



การจำแนกลักษณะเฉพาะและคุณประโยชน์เชิงสุขภาพของเส้นใยอาหาร
ที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระจากมะม่วงและฝรั่ง

สหขวัญ โรจนคุณธรรม

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร

มกราคม 2556

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม



การจำแนกลักษณะเฉพาะและคุณประโยชน์เชิงสุขภาพของเส้นใยอาหาร
ที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระจากมะม่วงและฝรั่ง

สทชวัลย์ โรจนคุณธรรม


เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร
มกราคม 2556
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

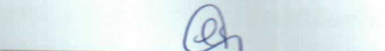






คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนางสาวสหขวัญ ไรจนคุณธรรม
แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

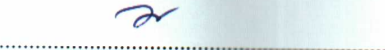
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.ดุยจิรา สุขบุญญสติกต์) (อาจารย์บัณฑิตศึกษาประจำคณะ)



..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.อังคณา น้อยสุวรรณ) (ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์)


..... กรรมการ
(ผศ.ดร.อนุชิตา มุ่งงาม) (กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.มังกร ศรีสะอาด) (กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.อรอนงค์ ฐานปัทน์นติกุล) (ผู้ทรงคุณวุฒิ)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม


.....
(ผศ.ดร.รำไพ เกณฑ์สาकु)

คณบดีคณะเทคโนโลยี


.....
(ศ.ดร.ปรีชา ประเทพา)

ผู้รักษาการคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 24 เดือน มิ.ย. พ.ศ. 2556



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับทุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประเภทบัณฑิตศึกษา ประจำปี 2554 และทุนวิจัยงบประมาณรายได้ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปี 2555

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่ง จากอาจารย์ ดร.อังคณา น้อยสุวรรณ ประธานควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุชิตา มุ่งงาม อาจารย์ ดร.มังกร ศรีสะอาด กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.ดุลย์จิรา สุขบุญญสถิตย์ ประธานกรรมการสอบ และอาจารย์ ดร.อรอนงค์ ฐาปนพันธ์นติกุล กรรมการสอบ

ขอขอบพระคุณบุคลากรภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนศาสตร์ ศูนย์เครื่องมือกลาง และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตกาฬสินธุ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือการวิจัย

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้อง และเพื่อนทุกคนที่ได้ให้การช่วยเหลือและสนับสนุนการวิจัย ประโยชน์และคุณค่าของงานวิจัยนี้ ขอมอบบูชาพระคุณบิดา-มารดา ครู-อาจารย์ ที่อบรมสั่งสอน และให้กำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้เสมอมา

สหขวัญ โจรจนคุณธรรม



ชื่อเรื่อง	การจำแนกลักษณะเฉพาะและคุณสมบัติเชิงสุขภาพของเส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระจากมะม่วงและฝรั่ง
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา เทคโนโลยีการอาหาร
ผู้วิจัย	นางสาวสหขวัญ โรจนคุณธรรม
กรรมการควบคุม	อาจารย์ ดร.อังคณา น้อยสุวรรณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุชิตา มุ่งงาม อาจารย์ ดร.มังกร ศรีสะอาด
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่พิมพ์ 2556

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาลักษณะเฉพาะทางเคมี และกายภาพของเส้นใยอาหารจากมะม่วงสายพันธุ์แก้วเขียว (*Mangifera indica* L.) และฝรั่งสายพันธุ์แป้นสีทอง (*Psidium guajava* L.) และศึกษาผลของวิธีการผลิตเส้นใยอาหาร 4 วิธี ได้แก่ 1) การผลิตเส้นใยอาหารแบบสด 2) การผลิตเส้นใยอาหารโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด 3) การผลิตเส้นใยอาหารโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และ 4) การผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ และไม่ผ่านการทำแห้งต่อลักษณะเฉพาะทางเคมี และกายภาพของเส้นใยอาหารดังกล่าว นอกจากนี้ยังศึกษาผลของเส้นใยอาหารเหล่านี้ต่อคุณสมบัติด้านเคมีกายภาพ และการถูกย่อยได้ของแป้งข้าวเจ้าอีกด้วย

ผลการศึกษาพบว่าการผลิตเส้นใยอาหารแบบสดให้เส้นใยอาหารจากมะม่วง (FMDF) และฝรั่ง (FGDF) ที่มีปริมาณโปรตีน และไขมัน ($p \leq 0.05$) สูงที่สุด โดย FMDF มีปริมาณโปรตีน และไขมันเป็นร้อยละ 2.99 และ 1.04 ตามลำดับ ส่วน FGDF มีปริมาณโปรตีน และไขมันเป็นร้อยละ 5.51 และ 1.03 ตามลำดับ FMDF และ FGDF มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber; TDF) สูงกว่าเส้นใยอาหารจากกรรมวิธีการผลิตแบบอื่น ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าเป็นร้อยละ 37.02 และ 94.73 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเส้นใยอาหารจากมะม่วงพบว่า FMDF และเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AMDF) มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble dietary fiber; IDF) สูงกว่าเส้นใยอาหารที่ผลิตจากกรรมวิธีอื่น ($p \leq 0.05$) คือร้อยละ 27.44 และ 26.48 ตามลำดับ AMDF เป็นเส้นใยอาหารที่มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (Soluble dietary fiber; SDF) ต่ำที่สุด ($p \leq 0.05$) คือร้อยละ 2.81 ในส่วนของเส้นใยอาหารจากฝรั่งนั้นพบว่า FGDF นอกจากเป็นเส้นใยอาหารที่มีปริมาณ TDF สูงที่สุดแล้วยังพบ IDF ในปริมาณสูงกว่าเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ผลิตจากกรรมวิธีอื่นๆ ($p \leq 0.05$) โดย FGDF มีปริมาณ IDF เป็นร้อยละ 81.88 เส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AGDF) มี SDF ต่ำกว่าเส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธีอื่นๆ ($p \leq 0.05$) โดยมีปริมาณ SDF เป็นร้อยละ 8.90 พบว่า FMDF และ FGDF มีความสามารถในการอุ้มน้ำ และน้ำมัน (Water- and Oil-holding capacity; WHC และ OHC) สูงที่สุด โดย FMDF และ FGDF มีค่า WHC เท่ากับ 9.45 และ 16.67 g



water/g dietary fiber ตามลำดับ และมีค่า OHC เท่ากับ 7.33 และ 12.40 g oil/g dietary fiber ตามลำดับ ผลการศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่ง พบว่าเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ผลิตโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FD MDF) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic compounds; TPC) สูงที่สุด เมื่อตรวจวัดกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ 2 วิธี ได้แก่ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยการดักจับอนุมูลอิสระของ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH radical scavenging assay) และการวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยการรีดิวซ์เฟอร์ริก (Ferric reducing antioxidant potential assay) พบว่า FD MDF ให้ค่า IC₅₀ ต่ำกว่าเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ผลิตจากกรรมวิธีอื่นๆ โดยมีค่าเป็น 10.78 IC₅₀ mg/ml และมีค่าการรีดิวซ์เฟอร์ริกเท่ากับ 104.01 mM Fe (III)/g เส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ผลิตโดยการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TGDF) มีปริมาณ TPC สูงกว่าเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ผลิตด้วยวิธีอื่นๆ ($p \leq 0.05$) โดยมีปริมาณเท่ากับ 0.74 g GAE/100g และมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ผลิตจากวิธีอื่นๆ ($p \leq 0.05$) การเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วง หรือฝรั่งที่ผลิตจากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกันในระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5 และ 7.5 มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะร้อนแป้งข้าวเจ้าอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งที่ได้จากการผลิตทั้ง 4 วิธีทำให้ค่า Peak viscosity, Break down, และ Final viscosity ของแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้น ในขณะที่ Pasting temperature ของแป้งข้าวเจ้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่มีการเติมเส้นใยอาหารแสดงพฤติกรรมคล้ายของแข็ง และเมื่อเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วง หรือฝรั่งที่ผลิตจากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกันในระดับความเข้มข้นต่างๆ ส่งผลให้ค่า Storage modulus (G') และ Loss modulus (G'') ของแป้งข้าวเจ้าเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้น ศึกษาผลของ TMDF, FD MDF, TGDF และ FDGDF ต่อคุณสมบัติด้านความร้อนของแป้งข้าวเจ้า โดยใช้เครื่อง Differential scanning calorimetry (DSC) พบว่าการเติมเส้นใยอาหารทั้งจากมะม่วง และฝรั่งมีผลต่อการเกิดเจลลิตีในเซชันของแป้งข้าวเจ้าน้อยมาก การศึกษาผลของเส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากฝรั่งต่อการย่อยได้ของแป้งข้าวเจ้าชี้ให้เห็นว่าการเติม TGDF ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5, 5 และ 7.5 เปลี่ยนแปลงการถูกย่อยได้ของแป้งไม่มากนัก โดยปริมาณแป้งที่ถูกย่อยอย่างรวดเร็ว (RDS) แป้งส่วนที่ถูกย่อยอย่างช้าๆ (SDS) และดัชนีการย่อยได้ของแป้ง (SDI) เมื่อมีการเติม TGDF ให้ค่าที่ไม่แตกต่างกับแป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติมเส้นใยอาหาร ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตามพบว่าการเติม TGDF ที่ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 ทำให้ RS ของแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) การเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงมีผลต่อการถูกย่อยได้ของแป้งข้าวเจ้า ตรงกันข้ามกับการเติมเส้นใยอาหารจากฝรั่ง โดยการเติม FD MDF ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5, 5 และ 7.5 ทำให้ปริมาณ RDS, SDS, และ RS ของแป้งข้าวเจ้าแตกต่างกับเมื่อไม่มีการเติม FD MDF อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และ FD MDF ร้อยละ 7.5 สามารถลดค่า SDI ของแป้งข้าวเจ้าได้ถึง 2.4 เท่า

คำสำคัญ : การย่อยได้ของแป้ง; สารต้านอนุมูลอิสระ; เส้นใยอาหาร; เส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ; มะม่วง; ฝรั่ง



TITLE Characterization and health benefits of antioxidant dietary fiber from mango and guava

AUTHOR Miss Sahakhuan Rotjanakunnatam

DEGREE Master of Science **MAJOR** Food Technology

ADVISORS Dr. Angkana Noisuwan
Asst. Prof. Dr. Anuchita Moongngarm
Dr. Mangkorn Srisa-ard

UNIVERSITY Mahasarakham University **YEAR** 2013

ABSTRACT

This research aims to study the chemical and physical properties of dietary fiber from the Kaew mango (*Mangifera indica L.*) and guava (*Psidium guajava L.*) and to evaluate the effect of 4 different methods for the preparation of dietary fiber from Kaew mango and guava, namely fresh dietary fiber preparation method, tray-dried dietary fiber preparation method, freeze-dried dietary fiber preparation method, and alcohol insoluble solid dietary fiber production method on physico-chemical properties of rice flour. The effect of dietary fibers from these preparation methods on starch digestibility of rice flour was also investigated.

The dietary fiber prepared by the fresh dietary fiber preparation method (fresh-mango or guava dietary fiber; FMDF or FGDF) showed the highest protein and fat contents ($p \leq 0.05$). The protein and fat contents of FMDF were 2.99 and 1.04%, respectively, and of FGDF were 5.51 and 1.03 %, respectively. The FMDF and FGDF also showed the highest dietary fiber content, 37.02 and 94.73%, respectively. In case of mango dietary fiber, the FMDF and alcohol insoluble solid- mango (AMDF) had higher amount of insoluble dietary fiber than tray-dried-mango dietary fiber (TMDF) and freeze-dried-mango dietary fiber (FDMDF) (27.44 and 26.48%, respectively). The AMDF had the lowest amount of soluble dietary fiber (2.81%). For guava dietary fiber, it was found that the fresh-guava dietary fiber (FGDF) showed the highest amount of insoluble dietary fiber (81.88%). The alcohol insoluble solid-guava (AGDF) had the lowest amount of soluble dietary fiber (8.90%). The FMDF and FGDF showed the highest water holding capacity (WHC) and oil holding capacity (OHC), WHC of FMDF and FGDF were 9.45 and 16.67 g water/g dietary fiber, respectively, and OHC of FMDF and FGDF were 7.33 and 12.40 g water/g dietary fiber, respectively. The FDMDF showed the highest amount of total phenolic content (TPC) and antioxidant



activity, as determined by DPPH radical scavenging assay and ferric reducing antioxidant potential (FRAP) assay. In case of guava dietary fiber, the tray-dried-guava dietary fiber (TGDF) presented the highest amount of TPC (0.74 g GAE/100g) and the highest antioxidant activity. The addition of dietary fiber from mango and guava at various concentrations to rice flour markedly affected the pasting behavior of rice flour. Peak viscosity, break down, and final viscosity of rice flour were significantly increased and increased with increasing concentration of dietary fiber. On the other hand, the addition of dietary fiber decreased the pasting temperature of rice flour. In the absent of dietary fiber, rice flour exhibited the solid-like behavior. The addition of dietary fiber from mango or guava increased storage modulus (G') and loss modulus (G'') of rice flour gel and increased with increasing concentration of dietary fiber. The effect of dietary fiber from mango and guava on the thermal properties of rice flour was studied by using differential scanning calorimetry (DSC). It was found that the addition of these dietary fibers showed negligible effect on gelatinization of rice flour. The starch digestibility of rice flour was slightly affected by the addition of FDGDF. There was no significant different in the amount of rapid digestibility starch (RDS), slow digestibility starch (SDS) and starch digestibility index (SDI) in the present and in the absent of FDGDF. Note that, in the present of 7.5% FDGDF, the RS of rice flour was significantly increased ($p \leq 0.05$). On the other hand, the starch digestibility of rice flour was significantly affected by the addition of TMDF. In the present of 7.5% FMDF, the SDI of rice flour was reduced by 2.4 times lower than in the absent of dietary fiber.

Keyword : Starch digestibility; Antioxidant; Dietary fiber; Antioxidant dietary fiber; Mango; Guava



สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพประกอบ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ภูมิหลัง	1
1.2 ความมุ่งหมายของการวิจัย	2
1.3 สมมติฐานของการวิจัย	3
1.4 ความสำคัญของการวิจัย	3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ	5
บทที่ 2 ปริทัศน์เอกสารข้อมูล	6
2.1 ความหมายของเส้นใยอาหาร (Dietary fiber) และเส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant dietary fiber, AODF)	6
2.2 ประเภทของเส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ	7
2.3 ชนิดของเส้นใยอาหาร	9
2.4 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหาร	16
2.5 คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ	18
2.6 ผลกระทบจากกระบวนการแปรรูปต่อคุณสมบัติของเส้นใยอาหาร	22
2.7 มะม่วง	24
2.8 ฝรั่ง	26
2.9 แป้ง (Starch)	28
2.10 การย่อยได้ของแป้ง (Starch digestibility)	35
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	36



สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	41
3.1 การตั้งสมมุติฐาน	41
3.2 แผนการวิจัย	42
3.3 เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	42
3.4 วิธีการทดลอง	44
3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล	49
3.6 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	50
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	51
4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล	51
บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ	85
5.1 สรุปผล	85
5.2 ข้อเสนอแนะ	88
เอกสารอ้างอิง	89
ภาคผนวก	96
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี	97
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ	103
ภาคผนวก ค กราฟมาตรฐาน	105
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ความแปรปรวน	108
ประวัติย่อผู้วิจัย	125



สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 2.1 ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและละลายน้ำได้ของสาหร่ายทะเล ผลไม้ ผัก และธัญพืชบางชนิด (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	8
ตาราง 2.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำและน้ำมันของผลไม้และผักบางชนิด	20
ตาราง 2.3 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของผลไม้บางชนิด	22
ตาราง 2.4 ผลของขนาดอนุภาคต่อคุณสมบัติในการจับกับน้ำของเส้นใยบางชนิด	23
ตาราง 2.5 คุณค่าทางอาหารในส่วนที่รับประทานได้ของมะม่วงดิบปริมาณ 100 กรัม	25
ตาราง 2.6 คุณค่าทางอาหารของฝรั่งสดในสัดส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม	27
ตาราง 3.1 น้ำหนักที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างแป้งผสมกับเส้นใยอาหารสำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะร้อน	47
ตาราง 3.2 สภาวะของ RVA ที่ใช้ในการศึกษาพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะร้อนของแป้ง เมื่อ Idel Temperature เป็น 50 ± 1 องศาเซลเซียส	47
ตาราง 4.1 องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) ของเส้นใยอาหารจากมะม่วงชนิดต่างๆ ซึ่งได้จากการรวมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน*	52
ตาราง 4.2 องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) ของเส้นใยอาหารจากฝรั่ง ซึ่งได้จากการรวมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน*	53
ตาราง 4.3 ปริมาณของเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ของเส้นใยอาหารจากมะม่วงชนิดต่างๆ ซึ่งได้จากการรวมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน*	54
ตาราง 4.4 ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ของเส้นใยอาหารจากฝรั่งซึ่งได้จากการรวมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน*	55
ตาราง 4.5 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content; TPC) และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของเส้นใยอาหารจากมะม่วงชนิดต่างๆ ซึ่งได้จากการรวมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน*	57
ตาราง 4.6 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของเส้นใยอาหารจากฝรั่งซึ่งได้จากการรวมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน*	57
ตาราง 4.7 การเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะร้อนของแป้งข้าวเจ้าเมื่อไม่เติมและเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยเส้นใยอาหารจากมะม่วงได้จากการผลิตที่แตกต่างกัน*	62
ตาราง 4.8 การเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะร้อนของแป้งข้าวเจ้าเมื่อไม่เติมและเติมเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยเส้นใยอาหารจากฝรั่งได้จากการผลิตที่แตกต่างกัน*	63



สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตาราง 4.9	ผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ได้จากการผลิตเส้นใยอาหารวิธีต่างๆ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเปลี่ยนแปลงของโมดูลัสสะสม (Storage modulus; G'), โมดูลัสสูญเสีย (Loss modulus; G''), อัตราส่วนของโมดูลัสสูญเสียต่อโมดูลัสสะสม (Tan delta) และโมดูลัสเชิงซ้อน (Complex modulus, G^*) ของเจลข้าวเจ้าความเข้มข้นร้อยละ 10 เมื่อความถี่ (Frequency) เป็น 1 Hz และความเครียด (Strain) มีค่าเป็นร้อยละ 2*	70
ตาราง 4.10	ผลของเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ได้จากการผลิตเส้นใยอาหารวิธีต่างๆ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเปลี่ยนแปลงของโมดูลัสสะสม (Storage modulus; G'), โมดูลัสสูญเสีย (Loss modulus; G''), อัตราส่วนของโมดูลัสสูญเสียต่อโมดูลัสสะสม (Tan delta) และโมดูลัสเชิงซ้อน (Complex modulus, G^*) ของเจลข้าวเจ้าความเข้มข้นร้อยละ 10 เมื่อความถี่ (Frequency) เป็น 1 Hz และความเครียด (Strain) มีค่าเป็นร้อยละ 2*	71
ตาราง 4.11	ผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ได้จากการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TMDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเกิดเจลลิตีโนเซชันของแป้งข้าวเจ้า*	74
ตาราง 4.12	ผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ได้จากการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TMDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเกิดอะไมโลสลิปิดคอมเพล็กซ์ของแป้งข้าวเจ้า*	74
ตาราง 4.13	ผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเกิดเจลลิตีโนเซชันของแป้งข้าวเจ้า*	76
ตาราง 4.14	ผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเกิดอะไมโลสลิปิดคอมเพล็กซ์ของแป้งข้าวเจ้า*	76
ตาราง 4.15	ผลของเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ได้จากการทำแห้งแบบอบลมร้อน (TGDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเกิดเจลลิตีโนเซชันของแป้งข้าวเจ้า*	78
ตาราง 4.16	ผลของเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ได้จากการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TGDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเกิดอะไมโลสลิปิดคอมเพล็กซ์ของแป้งข้าวเจ้า*	79



สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตาราง 4.17 ผลของเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDGDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเกิดเจลาตินในเซชันของแป้งข้าวเจ้า*	80
ตาราง 4.18 ผลของเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDGDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเกิดอะไมโลสลิปิดคอมเพล็กซ์ของแป้งข้าวเจ้า*	81
ตาราง 4.19 ผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการย่อยได้ของแป้งข้าวเจ้า*	83
ตาราง 4.20 ผลของเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ได้จากการทำแห้งแบบอบลมร้อน (TGDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการย่อยได้ของแป้งข้าวเจ้า* (เมื่อ RDS = Rapid digestibility starch, SDS = Slow digestibility starch, RS = Resistance starch และ SDI = Starch digestibility index)	84



สารบัญภาพประกอบ

	หน้า
ภาพประกอบ 2.1	โครงสร้างของเซลลูโลส 10
ภาพประกอบ 2.2	โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส 10
ภาพประกอบ 2.3	โครงสร้างของเพคติน 12
ภาพประกอบ 2.4	โครงสร้างของลิกนิน 15
ภาพประกอบ 4.1	ความสามารถในการอุ้มน้ำ (WHC) และความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (OHC) ของเส้นใยอาหารจากมะม่วง ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน 59
ภาพประกอบ 4.2	ความสามารถในการอุ้มน้ำ (WHC) และ ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (OHC) ของเส้นใยอาหารจากฝรั่งซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน 60
ภาพประกอบ 4.3	Amplitude sweep test ของเจลข้าวเจ้าความเข้มข้นร้อยละ 10 ที่อุณหภูมิและความถี่ที่ 25 องศาเซลเซียส และ 1 Hz มีการเปลี่ยนแปลงของความเครียด (Strain) ในช่วงร้อยละ 0.01 – 1000 64
ภาพประกอบ 4.4	ผลของเส้นใยอาหารของมะม่วงที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเปลี่ยนแปลงของโมดูลัสสะสม (Storage modulus; G') และโมดูลัสสูญเสีย (Loss modulus; G'') ของเจลแป้งข้าวเจ้าความเข้มข้นร้อยละ 10 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของความถี่ในช่วง 1 – 10 Hz 66
ภาพประกอบ 4.5	ผลของเส้นใยอาหารของฝรั่งที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเปลี่ยนแปลงของโมดูลัสสะสม (Storage modulus; G') และโมดูลัสสูญเสีย (Loss modulus; G'') ของเจลแป้งข้าวเจ้าความเข้มข้นร้อยละ 10 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของความถี่ในช่วง 1 – 10 Hz 67
ภาพประกอบ 4.6	เทอร์โมแกรมจาก DSC แสดงผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วง ที่ได้จากการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TMDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อคุณสมบัติการเกิด เจลาตินเนชันของแป้งข้าวเจ้า 73
ภาพประกอบ 4.7	เทอร์โมแกรมจาก DSC แสดงผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วง ที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อคุณสมบัติการเกิดเจลาตินเนชันของแป้งข้าวเจ้า 75
ภาพประกอบ 4.8	เทอร์โมแกรมจาก DSC แสดงผลของเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ได้จากการทำแห้งแบบอบลมร้อน (TGDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อคุณสมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวเจ้า 78



สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

หน้า

ภาพประกอบ 4.9	เทอร์โมแกรมจาก DSC แสดงผลของเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDGDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อคุณสมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวเจ้า	80
---------------	--	----



บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

เส้นใยอาหาร (Dietary fiber, DF) ประกอบด้วยส่วนผสมของคาร์โบไฮเดรตจากพืช ทั้งในรูปของโอลิโกแซ็กคาไรด์และโพลีแซ็กคาไรด์ ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส สารประกอบ เพกติน กัม แป้งที่ทนต่อการย่อย (Resistant starch, RS) อินนูลิน และลิกนิน (Elleuch *et al.*, 2010) เส้นใยอาหารไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ในลำไส้เล็กของมนุษย์ แต่อาจถูกย่อย ได้บางส่วน หรือถูกย่อยได้ทั้งหมดในลำไส้ใหญ่ โดยพบว่าส่วนใหญ่ของเส้นใยอาหารเป็นส่วนที่ รับประทานได้ของเซลล์พืช ทั้งนี้ผนังเซลล์ของผลไม้ ผัก และธัญพืชเป็นแหล่งของเส้นใยอาหาร ที่มนุษย์นำมาบริโภคมากที่สุด (Jimenez *et al.*, 2000)

เส้นใยอาหารมีความสำคัญต่อร่างกายของมนุษย์ โดยอาหารที่มีเส้นใยอาหารสูงสามารถ ป้องกัน ลด และช่วยรักษาโรคบางชนิด (Anderson *et al.*, 1994) ตัวอย่างเช่น โรคหัวใจ ท้องผูก การระคายเคืองลำไส้ มะเร็งลำไส้ และโรคเบาหวาน เป็นต้น (Eim *et al.*, 2007) องค์ประกอบทางเคมี คุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของเส้นใยอาหาร มีผลต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหาร ทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการ ดูดจับไขมัน รวมถึงการทำงานของระบบกระเพาะอาหาร และลำไส้เล็กในมนุษย์แตกต่างกัน (Chau and Huang, 2003) เส้นใยแบ่งออกเป็นสองประเภทคือ เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (Soluble dietary fiber, SDF) และเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble dietary fiber, IDF) เส้นใยที่ได้จากผลไม้ และผักมีอัตราส่วนของเส้นใยที่ละลายน้ำสูง ขณะที่เส้นใยจากธัญพืช มีเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสซึ่งไม่ละลายน้ำมากกว่า (Figuerola *et al.*, 2005)

ผลไม้ นอกจากมีความสำคัญในการเป็นแหล่งของสารอาหารหลายชนิดได้แก่ โปแทสเซียม วิตามินซี กรดโพลีค และยังมีปราศจากคลอเลสเตอรอลแล้ว (Kahlon and Smith, 2006) ยังพบว่าผลไม้ประกอบด้วยเส้นใยอาหารที่มีคุณภาพดีกว่าเส้นใยอาหารจากแหล่งอื่น เช่น ธัญพืช เนื่องจากเส้นใยอาหารจากผลไม้มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ความสามารถในการการอุ้มน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน และการถูกหมักในลำไส้ใหญ่สูงกว่าเส้นใยอาหารจากธัญพืช และยัง พบว่าปริมาณของกรด ไฟติกของเส้นใยอาหารจากผลไม้มีค่าต่ำกว่าที่พบในเส้นใยอาหารจากธัญพืชอีกด้วย นักวิจัยหลายคน (Figuerola *et al.*, 2005; Saura-Calixto, 1998; Vergara-Valencia *et al.*, 2007) รายงานว่าเส้นใยอาหารจากผลไม้มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น ฟลาโวนอยด์ โพลีฟีนอล และแคโรทีนเป็นองค์ประกอบด้วย สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเหล่านี้มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูล อิสระ ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระสามารถยับยั้งหรือชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชัน และมีฤทธิ์ทำลายอนุมูล อิสระที่ร่างกายได้รับ โดยถือเป็นการดูแลสุขภาพอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการป้องกันโรค ร้ายแรงหลายชนิด เช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจ โรค อัลไซเมอร์ เป็นต้น (อนุชิตา มุ่งงาม, 2553) เส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant dietary fiber, AODF) คือผลิตภัณฑ์ ที่ประกอบด้วยเส้นใยอาหาร และสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ โดย 1 กรัมของเส้นใยอาหาร



ที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระควรมีปริมาณเส้นใยมากกว่าร้อยละ 50 ของน้ำหนักแห้ง (วัดด้วยวิธีของ AOAC) และมีความสามารถในการจับอนุมูลอิสระเท่ากับวิตามินอีอย่างน้อย 50 มิลลิกรัม (วัดด้วยวิธี DPPH) AODF ในปริมาณที่เพียงพอสามารถลดปริมาณไลโปโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำ (Low density lipoprotein; LDL) ในกระแสเลือดได้ และช่วยป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ทำให้ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ (Saura-Calixto, 1998)

จากการศึกษาคุณสมบัติของเส้นใยอาหารเมื่อเสริมในอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต ซึ่งเป็นอาหารประเภทที่ส่งเสริมให้มีความเข้มข้นของกลูโคสในเลือด และค่าดัชนีไกลซีมิกสูง พบว่าเส้นใยอาหารเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้การถูกย่อยได้ของอาหารลดลง เนื่องจากทำให้เกิดการย่อยของอาหารอย่างช้าๆ ในลำไส้เล็ก (Trinidad et al., 2010) การดูดซึมสารอาหารในลำไส้เล็กจะลดลง ทำให้ปริมาณกลูโคส และปฏิกิริยาของอินซูลินในเลือดต่ำหลังจากรับประทานอาหาร (Hu et al., 2004) นอกจากนี้เส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากผลไม้ยังมีประโยชน์ในการขจัดสารพิษจากกระบวนการ เมทาบอลิซึมที่เป็นอันตราย จากการศึกษาเปรียบเทียบกับ Cholestyramine ซึ่งเป็นยาลดคอเลสเตอรอล พบว่าเส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากผลไม้สามารถจับกับกรดน้ำดีที่สังเคราะห์ขึ้นในตับ จึงส่งผลให้ระดับคอเลสเตอรอลลดลง เช่นเดียวกับ Cholestyramine (Kahlon and Smith, 2006)

เส้นใยอาหารจากกระบวนการผลิต และแหล่งที่แตกต่างกันมีความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมี คุณสมบัติทางเคมี และเคมีกายภาพ ความแตกต่างของคุณสมบัติดังกล่าวส่งผลให้คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารมีความแตกต่างกัน โดยพบว่าคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารจากพืชขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำต่อเส้นใยที่ละลายน้ำ สภาวะในการผลิต และแหล่งที่มาของเส้นใยอาหารเป็นต้น (Figuerola et al., 2005)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงกระบวนการผลิตเส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากผลไม้สองชนิด คือ มะม่วง และฝรั่ง ที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของเส้นใยอาหาร ได้แก่ คุณสมบัติทางเคมี คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ ผลของเส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากผลไม้ต่อคุณสมบัติต่างๆ ของแป้งข้าวเจ้า เพื่อเป็นแนวทางในการนำเส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากผลไม้ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบ รวมทั้งศึกษาผลของเส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้ต่อสุขภาพของมนุษย์ โดยมุ่งศึกษาถึงความสามารถในการเปลี่ยนแปลงการถูกย่อยได้ของแป้งข้าวเจ้า

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพของเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่ง ที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน
2. เพื่อศึกษาผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน และที่ความเข้มข้นแตกต่างกันต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเจ้า
3. เพื่อศึกษาผลของเส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากมะม่วงและฝรั่งต่อการถูกย่อยได้ของแป้งข้าวเจ้า



สมมติฐานของการวิจัย

1. เส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งจากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกันมีคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพแตกต่างกัน
2. เส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งจากกรรมวิธีการผลิตและที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน มีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเจ้าแตกต่างกัน
3. การเติมเส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระจากมะม่วง และฝรั่งลงในแป้งข้าวเจ้า มีผลต่อการถุกย่อยได้ของแป้งข้าวเจ้า

ความสำคัญของการวิจัย

1. ด้านการเกษตร ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้จะเป็นการส่งเสริมให้ผู้บริโภคชาวไทย และชาวต่างชาติทราบข้อมูลด้านโภชนาการที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพในอีกแง่มุมหนึ่งของผลไม้ของไทย ๒ ชนิดคือ มะม่วง และฝรั่ง ช่วยกระตุ้นให้ผู้บริโภคหันมารับประทานผลไม้ของไทยมากขึ้น ส่งผลต่อเนื่องให้เกษตรกรชาวไทยสามารถจำหน่ายผลผลิตทางการเกษตรได้เพิ่มขึ้น เป็นการช่วยสร้างความมั่นคงในอาชีพของเกษตรกรไทยได้อีกทางหนึ่ง
2. ด้านอุตสาหกรรม งานวิจัยนี้จะทำให้ทราบกรรมวิธีที่เหมาะสมในการผลิต AODF จากมะม่วง และฝรั่งให้มีคุณสมบัติทางเคมี เคมีกายภาพ รวมทั้งผลต่อสุขภาพของผู้บริโภค ตามที่ผู้ผลิตต้องการ สามารถนำความรู้ส่วนนี้ไปต่อยอดเพื่อผลิต AODF เพื่อจำหน่ายในทางการค้า นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ยังมีการทดลองศึกษาผลของ AODF ต่อการเปลี่ยนแปลงการถุกย่อยได้ของแป้งข้าวเจ้า ความรู้ที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิจัยและพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคในยุคปัจจุบันที่ตระหนักถึงความสำคัญด้านสุขภาพเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ
3. ด้านสุขภาพ ได้อาหารเพื่อสุขภาพที่มีประสิทธิภาพในการป้องกัน และลดความเสี่ยงในการเกิดโรคบางชนิด เช่น โรคอ้วน เบาหวาน และโรคหลอดเลือดอุดตัน เป็นต้น

ขอบเขตของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้ตัวอย่างผลไม้ 2 ชนิดได้แก่ มะม่วง และฝรั่ง ซึ่งนำไปผ่านกรรมวิธีการผลิตเส้นใยอาหาร 4 วิธี โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง รายละเอียดของตัวแปรที่ศึกษาในการทดลองต่างๆ เป็นดังนี้

การทดลองที่ 1: การศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพของเส้นใยอาหารตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่

1. ตัวแปรอิสระ

กรรมวิธีการผลิตเพื่อให้ได้มาซึ่งเส้นใยอาหารจากมะม่วง หรือฝรั่ง 4 วิธี ได้แก่ 1) การผลิตเส้นใยอาหารแบบสด 2) การผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด 3) การผลิตโดยทำแห้งแบบแช่



เยือกแข็ง 4) การผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ และไม่ผ่านการทำแห้ง

2. ตัวแปรตาม

2.1 คุณสมบัติทางเคมี

2.1.1 องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และปริมาณแป้งทั้งหมด

2.1.2 ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ และ เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

2.1.3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

2.1.4 ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ

2.2 คุณสมบัติทางกายภาพ

2.2.1 ความสามารถในการอุ้มน้ำ

2.2.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน

การทดลองที่ 2: ผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วง หรือฝรั่งต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ ของแป้งข้าวเจ้า ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่

1. ตัวแปรอิสระ

1.1 กรรมวิธีการผลิตเพื่อให้ได้มาซึ่งเส้นใยอาหารจากมะม่วง หรือฝรั่ง 4 วิธี ได้แก่ 1) การผลิตเส้นใยอาหารแบบสด 2) การผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบภาค 3) การผลิตโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง 4) การผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง

1.2 ความเข้มข้นของเส้นใยอาหารจากมะม่วง หรือฝรั่ง 4 ความเข้มข้น คือ ร้อยละ 0, 2.5, 5.0, และ 7.5

2. ตัวแปรตาม

2.1 คุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะให้ความร้อน

2.2 คุณสมบัติด้านรีโอโลยี

2.3 คุณสมบัติด้านความร้อน

การทดลองที่ 3: ผลของเส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระจากมะม่วง และฝรั่งต่อการถูกย่อยได้ของแป้งข้าวเจ้า ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่

1. ตัวแปรอิสระ

ความเข้มข้นของเส้นใยอาหารจากมะม่วง หรือฝรั่งจากกรรมวิธีการผลิตซึ่งให้เส้นใยอาหาร ที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่ร้อยละ 0, 2.5, 5.0, และ 7.5

2. ตัวแปรตาม

2.1 ปริมาณแป้งที่ย่อยได้อย่างรวดเร็ว (Rapidly digestible starch, RDS)

2.2 ปริมาณแป้งที่ย่อยได้ช้า (Slow digestible starch, SDS)

2.3 ปริมาณแป้งที่ทนต่อการย่อย (Resistant starch, RS)

2.4 ดัชนีในการถูกย่อยได้ของแป้ง (Starch digestibility index, SDI)



นิยามศัพท์เฉพาะ

การย่อยได้ของแป้ง (Starch digestibility) หมายถึง ความสามารถในการย่อยได้ของแป้งโดยเอนไซม์ในลำไส้เล็กของร่างกาย (Frei et al., 2003) องค์ประกอบของแป้งสามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภทตามความสามารถในการย่อยได้ของแป้งดังนี้ 1) แป้งส่วนที่ถูกย่อยได้อย่างรวดเร็ว (Rapidly digesting starch; RDS), 2) แป้งส่วนที่ถูกย่อยได้อย่างช้าๆ (Slowly digesting starch; SDS), และ 3) แป้งส่วนที่ทนทานต่อการย่อย (Resistant starch) (Singh, Dartois and Kaur, 2010)

สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) เป็นสารที่สามารถยับยั้งหรือชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือเป็นสารที่ยับยั้งปฏิกิริยาถูกโอโซนของอนุมูลอิสระ และมีฤทธิ์ทำลายอนุมูลอิสระที่ร่างกายได้รับ (อนุชิตา มุ่งงาม, 2553)

สารออกฤทธิ์ชีวภาพ (Bioactive Compounds) หมายถึง สารที่เมื่อได้รับเข้าสู่ร่างกายนอกจากมีคุณค่าทางโภชนาการปกติแล้ว ยังมีผลต่อสรีระและระบบต่างๆของร่างกาย ทำให้ร่างกายมีภูมิคุ้มกันโรค สามารถป้องกันโรคได้หากได้รับในปริมาณที่เพียงพอและสม่ำเสมอ ตัวอย่างเช่น วิตามินอี เบต้าแคโรทีน โลโคปีน โพลีฟีนอล และไอโซฟลาโวน เป็นต้น (อนุชิตา มุ่งงาม, 2553)

