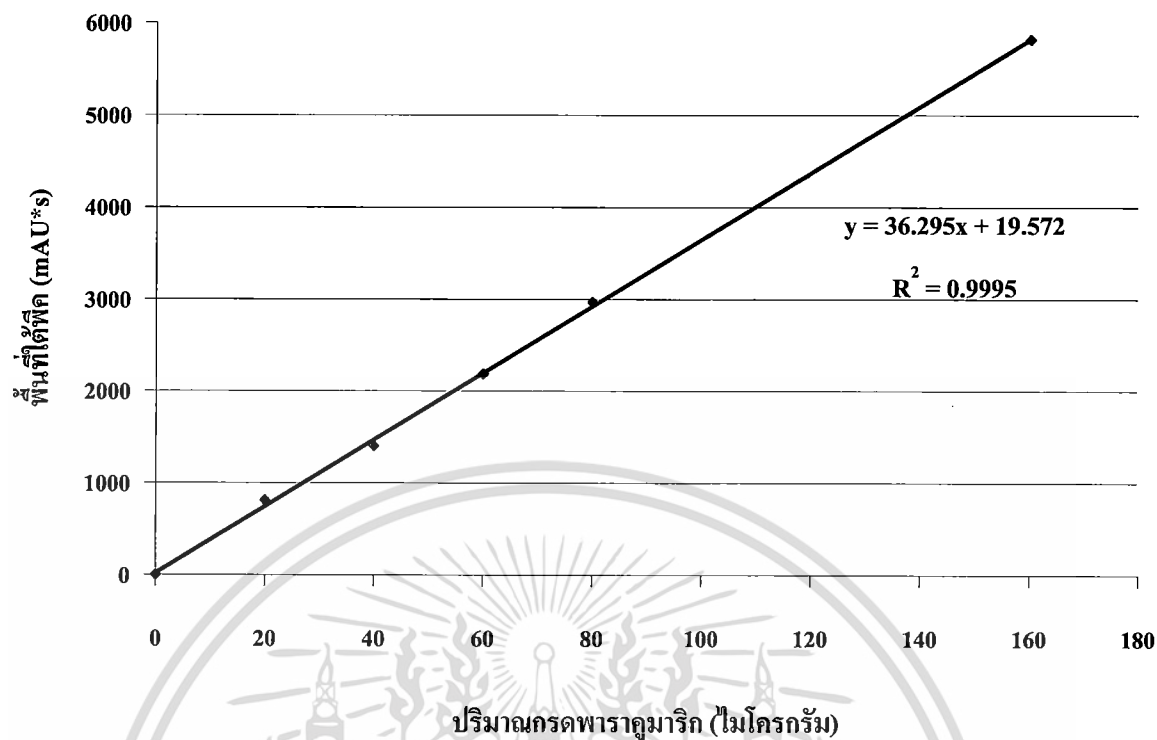


รูปที่ ๑.1 กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกในการวิเคราะห์หาปริมาณกรดแกลลิก โดยวิธี HPLC

