

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษานี้เป็นศึกษาวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) ในห้องปฏิบัติการ วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาฤทธิ์สารสกัดของเมล็ดและเปลือกมะม่วงเพื่อการลดระดับน้ำตาลในเลือด และพิษวิทยาระดับเฉียบพลันของสารสกัดของเมล็ดและเปลือกมะม่วงในเซลล์และในสัตว์ทดลองในเซลล์ และสัตว์ทดลอง และเพื่อสร้างผลิตภัณฑ์เสริมสุขภาพต้นแบบจากเมล็ดและเปลือกมะม่วงเชิงสร้างสรรค์และการสร้างทุนทางปัญญาในการใช้ประโยชน์จากเมล็ดและเปลือกมะม่วงสำหรับผู้ประกอบการวิสาหกิจชุมชนพัฒนาผลิตภัณฑ์ พืชผัก และผลไม้ตำบลบ้านไธสง จังหวัดลำพูน โดยการนำมะม่วงพันธุ์เขียวมรกตมาวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ และนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ตารางประกอบคำอธิบาย โดยแบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลัก ดังนี้

1. การวัดปริมาณสารสำคัญของสารสกัดของเมล็ดและเปลือกมะม่วงอันได้แก่ Gallic acid, Mangiferin และการตรวจสอบสารพิษเคมีเบื้องต้นเพื่อหากลุ่มสารสำคัญของสารสกัดเปลือกและเมล็ดในของมะม่วง ได้แก่ เทอร์ปีนอยด์ ฟลาโวนอยด์ ซาโปนิน แอลคาลอยด์ และแทนนิน ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง U/HPLC
2. การศึกษาฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาในการต้านอนุมูลอิสระ และลดระดับน้ำตาลในเลือดในหลอดทดลองของสารสกัดเปลือกและเมล็ดในของมะม่วงในงานทดลอง
3. การศึกษาฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของสารสกัดของเมล็ดและเปลือกมะม่วงเพื่อการลดระดับน้ำตาลในเลือดในหนูทดลอง
4. ผลิตภัณฑ์เสริมสุขภาพต้นแบบจากเมล็ดและเปลือกมะม่วงเชิงสร้างสรรค์

ส่วนที่ 1 การวัดปริมาณสารสำคัญของสารสกัดของเมล็ดและเปลือกมะม่วงอันได้แก่ Gallic acid และ Mangiferin และการตรวจสอบสารพิษตกค้างเคมีเบื้องต้นเพื่อหาคุณสมบัติของสารสกัดเปลือกและเมล็ดในของมะม่วง ได้แก่ เทอร์ปีนอยด์ ฟลาโวนอยด์ ซาโปนิน แอลคาลอยด์ และแทนนิน ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง U/HPLC

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของสารสกัดหยาบจากเมล็ดในและเปลือกของมะม่วง ด้วย 95% Ethanol ด้วยวิธีการ Stirring

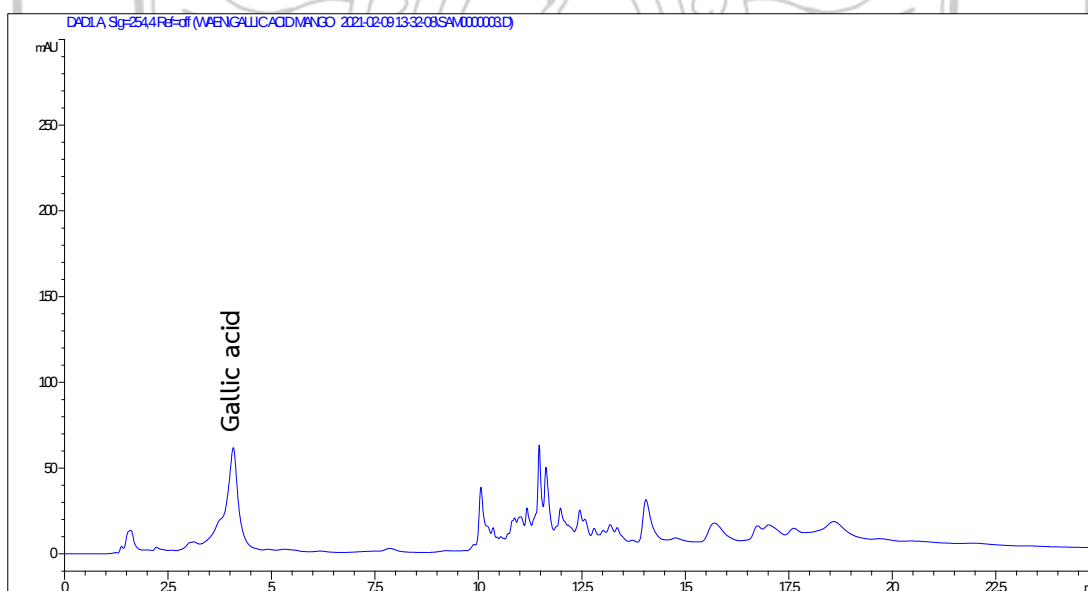
Plant	Solvent	% ความชื้น	น้ำหนักแห้ง ที่ใช้สกัด	ปริมาณ ที่สกัดได้	% Yield
เปลือกของ มะม่วงเขียวมรกต	95% Ethanol	6.47 %	150 g	25.79 g	17.19
เมล็ดในของ มะม่วงเขียวมรกต	95% Ethanol	5.93 %	4.15 kg	359.73 g	8.67

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการสกัดเปลือกและเมล็ดในของมะม่วงเขียวมรกต ด้วย 95% Ethanol ด้วยวิธีการ Stirring และทำแห้งโดยการใช้อุปกรณ์ระเหยสารแบบหมุนภายใต้สุญญากาศ (Rotary evaporator) พบว่าการสกัดเปลือกมะม่วงเขียวมรกต ด้วย 95% Ethanol ด้วยวิธีการ Stirring ให้ % Yield เท่ากับ 17.19% และการสกัดเมล็ดในของมะม่วงเขียวมรกต ด้วย 95% Ethanol ด้วยวิธีการ Stirring ให้ % Yield เท่ากับ 8.67%

ตารางที่ 4.2 ปริมาณ Gallic acid และ Mangiferin ของสารสกัดของเปลือกและเมล็ดในของมะม่วง

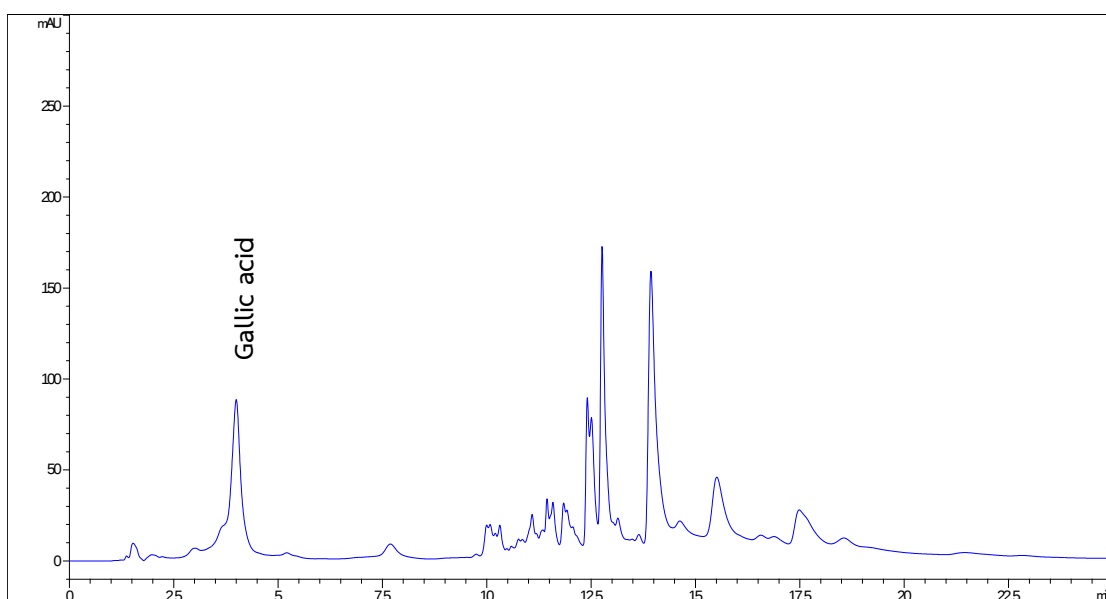
สารสกัด	ปริมาณ Gallic acid (% w/w)	ปริมาณ Mangiferin (% w/w)
สารสกัดเปลือกของมะม่วงเขียวมรกต	0.35 ± 0.01	Not detected
สารสกัดเมล็ดในของมะม่วงเขียวมรกต	0.45 ± 0.01	0.14 ± 0.01