เส้นใยอาหาร (Dietary fiber) หมายถึง ส่วนของพืชที่สามารถรับประทานได้หรือเป็นสารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่ทนต่อการย่อยและการดูดซึมภายในลำไส้เล็กของมนุษย์ แต่จะเกิดการหมักบางส่วนหรือทั้งหมดภายในลำไส้ใหญ่ เส้นใยอาหารประกอบไปด้วย โพลีแซ็กคาไรด์ โอลิโกแซ็กคาไรด์ ลิกนิน และสารประกอบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยมีประโยชน์ที่มีผลทางกายภาพ ได้แก่ การระบาย การลดคอเลสเตอรอลในเลือด และการลดปริมาณกลูโคสในเลือด (Van der Kamp et al., 2004)

เส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant dietary fiber; AODF) คือ ผลิตผลที่ประกอบด้วยปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติที่พบในเส้นใย โดย 1 กรัมของ AODF ควรมีความสามารถในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้เท่ากับวิตามินอีอย่างน้อย 200 มิลลิกรัม (วัดด้วยวิธี Thiocyanate procedure) และขับอนุมูลอิสระเท่ากับวิตามินอีอย่างน้อย 50 มิลลิกรัม (ตรวจวัดด้วย DPPH radical scavenging assay) (Saura-Calixto, 1998)



บทที่ 2

ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

2.1 ความหมายของเส้นใยอาหาร (Dietary fiber) และเส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant dietary fiber, AODF)

2.1.1 เส้นใยอาหาร (Dietary fiber)

เส้นใย (Fiber) เป็นส่วนประกอบในอาหารหลายชนิด เดิมเรียกว่าเส้นใยหยาบ (Crude fiber) ซึ่งหมายถึง สารที่หลงเหลืออยู่ภายหลังกการย่อยด้วยกรดและด่าง นั่นคือเซลลูโลส และลิกนินเท่านั้น ต่อมาได้มีการศึกษาเกี่ยวกับคาร์โบไฮเดรตมากขึ้น ทำให้พบว่าคาร์โบไฮเดรตบางประเภทที่ไม่สามารถย่อยสลายได้โดยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์และส่งผลดีต่อสุขภาพ จึงให้ชื่อคาร์โบไฮเดรตเหล่านี้เสียใหม่ว่าเป็นเส้นใยอาหาร (Dietary fiber) ดังนั้นความหมายที่แท้จริงของเส้นใยอาหารจึงแตกต่างจากเส้นใยหยาบ ทั้งนี้สามารถนิยามเส้นใยอาหารได้ว่าเป็นคาร์โบไฮเดรตทุกชนิดที่ไม่สามารถถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ และในอาหารทั่วไปพบว่าเส้นใยอาหารมักมีค่ามากกว่าเส้นใยหยาบประมาณ 2-16 เท่า (นิธิยา รัตนปานนท์, 2551) ในปี ค.ศ. 2004 Van der Kamp et al. ให้ความหมายของเส้นใยอาหารอ้างอิงตาม American Association of Cereal Chemists (2001) ไว้ว่า เส้นใยอาหารคือ ส่วนของพืชที่สามารถรับประทานได้หรือเป็นสารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่ทนต่อการย่อยและการดูดซึมภายในลำไส้เล็กของมนุษย์ แต่จะเกิดการหมักบางส่วนหรือทั้งหมดภายในลำไส้ใหญ่ ทั้งนี้เส้นใยอาหารประกอบไปด้วย โพลีแซ็กคาไรด์ โอลิโก แซ็กคาไรด์ ลิกนิน และสารประกอบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยมีประโยชน์ต่อสุขภาพ ได้แก่ การระบาย การลดคอเลสเตอรอลในเลือด และการลดปริมาณกลูโคสในเลือด

2.1.2 เส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant dietary fiber, AODF)

เส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ คือ ผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วยเส้นใยอาหารและสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ โดยต้องมีปริมาณเส้นใยอาหารมากกว่าร้อยละ 50 (น้ำหนักแห้ง) และ 1 กรัมของเส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระควรมีความสามารถในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้เท่ากับวิตามินอีอย่างน้อย 200 มิลลิกรัม และขับอนุมูลอิสระเท่ากับวิตามินอีอย่างน้อย 50 มิลลิกรัม และนอกจากนี้ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant capacity) ต้องเป็นคุณสมบัติจากภายในที่เกิดขึ้นเองจากองค์ประกอบโดยธรรมชาติของวัตถุดิบ ไม่มีการเติมสารต้านอนุมูลอิสระ สารเคมี หรือเอนไซม์ใดๆ ทั้งสิ้น (Saura-Calixto, 2003) ซึ่งเส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในปริมาณที่เพียงพอสามารถลดปริมาณของไลโปโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำ (Low density lipoprotein; LDL) ในกระแสเลือดได้ และช่วยป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ทำให้ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ (Saura-Calixto, 1998)



2.2 ประเภทของเส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

ในการแบ่งประเภทของเส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สามารถแบ่งได้เช่นเดียวกับการแบ่งประเภทของเส้นใยอาหารทั่วไป ซึ่งสามารถแบ่งได้ตามคุณลักษณะ 2 คุณลักษณะ ได้แก่ การแบ่งตามหน้าที่ และการแบ่งตามการละลาย

2.2.1 การแบ่งตามหน้าที่

ปัจจุบันเส้นใยอาหารแบ่งตามหน้าที่ออกได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

1) โครงสร้างที่เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ (Structural polysaccharides) คือ เส้นใยอาหารที่เป็นพอลิแซ็กคาไรด์และทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างผนังเซลล์พืช ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพกตินบางส่วน

2) โครงสร้างส่วนที่ไม่เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ (Structural non-polysaccharides) คือ เส้นใยอาหารที่ไม่ใช่พอลิแซ็กคาไรด์ แต่ทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบโครงสร้างของผนังเซลล์พืช ได้แก่ ลิกนิน

3) พอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่เป็นโครงสร้าง (Non-structural polysaccharides) คือ เส้นใยอาหารที่เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ แต่ไม่ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์พืช ได้แก่ กัม และมิวซิเลจ (นิธิยา รัตนพานนท์, 2551)

2.2.2 การแบ่งตามการละลาย

1) เส้นใยอาหารประเภทที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble dietary fiber; IDF)

เส้นใยอาหารประเภทที่ไม่ละลายน้ำ เป็นส่วนสร้างความแข็งแรงของผนังเซลล์พืช และเป็นโครงสร้างของเนื้อไม้ในพืช เส้นใยอาหารเหล่านี้พบได้ในพืชผักทั่วไป ร่างกายไม่สามารถย่อยและดูดซึมเส้นใยอาหารเหล่านี้ได้ การลำเลียงจากกระเพาะอาหารสู่ลำไส้ใหญ่จึงรวดเร็ว และพร้อมที่จะขับถ่ายออกมา เส้นใยอาหารเหล่านี้จะดูดน้ำไว้กับตัว และเพิ่มปริมาณกากอาหาร ทำให้ขับกากอาหารออกไม่ตกค้างอยู่ในลำไส้ใหญ่นาน จัดเป็นใยอาหารชนิดที่ช่วยขับถ่าย ป้องกัน และรักษาอาการท้องผูกเป็นหลัก (นุชนาฏ กิจเจริญ, 2006) เส้นใยอาหารประเภทนี้มีหลายชนิด เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน คิวติน และไซ เป็นต้น โดยเส้นใยอาหารจากธัญพืชจะมีปริมาณเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสที่สูงกว่าผักและผลไม้ (Figuerola et al., 2005)

2) เส้นใยอาหารประเภทละลายน้ำได้ (Soluble dietary fiber; SDF)

เส้นใยอาหารประเภทละลายน้ำได้ เป็นส่วนของเส้นใยอาหารที่มีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ และสามารถดูดซับสารที่ละลายในน้ำไว้กับตัว โดยเมื่อสัมผัสน้ำจะละลาย เกิดเป็นสารชั้นหนืดที่สามารถเคลือบผนังกระเพาะอาหารและลำไส้ ผนังกระเพาะอาหารและลำไส้ จึงหนามากขึ้น ส่งผลให้รบกวนการดูดซึมสารอาหารต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารที่มีประจุ เช่น แป้ง น้ำตาล และไขมัน เป็นต้น จึงมีผลช่วยป้องกันหรือชะลอการดำเนินของโรคเบาหวานและโรคไขมันในเลือดสูงด้วย และการที่ไม่เลกุลของเส้นใยอาหารมีส่วนที่เป็นกรดอิสระอยู่ ซึ่งเป็นส่วนที่ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนประจุกับสารอื่นๆ ที่มากับอาหารหรืออาจเป็นสารพิษที่มีการปนเปื้อนมา กลุ่มของกรดอิสระจะช่วยดูดซับและดึงเอาสารพิษออกได้ จากการเกิดเป็นสารชั้นหนืด จึงทำให้เส้นใยอาหารสามารถเพิ่มความหนืดของอาหารโดยรวมด้วย มีผลให้อาหารเคลื่อนตัวได้ช้าลง ซึ่งทำให้อาหารอยู่ในระบบทางเดินอาหารนานขึ้นตามไปด้วย จึงรู้สึกอิ่มได้นานขึ้น และนอกจากนี้เส้นใยอาหาร



ที่ละลายน้ำได้ส่วนใหญ่จะถูกแบคทีเรียในลำไส้ย่อยสลายเป็นกรดไขมันชนิดสายสั้น (Short-chain fatty acid) และถูกดูดซึมได้ จึงเหลือเป็นกากอาหารที่จะเพิ่มปริมาณเนื้ออุจจาระน้อยกว่ากลุ่มเส้นใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำ แต่หากรับประทานเส้นใยอาหารนี้มากเกินไป หรือรับประทานติดต่อกันเป็นเวลานานอาจทำให้ร่างกายได้รับสารอาหารต่างๆ โดยเฉพาะวิตามินและแร่ธาตุบางชนิดน้อยลงได้ (กุลศิริ ช.ศิริบุญ, 2541; นุชนาฏ กิจเจริญ, 2006) ตัวอย่างเส้นใยอาหารประเภทนี้ เช่น เพคติน เบต้า-กลูแคน และกัมชนิดต่างๆ เป็นต้น เส้นใยอาหารเหล่านี้พบได้ในพืช ผัก และผลไม้ ซึ่งในผักและผลไม้จะมีส่วนของเส้นใยที่ละลายน้ำเป็นส่วนใหญ่ (Figuerala et al., 2005) โดยเพคตินพบได้ในผลไม้ตระกูลส้ม เช่น ส้ม ฝรั่ง แอปเปิ้ล ผัก พืชตระกูลถั่ว และพืชรก (หัวปืท และมันฝรั่ง) ส่วนเบต้า-กลูแคน พบในธัญพืชพวกข้าวโอ๊ต ข้าวบาร์เลย์ ข้าวไรย์ ข้าวสาลี ข้าวฟ่าง ข้าว และข้าวโพด (Devries, n.d)

ตาราง 2.1 ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและละลายน้ำได้ของสาหร่ายทะเล ผลไม้ ผัก และธัญพืชบางชนิด (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)

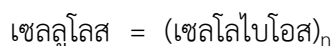
แหล่งของเส้นใยอาหาร	เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ	เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ
สาหร่ายทะเล		
ฮิจิกิ (Hijiki)	32.9	16.3
อะราเมะ (Arame)	59.7	14.9
โนริ (Nori)	17.9	16.8
อัลวา ริจิดะ (Ulva rigida)	19	21
ผลไม้		
แอปเปิ้ล	5.8	7.5
ส้ม	9.8	5.2
พืช	7.1	6.4
มะเขือเทศ	7.4	11.4
อินทผลัม	5.16-6.68	9.19-11.7
ผัก		
แครอท	14.9	11.1
มันฝรั่ง	2.12	4.97
ธัญพืช		
ข้าว	0.19	0.75
ข้าวโอ๊ต	4.21	5.66

ที่มา : ดัดแปลงจาก Elleuch et al. (2011)



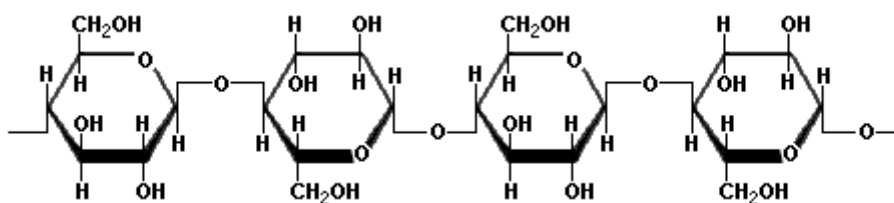
2.3 ชนิดของเส้นใยอาหาร

2.3.1 เซลลูโลส (Cellulose) เป็นโพลิเมอร์เชิงเส้นสายตรงของน้ำตาลกลูโคส และเป็นคาร์โบไฮเดรตที่พบมากที่สุด เนื่องจากเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์พืช โดยรวมตัวอยู่กับไซแลน (Xylan) และลิกนิน (Lignin) เซลลูโลสไม่ละลายน้ำ ทนต่อปฏิกิริยาของเอนไซม์ กรด และด่างที่เจือจาง ถูกย่อยได้ด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ร่างกายคน และสัตว์บางชนิดไม่มีเอนไซม์เซลลูเลส ในระบบย่อยอาหาร ทำให้ไม่สามารถย่อยเอนไซม์เซลลูเลสจากพืชเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้ ส่วนสัตว์พวกที่กินพืชเป็นอาหาร (Herbivorous animal) เช่น โค และกระบือ สามารถย่อยเซลลูเลสได้ เนื่องจากในกระเพาะมีจุลินทรีย์ (Rumen microflora) ซึ่งมีเอนไซม์เซลลูเลสช่วยย่อยเซลลูเลสได้ โมเลกุลของเซลลูโลสประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่ง β -D-(1 \rightarrow 4) ซึ่งแตกต่างจากโมเลกุลของสตาร์ชที่น้ำตาลกลูโคสต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่ง α -D-(1 \rightarrow 4) โมเลกุลของเซลลูโลสเป็นสายยาวไม่มีสายแขนง สายยาวเกาะกันตามแนวราบด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ในโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคส ทำให้โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลสเป็นพอลิคริสตัลไลน์ (Polycrystalline) ที่แข็งแรงยึดเกาะกันเป็นเส้นใย (Fibrous) เซลลูโลสมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณหนึ่งแสนถึงสองล้าน สูตรโมเลกุลโดยย่อคือ



เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลสในแต่ละหน่วยย่อยของน้ำตาลกลูโคส มีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระเหลืออยู่ ซึ่งจะเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายของพอลิเมอร์ ทำให้บางส่วนของโครงสร้างเป็นผลึก ส่วนที่เกิดผลึกนี้จะมีน้ำหนักแน่นมากกว่า จึงทนต่อการถูกไฮโดรไลซ์ และสารเคมีมากกว่าส่วนที่ไม่เป็นผลึก (Noncrystalline หรือ Amorphous) นอกจากนี้ส่วนที่เป็นผลึกยังดูดน้ำได้น้อยกว่าด้วย ทำให้ไม่สามารถละลายน้ำได้ โมเลกุลของเซลลูโลสที่มีดีกรีของส่วนที่เป็นผลึก (Degree of crystallinity) สูงมีความยืดหยุ่น และมีแรงต้าน (Tensile strength) ของเส้นใยเซลลูโลสมากขึ้น ทำให้อาหารที่มีเซลลูโลสในปริมาณมากมีลักษณะเนื้อสัมผัสเหนียว สำหรับส่วนของโมเลกุลเซลลูโลสที่ไม่เป็นผลึกหรือไม่มีรูปร่าง สามารถดูดน้ำ และพองตัวได้มาก เมื่อโมเลกุลเซลลูโลสนี้ได้รับความร้อนพันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย มีผลให้โมเลกุลสามารถดูดน้ำได้มากขึ้น ทำให้ส่วนของโมเลกุลที่เป็นผลึกมีปริมาณลดลงด้วย ในทางตรงกันข้ามการลดปริมาณน้ำให้น้อยลง เช่น การอบแห้ง อาจทำให้ส่วนของโมเลกุลที่ไม่เป็นผลึกเปลี่ยนไปเป็นผลึกได้ ดังนั้นจึงพบว่าผักอบแห้งมักมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่เหนียวมากขึ้น มีค่าความเป็นพลาสติก (Plasticity) และการพองตัวลดลง (นิธิยา รัตน์พานนท์, 2551)



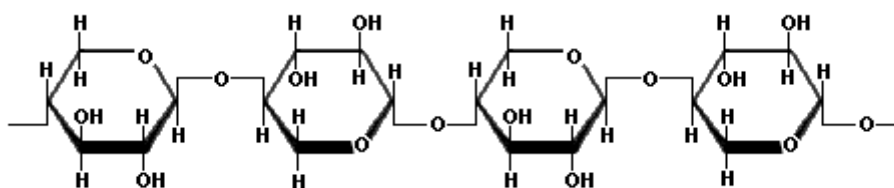


ภาพประกอบ 2.1 โครงสร้างของเซลลูโลส

ที่มา : <http://www.scientificpsychic.com/fitness/carbohydrates2.html>

2.3.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เฮมิเซลลูโลสเป็นกลุ่มของเฮทเทอโร พอลิแซ็กคาไรด์ที่โมเลกุลประกอบด้วย น้ำตาลตั้งแต่ 2-4 ชนิดขึ้นไป มีทั้งน้ำตาลเฮกโซสและเพนโทส น้ำตาลที่พบมากคือ น้ำตาลไซโลส (D-xylose) และอะราบิโนส (L-arabinose) นอกจากนั้นยังพบน้ำตาลกลูโคส (D-glucose) แมนโนส (D-mannose) กาแล็กโทส (D-galactose) กรดกลูโคโลนิก (D-glucuronic acid) และ 4-O-methyl-D-glucuronic acid ด้วย

เฮมิเซลลูโลสจำแนกออกตามชนิดของน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบภายในโมเลกุลได้เป็นไซแลน (Xylans) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลไซโลส แมนแนน (Mannans) เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลแมนโนส การแล็กแทน (Galactans) เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกาแล็กโทส อะราบิโนกาแล็กแทน (Arabinogalactans) กลูโคแมนแนน (Glucomannans) และอะราบิโนไซแลน (Arabinoxylans) สำหรับไซแลน เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลไซโลสที่ต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่ง β -(1 \rightarrow 4) เฮมิเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของผนังเซลล์พืช โดยรวมอยู่กับลิกนินและเซลลูโลส มีสมบัติไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ในสารละลายต่าง (นิธิยา รัตนปานนท์, 2551)



ภาพประกอบ 2.2 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส

ที่มา: <http://www.scientificpsychic.com/fitness/carbohydrates2.html>

2.3.3 สารประกอบเพคติน (Pectin substances) เป็นกลุ่มของพอลิแซ็กคาไรด์ที่พบใน Middle lamellae ของผนังเซลล์พืช โดยรวมตัวอยู่กับเซลลูโลส ทำหน้าที่ยึดเกาะผนังเซลล์ให้ติดกัน คล้ายเป็นซีเมนต์ สารประกอบเพคตินที่ถูกสร้างขึ้นในพืช คือ โปรโตเพคติน (Protopectin) พบมากในผักและผลไม้ โดยเฉพาะผลไม้ดิบ



สารประกอบเพคตินเป็นพอลิเมอร์สายยาวของกรดกาแล็กทูโรนิก (D-galacturonic acid) หรือ α -D-galactopyranosyluronic acid) ต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่ง β -(1 \rightarrow 4) โดยหมู่ คาร์บอกซิล (-COOH) ในโมเลกุลกรดกาแล็กทูโรนิกบางส่วนจะถูก เอสเทอร์ไฟต์ด้วยหมู่เมทิลได้เป็นเมทอกซิลเอสเทอร์ และมีบางส่วนยังคงเหลือเป็นหมู่คาร์บอกซิลอิสระ นอกจากนั้นหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ที่คาร์บอนตำแหน่ง 2 และ 3 อาจถูก Acetylated ได้ ในโมเลกุลของสารประกอบ เพคตินที่สกัดได้จากธรรมชาติยังมีน้ำตาลชนิดอื่นๆปนอยู่ด้วย เช่น น้ำตาลไซโลส กาแล็กโทส อะราบิโนส และแรมโนส โดยโมเลกุลของน้ำตาลจะเกาะอยู่เป็นสายแขนง น้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบเพคตินผันแปรอยู่ในช่วงประมาณ 10,000-400,000 ดาลตัน และมีกรดกาแล็กทูโรนิก ประมาณ 300-800 หน่วยต่อโมเลกุลของสารประกอบเพคติน

สารประกอบเพคติน เป็นกลุ่มของสารประกอบเชิงซ้อน สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1) โปรโตเพคติน เป็นสารประกอบเพคตินที่ไม่ละลายน้ำ และพบมากในผลไม้ดิบ ในโมเลกุล โปรโตเพคตินมีหมู่เมทอกซิลอยู่ประมาณร้อยละ 9-12 หากเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน อย่างสมบูรณ์ จะมีหมู่เมทอกซิลอยู่ในโมเลกุลของโปรโตเพคตินประมาณร้อยละ 16 จัดว่ามี Degree of methoxylation เป็นร้อยละ 100 แต่จะไม่เกิดขึ้นในธรรมชาติ ระหว่างกระบวนการสุก ของผลไม้ โปรโตเพคตินจะถูกไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์หรืออาจใช้ต่างจะทำให้หมู่เมทิลถูกแยกออกไป บางส่วนได้เป็นหมู่คาร์บอกซิลอิสระ เรียกว่า กรดเพคตินิก (Pectinic acid) เป็นสารประกอบ เพคตินที่ละลายได้ในน้ำ

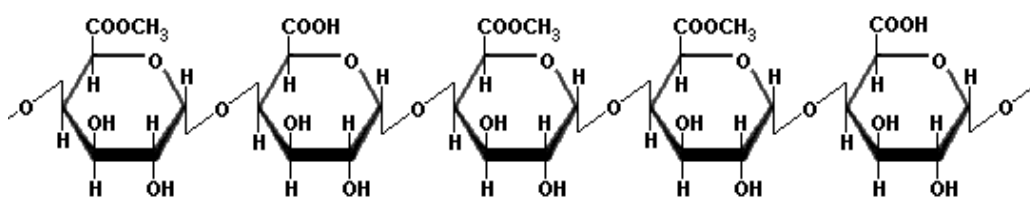
2) กรดเพคตินิก เป็นสารประกอบเพคตินหรือพอลิเมอร์ของกรดกาแล็กทูโรนิก ที่มีหมู่เมทิลเอสเทอร์เหลืออยู่บางส่วน และเมื่อถูกไฮโดรไลซ์เอาหมู่เมทิลออกจนหมดจะได้กรดเพคติก (Pectic acid)

3) กรดเพคติก เป็นสารประกอบเพคตินหรือพอลิเมอร์ของกรดกาแล็กทูโรนิก ที่ไม่มีหมู่เมทิลเอสเทอร์อยู่ในโมเลกุลเลย

ดังนั้นสารประกอบเพคตินหรือเพคติก จึงเป็นการเรียกชื่อรวมๆของกรดเพคตินิก ที่มีร้อยละ ของหมู่เมทอกซิล หรือ degree of methoxylation แตกต่างกัน เพคตินเป็น gelling agent ที่ดี สมบัติในการเกิดเจลของเพคตินขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 อย่าง คือ ความยาวของสายพอลิเมอร์ และ degree of methoxylation และจะเกิดเจลได้ในภาวะที่มีกรดและน้ำตาล โครงสร้าง โมเลกุลของเพคตินจะเป็นเกลียว (Coiled) มากกว่าสายตรง และมีพันธะไฮโดรเจนน้อยกว่าพวก พอลิเมอร์สายยาว เช่น เซลลูโลส สาเหตุอาจเนื่องจากลักษณะและรูปร่างของสาย คือ หมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง C₂ และ C₃ ซึ่งมีประจุจะไม่เกิดแรงดึงดูดต่อกันกับหมู่ -OH หรือ -CH₃ และประจุที่เกิดจากการแตกตัวของหมู่คาร์บอกซิล

การเกิดเจลของเพคตินจะต้องมีสารช่วยดูดนํ้าออกจากโมเลกุล (Dehydrating agent) เช่น น้ำตาล จะช่วยลดการละลายของเพคตินให้น้อยลง และมีกรดในปริมาณที่เหมาะสม โดยไฮโดรเจนไอออน (H⁺) จากกรดจะช่วยลดจำนวนประจุลบของหมู่คาร์บอกซิลให้น้อยลง ทำให้ลดการผลักรันระหว่างประจุลบที่หมู่คาร์บอกซิล ทำให้สายของเพคตินเข้ามาใกล้กันได้และเกาะตัวกันเป็นตาข่ายเพคตินที่เกิดเจลที่ดีที่สุดคือ เพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลในโมเลกุลประมาณร้อยละ 8 คือ Degree of methoxylation ประมาณร้อยละ 50 (นิธิยา รัตนปานนท์, 2551)





ภาพประกอบ 2.3 โครงสร้างของเพคติน

ที่มา : <http://www.scientificpsychic.com/fitness/carbohydrates2.html>

2.3.4 กัม (Gum) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ หรือ สเตบิลไลเซอร์ (Stabilizer) ดังนั้นจึงถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวางด้วยเหตุผลหลายประการ ที่ทราบกันดีก็คือใช้กัมเป็นสารให้ความข้นหนืด หรือทำให้เกิดเจล (Gel) นอกจากนี้กัมยังช่วยเพิ่มเนื้อสัมผัสและความรู้สึกเมื่อเคี้ยวอาหาร และช่วยให้อนุภาคในอาหารที่กระจายตัวได้ยากเกิดการกระจายตัวได้ง่ายขึ้น หรือทำให้ของแข็งกระจายตัวได้ในน้ำหรืออิมัลชัน (Emulsion) และเกิดฟอง (ก๊าซกระจายในน้ำ)

กัมมีความสามารถในการยึดเกาะกับน้ำ ทำหน้าที่เป็นสารข้นหนืดและทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งในอาหารแช่แข็ง ขบวนการคายน้ำระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้ไม่ทำให้ค่า Water activity ลดลง โดยปกติกัมจะมีมวลโมเลกุลสูงและใช้ในปริมาณน้อย เพียงใส่ลงไปในน้ำเล็กน้อยก็จะเกิดเป็นเจลได้ เมื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ทำให้มีกำไรมากขึ้น เนื่องจากเกิดความข้นหนืดและสามารถเปลี่ยนน้ำจากสภาพของไหลเป็นกึ่งของแข็งหรือเจล

1) กัมจากเมล็ดพืช

เป็นกลุ่มของกาแล็กโทแมนแนนกัมที่สกัดได้จากเมล็ดของพืชตระกูลถั่ว Ceratonia และ Cyamopsis มี 2 ชนิด ได้แก่

โลคัสต์บินกัม ได้จากเอนไซม์ของเมล็ดจากต้น Carob หรือ Locust bean (*Ceratonia siliqua*) ซึ่งเป็นไม้ยืนต้นในพืชตระกูลถั่วชนิดหนึ่ง มีขนาดใหญ่สูงประมาณ 40-50 ฟุต มีเมล็ดอยู่ในฝักประมาณ 10 เมล็ดต่อฝัก อาจเรียกว่า carob seed gum ก็ได้ โครงสร้างโมเลกุลของกัมทั้งสองชนิดคล้ายกัน คือ มีโครงสร้างหลักเป็นพอลิเมอร์สายยาวของพอลิแมนแนน ประกอบด้วยน้ำตาลแมนโนสต่อกันด้วยพันธะ β -(1 \rightarrow 4) และมีแขนงแยกเป็นน้ำตาลกาแล็กโทสโมเลกุลเดี่ยวต่างกันด้วยพันธะ (1 \rightarrow 6) โครงสร้างโมเลกุลของโลคัสต์บินกัมมีอัตราส่วนของน้ำตาลแมนโนสต่อกาแล็กโทสเป็น 4 ต่อ 1 มีน้ำหนักโมเลกุล 310,000 ดาลตัน

โลคัสต์บินกัมไม่ละลายในน้ำเย็น ต้องใช้ความร้อนช่วยในการละลาย จะให้สารละลายที่มีความหนืดสูงที่สุดเมื่อได้รับความร้อนสูงถึง 95 องศาเซลเซียส แล้วจึงทำให้เย็นลง โลคัสต์บินกัมไม่สามารถเกิดเจลได้ต้องนำมาผสมกับแซนแทนกัมจึงจะเกิดเจลได้ และเมื่อรวมกับแคปปา-คาร์ราจีแนนจะเพิ่มความแข็งแรงของเจล ทำให้มีลักษณะเนื้อเปลี่ยนไป และลดการเกิดซินเนอรีซิส หน้าที่หลักของโลคัสต์บินกัม คือ เพิ่มความหนืดและความคงตัวให้กับอิมัลชัน และช่วยยับยั้งการเกิด



ซินเนอร์จิส ผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดที่ใช้โลคัสต์บินกัม ได้แก่ อาหารกระป๋อง ซอส ขนมหวาน บาร์บีคิวซอส เครื่องดื่ม เนยแข็ง ไอศกรีม และผลิตภัณฑ์เนื้อ ในเนยแข็งโลคัสต์บินกัมจะช่วยเร่งให้เกิด Coagulation เร็วขึ้น และทำให้ได้เนื้อตะกอนของโปรตีนนมเพิ่มมากขึ้นประมาณร้อยละ 10 ในไอศกรีมโลคัสต์บินกัมจะทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความคงตัวและช่วยอุ้มน้ำ ทำให้ไอศกรีมมีลักษณะเนื้อเนียน

กัวร์กัม ได้จากเอนโดสเปิร์มของเมล็ดจากต้น Guar (Cyamopsis tetragonolobus) มีถิ่นกำเนิดในประเทศอินเดียและปากีสถาน เป็นพืชตระกูลถั่วเช่นเดียวกัน แต่ทนแล้งได้ดี กัวร์กัมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเมื่อราวปี ค.ศ. 1950 เนื่องจากขาดแคลนโลคัสต์บินกัมโครงสร้างโมเลกุลของกัวร์กัม เป็นพอลิเมอร์สายยาวของกาแล็กโทแมนแนน มีน้ำหนักโมเลกุล 220,000-250,000 ดาลตัน โมเลกุลประกอบด้วยน้ำตาลแมนโนสที่ต่อกันด้วยพันธะ β -(1 \rightarrow 4) และมีแขนงของน้ำตาลกาแล็กโทสหนึ่งโมเลกุลต่อทุกๆ 2 โมเลกุลของน้ำตาลแมนโนส เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ (1 \rightarrow 6) ทำให้อัตราส่วนของน้ำตาลแมนโนสต่อกาแล็กโทสเป็น 2 ต่อ 1 แสดงว่า กัวร์กัมมีแขนงของน้ำตาลกาแล็กโทสมากกว่าโลคัสต์บินกัม

กัวร์กัมไม่สามารถเกิดเจลได้ แต่อุ้มน้ำและกระจายตัวได้ดีในน้ำเย็น สารละลายที่ได้มีความหนืดสูง และจะให้ความหนืดสูงสุดภายหลังเวลาได้ 2 ชั่วโมง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะอุ้มน้ำได้มากขึ้นและมีความหนืดเพิ่มขึ้นด้วย จึงเป็นสารเพิ่มความหนืด สารเพิ่มความคงตัว และช่วยอุ้มน้ำ เมื่อใช้ร่วมกับแซนแทนกัมจะทำให้สารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้น ความหนืดของสารละลายกัวร์กัมจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ พีเอช เวลา ความเข้มข้น การคน และขนาดของอนุภาค เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ความหนืดของสารละลายกัวร์กัมจะเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากกัวร์กัมไม่แตกตัว เป็นไอออนและทนต่อพีเอชได้ช่วงกว้าง คือ พีเอช 4-10 โดยที่ความหนืดไม่เปลี่ยนแปลง ทำให้สามารถเติมอิเล็กโทรไลต์ได้เป็นจำนวนมาก แต่ถ้ามีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์สูงกว่าร้อยละ 5 จะมีผลต่อการอุ้มน้ำและการเกิดเจล กัวร์กัมมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้สูงสุดที่พีเอช 7.5-9.0 ผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้กัวร์กัม ได้แก่ ขนมหวาน ซอส ซุป ไอศกรีม น้ำสลัด ผลิตภัณฑ์ขนมอบ และใช้เป็นส่วนผสมของน้ำกีวี น้ำสลัด และซูปที่อยู่ในรูปผง

2) กัมจากยางไม้

กัมอะราบิก เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่โมเลกุลอัดกันแน่นมาก โครงสร้างหลักของโมเลกุลเป็นสายยาวประกอบด้วยหน่วยย่อยของเบต้า-กาแล็กโทไพราโนสที่ต่อกันด้วยพันธะ 1 \rightarrow 3 และแยกแขนงเป็นจำนวนมากด้วยกรดกลูโคโลนิก ซึ่งต่อกันด้วยพันธะ 1 \rightarrow 6 ในโมเลกุลประกอบด้วยน้ำตาลและอนุพันธ์น้ำตาล 6 ชนิด คือ น้ำตาลกาแล็กโทส แรมโนส อะราบิโนไพราโนส อะราบิโนฟูราโนส กรดกลูคูโรนิก กรด 4-O เมทิลกลูคูโรนิก และมีเปปตินอยู่เยือกัมอะราบิกอีกบ้างเล็กน้อย มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 240,000-300,000 ดาลตัน

กัมอะราบิกละลายได้ดีทั้งในน้ำเย็นและน้ำร้อน สารละลายกัมอะราบิกที่ความเข้มข้นต่ำกว่าร้อยละ 40 จะมีความหนืดต่ำมาก และความหนืดของสารละลายกัมอะราบิกจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อมีความเข้มข้นอยู่ในช่วงร้อยละ 40-50 สามารถละลายได้ความเข้มข้นสูงสุดถึงร้อยละ 55 จึงเป็นสมบัติพิเศษที่ดีของกัมอะราบิก ภาวะที่เหมาะสมในการเกิดเจลของกัมอะราบิกคล้ายสตาร์ช คือ ต้องใช้ความร้อนช่วย สารละลายกัมอะราบิกเจือจางที่ความเข้มข้น



ประมาณร้อยละ 10 เมื่อทำให้ร้อนถึงอุณหภูมิ 32.5 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที จะให้มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่สูงที่สุด

กัมแกตติ เป็นยางใสที่ได้จากพืชตระกูล Combretaceae พบมากในประเทศ ศรีลังกาและอินเดีย บางครั้งเรียก Indian gum ยางที่ได้มีสีน้ำตาลอ่อนจนถึงสีน้ำตาลเข้ม สีอ่อน มีคุณภาพดีกว่าสีเข้ม กัมแกตติ เป็นพอลิแซ็กคาไรด์เชิงซ้อนที่ประกอบด้วยน้ำตาลอะราบิโนส กาแล็กโทส แมนโนส ไฮโลส และกรดกลูคูโรนิก ในอัตราส่วน 10 : 6 : 2 : 1 : 2 และมี 6-ดีออกซีเฮกโซส (Deoxyhexose) อีกเล็กน้อย (น้อยกว่าร้อยละ 1 โครงสร้างของโมเลกุล เป็นกรดแอลโดโบไอยูโรนิก (Aldobiouronic acid) มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 12,000 ดาลตัน โมเลกุลมีส่วนที่ละลายได้และส่วนที่ละลายไม่ได้ในน้ำ แต่สามารถกระจายตัวในน้ำ อนุภาค จะพองตัวออกมีลักษณะคล้ายเป็นเจลได้ และสามารถกระจายตัวได้ทั้งในน้ำเย็นและน้ำร้อน และความหนืดของสารละลายจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น สารละลายที่ได้จะมีความหนืดสูงสุด ที่พีเอชช่วง 5-7 อย่างไรก็ตาม สารละลายกัมแกตติมีความหนืดน้อยกว่ากัมคารายา แต่มากกว่า กัมอะราบิก

กัมคารายา (Sterdulia gum หรือ Indian Tragacanth) กัมคารายาเป็น Acetylated polysaccharide เชิงซ้อนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง โมเลกุลประกอบด้วยกรดกาแล็กทูโรนิก น้ำตาลแมนโนส และกาแล็กโทส ต่อกันเป็นสายหลักและมีสายแขนงเป็นกรดกลูคูโรนิก มีหมู่กรดยูโรนิก ประมาณ 38 เปอร์เซนต์ และมีหมู่เอซิติลอยู่ประมาณร้อยละ 13.4-22.7 ขึ้นอยู่กับอายุและแหล่งที่ปลูกต้นไม้ กัมคารายามีน้ำหนักโมเลกุล 9,500,000 ดาลตัน ละลายน้ำได้น้อยที่สุด แต่เมื่อทำเป็นผงละเอียดจะเป็นตัวอุ้มน้ำและคือน้ำได้ดี เมื่อกัมคารายากระจายตัวอยู่ในน้ำ สามารถพองตัวออกได้ 70-100 เท่าของปริมาตรเดิม ได้เป็นสารละลายที่มีความหนืดสูง ความหนืดของสารละลายจะผันแปรโดยตรงกับ ความเข้มข้น คือเมื่อความเข้มข้นมากสารละลายจะมีความหนืดสูง ถ้าความเข้มข้นสูงกว่าร้อยละ 4 จะมีลักษณะเป็น Paste-like gel จึงใช้สมบัตินี้เป็น Strong adhesiveness เมื่อใช้ที่ความเข้มข้นสูงๆ ทำให้ได้สารละลายที่มีความหนืดสูงมากและสมบัติของสารละลายกัมคารายายังขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคด้วย การกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเย็น จะให้ความหนืดสูงกว่าในน้ำร้อน ถึงแม้อุณหภูมิสูงจะทำให้การละลายดีขึ้นก็ตาม การเติม อิเล็กโทรไลต์ที่มีความเข้มข้นสูง หรืออยู่ในภาวะที่เป็นกรดหรือด่างมากจะให้ความหนืดลดลง

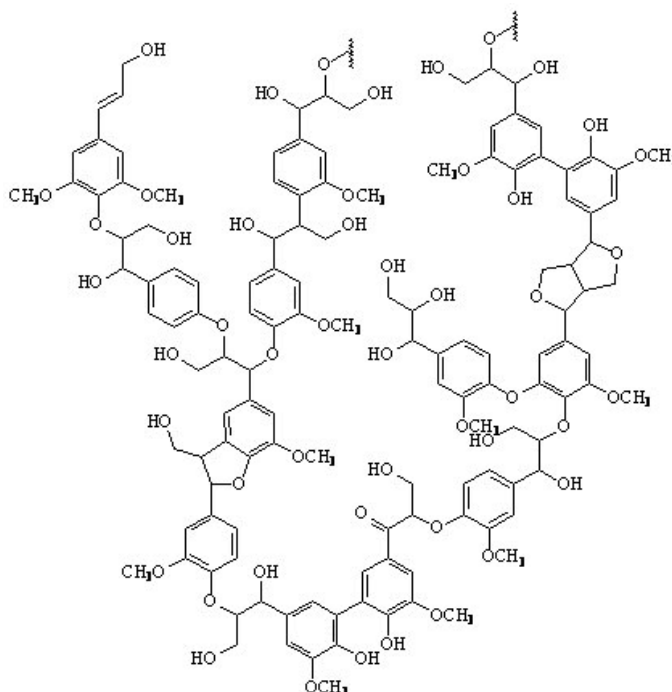
กัมทรากาแคนต์ เป็นพอลิแซ็กคาไรด์หลายๆชนิดผสมกัน โมเลกุลประกอบด้วย กรด กาแล็กทูโรนิก น้ำตาลกาแล็กโทส ไฮโลส และอะราบิโนส เกาะอยู่กับโลหะไอออน คือ แมกนีเซียม แคลเซียม และโพแทสเซียมไอออน มีน้ำหนักโมเลกุล 310,000 ดาลตัน โมเลกุลของ กัมทรากาแคนต์ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเรียกว่า Basorin มีอยู่ประมาณร้อยละ 60-70 เป็นพอลิเมอร์ส่วนที่ไม่กระจายตัวในน้ำ แต่อูมน้ำและพองตัวได้ดีกลายเป็นเจล อีกส่วนหนึ่ง มีปริมาณน้อย เรียกว่า Tragacanthin เป็นสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์เชิงซ้อนที่โมเลกุลประกอบด้วยกรด กลูคูโรนิก 3 โมเลกุล และน้ำตาลอะราบิโนส 1 โมเลกุล เป็นพอลิเมอร์วงแหวน

กัมทรากาแคนต์กระจายตัวได้ในน้ำเย็น มีความคงตัวต่อความร้อนและทนกรดได้เป็นอย่างดีจนถึง พีเอช 2 นิยมใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์และสารเพิ่มความคงตัวให้กับน้ำสลัด มายองเนส และซอส ส่วนมัสตาร์ดเหลวและซอสมะเขือเทศจะใช้กัมทรากาแคนต์เป็นสารเพิ่มความคงตัว และเพิ่มความหนืด (นิริยา รัตน์พานนท์, 2551)



2.3.5 ลิกนิน (Lignin) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มักพบอยู่ร่วมกับ เซลลูโลส ลิกนินเป็นสารที่ประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนรวมกันเป็นหน่วยย่อย หลายชนิดซึ่งเป็นสารอะโรมาติก ลิกนินไม่ละลายน้ำ ไม่มีสมบัติทางการยืดหยุ่น เพราะฉะนั้น จึงทำให้พืชที่มีลิกนินมากมีความแข็งแรงทนทาน เมื่อพืชตายลิกนินจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ลิกเนส (Lignase) หรือลิกนินเนส (Ligninase) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่สำคัญในรา

ไม่แต่ละชนิดจะมีอัตราส่วนระหว่างเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินไม่เท่ากัน ขึ้นกับชนิดและอายุของไม้โดยไม้ที่มีลิกนินมาก จะมีความแข็งสูงและในไม้ชนิดเดียวกัน ไม้ที่มีอายุมาก จะมีปริมาณลิกนินมากเช่นเดียวกัน ลิกนินสามารถกำจัดอนุมูลอิสระได้และช่วยดึงเอาสารพิษ ที่ปนเปื้อนเข้าไปกับอาหาร ร่วมกับการที่เส้นใยลดความหมักหมมของกากอาหารในลำไส้ด้วย ทำให้ลดการเป็นมะเร็งในลำไส้ (ริกาญจน์ ฉัตรสกุลวิไล, ม.ป.ป.)