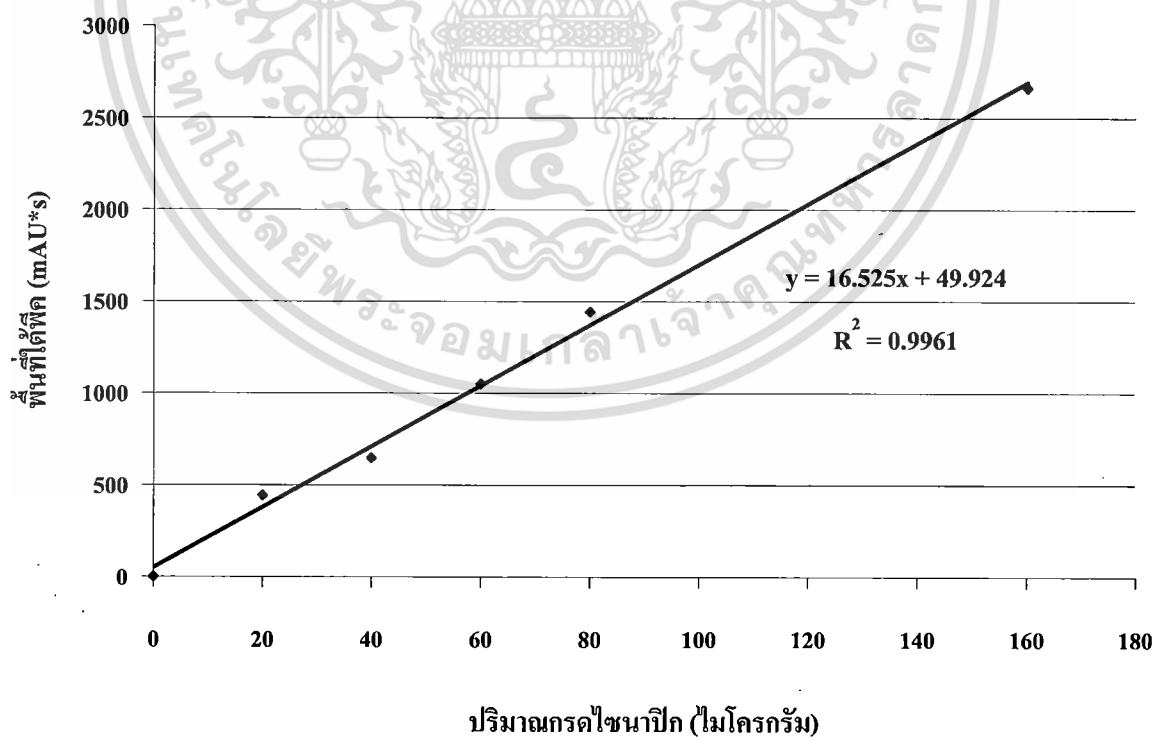


รูปที่ ๑.๒ กราฟมาตรฐานของกรดคาเฟอิกในการวิเคราะห์หาปริมาณกรดคาเฟอิก โดยวิธี HPLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

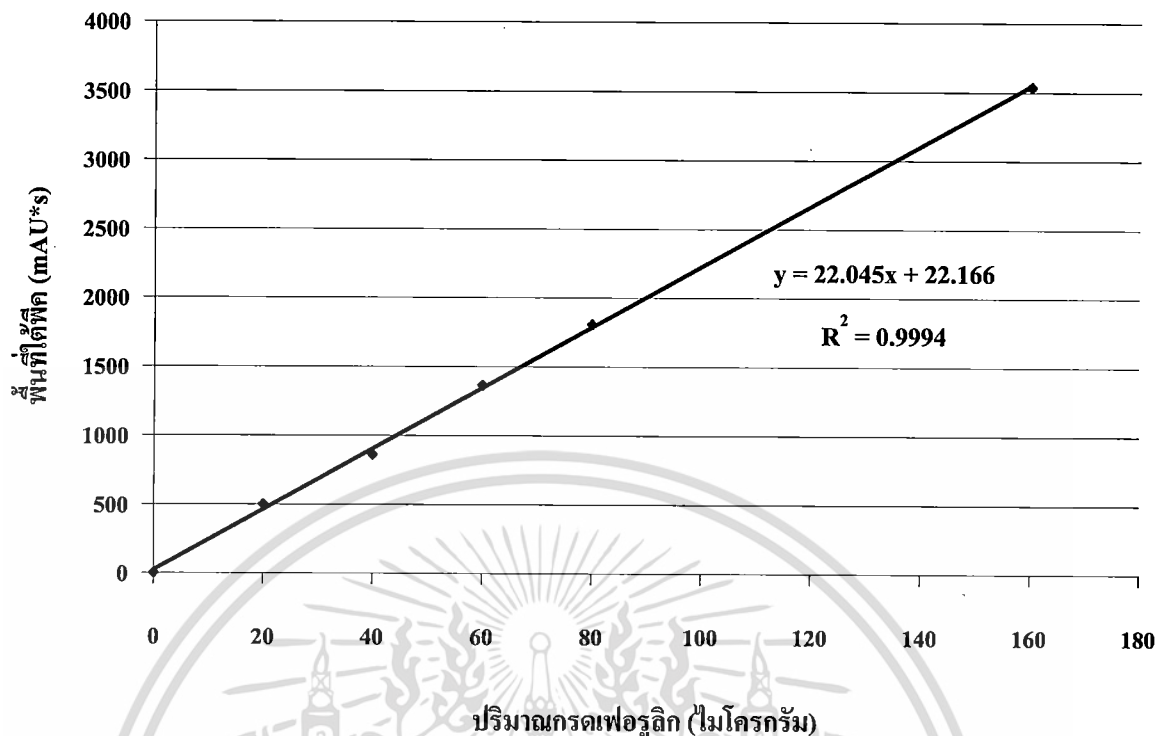


รูปที่ ๓.3 กราฟมาตรฐานของกรดพาราควมาริกในการวิเคราะห์หาปริมาณกรดพาราควมาริกโดยวิธี HPLC



