



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ “การวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในมะม่วง กัลล้วย
และมะละกอ

Analysis of bioactive compounds of mango, banana and papaya

โดย ผศ.ดร.ศิริธร ศิริอมรพรรณ และคณะ

31 กรกฎาคม 2552

สัญญาเลขที่ RDG5120064

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ “การวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในมะม่วง กัลล้วย
และมะละกอ

Analysis of bioactive compounds of mango, banana and papaya

คณะผู้วิจัย

สังกัด

ผศ.ดร.ศิริธร ศิริอมรพรรณ
ดร. นเรศ มีใส

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ชุดโครงการ สมุนไพรเพื่อสุขภาพ

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

สัญญาเลขที่ RDG5120064

โครงการ “การวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในมะม่วง กัลล้วย และมะละกอ
Analysis of bioactive compounds of mango, banana and papaya”

รายงานฉบับสมบูรณ์

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ 1 สิงหาคม 2551 ถึง 31 กรกฎาคม 2552

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัยรับทุน : ผศ.ดร.ศิริธร ศิริอมรพรรณ

หน่วยงาน: ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนศาสตร์ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย
มหาสารคาม

Executive Summary

โครงการ “การวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในมะม่วง กัลลวย และมะละกอ” มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพใน กัลลวย มะม่วง และมะละกอ การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีเบื้องต้นของผลไม้ทั้งสามชนิด ได้แก่ มะม่วง(มะม่วงน้ำดอกไม้ มะม่วงเขียวเสวย และมะม่วงแก้ว), กัลลวย (กัลลวยไข่ กัลลวยน้ำว่า และกัลลวยหอม) และมะละกอ(แขกดำ ฮาวาย และฮอลแลนด์) โดยเลือกสายพันธุ์ที่มีมูลค่าการส่งออกสูงและผู้บริโภคนิยมอย่างละ 3 สายพันธุ์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ปริมาณวิตามินซี และเบต้าแคโรทีนของสารสกัดจากผลไม้ทั้งสามชนิด นอกจากนี้ยังจำแนกชนิดและปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์โดยใช้เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High performance liquid chromatography :HPLC) โดยใช้ Diode array detector (DAD) รวมถึงการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP และ DPPH จากการวิจัยพบว่า การวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยทั้งหมดของมะม่วง 3 สายพันธุ์ จากการทดลองพบว่าเนื้อมะม่วงดิบและเนื้อมะม่วงสุกในแต่ละสายพันธุ์มีปริมาณเส้นใย อยู่ในช่วง 2.10-2.50 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเส้นใยของกัลลวยทั้ง 3 สายพันธุ์ กัลลวยดิบมีปริมาณเส้นใยทั้งหมดประมาณ 2.7 เปอร์เซ็นต์ กัลลวยสุกมีปริมาณเส้นใยเส้นใยประมาณ 2.50 เปอร์เซ็นต์ เนื้อกัลลวยทั้งกัลลวยดิบและกัลลวยสุกดิบมีปริมาณเส้นใยทั้งหมดใกล้เคียงกันในแต่ละสายพันธุ์ เนื้อกัลลวยดิบมีปริมาณเส้นใยทั้งหมดประมาณ 2.7 เปอร์เซ็นต์ เนื้อกัลลวยสุกมีเส้นใยประมาณ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณปริมาณเส้นใยทั้งหมดของมะละกอดิบมีปริมาณเส้นใยใกล้เคียงกันกับมะละกอสุก มะละกอดิบมีปริมาณเส้นใยทั้งหมดประมาณ 1.40 เปอร์เซ็นต์ มะละกอสุกมีเส้นใยทั้งหมดประมาณ 1.20 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของผลสุกของผลไม้ทั้งสามชนิดจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงกว่าเนื้อของผลดิบ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิครวมทั้งหมดในมะม่วงแก้วสุกมีปริมาณมากที่สุด (5.58 ± 1.13 mg/100g) ในกัลลวยพบมากที่สุดกัลลวยไข่สุก (33.72 ± 1.42 mg/100g) ในมะละกอพบมากที่สุด ในมะละกอสุกสายพันธุ์ฮาวาย (41.64 ± 0.89 mg/100g) ปริมาณของวิตามินซี ในมะม่วงมีปริมาณวิตามินซีอยู่ในช่วง 350-360 $\mu\text{g/g}$ กัลลวยพบมากในกัลลวยดิบมีปริมาณ 490 $\mu\text{g/g}$ และมะละกอดิบพบมากในมะละกอสายพันธุ์ฮอลแลนด์ มีปริมาณวิตามินซี 340 $\mu\text{g/g}$ ปริมาณเบต้าแคโรทีนพบมากในผลสุกมากกว่าผลดิบของผลไม้ทั้งสามชนิด มะม่วงพบมากในมะม่วงน้ำดอกไม้สุก มีปริมาณ 50.89 mg/g ในกัลลวยพบมากในกัลลวยหอมสุก 51.09 mg/g และในมะละกอพบมากในสายพันธุ์ฮาวายมีปริมาณ 9.50 mg/g การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ และการจำแนกสารประกอบฟีนอลิก

และฟลาโวนอยด์โดยใช้ HPLC/DAD โดยเบื้องต้นพบว่า ปริมาณสารฟีนอลิก ในมะม่วงดิบมี ปริมาณของสาร Gallic acid พบมากที่สุด โดยมีปริมาณอยู่ในช่วง 92.09-24.88 mg/g ในกล้วย ปริมาณสารที่ตรวจพบมากที่สุดคือ *p*- hydroxybenzoic acid พบมากที่สุดใกล้วยหอมสุกมีปริมาณ 6.03 mg/g ในมะละกอดิบพบสาร Gallic acid มากที่สุดใน มะละกอดิบพันธุ์ฮอลแลนด์ มี ปริมาณ 0.74 mg/g ปริมาณฟลาโวนอยด์ที่ตรวจพบในมะม่วงดิบและสุกคือ Rutin ซึ่งพบมาก ที่สุดในมะม่วงน้ำดอกไม้สุก มีปริมาณ 1037.58 mg/g เช่นเดียวกันกับในกล้วยดิบและสุกที่พบ Rutin ในปริมาณมากที่สุด ซึ่งพบมากที่สุดใกล้วยน้ำว้าดิบ มีปริมาณ 378.13 mg/g แต่ใน มะละกอดิบและสุกจะพบ Myricetin ในปริมาณมาก พบมากที่สุดใมะละกอดิบสายพันธุ์ ฮาวาย มีปริมาณ 76.96 mg/g จากการผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า ปริมาณสารออกฤทธิ์ทาง ชีวภาพของผลไม้ทั้งสามชนิดในแต่ละสายพันธุ์มีปริมาณที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

การศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดของผลไม้ทั้งสามชนิด โดยการทดสอบ ด้วยวิธี FRAP และด้วยวิธีการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH พบว่า สารสกัด จากมะม่วงแก้วดิบมีความสามารถในการรีดิวซ์อะตอมเหล็กได้มากที่สุด โดยสามารถรีดิวซ์ได้ 1.21 mmol FeSO₄ equivalent/g น้ำหนักแห้ง ในมะละกอดิบสายพันธุ์ฮอลแลนด์และกล้วยหอม ดิบมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุดคือมีค่า 0.42 และ 0.20 mmol FeSO₄ equivalent/g น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ การทดสอบ ด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity พบว่า สารสกัดจากมะม่วงน้ำดอกไม้มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด คือ 84% ในมะละก อสุกพบว่าสายพันธุ์ฮาวายมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด คือ 91 % ส่วนใกล้วยพบว่ากล้วย น้ำว้าดิบมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงสุดคือ 21.75% ผลการทดลองวัดค่า IC₅₀ ซึ่งเป็นค่าความ เข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ 50% ของมะม่วงดิบสายพันธุ์แก้วมี ค่า IC₅₀ น้อยที่สุดเท่ากับ 1.29 mg/g มะละกอสายพันธุ์ฮอลแลนด์ดิบ มีค่า IC₅₀ 5.37 mg/g ใน กล้วยหอมสุกคือมีค่า 3.12 mg/g จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระจาก สารสกัดของผลไม้ไม่มีปริมาณที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)ทั้งสามชนิดในแต่ละ สายพันธุ์

จากการวิจัยนี้ สามารถสรุปได้ว่าผลไม้ไทยทั้งสามชนิด (มะม่วง กล้วยและมะละกอ) เป็นผลไม้ที่ประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญต่อร่างกายได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ เบต้าแคโรทีน วิตามินซี และมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ จากข้อมูลดังกล่าวแสดงว่า ผลไม้ทั้งสามชนิดที่ศึกษาในการนำมาบริโภคเป็นผลไม้เพื่อสุขภาพ และรวมทั้งในการส่งออก เพื่อจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ

บทคัดย่อ

ผลไม้ไทยมีหลากหลายชนิด และมีการนำมาบริโภคทั้งในประเทศและส่งขายเป็นสินค้าออกที่สำคัญ เพราะนอกจากจะมีรสชาติดีแล้ว ยังจัดเป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ และแหล่งของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ เช่น สารต้านอนุมูลอิสระ และวิตามินซี เป็นต้น อย่างไรก็ตามยังขาดข้อมูลเหล่านี้เพื่อยืนยันทางวิทยาศาสตร์ ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพใน มะม่วง กัลยและมะละกอ โดยวิเคราะห์เส้นใยโดยรวม ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกโดยใช้วิธี Folin-Ciocalteu เบต้าแคโรทีน วิตามินซี และวิเคราะห์สารกลุ่มฟีนอลิกโดยใช้เทคนิค HPLC(DAD) รวมถึงฤทธิ์การทดสอบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในหลอดทดลองด้วยวิธี Ferric reducing / antioxidant power (FRAP) assay, DPPH radical scavenging activity ผลไม้ที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ มะม่วงสายพันธุ์น้ำดอกไม้ เชื้อขาว และมะม่วงแก้ว กัลยสายพันธุ์ กัลยไข่ กัลยน้ำว่า และกัลยหอม และมะละกอสายพันธุ์ แยกดำ ฮาวาย และฮอลแลนด์

ผลการวิจัยในมะม่วง 3 สายพันธุ์ พบว่ามะม่วงดิบมีปริมาณเส้นใยทั้งหมดมากกว่ามะม่วงสุก แต่มะม่วงสุกจะมีปริมาณของแข็งละลายได้ทั้งหมดสูงกว่าผลดิบ เนื้อมะม่วงแก้วสุกมีปริมาณฟีนอลิก รวมมากที่สุด รองลงมา คือ มะม่วงน้ำดอกไม้ดิบ และมะม่วงแก้วสุก ตามลำดับ ปริมาณเบต้าแคโรทีนพบในมะม่วงน้ำดอกไม้มากที่สุด (50.6 มิลลิกรัม/กรัม) มะม่วงดิบพบปริมาณวิตามินซีมากกว่ามะม่วงสุกอยู่ในช่วง 350-360 $\mu\text{g/g}$ กรดฟีนอลิกที่พบมากที่สุด ในมะม่วงคือ Gallic acid และ Rutin เป็นสารฟลาโวนอยด์ที่พบมากที่สุด ในมะม่วง โดยพบว่า มะม่วงดอกไม้สุกมี Rutin สูงสุด ประมาณ 1037 มิลลิกรัม/กรัม จากการทดสอบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ พบว่ามีความสามารถใกล้เคียงกัน คือมีค่า FRAP มีค่าอยู่ในช่วง 0.65-0.86 มิลลิกรัมสมมูลของ FeSO_4 /กรัม น้ำหนักแห้ง DPPH มีค่าอยู่ในช่วง 82เปอร์เซ็นต์ใน มะม่วงน้ำดอกไม้ ถึง 89 เปอร์เซ็นต์ในมะม่วงเชื้อขาว และมะม่วงแก้วมีค่า IC_{50} (1.29 mg/g)น้อยที่สุด

ผลการวิจัยในกัลย 3 สายพันธุ์ พบว่า กัลยมีปริมาณเส้นใยทั้งหมดอยู่ในช่วง 11-14% และกัลยสุกมีปริมาณของแข็งละลายได้ทั้งหมดสูงกว่ากัลยดิบ เนื้อกัลยสุกมีปริมาณฟีนอลิกรวมมากที่สุด ในกัลยสายพันธุ์ กัลยไข่ (33.7 มิลลิกรัม/100 กรัม) รองลงมาคือ กัลยน้ำว่า (30.80 มิลลิกรัม/100 กรัม) และกัลยหอม (19.38 มิลลิกรัม/100 กรัม) ตามลำดับ ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนพบมากที่สุด ในกัลยหอมสุก(51.09 มิลลิกรัม/กรัม) ปริมาณวิตามินซีที่พบในกัลยอยู่ในช่วง 270-490 ไมโครกรัม/กรัม กรดฟีนอลิกที่พบมากที่สุด ในกัลยคือ *p*-Hydroxybenzoic และ Rutin เป็นสารฟลาโวนอยด์ที่พบมากที่สุด ในกัลย โดยพบว่า กัลยน้ำว่าดิบมีปริมาณ rutin สูงสุด ประมาณ 378.13 มิลลิกรัม/กรัม จากการทดสอบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ พบว่ามีความสามารถใกล้เคียงกัน คือมีค่า FRAP มีค่าอยู่ในช่วง 0.05-0.20 มิลลิกรัมสมมูลของ FeSO_4 /กรัม น้ำหนักแห้ง DPPH มีค่าอยู่ในช่วง 72-80 % และกัลยน้ำว่ามีค่า IC_{50} (0.84 มิลลิกรัม/กรัม)น้อยที่สุด

ผลการวิจัยในมะละกอ 3 สายพันธุ์ พบว่ามะม่วงดิบมีปริมาณเส้นใยทั้งหมดมากกว่ามะละกอสุก แต่ มะละกอสุกจะมีปริมาณของแข็งละลายได้ทั้งหมดสูงกว่าผลดิบ เนื้อมะละกอสุกมีปริมาณฟีนอลิก รวมมากที่สุด คือ สายพันธุ์ฮาวาย (41.64 มิลลิกรัม/100 กรัม) ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนพบมากที่สุดในมะละกอ สายพันธุ์ฮาวายมีปริมาณ 9.50 มิลลิกรัม/กรัม ปริมาณวิตามินซีอยู่ในช่วง 80-340 ไมโครกรัม/กรัม กรดฟีนอลิกที่พบมากที่สุดในมะละกาคือ Gallic acid และ Myricetin เป็นสารฟลาโวนอยด์ที่พบมากที่สุดในมะละกอ โดยพบว่า มะละกอดิบสายพันธุ์ฮาวายมีปริมาณ Myricetin สูงสุด ประมาณ 76.96 มิลลิกรัม/กรัม จากการทดสอบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ พบว่ามีความสามารถใกล้เคียงกัน คือมีค่า FRAP มีค่าอยู่ในช่วง 0.13-0.42 mmol FeSO₄ equivalent/g น้ำหนักแห้ง มะละกอสุกมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH สูงกว่ามะละกอดิบ มีค่าอยู่ในช่วง 87-91% และมะละกอสุกสายพันธุ์ฮาวายมีค่า IC₅₀ (2.19 มิลลิกรัม/กรัม) น้อยที่สุด

โดยสรุปการวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่าผลไม้ไทยทั้งสามชนิด (มะม่วง กลิ้วและมะละกอ) เป็นผลไม้ที่ประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญต่อร่างกาย และมีคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ เป็นอย่างดี

ABSTRACT

There are a number of Thai fruits available in both domestic and international markets. Besides the favorable taste, fruits are thought to be nutritious and a rich source of bioactive compounds such as antioxidants and vitamins. However, there is lack of scientific data on bioactive compounds in many of Thai fruits. The aim of this research was to identify and quantify bioactive compounds in selected popular Thai fruits namely, mango, banana and papaya. Determinations included total fiber content, total soluble solid content, total phenolic content, beta-carotene, vitamin C, phenolic compounds including phenolic acids and flavonoids. Antioxidant activities of the fruits were also measured by Ferric reducing/antioxidant power (FRAP) and DPPH radical scavenging assays. Three varieties of mangos: Nam Dokmai, Kaew, Khiew Sawoey, three varieties of banana: Hom, Namwa, Khai and three varieties of papaya: Khak dam, Hawaii and Holland, were studied in this research.

For mango, the results showed raw pulp had higher fiber content than did ripe fruit, while in ripe fruit had greater total soluble solid content than in raw fruits. In all varieties, total phenolic content was found to be significantly higher in ripe pulp compared to that of raw pulp, ripe Kaew variety had the highest total phenolic content, followed by raw Nam Dawk Mai and ripe Kaew respectively. Nam Dokmai also had the greatest beta-carotene content (50.6 mg/g). Raw pulp contained higher vitamin C than ripe pulp in all varieties ranging from 350 to 360 $\mu\text{g/g}$. The most predominant phenolic acid in mango was gallic acid while rutin was the major flavonoid especially found in ripe Nam Dawk Mai (1037 mg/g). FRAP values were between 0.65 and 0.86 mmol FeSO_4 equivalent/dry weight). DPPH ranged from 82 in ripe Nam Dokmai to 89 % in Khiew Sawoey. Kaew had the lowest LC_{50} of 1.29 mg/g.

For banana, the fiber content ranged from 2.4 in ripe Khai to 2.7 % in raw Khai. Ripe pulp had greater than did raw pulp in all varieties. The total phenolic contents was found to be significantly higher in ripe pulp compared to that of raw pulp, ripe Khai variety (33.7 mg/g) had the highest total phenolic content, followed by ripe Namwa (30.8 mg/g) and ripe Hom (19.4 mg/g), respectively. Ripe Hom had the greatest beta-carotene content (51 mg/g). The content of vitamin C ranged from 270 to 490 $\mu\text{g/g}$. The most predominant phenolic acid in mango was *p*-hydroxybenzoic acid while rutin was the major flavonoid and found the highest amount in raw Namwa (378 mg/g). FRAP values ranged between 0.05-0.20 mmol FeSO_4

equivalent/dry weight. DPPH radical scavenging activities ranged from 72 to 80%. Namwa variety had the lowest LC_{50} of 0.84 mg/g.

For papaya, raw pulp had higher fiber content compared to that of ripe fruit but in ripe fruit had greater total soluble solid content than did raw fruits in all varieties. Hawaii variety had the highest total phenolic and beta- carotene contents of 41.6 and 9.5 mg/g, respectively. The most predominant phenolic acid in papaya was gallic acid while myricetin was the major flavonoid especially found in ripe Hawaii (77 mg/g). Antioxidant activities of all varieties were comparatively similar. FRAP values were between 0.65 and 0.86 mmol $FeSO_4$ equivalent/dry weight). DPPH radical scavenging activities were found higher in raw pulp than that in ripe pulp ranging from 87 to 91 %. Hawaii variety had the lowest LC_{50} of 1.29 mg/g.

In conclusion, this research has demonstrated that Thai mango, banana and papaya were rich of important bioactive components especially phenolic compounds and had potent antioxidant activities.

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
3 วิธีดำเนินการวิจัย	32
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	45
5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	82
บรรณานุกรม	85
ภาคผนวก	89

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 แสดงคุณค่าทางโภชนาการในส่วนที่กินได้ของกล้วย 100 กรัม	9
2.2 อนุมูลอิสระและสัญลักษณ์	27
4.1 ปริมาณเส้นใยโดยรวมของมะม่วง 3 สายพันธุ์	46
4.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ของมะม่วง 3 สายพันธุ์	47
4.3 แสดงการวัดเนื้อสัมผัสของมะม่วง 3 สายพันธุ์ (เนื้อดิบ)	48
4.4 แสดงการวัดเนื้อสัมผัสของมะม่วง 3 สายพันธุ์ (เนื้อสุก)	48
4.5 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ของมะม่วง 3 สายพันธุ์	50
4.6 ปริมาณเบต้าแคโรทีน ของมะม่วง 3 สายพันธุ์	51
4.7 แสดงการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซีด้วยวิธี HPLC ของมะม่วง 3 สายพันธุ์	52
4.8 แสดงปริมาณสารฟีนอลิกด้วยวิธี HPLC ของมะม่วง 3 สายพันธุ์ (มะม่วงดิบ) .	55
4.9 แสดงปริมาณสารฟีนอลิกด้วยวิธี HPLC ของมะม่วง 3 สายพันธุ์ (มะม่วงสุก) .	55
4.10 แสดงปริมาณ สารฟลาโวนอยด์ด้วยวิธี HPLC ของมะม่วง 3 สายพันธุ์ (มะม่วงดิบ)	56
4.11 แสดงปริมาณสารฟลาโวนอยด์ ด้วยวิธี HPLC ของมะม่วง 3 สายพันธุ์ (มะม่วงสุก)	56
4.12 แสดงฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ของมะม่วง 3 สายพันธุ์	58
4.13 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity ของมะม่วง 3 สายพันธุ์	59
4.14 ค่าของ IC ₅₀ (mg/g) ของเนื้อและสุกของมะม่วง 3 สายพันธุ์	59
4.15 ปริมาณเส้นใยดิบของกล้วย 3 สายพันธุ์	60
4.16 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ของกล้วย 3 สายพันธุ์	61
4.17 แสดงการวัดเนื้อสัมผัสของกล้วย 3 สายพันธุ์ (กล้วยดิบ)	61
4.18 แสดงการวัดเนื้อสัมผัสของกล้วย 3 สายพันธุ์ (กล้วยสุก)	62
4.19 แสดงการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด	62
4.20 ปริมาณสารเบต้าแคโรทีน ของกล้วย 3 สายพันธุ์	63

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
4.21 แสดงปริมาณวิตามินซีด้วยวิธี HPLC ของกล้วย 3 สายพันธุ์	64
4.22 แสดงปริมาณสารฟีนอลิกด้วยวิธี HPLC ของกล้วย 3 สายพันธุ์ (กล้วยดิบ) ...	67
4.23 แสดงปริมาณสารฟีนอลิกด้วยวิธี HPLC ของกล้วย 3 สายพันธุ์ (กล้วยสุก) ...	67
4.24 แสดงการวิเคราะห์ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ด้วยวิธี HPLC ของกล้วยสุก 3 สายพันธุ์ (กล้วยดิบ)	68
4.25 แสดงการวิเคราะห์ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ด้วยวิธี HPLC ของกล้วยสุก 3 สายพันธุ์ (กล้วยสุก)	68
4.26 แสดงการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ของกล้วย 3 สายพันธุ์	69
4.27 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity ของกล้วย 3 สายพันธุ์	70
4.28 แสดงค่าของ IC ₅₀ ของกล้วย 3 สายพันธุ์	71
4.29 ปริมาณเส้นใยดิบของมะละกอ 3 สายพันธุ์	71
4.30 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ของมะละกอ 3 สายพันธุ์	72
4.31 แสดงการวัดเนื้อสัมผัสของมะละกอ 3 สายพันธุ์ (เนื้อดิบ)	73
4.32 แสดงการวัดเนื้อสัมผัสของมะละกอ 3 สายพันธุ์ (เนื้อสุก)	73
4.33 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด มะละกอ 3 สายพันธุ์	74
4.34 ปริมาณเบต้าแคโรทีน ของมะละกอ 3 สายพันธุ์	75
4.35 ปริมาณวิตามินซีด้วยวิธี HPLC ของมะละกอ 3 สายพันธุ์	76
4.36 แสดงการวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกด้วยวิธี HPLC ของมะละกอ 3 สายพันธุ์ (มะละกอดิบ)	78
4.37 แสดงการวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกด้วยวิธี HPLC ของมะละกอ 3 สายพันธุ์ (มะละกอสุก)	78
4.38 ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ด้วยวิธี HPLC ของมะละกอ 3 สายพันธุ์ (มะละกอดิบ)	79

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
4.39 ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ด้วยวิธี HPLC ของมะละกอ 3 สายพันธุ์ (มะละกอสุก)	79
4.40ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ของมะละกอ 3 สายพันธุ์	80
4.41 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity ของมะละกอ 3 สายพันธุ์	81
4.42 ค่าของ IC_{50} (mg/g) ของเนื้อดิบและสุกของมะละกอ 3 สายพันธุ์	81

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1 มะม่วงน้ำดอกไม้ม	5
2 มะม่วงเขียวเสวย	6
3 มะม่วงแก้ว	7
4 กล้วยไข่สุกและดิบ	9
5 กล้วยหอมสุกและดิบ	11
6 กล้วยน้ำว้าสุกและดิบ	12
7 ผลมะละกอฮาวายดิบ	14
8 ผลมะละกอฮาวายสุก	15
9 ผลมะละกอแขกดำดิบ	16
10 ผลมะละกอแขกดำสุก	16
11 ผลมะละกอฮอลแลนด์ดิบและสุก	18
12 โครงสร้างสารประกอบฟีนอลิก	22
13 โครงสร้างของกลุ่มสารฟีนอลิก	24
14 แหล่งที่มาของอนุมูลอิสระ (free radicals)	27
15 โครงสร้างของสาร 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)	30
16 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารต้านอนุมูลอิสระต่อ อนุมูล DPPH [•]	30
17 การรีดิวซ์สารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก Fe ³⁺ -TPTZ ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กเฟอร์รัส Fe ²⁺ -TPTZ	31
18 กล้วยสายพันธุ์ต่างๆ	35
19 มะละกอสายพันธุ์ต่างๆ	35
20 มะม่วงสายพันธุ์ต่างๆ	36
21 การเตรียมตัวอย่างโดยผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่แข็ง (freeze dry)	37

บทที่ 1 บทนำ

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัจจุบันนี้มีรายงานการเสียชีวิตของคนที่เกิดจากโรคไม่ติดต่อ(non-communicable disease) ที่เป็นอันตรายหลายโรค เช่น โรคความดันโลหิตสูง โรคหัวใจ โรคเบาหวาน เป็นต้น ซึ่งโรคเหล่านี้สามารถป้องกันและรักษาได้โดยการบริโภคอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งจะพบในพืชผักและผลไม้เป็นส่วนใหญ่ สารต้านอนุมูลอิสระส่วนใหญ่จะเป็นสารประกอบประเภทโพลีฟีนอล และวิตามินที่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น วิตามินซี วิตามินอีและเบต้าแคโรทีน เป็นต้น ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีความอุดมสมบูรณ์ มีความหลากหลายทางชีวภาพ สามารถปลูกผักและผลไม้ได้มากมายหลายชนิดและเป็นที่ต้องการของตลาดโลกโดยเฉพาะอย่างยิ่งผลไม้เมืองร้อน เช่น มะม่วง มังคุด ส้มโอ ลำไย กัลยัม มะละกอ เงาะ ทูเรียน สับปะรด มะพร้าว เป็นต้น ถึงแม้จะมีรายงานข้อมูลทางด้านคุณค่าทางโภชนาการของผลไม้เหล่านี้บ้าง เช่น สารอาหารหลักได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน วิตามินและเกลือแร่ แต่ยังขาดข้อมูลเกี่ยวกับสารสำคัญอื่นๆ เช่น สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และคุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารเหล่านั้น ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จัดว่ามีความสำคัญยิ่งในปัจจุบันทั้งต่อผู้บริโภคและเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันโดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำข้อมูลไปใช้ประกอบการสร้างความเชื่อมั่นในการส่งออกผลไม้ไทยไปขายยังต่างประเทศ

ดังนั้นคณะนักวิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญของการวิจัยเพื่อหาข้อมูลดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและวิเคราะห์คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของสารเหล่านั้น ผลไม้ที่เลือกศึกษา คือ มะม่วง กัลยัม และมะละกอ เนื่องจากมีมูลค่าในการส่งออกสูง และในการวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระนั้นเราจะเลือกใช้ *in vitro* assay ตามวิธีมาตรฐานหลายวิธีเนื่องจากจากการวิจัยของคณะวิจัยเรา (Kubola and Siriamornpun, 2008) พบว่า พืชแต่ละชนิดหรือแม้แต่ส่วนใดส่วนหนึ่งของพืช อาทิเช่น ใบ ผล เมล็ดชนิดเดียวกัน อาจมีการตอบสนองต่อปฏิกิริยาทางเคมีของสารที่ใช้วัดกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของสารออกฤทธิ์ในแต่ละส่วนนั้น นอกจากการวัดกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระแล้วเรายังจะศึกษาชนิดและปริมาณของสารออกฤทธิ์อีกด้วย คณะวิจัยคาดหวังว่า ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้จะสามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงด้านสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของผลไม้นี้ได้เป็นอย่างดี และสามารถเผยแพร่ข้อมูลให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล

2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 2.1 เพื่อวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ใน กล้วย มะม่วง และ มะละกอ
- 2.2 เพื่อศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระใน กล้วย มะม่วงและ มะละกอ

3. ผลที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

- 3.1 ทราบชนิดและปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของ กล้วย มะม่วงและมะละกอ
- 3.2 สามารถตีพิมพ์เผยแพร่ข้อมูลด้านสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของผลไม้ดังกล่าวให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย แบ่งออกเป็นหัวข้อตามลำดับดังนี้

1. มะม่วง
2. กล้วย
3. มะละกอ
4. สารประกอบฟีนอลิก
5. อนุมูลอิสระ
6. สารต้านอนุมูลอิสระ
7. การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

1. มะม่วง (Mango)

1.1 ถิ่นกำเนิดของมะม่วง

มะม่วงเป็นไม้ผลที่เก่าแก่และสำคัญที่สุดชนิดหนึ่งในบรรดาพรรณไม้ของเขตร้อน มะม่วงเป็นไม้ผลที่รู้จักกันในอินเดียและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้นานกว่า 4,000 ปี มาแล้ว สำหรับประเทศไทยมีภูมิประเทศและดินฟ้าอากาศเหมาะสมสำหรับปลูกมะม่วงเป็นอย่างมาก มะม่วงจึงเป็นผลไม้ที่รู้จักกันดีและนิยมปลูกกันอย่างกว้างขวาง แต่เนื่องจากบ้านเรามีพันธุ์มะม่วงจำนวนมาก ทั้งมะม่วงทานสุกและมะม่วงมัน (วิจิตร วังใน, 2529) มะม่วงเป็นไม้ผลที่นิยมปลูกกันมาก เพราะนอกจากจะใช้บริโภคกันภายในประเทศ ทั้งในรูปผลสดและแปรรูป ยังสามารถส่งเป็นสินค้าส่งออกเป็นจำนวนมาก ปัจจุบันมีพื้นที่เพาะปลูกมะม่วงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดปัญหาผลผลิตล้นตลาด ราคาผลผลิตที่เกษตรกรขายได้ต่ำกว่าที่ควรจะเป็น จึงต้องหาทางส่งออกให้มากขึ้น เพื่อเป็นทางแก้ไขปัญหาดังกล่าว ในปี 2538 มีพื้นที่ปลูก 1.8 ล้านไร่ ผลผลิตส่งออกมะม่วงสด 8,249 ตัน มูลค่า 120 ล้านบาท และมะม่วงแปรรูป 6,937 ตัน มูลค่า 175.4 ล้านบาท

(<http://www.doae.go.th/plant/mango.htm>)

ในทางพฤกษศาสตร์จำแนกมะม่วงอยู่ในวงศ์ Anacardiaceae ซึ่งประกอบไปด้วยพืชประมาณ 73 สกุล 600 ชนิด พืชในวงศ์นี้ส่วนมากขึ้นอยู่ในเขตร้อน ในบ้านเรามีมะม่วงอยู่ 15 ชนิด ได้แก่ มะม่วงเขียว มะม่วงแป้น มะม่วงช้างเหยียบ มะม่วงป่า มะม่วงกะเลิง มะม่วงไข่แดง มะม่วงป้อม มะม่วงป่า มะม่วงกะล่อน มะม่วงคัน มะม่วงชัน มูตไทย มะม่วงจิ้งหรีด มะม่วงบาป และมะม่วง

บ้าน ซึ่งมะม่วงบ้านเป็นมะม่วงชนิดที่สำคัญมากที่สุด เพราะเราใช้ปลูกเป็นการค้าในปัจจุบัน ส่วนมะม่วงชนิดอื่นๆส่วนมากใช้ทำต้นตอมะม่วงหรือใช้ประโยชน์อื่นๆ (วิจิตร วังไ, 2536)

ลักษณะทั่วไป มะม่วงเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ สูงประมาณ 10–30 เมตร ใบใบเดี่ยวสีเขียว ขอบใบเรียบ ฐานใบมน ปลายใบแหลม ดอก เป็นช่อ กลีบดอกมี 5 กลีบ เกสรสีแดงเรื่อๆ ดอกออกช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ช่วงฤดูร้อนจะติด ผล ผล ยาวประมาณ 5–20 ซม. กว้าง 4–8 ซม. ลูกดิบสีเขียว เมื่อสุกเปลี่ยนเป็นสีเหลือง หรือเหลืองส้ม มีเมล็ดภายใน 1 เมล็ด

ผลมะม่วงนำมารับประทานได้ทั้งดิบและสุก มะม่วงดิบเปลือกสีเขียวเนื้อสีขาวส่วนใหญ่มีรสเปรี้ยว ยกเว้นบางพันธุ์ที่เรียกว่ามะม่วงมัน ส่วนผลสุกจะมีสีเหลืองทั้งเปลือกและเนื้อ รับประทานสดหรือนำไปทำเป็นอาหารเช่น ข้าวเหนียวมะม่วง อีกทั้งมีการนำไปแปรรูป พันธุ์มะม่วงไทยแบ่งออกตามประโยชน์ที่ใช้ได้ 3 ประเภท คือ มะม่วงกินสุก มะม่วงมัน และมะม่วงแปรรูป

1. *มะม่วงกินสุก* ผลของมะม่วงประเภทนี้ขณะที่ดิบอยู่จะมีรสเปรี้ยวมาก แต่พอเริ่มสุกแบ่งจะเปลี่ยนเป็นน้ำตาล พอสุกได้ที่รสจะหวานอร่อย ตลาดโลกส่วนใหญ่รู้จักแต่มะม่วงสุกเท่านั้น นอกจากจะใช้ประโยชน์ในรูปรับประทานผลสุกแล้ว ยังใช้ประกอบอาหารหวานได้อีกหลายอย่าง พันธุ์มะม่วงกินสุกของไทย เช่น อกร่อง ทองดำ แรด น้ำดอกไม้ หนังกวางวัน ตะเพียนทอง โชคอนันต์ พิมเสนแดง นาทับ หอมทอง เจ้าพระยา แก้วลิ้มวัง เป็นต้น