ผลการวิเคราะห์ปริมาณ Gallic acid และ Mangiferin ด้วยเครื่อง U/HPLC ของสารสกัดเปลือกมะม่วงและสารสกัดเมล็ดในของมะม่วง แสดงในตารางที่ 4.2 โดยพบว่าในสารสกัดเปลือกมะม่วงเขียวมรกตมีปริมาณ Gallic acid อยู่ 0.35 ± 0.01 (% w/w) แต่ไม่มี Mangiferin ส่วนสารสกัดเมล็ดในของมะม่วงพบว่ามีปริมาณ Gallic acid อยู่ 0.45 ± 0.01 (% w/w) และมีปริมาณ Mangiferin เท่ากับ 0.14 ± 0.01 (% w/w) ซึ่ง Chromatogram วิเคราะห์ปริมาณ Gallic acid ของสารสกัดเปลือกมะม่วงแสดงในภาพที่ 4.1, Chromatogram วิเคราะห์ปริมาณ Gallic acid ของสารสกัดเมล็ดในของมะม่วง แสดงในภาพที่ 4.2, Chromatogram วิเคราะห์ปริมาณ Mangiferin ของสารสกัดเปลือกมะม่วงแสดงในภาพที่ 4.3 และ Chromatogram วิเคราะห์ปริมาณ Mangiferin ของสารสกัดเมล็ดในของมะม่วง แสดงในภาพที่ 4.4



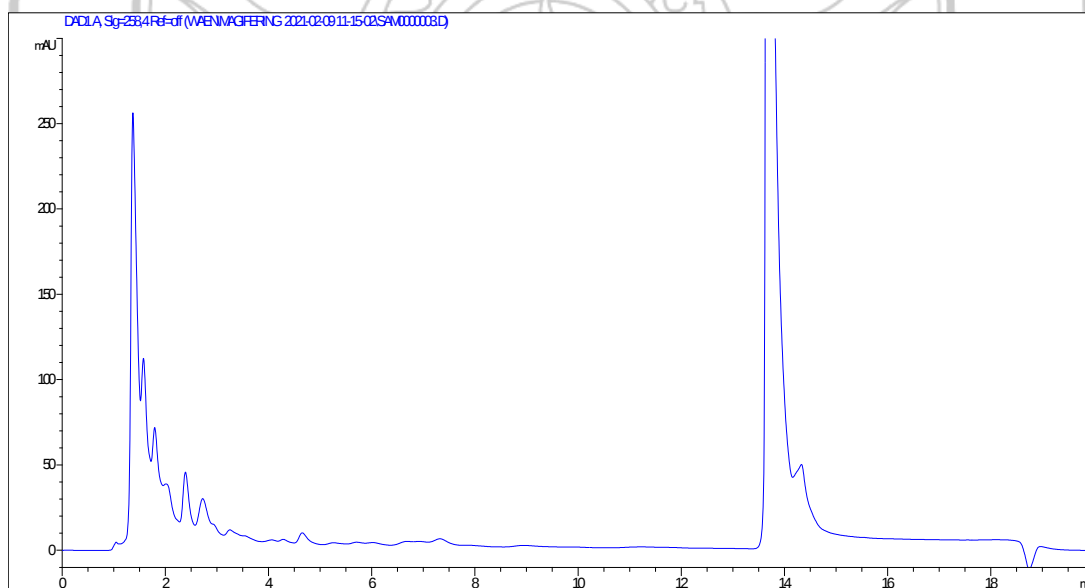
Peak identification: retention time 3.9 min = Gallic acid

ภาพที่ 4.1 Chromatogram วิเคราะห์ปริมาณ Gallic acid ของสารสกัดเปลือกมะม่วง ที่ความเข้มข้น 20 mg/mL



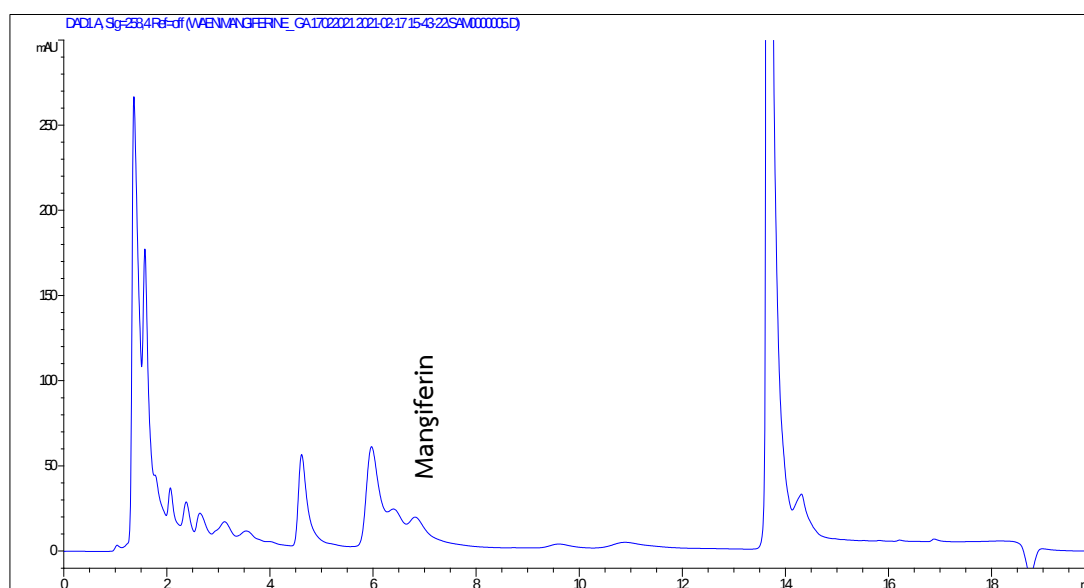
Peak identification: retention time 3.9 min = Gallic acid

ภาพที่ 4.2 Chromatogram วิเคราะห์ปริมาณ Gallic acid ของสารสกัดเมล็ดในของมะม่วง ที่ความเข้มข้น 20 mg/mL



Peak identification: retention time 5.9 min = Mangiferin

ภาพที่ 4.3 Chromatogram วิเคราะห์ปริมาณ Mangiferin ของสารสกัดเปลือกมะม่วง ที่ความเข้มข้น 20 mg/mL



Peak identification: retention time 5.9 min = Mangiferin

ภาพที่ 4.4 Chromatogram วิเคราะห์ปริมาณ Mangiferin ของสารสกัดเมล็ดในของมะม่วง ที่ความเข้มข้น 20 mg/mL

ตารางที่ 4.3 ปริมาณสารพิษเคมีเบื้องต้น (เทอร์ปีนอยด์ ฟลาโวนอยด์ ซาโปนิน แอลคาลอยด์ แทนนิน) ของสารสกัดเปลือกและเมล็ดในของมะม่วง

พืช	เทอร์ปีนอยด์	ฟลาโวนอยด์	ซาโปนิน	แอลคาลอยด์	แทนนิน
สารสกัดเปลือกของ มะม่วงเขียวมรกต	+	-	+	+	++
สารสกัดเมล็ดในของ มะม่วงเขียวมรกต	+++	+	-	-	+++

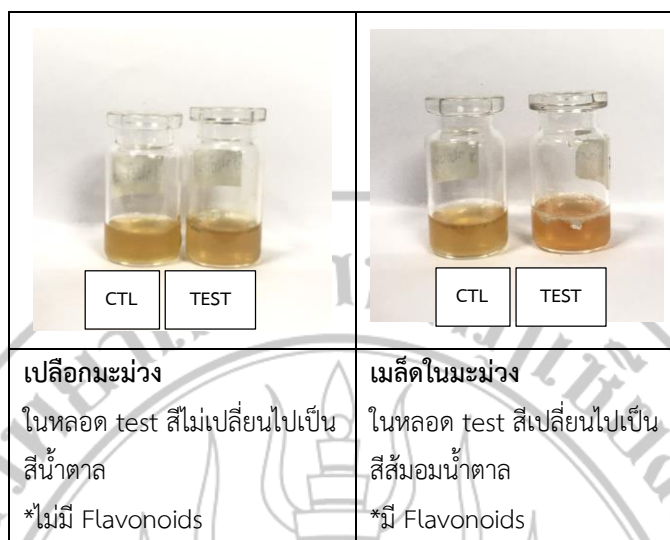
หมายเหตุ

- หมายถึง ตรวจสอบไม่พบ
- + หมายถึง ตรวจสอบพบน้อย
- ++ หมายถึง ตรวจสอบพบปานกลาง
- +++ หมายถึง ตรวจสอบพบมาก