ที่ ๓.4 กราฟมาตรฐานของกรดไซนาปิกในการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไซนาปิกโดยวิธี HPLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ที่ ๑.5 กราฟมาตรฐานของกรดเฟอรูลิกในการวิเคราะห์หาปริมาณกรดเฟอรูลิกโดยวิธี HPLC

การวิเคราะห์ปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ ในเปลือก เนื้อ และเมล็ดในมะม่วงดิบและสุก

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

การคำนวณ

คำนวณปริมาณกรดฟีนอลิกชนิดต่างๆ ของตัวอย่างสารสกัด โดยเปรียบเทียบพื้นที่ที่ได้ฟิคที่วัดได้จากการเทียบเวลาชะ (R) ของสารละลายมาตรฐานของกรดฟีนอลิกแต่ละชนิด กับกราฟของสารมาตรฐานมาแทนค่าในสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟของกรดฟีนอลิกแต่ละชนิด ดังรูปที่ ๑.1-๑.5 โดยมีตัวอย่างการคำนวณดังนี้

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

$$88.69 = 23.486x + 18.058$$

$$x = 3.007 \text{ ไมโครกรัม} / 5 \text{ ไมโครลิตรของสารสกัดตัวอย่าง}$$

สารสกัดตัวอย่างมีปริมาณกรดคาเฟอิก = 3.007 ไมโครกรัม / 5 ไมโครลิตรของสารสกัด

$$= 3.007 \text{ ไมโครกรัม} / 0.005 \text{ มิลลิลิตรของสารสกัด}$$

$$= 601.4 \text{ ไมโครกรัม} / 1 \text{ มิลลิลิตรของสารสกัด}$$

ในสารสกัดตัวอย่างเปลือกมะม่วงแก้วดำดิบ 1 มิลลิลิตร เตรียมได้จากการสกัดตัวอย่างเปลือกมะม่วงแก้วดำดิบ 2 กรัม ดังนั้น

เปลือกมะม่วงแก้วดำดิบมีปริมาณกรดคาเฟอิก = 601.4 ไมโครกรัม / 2 กรัมตัวอย่าง

$$= 30.07 \text{ มิลลิกรัม} / 100 \text{ กรัมตัวอย่าง}$$

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH scavenging activity)

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH วิเคราะห์โดยใช้วิธีที่รายงานโดย Murakami และคณะ (2004) ซึ่งมีหลักการคือ สารละลายของอนุมูลอิสระ DPPH จะมีสีม่วงแดง ซึ่งดูดกลืนแสงได้ที่ 517 นาโนเมตร ในกรณีตัวอย่างสารสกัดที่มีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระได้ดี จะทำให้สีม่วงแดงของสารละลาย DPPH จางลงได้มากกว่าตัวอย่างสารสกัดที่มีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระได้น้อย

สารเคมี

1. สารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.8 มิลลิโมลาร์ โดยชั่ง DPPH 0.0158 กรัม ละลายในเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ปรับปริมาตรรวมให้เป็น 50 มิลลิลิตร
2. เอทานอล ความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์

วิธีวิเคราะห์

1. ปิเปตสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.8 มิลลิโมลาร์ 0.12 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง
2. ปิเปตตัวอย่างสารสกัด และเอทานอล ความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรของสารละลายที่ทำปฏิกิริยารวมทั้งหมดเป็น 1.2 มิลลิลิตร นั่นคือปริมาตรรวมของตัวอย่างสารสกัด และเอทานอล ความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์ จะต้องเท่ากับ 1.08 มิลลิลิตร
3. ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที
4. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยใช้เอทานอล ความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์เป็น blank
5. คำนวณเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยแทนค่าในสมการดังนี้