ภาพประกอบ 2.4 โครงสร้างของลิกนิน

ที่มา : www.research.uky.edu/odyssey/win...rgy.html

2.3.6 แป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ (Resistant starch) แป้งที่ทนต่อการย่อย ชนิดสอง (RS2) เป็นแป้งที่ยังคงรูปร่างหรือคงสภาพอยู่ในเม็ดแป้งและมีความทนทานต่อการย่อย ของเอนไซม์ วัดปริมาณแป้งที่ทนต่อการย่อยจากความแตกต่างของปริมาณกลูโคสที่ถูกปล่อย ออกมาระหว่างตัวอย่างอาหารที่ผ่านกระบวนการทำให้ความร้อนและทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน (Boiled homogenized food sample) กับตัวอย่างอาหารที่ไม่ผ่านกระบวนการใด ๆ (Unboiled nonhomogenized food sample) ในแป้งดิบทั่วไปโมเลกุลภายในเม็ดแป้ง



มีการอัดกันอย่างหนาแน่นในแนวของวงแหวนของเม็ดแป้งและดูดความชื้นได้ง่าย ซึ่งลักษณะเช่นนี้ทำให้มีความต้านทานต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ ตัวอย่างของแป้งชนิดนี้คือ แป้งจากกล้วยดิบ (Sajilata et al., 2006)

2.4 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหาร

ในปี ค.ศ. 2011 Elleuch และคณะ รายงานว่า หนึ่งในปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณของเส้นใยอาหารคือการเลือกวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ ให้เหมาะสมกับชนิดของอาหารซึ่งมีความซับซ้อนแตกต่างกัน วิธีการวิเคราะห์เส้นใยอาหารสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ 1) วิธีที่ไม่ใช้เอนไซม์ และการชั่งน้ำหนัก (Non-enzymatic-gravimetric method), 2) วิธีใช้เอนไซม์ และการชั่งน้ำหนัก (Enzymatic-gravimetric method) และ 3) วิธีการใช้เอนไซม์และการวิเคราะห์ทางเคมี (Enzymatic chemical method) ในปัจจุบันวิเคราะห์เส้นใยอาหารด้วย Enzymatic-gravimetric method เป็นวิธีมาตรฐานซึ่งแนะนำโดย Association of Official Analytical Chemists (AOAC) และ Enzymatic-chemical method ซึ่งเป็นวิธีของ Southgate (1969)

2.4.1 Non-enzymatic-gravimetric method

วิธีนี้เป็นวิธีแรกในการใช้วิเคราะห์เส้นใยอาหาร มีข้อด้อยที่สำคัญคือไม่สามารถวัดองค์ประกอบที่ละลายน้ำได้ ดังนั้นจึงได้ปริมาณเส้นใยที่เป็นค่าโดยประมาณ เส้นใยหยาบเป็นองค์ประกอบที่เหลืออยู่หลังจากกำจัดองค์ประกอบทางเคมีด้วยการย่อยหรือการเกิดออกซิเดชัน การวิเคราะห์เส้นใยด้วยวิธีนี้ เป็นการแสดงถึงปริมาณรวมทั้งหมดของลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสที่ไม่ละลายในกรด ขณะที่วิธีการวิเคราะห์เส้นใยด้วยสารละลายที่เป็นกลางจะแสดงถึงผลรวมของลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกลาง (Elleuch et al., 2011)

วิธี Non-enzymatic-gravimetric นิยมใช้ในการวิเคราะห์เส้นใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber; TDF) ของผลไม้ และผัก ซึ่งมีปริมาณสตาร์ชต่ำและหลายชนิดมีการบริโภคมโดยไม่ผ่านการหุงต้ม การวิเคราะห์ TDF ด้วยวิธีนี้เป็นการนำตัวอย่างมากระจายและให้แขวนลอยในน้ำ 37 องศาเซลเซียส จากนั้นตกตะกอนตัวอย่างด้วยเอทานอลร้อยละ 95 ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำมากรอง ชั่งน้ำหนัก และนำไปวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน และเถ้า ปริมาณ TDF ที่ได้จะให้ผลแม่นยำมากขึ้นเมื่อมีการวิเคราะห์ด้วยวิธี Enzymatic-gravimetric โดยสรุปแล้วการวิเคราะห์ด้วยวิธี Non-enzymatic-gravimetric มีความเหมาะสมสำหรับใช้วิเคราะห์ TDF ในอาหารที่มีปริมาณสตาร์ชต่ำ (Jeon and Ikins, 1995)

2.4.2 Enzymatic-gravimetric method

การวิเคราะห์เส้นใยอาหารทั้งหมดด้วยวิธีนี้คือการวิเคราะห์โดยใช้เอนไซม์ ได้แก่ เอนไซม์โปรตีเอส (Protease) เอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α -Amylase) และเอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส (Amyloglucosidase) เพื่อกำจัดสตาร์ช และโปรตีน จากนั้นทำให้เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำตกตะกอนด้วยเอทานอลที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบร่วมด้วย แล้วกรองและชั่งน้ำหนักเส้นใยอาหารส่วนที่เหลือ อีกส่วนหนึ่งนำไปวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณโปรตีนและเถ้า การวิเคราะห์เส้นใยอาหารทั้งหมด



ด้วยวิธีนี้ เป็นการวัดเพื่อหาปริมาณของสารประกอบในกลุ่มของโพลีแซ็กคาไรด์ ลิกนิน แป้งที่ทนต่อการย่อยบางชนิด และองค์ประกอบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ แร็กซ์ สารประกอบฟีนอลิก และผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด แต่ไม่สามารถหาปริมาณโอลิโกแซ็กคาไรด์ และแป้งที่ทนต่อการย่อยชนิดอื่นๆได้ การวิเคราะห์ด้วยวิธี Enzymatic-gravimetric สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ ซึ่งทำให้ทราบปริมาณของเส้นใยอาหารในอาหารหลายชนิดได้อย่างแม่นยำ และนอกจากนี้ยังสามารถปรับปรุงวิธีการวิเคราะห์ให้มีความเหมาะสมกับตัวอย่างอาหารได้โดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเอนไซม์ เวลาในการบ่ม ชนิดของบัฟเฟอร์ และรีเอเจนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ (Elleuch et al., 2011; Jeon and Ikins, 1995)

2.4.3 Enzymatic chemical method

วิธี Enzymatic chemical เป็นวิธีการวิเคราะห์เส้นใยอาหารจำพวกโพลีแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ช (Non-starch polysaccharide) ซึ่งคิดค้นโดย Southgate ในปี ค.ศ. 1969 การวิเคราะห์ในขั้นตอนแรกเริ่มด้วยการใช้เอนไซม์เพื่อย่อยสตาร์ช และโปรตีน จากนั้นตักตะกอนเส้นใยอาหารด้วยเอทานอลที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ หรือสารที่ใช้สำหรับคัดแยกเส้นใยอาหารที่เป็นโพลีแซ็กคาไรด์ที่ละลายน้ำจากน้ำตาลที่มีน้ำหนักรวมต่ำกว่า และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสตาร์ช ทั้งนี้การแยกเส้นใยอาหารที่เป็นโพลีแซ็กคาไรด์ที่ละลายน้ำออกจากน้ำตาลที่มีน้ำหนักรวมต่ำกว่าด้วยสารคัดแยกนี้มีข้อดีเหนือกว่าการตักตะกอนด้วยเอทานอล คือช่วยลดการสูญเสียเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ ปริมาณน้ำตาลที่เป็นกลางซึ่งได้จากการย่อยโพลีแซ็กคาไรด์สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเทคนิค Gas-liquid chromatography (GLC) หรือ High-performance liquid chromatography (HPLC) นอกจากนี้ยังสามารถวิเคราะห์ได้ในรูปของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Monosaccharide) หรือกรดยูโรนิก (Uronic acid) โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบ Colourimetric method และตรวจวัดปริมาณน้ำตาลทั้งหมดได้โดยใช้ Spectrophotometer ส่วนประกอบอื่นๆ ที่เหลือหลังจากการย่อยโพลีแซ็กคาไรด์ทั้งหมดหรือโพลีแซ็กคาไรด์ที่ไม่ละลายน้ำ จะถูกนำมากรองและตรวจวัดหาปริมาณของลิกนิน ด้วยวิธี Klason lignin gravimetrically

ปริมาณน้ำตาลที่เป็นกลาง กรดยูโรนิก และลิกนินวิเคราะห์ได้ด้วยวิธี Uppsala ซึ่งเริ่มต้นด้วยการกำจัดน้ำตาลในตัวอย่างอาหาร แล้วนำเส้นใยอาหารทั้งหมด (เส้นใยที่ไม่ละลายน้ำ และละลายน้ำได้) ไปตักตะกอนด้วยเอทานอลร้อยละ 80 ปั่นเหวี่ยงรวบรวมตะกอนซึ่งเป็นเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและละลายน้ำได้ จากนั้นนำไปย่อยด้วยกรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) และนำไปหาปริมาณของน้ำตาลที่เป็นกลางด้วย GLC หาปริมาณกรดยูโรนิก และลิกนินด้วย Colourimetric method และ Klason lignin gravimetrically method ต่อไป

Enzymatic method เป็นวิธีที่สามารถวิเคราะห์ได้เพียงโพลีแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ช และ ลิกนินเท่านั้น ส่วนโอลิโกแซ็กคาไรด์ และแป้งที่ทนต่อการย่อยจะไม่สามารถตรวจวัดหาปริมาณได้ เนื่องจากการใช้เอทานอลร้อยละ 80 ทำให้โพลีแซ็กคาไรด์เกิดการตักตะกอนและไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (Dimethyl sulfoxide ; DMSO) จะละลายสตาร์ชทั้งหมด (ทั้งแป้งส่วนที่ทนต่อการย่อย และแป้งที่ไม่ทนต่อการย่อย) สตาร์ชทั้งหมดในตัวอย่างอาหารจะถูกย่อยโดยสมบูรณ์ ดังนั้นการวิเคราะห์เส้นใยอาหารด้วยวิธี Enzymatic chemical จะประเมินปริมาณเส้นใยอาหารต่ำ



กว่าความเป็นจริง เนื่องจากเกิดการสูญเสียโพลีแซ็กคาไรด์ระหว่างการย่อย หรือ โพลีแซ็กคาไรด์ บางส่วนถูกเปลี่ยนไปเป็นอนุพันธ์ของโพลีแซ็กคาไรด์เหล่านั้น เมื่อใช้เทคนิคในการวิเคราะห์เป็น GLC เมื่อเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์หาเส้นใยอาหารทั้งสามวิธี ได้แก่ Non-enzymatic-gravimetric Enzymatic-gravimetric method และ Enzymatic chemical method พบว่า ทั้งสามวิธีตรวจวัดได้ปริมาณเส้นใยอาหารแตกต่างกัน โดยวิธี Non-enzymatic-gravimetric ของ AOAC ให้ปริมาณเส้นใยอาหารมากที่สุด และวิธี Enzymatic chemical method เป็นวิธี ที่ตรวจพบปริมาณเส้นใยอาหารต่ำที่สุด

2.5 คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

2.5.1 การละลาย

เส้นใยอาหารแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้และไม่ละลาย น้ำ ซึ่งเส้นใยอาหารจะอยู่ในรูปใดนั้นจะทราบได้เมื่อมีการผสมกับน้ำ เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ได้แก่ สารประกอบเพคติน กัม มีวซิเลจ และเฮมิเซลลูโลสบางชนิด ขณะที่เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสชนิด อื่นๆ และลิกนินจะเป็นส่วนที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งความสามารถในการละลายเกี่ยวข้องกับโครงสร้าง ของโพลีแซ็กคาไรด์ ซึ่งจะสามารถละลายได้หรือไม่สามารถละลายได้ขึ้นอยู่กับ Back bone หรือขนาดของสายโซ่ (Side chain) โดยพบว่าการมีกลุ่มที่เข้ามาแทนที่ เช่น COOH หรือ SO_4^{2-} ช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายของเส้นใยอาหารได้ นอกจากนี้ความสามารถในการละลาย ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความแรงของไอออนด้วย

โพลีแซ็กคาไรด์มีความสามารถในการละลายที่ค่อนข้างมาก บางชนิดสามารถละลายได้ ในน้ำเย็นและบางชนิดสามารถละลายได้เพียงในน้ำร้อนเท่านั้น ส่วนประเภทที่ไม่ละลายน้ำแม้จะ ละลายในน้ำเดือดก็ไม่สามารถละลายได้ โครงสร้างโมเลกุลและน้ำหนักโมเลกุลเป็นสองปัจจัยที่มี ความสำคัญในการละลายได้ของโพลีแซ็กคาไรด์ และนอกจากนี้ สายโซ่ของโพลีแซ็กคาไรด์ มีหมู่ไฮดรอกซิล อะตอมของออกซิเจน และหมู่อื่นๆ จำนวนมาก ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับโมเลกุล ของน้ำด้วยพันธะไฮโดรเจนได้ ปฏิกิริยาดังกล่าวควบคุมความสามารถในการเคลื่อนที่ของน้ำในอาหาร ซึ่งมีผลต่อเนื้อสัมผัสและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของอาหาร (Cui, 2005)

2.5.2 คุณสมบัติในการจับกับน้ำ (Hydration properties) และความสามารถ ในการจับกับน้ำมัน (Oil-binding capacity)

คุณสมบัติในการจับกับน้ำของเส้นใยอาหาร ตรวจวัดได้จากความสามารถในการดูดซับน้ำ (Water absorption) ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) และการพองตัว (Swelling) ของเส้นใยอาหาร ทั้งนี้ความสามารถในการดูดซับน้ำหมายถึงปริมาณน้ำที่เส้นใยอาหาร สามารถดูดซับเข้าไป การดูดซับน้ำเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของเส้นใยอาหารที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณ ของรูพรุนบนพื้นผิวของเส้นใยอาหาร

ความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหาร หมายถึงปริมาณของน้ำที่เส้นใยอาหาร 1 กรัม (น้ำหนักแห้ง) สามารถสะสมไว้ได้ ภายใต้สภาวะเจาะจงของอุณหภูมิ เวลาที่ใช้แช่เส้นใยอาหาร ในน้ำ และความเร็วของการปั่นเหวี่ยง อย่างไรก็ตามพบว่าการสูญเสียของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ ระหว่างการวิเคราะห์ การสูญเสียนี้ส่งผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ ปริมาณของน้ำที่วัดได้จาก



การปั่นเหวี่ยงทั่วไปจะมีปริมาณมากกว่าปริมาณน้ำที่ดูดซับด้วย Baumann apparatus ส่วนในด้านคุณสมบัติการพองตัว สามารถวัดได้จากเทคนิคการเปลี่ยนแปลงปริมาตร ซึ่งวัดการพองตัวของเส้นใย โดยการแช่เส้นใยน้ำข้ามคืนภายในกระบอกตวงที่มีปริมาตรคงที่ (Volumetric cylinder) คุณสมบัติในการจับน้ำของเส้นใยอาหารมีความสัมพันธ์โดยตรงกับโครงสร้างทางเคมีขององค์ประกอบของโพลีแซ็กคาไรด์ และปัจจัยอื่นๆ เช่น ความพรุน ขนาดของอนุภาค รูปของไอออน ค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ความแรงของไอออน ชนิดของไอออนในสารละลาย และความเครียดของเส้นใยอาหาร ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่าง ความแรงของไอออน ชนิดของไอออนมีผลต่อเส้นใยอาหารที่มีองค์ประกอบของสารพวกโพลีอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolytes)

การพองตัว และการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหาร เป็นคุณสมบัติที่เป็นประโยชน์สำหรับการนำเส้นใยอาหารไปประยุกต์ใช้ในอาหาร ในขณะที่ความสามารถในการดูดซับน้ำช่วยบ่งบอกถึงลักษณะการเคลื่อนที่ของเส้นใยในอาหารหรือระหว่างที่เคลื่อนที่อยู่ในลำไส้ได้ องค์ประกอบทางเคมี ลักษณะทางกายวิภาค และลักษณะทางกายภาพของเส้นใยอาหารมีผลต่อค่าการพองตัวและการดูดน้ำ และนอกจากนี้กระบวนการในการแปรรูป เช่น การบด การทำแห้ง การให้ความร้อน หรือการอัดรีดในระหว่างการปรุง ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของเส้นใยเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ จึงส่งผลต่อคุณสมบัติในการจับกับน้ำด้วย และเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารจากอาหารแต่ละชนิดพบว่า เส้นใยอาหารจากสาหร่ายมีความสัมพันธ์กับน้ำ และน้ำมันสูงเส้นใยอาหารจากผลพลอยได้ของน้ำผลไม้ ธัญพืชมีความสัมพันธ์กับน้ำและน้ำมันต่ำที่สุด ความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้มีความเกี่ยวข้องกับกับคุณสมบัติทางเคมีของเส้นใยอาหาร

ความสามารถในการจับกับน้ำมัน เป็นคุณสมบัติที่บ่งบอกถึงปริมาณของน้ำมันที่สะสมในเส้นใยอาหารหลังจากการผสม และบ่มเส้นใยอาหารในน้ำมัน จากนั้นปั่นเหวี่ยงแยกน้ำมันออก ความสามารถในการจับกับน้ำมันของเส้นใยอาหารจากธัญพืช เช่น รำข้าวสาลี เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติบนพื้นผิวอนุภาคของเส้นใยอาหาร และอาจเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นโดยรวมไปถึงความชอบน้ำขององค์ประกอบในเส้นใยอาหาร เช่นใน แอลจีเนต (Alginate) และฟูกแคน (Fucan) ในสาหร่าย (Elleuch et al., 2011)



ตาราง 2.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำและน้ำมันของผลไม้และผักบางชนิด

แหล่งของเส้นใย	การอุ้มน้ำ (g water/g)	การอุ้มน้ำมัน (g oil/g)
เส้นใยเข้มข้นจากส้ม	7.3	1.27
เส้นใยเข้มข้นจากพีช	12.1	1.09
เส้นใยเข้มข้นจากอินทผลัม	15.6	9.75
เปลือกมะนาว	6.96-12.84	-
รำข้าวปราศจากไขมัน	4.89	4.54
ชานอ้อย	7.5	11.3
เส้นใยเข้มข้นจากมะม่วง	11	1
เส้นใยจากแครอท	18.6	5.5
หน่อไม้ฝรั่ง	11.4-20.3	5.28-8.53

ที่มา : ดัดแปลงจาก Elleuch et al. (2011)

2.5.3 ความหนืด

ความหนืดของของเหลว คือการต้านการไหลของของเหลวนั้นๆ เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือน และแรงเฉือน ซึ่งเกิดจากปฏิสัมพันธ์ทางกายภาพระหว่างโพลีแซ็กคาไรด์ในสารละลาย โดยความหนืดจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น สารละลายโพลีแซ็กคาไรด์ส่วนใหญ่มีลักษณะการไหลแบบนอนนิวโทเนียน (Non-newtonian flow) ทั้งนี้เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำเป็นองค์ประกอบหลักที่ช่วยเพิ่มความหนืดของสารละลาย โดยความหนืดขึ้นอยู่กับลักษณะภายในของโพลีแซ็กคาไรด์ (ปริมาณของพื้นที่ที่เกิดจากโพลีเมอร์ทั่วไป) นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโพลีแซ็กคาไรด์ ตัวทำละลาย และอุณหภูมิ โดยโพลีแซ็กคาไรด์ที่มีความเข้มข้นต่ำ โมเลกุลสามารถแยกจากกันได้ดี ทำให้การเคลื่อนที่เป็นไปได้ง่าย แต่เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น โมเลกุลของโพลีแซ็กคาไรด์สัมผัสกันได้มากขึ้น และแรงของโมเลกุลจะผ่านเข้าไประหว่างโมเลกุลของกันและกันเกิดเป็นเครือข่ายที่เชื่อมพันกัน เมื่อเกิดการเชื่อมพันกันขึ้นความหนืดของสารละลายโพลีแซ็กคาไรด์ที่มีความเข้มข้นสูงจึงเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาที่เวลาเดียวกันพบว่าความหนืดมีค่าขึ้นกับอัตราเฉือนมากกว่า ในระบบการย่อยอาหารของมนุษย์ อนุภาคที่เป็นของแข็งสามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการไหลได้ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับโพลีแซ็กคาไรด์ที่ละลายน้ำความหนืดภายในที่เกิดขึ้นจะต่ำกว่าของเหลวในระบบการย่อย (กระเพาะอาหาร และลำไส้เล็ก) ที่มีปริมาณของโพลีแซ็กคาไรด์ที่แตกต่างกัน จะเป็นตัวกำหนดความหนืดโดยรวมความเข้มข้นในลูเมน (Lumen) อาจมีความแตกต่างกันจากการรับประทาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาตรรวมของการย่อยจะมีการปรับตัวในการตอบสนองการย่อยของสารละลายที่หนืด โพลีแซ็กคาไรด์สามารถเกิดการแตกตัวของโมเลกุลโพลีเมอร์ได้เมื่อผ่านระบบทางเดินอาหารส่วนบน (Guillon and Champ, 2000)



2.5.4 คุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant properties)

อนุมูลอิสระ (Free radical) คือสารที่มีอิเล็กตรอนเดี่ยว (ไม่มีคู่) ที่อยู่นอกของอะตอมหรือโมเลกุล เป็นโมเลกุลที่มีอะตอมที่ไม่เสถียร เนื่องจากขาดอิเล็กตรอนไปหนึ่งตัว มีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี ปกติแร่ธาตุในร่างกายจะมีอิเล็กตรอนอยู่วงรอบเป็นเลขคู่ ซึ่งทำให้โมเลกุลนั้นคงตัว ในกรณีที่มีการสูญเสียอิเล็กตรอนหรือรับอิเล็กตรอนมาอีกหนึ่งตัว จะทำให้โมเลกุลนั้นไม่เสถียร กลายเป็นสารที่มีความอันตราย และเกิดการแย่งอิเล็กตรอนมาจากอะตอมของสารอื่น และทำให้สารอื่นเกิดเป็นอนุมูลอิสระต่อไปอีกเรื่อยๆ

ในสภาวะปกติร่างกายมีกระบวนการควบคุมอนุมูลอิสระไม่ให้มีในปริมาณที่มากเกินไป โดยอาศัยสารต้านอนุมูลอิสระทั้งที่ร่างกายสร้างขึ้นเอง เช่น กลุ่มของเอนไซม์ ได้แก่ Superoxide dismutase Glutathione peroxidase และ Catalase เป็นต้น และกลุ่มของโปรตีนที่สามารถจับโลหะได้ (Metal binding proteins) ได้แก่ Ferritin Ceruloplasmin Transferrin และ Uric acid หากกระบวนการเหล่านี้ต่ำลงหรือมีภาวะที่ทำให้อนุมูลอิสระสูงขึ้นมากในร่างกาย จะส่งผลให้สมดุลของร่างกายเสียไป เรียกภาวะนี้ว่า “การเครียดจากออกซิเดชัน” (Oxidation stress) เมื่ออยู่ในภาวะเครียดจากออกซิเดชันร่างกายจะทำลายสารชีวโมเลกุล ได้แก่ ไขมัน คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และสารพันธุกรรม เป็นเหตุให้เกิดอันตรายต่อเซลล์ และเนื้อเยื่อต่างๆ ดังนั้นมนุษย์จึงต้องได้รับสารที่สามารถช่วยกำจัดอนุมูลอิสระเพิ่มเติมจากภายนอกร่างกาย เช่น อาหารจำพวกผัก ผลไม้ และสมุนไพร เป็นต้น อาหารเหล่านี้มีสารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิดเป็นองค์ประกอบ เช่น สารประกอบฟีนอลิก วิตามินซี วิตามินอี และเบต้าแคโรทีน เป็นต้น (อนุชิตา มุ่งงาม, 2553)

ผลไม้ ผัก และเครื่องดื่มบางชนิด เป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติที่มีความสำคัญ เช่น ฟลาโวนอยด์ และสารประกอบฟีนอลิกชนิดต่างๆ โดยสารเหล่านี้มีผลทางชีวภาพ ตัวอย่างเช่น มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ สามารถยับยั้งการรวมตัวของเกล็ดเลือด ช่วยต้านจุลินทรีย์ และช่วยต้านปฏิกิริยาการอักเสบ อาหารที่มีฟลาโวนอยด์เป็นองค์ประกอบเกี่ยวข้องกับการลดความเสี่ยงโรคหลอดเลือดหัวใจและมะเร็ง (Saura-Calixto, 1998)



ตาราง 2.3 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของผลไม้บางชนิด

ชื่อผลไม้	FRAP value ($\mu\text{mol Fe(II)/g}$)	TEAC ($\mu\text{mol Trolox/g}$)	ปริมาณฟีนอลิก (mg GEA/100g)
แอปเปิ้ล (เขียว)	9.34	4.98	68.29
แอปเปิ้ล (แดง)	5.90	4.62	73.96
อะโวคาโด	2.76	1.16	21.86
กล้วย	5.33	3.44	57.13
แคนตาลูป	4.51	2.56	31.5
ชิตร์ส (ประเทศไทย)	8.92	3.71	69.91
ทุเรียน	7.41	4.98	79.15
องุ่น (เขียว)	4.95	1.27	23.20
องุ่น (แดง)	6.70	3.95	80.28
ฝรั่ง	23.80	15.18	194.11
มะนาว	6.06	2.54	61.47
มังคุด	0.11	3.34	43.68
สับปะรด	14.50	5.93	94.04

ที่มา : ดัดแปลงจาก Fu et al. (2011)

2.6 ผลกระทบจากกระบวนการแปรรูปต่อคุณสมบัติของเส้นใยอาหาร

กระบวนการแปรรูปอาหารมีหลายรูปแบบ ได้แก่ กระบวนการทางเคมี เชิงกล ความร้อน และเอนไซม์ พบว่ากระบวนการแปรรูปอาหารเหล่านี้มีผลกระทบต่อคุณภาพของเส้นใยอาหาร เนื่องจากสามารถเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี เคมีกายภาพ สารอาหาร และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหาร นอกจากนี้ยังมีผลในด้านสรีระวิทยาของเส้นใยอาหาร ซึ่งส่งผลต่อสุขภาพของมนุษย์ ผลกระทบของกระบวนการแปรรูปอาหารชนิดต่างๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงของเส้นใยอาหารมีดังนี้

2.6.1 กระบวนการเชิงกล

การใช้กระบวนการเชิงกล เช่น การกวน เป็นการเปิดโครงสร้างด้วยการเฉือนเชิงกล ทำให้หมู่ไฮดรอกซิลอิสระจากเซลลูโลสสามารถจับกับน้ำได้ ส่วนการบดสามารถส่งผลต่อคุณสมบัติของเส้นใยด้วย โดยทำให้เกิดความเสียหายแก่บริเวณที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำ ทำให้ลดความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใย นอกจากนี้ยังสามารถปรับปรุงคุณสมบัติเป็นผลให้เพิ่มพื้นที่บริเวณพื้นผิว การบดสามารถเพิ่มหรือลดคุณสมบัติในการจับกับน้ำของวัตถุดิบบางชนิดได้ ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค (Elleuch et al., 2011) ดังแสดงในตาราง 2.4



ตาราง 2.4 ผลของขนาดอนุภาคต่อคุณสมบัติในการจับกับน้ำของเส้นใยบางชนิด

แหล่งของเส้นใย	ขนาดอนุภาค (μm)	การพองตัว (ml g^{-1})	ความจุน้ำ (g water g^{-1} dry pellet)	การดูดน้ำ (ml water g^{-1} dry fiber)
หัวบีท	500-200	11.5	26.5	
		19.3	32.9	
	390	14.7	19.7	
	385	21.4	22.6	8.8
	205	15.9	19.2	7.3
	540	11.0	26.6	
	600	13.5	7.2	
พืชตระกูลส้ม	540	15.7	10.4	7.0
	235	13.3	8.6	7.0
	420	14.7	10.4	
	139	10.4	10.7	4.6
แอปเปิ้ล	500	6.0	7.1	2.4
	80	5.6	7.1	2.7
	950	9.9	4.3	1.9
	300	7.8	6.2	2.8
	100	6.5	3.9	3.3
	61	6.6	3.8	3.7
แป้งที่ทนต่อการ ย่อย	40	5.6	3.5	3.0
	80	7.4	3.1	3.9

ที่มา : ดัดแปลงจาก Guillon and Champ (2000)

2.6.2 การหมักและการใช้เอนไซม์

การหมัก เป็นการเปลี่ยนแปลงด้วยการกระตุ้นจากกิจกรรมของเอนไซม์ เอนไซม์ที่ตรวจพบส่วนใหญ่คือ อะไมเลส (Amylase) โปรติเอส (Protease) โพลีกาแลคตูโรเนส (Poligalacturonase) เซลลูเลส (Cellulase) และเบต้า-กาแลคโตซิเดส (β -galactosidase) การใช้เอนไซม์สามารถเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนระหว่างเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำได้ โดยการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่เป็นวัตถุดิบ และธรรมชาติของเอนไซม์ เอนไซม์ทำให้โพลีแซ็กคาไรด์ที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ลดลงแตกต่างกัน ส่วนใหญ่จะเกิดการสูญเสียเส้นใยอาหารส่วนที่ละลายน้ำ ได้แก่ โพลีแซ็กคาไรด์ที่เป็นกลาง และเพคติน (Redriguez et al., 2006)



2.6.3 การใช้ความร้อน

กระบวนการแปรรูปอาหารส่วนใหญ่เป็นการประยุกต์ใช้ความร้อนในอาหาร ได้แก่ การหุงต้ม และการบรรจุกระป๋อง การใช้ความร้อนทำให้เนื้อสัมผัสของเนื้อเยื่อพืชเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและโครงสร้างของเส้นใยอาหาร ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาถึงผลของความร้อนต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและสรีระวิทยาของเส้นใย และพบว่าความร้อนที่โดยทั่วไปใช้เวลาสั้น เป็นการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างด้วยน้ำที่ 100 องศาเซลเซียส ด้วยไอน้ำ หรือไมโครเวฟ กระบวนการแปรรูปอาหารกระบวนการนี้มีผลยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ซึ่งส่งผลเสียต่อคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์สุดท้าย อย่างไรก็ตาม พบว่าการให้ความร้อนด้วยกระบวนการนี้อาจส่งผลให้อาหารเกิดลักษณะที่ไม่พึงปรารถนาบางอย่าง เช่น เนื้อเยื่อของพืชมีความอ่อนนุ่มมากเกินไป สูญเสียสี และรสชาติ หรือเกิดสี และรสชาติที่ผิดปกติ (Rodriguez et al., 2006) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า การใช้ความร้อนด้วยวิธีการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 65 องศาเซลเซียส ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงหน้าที่ และปริมาณโพลีฟีนอล แทนนิน แอนโทไซยานิน และโปรตีนในเส้นใยอาหาร (Figuerola et al., 2005)

2.7 มะม่วง

2.7.1 ลักษณะทั่วไป

มะม่วงแก้วเป็นมะม่วงพื้นบ้านทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลางของประเทศไทย อยู่ในวงศ์ Anacardiaceae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Mangifera indica* L. มะม่วงแก้วมีชื่อเรียกกันอีกหลายชนิดพันธุ์ตามคุณลักษณะผลและแหล่งปลูกแต่ยังคงเรียกชื่อว่า “แก้ว” นำหน้าอยู่ทุกพันธุ์ เช่น แก้วดำ แก้วแดง แก้วขาว แก้วเขียว และแก้วจุก เมื่อผลยังดิบผิวเปลือกของมะม่วงแก้วมีสีเขียวเข้ม เนื้อสีนวล หยิบ มีเปอร์เซ็นต์แป้งในผลมาก รสเปรี้ยว แต่เมื่อแก่จัดมีรสมันอมเปรี้ยว ผลลักษณะกลมป้อมเมื่อสุกผิวมีเปลือกสีเขียวปนเหลือง สีเนื้อเหลือง ลักษณะเนื้อหยิบ รสออกหวานอมเปรี้ยว เมล็ดใหญ่มีเนื้อในเมล็ดเต็ม พันธุ์มะม่วงของไทยแบ่งออกตามประโยชน์ที่ใช้ได้ 3 ประเภท คือ