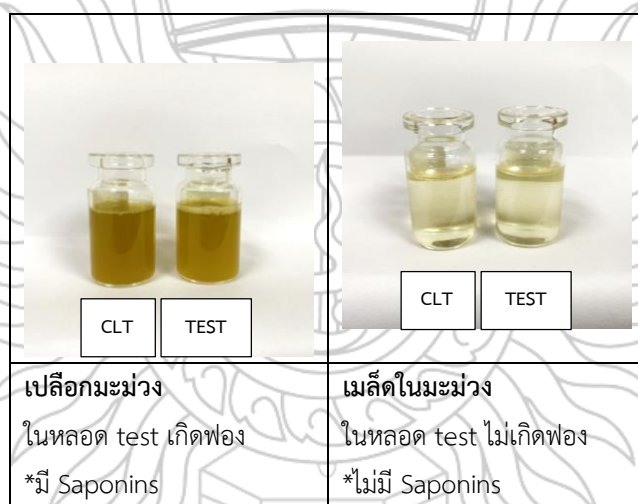
ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณสารพิษเคมีเบื้องต้น 5 ชนิด ได้แก่ เทอร์ปีนอยด์ ฟลาโวนอยด์ ซาโปนิน แอลคาลอยด์ และแทนนิน ของสารสกัดเปลือกและเมล็ดในของมะม่วง พบว่า สารสกัดเปลือกของมะม่วงมีสารในกลุ่ม เทอร์ปีนอยด์ ซาโปนิน แอลคาลอยด์ ในปริมาณเล็กน้อย แต่มีสารกลุ่มแทนนินปริมาณปานกลาง ส่วนสารสกัดเมล็ดในของมะม่วง มีสารในกลุ่มเทอร์ปีนอยด์และแทนนินปริมาณมาก ซาโปนิน แอลคาลอยด์ ในปริมาณเล็กน้อย และมีสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ในปริมาณเล็กน้อย แสดงดังภาพที่ 4.5-4.9

	
เปลือกมะม่วง ในหลอด test เกิดสีน้ำตาลเข้ม *มี Terpenoide	เมล็ดในมะม่วง ในหลอด test เกิดสีน้ำตาล เข้มและเกิดวงแหวนสีน้ำตาล *มี Terpenoide

ภาพที่ 4.5 ผลการตรวจสอบหากกลุ่มสารเทอร์ปีนอยด์



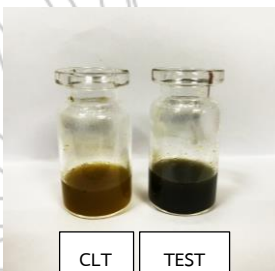
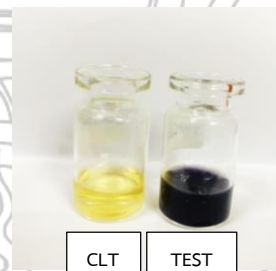
ภาพที่ 4.6 ผลการตรวจสอบหากลุ่มสารฟลาโวนอยด์



ภาพที่ 4.7 ผลการตรวจสอบหากลุ่มสารซาโปนิน

	
เปลือกมะม่วง ในหลอด test เกิดสีเหลือง *มี Alkaloid	เมล็ดในมะม่วง ในหลอด test ไม่เกิดการ เปลี่ยนแปลง *ไม่มี Alkaloid

ภาพที่ 4.8 ผลการตรวจสอบหากรุ่นตรวจสอบหากรุ่นสารแอลคาลอยด์

	
เปลือกมะม่วง ในหลอด test เกิดสีเขียว เข้ม *มี Tannins	เมล็ดในมะม่วง ในหลอด test เกิดสีเขียวเข้ม อมน้ำตาล *มี Tannins

ภาพที่ 4.9 ผลการตรวจสอบหากรุ่นสารแทนนิน

ตารางที่ 4.4 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของสารสกัดเปลือกและเมล็ดในของมะม่วง

พืช	Mean±SD Total Phenolic Content mg GAE/g crude extract
สารสกัดเปลือกของมะม่วง	76.43±1.14
สารสกัดเมล็ดในของมะม่วง	114.22±8.36

ตารางที่ 4.4 แสดงการทดสอบหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดเปลือกและเมล็ดในของมะม่วง ซึ่งเป็นสารกลุ่มที่สำคัญซึ่งมีสมบัติต้านออกซิเดชัน จากผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดเทียบกับกราฟมาตรฐานของ Gallic acid พบว่า มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 76.43±1.14 และ 114.22±8.36 mg GAE/g crude extract โดยสารสกัดเมล็ดในของมะม่วงเขียวมรกต ด้วย 95% Ethanol มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด คือ 114.22±8.36 mg GAE/g crude extract

ส่วนที่ 2 การศึกษาฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาในการต้านอนุมูลอิสระ และลดระดับน้ำตาลในเลือดในหลอดทดลองของสารสกัดหยาบเปลือกและเมล็ดในของมะม่วงในจานทดลอง

2.1 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบเปลือกและเมล็ดในของมะม่วงในจานทดลอง

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการต้านอนุมูลอิสระ (% DPPH free radical inhibition) ของสารสกัดหยาบเปลือกและเมล็ดในของมะม่วง เทียบสารมาตรฐานวิตามินซี กรดแอสคอร์บิก และบิวทิเลเตด ไฮดรอกซีโทลูอิน ด้วยวิธี DPPH assay

พืช	DPPH
	IC ₅₀ (µg/ml)
สารสกัดเปลือกของมะม่วง	198.85±13.40
สารสกัดเมล็ดในของมะม่วง	194.63±6.46
L-ascorbic acid	14.5 ± 0.78

ตารางที่ 4.5 แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบเปลือกและเมล็ดในของมะม่วง เทียบสารมาตรฐาน L-ascorbic acid ด้วยวิธี DPPH assay รายงานค่าเป็น IC₅₀ ที่แสดงถึงความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่มีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันที่ทำให้ความเข้มข้นของอนุมูล DPPH ลดลงร้อยละ 50 (% DPPH free radical inhibition) โดยพิจารณาจากค่าที่มีค่าน้อยจะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูง พบว่า ค่าความเข้มข้นที่สารสกัดที่แสดงประสิทธิภาพในการยับยั้งสารอนุมูลอิสระได้คิดเป็นร้อยละ 50 (IC₅₀) ของสารสกัดเปลือกของมะม่วงเขียวมรกตและสารสกัดเมล็ดในของมะม่วงเขียวมรกตเท่ากับ 198.85±13.40 µg/ml และ 194.63±6.46 µg/ml ตามลำดับ ส่วนค่าความเข้มข้นที่สารสกัดที่แสดงประสิทธิภาพในการยับยั้งสารอนุมูลอิสระได้คิดเป็นร้อยละ 50 (IC₅₀) ของ L-ascorbic acid ซึ่งเป็นสารมาตรฐานเท่ากับ 14.5 ± 0.78 µg/ml

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของของสารสกัดหยาบเปลือกและเมล็ดในของมะม่วง เทียบสารมาตรฐาน Trolox ด้วยวิธี FRAP assay

Plant	Mean±SD
	FRAP value μM/g crude extract
สารสกัดเปลือกของมะม่วง	886.15±4.16
สารสกัดเมล็ดในของมะม่วง	1,392.75±2.21
100 μg/ml Trolox	559.61±3.13

ตารางที่ 4.6 แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของของสารสกัดหยาบเปลือกและเมล็ดในของมะม่วง เทียบสารมาตรฐาน Trolox ด้วยวิธี FRAP assay ที่แสดงถึงสามารถรีดิวซ์สารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก Fe³⁺-TPTZ (ferric tripyridyltriazine) หรือไม่ ถ้าสารใดมีสมบัติต้านอนุมูลอิสระ จะได้สารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก Fe²⁺-TPTZ (ferrous tripyridyltriazine) พบว่า ค่าความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน แสดงในรูปของค่า FRAP value ของสารสกัดเปลือกของมะม่วงและสารสกัดเมล็ดในของมะม่วงเท่ากับ 886.15±4.16 μM/mg sample และ 1,392.75±2.21 μM/mg sample ตามลำดับ ส่วนค่า FRAP value ของ Trolox ซึ่งเป็นสารมาตรฐานเท่ากับ 559.61±3.13 μM/mg sample

2.2ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาในการลดระดับน้ำตาลในเลือดในหลอดทดลองของสารสกัดเปลือกและเมล็ดในของมะม่วงในงานทดลอง

2.2.1 การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase ของสารสกัดเปลือกและเมล็ดในของมะม่วงในงานทดลอง

ตารางที่ 4.7 ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase ของสารสกัดหยาบเปลือกและเมล็ดมะม่วงและสารมาตรฐาน acarbose

ตัวอย่างทดสอบ	ความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase ได้ 50 % IC_{50} (mg/ml)	ความแรง (Fold of acarbose)
สารสกัดเปลือกมะม่วง	0.013 ± 0.000	43.92
สารสกัดเมล็ดในของมะม่วง	0.029 ± 0.003	19.69
สารมาตรฐาน acarbose	0.571 ± 0.017	-

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงเป็นผลจากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง (ค่าเฉลี่ย $\pm$ S.D.)