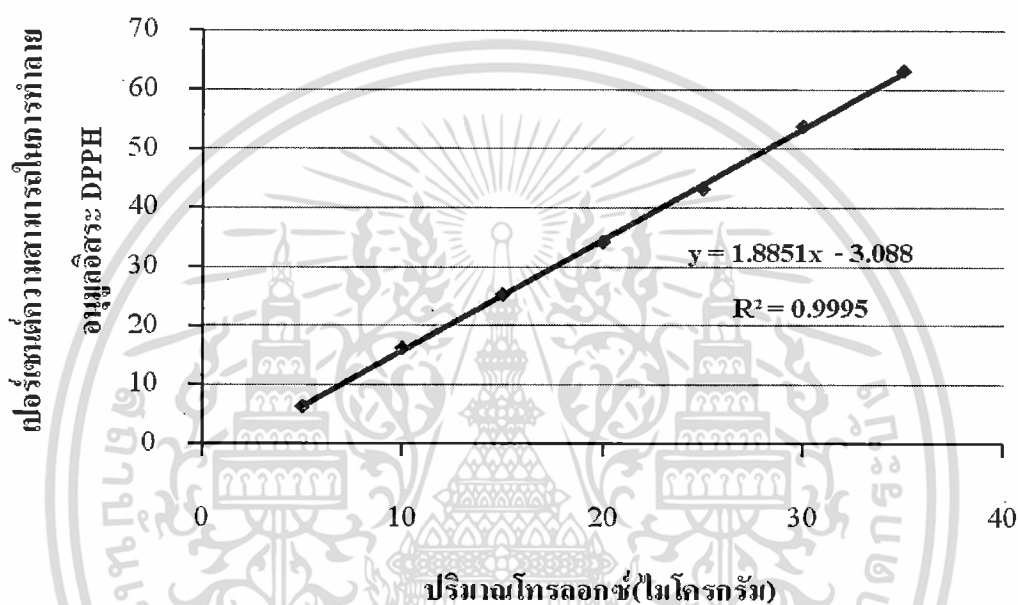
$$\{1 - (\text{ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง} / \text{ค่าการดูดกลืนแสงของหลอดควบคุม})\} \times 100$$

การเตรียมกราฟมาตรฐานโทรลอกซ์

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานสารละลาย DPPH โดยให้ความเข้มข้น 0.8 มิลลิโมลาร์ โดยชั่ง DPPH 0.0158 กรัม ปรับปริมาตรด้วยเอทานอลให้ปริมาตรรวมเป็น 50 มิลลิลิตร
2. เตรียมสารละลายมาตรฐานสารละลายโทรลอกซ์ โดยให้ความเข้มข้นโดยรวมในหลอดทดลองเป็น 5, 10, 15, 20, 25, 30 และ 35 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร โดยเตรียมโทรลอกซ์ที่ความเข้มข้น 250 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร โดยชั่งโทรลอกซ์ 0.025 กรัม ปรับปริมาตรด้วยเอทานอลให้มีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร โดยปิเปตมา 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.1, 0.12 และ 0.14 มิลลิลิตร ตามลำดับ แล้วปรับปริมาตรด้วยเอทานอลความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ให้มีปริมาตรรวมในแต่ละหลอดเป็น 0.2 มิลลิลิตร
3. ปรับปริมาตรด้วยเอทานอลความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ให้มีปริมาตรรวมในแต่ละหลอดเป็น 5.4 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เติมสารละลาย DPPH 0.6 มิลลิลิตร
5. ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม(vortex mixer) วางตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที ในที่มืด
6. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยใช้เอธานอลความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์เป็น blank
7. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายในหน่วย ไมโครกรัม



รูปที่ 1 กราฟมาตรฐานของสารละลายโทรลอกซ์

การวิเคราะห์ความสามารถในการทำละลายอนุมูลอิสระ DPPH ในตัวอย่างสารสกัดจากเปลือก เนื้อ และ เมล็ดในของมะม่วง

วิธีการวิเคราะห์ทำโดยดูดสารสกัดที่เจือจางให้มีความเข้มข้นที่เหมาะสมมา ปรับปริมาตรด้วย เอธานอลความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ให้ปริมาตรรวมเป็น 5.4 มิลลิลิตร เติมสารละลาย DPPH 0.6 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาทีในที่มืด นำไปวัด ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร คำนวณหาความสามารถในการทำละลายอนุมูลอิสระ DPPH ในตัวอย่างเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของมะม่วง โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของโทรลอกซ์

การคำนวณ

การคำนวณความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH

คำนวณความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างสารสกัด สมมูลโทรลอกซ์ โดยคำนวณเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ตามสมการต่อไปนี้