2. *มะม่วงมัน* หรือมะม่วงกินดิบ มีรสชาติที่อร่อยไม่แพ้ผลไม้กินดิบของเขตหนาว เช่น แอปเปิล สาลี่ ฯลฯ ชาวต่างชาติส่วนใหญ่ไม่รู้จักรสชาติของมะม่วงมัน ทั้งนี้เพราะมะม่วงมันพบได้ในประเทศไทยเท่านั้น อีกประการหนึ่งค้ำยั้งฝังใจว่าผลมะม่วงนั้นรับประทานได้ต่อเมื่อสุกเท่านั้น ส่วนใหญ่เราใช้บริโภคกันในประเทศ พันธุ์มะม่วงมันของไทย เช่น พิมเสนมัน เขียวเสวย ศาลายา ทุนถวาย เจ้าคุณทิพย์ เป็นต้น (วิจิตร วังไ, 2536)

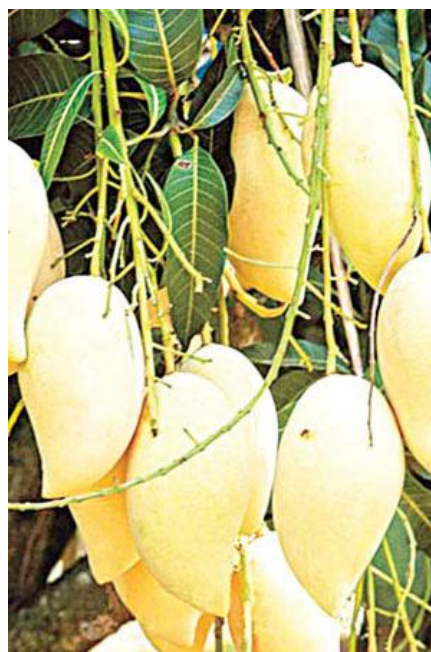
3. *มะม่วงแปรรูป* ผลมะม่วงอาจนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายอย่าง เช่น มะม่วงดอง แยมมะม่วง ไวน์มะม่วง มะม่วงตากแห้ง น้ำมะม่วง ซอสมะม่วง มะม่วงกวน เป็นต้น มะม่วงทุกพันธุ์ไม่สามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้ทุกชนิด พันธุ์มะม่วงที่มีบทบาทในการแปรรูปนั้นจะต้องเป็นพันธุ์ที่ปลูกกันมากและราคาไม่แพงจนเกินพันธุ์มะม่วงที่ใช้ในการแปรรูปในปัจจุบันใช้มะม่วงแก้ว (วิจิตร วังไ, 2536)

1.2 ลักษณะประจำพันธุ์ของมะม่วง

ในบทนี้จะขอกล่าวเฉพาะสายพันธุ์ที่นำมาทำวิจัยเท่านั้นได้แก่ มะม่วงน้ำดอกไม้ มะม่วงเขียวเสวยและมะม่วงแก้ว

1. มะม่วงน้ำดอกไม้

มะม่วงพันธุ์นี้สามารถออกดอกเป็นลักษณะทะวายสูงและสามารถบังคับให้ออกดอกได้ไม่ยาก ออกดอกสม่ำเสมอทุกปี ทนทานต่อโรคและแมลงได้ดีปานกลาง ทรงผลกลม รี รูปรางส้มส้ม ผลขนาดกลางมีน้ำหนักเฉลี่ย 340 กรัม/ผล ยาวประมาณ 16.40 เซนติเมตร กว้าง 7.50 เซนติเมตร และหนา 6.90 เซนติเมตร มีปริมาณเนื้อผลประมาณ 77% ผลสุกสีผิวเหลืองอมเขียวจนถึงสีเหลือง ผิวเรียบ เปลือกบาง (0.14 เซนติเมตร) เนื้อผลละเอียด หนา เนื้อแน่น สีเหลืองส้ม ฉ่ำน้ำ เมล็ดบางมาก ไม่มีเสี้ยน รสหวานอร่อย กลิ่นหอม คุณภาพดีเยี่ยม (วิจิตร วังโน, 2536)



รูปที่ 1 มะม่วงน้ำดอกไม้

2. มะม่วงเขียวเสวย

มะม่วงเขียวเสวยจัดเป็นมะม่วงมัน เหมาะสำหรับรับประทานในระยะแก่จัดผลสุกก็มีรสชาติหวานอร่อย ถ้าทิ้งผลที่แก่แล้วไว้บนต้นนานๆ เนื้อผลรอบๆเมล็ดจะสุกมีลักษณะเป็นวุ้น มะม่วงเขียวเสวยเป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกกันมาก ต้นมีการเจริญเติบโตดีมาก มักออกดอกติดผลยาก ควรเลือกแหล่งปลูกที่มีสภาพแล้งพอ ไม่ทนต่อโรคยางไหล โดยเฉพาะบนลำต้นและกิ่ง ทรงผลยาว ผลขนาดกลางเฉลี่ยยาว 14.7 เซนติเมตร กว้าง 6.9 เซนติเมตร แลหนา 6.4 เซนติเมตร น้ำหนักเฉลี่ย 335 กรัม/ผล ผิวผลแก่สีเขียวแก่ มีนวลเด่นชัด เนื้อสีขาวอมเหลือง เนื้อผลดิบรสหวานอมเปรี้ยว น้อยๆมัน ผลสุกมีรสหวานอร่อย ความหวานประมาณ 19% (วิจิตร วังโน, 2536)



รูปที่ 2 มะม่วงเขียวเสวย

3. มะม่วงแก้ว

มะม่วงแก้วเป็นพันธุ์มะม่วงพื้นบ้านของไทยที่รู้จักกันดี ประกอบด้วย 3 สายพันธุ์ คือ แก้วขาว (หรือ แก้วทอง) ผลมะม่วงแก้วขาวเมื่อแก่มีสีเหลืองอมเขียวหรือมีสีขาวนวล เมื่อสุกเนื้อผลมีสีจางกว่ามะม่วงแก้วดำ แก้วดำ (หรือ แก้วแดง) มีผิวเมื่อแก่จัดมีสีเขียวคล้ำ เนื้อผลสุก มีสีแดง และ แก้วสุก สายพันธุ์แก้วจุกมีสีส้มคล้ายๆทั้งแก้วขาวและแก้วดำ แตกต่างกันตรงที่ผลมีขนาดโตกว่าและ

หัวมีจุก จึงควรเลือกมะม่วงแก้วจุกเพื่อปลูกเป็นการค้า มะม่วงแก้วออกดอกติดผลอย่างสม่ำเสมอ ติดผลดก ผลแก่ช้า ทนทานต่อโรคแมลงและสภาพแวดล้อม ได้ดีผลขนาดกลางเฉลี่ยยาว 9.0 เซนติเมตร กว้าง 6.10 เซนติเมตร และหนา 5.50 เซนติเมตร น้ำหนักผลเฉลี่ยประมาณ 180 กรัม เปลือก หนาปานกลาง (0.14 เซนติเมตร) ปริมาณเนื้อผลประมาณ 53% ผลสุกผิวสีเหลืองเข้ม เนื้อผลสีเหลืองเข้ม เนื้อแน่น รสหวาน ความหวานประมาณ 18.5%



รูปที่ 3 มะม่วงแก้ว

2.กล้วย (Banana)

2.1 ถิ่นกำเนิดของกล้วย

กล้วยเป็นพืชที่ชอบอากาศร้อนชื้นถิ่นแรกของกล้วยอยู่ในแถบเอเชียตอนใต้ ซึ่งประกอบด้วยทางเหนือของอินเดีย พม่า เขมร ไทย ลาว และจีนตอนใต้ แถบหมู่เกาะอินโดนีเซีย เกาะบอร์เนียว ฟิลิปปินส์และไต้หวัน ในประเทศเหล่านี้จะพบกล้วยพื้นเมืองที่ไม่มีเมล็ด และปลูกแบบปล่อยปลະละเลย ไม่ค่อยมีการดูแลเปรียบเสมือนพืชป่า มิได้มีการดูแลดังเช่นพืชทั่วไป กล้วยที่ปลูกกันแถบนี้มีหลายชนิดทั้งที่มีเมล็ดและไม่มีเมล็ด และปลูกกระจัดกระจายกันอยู่ทั่วไปจากผลการเคลื่อนย้ายของประชากรจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง เนื่องจากการสูญเสียที่ดินทำกินในสมัยโบราณทำให้เกิดการอพยพประชากรในเอเชียตอนใต้ไปยังหมู่เกาะต่างๆในมหาสมุทรแปซิฟิกซึ่งการ

อพยพนี้มีมาหลายศตวรรษ ตั้งแต่ต้นคริสต์ศักราช เป็นต้นมา ในการอพยพแต่ละครั้งได้มีการนำเอาเสบียงอาหาร ดังเช่นมีการนำเอาหน่อกล้วยและผลผลิตทางการเกษตรอย่างอื่นไปด้วยดังนั้นในการสำรวจระยะแรกสุดพบว่ามีการปลูกกล้วยกันในแถบเกาะฮาวาย และหมู่เกาะทางตะวันออกซึ่งหมู่เกาะเหล่านี้อยู่ห่างจากที่ๆ มีประชากรอาศัยอยู่ถึง 2,000 ไมล์

จากการสำรวจในแถบหมู่เกาะโปลินีเซีย ซึ่งอยู่ในมหาสมุทรแปซิฟิก Says Seemann ได้กล่าวว่าในช่วงในช่วงที่มีชาวยุโรปเดินทางไปที่เกาะตาฮิติพบว่าเฉพาะในเกาะตาฮิติแห่งนี้มีอยู่ถึง 28 ชนิด และกล่าวไว้ว่า กล้วยและกล้วยกล้วย(banana and plantain) เป็นที่รู้จักกันดีในเกาะฟิจิในชื่อว่า “Vudi”

กล้วยจัดอยู่ใน Family *Musaceae* ใน order หรือ *Scitamineae* *Zingiberales* ซึ่งประกอบด้วย 8 family ด้วยกันคือ *Cannaceae* , *Marantaceae* , *Zingiberaceae* , *Ostaceae* , *Lowiaceae* , *Heliconiaceae* , *Strelitziaceae* และ *Musaceae* พืชที่อยู่ใน order นี้ทั้งหมดเป็นพืชที่ต้องการอากาศร้อนชื้นและกึ่งร้อน เป็นไม้ยืนต้นที่มีตั้งแต่ 2-3 นิ้ว จนถึงขนาดใหญ่มากมีลำต้นแบบ rhizome ขอบป้าขึ้น ใบประกอบด้วยแผ่นใบ ก้านใบ และกาบใบซึ่งมีลักษณะแผ่ออกมาก่อรวมตัวกันเป็นลำต้นเทียมหรือ pseudostem ที่ใจกลางลำต้นเทียมมีช่อดอกฝังอยู่และจะเจริญขึ้นเมื่อถึงระยะเวลาเจริญพันธุ์ การจัดเรียงของกาบใบทั้งที่ไม่ซ้อนกันและซ้อนกันเป็นเกลียว ดอกออกเป็นช่อและออกหลังจากใบสุดท้ายเกิดขึ้นแล้ว โดยออกที่ยอดส่วนปลายตำแหน่งเดียวกันกับใบ หรือบางทีออกทางด้านข้าง ดอกมีใบประดับ (bract) ที่มีสีสด เช่นใน genus *Musa* , *Heliconia* , *Curatella* และ *Calathea* ดอกมีการจัดเรียงแบบ zygomorphic คือมีส่วนประกอบทั้งสองข้างเท่ากันและมักมีการลดรูปบางส่วนรวมกันหรือหายไป ซึ่งจะเป็นแบบ homochlamydeous หรือ heterochlamydeous ชั้นของ Androecium จะมีการเปลี่ยนเป็นกลีบดอกเช่นใน *Marantaceae* และ *Cannaceae* ละยังมีการลด Anther เหลือเพียงครึ่งเดียว รังไข่ (ovule) อยู่ได้ส่วนประกอบอื่นๆของดอกและประกอบด้วย

3 ช่อ แต่ละช่อมีโอวูล (ovule) อยู่ 1 หรือมากกว่า 1 ดังนั้นบางทีจะเห็นเหมือนมีเมล็ด 1 เมล็ด เพราะเมล็ดเกิดฝ่อตายไป ดังเช่นใน *Marantaceae* ผลมีลักษณะเป็นแคปซูลมีเมล็ด 2-3 เมล็ดในหนึ่งผล ดังเช่นที่พบใน *Marantaceae* , *Cannaceae* , *Strelitziaceae* หรือผลแบบ berry เช่นใน *Musa* และ *Zingiberaceae* หลายชนิด เมล็ดมีเนื้อหุ้มเช่นใน , *Zingiberaceae* และ *Strelitziaceae* บางชนิดไม่มีเนื้อหุ้ม เช่นใน *Musa* และ *Heliconia* เมล็ดส่วนมากมีขนาดใหญ่ แข็ง ดังเช่นเมล็ดของ *Musa* , *Ensete* , *Canna* และ *Heliconia*

2.2 กล้วยกับสุขภาพ

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณค่าทางโภชนาการในส่วนที่กินได้ของกล้วย 100 กรัม

ชนิดของกล้วย	แคลอรี	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต	โปรตีน	วิตามินเอ
กล้วยไข่	145	0.2	34.4	1.5	-
กล้วยน้ำว้า	100	0.3	26.1	1.2	375
กล้วยหอม	131	0.2	31.4	1.0	132
กล้วยเล็บมือนาง	72	0.2	18.0	1.8	133
กล้วยหักมุก	112	0.2	26.3	1.2	-

ที่มา : ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ

2.3 สายพันธุ์กล้วย การวิจัยครั้งนี้ได้ใช้กล้วยสามสายพันธุ์ดังนี้

1. กล้วยไข่



รูปที่ 4 กล้วยไข่สุกและดิบ

ที่มา : วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี

ชื่อวิทยาศาสตร์

Musa sapientum L., *Musa paradisiaca* L. var *sapientum* (L.) O.

Kutnze

ชื่ออังกฤษ

Banana, Cultivated banana

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

กล้วยไข่มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งคือกล้วยกระกล้วยไข่มีลำต้นสูงไม่เกิน 2.5 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 16 เซนติเมตร กาบลำต้นด้านนอกสีเขียวปนเหลือง มีประดำหนา ด้านในสีชมพูแดง ก้านใบสีเขียวปนเหลือง มีประดำรูปไข่ มีร่องกว้าง โคนก้านใบมีปีกสีชมพู ก้านช่อดอกมีขนอ่อน ใบประดับรูปไข่ ม้วนงอขึ้น ปลายค่อนข้างแหลม ก้านบนสีแดงอมม่วง โคนล่างที่กลีบสีซีด กลีบรวมใหญ่สีขาวปลายสีเหลือง กลีบรวมเดี่ยวไม่มีสีเกสรตัวผู้และตัวเมียมีความยาวใกล้เคียงกันแต่ตัวเกสรตัวเมียสูงกว่าเล็กน้อย เกสรตัวเมียมีสีเหลือง ส่วนเกสรตัวผู้มีสีชมพู ครีหนึ่งมีประมาณ 7 หวี หวีหนึ่งประมาณ 14 ผล ผลค่อนข้างเล็ก กว้าง 2-3 เซนติเมตร ยาว 8-10 เซนติเมตร ก้านผลสั้นเปลือกค่อนข้างบาง เมื่อสุกมีสีเหลืองสดใส บางครั้งมีจุดดำเล็กๆ กระจายเนื้อมีสีครีม อมส้ม รสหวาน

กล้วยไข่ปลูกกันมากเป็นการค้าที่จังหวัด กำแพงเพชร ตาก นครสวรรค์ เพชรบุรี และปลูกทั่วไปในสวนหลังบ้านในทุกภาคของประเทศไทย เพราะเป็นกล้วยที่มีรสชาติดี และใช้ในเทศกาลสารทไทย ผลรับประทานสด และเป็นเครื่องเคียงของข้าวเมาคั่ว และกะยาสารท นอกจากนี้ยังใช้ทำกล้วยเชื่อม ข้าวเมาคั่ว และกล้วยบวชชี ปัจจุบันกล้วยไข่เป็นสินค้าที่ส่งออกไปยังประเทศสิงคโปร์ ญี่ปุ่น และฮ่องกง

3. กล้วยหอมทอง

ชื่อสามัญอังกฤษ Gros Michel

ชื่อภาษาไทย กล้วยหอมทอง

ชื่อวิทยาศาสตร์ Musa

ชื่ออื่นๆ กล้วยหอม



รูปที่ 5 กล้วยหอมสุกและดิบ

ที่มา : วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

กล้วยหอมทองมีลำต้นเทียมสูงถึง 2.5-3.5 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 15 เซนติเมตร กาบลำต้นด้านนอกมีประดำเล็กน้อย ด้านในสีเขียวอ่อนและมีเส้นสีชมพู ก้านใบมีร่องค่อนข้างกว้างและมีปีกเส้นกลางใบมีสีเขียว ก้านช่อดอกมีขน ใบประดับรูปไข่ค่อนข้างยาว ปลายแหลม ด้านบนสีแดงอมม่วง ด้านล่างมีสีเขียว เครือหนึ่งมี 4-6 หวี หวีหนึ่งมี 12-16 ผลผลใหญ่กว้าง 3-4 เซนติเมตร ยาว 21-25 เซนติเมตร ปลายผลมีจุดเห็นชัด เปลือกบาง เมื่อสุกเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทองแต่ที่ปลายจุดจะเปลี่ยนสีภายหลัง เนื้อสีส้มอ่อนๆ กลิ่นหอม รสหวาน กล้วยหอมทองส่วนใหญ่ปลูกในแถบภาคกลาง โดยเฉพาะจังหวัดปทุมธานี และกรุงเทพฯ และจังหวัดใกล้เคียง ส่งออกจำนวนมากไปยัง ฮังกิง สิงคโปร์ ญี่ปุ่น

4. กล้วยน้ำว้า

ชื่อวิทยาศาสตร์ : Musa ABB

ชื่อสามัญ : Banana

วงศ์ : Musaceae

ชื่ออื่น : กล้วยมะลิอ่อง (จันทบุรี) กล้วยใต้ (เชียงใหม่, เชียงราย) กล้วยอ่อง (ชัยภูมิ)

กล้วยตานีอ่อง (อุบลราชธานี)



รูปที่ 6 กล้วยน้ำว่าสุกและดิบ

ที่มา : วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

กล้วยน้ำว่ามีลำต้นเทียมสูงไม่เกิน 3.5 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 15 เซนติเมตร กาบลำต้นด้านนอกสีเขียวอ่อน มีประดำเล็กน้อยด้านในสีเขียวอ่อน ก้านใบมีร่องค่อนข้างแคบเส้นกลางใบสีเขียวอมชมพู ก้านช่อดอกไม่มีขน ใบปรับรูปไข่ค่อนข้างป้อมม้วนงอขึ้นปลายมนด้านบนสีแดงอมม่วงมีนวล ด้านล่างมีสีแดงเข้ม ก้านของดอกตัวเมียตรง ดอกตัวเมียสีงาช้าง เกสรตัวผู้สีครีม เกสรตัวเมียยาวกว่าเกสรตัวผู้มาก ดอกตัวผู้หลุดร่วงหลังจากใบกระเด็นหลุดแล้ว กลีบรวมใหญ่สีชมพูอ่อน ปลายสีเหลือง กลีบรวมเดี่ยวสีขาวใส มีรอยหยักที่ปลาย เครือห้อยลง เครือหนึ่งมี 7-10 หวี หวีหนึ่งมี 10-16 ผล ผลใหญ่กว่ากล้วยไข่กว้าง 3-4 เซนติเมตร ยาว 11-13 เซนติเมตร มีเหลี่ยม ก้านผลยาว ผลมีความยาวใกล้เคียงกล้วยไข่ เปลือกหนากว่ากล้วยไข่ เมื่อสุกเป็นสีเหลืองปนน้ำตาล เนื้อสีขาว รสหวาน ที่แกนกลางหรือเรียกว่า ไข่กลาง มีสีเหลือง ชมพู หรือขาว ซึ่งทำให้แบ่งออกเป็น กล้วยน้ำว่าเหลือง กล้วยน้ำว่าแดง และกล้วยน้ำว่าขาว ส่วนกล้วยน้ำว่าดำมีเนื้อสีขาว รสหวาน เปลือกมีสีม่วงดำและแตกกลายเป็นสีดำนม นอกจากนี้ยังมีกล้วยน้ำว่าที่ต้นเตี้ยกว่า 2.5 เมตร เรียกว่า น้ำว่าค่อม และน้ำว่าเขียวซึ่งเมื่อสุกจะมีสีเหลืองปนเขียว น้ำว่านวลเมื่อดิบจะเห็นผลสีเหลืองมีนวลหนา น้ำว่าลูกไส้ดำ จะมีแกนกลางสีค่อนข้างดำซึ่งเป็นส่วนของเมล็ดที่ไม่มีการพัฒนา

กล้วยน้ำว่าปลูกทั่วไปในประเทศไทย รับประทานกันมากในทุก ๆ ภาค ปลูกเป็นการค้าทั่วไปในภาคกลาง ภาคเหนือปลูกมากที่จังหวัดพิษณุโลกเรียกว่า พันธุ์มะลิอ่อน เนื้อกล้วยน้ำว่ามีคุณค่าทางอาหารมากใช้เป็นอาหารเด็กอ่อน รับประทานสด และทำเป็นขนมหลายชนิด เช่น ขนมกล้วย กล้วยทอด กล้วยบวชชี กล้วยตาก กล้วยฉาบและกล้วยกวน กล้วยตากทำเป็นสินค้าส่งไปขายต่างประเทศ

3. มะละกอ (Papaya)

3.1 ถิ่นกำเนิดของมะละกอ

มะละกอ เป็นไม้ผลเมืองร้อนที่มีถิ่นกำเนิดเขตร้อนของทวีปอเมริกา มะละกอเป็นพืชที่จัดอยู่ในวงศ์ (Family) Caricaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Carica papaya* L. มีชื่อสามัญในภาษาอังกฤษว่า Papaya และมีชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามท้องถิ่นและประเทศ เช่น Papaw, Mamao, หรือ Fruta-Bomba เป็นต้น มีรายงานว่าพืชอยู่ร่วมวงศ์ Caricaceae จำนวน 22 ชนิด (species) แต่มีเพียงมะละกอ (*C.papaya* L.) ที่มีความสำคัญและได้ับความสนใจวิธีการเพาะปลูกและปรับปรุงพันธุ์เพื่อขยายปริมาณการปลูกเป็นเชิงการค้า มะละกอ เป็นไม้ผลชนิดหนึ่ง สูงประมาณ 5-10 เมตร มีถิ่นกำเนิดในอเมริกากลาง ผลดิบมีสีเขียว เมื่อสุกแล้วเนื้อในจะมีสีเหลืองถึงส้ม นิยมนำมารับประทานทั้งสดและนำไปปรุงอาหาร เช่น ส้มตำ ฯลฯ หรือนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ก็ได้ มะละกอเป็นพืชต่างประเทศ จากหลักฐานนั้นมะละกออาจมีถิ่นกำเนิดหลายที่ เช่น โปรตุเกศ เม็กซิโก หรืออเมริกากลางที่ได้นำเข้ามาปลูกในช่วงต้นกรุงรัตนโกสินทร์ นับเป็นพืชที่ประสบความสำเร็จอย่างกว้างขวาง ด้วยเป็นพืชนอกที่ไร้คนต่อต้านและให้ประโยชน์กับคนในทุกครัวเรือน และทุกชนชั้น มีการบริโภคอย่างแพร่หลายทั้งผลดิบและผลสุก แต่เดิมได้จัดให้มะละกออยู่ในตระกูล Cucurbitaceae อันเป็นพืชกลุ่มเกี่ยวกับฟักทองและแตงโม หรือ Papayaceae หรือ Passifloraceae แต่ก็ได้เปลี่ยนเป็นตระกูล Caricaceae ในระยะหลัง

ในปัจจุบันมีการตั้งชื่อมะละกอต่าง ๆ กัน ชื่ออังกฤษแต่เดิม คือปาปอ (papaw) ชื่อโปรตุเกสเรียกว่า มาเมา (mamao) คนฝรั่งเศสเรียนว่า ปาปาเย (papaye) คนเยอรมันเรียกว่า ปาปาจา (papaja) คนอิตาลีเรียนว่า ปาปาเอีย (papaia) คนคิวบาเรียกว่า ฟรุตาเดอ บอมบา (fruta de bomba) คนเปอร์โตริโกเรียกว่า เลโซซา (lechosa) คนไทยแต่ละกลุ่มก็เรียกชื่อมะละกอแตกต่างกันออกไปคนภาคกลางเรียกว่า มะละกอ คนภาคใต้ส่วนใหญ่เรียกว่าลอคอ ที่เรียกแตกต่างกันออกไปได้แก่ แตงกัน อันเป็นชื่อที่เรียกกันในสตูล ขณะที่คนปัตตานีเรียกว่า มะเต๊ะ และคนยะลาเรียกว่า ก้วยลา ภาคเหนือเรียกมะละกว่า บะก้วยเทศ กลุ่มคนอีสานเรียกมะละกว่า หมักนึ่ง

3.2 ลักษณะทั่วไป

มะละกอเป็นไม้ล้มลุก ใบมีลักษณะเป็นใบเดี่ยว 5-9 แฉก เกาะกลุ่มอยู่ด้านบนสุดของลำต้น ภายในก้านใบและใบมียางเหนียวสีขาวอยู่ มะละกอบางต้นอาจมีดอกเพียงเพศเดียว แต่บางต้นอาจมีดอกได้ทั้งสองเพศก็ได้ ผลเป็นรูปรี อาจหนักได้ถึง 9 กิโลกรัม ผลดิบมีสีเขียว และมีน้ำยางสีขาวสะสมอยู่ที่เปลือก ส่วนผลสุก เนื้อในจะมีสีเหลืองถึงส้ม มีเมล็ดสีดำเล็ก ๆ อยู่ภายในกินไม่ได้

3.3 สภาพแวดล้อม

แม้ว่าโดยทั่วไปมะละกอก็จะสามารถเจริญงอกงามในทุกสภาพพื้นที่ก็ตาม ในช่วงการออกดอกติดผล มะละกอดต้องการน้ำมาก แต่ก็ไม่ชอบน้ำท่วมขังเพราะทำให้มะละกอ ตายหรือเป็นโรคได้ง่าย ดินที่เหมาะสมกับการปลูกมะละกอควรเป็นดินที่มีอินทรีย์วัตถุมาก ได้แก่ ดินร่วนระบายน้ำได้ดี สภาพความเป็นกรดต่ำ (pH) อยู่ระหว่าง 5.6-6.4

3.4. การเก็บเกี่ยว

ในการผลิตมะละกอเป็นการค้านั้น มะละกอที่ตลาดต้องการ มีอยู่ 2 อย่างคือ

3.4.1 มะละกอดิบ เป็นการเก็บเกี่ยวมะละกอผลอ่อนผลขนาดเล็กอายุ 3-4 เดือน หลังติดผล น้ำหนักผลประมาณ 300 - 500 กรัม ซึ่งการเก็บเกี่ยวจะเก็บผลดิบหมดทั้งหมด หรือจะเลือกเก็บผลอ่อนบางส่วนและส่วนที่เหลือเก็บไว้ จำหน่ายผลสุกต่อไป

3.4.2 มะละกอสุก สำหรับการเก็บมะละกอสุกจำหน่ายนั้น โดยจะเลือกเก็บมะละกอที่เริ่มสุกและมีผิวสีเหลืองส้มบนผลประมาณ 5%

3.4 วิธีการเก็บเกี่ยว

ควรใช้กรรไกรหรือมีดตัดขั้วผลให้ยาวชิดลำต้นแล้วจึงมาทำการตัดขั้วผล ที่ยาวออกให้สั้นลงเหลือไว้เพียงประมาณ 1 นิ้ว ไม่ควรบิดผลขณะเก็บเกี่ยวเพราะอาจทำให้ขั้วชำรุดซึ่งอาจทำให้เชื้อราเข้าทำลายมะละกอโดยผ่านทางขั้วผลที่ชำรุดได้ (www.safetybio.agri.kps.ku.ac.th)

3.5 สายพันธุ์มะละกอ

มะละกอมีมากมายหลายสายพันธุ์แต่จะขอยกตัวอย่างสายพันธุ์มะละกอ ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ 3 สายพันธุ์

3.5.1 มะละกอฮาวาย



รูปที่ 7 ผลมะละกอฮาวายดิบ

มะละกอฮาวาย อยู่ในวงศ์ CARICACEAE เป็นไม้ต้น ปลูกกันมากที่เกาะฮาวาย ประเทศสหรัฐอเมริกา ด้านในลำต้นกลวง สูง 3-5 เมตร ใบเป็นใบเดี่ยว ออก เรียงสลับถี่ๆบริเวณปลายยอด ปลายใบแหลม โคนเว้า ขอบใบเป็นแฉกลึก 6-7 แฉก และหยักเป็นฟันเลื่อย ใบยาว 25-90 ซม. ก้านใบกลวง ดอก สีขาวนวล มีกลิ่นหอม ออกตามซอกใบ ดอกตัวผู้เป็นช่อ ก้านช่อยาว มีกลีบดอก 5 กลีบ มีเกสรตัวเมีย 10 อัน ดอกตัวเมียและดอกสมบูรณ์เพศออกเป็นดอกเดี่ยวๆ หรือ 2-3 ดอก มีกลีบดอก 5 กลีบ เช่นเดียวกับกลีบดอกตัวผู้ แต่จะมีขนาดใหญ่กว่ากลีบดอกตัวผู้ “ผล” รูปกลมรี หัวผลเรียว ส่วนปลายผลย้วยใหญ่คล้ายผล มะละกอป่า แต่ผลของ “มะละกอฮาวาย” จะมีขนาดเล็กกว่า 2-3 เท่า ซึ่งผลของ “มะละกอฮาวาย” เมื่อโตเต็มที่จะมีขนาดใหญ่ เนื้อใน บางเช่นเดียวกับมะละกอป่า เนื้อแน่น เมื่อสุกเป็นสีเหลือง หรือสีส้ม รส หวานเสมอทุกส่วน ภายในมีเมล็ด แต่ไม่มากเหมือน มะละกอป่า ติดผลดกเช่นเดียวกับมะละกอป่า (สุรีย์ ภูมิภมร , 2548)



รูปที่ 8 ผลมะละกอฮาวายสุก

มะละกอฮาวายจะลูกเล็ก ๆ ป้อม ๆ นิยมกินสุกเนื่องจากรสชาติค่อนข้างออกไปทางหวาน และในหนึ่งลูก สามารถกินหนึ่งคนได้หมดเมื่อผ่าออกมา ในระหว่างนั้นมีการตื่นตัวพอดูในกลุ่มของเกษตรกร ไทยที่ปลูกมะละกอพันธุ์นี้ เนื่องจากตลาดในประเทศเริ่มให้ความสนใจ โดยเฉพาะในแหล่งท่องเที่ยวทั่วไปภายในประเทศที่มีชาวต่างประเทศเดินทางเข้ามาท่องเที่ยวเป็นจำนวนมาก ไม่ว่าจะเป็นที่ภูเก็ตหรือที่ภาคตะวันออกของประเทศ มะละกอชนิดนี้จะมีวางจำหน่ายในตลาดทุกฤดูกาลเนื่องจากนักท่องเที่ยวเหล่านั้นนิยมบริโภค ส่วนแหล่งปลูกนั้นจะอยู่แถบสมุทรสาครและสมุทรสงครามมากพอดู (www.monsanto.co.th)

3.5.2 มะละกอแขกดำ

มะละกอแขกดำ มีลักษณะต้นเตี้ย ติดผลเร็ว ผลทรงกระบอกยาวหัวคอดเข้าหาขั้ว ส่วนปลายผลสอบเป็นมุมป้านเข้าหากัน น้ำหนักผลประมาณ 1 กิโลกรัม ผลผลิตสูงประมาณ 52 กิโลกรัม/ต้น เนื้อหนาแน่นสีแดงเข้ม ความหวานสูง 13.52 องศาบริกซ์ ถ้าการบำรุงรักษาดีจะสามารถต้านทาน โรคใบด่างได้ระดับหนึ่ง



รูปที่ 9 ผลมะละกอแขกดำดิบ

มะละกอพันธุ์แขกดำเป็นพันธุ์มะละกอที่ปลูกแพร่หลายในประเทศไทย คนไทยคุ้นเคยและนิยมรับประทานทั้งผลดิบและสุก เป็นพันธุ์ที่มีทั้งต้นเพศผู้ (มีดอกตัวผู้) ต้นเพศเมีย (ให้ผลกลม) และต้นสมบูรณ์เพศ หรือต้นกระเทย (ให้ผลเรียวยาวทรงกระบอก) ผลดิบมีเนื้อแน่นกรอบ ผลสุกมีเนื้อสีแดงอมส้ม อย่างไรก็ตามมะละกอแขกดำมีความอ่อนแอต่อโรคจุดวงแหวนมากที่สุด



รูปที่ 10 ผลมะละกอแขกดำสุก

1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

มะละกอแขกดำผลดิบเหมาะทำเป็นส้มตำ ผลสุกขายเพื่อการบริโภคสดและยังส่งเข้าโรงงานแปรรูปเป็นฟรุตสลัดได้ เกษตรกรที่ปลูกมะละกอสายพันธุ์นี้ถ้ามีการดูแลรักษาที่ดีพอประมาณจะได้ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 50 กิโลกรัมต่อต้นและมีน้ำหนักผลเฉลี่ย 1.28 กิโลกรัมต่อ

ผล เมื่อผลสุกผ่าดูลักษณะภายในจะมีเนื้อสีแดงส้ม มีความหนาของเนื้อ 2.5 เซนติเมตร มีความหวานเฉลี่ย 10-13 เปอร์เซ็นต์บริกซ์