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase ของตัวอย่างสารสกัดหยาบเปลือก และเมล็ดในของมะม่วง โดยพบว่าสารสกัดเปลือกมะม่วงและสารสกัดเมล็ดในของมะม่วง มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase โดยความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งเอนไซม์ได้ 50% (IC_{50}) มีค่าเท่ากับ 0.013 ± 0.000 mg/ml และ 0.029 ± 0.003 mg/ml ตามลำดับ ซึ่งมีความแรงคิดเป็น 43.92 และ 19.69 เท่า ของสารมาตรฐาน acarbose (มีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.571 ± 0.017 mg/ml)

2.2.2 การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ alpha-amylase ของสารสกัดเปลือกและเมล็ดในของมะม่วงในจานทดลอง

ตารางที่ 4.8 การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ alpha-amylase ของ เปลือกมะม่วง และเมล็ดมะม่วง

ตัวอย่างทดสอบ	ความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งเอนไซม์ alpha-amylase ได้ 50 % IC ₅₀ (mg/ml)	ความแรง (Fold of acarbose)
สารสกัดเปลือกมะม่วง	8.114±2.198	0.017
สารสกัดเมล็ดในของมะม่วง	52.889±21.947	0.003
สารมาตรฐาน acarbose	0.139±0.008	-

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงเป็นผลจากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง (ค่าเฉลี่ย ± S.D.) “NA” คือ ไม่มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ alpha-amylase

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ alpha-amylase ของตัวอย่างสารสกัดหยาบเปลือก และเมล็ดในของมะม่วง โดยพบว่า สารสกัดเปลือกมะม่วง และสารสกัดเมล็ดในของมะม่วงเขียวมรกต มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ alpha-amylase โดยความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งเอนไซม์ได้ 50% (IC₅₀) มีค่าเท่ากับ 8.114±2.198 mg/ml และ 52.889±21.947 mg/ml ตามลำดับ ซึ่งมีความแรงคิดเป็น 0.017 และ 0.003 เท่า ของสารมาตรฐาน acarbose (มีค่า IC₅₀ เท่ากับ 0.139±0.008 mg/ml)

2.2.3 การทดสอบความเป็นพิษของเซลล์ปกติ (hTERT-HME1) ด้วยสารสกัดเปลือกและเมล็ดในของมะม่วงเขียวมรกตในจานทดลองทดลอง ด้วยวิธี MTT Assay

ตารางที่ 4.9 ตารางแสดง ค่า IC_{50} ของสารสกัดเปลือกและเมล็ดในของมะม่วงเขียวมรกตที่ทำการทดสอบกับเซลล์ปกติ

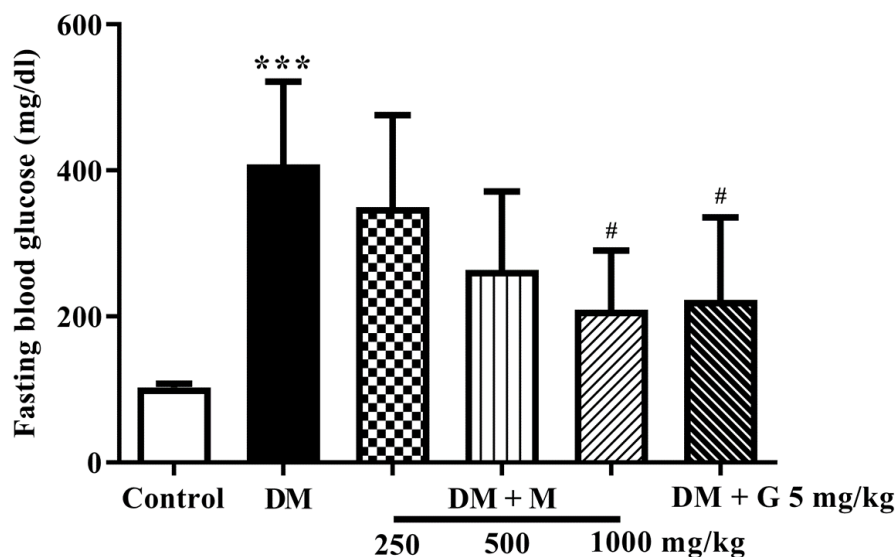
ชนิดของเซลล์	IC_{50} ($\mu\text{g/mL}$)			
	สารสกัดเปลือกมะม่วงเขียวมรกต		สารสกัดเมล็ดในของมะม่วงเขียวมรกต	
	24 h	48 h	24 h	48 h
เซลล์ปกติ (hTERT-HME1)	>1,000	>1,000	>1,000	>1,000

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบความเป็นพิษของสารสกัดเปลือกและเมล็ดในของมะม่วงเขียวมรกตต่อเซลล์ปกติ (hTERT-HME1) ด้วยในจานทดลองทดลอง ด้วยวิธี MTT Assay พบว่าทั้งสารสกัดเปลือกมะม่วงเขียวมรกตและสารสกัดเมล็ดในของมะม่วงเขียวมรกตไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อเซลล์ปกติ (hTERT-HME1) ซึ่งมีความเข้มข้นของสารสกัดที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์ได้ 50% (IC_{50}) มากกว่า 1,000 $\mu\text{g/mL}$ ทั้งสองสารสกัด

ส่วนที่ 3 การศึกษาฤทธิ์และความเป็นพิษสารสกัดของเมล็ดและเปลือกมะม่วงเพื่อการลดระดับน้ำตาลในเลือดในหนูทดลอง

3.1 ผลของสารสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วงต่อระดับน้ำตาลในเลือดของหนูเบาหวาน

จากภาพที่ 4.10 หนูเบาหวานที่ได้รับการเหนี่ยวนำด้วยสเตรปโตโซโทซิน มีระดับน้ำตาลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับหนูกลุ่มควบคุม แต่เมื่อให้สารสกัดจากเมล็ดเนื้อในมะม่วงขนาด 250, 500 และ 1000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เป็นเวลา 30 วัน พบว่าสามารถลดระดับน้ำตาลในเลือด ได้ตามขนาดความเข้มข้นของสารที่ได้รับ (dose dependent manner) โดยหนูกลุ่มเบาหวานที่ได้รับสารสกัดจากเมล็ดเนื้อในมะม่วงขนาด 1000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สามารถลดระดับน้ำตาลในเลือดของหนูเบาหวานได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับหนูกลุ่มเบาหวาน ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกับกลุ่มที่ได้รับยาต้านเบาหวาน glibenclamide ขนาด 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม



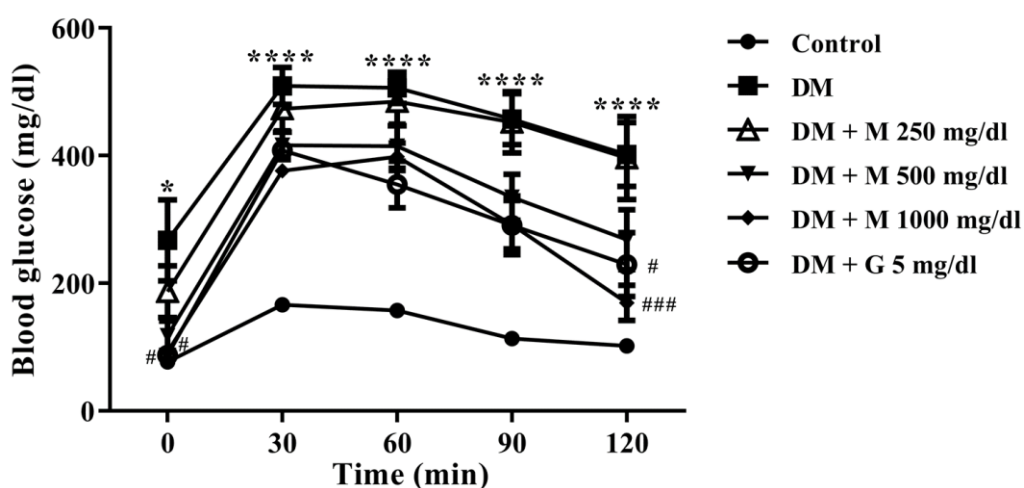
ภาพที่ 4.10 ผลของสารสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วงต่อระดับน้ำตาลในเลือดของหนูเบาหวาน

Control คือ หนูกลุ่มควบคุม; DM คือ หนูกลุ่มที่ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นเบาหวานด้วยสเตรปโตโซโทซิน; DM + M 250 mg/kg คือ หนูกลุ่มที่ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นเบาหวานและได้รับสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วง 250 มิลลิกรัม/กิโลกรัม; DM + M 500 mg/kg คือ หนูกลุ่มที่ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นเบาหวานและได้รับสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วง 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม; DM + M 1,000 mg/kg คือ หนูกลุ่มที่ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นเบาหวานและได้รับสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วง 1,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม; DM + glibenclamide 5 mg/kg คือ หนูกลุ่มที่ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นเบาหวานและได้รับยา glibenclamide 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (n=6)