- 1) มะม่วงกินสุก ผลของมะม่วงประเภทนี้ขณะที่ดิบอยู่จะมีรสเปรี้ยวมาก แต่พอเริ่มสุกแป้งจะเปลี่ยนเป็นน้ำตาล พอสุกได้ที่รสจะหวานอร่อย ตลาดโลกส่วนใหญ่รู้จักแต่มะม่วงกินสุกเท่านั้น นอกจากนี้จะใช้ประโยชน์ในรูปรับประทานผลสุกแล้ว ยังใช้ประกอบอาหารหวานได้อีกหลายอย่าง พันธุ์มะม่วงกินสุกของไทย เช่น อกร่อง ทองแดง แรด น้ำดอกไม้ โชคอนันต์ เป็นต้น
- 2) มะม่วงมันหรือมะม่วงกินดิบ ใช้ประโยชน์ได้ตั้งแต่ระยะยังไม่แก่จนถึงแก่จัด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ บางพันธุ์ต้องปล่อยให้ผลอยู่ในสภาพแก่จัดเสียก่อนจึงจะอร่อย มะม่วงมันมีตลาดอยู่อย่างจำกัด ส่วนใหญ่เราใช้บริโภคภายในประเทศ มีส่งออกไปขายตลาดต่างประเทศบ้างไม่มากนัก พันธุ์มะม่วงมันของไทย เช่น พิมเสนมัน เขียวเสวย ศาลายา ฟาลัน หนองแขง เป็นต้น
- 3) มะม่วงแปรรูป ผลมะม่วงอาจนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายอย่าง เช่น มะม่วงดอง แยมมะม่วง ไวน์มะม่วง มะม่วงตากแห้ง เป็นต้น มะม่วงทุกพันธุ์ไม่สามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้ทุกชนิด ผลิตภัณฑ์บางชนิดต้องการพันธุ์มะม่วงที่มีลักษณะเฉพาะ โดยพันธุ์มะม่วงที่มีบทบาทในการแปรรูปนั้น จะต้องเป็นพันธุ์ที่ปลูกกันมากและราคาไม่แพงจนเกินไป



2.7.2 คุณค่าทางโภชนาการ

คุณค่าทางอาหารของมะม่วงเมื่อคิดจากส่วนที่เป็นเนื้อมะม่วงที่รับประทานได้
จำนวน 100 กรัมแสดงไว้ดังตาราง 2.5

ตาราง 2.5 คุณค่าทางอาหารในส่วนที่รับประทานได้ของมะม่วงดิบปริมาณ 100 กรัม

สารอาหาร	ปริมาณ	หน่วย	สารอาหาร	ปริมาณ	หน่วย
น้ำ	81.71	กรัม	โพแทสเซียม	156	มิลลิกรัม
พลังงาน	65	กิโลแคลอรี	วิตามินซี	27.7	มิลลิกรัม
โปรตีน	0.51	กรัม	โทอะมีน	0.06	มิลลิกรัม
ไขมันทั้งหมด	0.27	กรัม	ไรโบฟลาวิน	0.06	มิลลิกรัม
คาร์โบไฮเดรต	17	กรัม	ไนอาซิน	0.58	มิลลิกรัม
ใยอาหาร	1.80	กรัม	กรดเพนโททินิก	0.16	มิลลิกรัม
เถ้า	0.50	กรัม	โฟเลต	14	ไมโครกรัม
แคลเซียม	10	มิลลิกรัม	วิตามินบี 6	0.13	มิลลิกรัม
เหล็ก	0.13	มิลลิกรัม	วิตามินบี 12	-	ไมโครกรัม
แมกนีเซียม	9	มิลลิกรัม	วิตามินเอ	3894	ไอยู
ฟอสฟอรัส	11	มิลลิกรัม	วิตามินอี	1.13	มิลลิกรัม

ที่มา : รุ่งอรุณ หอมดอก (2545)

มะม่วงมีปริมาณน้ำตาลและกรดแตกต่างกันตามสายพันธุ์ และความแก่ของผล คาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่ในมะม่วงสุกอยู่ในรูปของน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุคโตส นอกจากนี้ยังพบมอสโตสอยู่บ้าง พบคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่สตาร์ชเป็นองค์ประกอบในปริมาณเล็กน้อย คาร์โบไฮเดรตเหล่านี้ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพคติน มะม่วงดิบอ่อนมีแป้งเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง แป้งในผลมะม่วงที่กำลังแก่มีถูกไฮโดรไลซ์ไปเป็นน้ำตาลรีดิวิซ ซึ่งบางส่วนของน้ำตาลรีดิวิซนี้จะถูกสังเคราะห์ไปเป็นซูโครส ในระยะหลังผลสุกซูโครสจะสลายตัวเป็นไปเป็นน้ำตาลรีดิวิซ ผลมะม่วงที่แก่เต็มที่แต่ยังไม่สุกมักประกอบไปด้วยกรดซิตริก กรดมาลิก กรดออกซาลิก กรดซัคซินิก และกรดอื่นอีก 2 ชนิด ทั้งนี้พบกรดซิตริกในปริมาณสูงกว่ากรดชนิดอื่น ในระหว่างที่ผลมะม่วงเริ่มสุก ความเป็นกรดจะลดลง และเหลืออยู่ในปริมาณต่ำที่สุดขณะผลสุก นอกจากนี้คาร์โบไฮเดรตที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์ในมะม่วงได้ ซึ่งประกอบไปด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพคติน

1) เซลลูโลส เป็นโพลีแซ็กคาไรด์ที่ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคส ที่เกาะกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ ที่ตำแหน่ง β -1,4 เป็นสายโซ่ยาวตั้งแต่ 200-14,000 โมเลกุล ทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงแก่ผนังเซลล์

2) เฮมิเซลลูโลส เป็นโพลีแซ็กคาไรด์ที่ประกอบด้วยน้ำตาลหลายชนิด ทั้งน้ำตาลเฮกโซส และเพนโทส ได้แก่ ไซโลส อะราบิโนส กลูโคส แมนโนส และกาแล็กโตส



โดยเฮมิเซลลูโลสจะแทรกตัวและยึดเกาะโมเลกุลของเซลลูโลสในผนังเซลล์จึงให้ความแข็งแรงกับผนังเซลล์ด้วยเช่นกัน

3) สารประกอบเพคติน โมเลกุลของเพคตินส่วนใหญ่จะแทรกอยู่ระหว่างชั้นของผนังเซลล์เรียกว่า Middle lamella เพคตินจึงทำหน้าที่เชื่อมยึดแต่ละโมเลกุลในผนังเซลล์เข้าด้วยกัน เพคตินเป็นพอลิเมอร์ของกรดกาแลคทิวโรนิก ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกาแล็กโทสเชื่อมต่อกันที่ตำแหน่ง β -1,4 ซึ่งคาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 6 อยู่ในหมู่คาร์บอกซิลอิสระ นอกจากนี้คาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 2 และ 3 ยังอาจถูก Acetylated ได้ในโมเลกุลของเพคติน ยังประกอบด้วยน้ำตาลอีกหลายชนิด เช่น น้ำตาลไซโลส อะราบิโนส และแรมันโนส โดยโมเลกุลของน้ำตาลจะเกาะอยู่เป็นสายแขนง น้ำหนักโมเลกุลของเพคตินผันแปรอยู่ในช่วงประมาณ 10,000-400,000 และมีกรดกาแลคทิวโรนิกประมาณ 300-800 หน่วยต่อโมเลกุล

คุณสมบัติในการละลายน้ำของเพคตินขึ้นกับความยาวของสายพอลิเมอร์และจำนวนหมู่เมธิลที่อยู่ในโครงสร้าง ถ้าสารประกอบเพคตินมีสายโมเลกุลสั้นและมีหมู่เมธิลน้อย นั่นคือมีหมู่คาร์บอกซิลอิสระมากก็จะละลายน้ำได้ดี ในระหว่างกระบวนการสุกของมะม่วง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบเพคติน เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเอนไซม์กลุ่มเพคตินเอส โดยทำให้โปรตเพคตินในผลไม้ดิบเปลี่ยนเป็นกรดเพคตินิกในผลไม้ห่ามและเปลี่ยนเป็นกรดเพคติกในผลไม้สุกตามลำดับ ดังนั้นเมื่อผลไม้อยู่ในระยะแก่จัดจนถึงสุกจะเกิดการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ (รุ่งอรุณ หอมดอก, 2545)

กรดอะมิโนที่พบมากในผลมะม่วง ได้แก่ กรดแอสปาร์ติก กรดกลูตามิก อะลานีน ไกลซีน เมธิโอนีน ลูซีน และอาจมีกรดชนิดอื่นเป็นองค์ประกอบด้วย เช่น ซีลิติน และ บิวทาริก ผลมะม่วงสุกเป็นแหล่งวิตามินเอที่สำคัญ นอกจากนี้มะม่วงยังมีวิตามินซีในปริมาณ นอกจากนี้ยังพบว่ามีเบตาแคโรทีน และเซโนฟิโพลล์ เป็นเม็ดสีหลักในมะม่วงสุก เอนไซม์หลักในมะม่วงสุก คือ แคตตาลเลสและเพอร์ออกซิเดส ซึ่งจะมีกิจกรรมสูงสุดเมื่อผลเจริญเต็มที่ ประมาณ 115 วัน หลังจากติดผล (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2547)

2.8 ฝรั่ง

2.8.1 ลักษณะทั่วไป

ฝรั่งเป็นผลไม้ที่อยู่ในวงศ์ Myrtaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Psidium guajava* L. ชื่อสามัญคือ Guava มีถิ่นกำเนิดในอเมริกาเขตร้อน เป็นพืชที่เจริญเติบโตในสภาพภูมิอากาศทั่วไปในเขตร้อน และกึ่งร้อน ดังนั้น จึงสามารถเจริญเติบโตได้ดีในทุกภาคของประเทศไทย ฝรั่งเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลาง มีกิ่งเหนียว มีทรงพุ่มสูง 3-5 เมตร สามารถให้ผลผลิตได้หลังปลูก 1 ปี เป็นพืชที่เจริญเติบโต และให้ผลผลิตสม่ำเสมอในท้องที่มีแสงแดดทั่วถึง ฝรั่งนับจากดอกบานถึงผลแก่พร้อมที่จะเก็บเกี่ยวได้ใช้เวลาประมาณ 4-5 เดือน ผลผลิตประมาณ 170 ผล/ต้น/ปี โดยเฉลี่ยผลหนึ่งจะมีน้ำหนักประมาณ 300-500 กรัมฤดูกาลเก็บเกี่ยวปกติอยู่ในช่วงเดือน มีนาคม - พฤษภาคม (มากที่สุด) โดยปกติแล้วฝรั่งจะให้ผลผลิตเกือบตลอดทั้งปี สามารถแบ่งพันธุ์ฝรั่งตามการใช้ประโยชน์ได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้



1) กลุ่มรับประทานสด ซึ่งแบ่งเป็นกลุ่มย่อยตามท้องถิ่นก่อนนำเข้ามาในประเทศไทย ได้แก่ ฝรั่งพันธุ์พื้นเมือง คือ พันธุ์ซึ้นก ฝรั่งพันธุ์จีน คือ พันธุ์บางเสาชหรือพันธุ์หลวงทองสี ฝรั่งพันธุ์เวียดนาม ได้แก่ กลมสาลี กลมสาลีทอง แป้นสีทอง ยาวเสวต หรือศรีวิชัย 1 และกลมทูลเกล้า หรือ ศรีวิชัย 2 ฝรั่งพันธุ์อินเดีย ได้แก่ พันธุ์มีเมล็ดและไร้เมล็ด เช่น พันธุ์ผลกลม พันธุ์ผลรูปสาลี พันธุ์เนาเบอร์ 16 พันธุ์ฮาลาฮามัด พันธุ์อินเดียค่อม และพันธุ์อีแห้ว ฝรั่งพันธุ์อินโดนีเซีย มีเพียงพันธุ์เดียว คือ พันธุ์สาลีทอง และฝรั่งพันธุ์ผสม ได้แก่ บางกอกแอปเปิ้ล ฝรั่งแดงบางกอก และสาลีสามสี

2) กลุ่มฝรั่งแปรรูป เป็นพันธุ์ฝรั่งนำเข้า มี 2 พันธุ์ คือ พันธุ์โบมองด์ และพันธุ์คาฮัวคูลา ผลมีขนาดกลาง รูปร่างกลม ผิวเรียบ เนื้อสีชมพู เนื้อไม่แน่น ฉ่ำน้ำมาก กลิ่นหอม

3) กลุ่มฝรั่งประดับ มี 2 พันธุ์ คือ พันธุ์ใบเล็ก และพันธุ์จีวไบจีบ ลักษณะเป็นทรงพุ่ม ใบมีขนาดเล็ก ผลมีขนาดเล็กมาก ผลกลม ผิวเรียบ เนื้อบาง นิยมปลูกในครัวเรือนเท่านั้น

2.8.2 คุณค่าทางโภชนาการ

เนื่องจากฝรั่งมีความสำคัญทางเศรษฐกิจและมีคุณค่าทางอาหารสูง จึงมักถูกเรียกว่า “Apple of the tropic” ฝรั่งเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เนื่องจากอุดมไปด้วยวิตามิน โดยเฉพาะ วิตามินซีซึ่งพบในปริมาณที่สูงกว่ามะนาว และส้มถึง 4 เท่า หรือ 10 – 20,000 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม วิตามินบี วิตามินอี นอกจากนี้สารอาหารที่พบในเนื้อฝรั่ง ประกอบด้วย โปรตีน คาร์โบไฮเดรตที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ ระยะการสุกแก่ของผล และฤดูกาล ส่วนแร่ธาตุในผลฝรั่งประกอบด้วยแคลเซียมและเหล็ก (ชุตติภัสร์ เรื่องวุฒิ, 2008) สำหรับคุณค่าทางโภชนาการนั้น ฝ่ายวิเคราะห์อาหารและโภชนาการ (2535) ได้ศึกษาคุณค่าทางอาหารไว้ ดังแสดงในตาราง 2.6

ตาราง 2.6 คุณค่าทางอาหารของฝรั่งสดในสัดส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม

สารอาหาร	หน่วย	ปริมาณ	สารอาหาร	หน่วย	ปริมาณ
วิตามินบี 2	มิลลิกรัม	0.13	ฟอสฟอรัส	มิลลิกรัม	25
วิตามินซี	มิลลิกรัม	160	คาร์โบไฮเดรต	เปอร์เซ็นต์	11.6
วิตามินเอ	หน่วยสากล	89	โปรตีน	เปอร์เซ็นต์	0.9
ค่าพลังงาน	กิโลแคลอรี	51	เส้นใย	เปอร์เซ็นต์	6
ความร้อน					
แคลเซียม	มิลลิกรัม	13	ไขมัน	เปอร์เซ็นต์	0.1

ที่มา : ชุตติภัสร์ เรื่องวุฒิ (2008)

ส่วนประกอบทางเคมีของผลฝรั่งขึ้นมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ สภาพแวดล้อม และการปฏิบัติทางเกษตรกรรม น้ำตาลที่พบในฝรั่งมีปริมาณร้อยละ 6 – 11 ประกอบด้วย น้ำตาลฟรุคโตส กลูโคส และน้ำตาลซูโครส ในปริมาณร้อยละ 59, 36 และ 5 ตามลำดับ



ปริมาณน้ำตาลที่พบในฝรั่งจะเพิ่มขึ้นตามลำดับการพัฒนาของผล โดยมีการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลฟรุกโตสอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ น้ำตาลกลูโคสจะค่อยๆเพิ่มปริมาณมากขึ้น ฝรั่งเป็นแหล่งที่ดีที่สุดของกรดแอสคอร์บิก หรือ วิตามินซี ที่ป้องกันโรคเลือดออกตามไรฟัน พบว่าผลฝรั่งในฤดูหนาวประมาณเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคมจะมีปริมาณกรดแอสคอร์บิก ประมาณ 325 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งมากกว่าฝรั่งในฤดูฝนประมาณเดือนกรกฎาคมถึงเดือนสิงหาคมที่มีประมาณ 140 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ปริมาณวิตามินซีจะมีการสะสมมากที่สุดให้ระยะผลแก่เต็มที่ที่มีสีเขียวและลดลงเมื่อผลเริ่มสุกเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ปริมาณที่พบมากที่สุดอยู่บริเวณผิวของผล และลดลงในส่วนของเนื้อ จากการวิเคราะห์พบว่า ในเนื้อฝรั่งมี 286 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม และในแกนเมล็ดมี 122 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม วิตามินซี ซึ่งมีอยู่ในฝรั่งจำนวนมากนั้นขึ้นอยู่กับพันธุ์ฝรั่ง บางพันธุ์มีวิตามินเฉลี่ยได้ 95 มิลลิกรัม ต่อน้ำหนักฝรั่งสด 100 กรัม แต่จากการวิเคราะห์ พบว่าฝรั่งขึ้นก็มีวิตามินซีที่สุด (จารุพันธุ์ ทองแถม และคณะ, 2543)

2.9 แป้ง (Starch)

2.9.1 โครงสร้างของเม็ดแป้ง

การจัดระเบียบของอนุภาคแป้ง ขนาดเม็ดแป้ง รูปร่าง สัณฐาน องค์ประกอบ และโครงสร้างของโมเลกุล ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดของแป้งแต่ละชนิด โดยทั่วไปเม็ดแป้งมีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 1-100 ไมโครเมตร ทั้งรูปร่างปกติ (ได้แก่ ทรงกลม ทรงรูปไข่ เชิงมุม) หรือรูปร่างผิดปกติ เม็ดแป้งประกอบด้วยอนุภาคส่วนที่เป็นผลึก (Crystalline) เป็นหลัก โดยมีไฮมโพลีเมอร์ของกลูโคไพราโนสด้วยโครงสร้างที่แตกต่างกัน ซึ่งมีอะไมโลสที่ประกอบด้วยหน่วยของ D-glucose เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -D-(1-4) และอะไมโลเพกตินที่เป็นพอลิเมอร์แบบกึ่งก้านของแป้ง ที่มีกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -D-(1-4) และยังประกอบด้วยหน่วยกลูโคสที่เป็นกึ่งก้านที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -D-(1-6) อะไมโลสมีพอลิเมอร์เส้นตรงเป็นหลัก อะไมโลสประกอบด้วยเกลียวของส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic helix) ซึ่งสามารถเกิดเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อนกับกรดไขมันอิสระได้ (Amylose lipid complex) ซึ่งกรดไขมันอิสระประกอบด้วย กลีเซอรไรด์ แอลกอฮอล์ บางชนิด และไอโอดีน ในแป้งปกติทั่วไปอะไมโลเพกตินมีขนาดใหญ่กว่าอะไมโลส โดยมีสายโซ่ที่จัดว่ามีขนาดเล็ก สายโซ่ขนาดเล็กมีค่าเฉลี่ยของระดับพอลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization; DP) ประมาณ 15 และสายโซ่ที่มีขนาดสายโซ่ใหญ่จะมี DP มากกว่า 45 ซึ่งลักษณะเช่นนี้เป็นการจัดระเบียบในการสร้างส่วนของผลึกตามธรรมชาติของเม็ดแป้ง ส่วนของผลึกเป็นการแสดงให้เห็นการจัดระเบียบของโมเลกุลอะไมโลเพกตินภายในเม็ดแป้ง ขณะที่อะไมโลสส่วนใหญ่เกิดขึ้นในส่วนอสัณฐาน (Amorphous) โดยกระจายอยู่ภายในอะไมโลเพกติน ภายใต้แสงโพลาไรซ์เม็ดแป้งแสดงลักษณะเฉพาะตัวคือมีลักษณะโครงสร้างที่เป็นกากบาท (Birefringent) ซึ่งแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุลและการนำแสง และสามารถยืนยันผลด้วยเลนส์เอ็กซ์เรย์ (Bertolini, 2010)

2.9.2 การเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะร้อน (Pasting behavior)

เมื่อเม็ดแป้งถูกให้ความร้อนในขณะที่มีน้ำอยู่จนถึงอุณหภูมิการเกิดเจลลาติไนเซชัน เม็ดแป้งจะเกิดการสูญเสียส่วนของผลึก และเกิดการดูดซึมน้ำได้ปริมาณมากขึ้น ทำให้เกิดการพองตัวของเม็ดแป้งเพิ่มขึ้นจากขนาดเริ่มต้น เมื่อเม็ดแป้งพองตัวในช่วงอุณหภูมิหนึ่งอะไมโลส และอะไมโลเพกติน



คติจะถูกชะออกมาจากเม็ดแป้ง ซึ่งการชะออกมาของอะไมโลส และอะไมโลเพคตินนี้มีผลทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น และเมื่อเม็ดแป้งมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในที่สุดเม็ดแป้งจะถูกทำลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการใช้แรงเฉือนร่วมด้วย จึงมีผลให้เกิดการก่อตัวของแป้งเปียก (Starch paste) ขึ้น แป้งเปียกที่เกิดขึ้นประกอบไปด้วยเฟสต่อเนื่องของอะไมโลส และอะไมโลเพคตินที่ละลายได้ และเฟสไม่ต่อเนื่องของเม็ดแป้งที่พองตัวหรือเศษของเม็ดแป้ง Granule ghosts และ Fragments หลังจากเม็ดแป้งถูกทำลายแล้วมีผลทำให้ความหนืดลดลง การเพิ่มขึ้นและลดลงของความหนืดของแป้งเปียกสามารถบันทึกได้ด้วยเครื่องวัดความหนืด (Viscometer) ตัวอย่างเช่น Rapid Visco Analyzer (RVA) ซึ่งสามารถบันทึกความหนืดได้อย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น (Angkana, 2009)

2.9.3 การเกิดเจลลาติโนเซชันของแป้ง (Gelatinization)

การเกิดเจลลาติโนเซชันของแป้งเกี่ยวข้องกับการละลายของเม็ดแป้งในสถานะที่มีน้ำ ภายใต้การให้ความร้อน ในสถานะที่มีน้ำเม็ดแป้งจะเกิดการพองตัวเมื่อมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการถ่ายเทน้ำในสารแขวนลอยซึ่งเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบของแป้ง ได้แก่ อะไมโลส และอะไมโลเพคติน เมื่ออุณหภูมิของแป้งสูงถึง 60-70 องศาเซลเซียส เม็ดแป้งส่วนที่ละลายจะถูกทำลายด้วยพลังงานที่ให้เข้าไป ส่งผลให้เกิดการสูญเสียการจัดรูปแบบของโมเลกุล และสูญเสียส่วนของผลึก กระบวนการนี้ทำให้ความหนืดและการละลายของแป้งเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแบบไม่สามารถผันกลับได้ ได้แก่ การทำลายส่วนของเม็ดแป้งและโครงสร้างส่วนกึ่งผลึก (Semi-crystalline) และทำให้เกิดการสูญเสีย Birefringence ของเม็ดแป้งด้วย Biliaderis et al. (1980) ได้ศึกษาการเกิดเจลลาติโนเซชันด้วยเครื่อง Differential scanning calorimetry (DSC) และอธิบายกระบวนการการเกิดเจลลาติโนเซชันในระบบที่มีปริมาณน้ำมากเกินพอว่า เมื่อมีการให้ความร้อนแก่เม็ดแป้ง เม็ดแป้งจะเกิดการพองตัวที่ส่วนอสัณฐาน (Amorphous regions) แล้วไปมีผลให้ส่วนผลึกของแป้งเกิดการละลายได้ง่ายขึ้น การพองตัวของเม็ดแป้งที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการทำลายส่วนของผลึกในที่สุด ส่งผลให้ความหนืดเพิ่มขึ้นและสูญเสียส่วนกากบาทของเม็ดแป้ง (Granule birefringence) และในระบบที่มีปริมาณน้ำมากเกินพอนี้เทอร์โม แกรมของ DSC แสดงการเปลี่ยนแปลง Endothermic เพียงแบบเดียวหรือให้พีคของการเกิดเจลลาติโนเซชันเพียงพีคเดียวนั้นเอง ในขณะที่ระบบของแป้งที่มีปริมาณน้ำจำกัดเทอร์โมแกรมของ DSC แสดงการเปลี่ยนแปลง Endothermic สองแบบ Endotherm แบบแรก คือพีคที่ 1 หรือ G Endotherm พบที่อุณหภูมิต่ำเกิดจากการทำลายพันธะในส่วนของอสัณฐาน และส่วนของผลึกบางส่วน และเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงส่วนของผลึกของเม็ดแป้งถูกทำลายเพิ่มเติมส่งผลให้เกิด Endotherm ที่สอง (M1 endotherm) อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่าไม่ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำเท่าไรก็ตาม G Endotherm ของการเกิดเจลลาติโนเซชันของแป้งชนิดเดิมมักเกิดที่อุณหภูมิคงที่เสมอ ในปี ค.ศ. 2000 Waigh และคณะ ได้เสนอกลไกการเกิดเจลลาติโนเซชันว่าเกี่ยวข้องกับพลังงานที่ใช้ในการทำลายเกลียวของอะไมโลเพคติน (Amylopectin helix) นั่นคือพลังงานที่ใช้ในการแยกจากกันของเกลียวอะไมโลเพคติน และพลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงของม้วนเกลียวอะไมโลเพคติน โดยในระบบที่มีปริมาณน้ำมากเกินพอ (มากกว่าร้อยละ 40 น้ำหนักต่อน้ำหนัก) Endotherm ของ DSC ของการแยกกัน และการเปลี่ยนแปลงของม้วนเกลียวอะไมโลเพคตินจะเกิดการรวมกันเนื่องจากการสูญเสียส่วนของผลึก และเกิดแยกกันของเกลียวพร้อมๆ กัน แต่ในสถานะที่มีน้ำ



อยู่ในปริมาณที่จำกัด (ร้อยละ 5-40 น้ำหนักต่อน้ำหนัก) อุณหภูมิในการเปลี่ยนแปลงมวลเกลือของอะไมโลเพคตินสูงกว่าอุณหภูมิในการแยกกันของเกลียวอะไมโลเพคติน ดังนั้นจึงพบว่าเทอร์โมแกรมของ DSC แสดงการเปลี่ยนแปลง Endothermic สองแบบโดย G Endotherm เป็นพีคที่เกิดจากการแยกกันของเกลียวอะไมโลเพคติน และ M1 endotherm เป็นการเปลี่ยนแปลงของมวลเกลียวอะไมโลเพคติน (Angkana, 2009)

2.9.4 สมบัติทางความร้อน (Thermal properties)

Differential scanning calorimetry (DSC) เป็นเทคนิคที่นำมาใช้อย่างแพร่หลายในการศึกษาคุณสมบัติทางความร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติทางความร้อนของแป้งที่ประกอบไปด้วยการเกิดเจลลาติโนเซชัน (Gelatinization) อุณหภูมิการเกิด Glass transition และการเกิดผลึก (Crystallization) คุณสมบัติทางความร้อนของแป้งมีความซับซ้อนสูง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพที่เกิดขึ้นระหว่างให้ความร้อนต่อแป้งหรือผลิตภัณฑ์แป้ง ซึ่งอาจจะเกี่ยวข้องกับการเกิด เจลลาติโนเซชัน การละลาย การเกิด Glass transition การเกิดผลึก การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึก การขยายปริมาตร การสลายของโมเลกุล และการเคลื่อนที่ของน้ำ คุณสมบัติทางความร้อนทั้งหมดเหล่านี้ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้น และน้ำที่เป็นองค์ประกอบในแป้งที่ไม่เสถียรระหว่างให้ความร้อน นอกจากนี้การนำความร้อนของแป้งยังต่ำมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเม็ดแป้งเนื่องจากความหนาแน่นที่ต่ำ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความไม่เสถียร (Yu and Christie, 2001)

การเกิดเจลลาติโนเซชันของแป้งตรวจวัดได้ด้วยกระบวนการเอนโดเทอร์มิก (Endothermic process) และแสดงเป็นค่าเอนทัลปี (Enthalpy) ในช่วง 10 ถึง 20 J/g DSC เป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญในการศึกษาการเกิดเจลลาติโนเซชันของแป้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งใช้ในการศึกษาเพื่อพิจารณาพฤติกรรมทางความร้อน (Thermal behavior) ของระบบที่แป้งและน้ำ ซึ่งจะช่วยในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงช่วงของอุณหภูมิในการเกิดเจลลาติโนเซชัน และศึกษาอัตราส่วนของแป้งต่อน้ำในการเกิดเจลลาติโนเซชัน และยังเป็นวิธีที่ใช้ประมาณการการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีในการเกิดเจลลาติโนเซชัน ข้อมูลที่ได้จาก DSC เป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของพลังงานไฟฟ้าของสารตัวอย่างกับสารอ้างอิงและอุณหภูมิ ซึ่งเรียกว่า เทอร์โมแกรม (Thermogram) กราฟที่ได้จะมีความสัมพันธ์กับความจุความร้อน (Heat capacity) ของสารตัวอย่าง โดยที่พื้นที่ใต้กราฟของเทอร์โมแกรมนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (ΔH) ในสารตัวอย่าง (ธนบุรณ์ ธัชศฤงคารสกุล, 2553) ซึ่งถือว่าเป็นค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ในการเกิดเจลลาติโนเซชัน (The enthalpy; ΔH) นั่นเอง นอกจากนี้คุณสมบัติทางความร้อนที่รายงานด้วยเครื่อง DSC ที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งคือช่วงของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสำหรับการเกิดเจลลาติโนเซชัน ได้แก่ อุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิด เจลลาติโนเซชัน (The onset temperature; T_{onset}) อุณหภูมิสูงสุดของการเกิดเจลลาติโนเซชัน (The peak temperature; T_{peak}) และอุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลลาติโนเซชัน (The conclusion temperature; $T_{conclusion}$) คุณสมบัติทางความร้อนของแป้งที่วัดด้วยเครื่อง DSC มีผลจากหลายๆปัจจัย ได้แก่ ปริมาณความชื้นของตัวอย่าง ตัวถูกละลายที่ไม่เป็นไอออนิก (Non-ionic solutes) เช่น น้ำตาล และตัวถูกละลายที่เป็นไอออนิก (Ionic solutes) (Angkana, 2009)

ในปี ค.ศ. 1971 Stevens และ Elton ได้นำเทคนิค DSC มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์การเกิดเจลลาติโนเซชันของแป้งเป็นครั้งแรก ซึ่งทำการศึกษาโดยใช้อัตราส่วนของแป้ง



ต่อน้ำ เท่ากับ 1 ต่อ 2 และให้ความร้อนจาก 5-100 องศาเซลเซียส จากการศึกษาพบพีคเอนโดเทอร์มิก (Endothermic peak) ได้อย่างชัดเจนที่อุณหภูมิระหว่าง 54-73 องศาเซลเซียส และได้กำหนดเป็นอุณหภูมิการเกิดเจลลาติโนเซชันของแป้ง ต่อมาในปี ค.ศ. 1979 Donovan ได้รายงานการพบ Endothermic peak 2 พีค เมื่อให้ความร้อนแก่แป้งสาลี และแป้งมันฝรั่ง โดยมีน้ำเป็นองค์ประกอบร้อยละ 27 ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของแป้งที่มี 2 ชนิดหรือสภาพที่แตกต่างกัน 2 แบบที่พบในแป้ง นอกจากนี้จากรายงานของ Eliason (1980) ได้พบพีค 3 พีค เมื่อผสมแป้งสาลีกับน้ำด้วยปริมาณน้ำระหว่างร้อยละ 35-80 และให้ความร้อนที่ 140 องศาเซลเซียส โดยการทดสอบกับ DSC แต่จากการทดสอบด้วย DSC ไม่สามารถอธิบายได้ที่พีคตำแหน่งที่ 2 การศึกษาเหล่านี้จึงได้ให้ความสนใจที่พีคที่เกิดที่อุณหภูมิต่ำ (ต่ำกว่า 150 องศาเซลเซียส) โดยเฉพาะอย่างยิ่งรูปร่างพีคที่ปรากฏที่อุณหภูมิระหว่าง 50-75 องศาเซลเซียส มีรายงานเพียงบางส่วนเท่านั้นที่สำคัญกับพีคที่อุณหภูมิสูง (สูงกว่า 150 องศาเซลเซียส) ในปี ค.ศ. 1992 Shogren ได้ศึกษาการเกิดเจลลาติโนเซชันของแป้งข้าวโพด โดยมีน้ำเป็นองค์ประกอบร้อยละ 11-50 พบว่าเกิดเจลลาติโนเซชัน (การละลาย) ที่อุณหภูมิ 190-200 องศาเซลเซียส ในปริมาณน้ำร้อยละ 11-30 และเมื่อมีปริมาณความชื้นมากกว่าร้อยละ 30 ทำให้ส่วนอสัณฐาน (Amorphous) เริ่มเกิดเจลลาติโนเซชันที่อุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส (Yu and Christie, 2001)

2.9.5 สมบัติทางรีโอโลยี (Rheological properties)

สมบัติทางรีโอโลยี หมายถึง สมบัติในการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Deformation) หรือการไหล (Flow) ของวัสดุ เมื่อมีแรงมากระทำ ซึ่งชี้ให้เห็นถึงโครงสร้างและพฤติกรรมของวัสดุ นั้น ๆ โดยการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง พฤติกรรมของวัสดุที่มีโครงสร้างเป็นของแข็งจะแสดงออกมา ในรูปของความยืดหยุ่น (Elastic) หรือการกลับคืนรูปร่างของโครงสร้างหลังจากการให้แรง ในขณะที่การไหลเป็นพฤติกรรมของวัสดุที่มีลักษณะโครงสร้างเป็นของเหลว จะแสดงออกมาในรูปของความหนืด (Viscous) หรือแรงต้านทานต่อการไหล

2.9.5.1 วิธีการวัดสมบัติทางรีโอโลยี

วิธีการวัดสมบัติทางรีโอโลยีสามารถแบ่งวิธีการวัดคุณสมบัติได้เป็น 2 แบบ คือ แบ่งตามลักษณะการเสียรูป และแบ่งตามเทคนิคการทดสอบ

1) วิธีการทดสอบสมบัติทางรีโอโลยีแบบแบ่งตามลักษณะการเสียรูป แบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ แบบการเสียรูปมาก (Large deformation) และ การเสียรูปน้อย (Small deformation)

(1) Large deformation วิธีการทดสอบแบบนี้ เป็นการทดสอบสมบัติทางรีโอโลยีโดยให้แรงเป็นจำนวนมากแก่วัสดุ เพื่อศึกษาพฤติกรรมและโครงสร้างของวัสดุขณะเกิดการแตกหัก เช่น การทดสอบแบบ Stress relaxation และ Creep เป็นต้น ซึ่งวิธีการทดสอบนี้มีข้อดีตรงที่พฤติกรรมการตอบสนองของวัสดุต่อแรงมีลักษณะใกล้เคียงกับสภาวะจริง เนื่องจากโดยมากวัสดุจะได้รับแรงเป็นจำนวนมากในกระบวนการผลิต เช่น ในช่วงของการผสมวัตถุดิบ และการขึ้นรูป เป็นต้น ข้อเสียของวิธีทดสอบนี้คือในขณะที่ทดสอบโครงสร้างของวัสดุจะถูกทำลาย

(2) Small deformation วิธีการทดสอบนี้ จะเป็นการทดสอบที่ใช้แรงปริมาณน้อยโครงสร้างของวัสดุจะถูกทำลายเพียงเล็กน้อย การทดสอบนิยมตั้งค่าความเค้น (Stress)



ที่ให้กับวัสดุคงที่ตลอดการทดสอบ หรือตั้งค่าอัตราเฉือน (Strain rate) ที่วัสดุได้รับคงที่ตลอดการทดสอบ พฤติกรรมการตอบสนองของวัสดุจึงสม่ำเสมอ โดยวิธีการทดสอบแบบ Small deformation ที่นิยมใช้ในงานวิจัยต่างๆ ได้แก่ การทดสอบแบบ Oscillatory (สวรัักษ์ จันทรเทพธิมากุล, 2551)

2) วิธีการวัดค่าคุณสมบัติทางรีโอโลยีแบ่งตามเทคนิคการทดสอบ แบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ แบบ Descriptive Empirical และ แบบ Fundamental

(1) การวัดสมบัติทางรีโอโลยี แบบ Descriptive Empirical การวัดแบบนี้เป็นวิธีการวัดคุณสมบัติทางรีโอโลยี โดยใช้เครื่องมือสำเร็จรูปที่ออกแบบโดยเฉพาะสำหรับวัสดุแต่ละประเภท ซึ่งผลที่ได้ออกมาในรูปแบบของตัวเลขหรือกราฟที่ผู้ทดสอบสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อได้ ข้อดีของวิธีนี้คือ เป็นวิธีที่ง่ายต่อการใช้งานและผู้ทดสอบไม่ต้องใช้ทักษะมาก สามารถทำได้อย่างรวดเร็ว เครื่องมือวัดมีราคาไม่แพงนักแต่ให้ผลไม่ละเอียด และผลการทดลองไม่สามารถอธิบายได้ด้วยหลักการพื้นฐาน ทำให้ไม่สามารถแปลงเป็นค่าพารามิเตอร์ทางรีโอโลยี เช่น ความเค้น ความเครียด และความหนืดได้ การวัดแบบ Descriptive Empirical มีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น Extensigraph, Farinograph, Amylograph และ Mixograph เป็นต้น