2 ลักษณะเด่นของมะละกอแขกดำ

เป็นมะละกอที่ให้ผลผลิตตกและติดผลไว ถ้ามีการบำรุงรักษาที่ดีพอประมาณจะให้ผลผลิตเฉลี่ยต่อต้นประมาณ 50 กิโลกรัม ต่อปี และให้ผลผลิตสูง

3 เทคนิคการปลูกมะละกอแขกดำ

เพื่อลดปัญหาโรคไวรัสจุดวงแหวน มะละกอแขกดำไม่ใช่มะละกอ ดัดแปลงพันธุกรรม (Genetically modified organisms) ดังนั้นในการปลูกมะละกอสายพันธุ์นี้เพื่อลดปัญหาไวรัสจุดวงแหวนจะต้องเน้นถึงความสมบูรณ์และแข็งแรงของต้นเป็นหลัก ไม่ควรปลูกมะละกอซ้ำที่เดิม คำแนะนำของกรมวิชาการเกษตรแนะนำให้ปลูกมะละกอแขกดำในระบบการปลูกพืชหมุนเวียนและปลูกหลาย ในพื้นที่ที่อยู่ในเขตชลประทาน แนะนำให้ปลูกมะละกอในช่วงปลายฤดูฝน หรือช่วงฤดูแล้งคือ ปลูกตั้งแต่เดือนกันยายน-มีนาคม การระบาดของโรคจะน้อยลง ต้นมะละกอจะเจริญเติบโตและติดผลในช่วงฤดูร้อนถึงฤดูฝน ซึ่ง ณ เวลานั้น ถึงจะมีการระบาดของโรคจุดวงแหวนต้นมะละกอที่ปลูกไปสามารถให้ผลผลิตได้บ้างแล้ว (สุรีย์ ภูมิภมร , 2548)

3.5.3 มะละกอฮอลแลนด์

1 ลักษณะทั่วไปของมะละกอฮอลแลนด์

มะละกอฮอลแลนด์ ลำต้นใหญ่สีเขียว ใบมี 11 แฉกใหญ่ กลางใบมีกระโดงใบ 1 ใบ ก้านใบมีสีเขียวตั้งขึ้น ดอกออก เป็นช่อ ติดผลดก รูปทรงกระบอกคล้ายลูกฟักอ่อน อายุ เก็บเกี่ยว 8 เดือน น้ำหนักผลประมาณ 800 - 2,000 กรัม ต่อผล เนื้อสีแดงอมส้ม ไม่ละ เนื้อหนา 2.5 - 3.0 เซนติเมตร ความหวานวัดได้ 11-13 องศาบริกซ์ ผลผลิตต่อต้น 60 – 80 กิโลกรัม จุดเด่นที่สามารถแยกสายพันธุ์ ออกจากสายพันธุ์อื่นคือ ที่ปลายผลจะป้านคล้ายผลฟักอ่อน (สุรีย์ ภูมิภมร , 2548)



รูปที่ 11 ผลมะละกอฮอลแลนด์ดิบและสุก

ที่มา : www.michi.co.th

2 ดอกและเพศของมะละกอ

หลักการผลิตต้นพันธุ์มะละกอฮอลแลนด์นั้น คล้ายกับการผลิตสายพันธุ์อื่นคือ ต้องการให้ได้ต้นกระเทย เพราะคุณภาพดี มะละกามี 3 เพศด้วยกัน คือ มะละกอเพศผู้ ได้จากต้นที่มีดอกตัวผู้ ช่อของดอกยาวอย่างชัดเจน พบไม่บ่อยนัก หากพบส่วนใหญ่เขาตัดทิ้ง อีกเพศหนึ่งคือมะละกอตัวเมีย ลักษณะของดอกจะอ้วนป้อม ได้ผลอ้วนสั้น เนื้อไม่หนา เพศสุดท้ายคือ เพศกระเทย ดอกออกยาว ผลที่ได้จากเพศนี้ ผลจะยาว เนื้อหนา ผู้ปลูกมะละกอต้องการแบบนี้ รวมทั้งเก็บไว้ทำเมล็ดพันธุ์ต่อไป หลังปลูกมะละกอได้ 3 เดือน มะละกอจะออกดอก จะมีทั้งดอกตัวเมียและกระเทย ก่อนดอกบาน ผู้ปลูกจะต้องห่อดอกกระเทยด้วยมุ้งหรือผ้าขาวบางๆ เพื่อให้มีการผสมเกสรตัวเอง และไม่ผสมข้ามพันธุ์กับต้นอื่นๆ เมื่อผลมะละกอสุกแก่ก็นำเมล็ดไปเพาะให้ได้ต้นใหม่ ซึ่งจะได้ผลกระเทย 70-80 เปอร์เซ็นต์

3 วิธีการปลูกมะละกอฮอลแลนด์

สามารถปลูกได้ทุกสภาพพื้นที่ ยกเว้นพื้นที่น้ำขัง ดินที่ เหมาะสมมีความเป็นกรดเป็นด่าง 5.5-5.0 ระยะปลูก 2.5x3 เมตร ไร่หนึ่งปลูกได้ 224 ต้น หากปลูกแล้ว ให้น้ำสม่ำเสมอ มะละกอจะให้ผลผลิตที่ดีมาก ปุ๋ยที่ใส่ให้ เริ่มต้นที่ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก สำหรับปุ๋ยวิทยาศาสตร์ใช้ สูตร 15-15-15 ระยะที่ติดผลอ่อน ก่อนการเก็บเกี่ยวใส่ สูตร 13-13-21 ใส่รอบๆ ต้น จำนวน 1 ช้อนโต๊ะ ต่อต้น เมื่อปลูกได้ 7-8 เดือน มะละกอฮอลแลนด์จะสุกแก่ เริ่มเก็บได้ ปริมาณผลผลิต หากดูแลปานกลาง จะได้ผลผลิตราว 5-8 ตัน ต่อไร่ วิธีการเก็บเกี่ยวนั้น เลือกเก็บเฉพาะผลที่สุก 5-10 เปอร์เซ็นต์ คือผิวมีแต้มสีเหลืองเล็กน้อย (www.doae.go.th)

3.6 ความสำคัญของมะละกอ

1. ความสำคัญด้านโภชนาการ

พืชสวนชนิดต่างๆมีความสำคัญด้านคุณค่าทางอาหารสำหรับมนุษย์ ซึ่งผักและผลไม้เป็นแหล่งสำคัญทางคาร์โบไฮเดรต, โปรตีน, ไขมันและวิตามิน คุณค่าทางอาหารของพืชแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ที่ปลูก ลักษณะของดิน อายุของผล การใส่ปุ๋ย และแหล่งการเพาะปลูก คุณค่าของมะละกอสำหรับการบริโภคเป็นอาหารประจำ มีคุณค่าทางอาหารสูง

ผลมะละกอสุกเหมาะสำหรับการบริโภคเป็นอาหารเช้าหรือผลไม้ประเภทของหวาน มะละกามีคุณสมบัติเป็นแหล่งของวิตามินเอและวิตามินซี ช่วยเพิ่มสารอาหารให้กับอาหารประจำวันเป็นอย่างดี เปอร์เซ็นต์น้ำตาลในมะละกอพันธุ์แขกดำ พบว่า มีปริมาณเฉลี่ย 8-9 เปอร์เซ็นต์ ส่วนคุณค่าทางอาหารของส่วนผลมะละกอที่รับประทานได้ ประกอบด้วยน้ำ, น้ำตาล, โปรตีน, ไขมัน, กรดต่างๆ, เยื่อใยและเถ้า เท่ากับ 88, 10, 0.5, 0.1, 0.1, 0.7 และ 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับกรมอนามัย (2521) ได้รายงานผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีทางอาหารในผลมะละกอ พบว่า ผลมะละกอสุกให้พลังงานต่อหน่วย ที่ร่างกายคนเราได้รับในปริมาณ เท่ากับ 51 แคลอรี-ยูนิต ปริมาณโปรตีนเท่ากับ 0.8 กรัมต่อ 100 กรัม ปริมาณไขมัน เท่ากับ 0.3 กรัมต่อ 100 กรัม คาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 11.3 กรัมต่อ 100 กรัม วิตามินเอ เท่ากับ 4.35 หน่วยสากล (IU) วิตามินซี เท่ากับ 78 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม

ส่วนผลมะละกอดิบจะมีองค์ประกอบต่างๆดังกล่าวในปริมาณที่น้อยกว่าผลมะละกอสุก นอกจากนี้ผลมะละกอสุกยังมี วิตามินบี1, บี2, ไนอาซีน, แคลเซียม, ฟอสฟอรัส และเหล็ก ในปริมาณเท่ากับ 0.04, 0.03, 12, 22 และ 2.5 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ

นอกจากนี้องค์ประกอบหลักของคาร์โบไฮเดรตในผลมะละกอ ประกอบด้วยน้ำตาลซูโครส (sucrose) กลูโคส (glucose) และฟรุคโตส (Fructose) ระหว่าง 7-50, 14-78 และ 13-50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำตาลทั้งหมด ตามลำดับ มีส่วนที่เป็นแป้งเล็กน้อยในระหว่างการเจริญพัฒนาของผล ส่วนที่เป็นกรดอินทรีย์ในผลมะละกอประกอบด้วยกรดมาลิกและกรดซิตริก ที่มีค่าความเป็นกรดต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้อื่นๆ ปริมาณวิตามินเอและวิตามินซี ผลมะละกอมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตามอายุของผล

ระยะที่ผลสุกมีสีเหลือง มีการเพิ่มของวิตามิน เอ และซี ในผลสูงสุด มะละกอพันธุ์จากประเทศไทย เนื้อของผลประกอบด้วย น้ำ 87.6-93.8 เปอร์เซ็นต์ และคาร์โบไฮเดรต 1.2-8.4 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุคโตส ระหว่าง 10.8-41.6, 19.9-66.5 และ 17.5-37.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำตาลทั้งหมด ตามลำดับ มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของวิตามินซี, วิตามินเอ, แคลเซียม, ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียม ตามการเจริญพัฒนาของผล องค์ประกอบของน้ำตาลในผล

มะละกอสุก ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส, ฟรุคโตส และซูโครส โดยปริมาณความเข้มข้นขึ้นอยู่กับระยะการสุกของผล ระยะที่ผลสุกเต็มที่ปริมาณน้ำตาลฟรุคโตรมากที่สุด และรองลงมาที่พบคือ กรดมาลิกและกรดซิตริก นอกจากนี้ในใบมะละกอยังมีคุณค่าทางสารอาหารสูงเช่นกัน โดยมีโปรตีนในใบประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง มีวิตามิน เอ, ซี, อี, ไนอาซิน และไรโบฟลาวิน รวมทั้งแร่ธาตุ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียม สามารถนำไปอ่อนของมะละกอบริโภคเช่นเดียวกับผักอื่นๆได้

คุณค่าทางอาหารของผลมะละกอสุก ยังเหมาะสำหรับการบริโภคเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ เมื่อเปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารของมะละกอกับผลไม้บางชนิดว่า มะละกามีเนื้อวิตามินเอ สูงกว่าแตงโมหรือกล้วยหอม 3-4 เท่า มีวิตามินดี สูงกว่าแตงโม 10 เท่า และสูงกว่ากล้วยหอม 4-5 เท่า ธาตุเหล็กในผลมะละกอสุกช่วยบำรุงเลือด แคลเซียมช่วยบำรุงกระดูก วิตามินเอ บำรุงสายตา วิตามินบี บำรุงประสาท วิตามินซี รักษาโรคเลือดออกตามไรฟัน ผลมะละกอสุกจะมีกรดเจือปนน้อยอาจได้ว่าเป็นผลไม้ที่ไม่มีกรด มีน้ำตาลที่ย่อยง่ายเจือปนอยู่ในส่วนที่เป็นน้ำผลไม้สดซึ่งมีคุณค่าในการบำรุงเลี้ยงร่างกายสูง ดังนั้นในบรรดาผลไม้ด้วยกัน มะละกอสุกจึงถูกจัดเป็นผลไม้ชั้นสูง (ถาวร วิจิตรสุนทรกุล , 2541)

2.ความสำคัญด้านเภสัชกรรม

ส่วนต่างๆของผลมะละกามีคุณค่าทางเภสัชกรรม ใช้เป็นสมุนไพรบำบัดรักษาโรคต่างๆได้ ใช้มะละกอในตำรับยาพื้นบ้านของชาวชนบทในแถบเขตร้อนของอเมริกา อัฟริกา เอเชียตะวันออกเฉียงใต้และเขตแปซิฟิก มีตัวอย่างการใช้มะละกอเป็นยารักษาโรคบางชนิด ได้แก่ ใช้เมล็ดกินเป็นยาถ่ายพยาธิ ใช้กระตุ้นการสร้างน้ำนมของมารดาหลังคลอด ใช้ถ่ายพยาธิในสัตว์เลี้ยงจำพวกสุกร ใช้ดอกตัวผู้ของมะละกอเป็นยาต้มรักษาโรคหลอดลมอักเสบ (Bronchitis) ใช้รักษาโรคหนองใน (gonorrhea) ใช้แก้อาการปวดท้องหรือใช้ส่วนที่เป็น รากบดเป็นผงแก้ปวดท้องได้ โครงการสมุนไพรเพื่อพึ่งตนเอง สรรพคุณของการใช้ยางมะละกอกัดฝ้า หนองที่อยู่ในแผลเรื้อรังและขับพยาธิ ส่วนของรากและก้านใบ ใช้เป็นยาขับปัสสาวะได้มีการศึกษาค้นคว้าทดลองเกี่ยวกับการใช้ส่วนของต้นและผลมะละกอในทางการแพทย์ทางเภสัชกรรม กล่าวถึงผลของการวิจัยของนายแพทย์ประเทศศรีลังกา ในการใช้ผลมะละกอดิบและสุกแทนยาปฏิชีวนะรักษาแผลเรื้อรังระดับมีหนองในแผลผู้ป่วย จำนวน 104 ราย ซึ่งได้ผลดี และยังพบอีกว่า การใช้ผลมะละกอดิบต้มกับน้ำให้มารดาหลังคลอดรับประทาน ทำให้เพิ่มน้ำนมมารดาสำหรับเลี้ยงทารก สามารถกระตุ้นให้รายที่ไม่มีน้ำนมเลยมีน้ำนมออกมาได้ นอกจากนี้มีการตีพิมพ์เผยแพร่ประสิทธิภาพของการใช้ผลมะละกอ, ใบ และยางมะละกอ ทดลองรักษาโรคตับโตและม้ามโต ริดสีดวงทวารและอื่นๆอย่างได้ผลในวารสารการแพทย์ของประเทศออสเตรเลีย ก็ได้กล่าวถึงผลการใช้เนื้อมะละกอรักษาแผลเรื้อรังหลังการผ่าตัดไตของ

คนไข้ในโรงพยาบาลประเทศอังกฤษ จนหายเป็นปกติได้ หลังจากนั้นก็ได้รายงานเกี่ยวกับสารประกอบที่มีสรรพคุณทางเภสัชกรรมที่พบในส่วนต่างๆของต้นมะละกอซึ่ง ได้แก่ ราก ประกอบด้วย glycoside, myrosin, และเกลือโปแตสเซียม ลำต้น มียางสีขาวซึ่งประกอบด้วยน้ำ, catechol tannins, pectins, papain, malic acid, fat, resin และ alkoid carpane มากที่สุดและวิตามิน ซี สูง ผลดิบ มี papain enzyme, rennin ผลดิบ มีคุณค่าทางอาหารสูงประกอบด้วยวิตามิน เอ, ดี, บี2 และ nicotinic acid (ถาวร วิจิตรสุนทรกุล , 2541)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ajila และคณะ (2007) ได้ศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดจากเปลือก รวมทั้งสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ จำพวกสารโพลีฟีนอล anthocyanin และ แคโรทีนอยด์ โดยการสกัดด้วยอะซีโตน พบว่า เปลือกมะม่วงสุกมีปริมาณสาร anthocyanin และ แคโรทีนอยด์สูงเมื่อเปรียบเทียบกับเปลือกมะม่วงดิบ ในขณะที่เปลือกมะม่วงดิบมีปริมาณสารโพลีฟีนอลสูง กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของเปลือกมะม่วงสุกและดิบของสารสกัดที่สกัดด้วยอะซีโตนโดยการตรวจวัดด้วยวิธี reducing power activity, DPPH free radical scavenging activity พบว่าค่า IC₅₀ อยู่ในช่วง 1.39 – 5.24 μ g เทียบกับความสามารถของสาร Gallic acid

Ribeiro และคณะ(2008) ได้ศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในมะม่วงสีสายพันธุ์ในประเทศบราซิล การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่พบโดยการทดสอบด้วยวิธี Folin-Ciocalteu พบว่าในเมล็ดและเปลือกของสายพันธุ์ Ubá มีปริมาณ 82.540 และ 57,240 mg/kg ตามลำดับ การทดสอบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical-scavenging activity ในสารสกัดจากเนื้อของมะม่วงสีสายพันธุ์ มีค่าอยู่ในช่วง 39.6-94.2% ความเข้มข้นของสารสกัดที่มีความเข้มข้น 0.05 mg/ml ของสารสกัดของสายพันธุ์ Ubá variety มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่า 94%

รายงานการวิจัยมากมายนำเสนอถึงปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในมะม่วงในแต่ละสายพันธุ์ แหล่งการเพาะปลูกในพื้นที่ต่างกัน Veda และคณะ (2007)กล่าวถึงความแตกต่างในแต่ละสายพันธุ์ที่ปลูกในสภาวะที่แตกต่างส่งผลให้มีปริมาณเบต้าแคโรทีนในมะม่วงที่ต่างกัน Mercadante และRodriguez-Amaya (1998) ได้ศึกษาปริมาณเบต้าแคโรทีนจากมะม่วงสายพันธุ์ที่พบในประเทศบราซิล พบว่ามะม่วงสายพันธุ์ Keitt มีปริมาณเบต้าแคโรทีนชนิด *all-trans-β-carotene*(0.67 mg/100g)สูงมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ สายพันธุ์ Tommy Atkins(0.58 mg/100g) Pott และคณะ (2003) รายงานถึงความแตกต่างของปริมาณเบต้าแคโรทีนในมะม่วงสามสายพันธุ์ พบว่า สาย

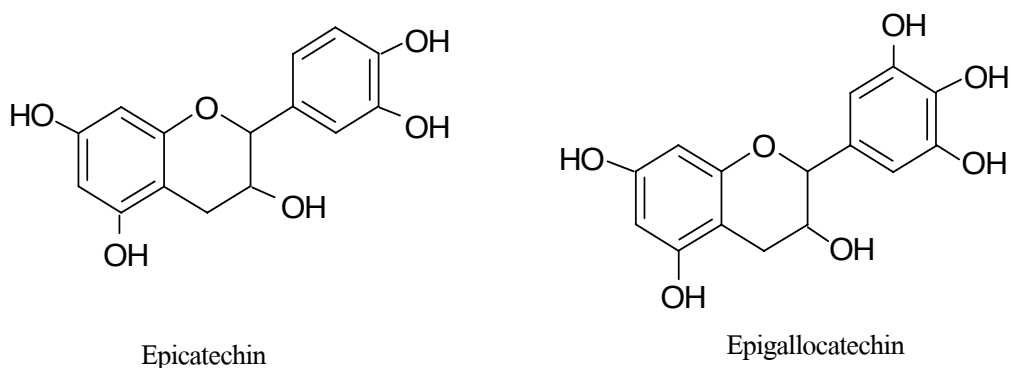
พันธุ์ Kaew มีปริมาณเบต้าแคโรทีน 11.6 mg/100g ในขณะที่สายพันธุ์ Kent และ Tommy Atkins มีปริมาณเพียง 4.60 และ 3.70 mg/100g ตามลำดับ

มีรายงานการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการที่เป็นสารอาหารชนิดต่างๆของกล้วยนอกจากจะพบว่า ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน เกลือแร่และวิตามินต่างๆ แล้วยังมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพซึ่งในกล้วยพบว่า ประกอบด้วยวิตามินซี วิตามินอี เบต้าแคโรทีนและสารแอนตีออกซิแดนท์อื่นๆ เช่น ฟลาโวนอยด์ ซึ่งจัดว่าเป็นแคโรทีนอยด์ที่มีสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพมากและ gallocatechin (Someya et al.2002; Wall, 2006) และในกล้วยน้ำว้าพบว่า มี gallic acid equivalent / 100 g sample อย่างไรก็ตามรายงานวิจัยนี้ไม่ได้วิเคราะห์ว่าเป็นสารฟีนอลิก ชนิดใดบ้าง (Patthamakanokporn et al. 2008)

5. สารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิกเป็นกลุ่มของสารที่มีหมู่ฟีนอล ซึ่งเป็นวงเบนซีนที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (OH) มาเกาะ จำนวนมากในโมเลกุล ดังภาพประกอบ 4 สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารกลุ่มใหญ่ที่มีในธรรมชาติ พบทั่วไปในผักและผลไม้ มีมากมายหลายชนิดซึ่งสามารถจำแนกได้ตามลักษณะของจำนวนคาร์บอนอะตอม และโครงสร้างพื้นฐาน

Polyphenol จัดเป็นสารกลุ่มใหญ่ที่มีลักษณะโครงสร้างพื้นฐานในโมเลกุล ประกอบด้วยวงเบนซีนที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (HO) มาเกาะ เป็นสารประกอบจำพวกโพลีฟีนอลิก มีอยู่ในธรรมชาติในรูปอะไกลโคไซด์ หรือจับกับน้ำตาลเป็นไกลโคไซด์ หรือจับกับน้ำตาลที่เป็น ไกลโคไซด์มีโครงสร้าง 2 ส่วน คือ C_6 และ C_3-C_6 พบได้ในทุกส่วนของพืช



รูปที่ 12 โครงสร้างสารประกอบฟีนอลิก

4.1 คุณสมบัติของสารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิกนั้นมีจำนวนมากมายหลายชนิด และชนิดที่จำเป็นจำนวนมาก เป็นกลุ่มหลักคือ สารกลุ่ม Flavonol glycosides โดยสารกลุ่มใหญ่กลุ่มนี้คือ สารฟลาโวนอยด์ซึ่งเป็น สารในธรรมชาติสามารถพบได้เป็นจำนวนมากในพืช ผักและผลไม้ เช่น quercetin, myricetin และ keampferal เป็นต้น (Perira, Pineda และคณะ, 2007) ประโยชน์ของฟลาโวนอยด์มีบทบาทหลาย ๆ อย่างในพืช ได้แก่

1. เป็นสารต้านอนุมูลอิสระให้กับ ascorbic acid ซึ่งพบมากในเซลล์พืช
2. เป็น enzyme inhibitor
3. เป็นสารตั้งต้นของสารพิษต่างๆ
4. เป็นสารที่ทำให้เกิดสีต่างๆ ในพืชและเป็นสารที่ช่วยในการเจริญเติบโตของพืช
5. เป็นตัวป้องกันแสง เพราะว่าฟลาโวนอยด์จะค่อนข้างคงตัวในช่วงความยาว

คลื่นแสง Ultraviolet และ Visible

6. ป้องกันพืชจากสารพิษอื่นๆ โดยทำหน้าที่เป็น photosensitizing compound

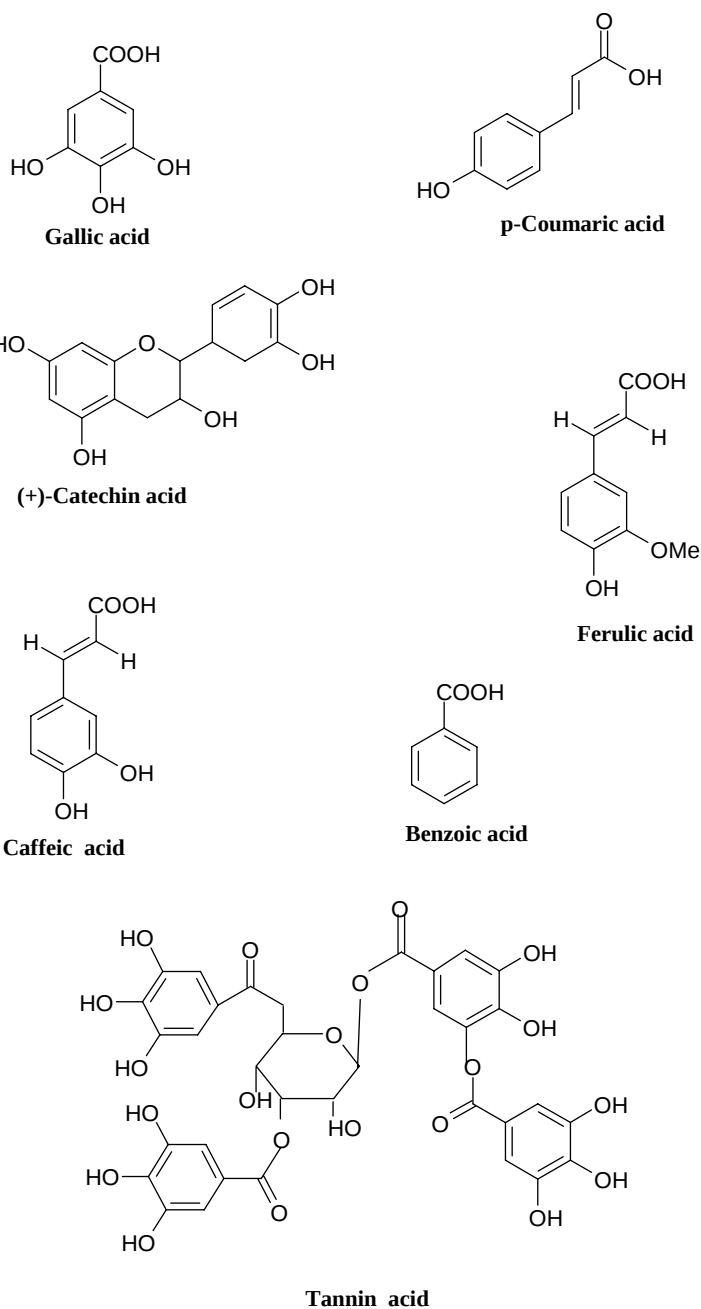
โดยเฉพาะพวก methoxylated flavonoid

7. ช่วยในการสังเคราะห์และหายใจของพืชตลอดจน morphogenesis นอกจากนี้ ฟลาโวนอยด์จำนวนมากยังมีพิษทางเภสัชวิทยาต่อคนและสัตว์ ได้แก่

7.1 ทางด้านรสชาติ สัตว์อื่นๆ ไม่ชอบความขมของฟลาโวนอยด์ ยกเว้นแมลง

7.2 มีฤทธิ์เป็น antibiotic โดยมีสารแอนโทไซยานิน ที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย เช่น *Lactobacillus* , *Salmonella*, *Shigella* เป็นต้น

7.3 มีฤทธิ์เป็น antimalignancy พบว่า eupatin และ centaureidin มีฤทธิ์ในการยับยั้ง carcinoma จาก nasopharynx ทำให้เพิ่มความเพิ่มความต้านทานให้กับหลอดเลือดฝอย ได้แก่ ฟลาวาโนน ฟลาวานอล flavandiol และ chalcone



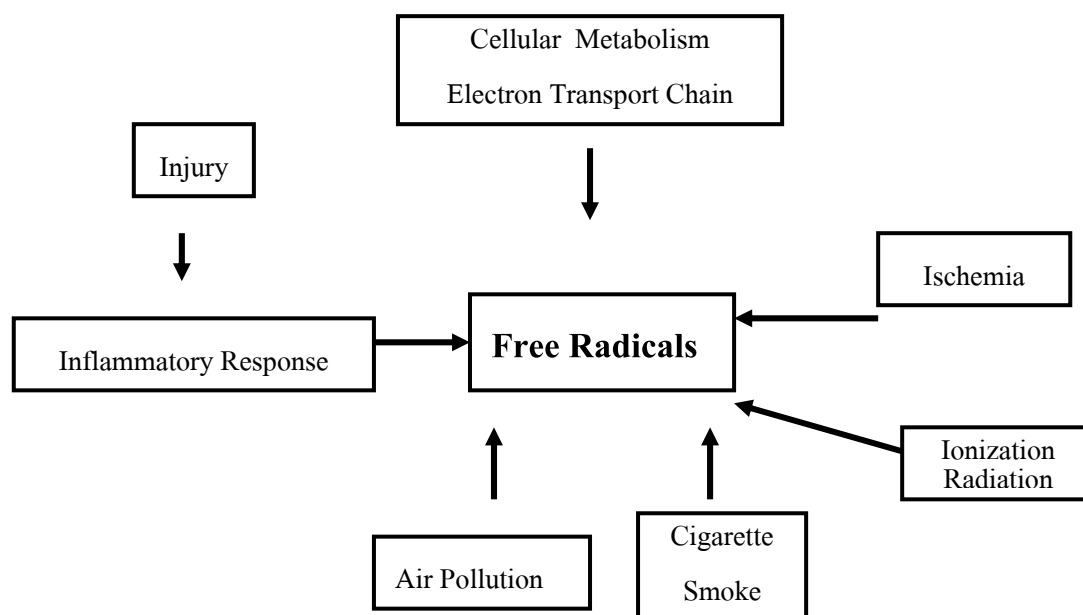
รูปที่ 13 โครงสร้างของกลุ่มสารฟีนอลิก

6. อนุมูลอิสระ

ในสิ่งแวดล้อม มีสารมลพิษ สารเคมี รังสี และอนุมูลอิสระที่มีผลกระทบต่อการทำงานของสารพันธุกรรม และทำให้เกิดความเสื่อมสภาพและโรคหลายชนิด เช่น มะเร็ง เอชดี การเสื่อมสภาพของเซลล์ ความชรา โรคข้ออักเสบ ฯลฯ (Dasgupta และ De., 2006) อนุมูลอิสระเป็นโมเลกุล หรืออะตอมที่มีอิเล็กตรอนเดี่ยวอยู่ในออร์บิทัลวงนอกสุดที่มีพลังงานระดับสูงซึ่งรวมหมายถึงอะตอมของไฮโดรเจนและไอออนของโลหะทรานซิชันส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังรวมถึงโมเลกุลของออกซิเจนซึ่งนับว่าเป็นอนุมูลเพราะมี อิเล็กตรอนจำนวน 2 อิเล็กตรอน แต่ละอิเล็กตรอนจะแยกกันอยู่เป็นอิเล็กตรอนเดี่ยวในแต่ละออร์บิทัล อนุมูลอิสระมีทั้งที่อยู่ในสภาวะเป็นกลางทางไฟฟ้า และอนุมูลในสภาวะที่มีประจุไฟฟ้า โดยมีทั้งประจุบวกและประจุลบ (โสภา วัชรคุปต์.,2549) อนุมูลอิสระเกิดขึ้นได้เมื่อพันธะระหว่างอะตอมแตกออก และมีอิเล็กตรอนเดี่ยวคงเหลือบนอนุมูล อิเล็กตรอนเดี่ยวนี้ทำให้อนุมูลอิสระมีเสถียรต่ำและไวต่อการเกิดปฏิกิริยาสูง จึงทำปฏิกิริยากับโมเลกุลที่อยู่รอบๆ โดยดึงหรือให้อิเล็กตรอนโมเลกุลข้างเคียงเพื่อให้ตัวมันเสถียร โมเลกุลข้างเคียงที่สูญเสีย หรือรับอิเล็กตรอน จะกลายเป็นอนุมูลอิสระตัวใหม่ที่ไม่เสถียรและเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นต่อไปเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่(chain reaction) (Weecharangsan และ Opanasopit.,2004) จากเหตุผลดังกล่าว นักวิทยาศาสตร์ได้วิจัยผลกระทบทางชีวภาพประกอบและพยาธิสภาพที่เกิดจากสารพิษและกลไกในการทำลายเซลล์มานานแล้ว และได้พบว่าการเกิดโรคต่าง เช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจ โรคความจำเสื่อม เป็นต้น (Chanwitheesuk, Teerawutgulrag และ Rakariyatham. , 2005 ; Shon, Kim และ Sung., 2003 ; Lemberkovics และคณะ, 2002) มีสาเหตุและกลไกเนื่องมาจากการเพิ่มของอนุมูลอิสระ การเพิ่มของปฏิกิริยาออกซิเดชัน และการลดลงของสารต่อต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้น การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถต่อต้านอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น และสามารถพบในพืชอาหาร ซึ่งเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระที่มีปริมาณมากที่สามารถพบได้ในทุกส่วนของพืช (เปลือกไม้ เนื้อไม้ ลำต้น ฝักถั่ว ใบ ผล ราก ดอก ละอองเกสรดอกไม้อ และเมล็ด) รวมถึงพืชสมุนไพรไทยจึงมีความสำคัญมาก เช่น ขะพลู สะระแหน่ ไพล บัวบก ผักเชียงดา เป็นต้น (Chanwitheesuk, Teerawutgulrag และ Rakariyatham.,2005)

5.1 แหล่งของอนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระเกิดขึ้นในระบบของสิ่งมีชีวิตเป็นผลผลิตจากกระบวนการเผาผลาญของเซลล์โดยการใช้ออกซิเจนในร่างกาย (โอบา วัชรคุปต์, 2549) อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้น จะถูกจับโดยออกซิเจนเกิดเป็นอนุมูลของออกซิเจนที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเรียกว่า reactive oxygen species (ROS) ตัวอย่างเช่น อนุมูลอิสระของ hydroxyl, superoxide และ peroxy เป็นอนุมูลที่พบในเซลล์มากกว่าอนุมูลอื่นๆ (โอบา วัชรคุปต์, 2549) อนุมูลอิสระชนิดอื่นที่เกิดขึ้นในร่างกาย เช่น reactive nitrogen species ตัวอย่างเช่น nitric oxide , nitrogen dioxide และอนุมูลอิสระ glutathyl และ methyl นอกจากการเผาผลาญอาหารที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระแล้ว แหล่งอื่นในร่างกายที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระได้แก่ ปฏิกิริยาทางเอนไซม์ เช่น xanthine oxidase, prostaglandin synthase, lipoxygenase, aldehyde oxidase ปฏิกิริยาเพอร์ออกซิเดชันของไขมัน (lipid peroxidation) โดยกรดไขมันไม่อิ่มตัวสภาวะทางอารมณ์ เช่น ความเครียด และพยาธิสภาพของร่างกาย แหล่งของอนุมูลอิสระจากภายนอกในร่างกาย ได้แก่ รังสี ไอโซน คิวบ์หรือ อนุภาคอินทรีย์ ตัวทำลายอินทรีย์ และมลภาวะต่างๆ (Weecharangsan และ Opanasopit, 2004) มีผลกระทบต่อการทำงานของอวัยวะในร่างกาย และก่อให้เกิดโรคต่างๆ เช่น โรคระบบหลอดเลือด และหัวใจ โรคมะเร็ง โรคอัลไซเมอร์ โรคพาร์กินสัน โรคข้ออักเสบ และโรคต่อกระจก รวมทั้ง โรคเสื่อมของเซลล์ หรือภาวะชรา (aging) (Dasgupta และ De, 2006) ซึ่งเป็นผลมาจากภาวะที่เรียกว่า oxidation stress เป็นภาวะที่มีกระบวนการสร้างหรือสลายสารบางอย่างโดยมีออกซิเจน ร่วมด้วย ซึ่งนำไปสู่การกำเนิดของอนุมูลอิสระ (Benvenuti และคณะ, 2004) และก่อให้เกิดโรคต่างๆ