*** $p < 0.005$; เปรียบเทียบกับหนูกลุ่มควบคุม, # $p < 0.05$; เปรียบเทียบกับหนูกลุ่มเบาหวาน

3.2 ผลของสารสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วงต่อความทนทานต่อน้ำตาลในหนูเบาหวาน

ภาพที่ 4.11 พบว่าก่อนให้น้ำตาลกลูโคส (0 นาที) หนูกลุ่มเบาหวานมีระดับน้ำตาลในเลือดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับหนูกลุ่มควบคุม แต่หนูกลุ่มเบาหวานที่ได้รับสารสกัดจากเมล็ดเนื้อในมะม่วงขนาด 1000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และกลุ่มที่ได้รับยา glibenclamide ขนาด 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มีระดับน้ำตาลในเลือดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับหนูกลุ่มเบาหวาน หลังจากให้น้ำตาลกลูโคสขนาด 2 กรัม/กิโลกรัม พบว่าหนูกลุ่มเบาหวานมีระดับน้ำตาลในเลือดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ตั้งแต่ 30, 60, 90, และ 120 นาที แต่หนูกลุ่มเบาหวานที่ได้รับสารสกัดจากเมล็ดเนื้อในมะม่วงขนาด 250, 500 และ 1000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เป็นเวลา 30 วัน พบว่าสามารถลดระดับน้ำตาลในเลือดภายใน 120 นาที ได้ตามขนาดความเข้มข้นของสารที่ได้รับ (dose dependent manner) โดยพบว่าหลังจากให้น้ำตาลกลูโคสเป็นเวลา 120 นาที หนูกลุ่มเบาหวานที่ได้รับสารสกัดจากเมล็ดเนื้อในมะม่วงขนาด 1000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สามารถลดระดับน้ำตาลในเลือดของหนูเบาหวานได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับหนูกลุ่มเบาหวาน ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับกลุ่มที่ได้รับยา glibenclamide ขนาด 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม



ภาพที่ 4.11 ผลของสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วงต่อความทนทานต่อน้ำตาลในหนูเบาหวาน

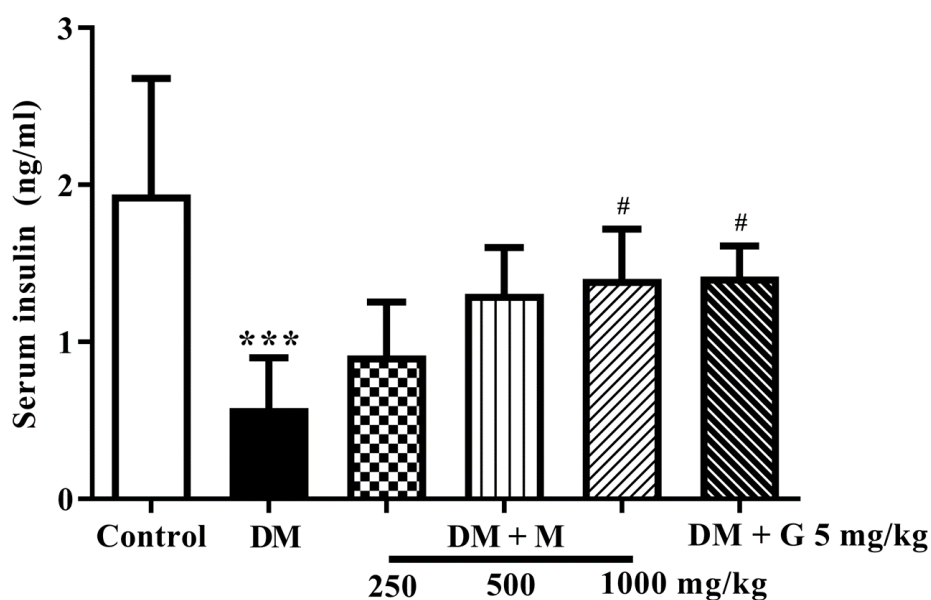
Control คือ หนูกลุ่มควบคุม; DM คือ หนูกลุ่มที่ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นเบาหวานด้วยสเตรปโตโซโทซิน; DM + M 250 mg/kg คือ หนูกลุ่มที่ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นเบาหวานและได้รับสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วง 250 มิลลิกรัม/กิโลกรัม; DM + M 500 mg/kg คือ หนูกลุ่มที่ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นเบาหวานและได้รับสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วง 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม; DM + M 1,000 mg/kg คือ หนูกลุ่มที่ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นเบาหวานและได้รับสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วง 1,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม; DM + glibenclamide 5 mg/kg คือ หนูกลุ่มที่ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นเบาหวานและได้รับยา glibenclamide 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (n=6)

* $p < 0.05$; เปรียบเทียบกับหนูกลุ่มควบคุม, **** $p < 0.001$; เปรียบเทียบกับหนูกลุ่มควบคุม

$p < 0.05$; เปรียบเทียบกับหนูกลุ่มเบาหวาน, #### $p < 0.005$; เปรียบเทียบกับหนูกลุ่มเบาหวาน

3.3 ผลของสารสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วงต่อระดับอินซูลินในซีรัมของหนูเบาหวาน

หลังจากหนูเบาหวานได้รับสารสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วง เป็นเวลา 30 วัน ทำการตรวจระดับอินซูลินในซีรัมด้วยเทคนิค Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) ผลการทดลองพบว่า หนูเบาหวานมีระดับอินซูลินในซีรัมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับหนูกลุ่มควบคุม อย่างไรก็ตามเมื่อให้สารสกัดจากเมล็ดเนื้อในมะม่วงขนาด 250, 500 และ 1000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เป็นเวลา 30 วัน พบว่าสามารถเพิ่มระดับอินซูลินในซีรัม ได้ตามขนาดความเข้มข้นของสารที่ได้รับ (dose dependent manner) และผลการทดลองพบว่าหนูกลุ่มเบาหวานที่ได้รับสารสกัดจากเมล็ดเนื้อในมะม่วงขนาด 1000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สามารถเพิ่มระดับอินซูลินในซีรัมของหนูเบาหวานได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับหนูกลุ่มเบาหวาน ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกับกลุ่มที่ได้รับยา glibenclamide ขนาด 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (ภาพที่ 4.12)

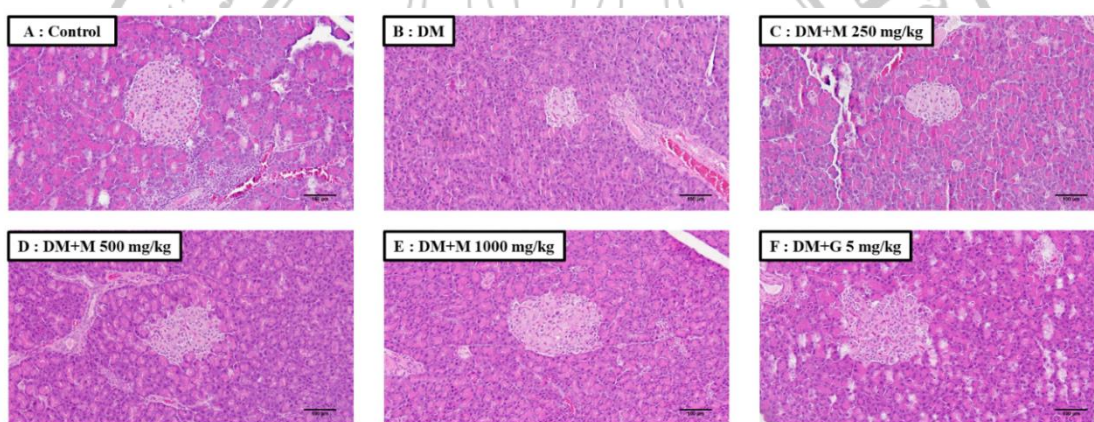


ภาพที่ 4.12 ผลของสารสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วงต่อระดับอินซูลินในซีรัมของหนูเบาหวาน Control คือ หนูกลุ่มควบคุม; DM คือ หนูกลุ่มที่ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นเบาหวานด้วยสเตรปโตโซโทซิน; DM + M 250 mg/kg คือ หนูกลุ่มที่ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นเบาหวานและได้รับสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วง 250 มิลลิกรัม/กิโลกรัม; DM + M 500 mg/kg คือ หนูกลุ่มที่ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นเบาหวานและได้รับสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วง 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม; DM + M 1,000 mg/kg คือ หนูกลุ่มที่ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นเบาหวานและได้รับสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วง 1,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม; DM + glibenclamide 5 mg/kg คือ หนูกลุ่มที่ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นเบาหวานและได้รับยา glibenclamide 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (n=4-5)

*** $p < 0.005$; เปรียบเทียบกับหนูกลุ่มควบคุม, # $p < 0.05$; เปรียบเทียบกับหนูกลุ่มเบาหวาน

3.4 ผลของสารสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วงต่อลักษณะจุลกายวิภาคศาสตร์ของเนื้อเยื่อตับอ่อน

จากการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างของเนื้อเยื่อตับอ่อนโดยการย้อมด้วยสี Hematoxylin และ eosin ผลการทดลองพบว่าไอส์เลตของหนูเบาหวานมีลักษณะฝ่อลีบเล็กกลง และโครงสร้างของไอส์เลตเสียหายอย่างเห็นได้ชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับหนูกลุ่มควบคุม อย่างไรก็ตามเมื่อให้สารสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วงขนาด 250, 500 และ 1,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม พบว่าสามารถที่จะช่วยฟื้นฟูลักษณะของไอส์เลตเซลล์ ให้กลับมาใกล้เคียงกับหนูกลุ่มควบคุมได้ตามขนาดความเข้มข้นของสารที่ได้รับ (dose dependent manner) ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับหนูเบาหวานที่ได้รับยา glibenclamide ขนาด 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (ภาพที่ 4.13)

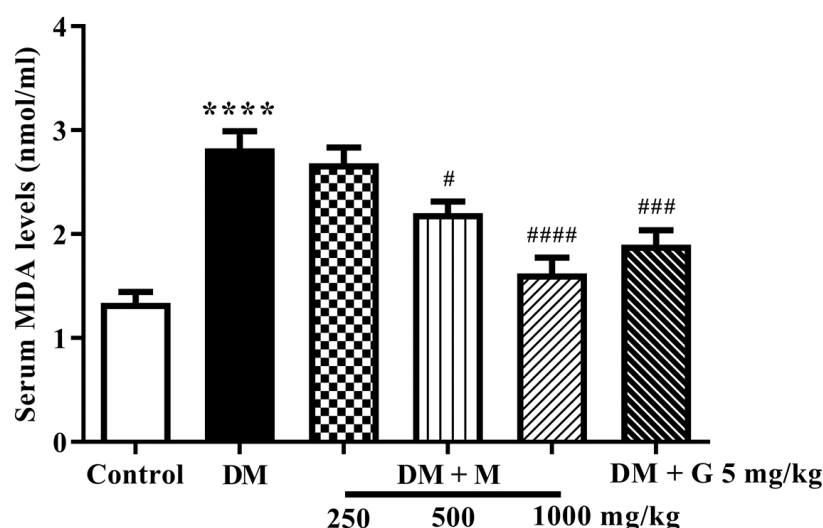


ภาพที่ 4.13 ผลของสารสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วงต่อลักษณะจุลกายวิภาคศาสตร์ของเนื้อเยื่อตับอ่อน

A : Control คือ หนูกลุ่มควบคุม; B : DM คือ หนูกลุ่มที่ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นเบาหวานด้วยสเตรปโตโซโทซิน; C : DM + M 250 mg/kg คือ หนูกลุ่มที่ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นเบาหวานและได้รับสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วง 250 มิลลิกรัม/กิโลกรัม; D : DM + M 500 mg/kg คือ หนูกลุ่มที่ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นเบาหวานและได้รับสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วง 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม; E : DM + M 1,000 mg/kg คือ หนูกลุ่มที่ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นเบาหวานและได้รับสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วง 1,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม; F : DM + glibenclamide 5 mg/kg คือ หนูกลุ่มที่ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นเบาหวานและได้รับยา glibenclamide 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (กำลังขยาย 20X)

3.5 ผลของสารสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วงต่อระดับของ Malonaldehyde (MDA) ในซีรัม

หลังจากหนูเบาหวานได้รับสารสกัดจากเมล็ดเนื้อในมะม่วง เป็นเวลา 30 วัน ทำการวัดระดับ MDA ในซีรัม ผลการทดลองพบว่าหนูกลุ่มเบาหวานมีระดับ MDA ในซีรัมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับหนูกลุ่มควบคุม อย่างไรก็ตามเมื่อให้สารสกัดจากเมล็ดเนื้อในมะม่วงขนาด 250, 500 และ 1,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สามารถลดระดับ MDA ในซีรัม ได้ตามขนาดความเข้มข้นของสารที่ได้รับ (dose dependent manner) และผลการทดลองพบว่าหนูกลุ่มเบาหวานที่ได้รับสารสกัดจากเมล็ดเนื้อในมะม่วงขนาด 500, และ 1000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และกลุ่มที่ได้รับ glibenclamide ขนาด 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สามารถลดระดับ MDA ในซีรัมได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับหนูเบาหวาน (ภาพที่ 4.14)



ภาพที่ 4.14 ผลของสารสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วงต่อระดับของ MDA ในซีรัม

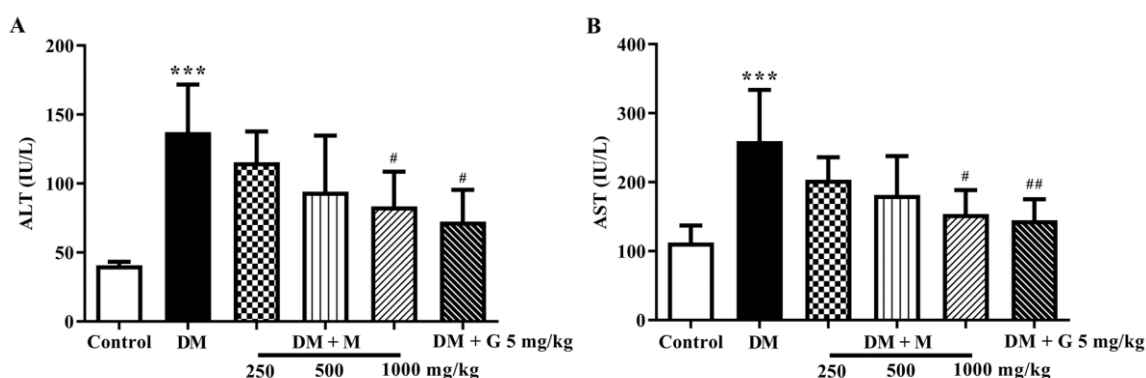
Control คือ หนูกลุ่มควบคุม; DM คือ หนูกลุ่มที่ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นเบาหวานด้วยสเตรปโตโซโทซิน; DM + M 250 mg/kg คือ หนูกลุ่มที่ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นเบาหวานและได้รับสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วง 250 มิลลิกรัม/กิโลกรัม; DM + M 500 mg/kg คือ หนูกลุ่มที่ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นเบาหวานและได้รับสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วง 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม; DM + M 1,000 mg/kg คือ หนูกลุ่มที่ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นเบาหวานและได้รับสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วง 1,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม; DM + glibenclamide 5 mg/kg คือ หนูกลุ่มที่ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นเบาหวานและได้รับยา glibenclamide 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (n=6)

****p<0.001; เปรียบเทียบกับหนูกลุ่มควบคุม, #p<0.05; เปรียบเทียบกับหนูกลุ่มเบาหวาน

###p<0.005; เปรียบเทียบกับหนูกลุ่มเบาหวาน, #####p<0.001; เปรียบเทียบกับหนูกลุ่มเบาหวาน

3.6 ผลของสารสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วงต่อระดับ alanine aminotransferase (ALT) และ aspartate aminotransferase (AST) ในซีรัมของหนูเบาหวาน

การวัดระดับของ ALT และ AST เป็นเอนไซม์สำหรับประเมินการทำงานของตับ ผลการทดลองพบว่าหนูกลุ่มเบาหวานมีระดับของ ALT และ AST เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับหนูกลุ่มควบคุม อย่างไรก็ตามเมื่อให้สารสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วงขนาด 250, 500 และ 1,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สามารถลดระดับ ALT และ AST ได้ตามขนาดความเข้มข้นของสารที่ได้รับ (dose dependent manner) และผลการทดลองพบว่าหนูกลุ่มเบาหวานที่ได้รับสารสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วง 1,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และหนูกลุ่มเบาหวานที่ได้รับยา glibenclamide ขนาด 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สามารถลดระดับของ ALT และ AST ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับหนูกลุ่มเบาหวาน (ภาพที่ 4.15)



ภาพที่ 4.15 ผลของสารสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วงต่อระดับของ (A) alanine aminotransferase (ALT) และ (B) aspartate aminotransferase (AST) ในซีรัมของหนูเบาหวาน

Control คือ หนูกลุ่มควบคุม; DM คือ หนูกลุ่มที่ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นเบาหวานด้วยสเตรปโตโซโทซิน; DM + M 250 mg/kg คือ หนูกลุ่มที่ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นเบาหวานและได้รับสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วง 250 มิลลิกรัม/กิโลกรัม; DM + M 500 mg/kg คือ หนูกลุ่มที่ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นเบาหวานและได้รับสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วง 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม; DM + M 1,000 mg/kg คือ หนูกลุ่มที่ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นเบาหวานและได้รับสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วง 1,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม; DM + glibenclamide 5 mg/kg คือ หนูกลุ่มที่ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นเบาหวานและได้รับยา glibenclamide 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (n=5)