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

โดยที่ A_{sample} = ค่าการดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาของตัวอย่างสารสกัด

A_{control} = ค่าการดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาควบคุม

ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ มาแทนค่าในสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟมาตรฐาน โทรลอกซ์ ดังรูปที่ ข 1 สมการจากกราฟมาตรฐานของโทรลอกซ์

$$y = 1.8851x - 3.088 ; R^2 = 0.9995$$

เมื่อ y = ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร

x = ค่าความเข้มข้นของสารละลาย DPPH (ไมโครกรัม/ 0.5 มิลลิลิตรสารสกัดตัวอย่าง)

c = จุดตัดแกน y

ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH จะรายงานในหน่วยของมิลลิกรัมสมมูลย์ของโทรลอกซ์ต่อกรัมตัวอย่างสด โดยใช้กราฟมาตรฐานของ โทรลอกซ์

ตัวอย่างการคำนวณ

สารสกัดจากตัวอย่างเปลือกมะม่วงเขียวเสวยดิบ

ปริมาณสารสกัดตัวอย่างเปลือกมะม่วงเขียวเสวยดิบ 0.08 มิลลิลิตร ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร เท่ากับ 0.451 และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ของตัวอย่างควบคุมเท่ากับ 0.788 แทนค่าในสมการจะได้

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH} &= \{1 - (0.451/0.788)\} \times 100 \\ &= 42.77 \end{aligned}$$

แทนค่าในสมการจากกราฟมาตรฐานของโทรลอกซ์

$$42.77 = 1.8851x - 3.088$$

$$x = 24.32 \text{ ไมโครกรัมสมมูลย์ของโทรลอกซ์} / 0.08 \text{ มิลลิลิตรของสารสกัด}$$

ตัวอย่าง

สารสกัดตัวอย่างมีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH = 24.32 ไมโครกรัมสมมูลย์

ของโทรลอกซ์ / 0.08 มิลลิลิตรของสารสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารสกัดตัวอย่างมีความสามารถในการทำลายอนุคลิอิสระ DPPH = 30,406 ไมโครกรัมสมมูลย์
ของโทรลอกซ์ / 100 มิลลิลิตรของสารสกัด

ในสารสกัดตัวอย่างเปลือกมะม่วงเขียวเสวยดิบ 100 มิลลิลิตร มาจากตัวอย่างเปลือกมะม่วง
เขียวเสวยดิบ 1 กรัมตั้งนั้น

สารสกัดตัวอย่างมีความสามารถในการทำลายอนุคลิอิสระ DPPH = 30,406 ไมโครกรัมสมมูลย์
ของโทรลอกซ์ / 1 กรัมตัวอย่าง

สารสกัดตัวอย่างมีความสามารถในการทำลายอนุคลิอิสระ DPPH = 30.41 มิลลิกรัมสมมูลย์
ของโทรลอกซ์ / 1 กรัมตัวอย่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (Ferric reducing antioxidative potential, FRAP)