รูปที่ 14 แหล่งที่มาของอนุมูลอิสระ (free radicals)

ตาราง 2.2 อนุมูลอิสระและสัญลักษณ์

อนุมูลอิสระ	สัญลักษณ์
Hydrogen atom	$\text{H}^\bullet$
Hydroxyl radical	$\text{HO}^\bullet$
Hydroperoxyl radical	$\text{HOO}^\bullet$
Alkyl radical	$\text{R}^\bullet$
Alkoxy radical	$\text{RO}^\bullet$
Alkylperoxyl radical	$\text{ROO}^\bullet$
Glutathyl radical	$\text{GS}^\bullet$
Methyl radical	$\bullet\text{CH}_3$
Nitric oxide	$\bullet\text{NO}$
Nitrogen dioxide	$\bullet\text{NO}_2$

7. สารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระ เป็นสารที่สามารถทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระโดยตรง เพื่อกำจัดอนุมูลอิสระให้หมดไป หรือหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ไม่ให้เกิดต่อเนื่อง สารเหล่านี้อาจพบในธรรมชาติ พืชผักผลไม้ ซึ่งเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญ ได้แก่ กรดยูริก บิลิรูบิน จะกำจัดอนุมูล (โสภา วัชรคุปต์, 2549) วิตามินต่างๆ เช่น วิตามินซี วิตามินอี เบต้าแคโรทีน กลูตาไทโอน และยูบิควิโนน จะหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดอนุมูล รวมทั้งโคเอนไซม์ ซีลีเนียม ทองแดง แมงกานีส และเหล็ก (Weecharangsan และ Opanasopit, 2004) เป็นต้น สารต้านอนุมูลอิสระมีโครงสร้างเคมีและฤทธิ์ด้านออกซิเดชันที่แตกต่างกัน เช่น วิตามินอีมีโครงสร้างเคมีที่ละลายไขมันได้ดีจึงสามารถเข้าไปออกฤทธิ์ที่เมมเบรนได้ และมีฤทธิ์ที่สามารถหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ได้ โดยจะทำปฏิกิริยาจัดอนุมูลลิพิดเปอร์ออกไซด์และได้เป็นอนุมูลวิตามินอี วิตามินซีละลายน้ำได้ดีมีหน้าที่เปลี่ยนอนุมูลวิตามินอีทำให้วิตามินอีกลับคืนโดยการรับอิเล็กตรอนจากอนุมูลอี อนุมูลวิตามินซีจะถูกขับออกทางปัสสาวะ (โสภา วัชรคุปต์, 2549) สารต้านอนุมูลอิสระที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อใช้เป็นวัตถุเจือปนในอาหาร เช่น BHA BHT gallate เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้จะทำหน้าที่ยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระในร่างกายคน เพื่อป้องกันไม่ให้อนุมูลอิสระทำปฏิกิริยากับ สารชีวโมเลกุลต่างๆที่อาจก่อผลเสียต่อร่างกาย

นอกจากนี้ในอาหาร เช่น ผลไม้ ผัก และสมุนไพร ที่มีสารโพลีฟีนอล สารฟลาโวนอยด์ (flavonoid) ที่พบในพืชต่างๆ มากกว่า 5,000 ชนิด เป็นองค์ประกอบสำคัญจะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้

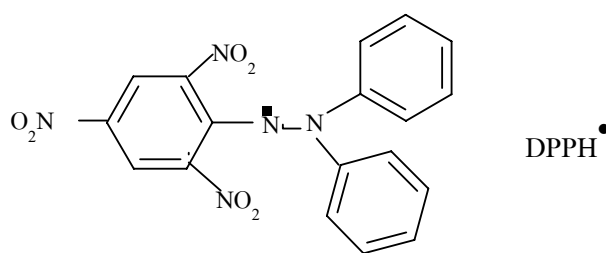
6.1 กลไกการต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระทำลายอนุมูลอิสระโดยการให้หรือรับอิเล็กตรอนกับอนุมูลอิสระ ทำให้ปฏิกิริยาลูกโซ่สิ้นสุดลง สารต้านอนุมูลอิสระโดยตัวเองจะไม่กลายเป็นอนุมูลอิสระเมื่อทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระเนื่องจากตัวมันเองมีความคงตัวทั้งในรูปอิเล็กตรอนครบและอิเล็กตรอนขาดหรือเกิน กลไกการต้านอนุมูลอิสระแบ่งได้เป็น 2 กลไกตามลักษณะการออกฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระ คือ ฤทธิ์ป้องกันอนุมูลอิสระ (preventive antioxidant activity) และฤทธิ์กำจัดอนุมูลอิสระ (free-radical scavenging antioxidant activity) (Weecharangsan และ Opanasopit, 2004)

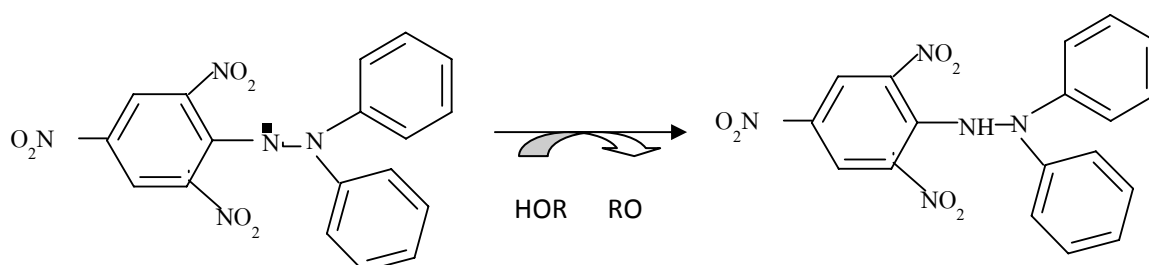
กลไกการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของวิตามินซี โดยวิตามินซีสามารถให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลอิสระ ทำให้ไม่เป็นอันตรายต่อไป โดยที่วิตามินซีสามารถป้องกันปฏิกิริยาลิพิดออกซิเดชันขององค์ประกอบภายในเซลล์ ตัววิตามินซีเองจะกลายเป็นอนุมูลอิสระแต่จะไม่นเป็นอันตรายเพราะอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะเกิดการวนภายในโครงสร้างเอง หรือที่เรียกว่า การเกิดเรโซแนนซ์ ในระบบวิตามินซีนั้น วิตามินซีสามารถที่จะให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่วิตามินอี จึงกลับมามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอีกครั้ง แทน Me คือหมู่เมทิล (Jiang และคณะ, 2001)

7. การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

7.1 การวิเคราะห์การต้านอนุมูลอิสระของสารไดฟีนิลไพคิลไฮดราซิล (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl, DPPH) ซึ่งเป็นสารอนุมูลอิสระที่มีความเสถียร ดังภาพประกอบ 13 โดยสารต้านอนุมูลอิสระจะสามารถยับยั้งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นของสาร DPPH (Dasgupta และ De, 2004) โดยสารต้านอนุมูลอิสระสามารถให้อะตอมไฮโดรเจนแก่ อนุมูล DPPH[•] เป็นอนุมูลไนโตรเจนที่คงตัว มีสีม่วงอยู่ในรูปอนุมูลอยู่แล้วโดยไม่ทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดอนุมูล เกิดการฟอกจางสีไปเป็นสีเหลือง (โสภา วัชรคุปต์, 2549) รูปที่ 14 การวิเคราะห์เป็นการวัดความสามารถในการรีดิวซ์ การวัดทำได้โดยใช้เครื่องสเปกโตรวัดการลดลงของสี เมื่อเติมสารอนุมูลลงไป โดยวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515-517 นาโนเมตร ข้อดีของวิธีนี้คือ เป็นวิธีที่ง่าย นิยมใช้เป็นวิธีพื้นฐานเบื้องต้นในการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลของสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ ข้อเสียของวิธีนี้คือ อนุมูล DPPH[•] มีความคงตัวไม่ไวต่อปฏิกิริยา เหมือนอนุมูลที่เกิดในเซลล์หรือร่างกาย ดังนั้นวิธีนี้จึงไม่สามารถแยกแยะจัดอันดับอนุมูลที่มีความไวสูงได้ นอกจากนี้โครงสร้างทางเคมีของ อนุมูล DPPH[•] ดังแสดงรูปที่ 16 แสดงให้เห็นว่าอิเล็กตรอนเดี่ยวของอนุมูลอิสระจะถูกบังด้วยวงเบนซีน 3 วง และหมู่ไนโตร ทำให้สารต้านอนุมูลที่มีฤทธิ์แรงแต่มีขนาดใหญ่บางสารไม่สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาขจัดอนุมูลหรือเกิดปฏิกิริยาช้า นอกจากนี้สารรีดิวซ์สามารถทำให้สี อนุมูล DPPH[•] จางลง (โสภา วัชรคุปต์, 2549)



รูปที่ 15 โครงสร้างของสาร 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)



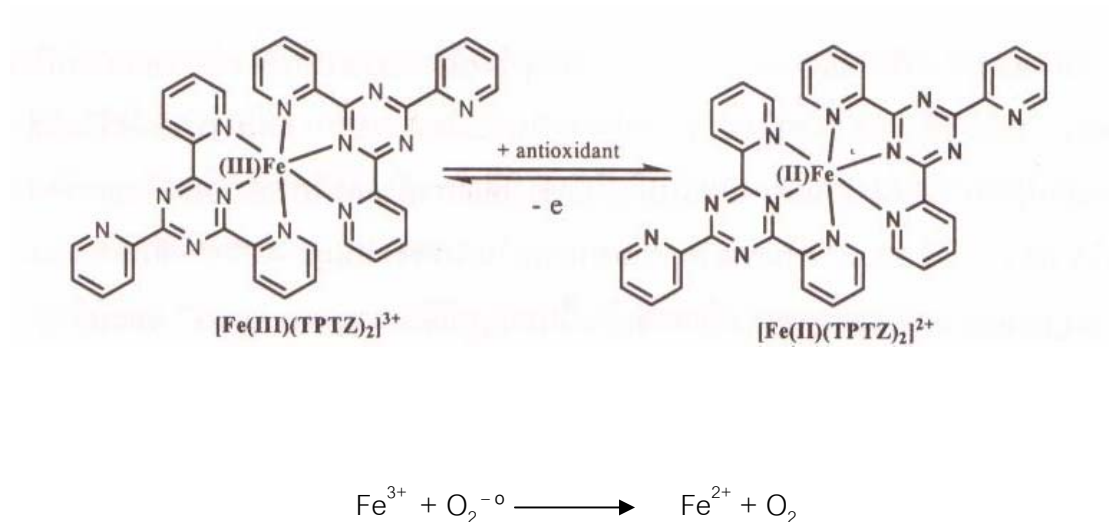
2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)

รูปภาพ 16 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารต้านอนุมูลอิสระต่อ อนุมูล DPPH•

7.2 การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Ferric reducing/antioxidant power

วิธี FRAP วิธีนี้เป็นวิธีวิเคราะห์หาค่าความสามารถรวมในการต้านอนุมูลอิสระโดยตรง มีหลักการว่าสารต้านอนุมูลอิสระทำหน้าที่โดยการให้อิเล็กตรอนจึงจัดเป็นสารรีดิวซ์ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าความสามารถรวมในการต้านอนุมูลอิสระเป็นความสามารถรวมในการรีดิวซ์ วิธีนี้ใช้สารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก Fe^{3+} -TPTZ (ferric tripyridyl triazine) เป็นสารทดสอบ อะตอมเหล็กในสารนี้จะถูกรีดิวซ์โดยเลือดหรือสารต้านอนุมูลอิสระ ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก

เฟอร์รัส Fe^{2+} -TPTZ ซึ่งมีสีน้ำเงินดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร (โสภา วัชรคุปต์, 2549) ดังแสดงในภาพ 15



รูปภาพ 17 การรีดิวซ์สารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก Fe^{3+} -TPTZ ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กเฟอร์รัส Fe^{2+} -TPTZ

วิธี FRAP เป็นการวิเคราะห์หาความสามารถในการรีดิวซ์ซึ่งเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายใน 4-6 นาที มีข้อดีคือ เป็นวิธีที่ง่าย ใช้เวลาน้อย และไม่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษ แต่มีข้อเสียคือ กลไกของปฏิกิริยาที่ใช้ในการวิเคราะห์ไม่เกี่ยวข้องกับกลไกในร่างกาย (โสภา วัชรคุปต์, 2549)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

1. คัดเลือกสายพันธุ์พืชที่จะนำมาวิเคราะห์โดยมีหลักในการพิจารณาดังนี้

สายพันธุ์ที่มีมูลค่าการส่งออกสูงและผู้นิยมบริโภคอย่างละ 3 สายพันธุ์

มะม่วง ได้แก่ มะม่วงเขียวเสวย มะม่วงน้ำดอกไม้ มะม่วงแก้ว

กล้วย ได้แก่ กล้วยน้ำว้า กล้วยหอม กล้วยไข่

มะละกอ ได้แก่ พันธุ์ฮาวาย พันธุ์แขกดำ และพันธุ์ฮอลแลนด์

ทำการวัดคุณภาพเบื้องต้นเพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง เครื่องมือวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer)

2. การวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ สามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยวิธี Folin-Ciocalteu

การวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี โดยใช้วิธี HPLC

การวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีน โดยใช้วิธี HPLC

การวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสารฟีนอลิกโดยวิธี HPLC diode array detection เทียบกับสารฟีนอลิกมาตรฐาน ได้แก่ Gallic acid, Syringic acid, Caffeic acid, Sinapiric acid, Quercetin hydrate, p-Coumaric acid, Chlorogenic acid, Ferulic acid, Vanilic acid, 4-Hydroxy-3-methoxybenzoic acid, 3,4-Dihydroxybenzoic acid และ Rutin

การวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสารประเภท Flavonoid ได้แก่ Vitexin, Rutin, Myricetin, Luteonin, Quercetin, Apigenin และ Kaempferol

3. การวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดย *in vitro* assays ดังวิธีที่ได้รับการยอมรับมาตรฐานในระดับสากลดังนี้

DPPH assay (Gulluce et al. 2007)

Ferric reducing/antioxidant power (FRAP) assay (Moyer et al. 2002)

เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ปีกเกอร์ (Beaker)

2. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)

3. ปิเปตต์ (Pipette)
4. ขวดปรับปริมาตร (Volumetric flask)
5. แท่งแก้วคนสาร
6. เครื่องชั่งละเอียด (0.0001)
7. หลอดทดลอง
8. เครื่อง Spectrophotometer (Spectronic Genesys 5)
9. เครื่อง Centifuge (Rotina 48 R)
10. ตู้อบความร้อน (hot air oven)(Binder)
11. เครื่อง HPLC diode array detector (Shimadzu LC-20AC)
12. Column (Reverse phase C18, 5 μ m 4.6 x 250 mm, Japan)
13. เครื่อง GC (Shimadzu 17A)
14. Column (122 – 7032 DB – WAX ,30m x 0.25 mm, USA)
15. เครื่อง Rotary evaporator (Buchi)
16. เครื่อง freezer dry water bath
17. ตู้บ่มอุณหภูมิ 37°C
18. เครื่องปั่นน้ำผลไม้ (National)
19. หลอด centrifuge Magnetic stirrer
20. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 และเบอร์ 4
21. Filter membrane 0.45 μ m cellulose acetate (Whatman)
22. โถดูดความชื้น (desicator)
23. เครื่อง Vortex
24. เครื่องปั่นกวนระบบแม่เหล็ก (Magnetic stirrer)
25. เครื่องวัดสีในระบบอินเตอร์ L, a*, b* (Chroma meter: Minolta CR-300)

สารเคมี

1. 2,2-diphenyl-2-picrylhydrazyl , DPPH (Fluka)
2. Methanol (JT.Baker)
3. Butylatedhydroxyanisole, BHA (Fluka)
4. Ferric sulphate (Carlo erba)
5. Sodium phosphate (Carlo erba)
6. Ferrous chloride (BDH)

7. Hydrocholic acid (Carlo erba)
8. Ethanol (BHD)
9. β -Carotene linoleic acid (Fluka)
10. TPTZ (Fluka)
11. Potassium dihydrogen phosphate (Carlo erba)
12. Metaphosphoric(Merek)
13. Acetonitrile (BDH)
14. Hexane (BDH)
15. Standard β -carotene (Fluka)
16. Standard vitamin C (Fluka)
17. Standard phenolic acids (*p*-coumaric, tennic , benzoic , ferulic, gallic acid, caffeic, (+)-catechin) (Fluka)
18. Standard flavonoids (rutin, myricetin, luteolin, quercetin, apigenin และ kaempferol) (Fluka)
19. Folin–Ciocalteu reagent (Fluka)

วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การเก็บตัวอย่างและการเตรียมตัวอย่าง

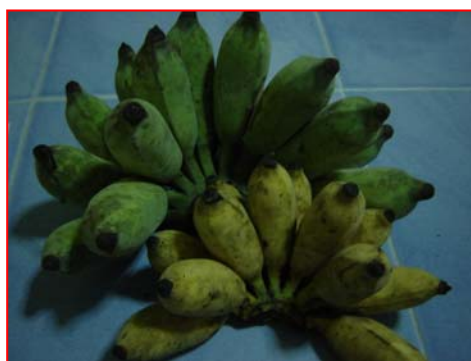
มะม่วง (มะม่วงเขียวเสวย มะม่วงน้ำดอกไม้ มะม่วงแก้ว) กัลลวย (มะม่วงเขียวเสวย มะม่วงน้ำดอกไม้ มะม่วงแก้ว) และมะละกอ (มะม่วงเขียวเสวย มะม่วงน้ำดอกไม้ มะม่วงแก้ว) ซึ่งที่ตลาดรถไฟ จังหวัดขอนแก่น นำผลไม้ทั้งสามชนิดล้างทำความสะอาด ปอกเปลือก หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ นำไปทำให้แห้งด้วยเครื่อง freeze dry และเก็บรักษาที่ -20 °C จนกระทั่งทำการวิเคราะห์



กล้วยไข่



กล้วยหอม



กล้วยน้ำว้า

รูปภาพ 18 กล้วยสายพันธุ์ต่างๆ



รูปภาพ 19 มะละกอสายพันธุ์ต่างๆ

มะม่วงน้ำดอกไม้



มะม่วงเขียวเสวย



มะม่วงแก้ว



รูปภาพ 20 มะม่วงสายพันธุ์ต่างๆ



รูปภาพ 21 การเตรียมตัวอย่างโดยผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่แข็ง (freeze dry)

2. การสกัดตัวอย่าง

2.1 การสกัดตัวอย่างเพื่อตรวจสอบสมบัติการต้านออกซิเดชัน

ตัวอย่าง 3 ชนิด ที่ผ่านการ Freeze dry ตัวอย่างละ 1 กรัม นำมาสกัดด้วยเอทานอล 80% 50 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่า เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยวิธีของ Abu Bakar *et al.* (2009) และเก็บรักษาที่ -20°C จนกระทั่งทำการวิเคราะห์

2.2 การสกัดตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีน (β -carotene) โดยวิธีของ Maria *et al.* (2005)

ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม นำมาบดแล้วสกัดด้วยอะซิโตน 25 มิลลิลิตร นาน 25 นาที นำสารละลายที่สกัดได้กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 (Whatman No.1) สกัดและกรองตัวอย่างซ้ำ อีก 2 ครั้ง นำสารละลายที่กรองได้ ถ่ายลงสู่กรวยแยกแล้วเติมปิโตรเลียมอีเทอร์ 10-15 มิลลิลิตร ลงไป ถ่าย pigment

เข้าสู่เฟสปิโตรเลียมอีเทอร์ โดยเจือจางอะซิโตนด้วยสารละลายไซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัส 5 เปอร์เซ็นต์ 50 มิลลิลิตร สกัดเฟสอะซิโตนซ้ำด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์ 3 ครั้ง กรองส่วนสกัดของปิโตรเลียมอีเทอร์ผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 (Whatman No.1) ถ่ายลงขวดปรับปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์ นำมากรองผ่านเมมเบรนขนาด 0.45 ไมโครเมตร แล้ววิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีนด้วยเครื่อง HPLC เฟสเคลื่อนที่เป็น acetonitril : dichlorometane : methanol (70 : 20 : 10) flow rate 1.3 มิลลิลิตร ต่อนาที

2.3 การสกัดตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์วิตามินซี โดยวิธีของ Abushita et al.(1997)

สกัดตัวอย่างโดยชั่งตัวอย่างสดและใบอบแห้งมา 10 กรัม นำไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้ในสารละลาย 2-metaphosphoric acid ความเข้มข้น 2% เป็นเวลา 10 นาที เพื่อเป็นการเสถียรโครงสร้างวิตามินซีแล้วตีปั่นด้วย magnetic stirrer เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในสภาวะที่ไม่มีแสงจากนั้นนำไป centrifuge ที่ 3000 rpm จากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 และเบอร์ 4 ตามลำดับ และกรองด้วย micro filter membrane ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.45 ไมโครเมตร

2.3 การสกัดสารฟีนอลิกเพื่อวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกด้วยเครื่อง HPLC ดัดแปลงจากมาจากวิธีของ Dragovic-Uzelac et al. (2005) , Kubola และ Siriamornpun (2008)

ตัวอย่างสด 50 กรัม ผสมกับ เมทานอล: กรดไฮโดรคลอริก (100:1,v/v) ปริมาณ 100 มิลลิลิตร บดให้เข้ากัน ทิ้งไว้เป็นเวลา 12 ชั่วโมง อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ในที่มืด จากนั้นนำมากรองและ centrifuged ที่ 4000 rpm/min และนำส่วนของ supernatant มาระเหยด้วยเครื่องระเหย ที่อุณหภูมิ 30-40 องศาเซลเซียส ทำการชะด้วย น้ำ:เอทานอล (80:20) ปริมาณ 25 มิลลิลิตร นำมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 โดยผ่าน anhydrous sodium sulfate จากนั้นนำไประเหยที่อุณหภูมิ 35-40 องศาเซลเซียส และปรับปริมาตรด้วย เมทานอล: น้ำ (50:50, v/v) ให้มีปริมาตร 5 มิลลิลิตร นำมากรองผ่านเมมเบรนขนาด 0.45 ไมโครเมตร ก่อนนำไปฉีดด้วยปริมาตร 20 ไมโครลิตร ด้วยเครื่อง HPLC

3. การวัดเนื้อสัมผัสของผลไม้ทั้ง 3 ชนิด

โดยใช้เครื่อง Texture analyzer (mode texture profile analysis) เพื่อวัดค่าเนื้อสัมผัสของมะละกอกดด้วย และมะม่วง

4. การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Soluble Solid : TSS)

โดยใช้เครื่อง Digital refractometer เพื่อวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในมะละกอ

5. การวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใย(Crude fiber) (AOAC,2002)

นำตัวอย่างใส่ถ้วยกรอง (crusible) ที่ผ่านไล่ความชื้นแล้ว (W1) ซึ่งให้น้ำหนักของตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ใส่ในถ้วยกรองนำเข้าเครื่อง เติมสารละลาย H_2SO_4 ความเข้มข้นประมาณ 1.25% ปริมาตร/ปริมาตร ที่ร้อน โดยการให้ความร้อนก่อนบนแผ่นให้ความร้อน เติมในช่องย่อยจนถึงระดับ 150 มิลลิลิตร หลังจากนั้นทำให้ร้อน ด้วยแผ่นให้ความร้อนเพื่อลดเวลาในการต้มให้เดือดหยดสารป้องกันการเกิดฟอง (N-octanol) ประมาณ 3 หยด หลังจากมีการเดือดแล้ว ต้มต่อไปอีก 30 นาที ทำการระบายกรด H_2SO_4 ออก แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นร้อน 3 ครั้ง ครั้งละประมาณ 30 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลาย KOH ความเข้มข้น 1.25% น้ำหนัก/ปริมาตร ที่ทำให้ร้อนลงไป 150 มิลลิลิตร พร้อมกับหยด N-octanol ประมาณ 3 หยด แล้วต้มให้เดือดนาน 30 นาที ล้างด้วยน้ำกลั่นร้อนอีก 3 ครั้ง ล้างด้วยน้ำกลั่นเย็นอีกครั้ง แล้วล้างอีก 3 ครั้งด้วย Acetone ปริมาตร 25 มิลลิลิตร เปิดให้ความร้อนเข้าทุกครั้งที่ทำการล้าง แล้วทำให้ถ้วยกรองแห้งโดยอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง หรือจนกว่าจะได้น้ำหนักคงที่ ซึ่งค่าที่ได้นี้เป็น น้ำหนักของเส้นใย (crude fiber) รวมกับน้ำหนักของเถ้า หากต้องการหาปริมาณของเถ้า ให้เผาตัวอย่างใน ถ้วยกรองต่อที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นลงใน desiccators แล้วชั่ง น้ำหนักที่ได้เป็นน้ำหนักถ้วยกรองที่มีตัวอย่างซึ่งเป็นเถ้า

การคำนวณ

$$\% \text{ เส้นใยอาหารดิบ} = (W_3 / W_2) \times 100$$

เมื่อ W_2 = น้ำหนักตัวอย่าง + น้ำหนักถ้วยกรองที่ผ่านการอบไล่ความชื้นแล้ว

W_3 = น้ำหนักตัวอย่าง + น้ำหนักถ้วยกรองที่ผ่านการย่อยและอบไล่ความชื้นแล้ว

6. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและของแข็งรวม (Moisture and total solids) (AOAC, 2000)

โดยทำการอบ moisture can พร้อมฝา ในตู้อบอุณหภูมิ 100-102 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที นำมาใส่ desiccator ให้เย็น ชั่งจานและฝาโดยใช้เครื่องชั่งชนิดละเอียดถึงหน่วย มิลลิกรัม นำตัวอย่างอาหารใส่ moisture can ประมาณ 3.000-5.000 กรัม แล้วเปิดฝา นำไปชั่งน้ำหนักพร้อมฝา ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน หลังจากนั้นนำ moisture can ไปใส่ในตู้อบ (เปิดฝา) อบที่อุณหภูมิ 102 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือน้ำหนักคงที่เอา moisture can ออกจากตู้อบ (ปิดฝา) และวางให้เย็น desiccators เมื่อเย็นแล้วนำไปชั่ง น้ำหนัก และคำนวณหาปริมาณความชื้นและของแข็งรวม

การวัดความหวานที่มีหน่วยเป็น บริกซ์(Brix) ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนั้น เป็นการวัดความเข้มข้น หรือปริมาณน้ำตาล โดยการวัดดัชนีการหักเหของแสง (refractive index)เทียบกับน้ำตาลมาตรฐาน เป็นการบอกปริมาณน้ำตาล ซึ่งส่วนใหญ่มักจะใช้น้ำตาลซูโครสเป็นน้ำตาลมาตรฐาน โดยใช้

เครื่องวัดการหักเหของแสง หรือ รีแฟรคโตมิเตอร์ (refractometer) สเกลของหน่วยวัดน้ำตาลเป็นบริกซ์ บริกซ์สเกลมี 2 ชนิด ได้แก่

1. องศาบริกซ์ (Degrees Brix) หมายถึง เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของน้ำตาลซูโครสในสารละลาย ที่ 20 องศาเซลเซียส และมีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีการหักเหของแสงดังแสดงในตารางที่ 5

2. องศาบริกซ์ (Degrees Brix) = $400 - \{400 / (\text{sp.gr.at } 15.6^{\circ}\text{C})\}$

Degree Brix (ใช้สัญลักษณ์เป็น ° Bx) ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร โดยเฉพาะไวน์ และน้ำผลไม้ ส่วนใหญ่ เป็นการวัดของแข็งที่ละลายอยู่ในของเหลว ตัวอย่างเช่น 25 ° Bx หมายถึงสารละลายที่มีของแข็ง 25 กรัม ในของเหลวทั้งหมด 100 กรัม หรือ 25 กรัมของของแข็งในน้ำ 75 กรัม นั่นเอง ใช้วัดปริมาณโดยประมาณของ น้ำตาลในน้ำผลไม้ ไวน์ น้ำอัดลม และในอุตสาหกรรมน้ำตาลต่างๆ สำหรับน้ำผลไม้ 1 ° Bx หมายถึงมี น้ำตาลในสารละลาย 1-2% โดยน้ำหนัก

ทำการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในตัวอย่าง โดยใช้เครื่อง refractometer ที่ อุณหภูมิห้อง โดยทำการปั่นละเอียดตัวอย่างกล้วย ด้วยเครื่องปั่น (Homogenizer) จากนั้นทำการกรองด้วยผ้ากรอง และนำน้ำมาทำการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

7. การวิเคราะห์หาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

7.1 การตรวจสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolics) โดยวิธี Folin-Ciocalteus โดยดัดแปลงวิธีของ Zhou and Yu. (2004); Kubola และ Siriamornpun (2008)

1. ปิเปตสารละลาย Gallic acid มาตรฐานในแต่ละความเข้มข้นอย่างละ 1 มิลลิลิตร ผสมกับสารมาตรฐาน Folin-Ciocalteus reagent 0.5 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง แต่ละหลอด ผสมให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นเติมสารละลาย sodium carbonate 20 เปอร์เซนต์ (w/v) 3 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที แล้วเติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร กรองด้วยกระดาษกรอง เบอร์ 1 นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 725 นาโนเมตร แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มา สร้างกราฟมาตรฐาน Gallic acid

2. ปิเปตสารสกัดตัวอย่าง อย่างละ 1 มิลลิลิตร ผสมกับสารมาตรฐาน Folin-Ciocalteus reagent 0.5 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลองแต่ละหลอด ผสมให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นนำมาเติมสารละลาย sodium carbonate 20 เปอร์เซนต์ (w/v) 3 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที แล้วเติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 725 นาโนเมตร ใช้กรดแกลลิกเป็นสาร มาตรฐาน และรายงานผลเป็นน้ำหนักเป็นมิลลิกรัมสมมูล ของกรดแกลลิกในตัวอย่างหนัก 100 กรัม น้ำหนักแห้ง (mg GAE/100 g dry weight)

7.2 การวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีน (β -carotene) โดยวิธีของ Maria et al. (2005)

การสร้างกราฟมาตรฐานของเบต้าแคโรทีน

ซึ่งสารละลายมาตรฐานด้วยน้ำหนักที่แน่นอน 10 มิลลิกรัม นำมาละลายในคลอโรฟอร์ม 2.5 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์ลงในขวดปรับปริมาตรปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร จะได้ความเข้มข้นของเบต้าแคโรทีนเป็น 0.1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร หรือ 100 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร นำสารละลาย 0, 20, 30, 40, 50, 60, 70 และ 80 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร กรองผ่านเมมเบรนขนาด 0.45 ไมโครเมตร แล้ววิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC โดย injection volume ครั้งละ 20 ไมโครลิตร แล้วเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้กราฟ

วิเคราะห์หาปริมาณสาร β -carotene ด้วย HPLC โดยใช้คอลัมน์ C18 ขนาด 4.6 x 150 mm, 5 μ m ส่วนเฟสเคลื่อนที่(mobile phase) เป็น acetonitril : dichlorometane : methanol (70 : 20 : 10) flow rate 1.3 มิลลิลิตรต่อนาที วัดค่าการดูดกลืนแสงโดย UV – detector ความยาวคลื่น 454 นาโนเมตร

7.3 การวิเคราะห์วิตามินซีด้วย HPLC โดยวิธีของ Abushita et al.(1997)

การเตรียมสารละลายมาตรฐานวิตามินซีโดยทำการชั่ง วิตามินซี 10 มิลลิกรัม มาละลายน้ำ 10 มิลลิลิตร จะได้วิตามินซีความเข้มข้น 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ทำการเจือจางความเข้มข้นเป็น 0.125 0.0625 0.3125 และ 0.01625 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร วิเคราะห์แบบ external standard

วิเคราะห์วิตามินซี ด้วย HPLC .ใช้คอลัมน์ขนาด ขนาด 4.6 x 150 mm, 5 μ m ส่วนเฟสเคลื่อนที่(mobile phase) ประกอบด้วยเมทานอล และ KH_2PO_4 ความเข้มข้น 0.1 โมล ทำการเปลี่ยนอัตราส่วนของเมทานอลและ KH_2PO_4 (gradient) ตลอดการวิเคราะห์ โดยที่เวลาเริ่มต้นให้ เมทานอล : KH_2PO_4 (3:97) เป็นเวลา 5 นาที อัตราการไหลเป็น 0.75 มิลลิลิตร/นาที ไปเป็น 1 มิลลิลิตร/นาที ในนาทีที่ 8 โดยฉีดปริมาตร 20 ไมโครลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงโดย diode array ที่ความยาวคลื่น 220 นาโนเมตร

7.4 การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิก ด้วยเครื่อง HPLC ดัดแปลงวิธีจาก Dragovic-Uzelac et al. (2005) , Kubola และ Siriamornpun (2008)