(2) การวัดคุณสมบัติทางรีโอโลยี แบบ Fundamental การวัดแบบนี้ เป็นวิธีการวัดคุณสมบัติทางรีโอโลยีที่สามารถอธิบายด้วยทฤษฎีพื้นฐานทางรีโอโลยีได้ ข้อมูลที่ได้สามารถแปลงเป็นค่าพารามิเตอร์ทางรีโอโลยี เช่น ความเค้น ความเครียด และความหนืดได้ ข้อเสียของวิธีนี้คือเป็นวิธีที่ค่อนข้างยาก เสียเวลาในการวัด และเครื่องมือวัดมีราคาแพง การวัดแบบนี้สามารถวัดได้หลายวิธี เช่น Stress relaxation, Parallel plate และ Creep เป็นต้น (สวรัักษ์ จันทรเทพธิมากุล, 2551)

การทดสอบแบบ Oscillatory

การทดสอบแบบ Oscillatory เป็นการทดสอบทางพลวัตโดยวัสดุถูกให้ความเค้นหรือความเครียดแปรผันตามช่วงเวลา ผลที่ได้จากการทดสอบแปรผันต่อองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างของวัสดุ โดยสามารถปรับสภาวะทดลองได้หลายสภาวะ เช่น อุณหภูมิ ปริมาณแรงและความถี่ของแรง เป็นต้น ดังนั้นการทดสอบแบบ Oscillatory นิยมใช้ทดสอบเพื่ออธิบายโครงสร้างและพฤติกรรมของวัสดุวิสกูเอลัสติกประเภท Viscoelastic ในอาหารโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์จากแป้ง และสามารถอธิบายการเกิดกลไกต่างๆของแป้งได้ เช่น การเกิดการเจลลิ่งในไซในแป้ง การพองตัว ความแข็งแรงของเจล การจับตัวเป็นก้อนของโปรตีน และการสลายตัวของโปรตีน เป็นต้น Viscoelastic parameter ได้แก่ Storage modulus ($G'(\omega)$), Loss modulus ($G''(\omega)$) และ Loss tangent ($\tan \delta$) (สวรัักษ์ จันทรเทพธิมากุล, 2551)

ค่า Storage modulus แสดงถึงปริมาณของพลังงานที่ถูกเก็บไว้ในวัสดุเมื่อได้รับความเค้นหรือความเครียด ดังนั้นวัสดุ Hookean จึงสามารถเก็บพลังงานไว้ได้ทั้งหมด ขณะที่วัสดุไหลหนืดไม่สามารถเก็บพลังงานไว้ได้เลย พลังงานที่ได้รับจะสูญเสียไปกับการเคลื่อนที่แบบไหลหนืดทั้งหมด ส่วน Loss modulus แสดงถึงพลังงานที่สูญเสียไปเนื่องจากความหนืด และค่า Loss tangent จะแสดงถึงสัดส่วนของการแสดงสถานะการเป็นวัสดุไหลหนืดต่อสถานะยืดหยุ่น (อัมพวัน ต้นสกุล, 2551)



2.9.5.2 คุณสมบัติทางรีโอโลยีของเจลแป็ง

เจลแป็งเป็นระบบที่เกิดขึ้นในการเกิดเจลลาตินในเซชันของเม็ดแป็ง และ/หรือ ส่วนที่อยู่ภายใน และถูกเสริมสร้างขึ้นด้วยเจลของอะไมโลส ซึ่งหลุดออกมาจากเม็ดแป็งระหว่างเกิดเจลลาตินในเซชัน และรวมตัวกันเป็นโครงร่างสามมิติเมื่อแป็งเปียกเย็นลงที่อุณหภูมิห้อง โครงร่างพอลิเมอร์ที่ซับซ้อนเป็นเจลวิสโคอีลาสติก (Viscoelastic gel) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับโมเลกุลทางกายภาพเป็นหลัก เกี่ยวข้องกับพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่มากกว่าพันธะโคเวเลนต์ โครงสร้างของเจลแป็งสามารถวัดลักษณะเฉพาะได้ด้วยรีโอโลยีทางพลวัต ในการทดลองรีโอโลยีทางพลวัต คุณสมบัติ Viscoelastic ของเจลแป็งสามารถอธิบายลักษณะเฉพาะด้วยพารามิเตอร์ทางรีโอโลยี 2 พารามิเตอร์ การยืดหยุ่น (Elastic) หรือโมดูลัสสะสม (Storage modulus; G') และความหนืด (Viscous) หรือโมดูลัสที่สูญเสีย (Loss modulus; G'') ซึ่งได้จากการทดสอบแบบ Small deformation ในระหว่างการวิเคราะห์แบบ Harmonic (Angkana, 2009)

$$\gamma(t) = \gamma_0 \sin(\omega t) \quad \text{สมการ 2.1}$$

เมื่อ γ = ความเครียดที่เวลาใดๆ

γ_0 = ความเครียดสูงสุด

ω = ความถี่เชิงมุม เมื่อ $\omega = 2\pi f$ โดย f = ความถี่ของการสั่น, Hz และ t = เวลา

สำหรับความยืดหยุ่นของของแข็งในอุดมคติ เมื่อ shear strain ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับตัวอย่าง shear stress จะมีการตอบสนองทันทีและเป็นไปตามสัดส่วนของความเครียด สัดส่วนที่คงที่คือ shear modulus

$$\sigma = G\gamma \quad \text{สมการ 2.2}$$

เมื่อ σ = ความเค้น

γ = ความเครียด

G = Shear modulus

ดังนั้น Oscillating strain;

$$\sigma(t) = G' \gamma_0 \sin(\omega t) \quad \text{สมการ 2.3}$$

เมื่อ G' = Elastic หรือ Storage modulus



ความหนืดของของเหลวในอุดมคติมีการตอบสนองต่อความเค้นที่ภายนอกของเฟส โดยเฟสของมุม δ กับความเครียด

$$\sigma(t) = G''\gamma_0 \cos(\omega t) \quad \text{สมการ 2.4}$$

เมื่อ $G'' = \text{Viscous หรือ Loss modulus}$

วัสดุ Viscoelastic ตอบสนองต่อความเค้นสามารถแยกได้เป็นส่วนของ Elastic และส่วน Viscous:

$$\sigma(t) = \gamma_0 [G' \sin(\omega t) + G'' \cos(\omega t)] \quad \text{สมการ 2.5}$$

ดังนั้นการตอบสนองความเค้นของวัสดุ Viscoelastic และเฟสของมุม δ ระหว่างความเค้นกับความเครียด:

$$\sigma(t) = \sigma_0 \sin(\omega t + \delta) = \sigma_0 \cos\delta \sin\omega t + \sigma_0 \sin\delta \cos\omega t \quad \text{สมการ 2.6}$$

เปรียบเทียบสมการที่ 2.4 และ 2.5 จะได้พลวัตที่เหมาะสม 2 พลวัต

$$G' = (\sigma_0/\gamma_0) \cos \delta$$

และ

$$G'' = (\sigma_0/\gamma_0) \sin \delta$$

ความยืดหยุ่นหรือโมดูลัสสะสม (G') เป็นการวัดการสะสมพลังงานและการนำกลับมาใช้ใหม่ต่อรอบการสั่น (Oscillation) ซึ่งเป็นความเค้นในเฟสกับความเครียดใน sinusoidal shear ที่เกิดความผิดปกติจากความเครียด ความหนืดหรือโมดูลัสที่สูญเสีย (G'') วัดจากพลังงานความร้อนที่กระจายต่อรอบของ sinusoidal ที่ความเค้น 90 องศาเซลเซียสภายนอกเฟสกับความเครียด

ความต้านทานทั้งหมดแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนในปริมาณที่ซับซ้อน โดยแสดงในรูปแบบของคอมเพล็กซ์โมดูลัส (Complex modulus; G^*)

$$G^* = G' + iG'' \quad , \quad \text{สมการ 2.9}$$

$$|G^*| = \sqrt{(G')^2 + (G'')^2} \quad \text{สมการ 2.10}$$



คุณลักษณะของเจลแป้งที่อุณหภูมิห้องหลังจากเกิดเจลลาติเนชันขึ้นแสดงพฤติกรรมแบบ Shear thinning การวัดทางพลวัตแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมทางความถี่ของความหนืดและโมดูลัสสะสมซึ่งเป็นของเจลชนิดอ่อน พฤติกรรมด้านการไหลของเจลแป้งมีผลมาจากหลายปัจจัย ตัวอย่างเช่น แหล่งของแป้ง ความเข้มข้นของแป้ง อุณหภูมิ และอัตราการให้ความร้อน เจลของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียวแสดงพฤติกรรม Viscoelastic แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เจลแป้งของแป้งข้าวเหนียวมีปริมาณอะไมโลสต่ำกว่าจะแสดงค่า G' ที่ต่ำกว่าด้วยเช่นกัน ซึ่งแสดงถึงพฤติกรรมคล้ายของเหลวมากกว่าเจลของแป้งข้าวเจ้านั่นเอง (Angkana, 2009)

2.10 การย่อยได้ของแป้ง (Starch digestibility)

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่พบมากที่สุดในพื้นที่ ประกอบด้วยโมเลกุลสองชนิดได้แก่ อะไมโลสและอะไมโลเพคติน แป้ง และผลิตภัณฑ์อาหารที่ประกอบด้วยแป้งสามารถแบ่งได้ตามประเภทของการย่อย ซึ่งการย่อยได้ของแป้ง เป็นความสามารถในการถูกย่อยของแป้งโดยเอนไซม์ในลำไส้เล็กของร่างกาย (Frei et al., 2003) โดยทั่วไปคุณสมบัติดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับอัตรา และช่วงเวลาของปฏิกิริยาไกลซิมิก Singh, Dartois และ Kaur (2010) จำแนกองค์ประกอบของแป้งออกเป็น 3 ส่วนตามความสามารถในการย่อยได้ของแป้งตามวิธีของ Englyst, Kingman และ Cummings (1992) ได้ดังนี้

- 1) แป้งที่ถูกย่อยได้อย่างรวดเร็ว (Rapid digesting starch; RDS) ปริมาณกลูโคสถูกย่อยภายใน 20 นาที
- 2) แป้งที่ถูกย่อยได้อย่างช้าๆ (Slowly digesting starch) ปริมาณกลูโคสถูกย่อยภายใน 20-120 นาที
- 3) แป้งที่ทนทานต่อการย่อย (Resistant starch) ปริมาณของกลูโคสที่ไม่ถูกย่อยภายใน 120 นาที

การย่อยได้ของแป้งโดยเอนไซม์อะไมเลสที่ลำไส้เล็กในร่างกาย หากเกิดขึ้นอย่างช้าๆ จะทำให้ร่างกายสามารถควบคุมปริมาณน้ำตาลในเลือดให้อยู่ในระดับปกติได้ง่ายกว่าการย่อยอย่างรวดเร็ว การย่อยแตกต่างกันตามชนิดของอาหารที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบ และเกี่ยวข้องกับผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวานที่ไม่ขึ้นอยู่กับระดับอินซูลิน (Frei et al., 2003) แป้งที่ถูกย่อยได้อย่างรวดเร็วทำให้ผู้บริโภคมียกระดับกลูโคสในเลือดเริ่มต้นสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาประมาณ 30 นาที หลังจากการบริโภคอาหาร นั่นคือทำให้การเปลี่ยนแปลงน้ำตาลในเลือดเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและสูงมาก แต่แป้งที่ถูกย่อยได้อย่างช้าๆจะปลดปล่อยน้ำตาลเข้าสู่กระแสเลือดอย่างช้าๆ และสม่ำเสมอ ทำให้ร่างกายสามารถควบคุมปริมาณน้ำตาลในเลือดให้อยู่ในระดับปกติได้ง่ายกว่า (Hu et al., 2004) ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการย่อยได้ของแป้งมีหลายปัจจัย ยกตัวอย่างเช่น 1) ปริมาณอะไมโลส โดยแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ จะย่อยได้เร็วกว่าแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูง 2) สภาพการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ โดยทำให้แป้งสุกแล้วนำไปเก็บไว้ในตู้เย็นที่มีอุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ส่งผลให้แป้งเกิดการคืนตัว ทำให้กระบวนการย่อยแป้งเกิดช้าและค่า GI ลดลง (Sasaki et al., 2009) 3) โครงสร้างโดยละเอียดของอะไมโลเพคติน พบว่าแป้งที่มีส่วนของอะไมโลเพคตินสายโซ่ยาว และอะไมโลเพคตินสายโซ่ปานกลางและสายโซ่สั้นสูง และมีส่วนของอะไมโลเพคตินสายโซ่สั้น



มากต่ำ จะทำให้ปริมาณแป้งที่ย่อยได้เร็ว (Rapidly digestible starch; RDS) ลดลง และปริมาณแป้งที่ย่อยได้ช้า (Slowly digestible starch, SDS) เพิ่มขึ้น

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Chau and Huang (2003) เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของส่วนประกอบที่มีเส้นใยอาหารในปริมาณสูง (Fiber-rich fractions; FRFs) ที่ได้จากเปลือกของส้ม (*Citrus sinensis* L. cv. Liucheng) เมื่อ FRFs นี้ประกอบด้วย เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (Soluble dietary fibers; SDF) เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble dietary fibers; IDF) ของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ (Alcohol-insoluble solid; AIS) และของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ (Water-insoluble solid; WIS) ผลการทดลองพบว่าส่วนเปลือกของส้มประกอบด้วย RFRs ที่ไม่ละลายน้ำในปริมาณสูง (IDF, AIS และ WIS 475-515 กรัมต่อกิโลกรัมของเปลือกส้ม) ซึ่งองค์ประกอบหลักของ RFRs นี้คือสารประกอบเพคติน และเซลลูโลส นอกจากนี้ยังพบ SDS ที่ประกอบด้วยโพลีแซ็กคาไรด์ในรูปของเพคตินสูง (94.1 กรัมต่อกิโลกรัมของเปลือก) RFRs ที่ไม่ละลายน้ำนี้มีความสามารถในการอุ้มน้ำเป็น 15.5-16.7 มิลลิลิตรต่อกรัม ความสามารถในการดูดน้ำมัน 2.35-5.09 กรัมต่อกรัม ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation-exchange capacities) 454-997 มิลลิกรัมสมมูลต่อกิโลกรัม และมีความสามารถในการพองตัวเป็น 14.6-21.2 มิลลิลิตรต่อกรัม ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้มีค่าสูงกว่าเซลลูโลส ผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าควรบริโภค FRFs ที่ไม่ละลายน้ำซึ่งได้จากเปลือกส้มเพื่อเป็นแหล่งของเส้นใยอาหาร เนื่องจากมีคุณสมบัติทางเคมีกายภาพที่ดี หรืออาจนำ FRFs ไปประยุกต์ใช้เพื่อเป็นส่วนประกอบของอาหารที่มีปริมาณแคลอรีต่ำ รวมทั้งสามารถนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องการดูดซับหรือเก็บกักน้ำมัน และความชื้นไว้

ในปี ค.ศ. 1992 Gourgue et al. ศึกษาคุณสมบัติของเส้นใยอาหารจากผลพลอยได้ของมะม่วง และผลของเส้นใยอาหารนี้ต่อภาวะน้ำตาลในเลือดสูง (Hypoglycemic) ผลการทดลองพบว่าเส้นใยอาหารจากส่วนเปลือก และเยื่อใยจากเนื้อของมะม่วงหลังทำให้บริสุทธิ์ด้วยเอทานอลมีปริมาณเส้นใยอาหารที่สูง (ร้อยละ 74 น้ำหนักแห้ง) มีอัตราส่วนของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ และไม่ละลายน้ำเข้าใกล้หนึ่ง และมีปริมาณกรดซูโรนิกร้อยละ 15-20 นอกจากนี้ยังพบอีกว่าเส้นใยอาหารนี้สามารถลดการย่อยได้ของแป้งทั้งหมด และทำให้อัตราการย่อยอะไมโลสของแป้งในมันฝรั่งลดลง ทำให้การย่อยของอะไมโลสเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ในสภาวะที่มีเส้นใยอาหารจากมะม่วงพบว่าการแพร่ของกลูโคสเกิดได้ช้าลงจากการทดลองดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าผลพลอยได้จากมะม่วงเป็นแหล่งที่ดีของเส้นใยอาหาร และเส้นใยอาหารนี้อาจมีศักยภาพในการช่วยควบคุมปริมาณกลูโคสในกระแสเลือดได้

Figuerola et al. (2005) ศึกษาคุณสมบัติเชิงหน้าที่ และศักยภาพของเส้นใยอาหารเข้มข้นที่สกัดจากกากแอปเปิ้ล และเปลือกของผลไม้ตระกูลส้ม ได้แก่ เกรปฟรุ้ต มะนาว และส้ม เพื่อใช้เป็นแหล่งของเส้นใยอาหารที่เสริมเข้าไปในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ สกัดและนำเส้นใยอาหารเข้มข้นจากผลไม้ทั้งสี่ชนิดไปศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น ไขมัน โปรตีน และเถ้า คุณสมบัติด้านความร้อน คุณสมบัติเชิงหน้าที่ ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water retention



capacity, WRC) ความสามารถในการพองตัว (Swelling ability) ความสามารถในการดูดซึมไขมัน (Fat adsorption capacity, FAC) และลักษณะเนื้อสัมผัส นอกจากนี้ยังศึกษาถึงองค์ประกอบของเส้นใยอาหารอีกด้วย ผลการทดลองพบว่า เส้นใยอาหารเข้มข้นจากผลไม้ทั้ง 4 ชนิด มีปริมาณเส้นใยอาหารสูง (44.2-89.2 กรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง) โดยมีอัตราส่วนของเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายสูง ปริมาณโปรตีน และไขมันมีค่าอยู่ระหว่าง 3.12-8.42 และ 0.89-4.46 กรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เส้นใยอาหารเข้มข้นให้พลังงานต่ำมาก (50.8-175 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม หรือ 213-901 กิโลจูลต่อ 100 กรัม) เส้นใยอาหารเข้มข้นจากเกรปฟรุ้ตมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงที่สุด (2.09-2.26 กรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) มีค่ากำลังการพองตัวและความสามารถในการดูดซึมน้ำมันที่สูง พบว่าลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นใยอาหารขึ้นกับขนาดอนุภาคของเส้นใยอาหารจากการทดลองอาจกล่าวได้ว่าเส้นใยอาหารนี้มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่ดี และมีศักยภาพในการนำไปใช้เพื่อพัฒนาอาหารที่มีการเติมเส้นใยอาหารในปริมาณสูงต่อไป

Larrauri et al. (1996) ศึกษาเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมี และความสามารถในการต้านออกซิเดชันของเส้นใยอาหารจากผงของเปลือกส้มกับเปลือกมะนาว และรายงานว่เส้นใยอาหารจากเปลือกผลไม้ทั้ง 2 ชนิด มีปริมาณเส้นใยอาหารรวมสูง (ร้อยละ 61-69) ความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ร้อยละ 50 ของกรดลิโนเลอิกที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เมื่อวัดด้วยวิธี Ferric-thiocyanate ส่วนเส้นใยของเปลือกมะนาว (ร้อยละ 2.4 น้ำหนักต่อปริมาตร) มีค่าครึ่งหนึ่งของ α -tocopherol (ร้อยละ 5.8 น้ำหนักต่อปริมาตร) และ Butylated hydroxyanisole (BHA) (ร้อยละ 1.3 น้ำหนักต่อปริมาตร) ซึ่งมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของเส้นใยมะนาว ปริมาณโพลีฟีนอลที่สกัดได้จากเปลือกส้มและมะนาววิเคราะห์โดยใช้เครื่อง HPLC พบว่ามีกรดคาเฟอิก (Caffeic) และ เฟอรูริก (Ferulic) นอกจากนี้ยังพบสารนาริงิน (Naringin) เฮสเปอร์ริดีน (Hesperidin) และไมริซิทีน (Myricetin) ในเส้นใยของผลไม้ทั้งสองชนิด ความแตกต่างของสารต้านอนุมูลอิสระจากเส้นใยเปลือกมะนาวคือ มีกรดเอลลาจิก (Ellagic) ควอซิทีน (Quercetin) และแคมป์เฟอร์รอล (Kaempferol) ที่เป็นสารกลุ่มโพลีฟีนอลที่มีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูง แต่ไม่พบในเส้นใยจากเปลือกส้ม

Larrauri et al. (1997) ศึกษาแหล่งของเส้นใยอาหารจากเปลือกสับปะรด โดยทำเส้นใยอาหารให้อยู่ในลักษณะที่เป็นผง พบว่า ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดมีปริมาณเท่ากับเส้นใยอาหารจากแอปเปิ้ลและผลไม้ตระกูลส้ม (ร้อยละ 70.6) นอกจากนี้คุณสมบัติทางด้านประสาทสัมผัส (สีและรสชาติ) ดีกว่าเส้นใยอาหารจากผลไม้ทั้ง 2 ชนิด เส้นใยอาหารที่แยกออกมาจากสับปะรดเป็นเส้นใยที่ไม่สามารถละลายน้ำร้อยละ 99 ของเส้นใยอาหารทั้งหมด ซึ่งเส้นใยอาหารมีน้ำตาลทั้งที่ละลายและไม่ละลายน้ำ ได้แก่ ไฮโดร (ร้อยละ 36 ของน้ำตาลทั้งหมด) และกลูโคส (ร้อยละ 43 ของน้ำตาลทั้งหมด) กรดยูโรนิกทั้งหมดร้อยละ 5.1 และ Klason lignin ร้อยละ 11.2 ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระเป็นคุณสมบัติที่ได้จากสารประกอบพวกออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ซึ่งเกี่ยวข้องกับเส้นใยอาหาร โดยที่ความเข้มข้น 0.5 กรัมของผงตัวอย่าง/100 มิลลิลิตรของส่วนผสมที่ใช้วิเคราะห์ เส้นใยสับปะรดมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ 86.7 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าเส้นใยจากเปลือกส้ม (ร้อยละ 34.6) ขณะที่เส้นใยจากแอปเปิ้ลและมะนาวไม่มีฤทธิ์ในการต้าน ไมริซิทีน (Myricetin) เป็นสารพวกโพลีฟีนอลที่สำคัญในเส้นใยสับปะรด และมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระได้



Martin-Cabrejas et al. (1995) ศึกษาปริมาณเส้นใยอาหารในกากของกีวีและลูกแพร์ กากของกีวีและลูกแพร์เป็นผลพลอยได้ที่เหลือจากการผลิตน้ำกีวีและน้ำลูกแพร์เข้มข้น เตรียมตัวอย่าง โดยนำกากที่ได้มาทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และบดให้ละเอียด จากนั้นวัดปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ละลายและไม่ละลายน้ำด้วยวิธี AOAC gravimetric และวัด สารประกอบกลูโคสด้วย Colorimetric วิธี GLC และ Klason lignin จากการวิเคราะห์น้ำหนักแห้ง พบว่า เส้นใยอาหารทั้งหมดของกากลูกแพร์ มีปริมาณร้อยละ 43.9 ขณะที่กากของกีวีมีปริมาณ ร้อยละ 25.8 ในกากของผลไม้ทั้งสองชนิดมีเพคตินซึ่งเป็นเส้นใยที่ละลายน้ำประมาณร้อยละ 7 ของน้ำหนักแห้ง ส่วนเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำในลูกแพร์มีร้อยละ 36.3 และกีวีมีร้อยละ 18.7 ลิกนินมี ปริมาณร้อยละ 5.2 และ 3.2 น้ำหนักแห้งของกากลูกแพร์และกีวี โปรโทเพคติน (Protopectin) และเมททอกซิล เพคติน (Methoxyl pectin) ซึ่งเป็นเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำและละลายน้ำตามลำดับ เป็นสารประกอบเพคตินที่พบในกากของผลไม้ทั้งสองชนิด

Vergara-Valencia et al. (2007) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการดูดซับน้ำมันปริมาณ สารประกอบฟีนอลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของเส้นใยอาหารเข้มข้นจากมะม่วงดิบ รวมถึงการประยุกต์ใช้เส้นใยอาหารเข้มข้นนี้ให้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ผลการศึกษาพบว่า เส้นใยอาหารเข้มข้นจากมะม่วงมีปริมาณไขมันต่ำ แต่มีปริมาณแป้งสูง และมีอัตราส่วนของเส้นใย อาหารที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำในระดับสมดุลที่ดี เส้นใยอาหารเข้มข้นจากมะม่วงมีความสามารถ ในการอุ้มน้ำที่ดีเช่นเดียวกับเส้นใยอาหารจากผลไม้ชนิดอื่นๆ แต่มีความสามารถในการดูดซับน้ำมัน ที่ต่ำ ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ที่เตรียมจากเส้นใยอาหารเข้มข้นจากมะม่วงมีความสมดุลของเส้นใยอาหารที่ ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำในระดับที่ดี และมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูง ผลการทดสอบการย่อยได้ ของแป้งในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ที่มีเส้นใยอาหารเข้มข้นจากมะม่วงเป็นองค์ประกอบชี้ให้เห็นว่าการเติมเส้น ใยอาหารเข้มข้นจากมะม่วงช่วยลดค่าดัชนีไกลซีมิก (GI) ดังนั้นเส้นใยอาหารเข้มข้นจากมะม่วงจึงเป็น ทางเลือกสำหรับพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อให้ความสมดุลของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ ในระดับที่ดี และช่วยให้ค่า GI ของผลิตภัณฑ์อาหารลดลง

Eim et al. (2007) ได้ศึกษาผลของการเติมเส้นใยอาหารจากแครอทต่อกระบวนการ ทำให้สุกด้วยการทำแห้งไส้กรอกจากเนื้อหมูติดมัน โดยมีการเติมเส้นใยอาหารจากแครอทในปริมาณ ที่แตกต่างกัน ได้แก่ร้อยละ 3, 6, 9, และ 12 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) และบันทึกข้อมูลในระหว่าง การเก็บรักษา พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของไส้กรอกที่เติมเส้นใยอาหารอยู่ในช่วงวิกฤต ซึ่งเป็นผล มาจากปริมาณของเส้นใยอาหาร โดยไส้กรอกที่เติมเส้นใยอาหารร้อยละ 6, 9 และ 12 มีค่าความ เป็นกรด-ด่างลดลงระหว่างการทำให้สุก คือ ค่ากรด-ด่างที่เริ่มต้นเท่ากับ 5.76 และ 4.85 เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการ ส่วนไส้กรอกที่เติมเส้นใยอาหารร้อยละ 3 มีค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้น เท่ากับ 5.75 และ 5.11 ในอุตสาหกรรมไส้กรอกค่าความเป็นกรด-ด่างเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการต้อง มีค่าอยู่ระหว่าง 4.2-5.3 นอกจากนี้ในด้านเนื้อสัมผัส เช่น ความแข็ง และการอัดแน่น มีผลอย่างมี นัยสำคัญเมื่อมีการเติมเส้นใยอาหารที่มากกว่าร้อยละ 3 และยังส่งผลต่อกระบวนการ Lipolytic ด้วยเช่นกัน โดยเมื่อปริมาณของเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้นจะมีผลต่อการรวมตัว โดยไส้กรอกที่เติมเส้นใย อาหารร้อยละ 3 และ 6 มีลักษณะคล้ายคลึงกับกรดไขมันอิสระที่ใช้เป็นตัวควบคุมในกระบวนการทำ ให้สุก ดังนั้นการเติมเส้นใยอาหารร้อยละ 3 จึงเป็นปริมาณที่เหมาะสมในการเติมเส้นใยอาหาร



จากแครอทในไส้กรอกหมู เนื่องจากมีคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและลักษณะทางประสาทสัมผัสใกล้เคียงกับไส้กรอกมาตรฐานมากที่สุด และการเติมที่ปริมาณมากขึ้นมีผลให้ลักษณะทางประสาทสัมผัสลดลง

Sun-waterhouse et al. (2008) ได้ศึกษาผลของผนังเซลล์แอปเปิ้ลและสารสกัดที่ได้จากผนังเซลล์แอปเปิ้ลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยนำแอปเปิ้ลไปผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยวิธีการแช่เยือกแข็งในไนโตรเจนเหลว และบดให้ได้ขนาด 50 ไมโครเมตรด้วยมอทาร์ หลังจากนั้นบ่มด้วย Quercetin ใน N-2-hydroxyethylpiperazine-N'-2-ethanesulfonic acid (HEPES) buffer (pH 6.5) ที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อเป็นการสกัดเพคติน และนำมาวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP) และ Cyclic voltammetry (CV) พบว่า ทั้งเพคตินที่แยกได้จากผนังเซลล์ของแอปเปิ้ลและเพคตินทางการค้าทำให้วิตามินซีมีความคงตัว แต่สามารถป้องกันการออกซิเดชันของ Quercetin ได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

Trinidad et al. (2010) ศึกษาดัชนีไกลซีมิกของอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่มีการบริโภคโดยทั่วไปในประเทศฟิลิปปินส์ โดยจำแนกอาหารออกเป็น 14 ประเภท ได้แก่ ผลิตภัณฑ์จากขนมปังกรอบ/เบเกอรี่/ ข้าว เส้นก๋วยเตี๋ยว แป้งจากรากพืช/พืชหัว ถั่ว/เมล็ดพืช ผลไม้/ผลไม้อบแห้ง ผัก น้ำตาล/น้ำเชื่อม และเครื่องดื่มกลูโคสมาตรฐาน อาหารควบคุมและทดสอบที่รับประทานได้จากการสุ่มจากความต้องการหลังจากมีการอดอาหารข้ามคืน ตัวอย่างเลือดจะถูกรวบรวมและนำไปอ่านค่าหาปริมาณกลูโคสในเครื่องวิเคราะห์ Clinical Chemistry พบว่า ผลิตภัณฑ์จากขนมปังกรอบ/เบเกอรี่/ ข้าว เป็นอาหารที่มีค่า GI สูง (มากกว่าหรือเท่ากับ 70) ยกเว้นขนมปังกรอบที่มีการเสริมเส้นใยอาหารและ mammon เส้นก๋วยเตี๋ยว Sotanghon ที่ค่า GI อยู่ในระดับปานกลาง (56-69) ส่วนเส้นก๋วยเตี๋ยวอื่น ๆ มีค่า GI ต่ำ (น้อยกว่า 55) เช่นเดียวกับกับแป้งจากรากพืช ถั่วหรือเมล็ดพืช ผัก น้ำตาล น้ำมะพร้าวหรือน้ำเชื่อม ดังนั้นเส้นใยอาหารหรือส่วนประกอบต่างๆของคาร์โบไฮเดรตจากอาหารและโครงสร้างของสตาร์ชจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้อาหารมีค่า GI ต่ำ

Sun-Waterhouse et al. (2010) ศึกษาผลของการเติม เส้นใยอาหาร และสารประกอบโพลีฟีนอลต่อคุณสมบัติทางเคมี และเคมีกายภาพของขนมขบเคี้ยวชนิดแท่ง เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งต่อไป ทั้งนี้ขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยส่วนประกอบสองส่วนคือ แท่งขนม (Snack bar base) และไส้ขนม (Snack bar filling) ผลิตภัณฑ์ที่มีหรือไม่มีการเติมเส้นใยอาหารจากสองแหล่ง คือ อินนูลิน (Inulin) และเส้นใยอาหารจากแอปเปิ้ล (Apple dietary fiber; ADF) และผลิตภัณฑ์ที่มีและไม่มีการเติมสารสกัดโพลีฟีนอลจากแอปเปิ้ล (Apple polyphenol extract; APE) ผลการศึกษาพบว่าขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งที่มีการเติม ADF ให้ปริมาณเส้นใยอาหารสูงที่สุด (ประมาณร้อยละ 5.3 น้ำหนักต่อน้ำหนัก) สารประกอบฟีนอลิกในแท่งขนมที่มีการเติม ADF และ APE แม้ผ่านการอบแล้วยังคงพบในปริมาณสูงเช่นเดิม ขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งที่ไส้ขนมมีการเติม APE และแท่งขนมมีการเติม ADF หรืออินนูลินนั้นมีสารประกอบฟีนอล (2.87 และ 2.22 mg catechin equivalent (CtE)/g bar) ในปริมาณสูงกว่าเมื่อแท่งขนมไม่มีการเติม ADF หรืออินนูลิน (1.45 mgCtE/g bar) ผลการศึกษาองค์ประกอบของฟีนอลในขนม



ขบเคี้ยวชนิดแห้งโดย HPLC ซึ่งให้เห็นว่าองค์ประกอบของฟีนอลในขนมขบเคี้ยวชนิดแห้งมีลักษณะใกล้เคียงกับที่พบใน APE ในส่วนของสี นั้นพบว่าการเติม APE ไม่ทำให้สีน้ำตาลของขนมขบเคี้ยวชนิดแห้งเพิ่มขึ้น ขนมขบเคี้ยวชนิดแห้งมีค่า A_w ต่ำ บ่งชี้ว่าขนมขบเคี้ยวชนิดแห้งนี้มีอายุการเก็บรักษานาน จากผลการทดลองสามารถกล่าวได้ว่าขนมขบเคี้ยวชนิดแห้งที่มีการเติม ADF และ APE เป็นอาหารเพื่อสุขภาพที่สะดวกในการบริโภค และเป็นแหล่งที่ดีของเส้นใยอาหาร และสารโพลีฟีนอลจากแอปเปิ้ล



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ผลิตเส้นใยอาหาร (Dietary fiber; DF) จากผลไม้ 2 ชนิดคือ มะม่วง และฝรั่งโดยใช้กรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน 4 วิธีคือ 1) การผลิตเส้นใยอาหารแบบสด 2) การผลิตเส้นใยอาหารโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด 3) การผลิตเส้นใยอาหารโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง 4) การผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง จากนั้นศึกษาคุณลักษณะทางเคมี และเคมีกายภาพของเส้นใยอาหารที่ผลิตได้รวมทั้งศึกษาผลของเส้นใยอาหารที่ได้จากแหล่ง และวิธีการผลิตที่แตกต่างกันต่อคุณสมบัติต่างๆ ของแป้งข้าวเจ้า ได้แก่ คุณสมบัติทางความร้อน การเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะร้อน คุณสมบัติด้านรีโอโรยี และการย่อยได้ของแป้งข้าวเจ้า โดยมีแนวทางในการดำเนินการวิจัย 6 ขั้นตอน ดังนี้

1. การตั้งสมมุติฐาน
2. การสร้างแผนการวิจัย
3. เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง
4. วิธีการทดลอง

การศึกษานี้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลองดังนี้

4.1 การทดลองตอนที่ 1 : การศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพของเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน

4.2 การทดลองตอนที่ 2 : การศึกษาผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งที่ผลิตจากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกันต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเจ้า

4.3 การทดลองตอนที่ 3 : การศึกษาผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งต่อการถูกย่อยได้ของแป้งข้าวเจ้า

5. การเก็บรวบรวมข้อมูล
6. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 การตั้งสมมุติฐาน

จากการตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าแหล่งและกระบวนการผลิตเส้นใยอาหารที่มีความแตกต่างกันมีผลต่อคุณลักษณะทางเคมี และกายภาพ ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารนั้นๆ ดังนั้นสมมุติฐานของงานวิจัยคือ เส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งที่ได้จากการผลิตเส้นใยอาหารแบบสด (Fresh mango dietary fiber; FMDF, และ Fresh guava dietary fiber; FGDF ตามลำดับ) เส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งที่ได้จากการผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Tray-dried mango dietary fiber; TMDF, และ Tray-dried guava dietary fiber; TGDF ตามลำดับ) เส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งที่ได้จากการผลิตโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze-dried mango dietary fiber; FDMDF, และ Freeze-dried guava dietary fiber;



FDGDF ตามลำดับ) และเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งที่ได้จากการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง (Alcohol insoluble solid mango dietary fiber; AMDF, และ Alcohol insoluble solid guava dietary fiber; AGDF ตามลำดับ) มีคุณลักษณะทางเคมี และกายภาพแตกต่างกัน และเมื่อนำไปเติมในแป้งข้าวเจ้าเส้นใยอาหารเหล่านี้ส่งผลให้คุณสมบัติทางความร้อน การเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะร้อน คุณสมบัติด้านรีโอโลยี และการย่อยได้ของแป้งข้าวเจ้าแตกต่างกัน

3.2 แผนการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research design) ซึ่งแบ่งการทดลองเป็น 3 การทดลอง ดังนี้

การทดลองตอนที่ 1: การศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพของเส้นใยอาหารจากมะม่วง หรือฝรั่งที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน วางแผนการทดลองแบบสุ่มตัวอย่างอย่างสมบูรณ์ (Completely randomized design; CRD) โดยมีปัจจัยที่ศึกษาคือกรรมวิธีการในการผลิตเส้นใยอาหารจากมะม่วง หรือฝรั่ง 4 วิธี ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

การทดลองตอนที่ 2: การศึกษาผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วง หรือฝรั่งที่ผลิตจากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกันต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเจ้า ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะให้ความร้อน คุณสมบัติทางความร้อน และคุณสมบัติด้านรีโอโลยี วางแผนการทดลองแบบสุ่มตัวอย่างอย่างสมบูรณ์ จัดการทดลองแบบ 4×4 แฟคทอเรียล (4×4 Factorial in CRD) โดยมีปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย คือ กรรมวิธีการในการผลิตเส้นใยอาหารจากมะม่วง หรือฝรั่ง 4 วิธี และความเข้มข้นของเส้นใยอาหารจากมะม่วง หรือฝรั่งที่เติมลงในแป้งข้าวเจ้า 4 ความเข้มข้น (ร้อยละ 0, 2.5, 5.0, และ 7.5) ทำการทดลองอย่างน้อย 2 ซ้ำ