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

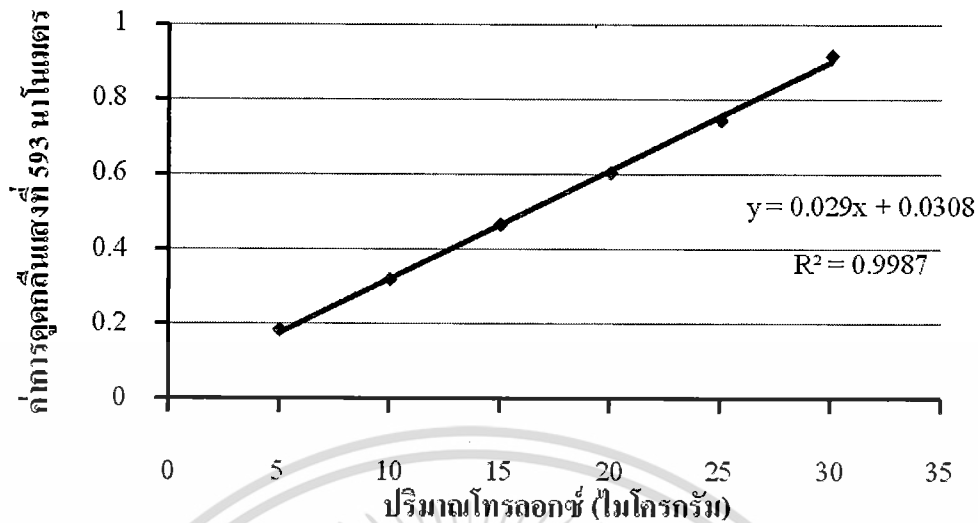
สารเคมี

1. อะซิเตต บัฟเฟอร์ (acetate buffer) pH 3.6 ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ซัง โซเดียมอะซิเตทไตรไฮเดรต 3.1 กรัม ผสมกับ กรดแอสซิติค 16 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ เป็น 1 ลิตร
2. สารละลาย TPTZ (2,4,6-Tris (2-pyridyl)-s-triazine) ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ใน HCl ความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ซัง TPTZ 0.156 กรัม ละลายใน HCl ความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 50 มิลลิลิตร
3. สารละลาย $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ซัง $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 0.27 กรัม ละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 50 มิลลิลิตร
4. FRAP reagent ผสมสารละลายที่เตรียมไว้ทั้งหมดดังที่กล่าวมาข้างต้น โดยให้มี อัตราส่วนของอะซิเตต บัฟเฟอร์ : สารละลาย TPTZ : สารละลาย $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ เป็น 10 : 1 : 1 โดยปริมาตร ซึ่งจะต้องเตรียมใหม่ทุกวัน

การเตรียมกราฟมาตรฐานโทรลอกซ์

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ใส่หลอดทดลอง โดยให้แต่ละหลอดมีความเข้มข้น 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร โดยเตรียมโทรลอกซ์ที่ความเข้มข้น 250 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร โดยซังโทรลอกซ์ 0.025 กรัม ปรับปริมาตรด้วยเอธานอลให้มีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร โดยปิเปตมา 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05 และ 0.06 มิลลิลิตร ตามลำดับแล้วปรับปริมาตรด้วยเอธานอลความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ให้มีปริมาตรรวมในแต่ละหลอดเป็น 0.1 มิลลิลิตร
1. เติมสารละลาย FRAP reagent ปริมาตร 3 มิลลิลิตร
2. ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 8 นาที
3. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร
4. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณโทรลอกซ์ในหน่วยไมโครกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๑ กราฟมาตรฐานของสารละลายโปรตีน

การวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก ของตัวอย่างสารสกัด

1. บีบตัวอย่างสารสกัด ปริมาตรประมาณ 0.1 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลาย FRAP reagent ปริมาตร 3 มิลลิลิตร
3. ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 8 นาที
4. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร

การคำนวณ

การคำนวณความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก

คำนวณความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของตัวอย่างสารสกัด สมมูลโปรตีน โดยนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการวิเคราะห์มาแทนค่าในสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟมาตรฐานโปรตีน ดังรูปที่ ๑ โดยมีตัวอย่างการคำนวณดังนี้

สมการจากกราฟมาตรฐานของโปรตีน

$$y = 0.028x + 0.0308; R^2 = 0.9987$$

เมื่อ y = ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร

x = ค่าความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (ไมโครกรัม/ 0.1 มิลลิลิตรสารสกัดตัวอย่าง)

c = จุดตัดแกน y

ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก จะรายงานในหน่วยของมิลลิกรัมสมมูลของโปรตีนต่อกรัมตัวอย่างสด โดยใช้กราฟมาตรฐานของโปรตีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ

สารสกัดจากตัวอย่างเปลือกมะม่วงเขียวเสวยดิบ

ปริมาณสารสกัดตัวอย่างเปลือกมะม่วงเขียวเสวยดิบ 0.08 มิลลิลิตร ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโน

เมตร เท่ากับ 0.404

แทนค่าในสมการจากกราฟมาตรฐานของโทรลอกซ์(รูปที่ ๗ 1)

$$0.404 = 0.028x + 0.0308$$

$$x = 12.87 \text{ ไมโครกรัมสมมูลย์ของโทรลอกซ์} / 0.08 \text{ มิลลิลิตรของสารสกัด}$$

ตัวอย่าง

สารสกัดตัวอย่างมีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก = 12.87 ไมโครกรัมสมมูลย์ของโทรลอกซ์ / 0.08 มิลลิลิตรของสารสกัด

สารสกัดตัวอย่างมีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก = 16,087.5 ไมโครกรัมสมมูลย์ของโทรลอกซ์ / 100 มิลลิลิตรของสารสกัด