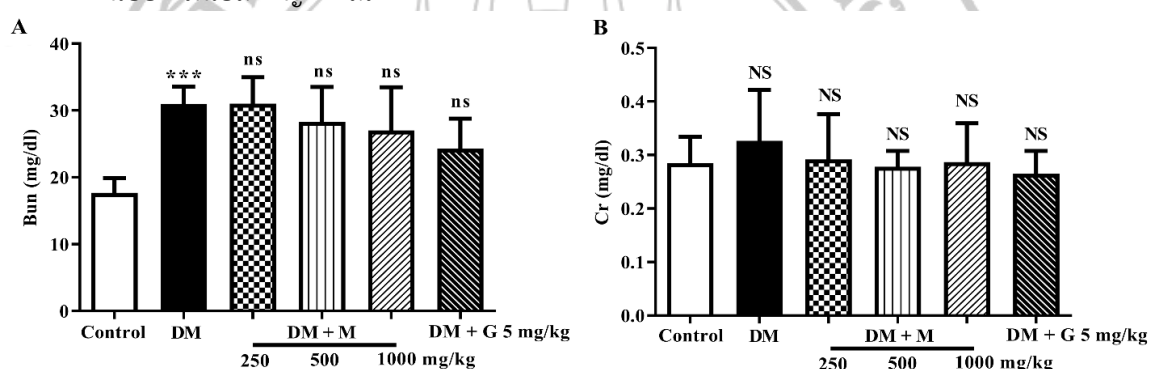
***p<0.005; เปรียบเทียบกับหนูกลุ่มควบคุม, #p<0.05; เปรียบเทียบกับหนูกลุ่มเบาหวาน

##p<0.01; เปรียบเทียบกับหนูกลุ่มเบาหวาน

3.7 ผลของสารสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วงต่อระดับ blood urea nitrogen (BUN) และ creatinine ในซีรัมของหนูเบาหวาน

ระดับของ BUN และ creatinine เป็นตัวบ่งชี้ถึงการทำงานของไต ผลการทดลองพบว่าหนูกลุ่มเบาหวานมีระดับ BUN เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับหนูกลุ่มควบคุม อย่างไรก็ตามเมื่อให้สารสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วงขนาด 250, 500 และ 1,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม หรือ ยา glibenclamide ขนาด 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม พบว่าระดับ BUN มีแนวโน้มลดลงแต่พบไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับหนูเบาหวาน (ภาพที่ 4.16-A)

ภาพที่ 4.16-B ผลการทดลองพบว่าหนูทุกกลุ่มการทดลองมีระดับของ creatinine ในซีรัมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



ภาพที่ 4.16 ผลของสารสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วงต่อระดับ blood urea nitrogen (BUN) (A) และ creatinine (B) ในซีรัมของหนูเบาหวาน

Control คือ หนูกลุ่มควบคุม; DM คือ หนูกลุ่มที่ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นเบาหวานด้วยสเตรปโตโซโทซิน; DM + M 250 mg/kg คือ หนูกลุ่มที่ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นเบาหวานและได้รับสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วง 250 มิลลิกรัม/กิโลกรัม; DM + M 500 mg/kg คือ หนูกลุ่มที่ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นเบาหวานและได้รับสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วง 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม; DM + M 1,000 mg/kg คือ หนูกลุ่มที่ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นเบาหวานและได้รับสกัดเมล็ดเนื้อในมะม่วง 1,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม; DM + glibenclamide 5 mg/kg คือ หนูกลุ่มที่ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นเบาหวานและได้รับยา glibenclamide 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (n=6)

*** $p < 0.005$; เปรียบเทียบกับหนูกลุ่มควบคุม,

ns; ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับหนูเบาหวาน

NS; ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับหนูกลุ่มควบคุม

ส่วนที่ 4 ผลลัพธ์ที่เสริมสุขภาพต้นแบบจากเมล็ดและเปลือกมะม่วงเชิงสร้างสรรค์

1. การศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของผงเปลือกมะม่วงและเมล็ดมะม่วง

ผลการศึกษาคูณลักษณะทางกายภาพของผงเปลือกมะม่วงและเมล็ดมะม่วงแสดงในตารางที่ 4.10 พบว่าค่าสีของผงเปลือกมะม่วงมีความสว่าง (L^*) มากกว่าผงเมล็ดมะม่วง และมีค่า a^* อยู่ในช่วงของค่าสีเขียว ในขณะที่ผงเมล็ดมะม่วงมีค่า a^* อยู่ในช่วงของค่าที่ค่อนข้างแดง และผงเปลือกมะม่วงมีค่า b^* อยู่ในค่าสีเหลืองเช่นเดียวกับผงเมล็ดมะม่วง โดยค่าสีของผงทั้งสองชนิดจะมีผลต่อการนำไปผสมกับตัวอย่างโยเกิร์ตในการทดลองต่อไป เมื่อพิจารณา a_w พบว่ามีค่าต่ำกว่า 0.6 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำ จะทำให้เสื่อมเสียโดยจุลินทรีย์ได้ยาก

ตารางที่ 4.10 คุณลักษณะทางกายภาพของผงเปลือกมะม่วงและเมล็ดมะม่วง

ตัวอย่าง	ลักษณะปรากฏ	ค่าสี			ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)
		L^*	a^*	b^*	
เปลือกมะม่วง		71.43±0.4 5	- 2.75±0.04	19.30±0.2 5	0.354±0.001
เมล็ดมะม่วง		67.33±1.1 8	4.95±0.13	20.14±0.6 1	0.394±0.002

2. การพัฒนาสูตรโยเกิร์ตแผ่นสูตรพื้นฐาน

จากข้อมูลในตารางที่ 2 แสดงองค์ประกอบของสูตรโยเกิร์ตแผ่นสูตรต่างๆ ประกอบด้วย ผักบุง ผักโขม ข้าวโพด มันฝรั่ง มันเทศ มันแครอท ซีอิ๊วขาว พริกไทยขาว น้ำตาลทราย และน้ำ ซึ่งทำให้ได้โยเกิร์ตแผ่นตามลักษณะปรากฏในรูปที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรผักแผ่นทางการค้ายี่ห้อ Vegus และ GreenDay พบว่า โยเกิร์ตแผ่นสูตรที่ 6 ที่มีส่วนผสมหลักคือผักบุง มันฝรั่งและมันเทศ มีลักษณะปรากฏที่มีผิวเรียบเนียนกว่าสูตรอื่นๆ และพบว่าสูตรโยเกิร์ตแผ่นที่เติมน้ำ ได้แก่ สูตรที่ 2, 3 และ 5 มีลักษณะเนื้อโยเกิร์ตแผ่นไม่ประสานกัน ทั้งนี้เกิดจากการที่มีน้ำแทรกในโครงสร้างปริมาณมาก ทำให้โมเลกุลแป้งหรือโปรตีนที่ทำหน้าที่ยึดเกาะ ไม่สามารถยึดเกาะกับโมเลกุลข้างเคียงได้ดี เมื่อน้ำระเหยออกไประหว่างอบทำให้เกิดลักษณะดังกล่าว

ตารางที่ 4.11 องค์ประกอบของสูตรโยอาหารแผ่นพื้นฐาน

ส่วนผสม	สูตรโยอาหารแผ่น (กรัม)						
	1	2	3	4	5	6	7
1. ผักบั้ง	-	200	200	200	200	200	200
2. ผักโขม	200	-	-	-	-	-	-
3. ข้าวโพด	100	100	100	100	100	100	100
4. มันฝรั่ง	300	300	-	300	-	200	200
5. มันเทศ (ไข่)	-	-	300	-	300	100	-
6. มันแครอท	-	-	-	-	-	-	100
7. ซีอิ๊วขาว	65	30	20	30	20	13	13
8. พริกไทยขาว	3.5	2	1.5	1.5	0.2	0.15	0.15
9. น้ำตาลทราย	6.5	6.5	3.5	3.5	-	6.5	6.5
10. น้ำ	-	135	135	-	10	-	-



2. สูตรทางการค้า (Veggus original)



สูตรทางการค้า (GreenDay original)



สูตร 1 ผักโขมมันฝรั่ง



สูตร 2 ผักบั้งจิ้นมันเทศ



สูตร 3 ผักบั้งจิ้นมันฝรั่ง



สูตร 4 ผักบั้งจิ้นมันฝรั่ง



สูตร 5 ผักบั้งจิ้นมันเทศ



สูตร 6 ผักบั้งจิ้นมันฝรั่งผสมมันเทศ

ภาพที่ 4.17 ลักษณะปรากฏของใยอาหารแผ่นสูตรควบคุม

3. คุณลักษณะทางกายภาพของของโยอาหารแผ่น

ผลการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของของโยอาหารแผ่นเพื่อคัดเลือกเป็นสูตรพื้นฐานแสดงในตารางที่ 3 พบว่าค่าสีของโยอาหารแผ่นสูตรทางการค้ายี่ห้อ Veggus มีค่าความสว่าง (L^*) มากกว่าสูตรอื่นๆ และมีค่า a^* อยู่ในช่วงของค่าสีเขียวเช่นเดียวกับสูตรพื้นฐานที่ทำการพัฒนา และทุกตัวอย่างมีค่า b^* อยู่ในค่าสีเหลือง เมื่อพิจารณา a_w พบว่ามีค่าต่ำกว่า 0.6 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำ จะทำให้เสื่อมเสียโดยจุลินทรีย์ได้ยาก อย่างไรก็ตาม ต้องทำการศึกษาอายุการเก็บในขั้นตอนต่อไป ดังนั้น จากข้อมูลในรูปที่ 4.17 และตารางที่ 4.12 จึงคัดเลือกสูตรที่ 6 ที่มีเนื้อสัมผัสเรียบเนียนที่สุดไปทำการทดลองเติมผงเปลือกมะม่วงและผงเมล็ดมะม่วงต่อไป