การทดลองตอนที่ 3: การศึกษาผลของเส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากมะม่วง และฝรั่งที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการย่อยได้ของแป้งข้าวเจ้า วางแผนการทดลองแบบสุ่มตัวอย่างอย่างสมบูรณ์ (Completely randomized design; CRD) โดยมีปัจจัยที่ศึกษา คือ ความเข้มข้นของเส้นใยอาหารจากมะม่วง หรือฝรั่งที่เติมลงในแป้งข้าวเจ้า 4 ความเข้มข้นได้แก่ ร้อยละ 0, 2.5, 5.0, และ 7.5 ทำการทดลองอย่างน้อย 2 ซ้ำ

3.3 เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 วัสดุดิบ

3.3.1.1 ผลไม้ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่

1) มะม่วงสายพันธุ์แก้วเขียว (*Mangifera indica* L.) จากจังหวัดยโสธร เก็บเกี่ยวในเดือนเมษายน-พฤษภาคม อายุการเก็บเกี่ยวอยู่ในช่วง 2-3 เดือน โดยมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid) เฉลี่ยเท่ากับ 8.27 องศาบริกซ์ และปริมาณกรดทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 1.71 ของกรดซิตริก



2) ฝรั่งสายพันธุ์แป้นสีทอง (*Psidium guajava* L.) จากจังหวัดนครปฐม เก็บเกี่ยวในเดือนกุมภาพันธ์-มีนาคม อายุการเก็บเกี่ยวอยู่ในช่วง 4-5 เดือน โดยมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 8.80 องศาบริกซ์ และปริมาณกรดทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.43 ของกรดซิตริก

3.3.2.2 แป้งข้าวเจ้า ได้แก่ ข้าวเจ้าสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

3.3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิเคราะห์

3.3.2.1 เครื่องแก้วต่างๆ (Pyrex, Germany)

3.3.2.2 เครื่องชั่งละเอียด (Presica 25A, Switzerland)

3.3.2.3 ตู้อบแบบถาด (Tray-dryer), (B.W.S.Trading, Ltd. Partnership, Thailand)

3.3.2.4 เครื่องบ่มแบบเขย่า (Model LSI-1005R, Lab Tech, Koral)

3.3.2.5 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Memmert Schutzart, Germany)

3.3.2.6 เครื่อง pH meter (Mettler Toledo SevenEasy, USA)

3.3.2.7 เครื่องปั่นเหวี่ยง (Universal 320R, Germany)

3.3.2.8 เครื่อง Vortex mixer (Hamony, Japan)

3.3.2.9 เครื่อง UV-spectrophotometer (Shimadzu, Japan)

3.3.2.10 เครื่องวิเคราะห์ไขมันแบบชอกท์เลท (Buchi E-816, Switzerland)

3.3.2.11 เครื่องกวนและแท่งแม่เหล็กสำหรับกวน (Kitchenaid, USA)

3.3.2.12 เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (PL 3000, Heto, USA)

3.3.2.13 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven), (Binder, Germany)

3.3.2.14 เครื่องย่อยโปรตีน และชุดวิเคราะห์กลั่นโปรตีน (Gerhardt, Germany)

3.3.2.15 เครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) พร้อมแคน (can) และพาย (Newport Scientific, Sydney, Australia)

3.3.2.16 เครื่อง Rheometer (AR 2000 ex, TA Instrument, USA)

3.3.2.17 เครื่อง Differential scanning calorimeter (Q200, TA Instrument, USA)

3.3.3 สารเคมี

3.3.3.1 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่าง

1) เอทานอล (Ethanol), (Ajax Finechem, Australia & New Zealand)

2) อะซิโตน (Acetone), (J.T. Baker, Thailand)

3.3.3.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์โปรตีน

1) กรดซัลฟูริก (Sulfuric acid), (Fluka, Germany)

2) โพแทสเซียมซัลเฟต (Potassium sulfate), (Univar, Australia)

3) คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulfate), (Analar, England)

4) กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid), (J.T. Baker, Thailand)

5) กรดบอริก (Boric acid), (Rankem, India)



- 3.3.3.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ไขมัน
- 1) ปีโตรเลียม อีเทอร์ (Petroleum ether), (Rci labscan, Thailand)
- 3.3.3.4 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณแป้งทั้งหมด
- 1) ชุดวิเคราะห์ปริมาณแป้งทั้งหมดของ Megazyme (K-TSTA 07/11)
- 3.3.3.5 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์เส้นใยอาหาร
- 1) ชุดวิเคราะห์เส้นใยอาหารทั้งหมดของ Megazyme (K-TDFR 07/11)
- 3.3.3.6 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ
- 1) เมทานอล (Methanol), (Ajax Finechem, Australia & New Zealand)
 - 2) เอทานอล (Ethanol), (Ajax Finechem, Australia & New Zealand)
 - 3) รีเอเจนต์ Folin-ciocalteu (Sigma, Germany)
 - 4) 2,4,6-tri-2-pyridyl-2-triazine (TPTZ) solution
 - 5) ไอรอน (III) คลอไรด์ (Iron (III) chloride)
 - 6) 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl, (Sigma, Germany)
 - 7) กรดแกลลิก (Gallic acid), (Fluka, Germany)
- 3.3.3.7 เอนไซม์ที่ใช้ในการวิเคราะห์การย่อยได้ของแป้ง
- 1) แอลฟา-อะไมเลส (Thermostable α -amylase) (Megazyme, Ireland)
 - 2) อะไมโลกลูโคซิเดส (Amyloglucosidase) (Megazyme, Ireland)

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การผลิตเส้นใยอาหาร

กรรมวิธีการผลิตเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งมีทั้งสิ้น 4 วิธี ดังนี้

3.4.1.1 การผลิตเส้นใยอาหารแบบสด

นำมะม่วงหรือฝรั่งล้างด้วยน้ำสะอาด หั่น และสับให้เป็นชิ้นขนาดประมาณ 1 มิลลิเมตร คั้นแยกน้ำออก แล้วล้างกากผลไม้ด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องในอัตราส่วนผลไม้ 1 ส่วนต่อน้ำ 10 ส่วน และแยกน้ำออกด้วยวิธีการกรองผ่านผ้าขาวบาง โดยทำการล้างทั้งหมด 5 รอบ จากนั้นปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นที่ความเร็วสูง ร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 12 เมช จากนั้นนำเส้นใยอาหารแบบสด (Fresh mango dietary fiber; FMDF และ Fresh guava dietary fiber; FGDF) ที่ได้ไปบรรจุแบบสุญญากาศในถุงอะลูมิเนียม และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส

3.4.1.2 การผลิตโดยไม่ผ่านการทำให้เส้นใยอาหารบริสุทธิ์ และทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (ดัดแปลงจาก Chantaro *et al.*, 2008)

นำมะม่วงหรือฝรั่งล้างด้วยน้ำสะอาด หั่น และสับให้เป็นชิ้นขนาดประมาณ 1 มิลลิเมตร คั้นแยกน้ำออก แล้วล้างกากผลไม้ด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องในอัตราส่วนผลไม้ 1 ส่วนต่อน้ำ 10 ส่วน และแยกน้ำออกด้วยวิธีการกรองผ่านผ้าขาวบาง โดยทำการล้างทั้งหมด 5 รอบ จากนั้นนำไปทำให้แห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด (Laboratory tray dryer) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งปริมาณความชื้นเหลือน้อยกว่า 9 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักแห้ง) แล้วปั่นให้ละเอียด



ร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 12 เมช จากนั้นนำเส้นอาหารที่ผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray-dried mango dietary fiber; TMDF และ Tray-dried guava dietary fiber; TGDF) ที่ได้นี้ไปบรรจุแบบสุญญากาศในถุงอะลูมิเนียม และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส

3.4.1.3 การผลิตโดยไม่ผ่านการทำให้เส้นใยอาหารบริสุทธิ์และทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (ดัดแปลงจาก Sun-Walterhouse *et al.*, 2008)

นำมะม่วงหรือฝรั่งล้างด้วยน้ำสะอาด หั่น และสับให้เป็นชิ้นขนาดประมาณ 1 มิลลิเมตร คั้นแยกน้ำออก แล้วล้างกากผลไม้ด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องในอัตราส่วนผลไม้ 1 ส่วนต่อน้ำ 10 ส่วน และแยกน้ำออกด้วยวิธีการกรองผ่านผ้าขาวบาง โดยทำการล้างทั้งหมด 5 รอบ จากนั้นนำไปทำให้แห้งแบบระเหิดด้วยเครื่อง Freeze dryer Model PL 3000 (HETO) ปั่นให้ละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 12 เมช จากนั้นนำเส้นใยอาหารที่ผลิตโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze-dried mango dietary fiber; FDMDF และ Freeze-dried guava dietary fiber; FDGDF) ที่ได้นี้ไปบรรจุแบบสุญญากาศในถุงอะลูมิเนียม และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส

3.4.1.4 การผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลาย ในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำให้แห้ง (ดัดแปลงจาก Chau and Huang, 2003)

นำมะม่วงหรือฝรั่งล้างด้วยน้ำสะอาด หั่น และสับให้เป็นชิ้นขนาดประมาณ 1 มิลลิเมตร คั้นแยกน้ำออก แล้วล้างกากผลไม้ด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องในอัตราส่วนผลไม้ 1 ส่วนต่อน้ำ 10 ส่วน และแยกน้ำออกด้วยวิธีการกรองผ่านผ้าขาวบาง โดยทำการล้างทั้งหมด 5 รอบ จากนั้นปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นที่ความเร็วสูง ร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 12 เมช นำส่วนกากที่ได้ต้มให้เดือดในเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 85 ด้วยอัตราส่วนตัวอย่างต่อเอทานอล 1 ต่อ 30 (น้ำหนักต่อปริมาตร) นาน 40 นาที ระหว่างนั้นกวนตัวอย่างตลอดเวลา นำส่วนผสมกรองผ่าน แก้วกรอง แล้วล้างด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 70 จากนั้นระเหยเอทานอลออกด้วยอากาศที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำเส้นใยอาหารที่ได้จากผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำให้แห้ง (Alcohol insoluble solid mango dietary fiber; AMDF และ Alcohol insoluble solid guava dietary fiber; AGDF) ที่ได้นี้ไปบรรจุแบบสุญญากาศในถุงอะลูมิเนียม และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส

3.4.2 การทดลองตอนที่ 1: การศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพของเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน

นำเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน 4 วิธี คือ เส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งที่ได้จากการผลิตเส้นใยอาหารแบบสด (FMDF และ FGDF) เส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งที่ได้จากการผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (TMDF และ TGDF) เส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งที่ได้จากการผลิตโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDF และ FDGDF) และเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งที่ได้จากการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำให้แห้ง (AMDF และ AGDF) มาศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพ ดังนี้

3.4.2.1 คุณสมบัติทางเคมี

1) องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรีติน ไขมัน และกรด ตรวจวัดโดยใช้วิธีของ AOAC (2000) (ดังภาคผนวก ก.1-ก.4)



2) ปริมาณแป้งทั้งหมด วิเคราะห์โดยใช้ชุดทดสอบของ Megazyme (K-TSTA 07/11) (ดั่งภาคผนวก ก.5)

3) ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ วิเคราะห์โดยใช้ชุดทดสอบของ Megazyme (K-TDFR 07/11) (ดั่งภาคผนวก ก.6-ก.8)

4) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงจาก Iqbal et al., 2005) (ดั่งภาคผนวก ก.9)

5) การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยการดักจับอนุมูลอิสระของ DPPH (ดัดแปลงจาก Dasgupta and De, 2004) (ดั่งภาคผนวก ก.9)

6) การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยการรีดิวซ์เฟอร์ริก (Fu et al., 2011) (ดั่งภาคผนวก ก.9)

3.4.2.2 คุณสมบัติทางกายภาพ

1) ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Robertson et al., 2000) (ดั่งภาคผนวก ข.1)

2) ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (Robertson et al., 2000) (ดั่งภาคผนวก ข.2)

3.4.3 การศึกษาผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วง หรือฝรั่งที่ผลิตจากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกันต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเจ้า

3.4.3.1 คุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะให้ความร้อน (Pasting properties) (ดัดแปลงจากวิธีของ Zhong et al., 2008)

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะให้ความร้อนของแป้งข้าวเจ้าความเข้มข้นร้อยละ 10 เมื่อมีการเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งจากกรรมวิธีการผลิตที่ต่างกัน 4 วิธี ที่ความเข้มข้นของเส้นใยอาหารร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 โดยใช้เครื่อง RVA Model RVA 3C (Newport Scientific, Australia) ซึ่งน้ำหนักแป้งข้าวเจ้าและเส้นใยอาหาร ตามตาราง 3.1 โดยให้ RVA ทำงานตามสภาวะที่กำหนดให้ ดังแสดงในตาราง 3.2 จากกราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดต่อเวลา (Pasting curve) อ่านและบันทึกค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้ ความหนืดสูงสุด (Peak viscosity; PV) ความหนืดต่ำสุด (Trough) ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (Breakdown; BD) ความหนืดสุดท้าย (Final viscosity; FV) ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (Setback) เวลาในการเกิดความหนืดสูงสุด (Peak time) และอุณหภูมิแป้งเปียก (Pasting temperature; PT)



ตาราง 3.1 น้ำหนักที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างแป้งผสมกับเส้นใยอาหารสำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะร้อน

ความเข้มข้นของเส้นใยอาหาร (ร้อยละ)	แป้ง (กรัม)	ปริมาณของเส้นใยอาหาร (กรัม)	น้ำ (กรัม)
0.00	2.80	0	25.2
2.50	3.03	7	21
5.00	2.96	14	14
7.50	2.87	21	7

ตาราง 3.2 สภาวะของ RVA ที่ใช้ในการศึกษาพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะร้อนของแป้ง เมื่อ Idel Temperature เป็น 50 ± 1 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง:นาที:วินาที)	ประเภท	ค่าที่ใช้
00:00:00	ความเร็ว	960 rpm
00:01:00	ความเร็ว	160 rpm
00:01:00	อุณหภูมิ	50°C
00:04:45	อุณหภูมิ	95°C
00:07:15	อุณหภูมิ	95°C
00:11:00	อุณหภูมิ	50°C

หมายเหตุ : Idel temperature หมายถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้คอยอุณหภูมิของภาชนะซึ่งมีตัวอย่างและบรรจุอยู่ภายในเมื่ออุณหภูมิของภาชนะบรรจุสูงขึ้นถึงอุณหภูมินี้ RVA จะเริ่มบันทึกข้อมูลต่างๆ

3.4.3.2 คุณสมบัติด้านรีโอโลยี (Rheology properties)

ศึกษาคูณสมบัติด้านรีโอโลยีของแป้งข้าวเจ้าเมื่อมีการเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่งโดยใช้เครื่อง Rheometer (AR 2000 ex, TA Instruments) ใช้หัววัด TA แบบ Plate SSL ST Cross Hatched 40 mm และทำการทดสอบแบบสั่น (Oscillatory testing) เตรียมเจลของแป้งข้าวเจ้าที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 และเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตแตกต่างกัน 4 วิธีเมื่อความเข้มข้นของเส้นใยอาหารเป็นร้อยละ 0, 2.5, 5 และ 7.5 โดยนึ่งน้ำแป้งที่มีการเติมเส้นใยอาหารที่ความเข้มข้นต่างๆ เหล่านั้นด้วยไอน้ำเป็นเวลา 20 นาที ทิ้งให้เจลเย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 นาที นำเจลแป้งข้าวเจ้าที่ได้ไปคุณสมบัติทางรีโอโลยี โดยการนึ่งน้ำแป้งที่มีการเติมเส้นใยอาหารที่ความเข้มข้นต่างๆ ด้วยไอน้ำเป็นเวลา 20 นาที ทิ้งให้เจลเย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 นาที นำเจลแป้งข้าวเจ้าที่ได้ไปคุณสมบัติทางรีโอโลยี



โดยเริ่มที่การศึกษาเบื้องต้นเพื่อหา Linear viscoelastic region (LVR) นั่นคือความเครียด (Strain) หรือความเค้น (Stress) ที่ไม่ทำให้โครงสร้างของเจลแบ่งข้าวถูกทำลาย ซึ่งทำโดยการทดสอบแบบ Amplitude sweep test เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิ และความถี่ในการวิเคราะห์คงที่ ที่ 25 องศาเซลเซียส และ 1 Hz ตามลำดับ และแปรค่าความเครียด (Strain) ตั้งแต่ร้อยละ 0.01-1000 ผลจากการทดลองดังกล่าวได้เลือกความเครียดร้อยละ 2 เพื่อนำไปใช้ในศึกษา Frequency sweep test และ Amplitude sweep test ของเจลแบ่งข้าวเจ้าต่อไป การศึกษาผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งต่อคุณสมบัติทางรีโอโลยีของเจลแบ่งข้าวเจ้าโดย Frequency sweep test ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความเครียดร้อยละ 2 และแปรความถี่ ตั้งแต่ 1 ถึง 10 Hz บันทึกค่าโมดูลัสสะสม (Storage modulus; G') และ โมดูลัสที่สูญเสีย (Loss modulus; G'') ส่วนการศึกษาผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งต่อคุณสมบัติทางรีโอโลยีของเจลแบ่งข้าวเจ้าโดย Amplitude sweep test ที่อุณหภูมิ และความถี่คงที่ที่ 25 องศาเซลเซียส และ 1 Hz ตามลำดับ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง ความเครียดตั้งแต่ร้อยละ 0.01-1000 บันทึกค่า Storage modulus (G') Loss modulus (G'') Loss tangent ($\tan \delta$) และ Complex modulus (G^*) ที่ความเครียดร้อยละ 2 การวิเคราะห์ข้อมูลใช้โปรแกรม Rheology Advantage Data Analysis Software Version V5.4.8 (TA Instruments)

3.4.3.3 คุณสมบัติด้านความร้อน (Thermal properties) (Debet *et al.*, 2006)

ศึกษาผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน 4 วิธี และความเข้มข้นของเส้นใยอาหารนั้นเมื่อเติมลงในแป้งข้าวเจ้า 4 ความเข้มข้นคือร้อยละ 0, 2.5, 5.0, และ 7.5 ต่อคุณสมบัติด้านความร้อนของแป้งข้าวเจ้าซึ่งตัวอย่างประมาณ 15 มิลลิกรัม (บันทึกน้ำหนักละเอียดถึงทศนิยมสี่ตำแหน่ง) ใส่ในภาชนะบรรจุอะลูมิเนียม (DSC Tzero Pan, TA 901683901) และปิดภาชนะบรรจุด้วยฝา (Lid Tzero Hermetic, TA 901684901) นำภาชนะบรรจุอะลูมิเนียมใส่ในช่องตัวอย่างของเครื่อง Differential scanning calorimeter (Q200, TA Instruments, USA) และให้ความร้อนตัวอย่างโดยเริ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 160 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราการให้ความร้อนเป็น 10 องศาเซลเซียสต่อนาที คำนวณคุณสมบัติการเกิดเจลในเซชันของแป้งข้าวเจ้า ได้แก่ อุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลในเซชัน (The onset temperature; T_{onset}) อุณหภูมิสูงสุดของการเกิดเจลในเซชัน (The peak temperature; T_{peak}) อุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลในเซชัน (The conclusion temperature; $T_{conclusion}$) และค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ในการเกิดเจลในเซชัน (The enthalpy; ΔH) โดยใช้โปรแกรม TA Instruments Universal Analysis 2000 Software Version 4.4A (TA Instruments Waters LLC, USA)

3.4.3 การศึกษาผลของเส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากมะม่วง และฝรั่ง ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการย่อยได้ของแป้งข้าวเจ้า

ศึกษาการย่อยได้ของแป้งข้าวเจ้าโดยดัดแปลงจากวิธีของ Kaur and Sandhu, 2010 และ Megazyme (K-TSTA 07/11) เริ่มต้นโดยนำแป้งข้าวเจ้าดิบที่บดเป็นผงมาร้อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช แล้วชั่งตัวอย่าง 100 มิลลิกรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่ในหลอดทดลอง จากนั้นเติมกัวยร์กัมที่มีความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตรจำนวน 5 มิลลิลิตร และเอนไซม์อะมิเลสที่ทนความร้อน



(Thermostable α -amylase) ที่เจือจางในโซเดียมอะซิเตทบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ ด้วยอัตราส่วน 1 ต่อ 30 ปริมาตร 3 มิลลิลิตร แล้วเติมเอนไซม์อะมิโลกลูโคซิเดสจำนวน 0.1 มิลลิลิตร และผสมให้เข้ากัน บ่มหลอดทดลองนี้ในเครื่องเขย่า Model LSI-1005R (Lab Tech, Koral) ที่ควบคุมอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และเขย่าที่ความเร็ว 170 rpm เป็นเวลา 20 และ 120 นาที จากนั้นนำไปตรวจวัดหาปริมาณกลูโคสที่ปล่อยได้ในเวลา 20 นาที (G 20) และปริมาณกลูโคสที่ปล่อยได้ในเวลา 120 นาที (G 120) ปริมาณกลูโคสทั้งหมด (Total glucose; TG) ตรวจวัดได้จากการเจลาติไนซ์แป้งข้าวเจ้าในน้ำเดือด และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 6 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส จากนั้นย่อยด้วยเอนไซม์อะมิโลกลูโคซิเดสจนเสร็จสิ้นการย่อย แล้วนำไปตรวจวัดหาปริมาณกลูโคสทั้งหมด (TG) ทั้งนี้ตรวจวัดปริมาณกลูโคสโดยใช้วิธีของ Megazyme โดยปิเปตสารละลายใสหลังการปั่นเหวี่ยงแป้งที่ถูกย่อย ณ สภาวะต่างๆ ดังที่กล่าวมาข้างต้นมา 0.1 มิลลิลิตรและใส่ในหลอดทดลอง เติม GOPOD Reagent 3 มิลลิลิตร ทำแบลงค์ โดยนำโซเดียมอะซิเตทบัฟเฟอร์ (pH 4.5) ที่มีความเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ มา 0.1 มิลลิลิตร ผสมกับ GOPOD Reagent 3 มิลลิลิตร และทำกลูโคสมาตรฐาน โดยปิเปต D-glucose 0.1 มิลลิลิตร ผสมกับ GOPOD Reagent 3 มิลลิลิตร หลังจากนั้นจึงนำตัวอย่าง แบลงค์ และกลูโคสมาตรฐาน มาบ่มในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร แล้วคำนวณหาปริมาณของกลูโคส เพื่อนำไปคำนวณเป็นแป้ง 3 ประเภทที่แบ่งตามความสามารถในการถูกย่อยตามคำอธิบายของ Englyst et al (1992) อ้างอิงโดย Sharavathy et al. (2001) ได้ดังนี้

1) แป้งที่ย่อยได้อย่างรวดเร็ว (Rapidly digestible starch, RDS) แป้งประเภทนี้คือแป้งที่สามารถถูกย่อยได้หมดภายในเวลา 20 นาที

$$RDS = G_{20} \times 0.9$$

2) แป้งที่ทนทานต่อการย่อยสลายโดยเอนไซม์ (Resistant starch, RS) คือแป้งที่ไม่สามารถย่อยสลายได้หมดภายในเวลา 120 นาที

$$RS = TS - (RDS + SDS) \text{ หรือ } (TG - G_{120}) \times 0.9$$

3) แป้งที่ย่อยได้ช้า (Slow digestible starch, SDS) คือแป้งที่ย่อยได้หมดในช่วงเวลา 20-120 นาที และ คำนวณค่าดัชนีในการถูกย่อยได้ของแป้ง (Starch digestibility index, SDI) โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$SDS = (G_{120} - G_{20}) \times 0.9$$

$$SDI = (RDS/TS) \times 100$$

$$\text{เมื่อ } TS = TG \times 0.9$$

3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี และกายภาพของเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่ง ประเมินผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะร้อน คุณสมบัติด้านรีโอโรยี คุณสมบัติด้านความร้อน ศึกษาผลของเส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากมะม่วง และฝรั่งต่อการย่อยได้ของแป้งข้าวเจ้าโดยเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณ



จากเครื่องมือวิเคราะห์ ทำการทดลองอย่างน้อย 2 ซ้ำ และนำเสนอข้อมูลในรูปแบบค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.6 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.6.1 สถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.6.2 สถิติทดสอบสมมติฐานสำหรับการทดลองขั้นตอนที่ 1 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพของเส้นใยอาหารจากมะม่วง หรือฝรั่งที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตที่ต่างกันคือ F-วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ตามวิธีของ Duncan Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม SPSS Version 15.0

สถิติทดสอบสมมติฐานสำหรับการทดลองขั้นตอนที่ 2 การศึกษาผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วง หรือฝรั่งที่ผลิตจากกรรมวิธีการผลิตที่ต่างกันต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเจ้าคือ F-test วิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางเดียว (Two-way ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ตามวิธีของ Duncan Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม SPSS Version 15.0

สถิติทดสอบสมมติฐานสำหรับการทดลองขั้นตอนที่ 3 การศึกษาผลของเส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากมะม่วง และฝรั่งที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการย่อยได้ของแป้งข้าวเจ้าคือ F-test วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ตามวิธีของ Duncan Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม SPSS Version 15.0



บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล

4.1.1 การทดลองตอนที่ 1 : การศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพของเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งจากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน

4.1.1.1 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งจากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน

1) องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่ง ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งที่ได้จากกรรมวิธีการผลิต 4 วิธี ได้แก่ 1) การผลิตเส้นใยอาหารแบบสด หรือตัวอย่างควบคุม) 2) การผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด 3) การผลิตโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และ 4) การผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง ผลการทดลองพบว่าเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตทั้ง 4 วิธีมีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เถ้า และแป้งทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.1 โดยเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ได้จากการผลิตเส้นใยอาหารแบบสด (Fresh mango dietary fiber; FMDF) มีปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้าสูงที่สุดคือร้อยละ 2.99 1.04 และ 1.14 ตามลำดับ ค่าที่ได้ต่ำกว่าปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้าของเส้นใยอาหารจากเปลือกมะม่วงสุก (*Mangifera pajang* K.) ที่ Hassan และคณะ (2011) รายงานว่ามีปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้าร้อยละ 4.60 2.90 และ 2.70 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามปริมาณไขมันและเถ้าของเส้นใยอาหารมะม่วงจากการทดลองครั้งนี้มีค่าสูงกว่าปริมาณไขมัน และเถ้าของเส้นใยอาหารจากเปลือกมะม่วงดิบ (*Mangifera indica* L. Anacardiaceae) ที่พบว่ามีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 2.16-2.49 และ 1.40-3.00 ตามลำดับ (Ajila et al., 2007)

เส้นใยอาหารจากฝรั่งแบบสด (Fresh guava dietary fiber; FGDF) เส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray-dried guava dietary fiber; TGDF) เส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ผลิตโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze-dried guava dietary fiber; FDGDF) รวมทั้งเส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง (Alcohol insoluble solid guava dietary fiber; AGDF) มีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.2 โดย FGDF มีปริมาณโปรตีน และไขมันสูงที่สุด คือร้อยละ 5.51 และ 1.03 ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณโปรตีน (ร้อยละ 4.8) และไขมัน (ร้อยละ 1.40) ของเส้นใยเข้มข้นจากฝรั่ง (*Psidium guajava* L., cv. Red) ที่รายงานไว้โดย Martinez และคณะ (2012)

จากตาราง 4.1 และ 4.2 พบว่า เส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งมีปริมาณแป้งทั้งหมดอยู่ระหว่างร้อยละ 46.15 - 58.93 และ 0.44 - 0.97 ตามลำดับ กรรมวิธีการผลิตเส้นใยอาหารโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่าน



การทำแห้งทำให้เส้นใยอาหารที่มีปริมาณแป้งทั้งหมดต่ำกว่ากรรมวิธีอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งในกรณีของเส้นใยอาหารจากมะม่วง (AMDF) และฝรั่ง (AGDF) (ตาราง 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ) ซึ่งกรรมวิธีการผลิตเส้นใยอาหารที่ผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์นั้นมีผลให้น้ำตาล โอลิโกแซ็กคาไรด์ สารโมเลกุลต่ำ หรือผลิตภัณฑ์ที่ละลายในแอลกอฮอล์เกิดการละลายในแอลกอฮอล์ในระหว่างกระบวนการผลิต ทำให้องค์ประกอบดังกล่าวลดลง รวมทั้งทำให้โปรตีน กรดนิวคลีอิก โพลีฟีนอล และแป้งเกิดการตกตะกอนได้ (Thomas et al., 2000) มีรายงานว่าแป้งที่เป็นองค์ประกอบในเส้นใยอาหารนี้ อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพในระหว่างกระบวนการแปรรูปอาหาร และเปลี่ยนไปเป็นแป้งที่ทนต่อการย่อย (Resistant starch) ได้ (Vergara-Valencia et al., 2007)

ตาราง 4.1 องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) ของเส้นใยอาหารจากมะม่วงชนิดต่างๆ ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน*

ชนิดของเส้นใย อาหาร	องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) *				
	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	ปริมาณแป้ง ทั้งหมด
FMDF	71.44±0.12 ^{a**}	2.99±0.02 ^a	1.04±0.03 ^a	1.14±0.03 ^a	58.93±3.77 ^a
TMDF	9.52±0.15 ^b	2.29±0.04 ^b	0.87±0.03 ^b	0.99±0.01 ^b	56.47±0.91 ^a
FDMDf	5.00±0.04 ^c	2.14±0.01 ^c	0.70±0.07 ^c	0.92±0.00 ^c	53.53±1.43 ^a
AMDF	9.40±0.00 ^b	1.92±0.01 ^d	0.09±0.01 ^d	1.12±0.01 ^a	46.15±1.16 ^b

* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

** ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c,) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

หมายเหตุ การผลิตเส้นใยอาหารแบบสด (FMDF), การผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบภาค (TMDF), การผลิตโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDf) และการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AMDF)



ตาราง 4.2 องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) ของเส้นใยอาหารจากฝรั่ง ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน*

ชนิดของเส้นใย อาหาร	องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) *				
	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	ปริมาณแบ่ง ทั้งหมด
FGDF	82.15±0.05 ^{a**}	5.51±0.01 ^{a**}	1.03±0.12 ^a	1.80±0.02 ^c	0.97±0.17 ^a
TGDF	7.50±0.09 ^c	3.72±0.04 ^b	0.69±0.07 ^b	2.13±0.00 ^b	0.82±0.06 ^a
FDGDF	8.32±0.07 ^b	3.59±0.07 ^c	0.65±0.03 ^b	2.35±0.00 ^a	0.92±0.15 ^a
AGDF	8.35±0.11 ^b	2.83±0.01 ^d	0.12±0.02 ^c	1.79±0.01 ^c	0.44±0.03 ^b

* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

** ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c..) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ (p≤0.05)

หมายเหตุ การผลิตเส้นใยอาหารแบบสด (FGDF), การผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบภาค (TGDF), การผลิตโดยทำแบบแช่เยือกแข็ง (FDGDF) และการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำให้แห้ง (AGDF)

2) ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber; TDF) ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble dietary fiber; IDF) และปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (Soluble dietary fiber; SDF) ของเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่ง

ผลการศึกษาปริมาณเส้นใยอาหารของมะม่วงจากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน 4 วิธี แสดงดังตารางที่ 4.3 จากผลการทดลองพบว่าเส้นใยอาหารของมะม่วงที่ได้จากการผลิตเส้นใยอาหารแบบสด (FMDF) มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดสูงกว่าเส้นใยอาหารของมะม่วงที่ได้จากกรรมวิธีอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05) เส้นใยอาหารของมะม่วงที่ได้จากการผลิตเส้นใยอาหารแบบสด (FMDF) และที่ได้จากการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำให้แห้ง (AMDF) มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำไม่แตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 27.44 และ 26.48 ตามลำดับ เส้นใยอาหารของมะม่วงที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตทั้งสองมีปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำสูงกว่าเส้นใยอาหารของมะม่วงที่ได้จากการผลิตโดยไม่ผ่านการทำให้เส้นใยอาหารบริสุทธิ์และทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบภาค (TMDF) และจากการผลิตโดยไม่ผ่านการทำให้เส้นใยอาหารบริสุทธิ์ และทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMD) อย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05) การผลิตเส้นใยอาหารของมะม่วงโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำให้แห้ง (AMDF) ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ต่ำกว่ากรรมวิธีการผลิตอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05) โดยมีปริมาณของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำเพียงร้อยละ 2.81 ปริมาณเส้นใยอาหารในการศึกษานี้มีค่าต่ำกว่าที่ได้จากการศึกษาของ Martínez et al., 2012 ซึ่งรายงานว่



เส้นใยอาหารเข้มข้นจากมะม่วง (Mangifera indica L., cv. Tommy Atkins and Haden) มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำเท่ากับ ร้อยละ 70.00, 41.50 และ 28.20 ตามลำดับ และมีปริมาณต่ำกว่าเส้นใยอาหารจากเปลือกของมะม่วงดิบที่มีเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำเท่ากับร้อยละ 51.20, 32.10 และ 19.00 ตามลำดับ (Ajila et al., 2010)

ตาราง 4.3 ปริมาณของเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ของเส้นใยอาหารจากมะม่วงชนิดต่างๆ ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน*

ชนิดของเส้นใยอาหาร	ปริมาณของเส้นใยอาหาร (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) *		
	เส้นใยอาหารทั้งหมด	เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ	เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ
FMDF	37.02±2.23 ^{a**}	27.44±1.11 ^a	9.58±1.13 ^a
TMDF	29.09±0.12 ^b	18.21±0.08 ^b	10.87±0.04 ^a
FDMDf	29.74±0.27 ^b	19.16±0.79 ^b	10.58±0.51 ^a
AMDF	29.29±0.61 ^b	26.48±0.35 ^a	2.81±0.25 ^b

* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

** ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c, ...) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

หมายเหตุ การผลิตเส้นใยอาหารแบบสด (FMDF), การผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบลาด (TMDF), การผลิตโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDf) และการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AMDF)

ผลการศึกษาปริมาณเส้นใยอาหารของฝรั่งจากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน 4 วิธี แสดงดังตาราง 4.4 จากผลการทดลองพบว่าการผลิตเส้นใยอาหารจากฝรั่งแบบสด (FGDF) ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำสูงกว่าเส้นใยอาหารของฝรั่งที่ได้จากกรรมวิธีอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยมีปริมาณของเส้นใยอาหารทั้งหมด และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำเท่ากับร้อยละ 94.73 และ 81.88 ตามลำดับ ในขณะที่เส้นใยอาหารของฝรั่งที่ได้จากการทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AMDF) ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ต่ำกว่ากรรมวิธีการผลิตอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีปริมาณของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำเพียง ร้อยละ 8.90 (ตารางที่ 4.4) ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำที่พบในการศึกษานี้มีค่าสูงกว่าที่รายงานไว้โดย Jimenez-Escrig และคณะ (2001) ซึ่งพบว่าเปลือกฝรั่งมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำเท่ากับร้อยละ 48.55, 46.72 และ 1.83 ตามลำดับ และในเนื้อก็มีค่าเท่ากับร้อยละ 49.42, 47.65 และ 1.77 ตามลำดับ



ตาราง 4.4 ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำของเส้นใยอาหารจากฝรั่งซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน*

ชนิดของเส้นใย อาหาร	ปริมาณของเส้นใยอาหาร (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)*		
	เส้นใยอาหารทั้งหมด	เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ	เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ
FGDF	94.73±0.28 ^{a**}	81.88±1.20 ^a	12.84±0.92 ^a
TGDF	88.66±1.91 ^b	74.79±0.14 ^b	13.87±2.06 ^a
FDGDF	88.05±2.24 ^b	74.27±2.90 ^b	13.79±0.66 ^a
AGDF	86.35±0.08 ^b	77.45±0.41 ^b	8.90±0.33 ^b

* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

** ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c, ...) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

หมายเหตุ การผลิตเส้นใยอาหารแบบสด (FGDF), การผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TGDF), การผลิตโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDGDF) และการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AGDF)

3) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic compound; TPC) และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activities) ของเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่ง ผลการศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของเส้นใยอาหารจากมะม่วง แสดงดังตาราง 4.5 เส้นใยอาหารของมะม่วงที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตทั้ง 4 วิธีมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ระหว่าง 0.06-0.60 g GAE/100g เส้นใยอาหารที่ผลิตโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDGDF) มีปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด ตรงกับผลการตรวจวัดกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระซึ่งตรวจวัดโดยใช้วิธีทั้ง 2 วิธี ได้แก่ วิธีการตรวจวัดความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยการดักจับอนุมูลอิสระของ (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl; DPPH assay) และวิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยการรีดิวซ์เฟอร์ริก (Ferric reducing antioxidant power; FRAP assay) พบว่า FDGDF ให้ค่าความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งได้ที่ร้อยละ 50 (Inhibition concentration; IC₅₀) ต่ำที่สุด คือ 10.78 IC₅₀ mg/ml และมีค่าการรีดิวซ์เฟอร์ริกเป็น 95.99 mM Fe (III)/g ซึ่งไม่แตกต่างกับเส้นใยอาหารจากการผลิตแบบสด (FMDF) และเส้นใยอาหารจากการผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TMDF) ($p > 0.05$) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ Asami และคณะ (2003) ที่รายงานว่าสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่ได้จากผลมาเรียนเบอร์รี่ (Marionberry) สตรอเบอร์รี่ และข้าวโพดซึ่งผ่านวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณสูงกว่าผลมาเรียนเบอร์รี่ (Marionberry) สตรอเบอร์รี่ และข้าวโพดซึ่งผ่านการทำแห้งด้วยลมร้อน เนื่องจากวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งทำให้ตัวอย่างมีประสิทธิภาพ