การแยกสารประกอบด้วยเครื่อง HPLC โดยการใช้คอลัมน์ C18 ขนาด 4.6 x 150 mm, 5 μ m ส่วนเฟสเคลื่อนที่(mobile phase) เป็นระบบ gradient เฟสเคลื่อนที่ A คือ น้ำประกอบด้วยกรดอะซิติก 3 เปอร์เซ็นต์ เฟสเคลื่อนที่ B ประกอบด้วย กรดอะซิติก 3 เปอร์เซ็นต์ อะซีโตนไตร 25 เปอร์เซ็นต์ และน้ำ 72 เปอร์เซ็นต์ ในระบบ gradient ใน นาทีที่ 0-40 เฟสเคลื่อนที่ A 30 เปอร์เซ็นต์ เฟสเคลื่อนที่ B 70 เปอร์เซ็นต์ อัตราการเคลื่อนไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที นาทีที่ 40-45 เฟสเคลื่อนที่ A 20 เปอร์เซ็นต์ เฟสเคลื่อนที่ B 80 เปอร์เซ็นต์ อัตราการเคลื่อนไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที นาทีที่ 45-55 เฟสเคลื่อนที่ A 15 เปอร์เซ็นต์ เฟสเคลื่อนที่ B 85 เปอร์เซ็นต์ อัตราการเคลื่อนไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที นาทีที่ 55-57 เฟส

เคลื่อนที่ A 10 เปอร์เซ็นต์ เฟสเคลื่อนที่ B 90 เปอร์เซ็นต์ อัตราการเคลื่อนไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที ระบบการปฏิบัติงาน อุณหภูมิคอลัมน์ 20 องศาเซลเซียส ปริมาตรในการฉีด 20 ไมโครลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงโดย UV – diode array detector ความยาวคลื่น 280 นาโนเมตร

8. การวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดย *in vitro* assays

8.1 การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี *ferric reducing/antioxidant power (FRAP)* ดัดแปลงจากวิธีของ Benzie และ Strain (1996); Kubola และ Siriamornpun (2008)

เป็นวิธีการวิเคราะห์หาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีหลักการว่า สารต้านอนุมูลอิสระทำหน้าที่โดยการให้อิเล็กตรอนจึงจัดเป็นสารรีดิวซ์ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าความสามารถรวมในการต้านอนุมูลอิสระเป็นความสามารถรวมในการรีดิวซ์ วิธีนี้ใช้สารประกอบเชิงซ้อนของ Fe^{3+} -TPTZ (*ferric tripyridyl triazine*) เป็นสารทดสอบ อะตอมนี้จะถูกรีดิวซ์โดยสารต้านอนุมูลอิสระ ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กเฟอรัส Fe^{2+} -TPTZ ซึ่งมีสีน้ำเงินดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร (โอกาสวัชรคุปต์. 2549 : 62) โดยนำสารละลาย FRAP reagent ซึ่งเตรียมได้จากการนำ acetate buffer ความเข้มข้น 300 มิลลิโมล (pH 3.6) จำนวน 100 มิลลิลิตร สารละลาย TPTZ ความเข้มข้น 10 มิลลิโมล ละลายใน HCl ความเข้มข้น 40 มิลลิโมล จำนวน 10 มิลลิลิตร สารละลาย $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ ความเข้มข้น 20 มิลลิโมล ในอัตราส่วน 10:1:1 และเติมน้ำกลั่น 12 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

การวิเคราะห์เริ่มจากการนำสารละลาย FRAP reagent จำนวน 1.8 มิลลิลิตร น้ำกลั่น จำนวน 180 ไมโครลิตร และสารสกัดจำนวน 60 ไมโครลิตร หรือ สารละลายมาตรฐาน ใส่ในหลอดทดลองนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร โดยใช้สารละลาย FRAP reagent เป็น blank แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาเทียบกับกราฟมาตรฐาน $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ เพื่อหาความสามารถในการออกฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

การทำกราฟมาตรฐาน $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ นำสารละลาย FRAP reagent จำนวน 1.8 มิลลิลิตร น้ำกลั่น จำนวน 180 ไมโครลิตร ปิเปตสารละลาย $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ในแต่ละความเข้มข้น (0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 มิลลิโมล) อย่างละ 60 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลองนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐาน $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

8.2 การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity

ดัดแปลงจากวิธีของ Dasgupta และ De (2006), Kubola และ Siriamornpun (2008)

เป็นวิธีการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเบื้องต้น โดยดูถึงความสามารถในการจับ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระที่เสถียร ถ้าสารสกัดสามารถจับกับ DPPH radical ได้สีของสารละลาย DPPH จะเปลี่ยนเป็นสีม่วงเป็นสีเหลือง ซึ่งสามารถวัดการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer

1 เตรียม 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical (DPPH) ความเข้มข้น 0.2 มิลลิโมล โดยการชั่ง DPPH 0.04 g/ml ปรับปริมาตรด้วยเอทานอลให้เท่ากับ 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปผสมด้วยเครื่อง Vortex ปิดด้วยฟอยล์เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C

2 ทดสอบตัวอย่างสารสกัดโดยดูดสารสกัดอย่างละ 0.1 มิลลิลิตรในหลอดทดลอง อย่างละ 3 หลอด จากนั้นเปิดสารละลาย DPPH ที่เตรียมไว้ใส่หลอดที่ใส่สารสกัดตัวอย่างไปแล้วหลอดละ 3 ml เพื่อให้ทำปฏิกิริยากัน แล้วทำการเขย่าทิ้งไว้ในที่มีดเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร

3 ทดสอบตัวอย่างโดยการดูดสารสกัดที่ทำการเตรียม และกรองแล้วมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ความเข้มข้นเป็น 5.00×10^{-2} , 2.5×10^{-2} , 1.25×10^{-2} , 0.625×10^{-2} , 0.3125×10^{-2} กรัม/มิลลิลิตร จากนั้นนำสารสกัดและ DPPH ที่เตรียมมาทำปฏิกิริยากัน โดยการเปิดสารสกัดที่ทำการเจือจางแล้วอย่างละ 0.1 มิลลิลิตรโดยทำ 3 ซ้ำ แล้วดูดสาร DPPH หลอดละ 3 มิลลิลิตรผสมในหลอดทำปฏิกิริยา ทิ้งไว้ในที่มีดเป็นเวลา 30 นาที แล้วทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร

4 ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐาน BHA ที่ทำปฏิกิริยากับสารอนุมูลอิสระเสถียร (DPPH) ที่ค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร จะใช้ control คือสารละลายอนุมูลอิสระเสถียร (DPPH) และ blank คือเอทานอล

5 คำนวณค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ในแต่ละความเข้มข้น แต่ละตัวอย่างแล้วนำมาแทนค่าในสูตรหาประสิทธิภาพฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในพืชตัวอย่าง ที่นำมาทดสอบ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ} = \frac{(A_{\text{DPPH}} - A_{\text{SAMPLE}}) \times 100}{A_{\text{DPPH}}}$$

เมื่อ A_{DPPH} = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH ที่ไม่มีตัวอย่าง
 A_{SAMPLE} = ค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่าง

นำเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระทั้ง 5 ความเข้มข้นในแต่ละตัวอย่างไปทำ Standard curve เพื่อคำนวณหา IC_{50} ของแต่ละตัวอย่าง

IC_{50} คือ ค่าความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ 50เปอร์เซ็นต์
(Wolf and others. 1998 : 103-117)

การประเมินผลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมทางสถิติ เพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance)
แบบ Complete Randomized Design (CRD) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างชนิดของเปลือกผลไม้ด้วย
Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองคณะผู้วิจัยได้นำเสนอผลการทดลองของผลไม้แต่ละชนิด ตามลำดับ คือ (1) มะม่วง (2) กัลย (3) มะละกอ โดยรายงานผลการวิจัยตามลำดับ ดังนี้

1. ปริมาณเส้นใยทั้งหมดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การวัดเนื้อสัมผัส

2. ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

2.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

2.2 ปริมาณสารเบต้าแคโรทีน

2.3 ปริมาณวิตามินซี

3.ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

3.1 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity รายงานผลการทดลองเป็นค่า IC_{50} (50% Inhibition concentration) และเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ(% scavenging activity)

3.2 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Ferric reducing/antioxidant power(FRAP)

1.มะม่วง

1.1 การวิเคราะห์เส้นใยทั้งหมด (Total fiber content)

เส้นใยทั้งหมด หรือ เส้นใยอาหาร หรือไฟเบอร์ เป็นส่วนของอาหารที่ได้จากพืช ซึ่งไม่ถูกย่อยโดยเอนไซม์ ซึ่งสามารถแบ่งเส้นใยอาหารได้เป็น เส้นใยประเภทที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน เส้นใยอีกพวกหนึ่งละลายน้ำได้ เช่น เส้นใยที่ได้จากถั่ว จากเมล็ดธัญพืชและสารพวกเพคติน จากการวิเคราะห์เส้นใยทั้งหมดในเนื้อมะม่วงดิบและสุก พบว่าในเนื้อมะม่วงดิบมีปริมาณเส้นใยทั้งหมดในแต่ละสายพันธุ์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) มีปริมาณประมาณ 2.5% ส่วนในมะม่วงสุกมีปริมาณเส้นใยทั้งหมดในแต่ละสายพันธุ์ใกล้เคียงกันคือมีปริมาณประมาณ 2.2 % ดังแสดงในตาราง 4.1 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเนื้อมะม่วงดิบและสุกมีปริมาณเส้นใยทั้งหมดใกล้เคียงกัน แต่มะม่วงดิบจะคุณค่าสูงทั้งวิตามินซีและใยอาหาร สำหรับมะม่วงสุกมีเบต้าแคโรทีนสูง (<http://www.uto.kmutt.ac.th/food/>) ปริมาณเส้นใยในแต่ละสายพันธุ์ของผลดิบและผลสุกไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของสายพันธุ์และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในของมะม่วงแต่ละสายพันธุ์ในช่วงที่มะม่วงสุก

ตาราง 4.1 ปริมาณเส้นใยทั้งหมดของมะม่วง 3 สายพันธุ์

ตัวอย่าง	ปริมาณเส้นใยทั้งหมด(%)	
	ผลดิบ ^{ns}	ผลสุก ^{ns}
มะม่วงน้ำดอกไม้	2.50±0.41	2.10±0.06
มะม่วงเขียวเสวย	2.50±0.26	2.20±0.12
มะม่วงแก้ว	2.40±0.38	2.20±0.26

a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

1.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid)

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด หรือการวัดค่าการหักเหของแสงของของแข็งที่ละลายได้ในสารละลายตัวอย่าง โดยใช้ refractometer อ่านค่าได้เป็นค่าการหักเหของแสง หรือ องศาบริกซ์ ($^{\circ}\text{Brix}$) ซึ่งเป็นหาปริมาณน้ำตาลหรือความหวานของผลไม้ทางอ้อม ของเนื้อมะม่วง 3 สายพันธุ์ ทั้งมะม่วงดิบและมะม่วงสุก พบว่า ในมะม่วงดิบ สายพันธุ์เขียวเสวยดิบมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 5.65 องศาบริกซ์ รองลงมาคือ มะม่วงน้ำดอกไม้และมะม่วงแก้ว มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด คิดเป็นร้อยละ 3.21 และ 3.11 องศาบริกซ์ ตามลำดับ ในมะม่วงสุกพบว่ามะม่วงน้ำดอกไม้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมากที่สุด รองลงมาคือ มะม่วงแก้ว และมะม่วงเขียวเสวย คิดเป็นร้อยละ 17.56, 15.03 และ 10.47 องศาบริกซ์ ตามลำดับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)ทั้งในเนื้อดิบและสุกของมะม่วงทั้ง 3 สายพันธุ์ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเนื้อมะม่วงสุกในแต่ละสายพันธุ์มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมากกว่าเนื้อมะม่วงดิบ เนื่องมาจากในระยะที่มะม่วงดิบนั้นองค์ประกอบส่วนใหญ่จะเป็นคาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในรูปของแป้งแต่เมื่อมะม่วงเริ่มสุก คาร์โบไฮเดรตจะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของน้ำตาล ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ให้รสหวาน และละลายน้ำได้ น้ำตาลส่วนใหญ่ในผลไม้จะเป็นน้ำตาลฟรุกโทส ดังนั้นมะม่วงสุกมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดมากกว่ามะม่วงดิบ

ตาราง 4.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ของมะม่วง 3 สายพันธุ์

ตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย % °Brix	
	ผลดิบ	ผลสุก
มะม่วงน้ำดอกไม้	3.21±0.36 ^b	17.56 ±0.22 ^a
มะม่วงเขียวเสวย	5.65±1.06 ^a	10.47±0.16 ^c
มะม่วงแก้ว	3.11±0.26 ^c	15.03±0.36 ^b

a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

1.3 การวัดเนื้อสัมผัส (Texture analysis)

ลักษณะทางเนื้อสัมผัสในอาหารเป็นผลประกอบกันของคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพ ซึ่งรวมไปถึง ขนาดรูปร่าง จำนวน และการจัดเรียงตัวของโครงสร้างของสารนั้นๆ ซึ่งเป็นผลมาจากโครงสร้างธรรมชาติเริ่มต้นของสาร ดังนั้นลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารจึงมีความจำเป็นและสำคัญอย่างมากต่อการยอมรับของผู้บริโภค (ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ, 2550) เนื้อสัมผัสอาหารใช้เป็นตัวชี้ถึงลักษณะของ ส่วนประกอบ และโครงสร้างภายในอาหาร ซึ่งอธิบาย หรือแสดงผลออกมาในรูปแบบของพฤติกรรมกรไหล หรือการสูญเสียรูปร่างของอาหารจากแรงกลจากการบิด เคี้ยว หรือการกดทับของแรงจากเครื่องมือ (Bourme, 1978) เครื่องมือที่ใช้ประเมินหรือวัดลักษณะเนื้อสัมผัส มีลักษณะเฉพาะซึ่งขึ้นกับวิธีการวัดคุณสมบัติทางกายภาพในสารหรือวัสดุนั้นๆ (ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ, 2550) การวัดค่าเนื้อสัมผัสด้วยวิธี Texture Profile Analysis โดยใช้เครื่องมือนี้จะคล้ายกับการทำ Texture Profile ด้วยวิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัส กล่าวคือ จะมีการพรรณนาคำศัพท์เกี่ยวกับเนื้อสัมผัสของอาหาร โดย Texture Profile Analysis จะเป็นการวัด ค่าพารามิเตอร์ของเนื้อสัมผัสของอาหารที่เปลี่ยนแปลง ไปเมื่อมีแรงมากระทำ หลักการพื้นฐาน เครื่องมือที่ใช้ในการวัดมีการออกแบบการเคี้ยวภายในปาก (Friedman, 1963; ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ, 2550) ซึ่งลักษณะของ Texture Profile ที่ได้จากการใช้เครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัสจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับตัวอย่างต่อเวลา (ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ, 2550)

ในการวัดเนื้อสัมผัสของมะม่วงทั้ง 3 สายพันธุ์ โดยมะม่วงดิบสายพันธุ์ มะม่วงน้ำดอกไม้ มะม่วงเขียวเสวย และมะม่วงแก้ว มีค่าความกรอบ 8.67, 10.56 และ 15.21 N ตามลำดับ ซึ่งค่าความกรอบของม่วงดิบทั้งสามสายพันธุ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับเมื่อเปรียบเทียบค่าความกรอบพบว่า มะม่วงแก้วมีค่าความกรอบมากที่สุด คือมีค่าเท่ากับ 15.21 N ค่าความกรอบนี้จะแสดงคุณภาพทางกายภาพในส่วนของแรงที่ทำให้ตัวอย่างแตกหักโดยเป็นตัวอย่างที่มีค่าความแข็งสูงและมีความสามารถเกาะรวมตัวกันต่ำ และการแสดงถึงคุณภาพทางประสาทสัมผัสทำให้ทราบถึงระยะเวลาที่ใช้ในการเคี้ยวบดตัวอย่างที่เป็นของแข็งในอัตราการเคี้ยวที่คงที่จนกระทั่งสามารถที่จะกลืนได้ จากการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็งและความเหนียว พบว่า มะม่วงทั้งสามสายพันธุ์มี

ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) พบว่ามะม่วงน้ำดอกไม้ มีค่าความแข็งแรงและความเหนียวมากที่สุด คือมีค่า 8.53 และ -2.86 N ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การบริโภคมะม่วงน้ำดอกไม้ต้องใช้แรงที่ใช้ในการกดตัวอย่างระหว่างฟันกรามเพื่อเปลี่ยนรูปร่างของของตัวอย่างมากที่สุด และค่าความเหนียวแสดงให้เห็นว่ามะม่วงน้ำดอกไม้ต้องใช้พลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวตัวอย่างที่เป็นกึ่งของแข็งในอัตรา การเคี้ยวที่คงที่จนกระทั่งสามารถที่จะกลืนได้มากที่สุด การเปรียบเทียบสัมผัสของมะม่วงสุกทั้งสามสายพันธุ์พบว่า ด้านความกรอบของมะม่วงสุกอยู่ในช่วง 0.31-0.62 N มะม่วงแก้วสุกมีค่าความกรอบมากที่สุด รองลงมาคือ มะม่วงเขียวเสวย และมะม่วงน้ำดอกไม้ โดยมีค่า 0.62 , 0.49, และ 0.31 N ตามลำดับ เนื้อสัมผัสด้านความแข็งแรงและความเหนียวของมะม่วงทั้งสามสายพันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.31- 0.36 N และการเปรียบเทียบเนื้อสัมผัสด้านความเหนียว มีค่าอยู่ในช่วง -0.10 ถึง -0.14 N ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.3 แสดงการวัดเนื้อสัมผัสของมะม่วง 3 สายพันธุ์ (เนื้อดิบ)

ตัวอย่าง	ค่าการวัดเนื้อสัมผัส (N)		
	ความกรอบ	ความแข็งแรง	ความเหนียว
มะม่วงน้ำดอกไม้	8.67±0.46 ^c	8.53±1.01 ^a	-2.86±0.15 ^a
มะม่วงเขียวเสวย	10.56±0.69 ^a	8.17±0.91 ^b	-2.03±0.54 ^b
มะม่วงแก้ว	15.21±0.41 ^b	7.30±0.83 ^b	-2.45±0.13 ^b

a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 4.4 แสดงการวัดเนื้อสัมผัสของมะม่วง 3 สายพันธุ์ (เนื้อสุก)

ตัวอย่าง	ค่าการวัดเนื้อสัมผัส (N)		
	ความกรอบ	ความแข็งแรง ^{ns}	ความเหนียว ^{ns}
มะม่วงน้ำดอกไม้	0.31±0.19 ^c	0.31±0.03	-0.13±0.03
มะม่วงเขียวเสวย	0.49±0.04 ^b	0.33±0.01	-0.10±0.04
มะม่วงแก้ว	0.62±0.07 ^a	0.36±0.04 ^a	-0.14±0.01

a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

1.4 การวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Analysis of bioactive compounds)

สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive compounds) เป็นสารที่มีในธรรมชาติพบในอาหารทั่วไป เช่น สารกลุ่มฟีนอลิก (phenolic compound) สารกลุ่มแคโรทีนอยด์ เช่น เบต้าแคโรทีน วิตามินอี วิตามินซี และกลุ่มวิตามินบี เป็นต้น มีคุณสมบัติในเชิงออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น ป้องกัน การเกิดอนุมูลอิสระ ช่วยเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกัน เป็นต้น ซึ่งสมบัติเหล่านี้จะช่วยให้ช่วยในการส่งเสริมสุขภาพ ทั้งช่วยป้องกัน และรักษาโรคได้ (Park , 2006) การวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในมะม่วง โดยทำการวัดค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เบต้าแคโรทีน วิตามินซี ชนิดและปริมาณของสารประกอบฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์

1.4.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content)

สารประกอบฟีนอลิก จัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้รับจากภายนอก และพบมากในธรรมชาติ เช่น พืชผัก ผลไม้ ชาเขียว ชาดำ และไวน์แดง เป็นต้น สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารที่มีบทบาทสำคัญเนื่องจากมีฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย ต้านการอักเสบ ต้านไวรัส ต้านการแพ้ และมีคุณสมบัติในการสลายลิ่มเลือด รวมไปถึงการเป็นสารต้านการก่อมะเร็ง ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวนี้มีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (โสภา วัชรคุป, 2549) โดยปัจจุบัน พบว่าสารประกอบในกลุ่มโพลีฟีนอลิกเป็นสารที่มีบทบาทสำคัญในการต้านอนุมูลอิสระ การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยวิธี Folin-Ciocalteus method แล้วแปรผลออกเป็นปริมาณฟีนอลิกในหน่วยมิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้งของตัวอย่าง โดยเติมสารละลายของ Folin-ciocalteu reagent (1: 1 น้ำกลั่น) เพื่อให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินกับสารจำพวกฟีนอลิก

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ในมะม่วงทั้งสาม 3 สายพันธุ์ พบว่าในมะม่วงดิบสายพันธุ์น้ำดอกไม้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากที่สุด รองลงมาคือ มะม่วงแก้ว และมะม่วงเขียวเสวย มีปริมาณน้อยที่สุด โดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก 3.27, 3.05 และ 2.74 mg/g ในมะม่วงสุกพบว่ามะม่วงแก้วมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากที่สุด มีปริมาณ 5.58 mg/g รองลงมาคือ มะม่วงเขียวเสวยและมะม่วงน้ำดอกไม้ มีปริมาณ 1.15 และ 1.11 mg/g ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในมะม่วงทั้งสามสายพันธุ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในมะม่วงดิบและมะม่วงสุกในแต่ละสายพันธุ์ ดังแสดงในตารางที่ 4.5 จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า เนื้อมะม่วงดิบมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าเนื้อมะม่วงสุก Ribeiro และคณะ (2008) ได้ศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของมะม่วงในสายพันธุ์ที่พบในประเทศบราซิล ได้รายงานว่าการประกอบฟีนอลิกและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของมะม่วงมีค่อนข้างจำกัด ซึ่งพวกเขาพบถึงพบว่าสายพันธุ์ของมะม่วงในแต่ละสายพันธุ์มีความแตกต่างของสารประกอบฟีนอลิกรวม สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารที่ป้องกันการเสื่อมสภาพของอาหารแล้ว ยังสามารถลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในระบบ

ร่างกายของผู้บริโภค โดยพบว่า การบริโภคผลไม้ในปริมาณมากสามารถลดความเสี่ยงในการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน อีกทั้งยังสามารถลดความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งบางชนิด อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพการเป็นสารต้านออกซิเดชันของผลไม้จะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้

ตาราง 4.5 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ของมะม่วง 3 สายพันธุ์

ตัวอย่าง	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (mg/g (น้ำหนักแห้ง))	
	ผลดิบ	ผลสุก
มะม่วงน้ำดอกไม้	3.27±0.73 ^a	1.11±0.14 ^b
มะม่วงเขียวเสวย	2.74±0.26 ^c	1.15±0.02 ^b
มะม่วงแก้ว	3.05±0.23 ^b	5.58±1.13 ^a

^{a,b,c...} ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

1.4.2 การวิเคราะห์หาปริมาณสารเบต้าแคโรทีน (Beta-carotene)

สารเบต้าแคโรทีนพบมากในพืชที่มีสีเหลือง และสีส้ม เช่น หัวแครอท หัวผักกาดแดง มะเขือเทศ เป็นต้น เป็นสารตั้งต้น สารเบต้าแคโรทีนเป็นสารที่ยังใช้ในการรักษาโรคบางชนิด เช่น โรคกระดูก ความผิดปกติของผิวหนังอันเนื่องมาจากความไวต่อแสง ซึ่งการที่ผิวหนังมีความไวต่อแสงจะกระตุ้นให้มีการสร้างพorphyrins ที่ผิวหนังซึ่งจะดูดกลืนพลังงานจากแสงและทำให้เกิดอนุมูลอิสระ และอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะทำลายเซลล์และทำให้เกิดการอักเสบของเนื้อเยื่อ การได้รับเบต้าแคโรทีนจะทำให้อาการเจ็บปวดลดลง เนื่องจากเบต้าแคโรทีนไปหยุดปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระ (วีระศักดิ์ สามิ. 2548) การวิเคราะห์หาปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในมะม่วงทั้ง 3 สายพันธุ์ พบว่า ในมะม่วงดิบสายพันธุ์ที่พบมากที่สุดคือ มะม่วงน้ำดอกไม้และ มะม่วงแก้ว รองลงมาคือ มะม่วงเขียวเสวย มีปริมาณ 3.45, 3.01 และ 2.18 mg/g ตามลำดับ ในมะม่วงสุกพบว่ามะม่วงน้ำดอกไม้มีปริมาณสารเบต้าแคโรทีน มากที่สุด มีปริมาณ 50.89 mg/g รองลงมาคือ มะม่วงแก้ว และมะม่วงเขียวเสวยมีปริมาณน้อยที่สุด ปริมาณที่พบ คือ 45.47 และ 20.54 mg/g ตามลำดับ ปริมาณสารเบต้าแคโรทีน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งที่ตรวจพบในเนื้อมะม่วงดิบและสุกในแต่ละสายพันธุ์ ดังแสดงในตารางที่ 4.6 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ามะม่วงสุกมีปริมาณเบต้าแคโรทีนสูงมากกว่าเนื้อมะม่วงดิบ โดยเฉพาะมะม่วงน้ำดอกไม้มีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนสูงสุด และมะม่วงเขียวเสวยมีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนน้อยที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจากมะม่วงเขียวเสวยเป็นมะม่วงที่นิยมรับประทานดิบและเมื่อสุกเนื้อของมะม่วงจะสีเหลืองอ่อน เมื่อเปรียบเทียบกับมะม่วงน้ำดอกไม้ซึ่งมีสีของเนื้อมะม่วงเป็นสีเหลืองเข้ม และสารชนิดนี้ร่างกายยัง

สามารถมาเปลี่ยนให้เป็นวิตามินเอ นอกจากนี้สารเบต้าแคโรทีนยังเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ช่วยป้องกันและลดความเสี่ยงในการเกิดโรคต่างๆ เช่น โรคหัวใจ โรคมะเร็ง เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่าสายพันธุ์ของมะม่วงแต่ละสายพันธุ์มีปริมาณของสารเบต้าแคโรทีนที่ต่างกัน ได้มีรายงานการวิจัยมากมายนำเสนอถึงปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในมะม่วงในแต่ละสายพันธุ์ และแหล่งการเพาะปลูกในพื้นที่ต่างกัน Veda และคณะ (2007) กล่าวถึงความแตกต่างในแต่ละสายพันธุ์ที่ปลูกในสภาวะที่แตกต่างส่งผลให้มีปริมาณเบต้าแคโรทีนในมะม่วงที่แตกต่างกัน Mercadante และ Rodriguez-Amaya (1998) ได้ศึกษาปริมาณเบต้าแคโรทีนจากมะม่วงสายพันธุ์ที่พบในประเทศบราซิล พบว่ามะม่วงสายพันธุ์ Keitt มีปริมาณเบต้าแคโรทีนชนิด *all-trans-β-carotene* (0.67 mg/100g) สูงมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ สายพันธุ์ Tommy Atkins (0.58 mg/100g) Pott และคณะ (2003) รายงานถึงความแตกต่างของปริมาณเบต้าแคโรทีนในมะม่วงสามสายพันธุ์ พบว่า สายพันธุ์ Kaew มีปริมาณเบต้าแคโรทีน 11.6 mg/100g ในขณะที่สายพันธุ์ Kent และ Tommy Atkins มีปริมาณเพียง 4.60 และ 3.70 mg/100g ตามลำดับ

นายแพทย์ณรงค์ศักดิ์ อังคะสุวพลา อธิบดีกรมอนามัยกล่าวว่า จากการศึกษาคัดเลือกผลไม้ไทย 83 ชนิด ต่อเนื้อผลไม้ 100 กรัม พบว่า ผลไม้ที่นิยมรับประทานกัน 10 อันดับแรก มีสารเบต้าแคโรทีนสูงสุดได้แก่ มะม่วงน้ำดอกไม้ (873 µg/100g), มะเขือเทศราชินี (639 µg/100g), มะละกอสุก (532 µg/100g), แคนตาลูปเหลือง (217 µg/100g), มะปรางหวาน (230 µg/100g), มะยงชิด (207 µg/100g), สับปะรดภูเก็ต (150 µg/100g), แตงโม (122 µg/100g), ส้มสายน้ำผึ้ง (101 µg/100g) และ ลูกพลับ (93 µg/100g)

ตาราง 4.6 ปริมาณเบต้าแคโรทีน ของมะม่วง 3 สายพันธุ์

ตัวอย่าง	ปริมาณสารเบต้าแคโรทีน (mg/g (น้ำหนักแห้ง))	
	ผลดิบ	ผลสุก
มะม่วงน้ำดอกไม้	3.45±0.12 ^a	50.89±1.19 ^a
มะม่วงเขียวเสวย	2.18±0.10 ^b	20.54±0.89 ^c
มะม่วงแก้ว	3.01±0.42 ^a	45.47±0.68 ^b

^{a,b,c...} ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

1.4.3 การวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี (Vitamin C)

วิตามินซีหรือ กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) เป็นสารอาหารที่ละลายได้ในน้ำ ร่างกายไม่สามารถที่จะสร้างขึ้นเองได้ จึงจำเป็นต้องได้รับการรับประทานเข้าไป วิตามินซีเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในร่างกาย ช่วยเพิ่มภูมิชีวิตได้เป็นอย่างดี เพราะสามารถป้องกันและรักษาการอักเสบอันเนื่องมาจากแบคทีเรียและไวรัสได้ แหล่งของวิตามินซีที่สำคัญที่พบในธรรมชาติได้แก่ ผักและผลไม้ที่มีรสเปรี้ยว เช่น ส้ม มะขามป้อม มะเขือเทศ แตงโม สับปะรด มะละกอ มะนาว สตอเบอรี่ ผักใบเขียวต่างๆ บลอคโคลี่ เป็นต้น วิตามินซีมีความสำคัญต่อร่างกายโดยมีฤทธิ์ด้านการเกิดออกซิเดชั่น ช่วยกำจัดอนุมูลอิสระภายในร่างกายที่อาจก่อให้เกิดโรคหลายชนิด มีความเกี่ยวข้องกับการสร้างคอลลาเจน ซึ่งเป็นโปรตีนสำคัญของฟันและกระดูก จึงมีส่วนในการซ่อมแซมเนื้อเยื่อบาดแผลและกระดูกทำให้สมานแผลเร็วขึ้น รักษาอาการเลือดออกตามไรฟัน หรือโรคลักปิดลักเปิด (Scurvy) ถ้าร่างกายผู้ป่วยขาดวิตามินซี ผู้ป่วยจะมีความเสี่ยงต่อการเลือดออกตามร่างกาย เช่น ผิวหนัง กล้ามเนื้อ ข้อต่างๆ เยื่อทางเดินอาหาร อ่อนเพลีย เหงือกบวม หลุดง่าย ตลอดจนมีความเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ Carnitine ซึ่งมีความสำคัญในกระบวนการเมตาบอลิซึมของกรดไขมัน และการสังเคราะห์ Steroid hormone เป็นต้น

ในการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซีโดยวิธี HPLC พบว่าปริมาณวิตามินซี มะม่วง 3 สายพันธุ์ พบว่ามะม่วงดิบมีปริมาณวิตามินซีอยู่ในช่วง 0.35-0.36 mg/g และมะม่วงสุกมีปริมาณวิตามินซีอยู่ในช่วง 0.27-0.28 mg/g จากการวิจัยแสดงให้เห็นว่าปริมาณวิตามินซีที่มีปริมาณที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งในเนื้อมะม่วงดิบและมะม่วงสุกในแต่ละสายพันธุ์ ดังแสดงในตารางที่ 4.7 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเนื้อมะม่วงดิบมีปริมาณวิตามินซีสูงกว่าเนื้อมะม่วงสุก มะม่วงดิบให้คุณค่าสูงทั้งวิตามินซีและใยอาหาร

ตารางที่ 4.7 แสดงการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซีด้วยวิธี HPLC ของมะม่วง 3 สายพันธุ์

ตัวอย่าง	ปริมาณวิตามินซี (mg/g)	
	ผลดิบ ^{ns}	ผลสุก ^{ns}
มะม่วงน้ำดอกไม้	0.36±0.02	0.28±0.02
มะม่วงเขียวเสวย	0.35±0.03	0.27±0.01
มะม่วงแก้ว	0.36±0.02	0.28±0.01

a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

1.4.4 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (Identification of phenolic compounds)

การวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกด้วยวิธี HPLC ของมะม่วง 3 สายพันธุ์ โดยเปรียบเทียบกับสารฟีนอลิกมาตรฐานคือ gallic acid , protocatechuic acid , *p*- hydroxybenzoic acid, (+)-catechin, vanillic acid , caffeic acid , syrigic acid , *p*-coumaric acid , ferulic acid และ sinapicnic acid จากการทดลองพบว่า ปริมาณของสาร Gallic acid พบมากที่สุด ในมะม่วงดิบและสุก โดยมีปริมาณอยู่ในช่วง 92.09-24.88 mg/g และ 11.45-34.49 mg/g ตามลำดับ และในทุกสารที่กล่าวมาข้างต้นสามารถตรวจพบได้ในทุกสายพันธุ์ของมะม่วงดิบและสุกในปริมาณที่แตกต่างกัน และพบว่ามีปริมาณ gallic acid ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในแต่ละสายพันธุ์ของมะม่วงดิบและสุกดังแสดงในตาราง 4.8 และ 4.9

สาร protocatechuic acid ในมะม่วงดิบพบมากในมะม่วงน้ำดอกไม้ มีปริมาณ 9.82 mg/g และในมะม่วงสุกพบมากในมะม่วงแก้ว มีปริมาณ 2.54 mg/g

สาร *p*- hydroxybenzoic acid ในมะม่วงดิบพบมากในมะม่วงมะม่วงเขียวเสวย มีปริมาณ 1.82 mg/g และในมะม่วงสุกพบมากใน มะม่วงน้ำดอกไม้ มีปริมาณ 1.51 mg/g