ในสารสกัดตัวอย่างเปลือกมะม่วงเขียวเสวยดิบ 100 มิลลิลิตร มีปริมาณตัวอย่างเปลือกมะม่วงเขียวเสวยดิบ 1 กรัมดังนั้น

สารสกัดตัวอย่างมีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก = 16,087.5 ไมโครกรัมสมมูลย์ของโทรลอกซ์ / 1 กรัมตัวอย่าง

สารสกัดตัวอย่างมีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก = 16.09 มิลลิกรัมสมมูลย์ของโทรลอกซ์ / 1 กรัมตัวอย่าง

ภาคผนวก ฅ

ความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂ scavenging activity)

การวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะใช้วิธีที่รายงานโดย Yen และ Chen (1995) โดยวัดปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ ซึ่งดูดกลืนแสงได้ที่ 230 นาโนเมตร ในกรณีตัวอย่างสารสกัดที่มีความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ดี จะทำให้เกิดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้มาก

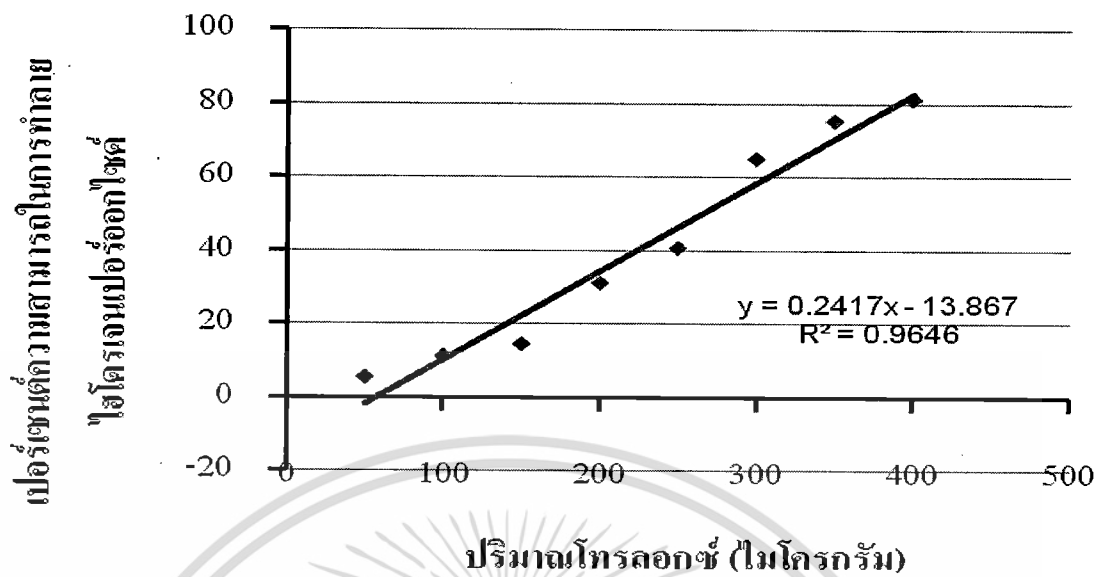
สารเคมี

1. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 90 มิลลิโมลาร์ โดยปิเปต ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์ มา 0.92 มิลลิลิตร ละลายในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.4 ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร
2. ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.4 ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ซึ่งโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตโมโนไฮเดรต 1.38 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร ผสมกับ ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตเฮปตะไฮเดรต 6.7008 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 250 มิลลิลิตร ปรับ pH ให้ได้ 7.4 โดยใช้ อัตราส่วน โซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตโมโนไฮเดรต 20 เปอร์เซ็นต์ ต่อ ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตเฮปตะไฮเดรต 80 เปอร์เซ็นต์