ในการสกัดสูงขึ้นเนื่องจากผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนการแช่เยือกแข็ง สามารถที่มแทงเซลล์ของตัวอย่าง ทำให้สารสกัดสามารถเข้าไปสกัดสารประกอบฟีนอลิกได้มากขึ้น ในขณะที่การทำแห้งด้วยลมร้อนไม่มีผลต่อการทำให้เซลล์แตกก่อนจึงทำให้ปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกนั้นน้อยกว่าวิธีการทำแห้งแช่เยือกแข็ง เส้นใยอาหารที่ได้จากการผลิตเส้นใยอาหารแบบสด (FMDF) มีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในปริมาณที่ไม่แตกต่างจากเส้นใยอาหารจากการผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TMDF) ($p > 0.05$) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานของ Figuerola และคณะ (2005) ที่กล่าวว่า การทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 65 องศาเซลเซียส มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระน้อยมาก

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay และ FRAP assay ของเส้นใยอาหารจากฝรั่ง แสดงดังตาราง 4.6 เส้นใยอาหารของฝรั่งที่ได้จากการผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TGDF) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าเส้นใยอาหารที่ผลิตด้วยวิธีอื่นๆ ($p < 0.05$) โดยมีปริมาณเท่ากับ 0.74 g GAE/100g และยังพบอีกว่าเส้นใยอาหารชนิดนี้มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าเส้นใยอาหารที่ผลิตด้วยวิธีอื่นๆ ($p < 0.05$) สอดคล้องกันทั้งเมื่อตรวจวัดด้วยวิธี DPPH assay และ FRAP assay (ตาราง 4.6) โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 11.40 IC_{50} mg/ml ค่าที่ได้ต่ำกว่ากรดแอสคอร์บิก ที่มีค่าเท่ากับ 0.11 IC_{50} mg/ml และการรีดิวซ์เฟอร์ริก เท่ากับ 130.15 mM Fe (III)/g ตามลำดับ เส้นใยอาหารของฝรั่งที่ได้จากการผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดอาจเนื่องจากความร้อนที่ให้แก่เส้นใยอาหารจากฝรั่งเมื่อทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดจนกระทั่งความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 9 (น้ำหนักแห้ง) อาจมีผลให้สารประกอบฟีนอลิกบางชนิดเกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้าง มีผลทำให้เกิดสารประกอบชนิดใหม่ที่มีสมบัติต้านออกซิเดชันได้ Garau และคณะ (2007) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิการทำแห้งต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของเส้นใยอาหารจากส้ม (*Citrus aurantium* v. *Canoneta*) และรายงานว่า การทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสม ที่ทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด ในขณะที่การทำแห้งที่อุณหภูมิสูงเกินไปหรือที่อุณหภูมิต่ำและต้องใช้เวลาในการทำแห้งมีผลทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลงได้



ตาราง 4.5 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content; TPC) และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของเส้นใยอาหารจากมะม่วงชนิดต่างๆ ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน*

ชนิดของเส้นใยอาหาร	TPC (g GAE/100g)	IC ₅₀ (IC ₅₀ mg/ml)	FRAP (mM Fe (III)/g)
FMDF	0.50±0.02 ^{b**}	14.87±0.42 ^a	95.99±11.77 ^a
TMDF	0.52±0.01 ^b	13.24±0.08 ^a	97.53±10.33 ^a
FDMDf	0.60±0.02 ^a	10.78±0.23 ^b	104.01±12.70 ^a
AMDF	0.06±0.01 ^c	ND	7.05±0.51 ^b
Ascorbic acid ^{***}		0.11±0.00	

* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

** ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c, ...) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ (p<0.05)

*** Ascorbic acid เป็นสารละลายมาตรฐานที่ใช้ในการศึกษาและเปรียบเทียบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยการดักจับอนุมูลอิสระ

หมายเหตุ การผลิตเส้นใยอาหารแบบสด (FMDF), การผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบภาค (TMDF), การผลิตโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDf) และการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AMDF)

ตาราง 4.6 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของเส้นใยอาหารจากฝรั่งซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน*

ชนิดของเส้นใยอาหาร	TPC (g GAE/100g)	IC ₅₀ (IC ₅₀ mg/ml)	FRAP (mM Fe (III)/g)
FGMF	0.43±0.00 ^{c**}	31.71±0.09 ^a	52.10±3.04 ^c
TGMF	0.74±0.02 ^a	11.40±0.50 ^c	130.15±9.12 ^a
FDGMF	0.59±0.02 ^b	12.26±0.44 ^b	106.98±9.19 ^b
AGDF	0.12±0.00 ^d	ND	14.84±1.07 ^d
Ascorbic acid ^{***}		0.11±0.00	

* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

** ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c, ...) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ (p<0.05)



*** Ascorbic acid เป็นสารละลายมาตรฐานที่ใช้ในการศึกษาและเปรียบเทียบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยการดักจับอนุมูลอิสระ

หมายเหตุ การผลิตเส้นใยอาหารแบบสด (FGDF), การผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TGDF), การผลิตโดยทำแบบแช่เยือกแข็ง (FDGDF) และการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AGDF)

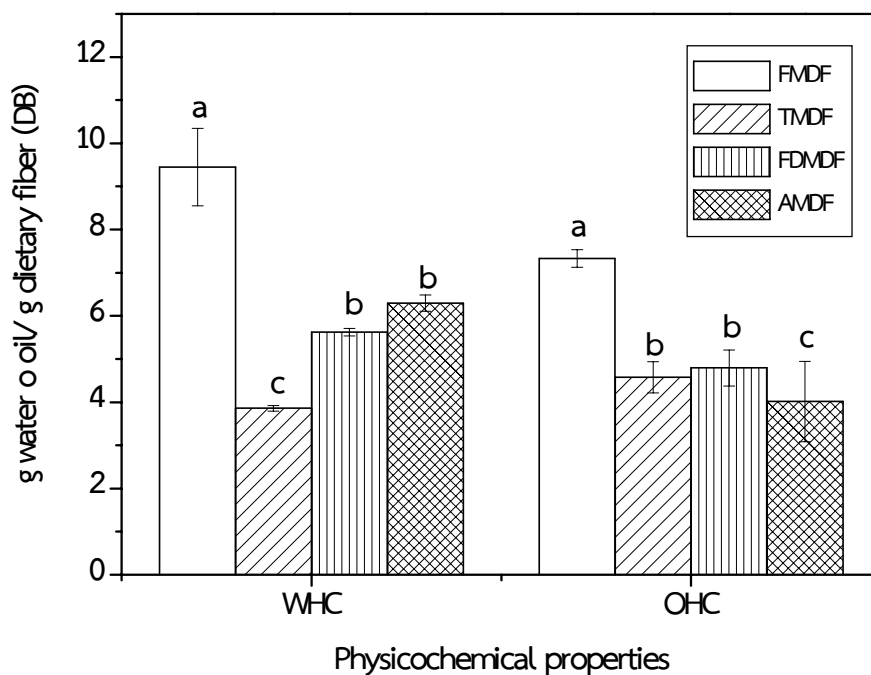
4.1.1.2) การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่ง จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน

ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเส้นใยอาหารได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ และความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (Water holding capacity; WHC, และ Oil holding capacities; OHC) ของเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่ง ผลการทดลองพบว่าเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตเส้นใยอาหารแบบสด (FMDF และ FMDF) มีความสามารถในการอุ้มน้ำ และความสามารถในการอุ้มน้ำมันสูงกว่าเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตแบบอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เส้นใยจากการผลิตแบบสดมีความสามารถในการอุ้มน้ำ และน้ำมันเท่ากับ 9.45 g water/g dietary fiber และ 7.33 g oil/g dietary fiber ตามลำดับ (ภาพประกอบ 4.1) ความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารของมะม่วงจากการผลิตแบบสด (FMDF) มีความคล้ายคลึงกับเส้นใยอาหารของลูกพีช ที่ความสามารถในการอุ้มน้ำอยู่ระหว่าง 9.20-12.10 g water/g dietary fiber แต่มีความสามารถในการอุ้มน้ำมันสูงกว่าเส้นใยอาหารของลูกพีช ซึ่งลูกพีชมีความสามารถในการอุ้มน้ำมันเท่ากับ 1.02-1.11 oil/g dietary fiber (Grigelmo-Miguel et al., 1999) และส่วน เส้นใยอาหารของฝรั่งจากการผลิตแบบสด (FGDF) มีความสามารถในการอุ้มน้ำและน้ำมันเท่ากับ 16.67 g water/g dietary fiber และ 12.40 g oil/g dietary fiber ตามลำดับ (ภาพประกอบ 4.2) พบว่าเส้นใยอาหารของฝรั่งจากการผลิตแบบสด (FGDF) มีความสามารถในการอุ้มน้ำใกล้เคียงกับเส้นใยอาหารของอินทผลัม และมีความสามารถในการอุ้มน้ำมันต่ำกว่าอินทผลัมเล็กน้อย ทั้งนี้ความสามารถในการอุ้มน้ำของอินทผลัมเท่ากับ 15.45-15.90 water/g dietary fiber และความสามารถในการอุ้มน้ำมันเท่ากับ 9.6-9.9 g oil/g dietary fiber (Elleuch et al., 2008)

ความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารมีความสัมพันธ์กับปริมาณของเส้นใยอาหาร ทั้งเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำและเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ โดยเส้นใยอาหารเหล่านี้มีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) จำนวนมากเป็นองค์ประกอบ ซึ่งหมู่ไฮดรอกซิลสามารถจับกับไฮโดรเจนด้วยพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ ความแตกต่างของคุณสมบัติการจับกับน้ำจึงเกี่ยวกับโครงสร้างทางเคมีขององค์ประกอบโพลีแซ็กคาไรด์ และยังมีปัจจัยอื่นๆอีก เช่น ความพรุน ขนาดของอนุภาค รูปร่างของไอออน ค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ความแรงของไอออน ชนิดของไอออนในสารละลาย และความเครียดของเส้นใย เป็นต้น ซึ่งเส้นใยอาหารที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง จะสามารถช่วยลดการแยกชั้นของน้ำ การเปลี่ยนแปลงความหนืด และให้เนื้อสัมผัสกับอาหารบางชนิดได้ดีกว่าเส้นใยอาหารที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ เช่นเดียวกันกับเส้นใยอาหารที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำมันสูง จะช่วยเพิ่มความคงตัวของอาหารที่มีไขมัน และอิมัลชันสูงได้ดีกว่าเส้นใยอาหารที่มีความสามารถ



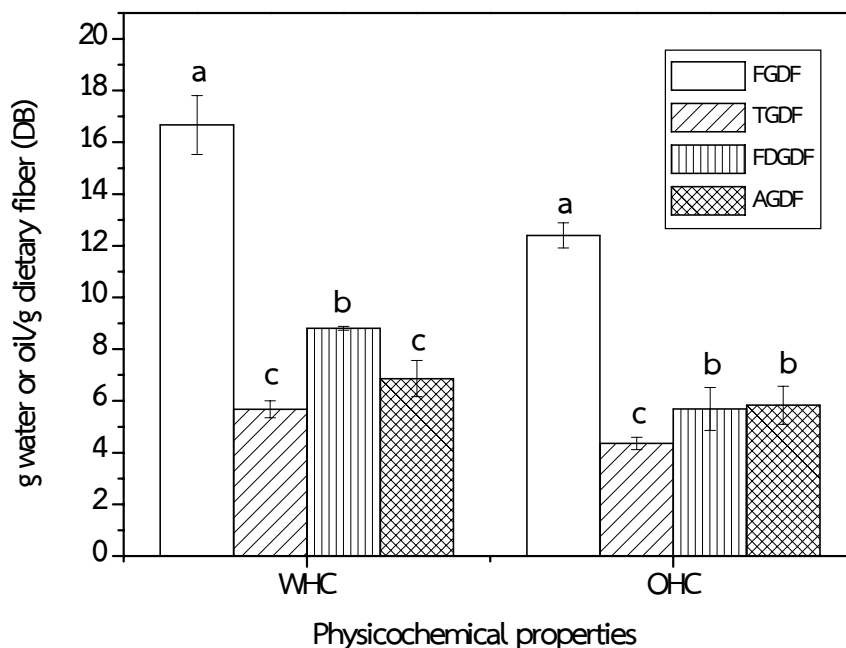
ในการอุ้มน้ำมันต่ำ ซึ่งความสามารถในการอุ้มน้ำมันนั้นมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติบนผิวหน้าของอนุภาค และการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นโดยรวมของเส้นใยอาหาร (Elleuch et al., 2011)



ภาพประกอบ 4.1 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (WHC) และ ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (OHC) ของเส้นใยอาหารจากมะม่วง ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน

หมายเหตุ การผลิตเส้นใยอาหารแบบสด (FMDF), การผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบภาค (TMDF), การผลิตโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDF) และการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AMDF)





ภาพประกอบ 4.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (WHC) และ ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (OHC) ของเส้นใยอาหารจากฝรั่งซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน

หมายเหตุ การผลิตเส้นใยอาหารแบบสด (FGDF), การผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TGDF), การผลิตโดยทำแบบแช่เยือกแข็ง (FDGDF) และการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AGDF)

4.1.2 การทดลองตอนที่ 2: การศึกษาผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่งที่ผลิตจากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกันต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเจ้า

4.1.2.1 คุณสมบัติด้านการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะร้อน (Pasting properties)

ศึกษาผลของการเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งซึ่งผลิตจากกรรมวิธีการผลิต 4 วิธีที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะร้อนต่างๆ ของแป้งข้าวเจ้าได้แก่ ความหนืดสูงสุด (Peak viscosity; PV) ความหนืดต่ำสุด (Trough) ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (Breakdown; BD) ความหนืดสุดท้าย (Final viscosity; FV) ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (Setback) เวลาในการให้ค่าความหนืดสูงสุด (Peak time) และอุณหภูมิการเกิดแป้งเปียก (Pasting Temperature; PT) ผลการทดลองดังแสดงในตาราง 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.7 และ 4.8 พบว่าแป้งข้าวเจ้าที่ไม่มีการเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงมีค่า PV, BD และ FV เป็น 358.95, 163.14 และ 295.26 RVU ตามลำดับ และการเติมเส้นใยอาหารของมะม่วง และฝรั่งที่ได้จากการกรรมวิธีการผลิตทั้ง 4 วิธีส่งผลให้ค่า PV, BD และ FV ของแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ผลการทดลองดังกล่าว



สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lai et al. (2011) ซึ่งศึกษาผลของการเติมเส้นใยอาหารจากข้าวลงใน แป้งจากข้าวสาลีพันธุ์ TCS10 และพบว่าเส้นใยอาหารจากข้าวมีแนวโน้มทำให้ค่า PV, BD และ FV ของแป้งจากข้าวเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของค่าดังกล่าวอาจเนื่องมาจากเส้นใยอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายเข้าไปทำลายโครงสร้างของอะไมโลเพคตินภายในเม็ดแป้ง ทำให้การพองตัวของเม็ดแป้งสูงขึ้น เมื่อเม็ดแป้งพองตัวสูงขึ้นการดูดน้ำเข้าไปในเม็ดแป้งจึงเพิ่มสูงตามไปด้วย ส่งผลให้ ปริมาณน้ำอิสระในระบบลดน้อยลง จึงทำให้ค่า PV ของแป้งเพิ่มขึ้น นอกจากนี้อาจเป็นไปได้ว่า การเติมเส้นใยอาหารที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำไปช่วยเพิ่มความเข้มข้นของแป้งในระบบ โดยเส้นใยอาหารเข้าไปอุ้มน้ำ และตรึงน้ำในระบบ การเกิดอันตรกิริยาระหว่างเส้นใยอาหาร และแป้งในระบบ เช่นนี้จึงทำให้ค่า PV และ FV ของระบบเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มว่าการเพิ่มขึ้นนี้มีค่าสูงมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของเส้นใยอาหารที่เติมลงในแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.7 และ 4.8)

พิจารณาเวลาในการให้ค่าความหนืดสูงสุด (Peak time) และอุณหภูมิการเกิดแป้ง เปียก (PT) พบว่าการเติมเส้นใยอาหารของมะม่วงและฝรั่งที่ได้จากการผลิตทั้ง 4 วิธี ทำให้ค่าทั้งสอง ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และการเพิ่มความเข้มข้นของเส้นใยอาหารทำให้ค่า Peak time และ PT มีค่าลดลง การลดลงดังกล่าวอาจเนื่องมาจากโครงสร้างส่วนผลึกของเม็ดแป้งที่ ประกอบด้วยอะไมโลเพคตินถูกทำลายโดยเส้นใยอาหารที่ไม่ละลาย (Lai et al., 2011) เมื่อผลึก ถูกทำลายเม็ดแป้งจึงพองตัวได้มากขึ้น และเร็วขึ้น ดังนั้นค่า Peak time และ PT ของแป้งข้าวเจ้า จึงมีค่าลดลง



ตาราง 4.7 การเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะร้อนของแป้งข้าวเจ้าเมื่อไม่เติมและเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยเส้นใยอาหารจากมะม่วงได้จากการผลิตที่แตกต่างกัน*

ชนิดของเส้นใยอาหาร	ความเข้มข้น (ร้อยละ)	คุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะร้อน*						
		PV (RVU)	Trough (RVU)	BD (RVU)	FV (RVU)	Setback	Peak time (min)	PT (°C)
ไม่เติม	0.00	358.95±6.99 ^{h**}	195.81±9.07 ^e	163.14±6.44 ^s	295.26±9.90 ⁱ	99.45±2.16 ^f	5.99±0.14 ^a	77.19±0.37 ^a
FMDF	2.50	621.21±28.81 ^s	320.21±1.47 ^{abc}	385.96±79.61 ^e	426.32±13.10 ^{fgh}	106.09±14.62 ^f	5.27±0.09 ^b	71.10±1.06 ^{cd}
	5.00	1116.79±95.52 ^d	265.71±112.84 ^{bcde}	701.75±55.39 ^d	687.18±79.56 ^b	419.96±35.41 ^b	4.74±0.37 ^c	71.05±1.13 ^{cd}
	7.50	1358.38±35.77 ^c	251.79±4.54 ^{cde}	732.25±98.75 ^d	802.96±127.34 ^a	551.17±122.80 ^a	4.47±0.37 ^{cd}	68.59±0.46 ^e
TMDF	2.50	579.54±13.85 ^s	274.38±14.67 ^{bcde}	305.17±0.83 ^{ef}	395.25±8.84 ^{gh}	120.88±5.83 ^f	5.17±0.05 ^b	72.65±0.07 ^b
	5.00	952.13±41.08 ^e	231.17±20.86 ^{de}	720.96±61.93 ^d	487.21±65.58 ^{def}	256.05±44.72 ^{cd}	4.57±0.05 ^{cd}	71.85±0.00 ^{bc}
	7.50	1625.21±62.40 ^b	263.67±32.41 ^{bcde}	1361.54±30.00 ^a	569.33±57.98 ^{cd}	305.67±25.58 ^c	4.20±0.10 ^d	71.05±0.00 ^{cd}
FDMDF	2.50	535.38±19.86 ^s	260.04±0.65 ^{bcde}	275.34±19.21 ^f	362.13±3.25 ^{hi}	102.09±2.60 ^f	5.30±0.24 ^b	72.65±0.07 ^b
	5.00	1136.38±39.18 ^d	340.34±52.91 ^{ab}	796.04±13.73 ^{cd}	513.30±6.19 ^{de}	172.96±46.73 ^{ef}	4.47±0.00 ^{cd}	71.80±0.00 ^{bc}
	7.50	1790.00±31.82 ^a	342.96±90.92 ^{ab}	1447.04±122.74 ^a	602.88±0.18 ^c	259.92±90.74 ^{cd}	4.20±0.10 ^d	71.35±0.42 ^{cd}
AMDF	2.50	767.58±40.31 ^f	391.33±14.85 ^a	376.25±25.46 ^{ef}	609.71±17.27 ^{bc}	218.38±2.41 ^{de}	5.30±0.04 ^b	72.23±0.53 ^{bc}
	5.00	1182.46±116.73 ^d	290.59±23.92 ^{bcd}	891.88±92.81 ^c	294.63±29.06 ⁱ	4.60±4.26 ^s	4.40±0.18 ^{cd}	70.58±0.53 ^d
	7.50	1416.75±35.11 ^c	341.96±30.46 ^{ab}	1074.79±4.65 ^b	477.48±15.17 ^{efg}	135.51±45.63 ^f	4.30±0.04 ^d	68.55±1.13 ^e

* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

** ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c, ...) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ (p<0.05)

หมายเหตุ การผลิตเส้นใยอาหารแบบสด (FMDF), การผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TMDF), การผลิตโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDF) และการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AMDF)

ตาราง 4.8 การเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะร้อนของแป้งข้าวเจ้าเมื่อไม่เติมและเติมเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยเส้นใยอาหารจากฝรั่ง ได้จากการผลิตที่แตกต่างกัน*

ชนิดของ เส้นใยอาหาร	ความเข้มข้น (ร้อยละ)	คุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะร้อน						
		PV (RVU)	Trough (RVU)	BD (RVU)	FV (RVU)	Setback	Peak time (min)	PT (°C)
ไม่เติม	0.00	358.95±6.99 ^{h**}	195.81±9.07 ^e	163.14±6.44 ^f	295.26±9.90 ^s	99.45±2.16 ^f	5.99±0.14 ^a	77.19±0.37 ^a
FGDF	2.50	516.42±16.74 ^s	236.00±13.68 ^{de}	280.42±3.06 ^e	352.88±15.49 ^f	116.88±1.83 ^{ef}	5.44±0.05 ^{bcd}	71.03±0.04 ^{fg}
	5.00	1018.63±53.80 ^c	314.25±47.26 ^{bcd}	704.38±101.05 ^b	540.17±13.56 ^d	225.92±60.81 ^{cd}	4.67±0.09 ^e	69.70±0.18 ^{hi}
	7.50	683.46±8.90 ^f	292.84±17.56 ^{bcd}	390.63±8.66 ^d	297.29±16.32 ^s	4.46±1.24 ^s	5.27±0.76 ^{cd}	70.35±0.37 ^{fghi}
TGDF	2.50	493.88±27.64 ^s	252.21±24.10 ^{bcd}	241.67±3.54 ^{ef}	347.83±26.52 ^f	95.63±2.41 ^f	5.73±0.28 ^{ab}	72.68±1.17 ^{cd}
	5.00	697.50±69.89 ^f	269.17±45.49 ^{bcd}	428.33±24.40 ^{cd}	421.13±14.79 ^e	151.96±30.70 ^{ef}	5.24±0.05 ^d	71.43±0.46 ^{ef}
	7.50	1154.46±68.06 ^b	221.75±22.27 ^{de}	932.71±45.79 ^a	622.38±5.48 ^c	400.63±27.75 ^a	4.70±0.04 ^e	70.20±1.13 ^{ghi}
FDGDF	2.50	483.38±2.89 ^s	243.29±6.07 ^{cde}	240.08±3.18 ^{ef}	341.96±5.95 ^f	98.67±0.12 ^f	5.77±0.05 ^{ab}	73.90±0.49 ^b
	5.00	785.71±10.66 ^{de}	306.84±4.72 ^{bcd}	478.88±15.38 ^{cd}	459.79±7.01 ^e	152.96±11.72 ^{ef}	5.27±0.09 ^{cd}	72.28±0.60 ^{de}
	7.50	1454.50±45.85 ^a	453.17±43.25 ^a	459.79±7.01 ^{cd}	722.00±8.84 ^a	268.84±34.41 ^c	4.63±0.14 ^e	70.63±0.67 ^{fgh}
AGDF	2.50	476.67±1.41 ^s	275.00±3.89 ^{bcd}	201.67±2.47 ^{ef}	447.71±7.13 ^e	172.71±3.24 ^{de}	5.70±0.04 ^{abc}	73.45±0.00 ^{bc}
	5.00	835.05±110.49 ^d	332.84±146.84 ^{bc}	502.21±36.36 ^c	671.00±40.55 ^b	338.17±106.30 ^b	5.20±0.00 ^d	70.18±0.04 ^{ghi}
	7.50	744.96±82.55 ^{ef}	336.98±60.42 ^b	408.61±143.10 ^d	350.71±63.11 ^f	14.00±3.07 ^s	4.73±0.00 ^e	69.31±0.37 ⁱ

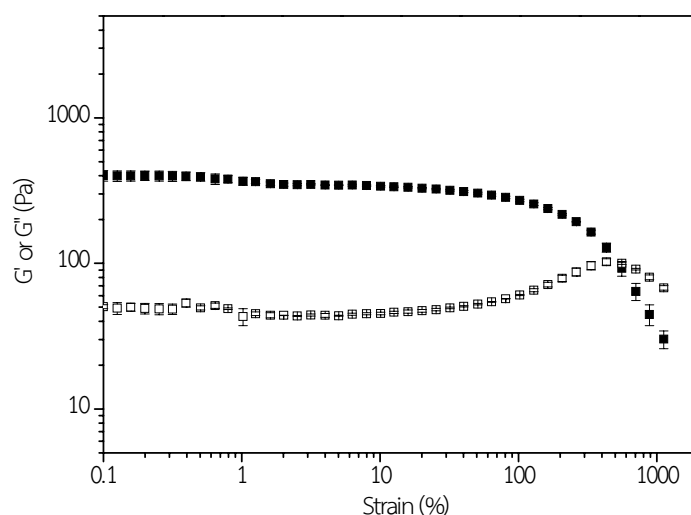
* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

** ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c, ...) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

หมายเหตุ การผลิตเส้นใยอาหารแบบสด (FGDF), การผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบภาค (TGDF), การผลิตโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDGDF) และการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AGDF)

4.1.2.2) คุณสมบัติด้านรีโอโลยี (Rheology properties)

การศึกษาผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่งที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตแตกต่างกัน 4 วิธีเมื่อความเข้มข้นของเส้นใยอาหารเป็นร้อยละ 0, 2.5, 5 และ 7.5 ต่อคุณสมบัติทางรีโอโลยีของแป้งข้าวเจ้าเริ่มที่การศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาความเครียด (Strain) ที่ไม่ทำให้โครงสร้างของเจลแป้งข้าวเจ้าถูกทำลาย หรือที่เรียกว่า Linear viscoelastic region (LVR) โดยทำการทดสอบแบบ Amplitude sweep test เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิ และความถี่ในการวิเคราะห์คงที่ที่ 25 องศาเซลเซียส และ 1 Hz ตามลำดับ และแปรค่าความเครียดเป็นร้อยละ 0.01-1000 ผลการทดลองพบว่าความเครียดที่ทำให้ค่าโมดูลัสสะสม (Storage modulus, G') และโมดูลัสสูญเสีย (Loss modulus, G'') ของเจลจากแป้งข้าวเจ้าอยู่ในช่วง LVR คือที่ความเครียดร้อยละ 1-10 (ภาพประกอบ 4.3) จากผลการทดลองดังกล่าวได้เลือกความเครียดร้อยละ 2 เพื่อนำไปใช้ในศึกษา Frequency sweep test และ Amplitude sweep test ของเจลแป้งข้าวเจ้าต่อไป



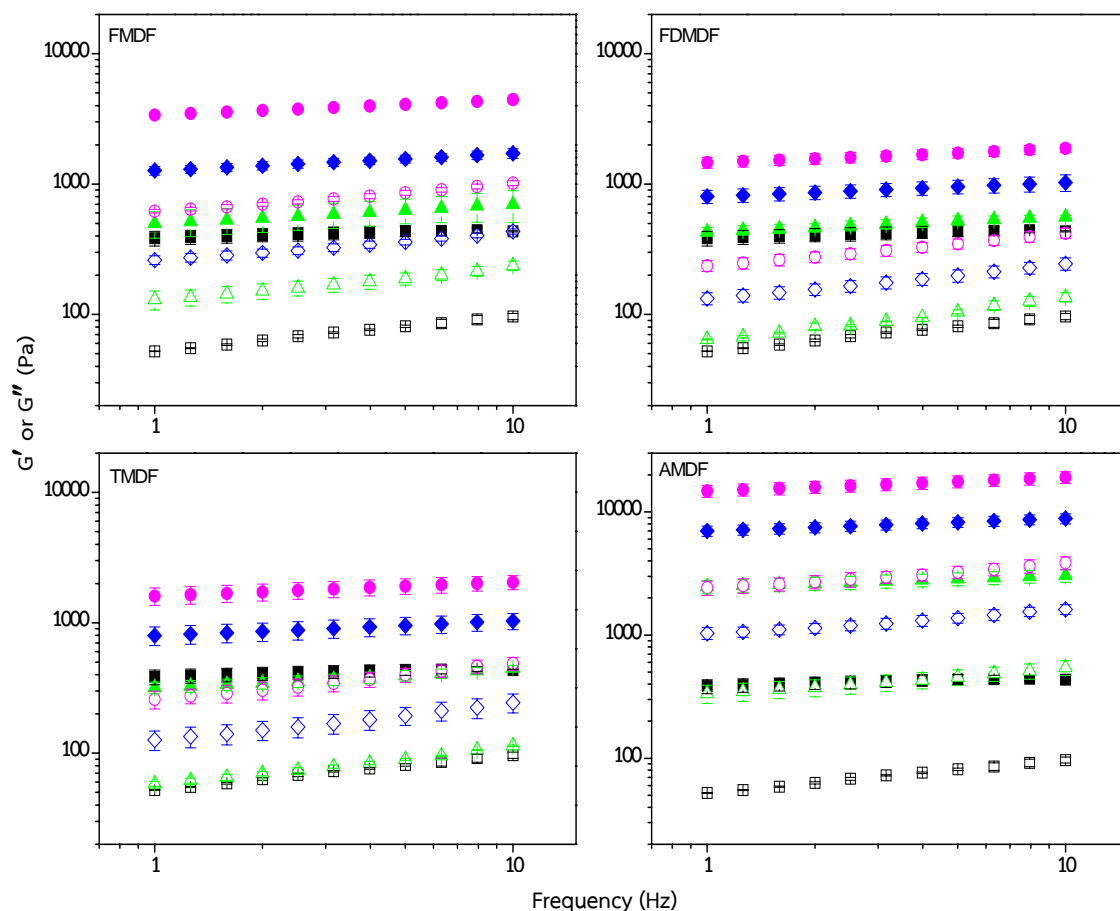
ภาพประกอบ 4.3 Amplitude sweep test ของเจลข้าวเจ้าความเข้มข้นร้อยละ 10 ที่อุณหภูมิและความถี่ที่ 25 องศาเซลเซียส และ 1 Hz มีการเปลี่ยนแปลงของความเครียด (Strain) ในช่วงร้อยละ 0.01 - 1000

การศึกษา Frequency sweep test คือการศึกษาพฤติกรรมของเจลเมื่อมีแรงกระทำในอัตราเร็วที่เพิ่มขึ้นซึ่งช่วยทำให้ทราบถึงลักษณะโครงสร้าง และความแข็งแรงของเจล ภาพประกอบ 4.4 แสดงผลการทดสอบแบบ Frequency sweep test ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่มีการเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตแบบต่างๆ ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5 และ 7.5 จากผลการทดลองพบว่าเจลแป้งข้าวเจ้าที่มีและไม่มีการเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตทุกวิธี และในทุกความเข้มข้นมีค่า G' สูงกว่า G'' แสดงให้เห็นว่าเจลเหล่านี้มีพฤติกรรมคล้ายของแข็ง (Solid-like behavior) เมื่อเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตทุกวิธีทำให้เจลแป้งข้าวเจ้ามีค่า G' และ G'' เพิ่มสูงขึ้น และมีค่าเพิ่มขึ้น



เมื่อความเข้มข้นของเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้น (ภาพประกอบ 4.4) เมื่อพิจารณาผลของเส้นใยอาหารจากฝรั่งต่อคุณลักษณะทางรีโอโลยีของเจลแป้งข้าวเจ้าเมื่อศึกษาโดยใช้ Frequency sweep test ได้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับผลของการเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วง นั่นคือการเติมเส้นใยอาหารจากฝรั่งซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตทุกวิธี และในทุกความเข้มข้นส่งผลให้เจลแป้งข้าวเจ้ามีพฤติกรรมคล้ายของแข็ง ที่มีค่า G' และ G'' สูงกว่าเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่มีการเติมเส้นใยอาหาร และค่า G' และ G'' มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้น จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งทำให้โครงสร้างของเจลแป้งข้าวเจ้ามีลักษณะคล้ายของแข็งที่มีโครงสร้างแข็งแรงมากขึ้น จากภาพประกอบ 4.4 และ 4.5 เจลของแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่งที่ผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารมีความบริสุทธิ์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AMDF และ AGDF ตามลำดับ) มีค่า G' และ G'' สูงที่สุดเมื่อเทียบกับเส้นใยอาหารชนิดอื่น

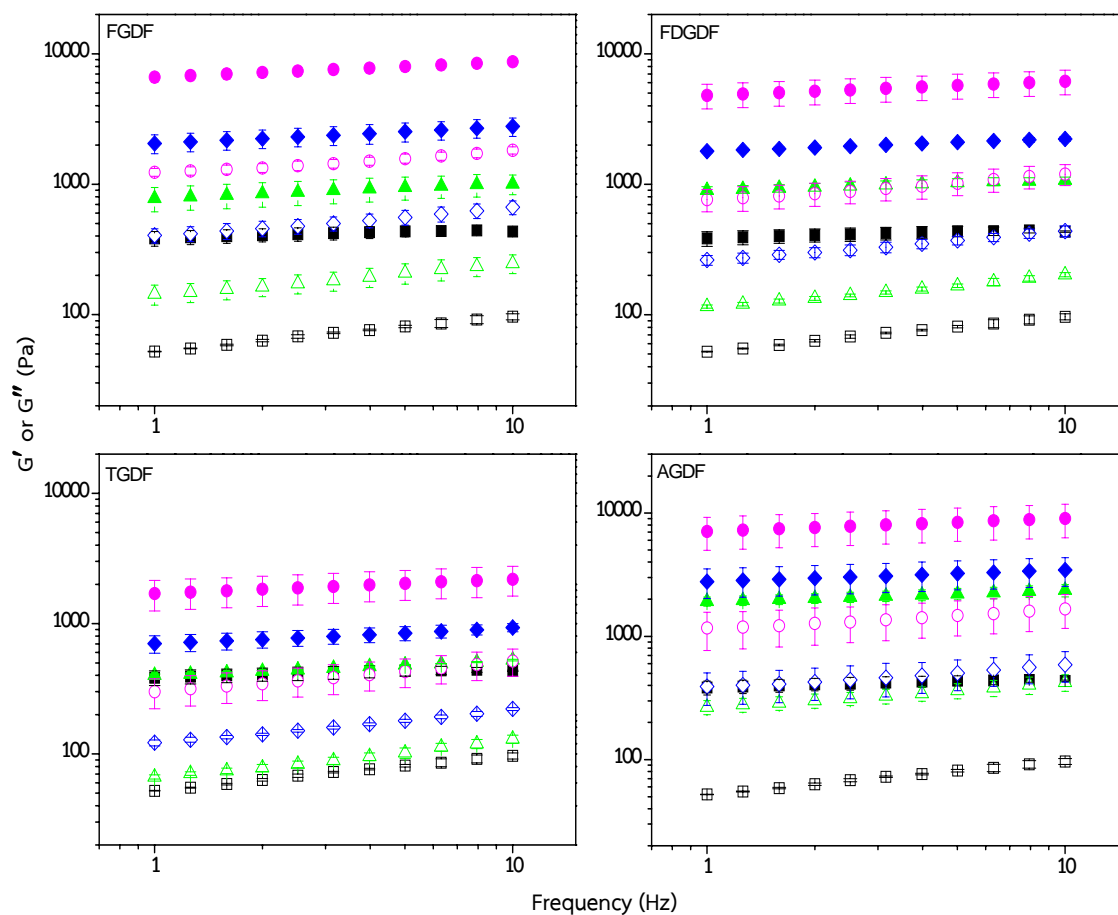




ภาพประกอบ 4.4 ผลของเส้นใยอาหารของมะม่วงที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตที่ต่างกัน ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเปลี่ยนแปลงของโมดูลัสสะสม (Storage modulus; G') และโมดูลัสสูญเสีย (Loss modulus; G'') ของเจลแป้งข้าวเจ้าความเข้มข้นร้อยละ 10 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของความถี่ ในช่วง 1 – 10 Hz

หมายเหตุ เส้นใยอาหารแบบสด (FMDF), การผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TMDF), การผลิตโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDF) และการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AMDF) โดยสัญลักษณ์ที่บคือค่า G' และ สัญลักษณ์โปร่งคือค่า G'' โดย ■ และ □ คือค่า G' และ G'' ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารร้อยละ 0, ▲ และ △ คือค่า G' และ G'' ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารร้อยละ 2.5, ◆ และ ◇ คือค่า G' และ G'' ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารร้อยละ 5.0, และ ● และ ○ คือค่า G' และ G'' ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารร้อยละ 7.5