สาร (+)-catechin ในมะม่วงดิบพบมากในมะม่วงเขียวเสวยมีปริมาณ 8.81 mg/g และในมะม่วงสุกพบในปริมาณที่ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 7.12-7.44 mg/g

สาร vanillic acid ในมะม่วงดิบพบมากในมะม่วงน้ำดอกไม้มีปริมาณ 1.83 mg/g และในมะม่วงสุกพบมากในมะม่วงเขียวเสวยมีปริมาณ 3.76 mg/g

สาร caffeic acid ในมะม่วงดิบพบในปริมาณใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 1.01-1.71 mg/g และในมะม่วงสุกก็เช่นเดียวกันพบได้ในทุกสายพันธุ์มีปริมาณที่ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 1.00-1.76 mg/g

สาร syrigic acid ในมะม่วงดิบพบมากในมะม่วงน้ำดอกไม้ มีปริมาณ 1.17 mg/g และในมะม่วงสุกพบมากในมะม่วงแก้ว มีปริมาณ 5.59 mg/g

สาร *p*-coumaric acid ในมะม่วงดิบพบมากในมะม่วงแก้วมีปริมาณ 9.02 mg/g และในมะม่วงสุกทุกสายพันธุ์มีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน มีปริมาณ 0.90 mg/g

สาร ferulic acid ตรวจพบว่าทั้งในมะม่วงดิบและมะม่วงสุกทั้งสามสายพันธุ์มีปริมาณ 0.75 mg/g

สาร sinapicnic acid ในมะม่วงดิบพบมากในมะม่วงเขียวเสวย มีปริมาณ 11.38 mg/g และในมะม่วงสุกพบในปริมาณที่ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 9.00-9.51 mg/g

จากการทดลองพบว่าปริมาณสารฟีนอลิกแต่ละชนิดที่เปรียบเทียบกับสารฟีนอลิกมาตรฐานที่สามารถตรวจพบได้มีปริมาณที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ยกเว้น สาร Ferulic acid มีปริมาณที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 4.10 และ 4.11 แสดงปริมาณสารฟลาโวนอยด์ที่ตรวจพบในมะม่วงสามสายพันธุ์โดยใช้ HPLC เทียบกับสารฟลาโวนอยด์มาตรฐานคือ rutin, myricetin, luteolin, quercetin, apigenin และ kaempferol จากการทดลองพบว่า ปริมาณที่พบมากที่สุดในมะม่วงดิบและสุกคือ rutin มีปริมาณอยู่ในช่วง 2.31-1037.58 mg/g ซึ่งพบมากที่สุดในมะม่วงน้ำดอกไม้สุก มีปริมาณ 1037.58 mg/g และในมะม่วงดิบพบมากในมะม่วงแก้วมีปริมาณ 195.24 mg/g มีการรายงานถึงความสามารถของ rutin ว่าเป็นตัวที่ช่วยส่งเสริมการใช้วิตามินดีในร่างกาย รักษาสุขภาพและการทำงานของหลอดเลือดให้แข็งแรง ช่วยในการไหลเวียนโลหิต ป้องกันการเกิดเส้นโลหิตฝอยแตก และป้องกันเลือดออกตามไรฟัน (<http://www.geocities.com/vitandmin/RUTIN.htm>)

สาร myricetin ในมะม่วงดิบพบมากในมะม่วงเขียวเสวยมีปริมาณ 24.60 mg/g และมะม่วงสุกพบมากในมะม่วงเขียวเสวยเช่นเดียวกันมีปริมาณ 21.08 mg/g

สาร luteolin ในมะม่วงดิบพบมากในมะม่วงแก้ว มีปริมาณ 2.19 mg/g และในมะม่วงสุกตรวจพบว่าปริมาณที่ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 0.10-0.60 mg/g

สาร quercetin ในมะม่วงดิบพบมากในมะม่วงแก้วมีปริมาณ 3.23 mg/g และในมะม่วงสุก ตรวจพบว่าปริมาณที่ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 1.03-1.69 mg/g

สาร apigenin ในมะม่วงดิบและสุกพบมากในมะม่วงแก้วมีปริมาณ 9.06 และ 2.07 mg/g ตามลำดับ

สาร kaempferol ในมะม่วงดิบและสุกพบมากในมะม่วงแก้วมีปริมาณ 13.59 และ 10.14 mg/g ตามลำดับ

จากการทดลองพบว่าปริมาณสารฟลาโวนอยด์แต่ละชนิดที่เปรียบเทียบกับสารมาตรฐานที่สามารถตรวจพบได้มีปริมาณที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งที่ตรวจพบในเนื้อมะม่วงดิบและสุกในแต่ละสายพันธุ์ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกในธรรมชาติแม้ว่าจะมีปริมาณที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในพืชต่างชนิดกัน หรือแม้แต่ในพืชชนิดเดียวกันซึ่งมาจากสถานที่ผลิตที่แตกต่างกัน แต่พบว่าโดยเฉลี่ยที่คนได้รับต่อวันจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 20 mg – 1 g ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงกว่าปริมาณวิตามินอีที่ได้รับต่อวัน (วาริน แสงกิตติโกมล, 2546; โอภา วัชรคุปต์, 2549)

โดยปัจจุบันพบว่าสารประกอบในกลุ่มโพลีฟีนอลิก เช่น ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ฟีนิลโพรพานอยด์ (phenylpropanoids) เป็นสารที่มีบทบาทสำคัญในการต้านอนุมูลอิสระ (โอภา วัชรคุปต์, 2549) จากการศึกษาทางระบาดวิทยาพบว่า สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเหล่านี้มีความเกี่ยวข้องในการลดอัตราการเสี่ยงและเพิ่มอัตราป้องกันการเกิดโรคหัวใจ โรคมะเร็ง โรคเกี่ยวกับหลอดเลือด และโรคหัวใจรวมทั้งโรคอื่นๆ (โอภา วัชรคุปต์, 2549 ; Simopoulos. 2003 ; Kalirage and Dedoussis. 2007)

ตารางที่ 4.8 แสดงปริมาณสารฟีนอลิกด้วยวิธี HPLC ของมะม่วง 3 สายพันธุ์ (มะม่วงดิบ)

ตัวอย่าง	ชนิดและปริมาณสารฟีนอลิก (mg/g)									
	GA	PCCA	P-OH	ChA	VA	CA	Syg	P-co	FA ^{ns}	Sn ^p
มะม่วงน้ำดอกไม้	62.10±2.01 ^a	9.82±1.01 ^a	1.75±0.13 ^a	7.39±0.21 ^b	1.83±0.02 ^a	1.03±0.01 ^b	1.17±0.01 ^a	0.90±0.02 ^c	0.75±0.01	9.51±0.24 ^b
มะม่วงเขียวเสวย	9.09±0.01 ^c	7.42±0.34 ^b	1.82±0.18 ^a	8.81±0.01 ^a	1.56±0.01 ^b	1.71±0.01 ^a	0.91±0.01 ^b	1.12±0.03 ^b	0.75±0.01	11.38±0.05 ^a
มะม่วงแก้ว	24.88±4.81 ^b	1.74±0.01 ^c	1.17±0.12 ^b	7.37±0.02 ^b	0.30±0.04 ^c	1.01±0.01 ^b	0.94±0.01 ^b	9.02±0.24 ^a	0.75±0.24	9.51±0.65 ^b

a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 4.9 แสดงปริมาณสารฟีนอลิกด้วยวิธี HPLC ของมะม่วง 3 สายพันธุ์ (มะม่วงสุก)

ตัวอย่าง	ชนิดและปริมาณสารฟีนอลิก (mg/g)									
	GA	PCCA	P-OH	ChA	VA	CA	Syg	P-co ^{ns}	FA ^{ns}	Sn ^{p ns}
มะม่วงน้ำดอกไม้	29.72±3.06 ^b	1.50±0.04 ^b	1.51±0.44 ^a	7.38±0.01 ^a	2.80±0.02 ^b	1.00±0.01 ^c	1.04±0.01 ^c	0.90±0.06	0.75±0.62	9.51±0.98
มะม่วงเขียวเสวย	11.45±0.23 ^c	1.06±0.03 ^c	1.03±0.15 ^b	7.12±0.12 ^b	3.76±0.01 ^a	1.04±0.02 ^b	2.76±0.61 ^b	0.90±0.13	0.75±0.12	9.00±1.02
มะม่วงแก้ว	34.49±5.78 ^a	2.54±0.01 ^a	1.18±0.05 ^b	7.44±0.31 ^a	0.47±0.01 ^c	1.76±0.01 ^a	5.59±0.86 ^a	0.90±0.19	0.75±0.44	9.15±2.52

a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

GA= gallic acid ; PCCA = protocatechuic acid ; P-OH = *p*- hydroxybenzoic acid; ChA = (+)-catechin ; VA= vanillic acid ; CA= caffeic acid;

Syg= syrigic acid; P-co = *p*-coumaric acid ; FA= ferulic acid; Sn^p = sinapicnic acid

ตารางที่ 4.10 แสดงปริมาณ สารฟลาโวนอยด์ด้วยวิธี HPLC ของมะม่วง 3 สายพันธุ์ (มะม่วงดิบ)

ตัวอย่าง	ชนิดและปริมาณสาร Flavonoid (mg/g)					
	Rutin	Myricetin	Luteolin	Quercetin	Apigenin	Kaempferol
มะม่วงน้ำดอกไม้	88.61±2.26 ^b	0.85±0.01 ^c	1.13±0.07 ^b	1.44±0.02 ^b	2.01±0.02 ^c	9.88±0.32 ^b
มะม่วงเขียวเสวย	2.84±0.05 ^c	24.60±0.27 ^a	0.29±0.07 ^c	1.35±0.02 ^c	2.16±0.01 ^b	2.70±0.02 ^c
มะม่วงแก้ว	195.24±8.32 ^a	4.84±0.21 ^b	2.19±0.31 ^a	3.23±0.05 ^a	9.06±0.20 ^a	13.59±1.67 ^a

a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

ตารางที่ 4.11 แสดงปริมาณสารฟลาโวนอยด์ ด้วยวิธี HPLC ของมะม่วง 3 สายพันธุ์ (มะม่วงสุก)

ตัวอย่าง	ชนิดและปริมาณสาร Flavonoid (mg/g)					
	Rutin	Myricetin	Luteolin	Quercetin	Apigenin	Kaempferol
มะม่วงน้ำดอกไม้	1037.58±10.46 ^a	1.35±0.04 ^b	0.60±0.04 ^a	1.46±0.01 ^b	1.92±0.15 ^b	9.74±0.52 ^a
มะม่วงเขียวเสวย	2.31±0.04 ^c	21.08±1.84 ^a	0.18±0.01 ^b	1.03±0.01 ^c	1.62±0.02 ^c	2.30±0.02 ^b
มะม่วงแก้ว	712.43±42.39 ^b	0.96±0.05 ^c	0.10±0.01 ^c	1.69±0.65 ^a	2.07±0.21 ^a	10.14±0.51 ^a

a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

1.5 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของมะม่วง(Antioxidant activity)

การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของมะม่วง ในการวิจัยได้ทำการทดลองฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในหลอดทดลอง (*in vitro*) 2 วิธี คือ FRAP (*ferric reducing / antioxidant power*) และ DPPH radical scavenging activity

1.5.1 การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP

การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ซึ่ง เป็นวิธีวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทำหน้าทำให้โอเลคตรอนจึงจัดเป็นสารรีดิวซ์อะตอมเหล็กในสารจะถูกรีดิวซ์โดยสารต้านอนุมูลอิสระจากสารประกอบเชิงซ้อนเหล็ก Fe^{3+} -TPTZ ได้เป็นเหล็กเฟอร์รัส Fe^{2+} TPTZ ซึ่งมีสีน้ำเงินดุดกิ้นแสงที่ 593 นาโนเมตรมีเปอร์เซ็นต์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการรีดิวซ์ เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการรีดิวซ์ อะตอมเหล็กของสารสกัดจากมะม่วง พบว่าสารสกัดจากมะม่วง แก้วดิบมีความสามารถในการรีดิวซ์อะตอมเหล็กได้มากที่สุด โดยสามารถรีดิวซ์ได้ 1.21 mmol $FeSO_4$ equivalent/g น้ำหนักแห้ง เมื่อเปรียบเทียบกับความสามารถของวิตามินซี ซึ่งมีความสามารถในการรีดิวซ์อะตอมเหล็ก ได้ 0.75 mmol $FeSO_4$ equivalent/g น้ำหนักแห้ง รองลงมาคือ มะม่วงน้ำดอกไม้และมะม่วงเขียวเสวย 0.86 และ 0.65 mmol $FeSO_4$ equivalent/g น้ำหนักแห้ง ในมะม่วงสุกพบว่ามะม่วงแก้ว มีความสามารถในการรีดิวซ์อะตอมเหล็กได้มากที่สุด รองลงมาคือ มะม่วงเขียวเสวย และมะม่วงน้ำดอกไม้ โดยมีความสามารถในการรีดิวซ์ 0.79, 0.15 และ 0.07 mmol $FeSO_4$ equivalent/g น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ของสารสกัดจากมะม่วง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งในมะม่วงดิบและสุกแต่ละสายพันธุ์ ดังแสดงในตาราง 4.12 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากเนื้อมะม่วงดิบมีความสามารถรีดิวซ์อะตอมเหล็กจากสารประกอบเชิงซ้อนเหล็ก Fe^{3+} -TPTZ ได้เป็นเหล็กเฟอร์รัส Fe^{2+} TPTZ ได้มากกว่าสารสกัดจากเนื้อมะม่วงสุก และยังแสดงให้เห็นว่าในแต่ละสายพันธุ์ของมะม่วงก็มีความสามารถในการรีดิวซ์อะตอมเหล็กได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณรวมของสารต้านอนุมูลอาจเกิดจากสถานที่ในการเพาะปลูกที่แตกต่างกัน ความอุดมสมบูรณ์ วิธีการเก็บรักษาพืช ความสดใหม่ของพืช

ตาราง 4.12 แสดงฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ของมะม่วง 3 สายพันธุ์

ตัวอย่าง	ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (mmol FeSO ₄ equivalent/g dry sample)	
	ผลดิบ	ผลสุก
มะม่วงน้ำดอกไม้	0.86±0.02 ^b	0.07±0.01 ^c
มะม่วงเขียวเสวย	0.65±0.01 ^c	0.15±0.01 ^b
มะม่วงแก้ว	1.21 ±0.03 ^a	0.79±0.01 ^a

a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

5.1.2 การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity

การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity โดยศึกษาตัวอย่างมะละกอสายพันธุ์ ทั้งดิบและสุก โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่มีความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร แล้วจึงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของแต่ละตัวอย่าง แล้วแปรผลเป็นค่า IC₅₀ คือค่าความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ 50 เปอร์เซ็นต์ (Wolf and others. 1998 : 103-117)

การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากมะม่วงดิบ ด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity พบว่า สารสกัดจากมะม่วงน้ำดอกไม้มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด คือ 84.38 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ มะม่วงเขียวเสวย และมะม่วงแก้ว มีความสามารถในการยับยั้ง 83.48 และ 83.21 เปอร์เซ็นต์ การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากมะม่วงสุก พบว่า มะม่วงเขียวเสวย มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระได้มากที่สุด 89.89 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา มะม่วงแก้ว และมะม่วงน้ำดอกไม้มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ 85.86 และ 82.45 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับ BHA ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมีความสามารถในการยับยั้ง 79.21 เปอร์เซ็นต์ มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่า การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากมะม่วงมีความสามารถที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งในเนื้อมะม่วงดิบและสุกในแต่ละสายพันธุ์ ดังแสดงตาราง 4.13

ตาราง 4.13ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity ของมะม่วง 3 สายพันธุ์

ตัวอย่าง	ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (%)	
	ผลดิบ ^{ns}	ผลสุก
มะม่วงน้ำดอกไม้	84.38±0.12	82.45±0.12 ^c
มะม่วงเขียวเสวย	83.48±4.28	89.89±1.81 ^a
มะม่วงแก้ว	83.21±7.56	85.86±1.14 ^b

a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

จากผลการทดลองวัดค่า IC_{50} ซึ่งเป็นค่าความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ 50เปอร์เซ็นต์ โดยมะม่วงดิบสายพันธุ์แก้วมีค่า IC_{50} น้อยที่สุดเท่ากับ 1.29 mg/g ซึ่งรองลงมาคือ มะม่วงเขียวเสวยและ มะม่วงน้ำดอกไม้ มีค่า IC_{50} 2.15 และ 2.46 mg/g ในมะม่วงสุกพบว่า มะม่วงแก้วมีค่า IC_{50} น้อยที่สุดเท่ากับ 2.07 mg/g มะม่วงเขียวเสวย และมะม่วงน้ำดอกไม้ มีค่า IC_{50} เท่ากับ 4.96 และ 8.80 mg/g ตามลำดับ จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่แสดงค่า IC_{50} ที่มีค่าน้อยที่สุดแสดงถึงการใช้ความเข้มข้นที่น้อยที่สุดในการออกฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ดังแสดงในตารางที่ 4.14 และพบว่า ค่า IC_{50} มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งในเนื้อมะม่วงดิบและสุก ทั้ง 3 สายพันธุ์ ดังแสดงในตาราง 4.14

ตาราง 4.14 ค่าของ IC_{50} (mg/g) ของเนื้อและสุกของมะม่วง 3 สายพันธุ์

ตัวอย่าง	IC_{50} (mg/g)	
	ผลดิบ	ผลสุก
มะม่วงน้ำดอกไม้	2.46±0.08 ^a	8.80±0.44 ^a
มะม่วงเขียวเสวย	2.15±0.01 ^b	4.96±0.04 ^b
มะม่วงแก้ว	1.29±0.004 ^c	2.07±0.01 ^c

a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

2.กล้วย

2.1 การวิเคราะห์เส้นใยทั้งหมด (Total fiber content)

การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยทั้งหมดของกล้วย 3 สายพันธุ์ โดยเปรียบเทียบปริมาณเส้นใยทั้งหมดของกล้วย จากผลการวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยทั้งหมด พบว่าเนื้อกล้วยทั้งกล้วยดิบและกล้วยสุกดิบมีปริมาณเส้นใยทั้งหมดใกล้เคียงกันในแต่ละสายพันธุ์ เนื้อกล้วยดิบมีปริมาณเส้นใยทั้งหมดประมาณ 2.7 เปอร์เซ็นต์ เนื้อกล้วยสุกมีเส้นใยทั้งหมดประมาณ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเส้นใยทั้งหมดของกล้วยมีปริมาณเส้นใยทั้งหมดที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ในแต่ละสายพันธุ์ทั้งในกล้วยดิบและกล้วยสุก ดังแสดงในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ปริมาณเส้นใยทั้งหมดของกล้วย 3 สายพันธุ์

พันธุ์กล้วย	ปริมาณเส้นใยทั้งหมด(%)	
	ผลดิบ ^{ns}	ผลสุก ^{ns}
กล้วยไข่	2.75±0.21	2.45±0.06
กล้วยน้ำว้า	2.72±0.16	2.50±0.12
กล้วยหอม	2.69±0.58	2.50±0.26

a,b,c,... ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

2.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid)

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ของกล้วย 3 สายพันธุ์ ได้แก่ กล้วยไข่ กล้วยน้ำว้า และกล้วยหอม พบว่ากล้วยน้ำว้าดิบมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด สูงที่สุด รองลงมาคือเนื้อกล้วยหอมสุก มีปริมาณ 10.40, 6.60 และ 5.30 องศาบริกซ์ เช่นเดียวกับกล้วยน้ำว้าสุกมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด สูงที่สุด รองลงมาคือเนื้อกล้วยหอมสุก มีปริมาณ 27.20, 26.63 และ 24.23 องศาบริกซ์ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของกล้วยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งในกล้วยดิบและกล้วยสุก ของแต่ละสายพันธุ์ ดังแสดงในตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ของกล้วย 3 สายพันธุ์

พันธุ์กล้วย	ค่าเฉลี่ย % °Brix	
	ผลดิบ	ผลสุก
กล้วยไข่	5.30±0.07 ^c	24.23±0.07 ^c
กล้วยน้ำว้า	10.40±0.01 ^a	27.20±0.20 ^a
กล้วยหอม	6.60±0.14 ^b	26.63±0.23 ^b

a.b.c... ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

2.3 การวัดเนื้อสัมผัส (Texture analysis)

การวัดเนื้อสัมผัสของกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์พบว่าเนื้อสัมผัสด้านความแข็งของกล้วยดิบทั้งสามสายพันธุ์ของกล้วยหอมมีค่ามากที่สุดรองลงมาคือกล้วยน้ำว้า และกล้วยไข่ มีค่า 65.83, 35.07 และ 34.29 N ตามลำดับ การวัดค่าความเหนียวพบว่ากล้วยไข่และกล้วยน้ำว้ามีค่าความเหนียว 0.32 N ในขณะที่กล้วยหอมมีค่าความเหนียว 0.29 N การเปรียบเทียบค่าความแข็งและความเหนียวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ของกล้วยไข่และกล้วยน้ำว้าดิบ ดังแสดงในตาราง 17 การวัดเนื้อสัมผัสของกล้วยสุกทั้งสามสายพันธุ์พบว่า ด้านความแข็งกล้วยน้ำว้าสุกมีค่าความแข็งมากที่สุด มีค่า 9.76 N รองลงมาคือกล้วยไข่ และกล้วยหอม มีค่า 7.32 และ 6.38 N ตามลำดับ การวัดเนื้อสัมผัสด้านความเหนียวกล้วยหอมมีค่าความเหนียวมากที่สุดมีค่า 4.09 N รองลงมาคือ กล้วยน้ำว้าและ กล้วยไข่ มีค่า 2.8 และ 1.38 N ตามลำดับ การเปรียบเทียบเนื้อสัมผัสด้านความแข็งและความเหนียวของกล้วยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)ทั้งกล้วยดิบและสุกในแต่ละสายพันธุ์ ดังแสดงในตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.17 แสดงการวัดเนื้อสัมผัสของกล้วย 3 สายพันธุ์ (กล้วยดิบ)

ตัวอย่าง	ค่าการวัดเนื้อสัมผัส (N)	
	ความแข็ง	ความเหนียว
กล้วยไข่	34.29±3.61 ^b	0.32±0.07 ^a
กล้วยน้ำว้า	35.07±1.53 ^b	0.32±0.09 ^a
กล้วยหอม	65.83±3.75 ^a	0.29±0.05 ^b

a.b.c... ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

ตารางที่ 4.18 แสดงการวัดเนื้อสัมผัสของกล้วย 3 สายพันธุ์ (กล้วยสุก)

ตัวอย่าง	ค่าการวัดเนื้อสัมผัส (N)	
	ความแข็ง	ความเหนียว
กล้วยไข่	7.32±0.73 ^b	1.38±0.72 ^c
กล้วยน้ำว้า	9.76±0.73 ^a	2.8±0.63 ^b
กล้วยหอม	6.38±1.19 ^b	4.09±0.41 ^a

a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

2.4 การวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Analysis of bioactive compounds)

การวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในกล้วย โดยทำการวัดค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เบต้าแคโรทีน วิตามินซี ชนิดและปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์

2.4.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content)

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของกล้วยไข่ กล้วยน้ำว้าและกล้วยหอม พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของกล้วยทั้งสามสายพันธุ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล้วยน้ำว้าดิบมีปริมาณมากที่สุด มีปริมาณ 13.19 mg/100g รองลงมาคือ กล้วยไข่และกล้วยหอม มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม 12.39 และ 12.10 mg/100g ตามลำดับ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของกล้วยสุกพบว่า กล้วยไข่มีปริมาณ 33.72 mg/100g รองลงมาคือ 30.80 และ 19.38 mg/100g ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 4.19

ตารางที่ 4.19 แสดงการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

ตัวอย่าง	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (mg/100g (น้ำหนักแห้ง))	
	ผลดิบ	ผลสุก
กล้วยไข่	12.39±0.19 ^b	33.72±1.42 ^a
กล้วยน้ำว้า	13.19±0.15 ^a	30.80±0.91 ^b
กล้วยหอม	12.10±0.17 ^b	19.38±1.20 ^c

a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

2.4.2 การวิเคราะห์หาปริมาณสารเบต้าแคโรทีน (Beta-carotene)

การวิเคราะห์ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนของกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ โดยใช้ HPLC พบว่า ในกล้วยดิบพบสารเบต้าแคโรทีนมากในกล้วยไข่และกล้วยหอมมีปริมาณ 7.41 และ 7.30 mg/g กล้วยน้ำว้าพบในปริมาณน้อยที่สุดมีปริมาณ 1.55 mg/g และในกล้วยสุกตรวจพบเบต้าแคโรทีนมากที่สุด คือ กล้วยหอมมีปริมาณ 51.09 mg/g รองลงมาคือ กล้วยไข่ และกล้วยน้ำว้ามีปริมาณ 35.98 และ 16.45 mg/g ตามลำดับ ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนที่ตรวจพบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งในกล้วยดิบและสุกในแต่ละสายพันธุ์ ดังแสดงในตาราง 4.20 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเนื้อกล้วยสุกมีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนสูงมากกว่าในเนื้อกล้วยดิบ เบต้าแคโรทีนคือสารสีที่พบได้ทั่วไปในอาหาร โดยเฉพาะอาหารที่มีสีเหลือง ลักษณะของเนื้อกล้วยที่สุกจะมีสีเหลืองเข้มหรือเหลืองอ่อนแล้วแต่ชนิดของกล้วย ซึ่งสีเหลืองดังกล่าวจะบ่งบอกถึงปริมาณของเบต้าแคโรทีนถ้ามีสีเหลืองเข้มปริมาณเบต้าแคโรทีนก็จะมากตามไปด้วย ในขณะที่เนื้อกล้วยสุกจะมีลักษณะสีเหลืองออกขาวบ่งบอกถึงปริมาณเบต้าแคโรทีนถ้ามีสีเหลืองน้อยปริมาณเบต้าแคโรทีนก็จะน้อยตามไปด้วย นพ. วัลลภ พรเรืองวงศ์ ได้รายงานปริมาณเบต้าแคโรทีน ของกล้วยชนิดต่างๆที่มีปริมาณมากหกอันดับแรกได้แก่ กล้วยพม่า (528 $\mu\text{g}/100\text{g}$), กล้วยงาช้าง (520 $\mu\text{g}/100\text{g}$), กล้วยไข่โนนสูง (397 $\mu\text{g}/100\text{g}$), กล้วยนางพญา (393 $\mu\text{g}/100\text{g}$), กล้วยไข่ (271 $\mu\text{g}/100\text{g}$) และกล้วยหักมุกนวล (270 $\mu\text{g}/100\text{g}$) การบริโภคกล้วยให้ได้รับปริมาณสารเบต้าแคโรทีนที่ควรรับประทานอาหารที่มีน้ำมันเป็นองค์ประกอบในอาหารมื้อนั้นด้วย เนื่องจากสารเบต้าแคโรทีนเป็นสารที่ละลายในน้ำมันจึงอาศัยมันเป็นตัวดูดซึม เพราะฉะนั้น การรับประทานกล้วยพร้อมอาหาร หลังอาหาร หรืออาหารที่มีไขมันเล็กน้อย เช่น เมล็ดพืช นมไขมันต่ำ จะช่วยในการดูดซึมสารเบต้าแคโรทีนได้ดีกว่าการรับประทานกล้วยตอนท้องว่างหรือไม่มีอาหารประเภทไขมัน (<http://www.herbalone.net/index.>)

ตารางที่ 4.20 ปริมาณสารเบต้าแคโรทีน ของกล้วย 3 สายพันธุ์

ตัวอย่าง	ปริมาณสารเบต้าแคโรทีน (mg/g (น้ำหนักแห้ง))	
	ผลดิบ	ผลสุก
กล้วยหอม	7.03 $\pm$ 0.80 ^a	51.09 $\pm$ 3.35 ^a
กล้วยน้ำว้า	1.55 $\pm$ 0.10 ^b	16.45 $\pm$ 2.98 ^c
กล้วยไข่	7.41 $\pm$ 2.47 ^a	35.98 $\pm$ 6.42 ^b

^{a,b,c...} ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

2.4.3 การวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี (Vitamin C)

การวิเคราะห์หาปริมาณวิตามินซีในกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ด้วยวิธี HPLC ผลการทดลองของกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ พบว่า ในกล้วยดิบพบปริมาณวิตามินซีสูงที่สุดในกล้วยหอมมีปริมาณ 0.49 mg/g รองลงมาคือ กล้วยไข่ และกล้วยหอมมีปริมาณ 0.27 และ 0.26 mg/g ตามลำดับ ในกล้วยสุกพบปริมาณวิตามินซีมากที่สุดในกล้วยหอมมีปริมาณ 0.38 mg/g รองลงมาคือ กล้วยไข่และกล้วยน้ำว้ามีปริมาณวิตามินซี 0.28 และ 0.27 mg/g ตามลำดับ จากวิจัยนี้ยังแสดงให้เห็นว่ากล้วยที่ปลูกในประเทศไทยมีปริมาณวิตามินซีที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Marisa (2006) ซึ่งได้ศึกษาปริมาณวิตามินซีในกล้วยที่ปลูกใน Hawaii พบว่ามีปริมาณวิตามินซี 0.127 mg/g ซึ่งปริมาณที่ตรวจพบมีน้อยกว่ากล้วยที่ปลูกในประเทศไทย (อยู่ในช่วง 0.26-0.49 mg/g) ดังแสดงในตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 แสดงปริมาณวิตามินซีด้วยวิธี HPLC ของกล้วย 3 สายพันธุ์

ตัวอย่าง	ปริมาณวิตามินซี (mg/g)	
	ผลดิบ	ผลสุก
กล้วยไข่	0.27±0.02 ^b	0.28±0.02 ^b
กล้วยน้ำว้า	0.26±0.03 ^b	0.27±0.01 ^b
กล้วยหอม	0.49±0.02 ^a	0.38±0.01 ^a

a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

2.4.4 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (Identification of phenolic compounds)

การวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกด้วยวิธี HPLC ของกล้วย 3 สายพันธุ์ เปรียบเทียบกับสารมาตรฐานฟีนอลิกคือ gallic acid , protocatechuic acid , *p*- hydroxybenzoic acid , (+)-catechin, vanillic acid , caffeic acid , syrigic acid , *p*-coumaric acid , ferulic acid และ sinapicnic acid จากการทดลองพบว่า ปริมาณสารที่ตรวจพบมากที่สุดในกล้วยคือ *p*- hydroxybenzoic acid อยู่ในอยู่ 2.81-6.03 mg/g ซึ่งพบมากที่สุด ในกล้วยหอมสุกมีปริมาณ 6.03 mg/g ในกล้วยดิบพบมากในกล้วยไข่และกล้วยน้ำว้ามีปริมาณ 4.73 และ 4.40 mg/g ตามลำดับ

สาร gallic acid ทั้งในกล้วยดิบและสุกพบมากในปริมาณที่ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 0.94-1.24 mg/g

สาร protocatechuic acid ทั้งในกล้วยดิบและสุกพบมากในปริมาณที่ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 0.21-0.70 mg/g

สาร (+)-catechin ทั้งในกล้วยดิบและสุกพบมากในปริมาณที่ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 1.49-1.68 mg/g

สาร vanillic acid พบมากในกล้วยสุก 0.37 mg/g แต่พบว่าปริมาณ Vanillic acid กล้วยดิบทั้ง 3 สายพันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) มีค่าอยู่ในช่วง 0.08-0.15 mg/g

สาร caffeic acid มีมากในกล้วยหอมดิบ ในปริมาณเท่ากันคือ 0.47 mg/g สามารถตรวจพบสาร Caffeic acid ได้ในกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ทั้งในกล้วยดิบและกล้วยสุกในปริมาณที่ต่างกัน

สาร syringic acid มีมากในกล้วยไข่สุกคือ 0.36 mg/g แต่พบว่าปริมาณสาร Syringic acid ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.005$) มีค่าอยู่ในช่วง 0.27- 0.28 mg/g

สาร *p*-coumaric acid ตรวจพบมากในกล้วยไข่สุกโดยมีปริมาณ 1.05 mg/g แต่ไม่สามารถตรวจพบในบางส่วนของกล้วยแต่ละสายพันธุ์

สาร ferulic acid พบมากในกล้วยหอมโดยมีปริมาณ 1.22 mg/g มีปริมาณในแต่ละสายพันธุ์ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

สาร sinapic acid มากในกล้วยไข่ดิบและกล้วยน้ำว้าดิบ มีปริมาณ 2.11 และ 2.08 mg/g ตามลำดับ และไม่สามารถตรวจพบได้ในกล้วยน้ำว้าสุก กล้วยหอมสุก และกล้วยหอมดิบ

จากตารางที่ 4.24 และ 4.25 แสดงปริมาณสารฟลาโวนอยด์ที่ตรวจพบในกล้วยสามสายพันธุ์โดยใช้ HPLC เทียบกับสารฟลาโวนอยด์มาตรฐานคือ rutin, Myricetin, leolin, quercetin, apigenin และ kaempferol จากการทดลองพบว่า ปริมาณที่พบมากที่สุดทั้งในกล้วยดิบและสุกคือ rutin มีปริมาณอยู่ในช่วง 4.29-378 mg/g ซึ่งพบมากที่สุดทั้งในกล้วยน้ำว้าดิบ มีปริมาณ 378.13 mg/g รองลงมาคือ กล้วยหอมดิบ และกล้วยไข่ดิบมีปริมาณ 162.39-139.50 mg/g ในกล้วยสุกพบมากในกล้วยไข่รองลงมาคือ กล้วยหอม และกล้วยน้ำว้า มีปริมาณ 9.70, 7.87 และ 4.29 mg/g ตามลำดับ

สาร myricetin ในกล้วยดิบพบมากในกล้วยหอมมีปริมาณ 5.64 mg/g และในกล้วยสุกพบในปริมาณที่ใกล้เคียงกันมีปริมาณอยู่ในช่วง 0.86-0.98 mg/g

สาร luteolin ในกล้วยดิบพบมากในกล้วยไข่มีปริมาณ 2.26 mg/g และในกล้วยสุกพบมากในกล้วยไข่และกล้วยน้ำว้ามีปริมาณ 14.96 และ 14.48 mg/g ตามลำดับ