ตารางที่ 4.12 คุณลักษณะทางกายภาพของโยอาหารแผ่นเพื่อคัดเลือกเป็นสูตรพื้นฐาน

ตัวอย่าง	ค่าสี			ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)
	L^*	a^*	b^*	
สูตรทางการค้า (Veggus original)	39.98 ± 1.23^a	-0.14 ± 0.10^b	25.72 ± 0.60^a	0.2473 ± 0.0029^d
สูตรทางการค้า (GreenDay original)	31.75 ± 0.81^b	0.33 ± 0.08^a	20.16 ± 0.27^c	0.3166 ± 0.0082^c
1	20.20 ± 0.54^f	-7.65 ± 0.37^i	17.47 ± 0.56^{de}	0.4264 ± 0.0275^b
2	27.79 ± 1.19^c	-5.24 ± 0.16^f	16.87 ± 0.39^{ef}	0.4583 ± 0.0246^a
3	23.27 ± 2.46^e	-5.64 ± 0.71^g	16.56 ± 1.81^f	0.4218 ± 0.0128^b
4	28.26 ± 0.84^c	-4.71 ± 0.14^e	20.83 ± 0.39^c	0.4334 ± 0.0063^{ab}
5	28.83 ± 3.64^c	-4.63 ± 0.73^e	17.70 ± 1.62^d	0.3000 ± 0.0014^c
6	25.19 ± 1.35^d	-6.19 ± 0.28^h	18.10 ± 0.63^d	0.2498 ± 0.0058^d
7	27.75 ± 0.98^c	-1.06 ± 0.81^d	25.43 ± 0.33^a	0.2518 ± 0.0018^d

4. การพัฒนาสูตรโยอาหารแผ่นสูตรที่เติมผงเปลือกมะม่วง

จากข้อมูลในตารางที่ 4.13 แสดงองค์ประกอบของสูตรโยอาหารแผ่นสูตรที่ 6 ที่เลือกเป็นสูตรพื้นฐาน และสูตรที่เติมผงเปลือกมะม่วง ซึ่งองค์ประกอบพื้นฐานประกอบด้วย ผักบุง ผักโขม ข้าวโพด มันฝรั่ง มันเทศ ซีอิ๊วขาว พริกไทยขาว และน้ำตาลทราย ซึ่งทำให้ได้โยอาหารแผ่นตามลักษณะปรากฏในรูปที่ 4.18

ตารางที่ 4.13 องค์ประกอบของสูตรโยอาหารแผ่นที่เติมผงเปลือกมะม่วง

ส่วนผสม	สูตรโยอาหารแผ่น (กรัม)		
	6 (สูตรควบคุม)	8	9
1. ผักบุง	200	200	200
2. ข้าวโพด	100	100	100
3. มันฝรั่ง	200	200	200
4. มันเทศ (ไซ)	100	100	100
5. ซีอิ๊วขาว	13	13	13
6. พริกไทยขาว	0.15	0.15	0.15
7. น้ำตาลทราย	6.5	6.5	6.5
8. ผงเปลือกมะม่วง	-	3	6



สูตร 6 ผักบุงจิ้นมันฝรั่งผสมมันเทศ



สูตร 8 ผักบุงจิ้นมันฝรั่งผสมมันเทศและเปลือกมะม่วง 0.5%



สูตร 9 ผักบุงจิ้นมันฝรั่งผสมมันเทศและเปลือกมะม่วง 1.0%

รูปที่ 4.18 ลักษณะปรากฏของโยอาหารแผ่นสูตรควบคุม และสูตรที่เติมเปลือกมะม่วง 0.5% และ 1.0%

ค่าสีของโยอาหารแผ่นที่เติมผงเปลือกมะม่วง (ตารางที่ 4.19) มีค่าความสว่าง (L^*) มากกว่าสูตรอื่นๆ และมีค่า a^* อยู่ในช่วงของค่าสีเขียวเช่นเดียวกับสูตรพื้นฐาน และทุกตัวอย่างมีค่า b^* อยู่ในค่าสีเหลือง เมื่อพิจารณา a_w พบว่ามีค่าต่ำกว่า 0.6 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำ จะทำให้เสื่อมเสียโดยจุลินทรีย์ได้ยาก อย่างไรก็ตาม ต้องทำการศึกษาอายุการเก็บในขั้นต่อไป

ตารางที่ 4.19 คุณลักษณะทางกายภาพของโยอาหารแผ่น

ตัวอย่าง	ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)	ค่าสี		
		L^*	a^*	b^*
สูตรที่ 6 (สูตรควบคุม)	0.2498 ± 0.0058	25.19 ± 1.35	-6.19 ± 0.28	18.10 ± 0.63
สูตรที่ 8 (เปลือกมะม่วง 0.5%)	0.3374 ± 0.0034	42.72 ± 0.06	-5.56 ± 8.13	12.53 ± 0.03
สูตรที่ 9 (เปลือกมะม่วง 1.0%)	0.2829 ± 0.0027	41.27 ± 1.39	-5.13 ± 0.13	9.99 ± 0.84

ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็ง และความกรอบ (ตารางที่ 4.20) พบว่าค่าความแข็งของตัวอย่างทางการค้าชื่อ Greenday มีค่ามากกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ตัวอย่างอื่นๆ มีความแข็งไม่แตกต่างกัน ซึ่งอาจเกิดจากส่วนผสมของผักแผ่นยี่ห้อ Greenday ใช้กระเจียบเขียวซึ่งมีโยอาหารสูง เป็นองค์ประกอบหลัก อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาความกรอบ พบว่าค่าความกรอบของทุกตัวอย่างไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.20 ลักษณะเนื้อสัมผัสของโยอาหารแผ่น

ตัวอย่าง	ลักษณะเนื้อสัมผัส	
	ความแข็ง (Hardness)	ความกรอบ (Crispiness)
สูตรทางการค้า (Veggus original)	21.79 ± 0.22^b	3.04 ± 0.39^{ns}
สูตรทางการค้า (Greenday original)	27.95 ± 0.80^a	2.59 ± 0.67^{ns}
สูตรที่ 6 (สูตรควบคุม)	20.25 ± 0.87^b	3.20 ± 0.89^{ns}
สูตรที่ 8 (เปลือกมะม่วง 0.5%)	21.44 ± 2.12^b	3.87 ± 0.38^{ns}
สูตรที่ 9 (เปลือกมะม่วง 1.0%)	20.76 ± 0.40^b	3.51 ± 0.59^{ns}

องค์ประกอบทางเคมีของโยอาหารแผ่น (ตารางที่ 4.21) พบว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรต ไขมัน ความชื้นมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณโปรตีนของสูตรที่พัฒนาขึ้นจากการทดลองนั้นมีปริมาณโปรตีน สูงกว่าถึง 2 เท่า ซึ่งเกิดจากส่วนผสมที่มีโปรตีน ได้แก่ ข้าวโพด และมันเทศ ทำให้ได้คุณค่าทาง โภชนาการมากกว่าผักแผ่นทางการค้า นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณโยอาหารของสูตรที่ 9 (เติมเปลือก มะม่วง 1.0%) มีค่าสูงกว่าสูตรอื่นๆ สอดคล้องกับปริมาณผงเปลือกมะม่วงที่เติมลงไป จากข้อมูล ดังกล่าวนี้นี้จะใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาสูตรโยอาหารแผ่นในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 4.21 องค์ประกอบทางเคมีของโยอาหารแผ่น

ตัวอย่าง	องค์ประกอบทางเคมี (กรัม/100 กรัม)					
	คาร์โบไฮเดรต	โปรตีน	ไขมัน	ความชื้น	เถ้า	โยอาหาร
สูตรทางการค้า (Veggus original)	77.64	5.3	2.01	7.25	7.8	15.66
สูตรที่ 6 (สูตรควบคุม)	72.15	10.46	2.8	8.66	5.93	14.68
สูตรที่ 8 (เปลือกมะม่วง 0.5%)	72.25	10.82	2.75	8.3	5.88	14.46
สูตรที่ 9 (เปลือกมะม่วง 1.0%)	71.55	12.41	2.9	7.42	5.72	16.50