การเตรียมกราฟมาตรฐานโทรลอกซ์

5. ปิเปตสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ใส่หลอดทดลอง โดยให้แต่ละหลอดมีความเข้มข้น 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 และ 400 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร โดยเตรียมโทรลอกซ์ที่ความเข้มข้น 1000 ไมโครกรัม/มิลลิลิตรโดยชั่งโทรลอกซ์ 0.05 กรัม ปรับปริมาตรด้วยเอทานอลให้มีปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร โดยปิเปตมา 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 และ 0.8 มิลลิลิตร ตามลำดับแล้วปรับปริมาตรด้วยเอทานอลความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ให้มีปริมาตรรวมในแต่ละหลอดเป็น 2 มิลลิลิตร
6. ปิเปตน้ำกลั่น ปริมาตร 2 มิลลิลิตร
7. เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 90 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร
8. ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที
9. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 230 นาโนเมตร
10. สำหรับ blank ให้ใช้ ตัวอย่างที่วิเคราะห์ผสมกับ phosphate buffer โดยไม่ต้องมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๑ 1 กราฟมาตรฐานของสารละลายโทรลอกซ์

การวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในตัวอย่างสารสกัด

1. ปิเปตตัวอย่างสารสกัด ปริมาตร 2 มิลลิลิตร
2. ปิเปตน้ำกลั่น ปริมาตร 2 มิลลิลิตร
3. เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 90 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร
4. ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที
5. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 230 นาโนเมตร
6. สำหรับ blank ให้ใช้ ตัวอย่างที่วิเคราะห์ผสมกับ phosphate buffer โดยไม่ต้องมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

การคำนวณ

การคำนวณความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

คำนวณความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ของตัวอย่างสารสกัด สมมูลโทรลอกซ์ โดยนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการวิเคราะห์มาแทนค่าในสมการคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำลาย ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ของตัวอย่างสารสกัดโดยแทนค่าในสมการดังนี้

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

แล้วนำค่าที่ได้จากการคำนวณมาแทนในสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟมาตรฐานโทรลอกซ์ ดัง

รูปที่ ๑ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$y = 0.2417x - 13.867; R^2 = 0.9646$$

เมื่อ $y =$ ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 230 นาโนเมตร

$x =$ ค่าความสามารถในการทำละลายโครเจนเปอร์ออกไซด์ (ไมโครกรัม / 0.1 มิลลิลิตร สารสกัดตัวอย่าง)

$c =$ จุดตัดแกน y

ความสามารถในการทำละลายโครเจนเปอร์ออกไซด์ จะรายงานในหน่วยของมิลลิกรัมสมมูลย์ของโทรลอกซ์ต่อกรัมตัวอย่างสด โดยใช้กราฟมาตรฐานของโทรลอกซ์

ตัวอย่างการคำนวณ

สารสกัดจากตัวอย่างเปลือกมะม่วงเขียวเสวยดิบ

ปริมาณสารสกัดตัวอย่างเปลือกมะม่วงเขียวเสวยดิบ 0.08 มิลลิลิตร

ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 230 นาโนเมตร เท่ากับ 0.648

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำละลายโครเจนเปอร์ออกไซด์} &= \{1 - (0.648/0.842)\} \times 100 \\ &= 23.04 \end{aligned}$$

แทนค่าในสมการจากกราฟมาตรฐานของโทรลอกซ์ (รูปที่ ๑)

$$23.04 = 0.2417x - 13.867$$

$$x = 152.69 \text{ ไมโครกรัมสมมูลย์ของโทรลอกซ์} / 0.08 \text{ มิลลิลิตรของสารสกัดตัวอย่าง}$$

สารสกัดตัวอย่างมีความสามารถในการทำละลายโครเจนเปอร์ออกไซด์ = 152.69 ไมโครกรัมสมมูลย์ของโทรลอกซ์ / 0.1 มิลลิลิตรของสารสกัด

สารสกัดตัวอย่างมีความสามารถในการทำละลายโครเจนเปอร์ออกไซด์ = 12,725 ไมโครกรัมสมมูลย์ของโทรลอกซ์ / 100 มิลลิลิตรของสารสกัด

ในสารสกัดตัวอย่างเปลือกมะม่วงเขียวเสวยดิบ 100 มิลลิลิตร มีปริมาณตัวอย่างเปลือกมะม่วงเขียวเสวยดิบ 1 กรัม ดังนั้น

สารสกัดตัวอย่างมีความสามารถในการทำละลายโครเจนเปอร์ออกไซด์ = 12,725 ไมโครกรัมสมมูลย์ของโทรลอกซ์ / 1 กรัมตัวอย่าง

สารสกัดตัวอย่างมีความสามารถในการทำละลายโครเจนเปอร์ออกไซด์ = 12.73 มิลลิกรัมสมมูลย์ของโทรลอกซ์ / 1 กรัมตัวอย่าง