สาร quercetin ในกล้วยดิบพบมากในกล้วยน้ำว้ามีปริมาณ 5.19 mg/g ในกล้วยสุกพบมากในกล้วยหอมมีปริมาณ 14.54 mg/g แต่ไม่สามารถตรวจพบในกล้วยน้ำว้า

สาร apigenin ในกล้วยดิบพบมากในกล้วยน้ำว้ามีปริมาณ 14.10 mg/g และในกล้วยสุกพบว่า มีปริมาณที่ไม่แตกต่างกันอยู่ในช่วง 0.83-0.85 mg/g

สาร kaempferol ในกล้วยดิบพบมากในกล้วยน้ำว้าและกล้วยไข่มีปริมาณ 16.91 และ 16.91 mg/g และในกล้วยสุกพบมากในกล้วยน้ำว้า รองลงมาคือ กล้วยหอมและกล้วยไข่ มีปริมาณ 0.91, 0.86 และ 0.79 mg/g ตามลำดับ

จากการทดลองพบว่าปริมาณสารฟลาโวนอยด์แต่ละชนิดที่เปรียบเทียบกับสารมาตรฐานที่สามารถตรวจพบได้ในกล้วยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งสามสายพันธุ์ในแต่ละสายพันธุ์ ยกเว้น apigenin ที่ตรวจพบในกล้วยสุกมีปริมาณไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.22 แสดงปริมาณสารฟีนอลิกด้วยวิธี HPLC ของกล้วย 3 สายพันธุ์ (กล้วยดิบ)

ตัวอย่าง		ชนิดและปริมาณสารฟีนอลิก (mg/g)									
		GA	PCCA	P-OH	ChA	VA	CA	Syg ^{ns}	P-co	FA	Snp
กล้วยไข่	ผลดิบ	1.06±0.01 ^b	0.70±0.01 ^a	4.73±0.13 ^a	1.49±0.01 ^c	0.08±0.02 ^b	0.24±0.01 ^b	0.28±0.01	0.19±0.002 ^b	0.74±0.01 ^b	2.11±0.04 ^a
กล้วยน้ำว้า		0.94±0.01 ^c	0.22±0.04 ^c	4.40±0.08 ^b	1.52±0.01 ^b	0.15±0.01 ^a	0.23±0.01 ^b	0.27±0.01	ND	0.44±0.01 ^c	2.08±0.05 ^a
กล้วยหอม		1.20±0.01 ^a	0.51±0.01 ^b	ND	1.68±0.02 ^a	0.10±0.04 ^a	0.47±0.01 ^a	0.27±0.01	0.31±0.070 ^a	1.22±0.01 ^a	ND

a,b,c,... ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, ND= ไม่สามารถตรวจพบ

ตารางที่ 4.23 แสดงปริมาณสารฟีนอลิกด้วยวิธี HPLC ของกล้วย 3 สายพันธุ์ (กล้วยสุก)

ตัวอย่าง		ชนิดและปริมาณสารฟีนอลิก (mg/g)									
		GA	PCCA	P-OH	ChA	VA	CA	Syg	P-co	FA	Snp
กล้วยไข่	ผลสุก	1.10±0.06 ^b	0.59±0.04 ^a	ND	1.67±0.01 ^a	0.37±0.02 ^a	0.31±0.01 ^a	0.36±0.01 ^a	1.05±0.86 ^a	0.53±0.02 ^b	1.10±0.98 ^a
กล้วยน้ำว้า		1.06±0.03 ^b	0.21±0.03 ^c	2.81±0.15 ^b	1.50±0.02 ^b	0.12±0.01 ^b	0.25±0.02 ^b	0.26±0.01 ^b	ND	0.93±0.04 ^a	ND
กล้วยหอม		1.24±0.01 ^a	0.45±0.01 ^b	6.03±0.05 ^a	1.52±0.01 ^b	0.12±0.01 ^b	0.23±0.01 ^b	0.26±0.01 ^b	ND	0.49±0.04 ^b	ND

a,b,c,... ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, ND= ไม่สามารถตรวจพบ

GA= gallic acid ; PCCA = protocatechuic acid ; P-OH = *p*- hydroxybenzoic acid; ChA = (+)-catechin ; VA= vanilic acid ; CA= caffeic acid;

Syg= syrigic acid; P-co = *p*-coumaric acid ; FA= ferulic acid; Snp = sinapicnic acid

ตารางที่ 4.24 แสดงการวิเคราะห์ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ด้วยวิธี HPLC ของกล้วยสุก 3 สายพันธุ์ (กล้วยดิบ)

ตัวอย่าง	ชนิดและปริมาณสาร Flavonoid (mg/g)					
	Rutin	Myricetin	Luteolin	Quercetin	Apigenin	Kaempferol
กล้วยไข่	139.50±10.07 ^c	4.40±1.18 ^c	2.26±0.29 ^a	1.86±0.15 ^c	7.81±0.51 ^c	16.32±0.81 ^a
กล้วยน้ำว้า	378.13±12.82 ^a	11.23±3.27 ^a	0.10±0.01 ^b	6.90±0.50 ^a	14.10±1.74 ^a	16.91±1.10 ^a
กล้วยหอม	162.39±24.29 ^b	5.64±0.60 ^b	0.10±0.01 ^b	5.19±0.01 ^b	11.22±1.00 ^b	15.66±0.81 ^b

a,b,c... ตัวอย่างที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

ตารางที่ 4.25 แสดงการวิเคราะห์ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ด้วยวิธี HPLC ของกล้วยสุก 3 สายพันธุ์ (กล้วยสุก)

ตัวอย่าง	ชนิดและปริมาณสาร Flavonoid (mg/g)					
	Rutin	Myricetin	Luteolin	Quercetin	Apigenin ^{ns}	Kaempferol
กล้วยไข่	9.70±0.212 ^a	0.90±0.10 ^b	14.96±0.39 ^a	0.51±0.07 ^b	0.84±0.02	0.79±0.028 ^c
กล้วยน้ำว้า	4.29±0.262 ^c	0.98±1.16 ^a	14.83±0.68 ^a	ND	0.85±0.03	0.91±0.071 ^a
กล้วยหอม	7.87±1.146 ^b	0.86±1.16 ^c	0.70±0.07 ^b	14.54±0.09 ^a	0.83±0.07	0.86±0.042 ^b

a,b,c... ตัวอย่างที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, ND= ไม่สามารถตรวจพบ

2.5 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของกล้วย (Antioxidant activity)

การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของกล้วย ในการวิจัยได้ทำการทดลองฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในหลอดทดลอง (*in vitro*) 2 วิธี คือ FRAP (*ferric reducing / antioxidant power*) และ DPPH radical scavenging activity

2.5.1 การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP

การเปรียบเทียบความสามารถในการรีดิวซ์ของกล้วยหอม กล้วยน้ำว้า กล้วยไข่ พบว่าความสามารถในการรีดิวซ์ของกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากการทดลองจะเทียบกับความสามารถในการรีดิวซ์อะตอมเหล็กของสารมาตรฐานวิตามินซี ซึ่งพบว่ามีความสามารถในการรีดิวซ์ 0.75 mmol FeSO₄ equivalent/g เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการรีดิวซ์ของสารสกัดจากกล้วยดิบทั้ง 3 สายพันธุ์ พบว่า สารสกัดจากกล้วยหอมและกล้วยไข่ดิบมีความสามารถในการรีดิวซ์สูงที่สุดมีค่า 0.07 mmol FeSO₄ equivalent/g น้ำหนักแห้ง รองลงมาคือสารสกัดจากกล้วยไข่ และกล้วยน้ำว้า มีค่าการรีดิวซ์ 0.07 และ 0.05 mmol FeSO₄ equivalent/g น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ความสามารถในการรีดิวซ์ของสารสกัดจากกล้วยสุก พบว่าสารสกัดจากกล้วยหอมสุกมีความสามารถในการรีดิวซ์มากที่สุด รองลงมาคือ สารสกัดจากกล้วยไข่และกล้วยน้ำว้า มีค่า 0.02, 0.17, และ 0.11 mmol FeSO₄ equivalent/g น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.26 จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากกล้วยสุกมีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าสารสกัดจากกล้วยดิบ สารประกอบที่มีในกล้วยล้วนส่งผลต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ กล้วยชนิดใดที่มีรงควัตถุในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเป็นองค์ประกอบอยู่มากก็จะทำให้สามารถต้านอนุมูลอิสระได้ดี โดยสารที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่พบในกล้วย ได้แก่ เบต้าแคโรทีนซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองข้างต้นที่กล่าวว่า ในกล้วยสุกมีปริมาณเบต้าแคโรทีนมากกว่าในกล้วยดิบ และการที่ในกล้วยสุกมีปริมาณเบต้าแคโรทีนมากกว่าในกล้วยดิบนั้นทำให้กล้วยสุกมีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่ากล้วยดิบ

ตารางที่ 4.26 แสดงการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ของกล้วย 3 สายพันธุ์

ตัวอย่าง	ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (mmol FeSO ₄ equivalent/g น้ำหนักแห้ง)	
	ผลดิบ	ผลสุก
กล้วยไข่	0.07±0.01 ^a	0.17±0.02 ^a
กล้วยน้ำว้า	0.05±0.01 ^b	0.11±0.04 ^c
กล้วยหอม	0.07 ±0.01 ^a	0.20±0.02 ^a

^{a,b,c...} ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

5.1.2 การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity

การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของสารสกัดจากกล้วยดิบทั้ง 3 สายพันธุ์ เปรียบเทียบกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของ BHA ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ 79.98 เปอร์เซ็นต์การเปรียบเทียบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระพบว่า สารสกัดจากกล้วยน้ำว้าดิบและกล้วยหอมดิบมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 74.75 และ 74.62 เปอร์เซ็นต์กล้วยไข่ดิบมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระน้อยที่สุด 72.09 เปอร์เซ็นต์ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากกล้วยสุกพบว่าสารสกัดจากกล้วยหอมมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด 80.38 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ กล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมมี ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ 79.67 และ 79.26 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.27 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity ของกล้วย 3 สายพันธุ์

ตัวอย่าง	ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (%)	
	ผลดิบ	ผลสุก
กล้วยไข่	72.09±0.12 ^b	79.26±0.12 ^b
กล้วยน้ำว้า	74.75±0.18 ^a	79.67±0.11 ^b
กล้วยหอม	74.62±0.56 ^a	80.38±1.14 ^a

a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบค่า IC_{50} ของกล้วยหอม กล้วยน้ำว้า กล้วยไข่แล้วพบว่ากล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผลการทดลองของสารสกัดจากกล้วยดิบทั้ง 3 สายพันธุ์ พบว่า กล้วยน้ำว้าค่า IC_{50} ต่ำที่สุด ซึ่งแสดงว่ากล้วยหอมมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระได้ดีกว่ากล้วยไข่และกล้วยน้ำว้าโดยเรียงลำดับส่วนที่มีค่า IC_{50} ต่ำที่สุดคือ 0.84, 1.47 และ 2.31 mg/g ตามลำดับ ส่วนกล้วยไข่สุกมีค่า IC_{50} น้อยที่สุด กล้วยน้ำว้าและ กล้วยหอม มีค่า IC_{50} 0.96, 1.83 และ 3.12 mg/g ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.28

ตารางที่ 4.28 แสดงค่าของ IC₅₀ ของกล้วย 3 สายพันธุ์

ตัวอย่าง	IC 50(mg/g)	
	ผลดิบ	ผลสุก
กล้วยไข่	1.47±0.15 ^b	0.96±0.11 ^c
กล้วยน้ำว้า	0.84±0.10 ^c	1.83±0.67 ^b
กล้วยหอม	2.31±1.27 ^a	3.12±1.53 ^a

a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

3. มะละกอ

3.1 การวิเคราะห์เส้นใยทั้งหมด (Total fiber content)

จากการวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยทั้งหมดของมะละกอ 3 สายพันธุ์ พบว่าปริมาณปริมาณเส้นใยทั้งหมดของมะละกอดิบมีปริมาณเส้นใยทั้งหมดใกล้เคียงกันกับมะละกอสุก มะละกอดิบมีปริมาณเส้นใยทั้งหมดประมาณ 1.40 เปอร์เซ็นต์ มะละกอสุกมีเส้นใยทั้งหมดประมาณ 1.20 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเส้นใยทั้งหมดของมะละกอมีปริมาณเส้นใยทั้งหมดโดยรวมไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งมะละกอดิบและสุก ในแต่ละสายพันธุ์ ดังแสดงในตารางที่ 4.29

ตารางที่ 4.29 ปริมาณเส้นใยทั้งหมดของมะละกอ 3 สายพันธุ์

พันธุ์มะละกอ	ปริมาณเส้นใยทั้งหมด (%)	
	ผลดิบ ^{ns}	ผลสุก ^{ns}
แขกดำ	1.40±0.15	1.30±0.35
ฮาวาย	1.50±0.08	1.20±0.37
ฮอลแลนด์	1.47±0.25	1.20±0.14

a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

3.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid)

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด หรือการวัดค่าการหักเหของแสงของของแข็งที่ละลายได้ในสารละลายตัวอย่าง โดยใช้ refractometer อ่านค่าได้เป็นค่าการหักเหของแสง หรือ องศาบริกซ์ (°Brix) ซึ่งเป็นหาปริมาณน้ำตาลหรือความหวานของผลไม้ทางอ้อม ของเนื้อมะละกอ 3 สายพันธุ์ ทั้งมะละกอดิบ

และมะละกอสุก ได้แก่เนื้อมะละกอสุกพันธุ์ฮาวาย ,ฮอลแลนด์ และแขกดำ เนื้อมะละกอดิบพันธุ์ฮอลแลนด์, ฮาวาย และแขกดำ โดยมีปริมาณร้อยละ 14.77, 11.37, 9.73, 8.83, 8.73 และ 8.67 องศาบริกซ์ ตามลำดับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งมะละกอดิบและสุก ในแต่ละสายพันธุ์ ดังแสดงในตารางที่ 4.30

ตารางที่ 4.30 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ของมะละกอ 3 สายพันธุ์

พันธุ์มะละกอ	ค่าเฉลี่ย % °Brix	
	ผลดิบ	ผลสุก
แขกดำ	8.67±0.06 ^b	9.73±0.12 ^c
ฮาวาย	8.73±0.06 ^{ab}	14.77±0.06 ^a
ฮอลแลนด์	8.83±0.06 ^a	11.37±0.06 ^b

a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

3.3 การวัดเนื้อสัมผัส (Texture analysis)

ในการวัดเนื้อสัมผัสของมะละกอทั้ง 3 สายพันธุ์ โดยมะละกอดิบพันธุ์ฮาวาย แขกดำ และฮอลแลนด์ มีค่าความกรอบ 12.87, 9.37 และ 8.21 N ตามลำดับ ซึ่งค่าความกรอบของมะละกอดิบทั้งสามสายพันธุ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับเมื่อเปรียบเทียบค่าความกรอบของมะละกอดิบมะละกอสายพันธุ์ฮาวายมี ค่าความกรอบมากที่สุด คือมีค่าเท่ากับ 12.87 N จากการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็งและความเหนียว พบว่า มะละกอดิบทั้งสามสายพันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) มีค่าอยู่ในช่วง 7.30-8.53 N และ -1.35 ถึง -1.99 N ตามลำดับ การเปรียบเทียบสัมผัสของมะละกอสุกทั้งสามสายพันธุ์พบว่า ด้านความกรอบของมะละกอสุกอยู่ในช่วง 0.39-0.52 N มะละกอสุกสายพันธุ์ฮอลแลนด์มีค่าความกรอบมากที่สุดรองลงมาคือ แขกดำและฮาวาย โดยมีค่า 0.52, 0.41 และ 0.39 N ตามลำดับ เนื้อสัมผัสด้านความแข็งมะละกอดิบพันธุ์ฮอลแลนด์มีค่าความแข็งมากที่สุดรองลงมาคือ แขกดำและฮาวาย มีค่า 0.38, 0.36 และ 0.30 N ตามลำดับ การเปรียบเทียบเนื้อสัมผัสด้านความกรอบ และความแข็ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และการเปรียบเทียบเนื้อสัมผัสด้านความเหนียวพบว่า มะละกอทั้งสามสายพันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) มีค่าอยู่ในช่วง -0.10 ถึง -0.15 N ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.31และ 4.32

ตารางที่ 4.31 แสดงการวัดเนื้อสัมผัสของมะละกอ 3 สายพันธุ์ (เนื้อดิบ)

ตัวอย่าง	ค่าการวัดเนื้อสัมผัส (N)		
	ความกรอบ	ความแข็ง ^{ns}	ความเหนียว ^{ns}
แขกดำ	9.37±0.46 ^b	8.53±1.01	-1.99±0.15
ฮาวาย	12.87±0.69 ^a	8.17±0.91	-2.03±0.54
ฮอลแลนด์	8.21±0.41 ^c	7.30±0.83	-1.35±0.13

a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 4.32 แสดงการวัดเนื้อสัมผัสของมะละกอ 3 สายพันธุ์ (เนื้อสุก)

ตัวอย่าง	ค่าการวัดเนื้อสัมผัส (N)		
	ความกรอบ ^{ns}	ความแข็ง ^{ns}	ความเหนียว
แขกดำ	0.41±0.09	0.36±0.03	-0.13±0.02 ^a
ฮาวาย	0.39±0.03	0.30±0.05	-0.10±0.02 ^b
ฮอลแลนด์	0.52±0.06	0.38±0.07	-0.15±0.01 ^a

a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

3.4 การวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Analysis of bioactive compounds)

การวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในมะละกอโดยทำการวัดค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เบต้าแคโรทีน วิตามินซี ชนิดและปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์

3.4.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content)

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic) โดยวิธี Folin-Ciocalteus method แล้วแปรผลออกเป็นปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในหน่วยมิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง โดยเติมสารละลายของ Folin-ciocalteu reagent (1: 1 น้ำกลั่น) เพื่อให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินกับสารจำพวกฟีนอลิก

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก พบว่ามะละกอดิบสายพันธุ์ฮาวายมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด รองลงมาคือ แขกดำและฮอลแลนด์ มีปริมาณ 37.24, 26.42 และ

32.34 mg/100g ตามลำดับ มะละกอพันธุ์ฮาวายสุก มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากที่สุดรองลงมาคือ แวกดำ และฮอลแลนด์ มีปริมาณ 41.64, 40.62 และ 39.47 มิลลิกรัม/100กรัม ตามลำดับ ซึ่งฮาวายและ แวกดำไม่มีความแตกต่างกันสถิติ ($p < 0.05$) แต่พันธุ์ฮาวาย มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับส่วนของต่างๆ ของมะละกอที่นำมาวิเคราะห์ ดังแสดงในตารางที่ 4.33

ตารางที่ 4.33 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด มะละกอ 3 สายพันธุ์

ตัวอย่าง	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (mg/100g (น้ำหนักแห้ง))	
	ผลดิบ	ผลสุก
แวกดำ	36.42±1.14 ^a	40.62±1.19 ^{ab}
ฮาวาย	37.24±0.98 ^a	41.64±0.89 ^a
ฮอลแลนด์	32.34±0.42 ^b	39.47±0.68 ^b

a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

3.4.2 การวิเคราะห์หาปริมาณสารเบต้าแคโรทีน (Beta-carotene)

การวิเคราะห์ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนของมะละกอทั้ง 3 สายพันธุ์ โดยวิธี HPLC พบว่า ไม่สามารถตรวจพบสารเบต้าแคโรทีน ในมะละกอดิบ และในมะละกอสุกพบสารเบต้าแคโรทีนมากที่สุด ในมะละกอฮาวาย รองลงมาคือ แวกดำและ ฮอลแลนด์ มีปริมาณแคโรทีน 9.50, 6.73 และ 1.90 mg/g ตามลำดับ ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนที่ตรวจพบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งในมะละกอดิบและสุกในแต่ละสายพันธุ์ ดังแสดงในตาราง 4.34 Wilberg และ Rodriguez-Amaya (1995) รายงานถึงปริมาณเบต้าแคโรทีนที่แตกต่างกันของเนื้อมะละกอสุกที่เพาะปลูกในประเทศบราซิล มีปริมาณอยู่ในช่วง 0.23-0.37 mg/100g Setiawan และคณะ (2001) รายงานปริมาณ β -carotene ในชิ้นส่วนของมะละกอมีปริมาณ 0.44 mg/100 สถาบันโภชนาการของประเทศอินเดียได้รายงานถึงปริมาณของเบต้าแคโรทีนที่เพาะปลูกในประเทศอินเดียมีปริมาณ 0.88 mg/100 g (Gopalan, Ramasastri and Balasubramanian, 1999). ปริมาณของเบต้าแคโรทีนในแต่ละสายพันธุ์ของมะละกอที่เพาะปลูกในประเทศอินเดียมีปริมาณที่น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับผักใบเขียว (4.8–17.8 mg/100 g) และ แครอท 6.2 mg/100 g (Veda, Kamath, Platel, Begum, Srinivasan, 2006) Veda และคณะ (2007) ศึกษาความแตกต่างของสายพันธุ์มะละกอดต่อสารเบต้าแคโรทีน มะละกอที่ใช้ในการศึกษามี 2 สายพันธุ์ ได้แก่ Honey Dew และ Surya พบว่า สารเบต้าแคโรทีนที่ตรวจพบในมะละกอสายพันธุ์ Honey Dew มีปริมาณ 0.70 mg/100g และสายพันธุ์ Surya มีปริมาณ 0.74 mg/100g มีรายงานถึงมะละกอเป็นแหล่งของสารเบต้าแค

โรตีนที่มีอยู่มากมายและต่อการบริโภคในประเทศอินเดีย นอกจากนี้ยังมีรายงานถึงสภาวะสภาพภูมิอากาศที่มีผลต่อปริมาณสารเบต้าแคโรทีนของผลไม้ (Pott และคณะ. 2003) พบว่าเบต้าแคโรทีนในมะละกอก็จะมีปริมาณแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิด สายพันธุ์ และท้องถิ่นที่ปลูก

ตาราง 4.34 ปริมาณเบต้าแคโรทีน ของมะละกอ 3 สายพันธุ์

ตัวอย่าง	ปริมาณสารเบต้าแคโรทีน (mg/g (น้ำหนักแห้ง))	
	ผลดิบ	ผลสุก
แขกดำ	ND	6.73±1.19 ^b
ฮาวาย	ND	9.50±0.89 ^a
ฮอลแลนด์	ND	1.90±0.68 ^c

^{a,b,c...} ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

ND= ไม่สามารถตรวจพบ

3.4.3 การวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี (Vitamin C)

ในการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซีด้วยวิธี HPLC ใช้คอลัมน์ C18 ขนาด 4.6 ×150 mm, 4 µm เฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) ประกอบด้วยเมทานอลและ KH_2PO_4 เข้มข้น 0.1 โมล โดยวิเคราะห์แบบ external standard เทียบกับวิตามินซีมาตรฐาน

ปริมาณวิตามินซี ของมะละกอ 3 สายพันธุ์ พบว่ามะละกอสายดิบสายพันธุ์ฮอลแลนด์มีปริมาณวิตามินซีสูง 0.35 mg/g รองลงมาคือ ฮาวายและแขกดำ มีปริมาณวิตามินซี 0.15 และ 0.08 mg/g ปริมาณวิตามินซีของมะละกอต้งสมาสายพันธุ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p < 0.05$) ปริมาณวิตามินซีของมะละกอสุกพบว่าสายพันธุ์ฮอลแลนด์และแขกดำมีปริมาณ 0.14 mg/g ส่วนสายพันธุ์ฮาวายมีปริมาณวิตามินซี 0.13 mg/g ดังแสดงในตารางที่ 4.35

ตารางที่ 4.35 ปริมาณวิตามินซีด้วยวิธี HPLC ของมะละกอ 3 สายพันธุ์

ตัวอย่าง	ปริมาณวิตามินซี (mg/g)	
	ผลดิบ	ผลสุก ^{ns}
แขกดำ	0.08±0.01 ^c	0.14±0.03
ฮาวาย	0.15±0.01 ^b	0.13±0.04
ฮอลแลนด์	0.34±0.03 ^a	0.14±0.08

a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

3.4.4 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (Identification of phenolic compounds)

จากตารางที่ 4.36 และ 4.37 แสดงปริมาณสารฟีนอลิกที่ได้จากการวิเคราะห์ในมะละกอโดยวิธี HPLC โดยเปรียบเทียบกับสารฟีนอลิกมาตรฐานคือ gallic acid , protocatechuic acid , *p*-hydroxybenzoic acid , (+)-catechin, vanillic acid , caffeic acid , syrigic acid , *p*-coumaric acid , ferulic acid และ sinapicnic acid จากการทดลองพบว่า ปริมาณสารที่ตรวจพบมีปริมาณที่ใกล้เคียงทั้งในมะละกอดิบและสุก

สาร gallic acid พบใน มะละกอดิบพันธุ์ฮอลแลนด์ ดิบมะละกอดิบพันธุ์ฮาวาย และมะละกอดิบพันธุ์แขกดำ มีปริมาณ 0.74, 0.47 และ 0.47 mg/g ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

สาร protocatechuic acid พบมากในมะละกอดิบพันธุ์ฮาวาย มีค่า 0.50 mg/g ในมะละกอดิบพันธุ์แขกดำและมะละกอดิบพันธุ์ฮอลแลนด์ พบในปริมาณเท่ากัน คือ 0.43 mg/g

สาร *p*-hydroxybenzoic acid พบมากในมะละกอดิบฮอลแลนด์ มีค่า 0.25 mg/g แต่ไม่สามารถตรวจพบสาร *p*-hydroxybenzoic ในบางส่วนของมะละกอแต่ละสายพันธุ์

สาร (+)-catechin พบมากในมะละกอดิบและสุกสายพันธุ์แขกดำ มีค่า 0.03 และ 0.01 mg/g แต่ไม่สามารถตรวจพบสาร (+)-catechin ในบางส่วนของมะละกอแต่ละสายพันธุ์

สาร vanillic acid พบในมะละกอดิบพันธุ์แขกดำและมะละกอดิบสายพันธุ์ฮาวาย โดยมีค่า 0.11 และ 0.11 mg/g แต่ไม่สามารถตรวจพบสาร vanillic acid ในบางส่วนของมะละกอแต่ละสายพันธุ์

สาร caffeic acid พบมากในมะละกอดิบพันธุ์ฮอลแลนด์ ในปริมาณ 0.21 mg/g แต่ไม่สามารถตรวจพบสาร caffeic acid ในบางส่วนของมะละกอแต่ละสายพันธุ์

สาร syrigic acid พบในมะละกอดิบพันธุ์ฮอลแลนด์ คือมีปริมาณ 0.44 mg/g แต่ไม่สามารถตรวจพบสาร syrigic acid ในบางส่วนของในบางส่วนของมะละกอตัดและสายพันธุ์

สาร *p*-coumaric acid ตรวจพบมากในมะละกอดิบพันธุ์แขกดำและฮาวาย โดยมีปริมาณ 0.46 และ 0.42 mg/g และไม่มีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบในมะละกอสุกทั้งสามสายพันธุ์

สาร ferulic acid ตรวจพบมากในมะละกอดิบพันธุ์แขกดำและฮาวาย โดยมีปริมาณ 0.37 และ 0.31 mg/g ตามลำดับ และสามารถตรวจพบได้ในทุกส่วนของมะละกอตัดและสายพันธุ์

สาร Sinapic acid ตรวจพบมากในมะละกอดิบพันธุ์แขกดำและฮาวาย โดยมีปริมาณ 0.47 และ 0.43 mg/g ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 4.38 และ 4.39 แสดงปริมาณสารฟลาโวนอยด์ที่ตรวจพบในมะละกอสายพันธุ์โดยใช้วิธี HPLC เทียบกับสารฟลาโวนอยด์มาตรฐานคือ rutin, myricetin, luteolin, quercetin, apigenin และ kaempferol จากการทดลองพบว่า ปริมาณที่พบมากที่สุดกในมะละกอดิบและสุกคือ myricetin มีปริมาณอยู่ในช่วง 11.30-76.96 mg/g ซึ่งพบมากที่สุดกในมะละกอดิบสายพันธุ์ฮาวาย มีปริมาณ 76.96 mg/g รองลงมาคือสายพันธุ์ฮอลแลนด์ และแขกดำ มีปริมาณ 43.15 และ 40.39 mg/g ในมะละกอสุกพบมากในสายพันธุ์ ฮาวาย รองลงมาคือ ฮอลแลนด์และแขกดำ มีปริมาณ 17.10, 15.56 และ 11.30 mg/g ตามลำดับ

สาร rutin พบมากในมะละกอดิบสายพันธุ์ฮาวาย มีปริมาณ 6.39 mg/g และในมะละกอสุกพบมากในสายพันธุ์ มีปริมาณ 8.19 mg/g

สาร luteolin ตรวจพบในปริมาณที่ใกล้เคียงกันทั้งในมะละกอดิบและสุก มีปริมาณอยู่ในช่วง 0.28-0.79 mg/g

สาร quercetin พบมากในมะละกอดิบสายพันธุ์ฮาวาย มีปริมาณ 2.04 mg/g และในมะละกอสุกพบในปริมาณใกล้เคียงกันทุกสายพันธุ์มีปริมาณอยู่ในช่วง 2.38-2.51 mg/g

สาร apigenin พบมากในมะละกอดิบสายพันธุ์แขกดำ มีปริมาณ 4.71 mg/g และในมะละกอสุกพบมากในสายพันธุ์ฮาวายมีปริมาณ 29.56 mg/g

สาร kaempferol พบมากในมะละกอดิบสายพันธุ์ฮาวาย มีปริมาณ 4.06 mg/g และในมะละกอสุกพบมากในสายพันธุ์ฮาวายมีปริมาณ 17.99 mg/g

ตารางที่ 4.36 แสดงการวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกด้วยวิธี HPLC ของมะละกอ 3 สายพันธุ์ (มะละกอดิบ)

ตัวอย่าง	ชนิดและปริมาณสารฟีนอลิก (mg/g)									
	GA	PCCA	P-OH	ChA	VA	CA	Syg	P-co	FA	SnP
แขกดำ	0.41±0.01 ^c	0.43±0.01 ^b	ND	0.03±0.003 ^a	0.11±0.01 ^a	ND	ND	0.46±0.02 ^a	0.31±0.01 ^b	0.40±0.04 ^b
สาวาย	0.47±0.02 ^b	0.50±0.02 ^a	ND	ND	ND	ND	ND	0.42±0.01 ^b	0.37±0.04 ^a	0.47±0.01 ^a
ฮอลแลนด์	0.74±0.01 ^a	0.39±0.01 ^c	0.25±0.04 ^a	ND	ND	0.21±0.01 ^a	0.44±0.01 ^a	ND	0.19±0.01 ^c	0.26±0.01 ^c

a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

ND= ไม่สามารถตรวจพบ

ตารางที่ 4.37 แสดงการวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกด้วยวิธี HPLC ของมะละกอ 3 สายพันธุ์ (มะละกอสุก)

ตัวอย่าง	ชนิดและปริมาณสารฟีนอลิก (mg/g)									
	GA	PCCA	P-OH	ChA	VA	CA ^{ns}	Syg	P-co ^{ns}	FA	SnP ^{ns}
แขกดำ	0.18±0.010 ^a	0.24±0.05 ^b	ND	0.01±0.00 ^a	ND	0.11±0.01	0.15±0.04 ^b	0.11±0.02	0.29±0.01 ^a	0.11±0.004
สาวาย	0.13±0.004 ^b	0.20±0.01 ^b	ND	ND	0.11± 0.01 ^a	0.11±0.01	0.11±0.01 ^{ab}	0.11±0.02	0.10±0.03 ^b	0.11±0.01
ฮอลแลนด์	0.13±0.001 ^b	0.43±0.01 ^a	0.16±0.01 ^a	ND	ND	0.11±0.001	0.20±0.03 ^a	0.11±0.01	0.10±0.02 ^b	0.11±0.004

a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, ND= ไม่สามารถตรวจพบ

GA= gallic acid ; PCCA = protocatechuic acid ; P-OH = *p*- hydroxybenzoic acid; ChA = (+)-catechin ; VA= vanillic acid ; CA= caffeic acid;

Syg= syrigic acid; P-co = *p*-coumaric acid ; FA= ferulic acid; SnP = sinapic acid

ตารางที่ 4.38 ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ด้วยวิธี HPLC ของมะละกอ 3 สายพันธุ์ (มะละกอดิบ)

ตัวอย่าง	ชนิดและปริมาณสาร Flavonoid (mg/g)					
	Rutin	Myricetin	Luteolin	Quercetin	Apigenin	Kaempferol
แขกดำ	4.24±0.62 ^b	40.39±0.77 ^c	0.57±0.06 ^a	1.83±0.06 ^c	4.71±0.88 ^a	3.49±0.01 ^b
ฮาวาย	6.39±1.38 ^a	76.96±5.65 ^a	0.28±0.09 ^b	2.04±0.20 ^a	3.00±0.35 ^b	4.06±0.36 ^a
ฮอลแลนด์	3.74±0.08 ^c	43.15±3.58 ^b	0.29±0.02 ^b	1.85±0.06 ^b	2.81±0.16 ^c	3.83±0.60 ^b

a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

ตารางที่ 4.39 ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ด้วยวิธี HPLC ของมะละกอ 3 สายพันธุ์ (มะละกอสุก)

ตัวอย่าง	ชนิดและปริมาณสาร Flavonoid (mg/g)					
	Rutin	Myricetin	Luteolin	Quercetin	Apigenin	Kaempferol
แขกดำ	8.19±0.02 ^a	11.30±1.97 ^b	0.59±0.01 ^c	2.38±0.58 ^b	3.74±1.45 ^c	5.81±0.24 ^c
ฮาวาย	4.32±1.33 ^b	17.10±1.17 ^a	0.79±0.08 ^a	2.51±0.40 ^a	29.56±3.32 ^a	17.99±2.41 ^a
ฮอลแลนด์	5.76±0.44 ^b	15.56±1.12 ^a	0.64±0.07 ^b	2.47±0.11 ^b	7.89±0.44 ^b	10.77±2.04 ^b

a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

3.5ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของมะละกอ(Antioxidant activity)

การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของมะละกอ ในการวิจัยได้ทำการทดลองฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในหลอดทดลอง (*in vitro*) 2 วิธี คือ FRAP (ferric reducing / antioxidant power) และ DPPH radical scavenging activity

3.5.1 การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP

การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP (ferric reducing / antioxidant power) ซึ่งวิธี FRAP เป็นวิธีวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทำหน้าที่ให้อิเลคตรอนจึงจัดเป็นสารรีดิวซ์อะตอมเหล็กในสารจะถูกรีดิวซ์โดยสารต้านอนุมูลอิสระจากสารประกอบเชิงซ้อนเหล็ก Fe^{3+} -TPTZ ได้เป็นเหล็กเฟอร์รัส Fe^{2+} -TPTZ ซึ่งมีสีน้ำเงินดูดกลืนแสงที่ 593 นาโนเมตรมีเปอร์เซ็นต์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการรีดิวซ์ เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการรีดิวซ์ของสารสกัดจากมะละกอสายพันธุ์แขกดำ ฮาวายและฮอลแลนด์ พบว่าความสามารถในการรีดิวซ์ของสารสกัดจากมะละกอดิบและสุกทั้ง 3 สายพันธุ์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการรีดิวซ์ของมะละกอทั้ง 3 สายพันธุ์ พบว่า สารสกัดจากมะละกอดิบสาย

พันธุ์ฮอลแลนด์มีความสามารถในการรีดิวซ์สูงสุด มีค่าการรีดิวซ์ 0.42 mmol FeSO₄ equivalent/g น้ำหนักแห้ง รองลงมาคือ แยกดำและ ฮาวาย มีค่าการรีดิวซ์ 0.25 และ 0.15 mmol FeSO₄ equivalent/g น้ำหนักแห้ง ความสามารถในการรีดิวซ์ของสารสกัดจากมะละกอสุก จากการทดลอง พบว่า สารสกัดจากมะละกอสายพันธุ์ฮาวายมีค่าการรีดิวซ์มากที่สุดมีค่า 0.27 mmol FeSO₄ equivalent/g น้ำหนักแห้ง รองลงมาคือ แยกดำและ ฮอลแลนด์ มีค่าการรีดิวซ์ 0.19 และ 0.13 mmol FeSO₄ equivalent/g น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 4.40

ตารางที่ 4.40 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ของมะละกอ 3 สายพันธุ์

ตัวอย่าง	ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (mmol FeSO ₄ equivalent/g น้ำหนักแห้ง)	
	ผลดิบ	ผลสุก
แยกดำ	0.25±0.02 ^b	0.19±0.01 ^b
ฮาวาย	0.15±0.01 ^c	0.27±0.01 ^a
ฮอลแลนด์	0.42±0.03 ^a	0.13±0.01 ^c

a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p < 0.05) , ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

5.1.2 การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity

การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH โดยศึกษาตัวอย่างมะละกอ 3 สายพันธุ์ ทั้งดิบและสุก โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร แล้วจึงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของแต่ละตัวอย่าง เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากมะละกอสายพันธุ์แยกดำ ฮาวาย และฮอลแลนด์ แล้วพบว่าเปอร์เซ็นต์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากมะละกอ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p < 0.05) ทั้งมะละกอดิบและสุกในแต่ละสายพันธุ์

ผลการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity ของสารสกัดจากมะละกอ 3 สายพันธุ์ เปรียบเทียบกับสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐาน BHA ที่มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ 94.90 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองพบว่าสารสกัดจากมะละกอดิบสายพันธุ์ฮาวายมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด มีค่า 63 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ แยกดำและฮอลแลนด์ มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ 41 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนการเปรียบเทียบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากมะละกอสุกพบว่ามะละกอสายพันธุ์ฮาวายมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมากที่สุดถึง 91 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ฮอลแลนด์และ แยกดำ มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ 88 และ 87 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.41

ตารางที่ 4.41 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity ของมะละกอ 3 สายพันธุ์

ตัวอย่าง	ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (%)	
	ผลดิบ	ผลสุก
แขกดำ	41.50±1.16 ^b	87.21±2.25 ^b
ฮาวาย	63.34±2.63 ^a	91.01±0.52 ^a
ฮอลแลนด์	40.11±1.37 ^b	88.37±0.85 ^b

a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity โดยศึกษาตัวอย่างมะละกอสายพันธุ์ ทั้งดิบและสุก โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร แล้วจึงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของแต่ละตัวอย่าง แล้วแปรผลเป็นค่า IC_{50} คือค่าความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ 50เปอร์เซ็นต์ (Wolf and others. 1998 : 103-117)

ผลการทดลองวัดค่า IC_{50} ซึ่งเป็นค่าความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ 50เปอร์เซ็นต์ ของมะละกอทั้ง 3 สายพันธุ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมะละกอสายพันธุ์ฮาวายมีค่า IC_{50} น้อยที่สุดเท่ากับ 3.69 mg/g รองลงมาคือ แขกดำและฮอลแลนด์ มีค่า IC_{50} 5.20 และ 5.37 mg/g ดังแสดงในตารางที่ 6 และพบว่า ค่า IC_{50} มะละกอสุกทั้งสามสายพันธุ์ไม่ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีค่า IC_{50} อยู่ในช่วง 2.19-2.69 mg/g ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 4.42

ตารางที่ 4.42 ค่าของ IC_{50} (mg/g) ของเนื้อดิบและสุกของมะละกอ 3 สายพันธุ์

ตัวอย่าง	IC_{50} (mg/g)	
	ผลดิบ	ผลสุก
แขกดำ	5.20±0.09 ^a	2.53±0.09 ^b
ฮาวาย	3.69±0.12 ^b	2.19±0.04 ^c
ฮอลแลนด์	5.37±0.16 ^a	2.69±0.01 ^a

a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันกำกับในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) , ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีเบื้องต้นของผลไม้ทั้งสามชนิด ได้แก่ มะม่วง(มะม่วงน้ำดอกไม้ มะม่วงเขียวเสวย และมะม่วงแก้ว), กัลย (กัลยไข่ กัลยน้ำว่า และกัลยหอม) และมะละกอ(แขกดำ ฮาวาย และฮอลแลนด์) โดยเลือกสายพันธุ์ที่มีมูลค่าการส่งออกสูงและผู้บริโภคนิยมอย่างละ 3 สายพันธุ์ซึ่งจากการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

การวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยทั้งหมดของมะม่วง 3 สายพันธุ์ จากการทดลองพบว่าเนื้อมะม่วงดิบและเนื้อมะม่วงสุกในแต่ละสายพันธุ์มีปริมาณเส้นใย อยู่ในช่วง 2.10-2.50 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเส้นใยของกัลยทั้ง 3 สายพันธุ์ กัลยดิบมีปริมาณเส้นใยทั้งหมดประมาณ 2.7 เปอร์เซ็นต์ กัลยสุกมีปริมาณเส้นใยเส้นใยประมาณ 2.50 เปอร์เซ็นต์ เนื้อกัลยทั้งกัลยดิบและกัลยสุกดิบมีปริมาณเส้นใยทั้งหมดใกล้เคียงกันในแต่ละสายพันธุ์ เนื้อกัลยดิบมีปริมาณเส้นใยทั้งหมดประมาณ 2.7 เปอร์เซ็นต์ เนื้อกัลยสุกมีเส้นใยประมาณ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณปริมาณเส้นใยทั้งหมดของมะละกอดิบมีปริมาณเส้นใยใกล้เคียงกันกับมะละกอสุก มะละกอดิบมีปริมาณเส้นใยทั้งหมดประมาณ 1.40 เปอร์เซ็นต์ มะละกอสุกมีเส้นใยทั้งหมดประมาณ 1.20 เปอร์เซ็นต์

ในการวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด มีหน่วยเป็นองศาบริกซ์ (°Brix) ซึ่งเป็นหาปริมาณน้ำตาลหรือความหวานของผลไม้ทางอ้อมของมะม่วง กัลยและมะละกอ ทั้ง 3 สายพันธุ์ พบว่าเนื้อผลไม้สุกของผลไม้ทั้งสามชนิดจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงกว่าเนื้อของผลดิบ

การวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในผลไม้ทั้งสามชนิดได้แก่ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิครวมทั้งหมด ปริมาณสารวิตามินซี ปริมาณสารเบต้าแคโรทีน รวมถึงปริมาณสารฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์เทียบกับสารมาตรฐาน สรุปได้พอสังเขปดังนี้

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิครวมทั้งหมดที่วิเคราะห์จากมะม่วงพบมากในมะม่วงแก้วสุกมีปริมาณ 5.58 มิลลิกรัม/100กรัม ในกัลยพบว่าในกัลยสุกมีปริมาณอยู่ในช่วง 19.38-33.72 มิลลิกรัม/100กรัม มีมากที่สุด ในกัลยไข่สุก และในมะละกอพบมากในมะละกอสุกมีปริมาณอยู่ในช่วง 39.47 -41.64 มิลลิกรัม/100กรัม พบมากที่สุด ในมะละกอสายพันธุ์ฮาวาย

ปริมาณของวิตามินซีสามารถตรวจพบได้มากที่สุดในผลไม้ดิบทั้งสามชนิด ในมะม่วงมีปริมาณวิตามินซีอยู่ในช่วง 0.35-0.36 มิลลิกรัม/กรัม ในกัลยพบมากในกัลยดิบมีปริมาณ 0.49

มิลลิกรัม/กรัม และในมะละกอดิบพบมากในมะละกอสายพันธุ์ฮอลแลนด์ มีปริมาณวิตามินซีสูง 0.34 มิลลิกรัม/กรัม

ปริมาณเบต้าแคโรทีนพบมากในผลไม้สุกทั้งสามชนิด ในมะม่วงอยู่ในช่วง 20.54-50.89 มิลลิกรัม/กรัม พบมากในมะม่วงน้ำดอกไม้สุก ในกล้วยมีปริมาณอยู่ช่วง 16.45-51.09 มิลลิกรัม/กรัม พบมากในกล้วยหอมดิบ 51.09 มิลลิกรัม/กรัม ในมะละกามีปริมาณอยู่ช่วง 1.90-9.50 มิลลิกรัม/กรัม พบมากในสายพันธุ์ฮาวาย

ปริมาณสารฟีนอลิกเมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานพบว่า ในมะม่วงดิบมีปริมาณของสาร Gallic acid พบมากที่สุด โดยมีปริมาณอยู่ในช่วง 92.09-24.88 มิลลิกรัม/กรัม ในกล้วยปริมาณสารที่ตรวจพบมากที่สุดคือ *p*- hydroxybenzoic acid อยู่ในอยู่ 2.81-6.03 มิลลิกรัม/กรัม ซึ่งพบมากที่สุดใในกล้วยหอมสุกมีปริมาณ 6.03 มิลลิกรัม/กรัม ในมะละกอดิบพบสาร Gallic acid มากใน มะละกอดิบพันธุ์ฮอลแลนด์ ดิบมะละกอดิบพันธุ์ฮาวาย และมะละกอฟันธุ์แขกดำ มีปริมาณ 0.74, 0.47 และ 0.47 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับและแต่ละส่วนปริมาณสารที่ตรวจพบมีปริมาณที่ใกล้เคียงทั้งในมะละกอดิบและสุก

ปริมาณฟลาโวนอยด์ที่ตรวจพบปริมาณมากที่สุดในมะม่วงดิบและสุกคือ Rutin มีปริมาณอยู่ในช่วง 2.31-1037.58 มิลลิกรัม/กรัม ซึ่งพบมากที่สุดใในมะม่วงน้ำดอกไม้สุก มีปริมาณ 1037.58 มิลลิกรัม/กรัม ปริมาณที่ตรวจพบมากที่สุดใในกล้วยดิบและสุกคือ Rutin มีปริมาณอยู่ในช่วง 4.29-378 mg/g ซึ่งพบมากที่สุดใในกล้วยน้ำว้าดิบ มีปริมาณ 378.13 มิลลิกรัม/กรัม ปริมาณที่พบมากที่สุดใในมะละกอดิบและสุกคือ Myricetin มีปริมาณอยู่ในช่วง 11.30-76.96 มิลลิกรัม/กรัม ซึ่งพบมากที่สุดใในมะละกอดิบสายพันธุ์ฮาวาย มีปริมาณ 76.96 มิลลิกรัม/กรัม

การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดของผลไม้ทั้งสามชนิด โดยการทดสอบด้วยวิธี FRAP และด้วยวิธีการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH พบว่า สารสกัดจากมะม่วงแก้วดิบมีความสามารถในการรีดิวซ์อะตอมเหล็กได้มากที่สุด โดยสามารถรีดิวซ์ได้ 1.21 mmol FeSO₄ equivalent/g น้ำหนักแห้ง ในมะละกอดิบสายพันธุ์ฮอลแลนด์และกล้วยหอมดิบมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุดคือมีค่า 0.42 และ 0.20 mmol FeSO₄ equivalent/g น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากมะม่วงดิบ ด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity พบว่า สารสกัดจากมะม่วงน้ำดอกไม้ไม่มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด คือ 84.38 เปอร์เซ็นต์ มะละกอสายสุกมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมากกว่ามะละกอดิบ โดยเฉพาะพันธุ์ฮาวายมีค่าสูงสุดถึงร้อยละ 91 ส่วนใในกล้วยพบว่ากล้วยดิบมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงกว่ากล้วยสุก ซึ่งกล้วยกล้วยหอมสุกมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงร้อยละ 80

ผลการทดลองวัดค่า IC_{50} ซึ่งเป็นค่าความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ 50เปอร์เซ็นต์ ของมะม่วงดิบสายพันธุ์แก้วมีค่า IC_{50} น้อยที่สุดเท่ากับ 1.29 มิลลิกรัม/กรัม มะละกอดิบกับมะละกอสุก พบว่ามะละกอดิบมีค่า IC_{50} สูงกว่ามะละกอสุก โดยเฉพาะมะละกอฟันธุ์ฮอลแลนด์ดิบ มีค่า IC_{50} 5.37 มิลลิกรัม/กรัม ซึ่งตรงกันข้ามกับกล้วยโดยกล้วยสุกจะมีค่า IC_{50} สูงกว่ากล้วยดิบ และมีมากในกล้วยหอมสุกคือมีค่า 3.12 มิลลิกรัม/กรัม

ผลไม้เป็นแหล่งที่สำคัญของวิตามิน เกลือแร่ และเส้นใยที่จำเป็นต่อร่างกาย และจากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่าผลไม้ยังประกอบไปด้วยสารต้านออกซิเดชันได้แก่ วิตามินซี , เบต้าแคโรทีน และ สารประกอบฟีนอลิกเป็นจำนวนมาก ซึ่งนอกจากจะเป็นสารที่ป้องกันการเสื่อมสภาพของอาหารแล้ว ยังสามารถลดการ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในระบบร่างกายของผู้บริโภค โดยพบว่าการบริโภคผลไม้ในปริมาณมากสามารถลดความเสี่ยงในการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน อีกทั้งยังสามารถลดความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งบางชนิด ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงปริมาณของน้ำตาลในผลไม้แต่ละชนิดนั้นด้วย ดังนั้นเพื่อเป็นประโยชน์ทางด้านโภชนาการจึงควรที่จะบริโภคพืชที่มีสารประกอบ ฟีนอลิกส์ และมีความสามารถรวมในการต้านอนุมูลอิสระสูง หรือบริโภคพืชหลากหลายชนิดร่วมกันเพื่อให้เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย นอกจากนี้ควรบริโภคพืชที่สด สะอาด เพื่อที่จะได้รับสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายได้ครบและได้รับคุณค่าทางด้านโภชนาการที่สำคัญของร่างกาย อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการเป็นสารต้านออกซิเดชันของผลไม้จะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้ และสายพันธุ์

5.2 ข้อเสนอแนะ

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองนั้น โดยเฉพาะมะม่วงต้องรอผลผลิตตามฤดูกาล มะม่วงบางสายพันธุ์จะออกผลช้าจึงทำให้การทดลองใช้เวลานาน ผลไม้แต่ละชนิดแต่ละสายพันธุ์ย่อมมีความแตกต่างกันมาก และ แม้เป็นผลไม้ชนิดเดียวกันสายพันธุ์เดียวกันย่อมมีความแตกต่างกันได้ เพราะความแก่อ่อน ความสมบูรณ์ พื้นที่เพาะปลูก เป็นต้น จึงส่งผลให้ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพมีความแตกต่างกัน ส่งผลให้ผลการทดลองอาจมีความคลาดเคลื่อนได้ ดังนั้นควรเลือกวัตถุดิบที่มีพื้นที่การเพาะปลูกไม่ไกลกันมากเกินไป

ข้อเสนอแนะต่อ สกว.

เนื่องจากกลุ่มวิจัยของเราได้พัฒนาเทคนิคการวิเคราะห์ที่ได้มาตรฐานเรียบร้อยแล้ว และมีความพร้อมทั้งด้านอุปกรณ์ เครื่องมือ และห้องปฏิบัติการ ดังนั้นสามารถขยายผลการวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสู่ผลไม้ไทยชนิดอื่นๆ ได้ ซึ่งเป็นการช่วยประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย

บรรณานุกรม

- ข้อมูลทางบรรณานุกรมหอสมุดแห่งชาติ. 2541. กล้วย. กรุงเทพฯ : แสงแดด. 112หน้า
- จิตธนา แจ่มเมฆ และคณะ. 2540. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ,
- ถาวร วิจิตรสุนทรกุล. อิทธิพลของปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมะละกอที่ปลูกบนดินชุดยโสธร. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น , 2541
- ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ. 2550. การประเมินลักษณะเนื้อสัมผัสในอาหาร. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม ปีที่ 3 ฉบับที่ 1 มิถุนายน 2549- พฤษภาคม 2550.
- เบญจมาศ ศิลาชัย. 2545. กล้วย. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 357 หน้า.
- นิธิยา รัตนปณนธ์. 2549. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์. 504 หน้า.
- นฤภัทร ฤทธิธนา, หิรัญรัตน์ สุวรรณนที และ อรรณณ สุธนวัฒน์. (2550). ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดลูกหว่า. ว. วิทย. กษ. 38: 63-65.
- วิจิตร วังใน. 2536. การทำสวนมะม่วง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน. _____ . 2529. มะม่วง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน.
- วีระศักดิ์ สามี. 2548. “แคโรทีนอยด์ : โครงสร้างทางเคมีและกลไกที่มี ผลต่อการทำหน้าที่ของร่างกาย”. SWU Journal of Pharmaceutical Sciences. 10(1) : 58-66.
- วาริน แสงกิตติโกมล. 2543. ปริมาณรวมของสารต้านอนุมูลอิสระในผัก ผลไม้และสมุนไพร. วารสารสหเวชศาสตร์ 1: 11-18.
- วาริน แสงกิตติโกมล. 2546. การเปรียบเทียบปริมาณสารโพลีฟีนอลิกส์และปริมาณรวมการต้านสารอนุมูลอิสระในผักและสมุนไพร. วารสารสหเวชศาสตร์ 3: 91-99.
- สุรีย์ ภูมิภมร. พืชพรรณในประวัติศาสตร์ไทย. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มติชน , 2548
- สุวรรณี สารสิน. 2544. วารสารมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติวิชาการ. 5(9) : 77 – 103
- ศิริธร ศิริอมรพรรณ และคณะ. 2550. การวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในมะระขี้นกและความสามารถในการนำไปใช้เชิงชีวภาพ. ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนศาสตร์ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- ศรีจันทร์ พรจิราศิลป์. 2546. ความก้าวหน้าทางเภสัชวิทยา. กรุงเทพมหานคร: นิเวศการพิมพ์.

อนุชิตา มุ่งงาม และวิภาวดี พันธุ์หนองหว่า. 2549. การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของใบปอกระเจาฝักยาว. ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนศาสตร์ คณะเทคโนโลยีมหาวิทยาฬยมหาสารคาม.

โสภาส วัชรคุปต์, ปรีชา บุญจุง, จันทนา บุญยะรัตน์ และ มาลีรักษ์ อัดดีสินทอง. (2549). สารต้านอนุมูลอิสระ. กรุงเทพฯ: พี.เอส.พรินท์.

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

Benzie, I.F.F. and J.J. Strain. 1996. “The ferric reducing ability of plasma as a measure of “Antioxidant power” the FRAP assay,” *Analytical Biochemistry*. 239 : 70–76.

Benvenuti, S. and others. 2004. “Polyphenols, aAnthocyanins, ascobic Acid and radical scavenging activity of rubus, ribes and aronia,” *Food Chemistry and Toxicology*. 69 : 164-169.

Bourne, M.C. 1978. Texture profile analysis. *Food Technology*, 32: 62-66.

Chanwitheesuk, A., A. Teerawutgulrag and N. Rakariyatham. 2005. “Screening of antioxidant activity and antioxidant compounds of some edible plants of Thailand,” *Food Chemistry*. 92 : 491–497.

Dasgupta, N.and De, B. 2007. Antioxidant activit of some leafy vegetables of India: A comparative study. *Food Chemistry*. 471-474.

Dragovic-Uzelac, V., Pospišil, J., Levaj, B. and Delonga, K. 2005. The study of phenolic profiles of raw apricots and apples and their purees by HPLC for the evaluation of apricot nectars and jams authenticity. *Food Chemistry*. 373-383.

Friedman, H.H., Whitney, J.E. and Szczesniak,A.S. 1963. The Texturometer-a new instrument for objective texture measurement. *Journal of Food Science*. 28:390-396.

Jiang, Q. and others. 2001. “ α -Tocopherol the major form of vitamin E in the US diet deserves more attention,” *American Society for Clinical Nutrition*. 74 : 714-722.

Kubola, J.and Siriamornpun, S. (2008). Phenolic content and antioxidant activities of bitter gourd (*Momordica charantia* L.) leaf, stem and fruit fraction extracts *in vitro*. *Food Chem*. 881-890.

- Lemberkovics, É. and others. 2002. "Comparative evaluation of helichrysi flos herbal extracts as dietary sources of plant polyphenols, and macro- and microelements," *Food Chemistry*. 78(1) : 119–127.
- Park, Y.S. and others. 2006. "Drying of Persimmons (*Diospyros Kaki* L.) and there Following Changes in the Studied Bioactive Compounds and the Total Radical Scavenging Activities," *LWT- Food Science and Technology*. 39 : 748-755.
- Pereira, J.A. and others. 2007. "Walnut (*Juglans regia* L.) Leaves: Phenolic compounds, antibacterial activity and antioxidant potential of different cultivars," *Food and Chemical Toxicology*. 45 : 2287–2295.
- 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
- Vasco, C., Ruales, J. and Kamal – Eldin, A. 2007. Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits from Ecuador . *Food Chemistry*. 111: 816-823.
- Vijayakumar, S., Presankumar, G. and Vijayalakshmi, N.R. 2007. Antioxidant activity of Banana flavonoids. *Fitogerapia*. 79: 279-282.
- Shon, M. Y., T.H. Kim and N.J. Sung. 2003. "Antioxidants and free radical rcavenging activity of 2004 Phellinus Baumii (Phellinus of Hymenochaetaceae) extracts," *Food Chemistry*. 82(4) : 593–597.
- Someya, S., Yoshiki, Y. and Okubo, K. 2002. Antioxidant compounds from Bananas (*Musa cavendish*). *Food Chemistry*. 79: 351-354.
- Veda, S.,Platel, K., Srinivasan, K. 2007. Varietal differences in the bioaccessibility of β -Carotene from mango (*Mangifera indica*) and papaya (*Carica papaya*) fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55, 7931-7935.
- Wall, M.M. 2006. Ascorbic, vitamin A, and mineral composition of banana(*Musa* sp.) and papaya (*Carica papaya*) cultivars grown in Hawaii. *Journal of Food Composition and Analysis*. 19, 434-445.
- Weecharangsan, W. and P. Opanasopit. 2004. " An Overview of free radicals and in vitro antioxidant activity tests in plant extracts," *SWU Journal of Pharmaceutical Sciences*. 9 : 73-80.

Zhou, K.and Yu, L. 2006. Total phenolic contents and antioxidant properties of commonly consumed vegetables grown in Colorado .LWT - Food Science and Technology . 1155-1162

ภาคผนวก

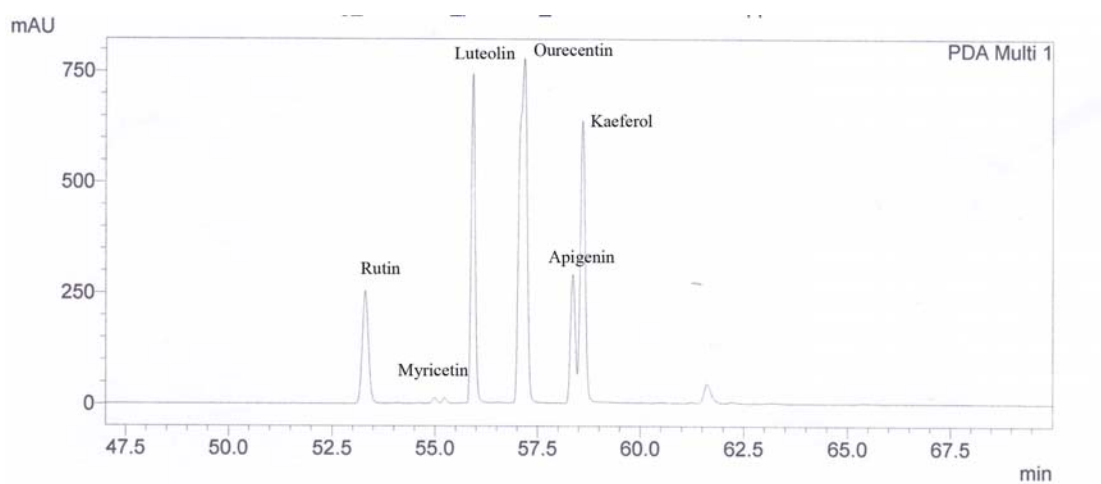
รายละเอียดผลการดำเนินงานของโครงการตามแผนงาน โดยสรุป (พอสังเขป)

กิจกรรม (ตามแผน)	ผลที่คาดว่าจะได้รับ (ตามแผน)	ผลการดำเนินงาน	หมายเหตุ
1. สำรวจข้อมูลพื้นฐานคัดเลือกสายพันธุ์และตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์ (วัดความแก่อ่อน โดยใช้เครื่องวัดสีและวัดเนื้อสัมผัส เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง) 2 การวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ สารโพลีฟีนอลทั้งหมด (total phenol content) ปริมาณและองค์ประกอบของสารฟีนอลิกแต่ละชนิด , Flavonoids, Carotenoids โดยใช้เครื่อง HPLC 3. วิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดย <i>in vitro</i> assays ด้วยวิธี วิธี ferric reducing/antioxidant power (FRAP) และ วิธี DPPH radical scavenging activity	ทราบชนิดและปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของ กล้วย มะม่วง และ มะละกอ สามารถตีพิมพ์เผยแพร่ข้อมูลด้านสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของผลไม้ดังกล่าวให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล ทราบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของผลไม้และสามารถเผยแพร่ข้อมูลให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล	ได้ข้อมูลเบื้องต้นของ กล้วย มะม่วง และ มะละกอ และคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเพื่อใช้ในการศึกษา ได้ข้อมูลด้านเคมีเกี่ยวกับปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ของมะม่วง กล้วยและมะละกอ ได้ข้อมูลด้านฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของผลไม้	

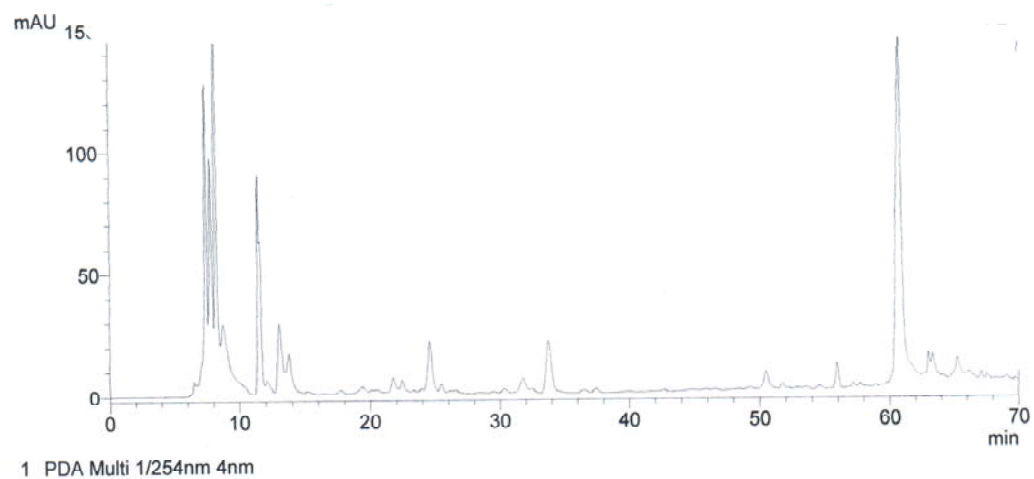
แผนการดำเนินงานโครงการ 1 ปี

กิจกรรม	ระยะเวลา (เดือน)			
	1-3	4-6	7-9	10-12
1.คัดเลือกสายพันธุ์และคุณภาพที่เหมาะสม	←→			
2.การวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ		←→		
3. การวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดย <i>in vitro</i> assays		←→		
4.วิเคราะห์ข้อมูล อภิปรายและสรุปผล			←→	
5.นำเสนอผลงานและส่งรายงานฉบับสมบูรณ์				←→

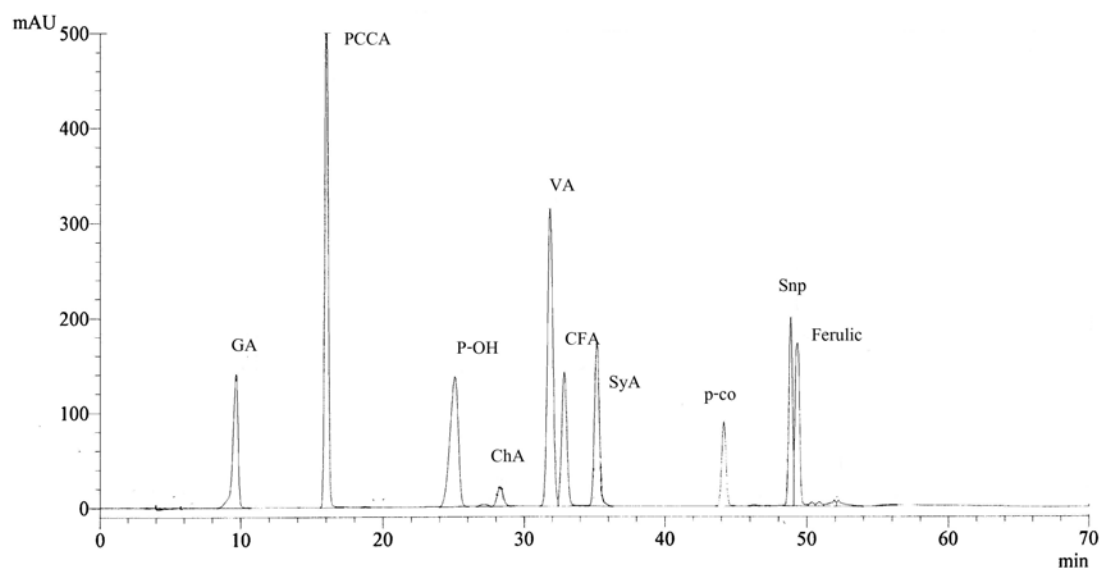
โครมาโตแกรมฟลาโวนอยด์มาตรฐาน



โครมาโตแกรมปริมาณสารฟลาโวนอยด์ในมะละกอสายพันธุ์ฮอนแลนด์



โครมาโตแกรมสารฟีนอลิกมาตรฐาน



GA = Gallic acid

PCCA = protocatechuic acid

P-OH = *p*-hydroxybenzoic acid

ChA = (+)-catechin

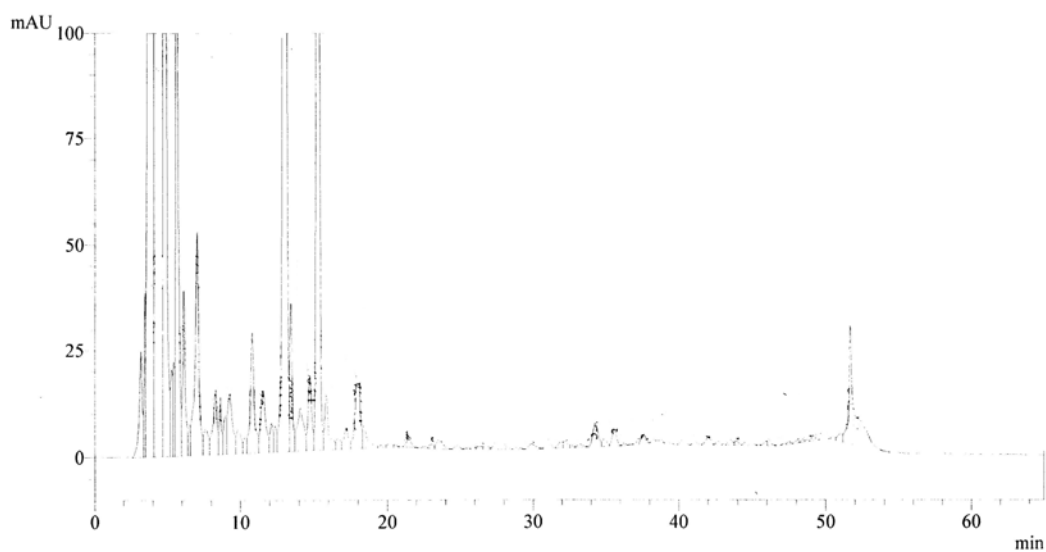
VA = Vanillic acid

CFA = Caffeic acid

P-co = *p*-coumaric acid

Snp = Sinapicnic acid

โครมาโตแกรมสารฟีนอลิกของมะละกอสุกสายพันธุ์ฮอลแลนด์



โครมาโตแกรมวิตามินซีมาตรฐาน