ภาพประกอบ 4.5 ผลของเส้นใยอาหารของฝรั่งที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกันที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเปลี่ยนแปลงของโมดูลัสสะสม (Storage modulus; G') และโมดูลัสสูญเสีย (Loss modulus; G'') ของเจลแป้งข้าวเจ้าความเข้มข้นร้อยละ 10 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของความถี่ในช่วง 1 - 10 Hz

หมายเหตุ เส้นใยอาหารแบบสด (FGDF), การผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TGDF), การผลิตโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDGDF) และการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AGDF) โดยสัญลักษณ์ที่บคือค่า G' และ สัญลักษณ์โปร่งคือค่า G'' โดย ■ และ □ คือค่า G' และ G'' ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารร้อยละ 0, ▲ และ △ คือค่า G' และ G'' ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารร้อยละ 2.5, ◆ และ ◇ คือค่า G' และ G'' ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารร้อยละ 5.0, และ ● และ ○ คือค่า G' และ G'' ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารร้อยละ 7.5



ผลการศึกษาคุณสมบัติด้านรีโอโลยีได้แก่ โมดูลัสสะสม (Storage modulus, G') , โมดูลัสที่สูญเสีย (Loss modulus, G''), อัตราส่วนของโมดูลัสที่สูญเสียต่อโมดูลัสสะสม ($\tan \delta$) และโมดูลัสเชิงซ้อน (Complex modulus, G^*) ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่มีการเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งซึ่งได้จากการรวมวิธีการผลิตแบบต่างๆ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5 และ 7.5 เมื่อกำหนดความเครียดเป็นร้อยละ 1 ความถี่ในการวิเคราะห์เป็น 1 Hz และอุณหภูมิคงที่ที่ 25 องศาเซลเซียส แสดงดังตารางที่ 4.9 และ 4.10 สำหรับเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า การเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่งซึ่งได้จากการรวมวิธีการผลิตแบบต่างๆ ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5 และ 7.5 ทำให้เจลมีค่า G' สูงกว่า G'' ที่ความเข้มข้นเดียวกันในทุกตัวอย่าง แสดงให้เห็นว่าเจลมีพฤติกรรมคล้ายของแข็งมากกว่าของเหลว และพบว่าค่า G' , G'' และ G^* ของ เจลแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้น และเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นั่นคือการเติมเส้นใยอาหารมีผลให้ความแข็งแรงของเจลแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้น โดยเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงจากการผลิตแบบสด (FMDF) เส้นใยอาหารจากการผลิตที่ไม่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์และทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TMDF) เส้นใยอาหารจากการผลิตที่ไม่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์และทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMD) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 มีค่า G' , G'' และ G^* ไม่แตกต่างกับเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติมเส้นใยอาหาร ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีค่า G' , G'' และ G^* ต่ำที่สุด อยู่ระหว่าง 333.58-426.00, 43.13-133.51 และ 338.60-432.20 Pa ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าเจลแป้งมีค่า G' หรือแสดงพฤติกรรมคล้ายของแข็งมากที่สุดเมื่อเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงจากการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารมีความบริสุทธิ์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AMDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 รองลงมาได้แก่ การเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงจากการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารมีความบริสุทธิ์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AMDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 และเส้นใยอาหารจากการผลิตแบบสด (FMDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 13485.00, 6193.00 และ 2565.00 Pa ตามลำดับ ในขณะที่เดียวกันก็มีผลทำให้เจลแป้งข้าวเจ้ามีค่า G'' มากที่สุดตามลำดับเช่นเดียวกัน โดยมีค่าเท่ากับ 2528.00, 1063.95 และ 615.20 Pa เมื่อเติม AMDF ร้อยละ 7.5, AMDF ร้อยละ 5.0 และ FMDF ร้อยละ 7.5 ตามลำดับ และมีค่า G^* เท่ากับ 137350.00, 6283.50 และ 2638.00 Pa เมื่อเติม AMDF ร้อยละ 7.5, AMDF ร้อยละ 5.0 และ FMDF ร้อยละ 7.5 ตามลำดับ ส่วนเส้นใยอาหารจากฝรั่ง พบว่า เจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารจากการผลิตแบบสด (FGDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5, เส้นใยอาหารจากการผลิตที่ไม่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์และทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TGDF) ร้อยละ 2.5, 5.0, และ 7.5 รวมทั้งเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารจากการผลิตที่ไม่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์และทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDGDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 มีค่า G' , G'' และ G^* ไม่แตกต่างกับเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติมเส้นใยอาหาร ($p > 0.05$) โดยมีค่า G' , G'' และ G^* ต่ำที่สุด อยู่ระหว่าง 366.75-1480.00, 43.13-290.75 และ 369.35-1508.00 Pa ตามลำดับ และเจลแป้งมีค่า G' มากที่สุดเมื่อเติมเส้นใยอาหารจากฝรั่งจากการผลิตแบบสด (FGDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 และเส้นใยอาหารโดยทำให้เส้นใยอาหารมีความบริสุทธิ์



และไม่ผ่านการทำแห้ง (AGDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 5317.50-6049.50 Pa นอกจากนั้นการเติม FGDF ร้อยละ 7.5 และ AGDF ร้อยละ 7.5 ให้เจลแป้งข้าวเจ้าที่มีค่า G'' และ G^* มากที่สุด โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1257.50-1285.00 และ 5464.00-6184.50 Pa ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากค่า G' , G'' และ G^* ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่ง แสดงให้เห็นว่าการเติมเส้นใยอาหารทั้งจากมะม่วงและฝรั่งที่ได้จากการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารมีความบริสุทธิ์และไม่ผ่านการทำแห้งมีผลทำให้เจลแป้งข้าวเจ้าแสดงพฤติกรรมคล้ายของแข็งที่มีความแข็งแรงมากที่สุดโดยเฉพาะอย่างยิ่งเส้นใยอาหารของมะม่วงที่ได้จากการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารมีความบริสุทธิ์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AMDF) เมื่อเติมในแป้งข้าวเจ้าที่ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 มีผลให้ G^* ของเจลแป้งข้าวเจ้ามีค่าเพิ่มขึ้นถึง 37 เท่า

ค่า $\tan \delta$ คือ อัตราส่วนของโมดูลัสที่สูญเสียต่อโมดูลัสสะสม (G''/G') เจลที่มีค่า $\tan \delta$ น้อยกว่า 1.0 จะแสดงพฤติกรรมคล้ายของแข็ง และหากมีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 1.0 จะแสดงพฤติกรรมคล้ายของเหลว จากผลการศึกษาในตารางที่ 4.9 และ 4.10 พบว่า ค่า $\tan \delta$ ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติมเส้นใยอาหารมีค่าเท่ากับ 0.12 และแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่งมีค่า $\tan \delta$ อยู่ระหว่าง 0.14-0.32 และ 0.15-0.25 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเจลของแป้งข้าวเจ้ามีพฤติกรรมคล้ายของแข็ง โดยเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติมเส้นใยอาหาร เจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ผลิตโดยไม่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ และทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TMDF) ความเข้มข้นร้อยละ 2.5, 5 และ 7.5 เจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารจากการผลิตที่ไม่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ และทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5, 5 และ 7.5 รวมทั้งเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารที่ได้จากการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารมีความบริสุทธิ์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AMDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 และ 5 มีค่า $\tan \delta$ ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) และมีค่า $\tan \delta$ ต่ำที่สุด ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.12-0.18 และเจลแป้งที่มีค่า $\tan \delta$ สูงที่สุด มีค่าอยู่ระหว่าง 0.30-0.32 คือ เจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารจากการผลิตแบบสดที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 และ 5 ส่วนค่า $\tan \delta$ ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารจากฝรั่ง พบว่า เจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารจากการผลิตที่ไม่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์และทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDGDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 มีค่า $\tan \delta$ ไม่แตกต่างกับแป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติมเส้นใยอาหารจากฝรั่ง ($p > 0.05$) ซึ่งมีค่าต่ำที่สุด อยู่ระหว่าง 0.12-0.14 และเจลแป้งที่มีค่า $\tan \delta$ สูงที่สุด มีค่าอยู่ระหว่าง 0.24-0.25 คือ เจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารจากการผลิตแบบสด (FGDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 7.5 จากการศึกษาครั้งนี้ค่า $\tan \delta$ ที่แตกต่างกันนั้นเป็นผลมาจากปริมาณของเส้นใยอาหารที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณของเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำที่มีส่วนในการช่วยสร้างความแข็งแรงให้แก่เจลแป้งข้าวเจ้าแตกต่างกัน ดังนั้นจากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่าการเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่งมีผลทำให้เจลแป้งข้าวเจ้ามีพฤติกรรมคล้ายของแข็งหรือมีความแข็งแรงมากกว่าเจลแป้งที่ไม่เติมเส้นใยอาหาร ซึ่งสามารถนำไปปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัมผัสของอาหารให้มีความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์และการยอมรับของผู้บริโภคแต่ละกลุ่มได้



ตาราง 4.9 ผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ได้จากการผลิตเส้นใยอาหารวิธีต่างๆ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเปลี่ยนแปลงของโมดูลัสสะสม (Storage modulus; G'), โมดูลัสสูญเสีย (Loss modulus; G''), อัตราส่วนของโมดูลัสสูญเสียต่อโมดูลัสสะสม (Tan delta) และโมดูลัสเชิงซ้อน (Complex modulus, G^*) ของเจลข้าวเจ้าความเข้มข้นร้อยละ 10 เมื่อความถี่ (Frequency) เป็น 1 Hz และความเครียด (Strain) มีค่าเป็นร้อยละ 2*

ชนิดของเส้นใยอาหาร	ความเข้มข้น (ร้อยละ)	คุณสมบัติด้านรีโอโลยี*			
		G' (Pa)	G'' (Pa)	Tan delta	G^* (Pa)
ไม่เติม	0.00	366.75±22.13 ^{i**}	43.13±5.75 ^f	0.12±0.01 ^d	369.35±22.84 ^h
FMDF	2.50	404.30±74.10 ^{hi}	133.51±48.07 ^{ef}	0.32±0.06 ^a	426.10±85.42 ^{gh}
	5.00	981.30±1.84 ^f	297.20±47.66 ^d	0.30±0.05 ^a	1026.00±15.56 ^f
	7.50	2565.00±8.49 ^c	615.20±23.19 ^c	0.24±0.01 ^b	2638.00±14.14 ^c
TMDF	2.50	333.85±21.99 ⁱ	56.43±4.60 ^f	0.17±0.02 ^{cd}	338.60±20.93 ^h
	5.00	804.45±108.40 ^{fg}	125.50±20.51 ^{ef}	0.16±0.00 ^{cd}	814.15±110.24 ^{fg}
	7.50	1511.50±82.73 ^e	270.20±67.32 ^d	0.18±0.05 ^{bcd}	1537.00±69.30 ^e
FDMDF	2.50	426.00±1.56 ^{ghi}	73.04±6.00 ^f	0.17±0.01 ^{cd}	432.20±0.57 ^{gh}
	5.00	779.65±118.72 ^{fgh}	130.20±20.36 ^{ef}	0.17±0.00 ^{cd}	790.45±120.42 ^{fg}
	7.50	1448.00±42.43 ^e	218.05±17.32 ^{de}	0.15±0.02 ^{cd}	1464.50±38.89 ^e
AMDF	2.50	2201.50±188.80 ^d	312.15±0.07 ^d	0.14±0.01 ^{cd}	2223.50±187.38 ^d
	5.00	6193.00±461.03 ^b	1063.95±114.62 ^b	0.17±0.01 ^{cd}	6283.50±437.05 ^b
	7.50	13485.00±275.77 ^a	2586.00±114.55 ^a	0.19±0.01 ^{bc}	13735.00±289.91 ^a

* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

** ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c, ...) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

หมายเหตุ การผลิตเส้นใยอาหารแบบสด (FMDF), การผลิตเส้นใยอาหารโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TMDF), การผลิตเส้นใยอาหารโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDF) และการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AMDF)



ตาราง 4.10 ผลของเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ได้จากการผลิตเส้นใยอาหารวิธีต่างๆ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเปลี่ยนแปลงของโมดูลัสสะสม (Storage modulus; G'), โมดูลัสสูญเสีย (Loss modulus; G''), อัตราส่วนของโมดูลัสสูญเสียต่อโมดูลัสสะสม (Tan delta) และโมดูลัสเชิงซ้อน (Complex modulus, G^*) ของเจลข้าวเจ้าความเข้มข้นร้อยละ 10 เมื่อความถี่ (Frequency) เป็น 1 Hz และความเครียด (Strain) มีค่าเป็นร้อยละ 2*

ชนิดของเส้นใยอาหาร	ความเข้มข้น (ร้อยละ)	คุณสมบัติด้านรีโอโลยี*			
		G' (Pa)	G'' (Pa)	Tan delta	G^* (Pa)
ไม่เติม	0.00	366.75±22.13 ^{e**}	43.13±5.75 ^e	0.12±0.01 ^f	369.35±22.84 ^e
FGDF	2.50	688.25±123.67 ^{de}	139.40±11.88 ^{cde}	0.20±0.02 ^b	702.30±123.60 ^{de}
	5.00	1741.50±272.24 ^{cd}	432.00±59.26 ^{bc}	0.25±0.00 ^a	1974.50±277.89 ^{cd}
	7.50	5317.50±226.98 ^a	1257.50±129.40 ^a	0.24±0.01 ^a	5464.00±250.32 ^a
TGDF	2.50	394.65±7.42 ^e	66.78±0.90 ^e	0.17±0.01 ^{cde}	400.25±7.14 ^e
	5.00	686.90±72.12 ^{de}	112.40±15.13 ^{de}	0.16±0.00 ^e	696.05±73.61 ^{de}
	7.50	1480.00±301.23 ^{cde}	290.75±63.57 ^{cde}	0.20±0.00 ^{bcd}	1508.00±308.30 ^{cde}
FDGDF	2.50	866.40±56.00 ^{de}	123.30±18.81 ^{de}	0.14±0.01 ^{ef}	875.15±58.05 ^{de}
	5.00	1671.00±9.90 ^{cd}	280.80±15.84 ^{cde}	0.17±0.01 ^{cde}	1694.50±6.36 ^{cd}
	7.50	3441.00±694.38 ^b	635.7±101.75 ^b	0.19±0.01 ^{bcd}	3499.00±701.45 ^b
AGDF	2.50	1777.00±246.07 ^{cd}	270.95±36.27 ^{cde}	0.15±0.00 ^e	1795.50±248.19 ^{cd}
	5.00	2666.00±551.54 ^{bc}	397.15±155.49 ^{bcd}	0.15±0.03 ^e	2696.00±568.51 ^{bc}
	7.50	6049.50±1573.31 ^a	1285.00±370.52 ^a	0.21±0.01 ^b	6184.50±1614.00 ^a

* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

** ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c, ...) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

หมายเหตุ การผลิตเส้นใยอาหารแบบสด (FGDF), การผลิตเส้นใยอาหารโดยไม่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์และทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TGDF), การผลิตเส้นใยอาหารโดยไม่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์และทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDGDF) และการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AGDF)



4.1.2.3) คุณสมบัติด้านความร้อน (Thermal properties)

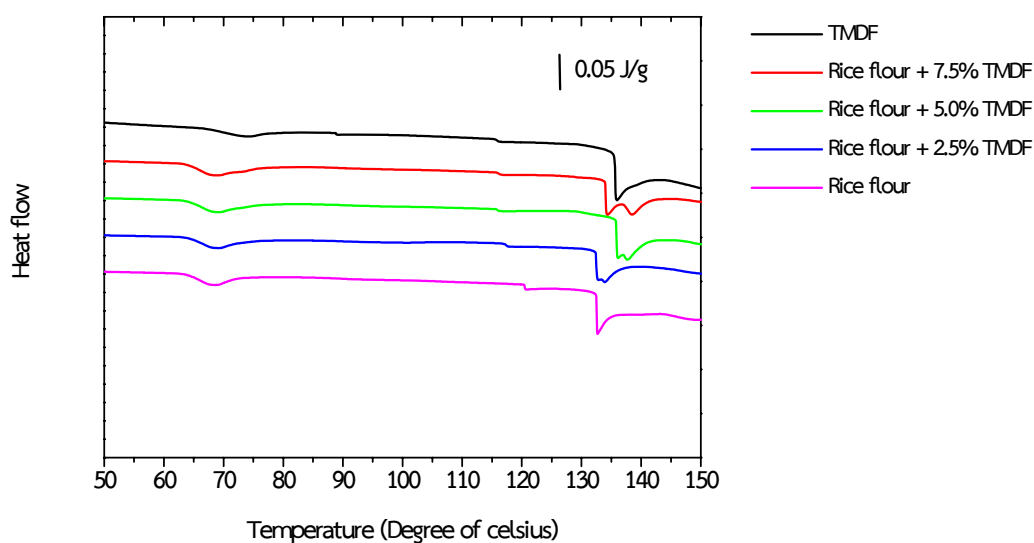
ศึกษาผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตเส้นใยอาหาร โดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TMDF และ TGDF) และการผลิตเส้นใยอาหารโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDF และ FDGDF) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อคุณสมบัติด้านความร้อนต่างๆ ของแป้งข้าวเจ้า ได้แก่ อุณหภูมิที่เริ่มเกิดเจลลิตไนเซชัน (T_o) อุณหภูมิที่เกิดเจลลิตไนเซชันสูงสุด (T_p) อุณหภูมิเมื่อสิ้นสุดการเกิดเจลลิตไนเซชัน (T_c) และค่าพลังงานความร้อน (Enthalpy) ที่ใช้ในการเกิดเจลลิตไนเซชัน (ΔH) ทั้งนี้เจลลิตไนเซชันคือกระบวนการที่เกิดขึ้นโดยมีการพองตัวของเม็ดแป้งเป็นแรงขับเคลื่อนที่สำคัญ หลังสิ้นสุดกระบวนการพบว่าการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบในส่วนผลึกของเม็ดถูกทำลายลง ความหนืดของระบบเพิ่มสูงขึ้น เม็ดแป้งสูญเสียส่วนกาบาทอย่างสมบูรณ์ และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้ผันกลับไม่ได้ ในปี ค.ศ. 1971 Stevens และ Elton ได้วิเคราะห์การเกิดเจลลิตไนเซชันของแป้งเป็นครั้งแรก โดยการใช้เครื่อง Differential scanning calorimetry (DSC) จากการศึกษาพบว่าเทอร์โมแกรมของ DSC แสดงการเปลี่ยนแปลง Endothermic อย่างชัดเจนที่อุณหภูมิระหว่าง 54-73 องศาเซลเซียส จึงได้กำหนดการเปลี่ยนแปลง Endothermic ที่อุณหภูมิดังกล่าวให้เป็นช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตไนเซชันของแป้ง และนอกจากนี้ Biliaderis และคณะ (1993) รายงานไว้ว่า อะไมโลสในโครงสร้างของเม็ดแป้งสามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับ ลิพิด (Amylose-lipid complex) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อลิพิดนั้นเป็นโมโนเอซิล (Monoacyl lipids) จะสามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่แตกต่างกันได้สองรูปแบบขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการเกิดผลึก คืออะไมโลสลิพิดคอมเพล็กซ์ชนิดที่หนึ่ง (Amylose-lipid complex I) และอะไมโลสลิพิดคอมเพล็กซ์ชนิดที่สอง (Amylose-lipid complex II) เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC พบว่าโครงสร้างอะไมโลสลิพิดคอมเพล็กซ์ชนิดที่สองถูกทำลายได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส

ภาพประกอบ 4.6 และตาราง 4.11 และ 4.12 แสดงเทอร์โมแกรมจาก DSC และค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติด้านความร้อนต่างๆ ของแป้งข้าวเจ้าเมื่อมีการเติมหรือไม่มีการเติมเส้นใยอาหารของมะม่วงจากการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TMDF) เมื่อพิจารณาเทอร์โมแกรมโดยรวมของแป้งข้าวเจ้าที่ไม่มีการเติมเส้นใยอาหารพบการเปลี่ยนแปลง Endothermic สองช่วงคือ Endothermic ที่หนึ่งซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตไนเซชันของแป้งข้าวเจ้าซึ่งพบที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100°C นั้นมีค่า T_o , T_p , T_c และ ΔH เป็น 63.93°C , 68.06°C , 76.43°C และ 10.3 J/g ตามลำดับ (ตาราง 4.11) ส่วนการเปลี่ยนแปลง Endothermic ที่สองซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการทำลายโครงสร้างของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะไมโลสและลิพิด (Amylose-lipid complex) นั้นพบที่อุณหภูมิสูงกว่า 100°C โดยมีค่า T_o , T_p , T_c และ ΔH เป็น 133.37°C , 133.45°C , 136.84°C และ 6.60 J/g ตามลำดับ (ตาราง 4.12) ในส่วนของเส้นใยอาหารของมะม่วงจากการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TMDF) นั้นพบ Endothermic สองช่วงเช่นกัน คือ Endothermic ที่หนึ่งซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตไนเซชันของแป้งมะม่วงเนื่องจาก TMDF มีปริมาณแป้งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 56.47 (ตาราง 4.1) และแป้งมะม่วงนี้มีค่า T_o , T_p , T_c



และ ΔH เป็น 67.71°C , 73.31°C , 80.49°C และ 6.30 J/g ตามลำดับ (ตาราง 4.11) ส่วนการเปลี่ยนแปลง Endothermic ที่สองของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะไมโลส และลิปิดของ TMDF นั้นมีค่า T_o , T_p , T_c และ ΔH เป็น 135.12°C , 136.07°C , 141.75°C และ 14.30 J/g ตามลำดับ (ตาราง 4.12)

เมื่อพิจารณาผลของการเติม TMDF ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวเจ้าโดยพิจารณาเทอร์โมแกรมโดยรวมของแป้งข้าวเจ้าจาก DSC ในภาพประกอบ 4.6 พบว่าการเติม TMDF มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเทอร์โมแกรมของแป้งข้าวเจ้าน้อยมาก จากตาราง 4.11 ยืนยันว่าการเติม TMDF ทุกความเข้มข้นไม่มีผลต่อค่า T_o , T_p และ ΔH ของแป้งข้าวเจ้า ($p>0.05$) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากตารางที่ 4.11 พบว่าการเติม TMDF ความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 7.5 ไม่มีผลทำให้ค่า T_c ของแป้งข้าวเจ้าแตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีค่าเป็น 81.65 และ 80.52 องศาเซลเซียสตามลำดับ การเติม TMDF ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 และ 7.5 ไม่มีผลทำให้ T_c ของแป้งข้าวเจ้าแตกต่างกัน ส่วนการเปลี่ยนแปลง Endothermic ที่สองนั้นพบว่าการเติม TMDF ทำให้รูปแบบของเทอร์โมแกรมมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และส่งผลให้ค่า T_o , T_p , T_c และ ΔH ของแป้งข้าวเจ้ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ($p\leq 0.05$)



ภาพประกอบ 4.6 เทอร์โมแกรมจาก DSC แสดงผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ได้จากการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบลาด (TMDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อคุณสมบัติการเกิด เจลาติไนเซชันของแป้งข้าวเจ้า



ตาราง 4.11 ผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ได้จากการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TMDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเกิดเจลลิตีโนเซชันของแป้งข้าวเจ้า*

ความเข้มข้นของเส้นใยอาหาร (ร้อยละ)	คุณสมบัติทางความร้อน*			
	T _o (°C) ^{ns***}	T _p (°C) ^{ns}	T _c (°C)	ΔH (J/g) ^{ns}
0.00	63.93±0.18	68.06±0.13	76.43±0.60 ^{c**}	10.30±2.50
2.50	63.94±0.33	68.07±0.42	79.29±0.74 ^b	10.70±1.00
5.00	65.24±1.69	69.65±1.73	81.69±1.18 ^a	11.10±0.90
7.50	63.93±0.05	68.18±0.10	80.52±0.24 ^{ab}	11.60±1.20
TMDF	67.71±0.68	73.31±0.10	80.49±0.04	6.30±0.40

* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=2)

** ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c, ...) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ (p<0.05)

*** ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (p>0.05)

ตาราง 4.12 ผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ได้จากการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TMDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเกิดอะไมโลสลิปิดคอมเพล็กซ์ของแป้งข้าวเจ้า*

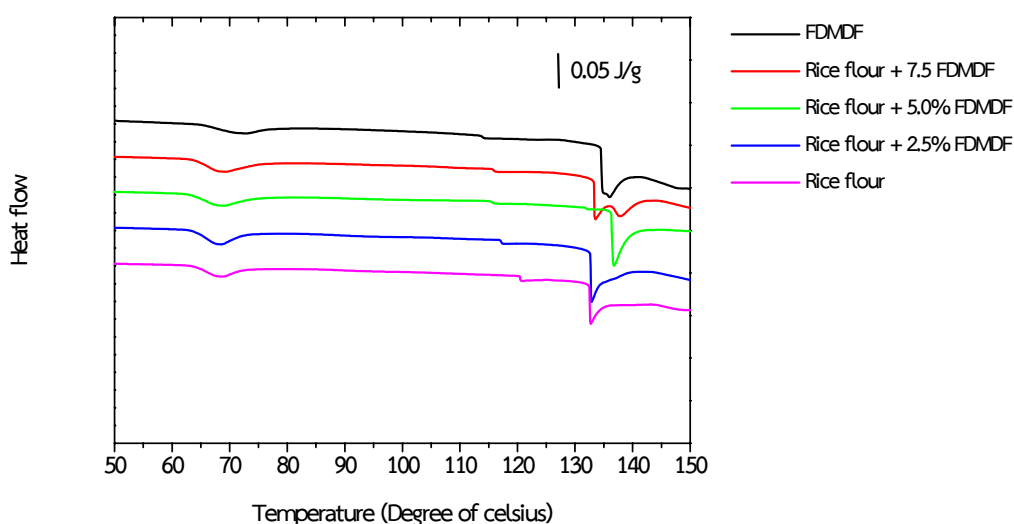
ความเข้มข้นของเส้นใยอาหาร (ร้อยละ)	คุณสมบัติทางความร้อน*			
	T _o (°C)	T _p (°C)	T _c (°C)	ΔH (J/g)
0.00	133.37.1.17 ^{b**}	133.49±1.22 ^b	136.84±0.74 ^c	6.60±0.90 ^b
2.50	133.10±0.93 ^b	133.37±0.87 ^b	140.49±0.44 ^{ab}	15.30±5.20 ^a
5.00	136.32±0.64 ^a	136.82±1.05 ^a	144.90±2.16 ^a	18.30±0.80 ^a
7.50	134.40±0.57 ^{ab}	134.77±0.64 ^{ab}	142.46±1.04 ^{ab}	21.10±1.40 ^a
TMDF	135.12±0.64	136.07±0.29	141.75±2.01	14.30±0.30

* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=2)

** ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c, ...) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ (p<0.05)



จากภาพประกอบ 4.7 พบว่าการเติม FD MDF ที่ทุกระดับความเข้มข้นไม่มีผลต่อรูปร่างของเทอร์โมแกรม แสดงให้เห็นว่ารูปแบบการเกิดเจลลาติโนเซชันของแป้งข้าวเจ้าไม่ได้รับผลกระทบจาก FD MDF ที่เติมลงไป และในขณะเดียวกันพบการเกิดเจลลาติโนเซชันของ FD MDF จากเทอร์โมแกรม ซึ่งการเกิดเจลลาติโนเซชันของ FD MDF นั้นเนื่องมาจากการเกิดเจลลาติโนเซชันของแป้งมะม่วงที่เป็นองค์ประกอบของ FD MDF ซึ่งมีในปริมาณสูง (ร้อยละ 53.53) และผลการทดลองในจากตาราง 4.13 ยืนยันว่าการเติม FD MDF ทุกความเข้มข้นไม่มีผลต่อค่า T_0 และ ΔH ของแป้งข้าวเจ้า ($p > 0.05$) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากตารางที่ 4.13 พบว่าการเติม FD MDF ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 และ 7.5 ไม่ทำให้ค่า T_0 ของแป้งข้าวเจ้าแตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่การเติม FD MDF ความเข้มข้นร้อยละ 5 ทำให้ T_0 ของแป้งข้าวเจ้าลดต่ำลงเล็กน้อยจาก 63.93 องศาเซลเซียสเมื่อไม่มีการเติมเส้นใยอาหารไปเป็น 63.23 องศาเซลเซียสเมื่อมีการเติม FD MDF ความเข้มข้นร้อยละ 5 แม้ว่าค่าที่ได้มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่เมื่อพิจารณาอุณหภูมิที่แตกต่างกันนั้นพบว่าค่าเพียง 0.7 องศาเซลเซียสเท่านั้น และรูปร่างของเทอร์โมแกรมมีการเปลี่ยนแปลงอีกครั้งในช่วงอุณหภูมิ 130-140 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่าที่ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 รูปร่างของเทอร์โมแกรมแตกต่างไปจากเทอร์โมแกรมที่ความเข้มข้นอื่นๆ เมื่อพิจารณาตาราง 4.14 พบว่าการเติม FD MDF ไม่มีผลต่อค่า T_0 , T_p และ ΔH ($p > 0.05$) แต่มีผลต่อค่า T_c ของแป้งข้าวเจ้า ($p < 0.05$) โดยการเติมที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 7.5 มีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 143.04 และ 143.39 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และการเติม FD MDF มีผลต่อค่า ของแป้งข้าวเช่นเดียวกัน ($p < 0.05$) ซึ่งการเติมที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 5 และ 7.5 มีผลต่อค่า ΔH ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$)



ภาพประกอบ 4.7 เทอร์โมแกรมจาก DSC แสดงผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FD MDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อคุณสมบัติการเกิดเจลลาติโนเซชันของแป้งข้าวเจ้า



ตาราง 4.13 ผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเกิดเจลลิตีโนเซนซ์ของแป้งข้าวเจ้า*

ความเข้มข้นของเส้นใยอาหาร (ร้อยละ)	คุณสมบัติทางความร้อน*			
	T _o (°C)	T _p (°C) ^{ns***}	T _c (°C)	ΔH (J/g) ^{ns}
0.00		68.06±0.13	76.43±0.60 ^b	10.30±2.50
2.50	63.93±0.18 ^{a**}	68.00±0.14	75.99±0.36 ^b	9.80±2.30
5.00	63.81±0.05 ^a	68.03±0.39	78.55±0.88 ^a	13.60±0.80
7.50	63.23±0.11 ^b	68.48±0.30	78.43±0.24 ^a	11.20±1.20
	64.19±0.34 ^a			
FDMDF	65.75±0.40	71.19±0.13	78.63±1.45	6.80±0.20

* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=2)

** ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c, ...) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ (p<0.05)

*** ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (p>0.05)

ตาราง 4.14 ผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเกิดอะไมโลสลิปิดคอมเพล็กซ์ของแป้งข้าวเจ้า*

ความเข้มข้นของเส้นใยอาหาร (ร้อยละ)	คุณสมบัติทางความร้อน*			
	T _o (°C) ^{ns***}	T _p (°C) ^{ns}	T _c (°C)	ΔH (J/g)
0.00	133.37±1.17	133.49±1.22	136.84±0.74 ^{b**}	6.60±0.90 ^b
2.50	132.97±0.38	133.11±0.39	142.12±0.23 ^b	16.20±3.70 ^a
5.00	135.35±1.39	135.69±1.46	143.04±1.77 ^a	18.80±2.50 ^a
7.50	132.97±0.49	133.30±0.33	143.39±1.61 ^a	20.50±4.00 ^a
FDMDF	135.30±1.03	135.62±1.11	140.45±1.45	14.60±0.15

* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=2)

** ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c, ...) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ (p<0.05)

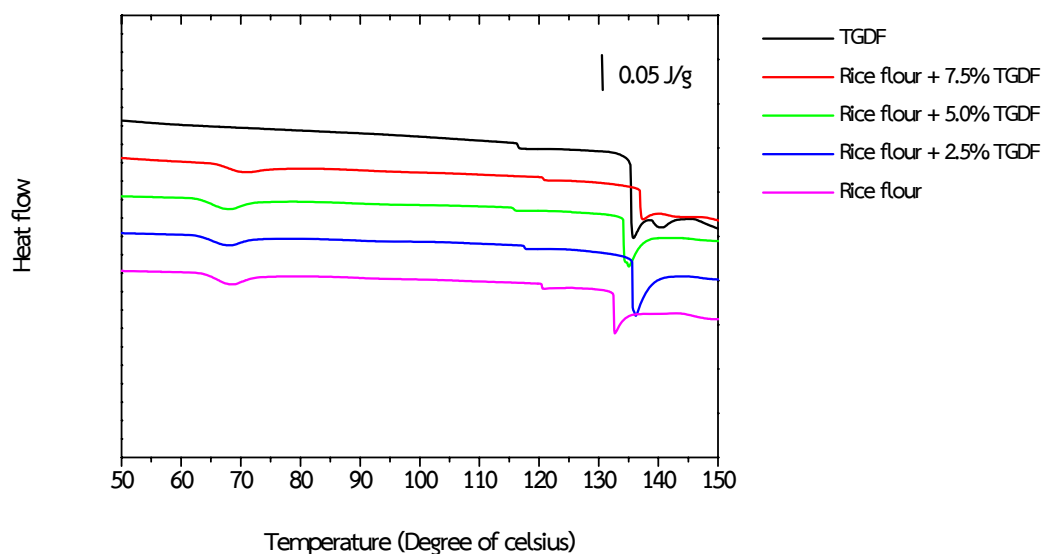
*** ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (p>0.05)



ผลของเส้นใยอาหารจากฝรั่งซึ่งผลิตจากรรมวิธีการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TGDF) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 แสดงดังภาพประกอบ 4.8 และ ตาราง 4.13 จากผลการทดลองไม่พบผลของการเติม FDMDF ต่อ T_c และ ΔH ของแป้งข้าวเจ้า ($p>0.05$) แต่เมื่อพิจารณาภาพประกอบ 4.7 พบว่าเทอร์โมแกรมจาก DSC ของแป้งข้าวเจ้า ที่มีการเติม TGDF ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, และ 5.0 มีรูปแบบเดียวกัน ในขณะที่การเติม TGDF ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 7.5 ให้เทอร์โมแกรมที่มีรูปแบบแตกต่างจากเทอร์โมแกรมอื่น

เมื่อพิจารณาเทอร์โมแกรมจาก DSC ของเส้นใยอาหารของฝรั่งจากการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TMDF) นั้นพบการเปลี่ยนแปลงของ Endothermic เพียงช่วงเดียวคือ Endothermic ที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 100°C โดยมีค่า T_o , T_p , T_c และ ΔH เป็น 134.96°C , 135.17°C , 137.28°C และ 4.10 J/g ตามลำดับ (ตาราง 4.16) ทั้งนี้ในเทอร์โมแกรมนี้ไม่พบการเกิดเจลลาติโนเซชันของแป้งฝรั่งดังที่พบในกรณีของเส้นใยอาหารจากมะม่วงทั้ง TMDF และ FDMDF ทั้งนี้เนื่องจาก TGDF มีปริมาณแป้งทั้งหมดที่เป็นองค์ประกอบในปริมาณที่น้อยมาก ซึ่งมีปริมาณเท่ากับร้อยละ 0.82 (ตาราง 4.2) จึงไม่สามารถตรวจพบการเกิดเจลลาติโนเซชันของแป้งฝรั่งได้จากเทอร์โมแกรม นอกจากนี้จากผลการทดลองในตาราง 4.15 แสดงให้เห็นว่าการเติม TGDF ที่ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 ส่งผลให้ T_o และ T_p ของแป้งข้าวเจ้าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการเติม TGDF ที่ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 มีผลต่อรูปแบบการเกิดเจลลาติโนเซชันของแป้งข้าวเจ้า และนอกจากนี้พบว่าที่ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 ยังมีผลต่อรูปแบบเทอร์โมแกรมในช่วงของการเกิดอะไมโลสลิปิดคอมเพล็กซ์ที่แตกต่างจากเทอร์โมแกรมอื่นด้วยเช่นเดียวกัน จากผลการทดลองตาราง 4.16 แสดงให้เห็นว่าการเติม TGDF ไม่มีผลต่อค่า T_o และ T_p ของแป้งข้าวเจ้า ($p>0.05$) ขณะเดียวกันพบว่าการเติม TGDF ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 มีผลต่อ T_c ของแป้งข้าวเจ้า ($p\leq 0.05$) และมีอุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 143.94 องศาเซลเซียส และการเติม TGDF ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 และ 5 มีผลต่อค่า ΔH ของแป้งข้าวเจ้าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยทำให้แป้งข้าวเจ้ามีค่า ΔH สูงที่สุด เท่ากับ 18.0 J/g





ภาพประกอบ 4.8 เทอร์โมแกรมจาก DSC แสดงผลของเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ได้จากการทำแห้งแบบอบลมร้อน (TGDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อคุณสมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวเจ้า

ตาราง 4.15 ผลของเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ได้จากการทำแห้งแบบอบลมร้อน (TGDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเกิดเจลลาตินในเซชันของแป้งข้าวเจ้า*

ความเข้มข้นของเส้นใยอาหาร (ร้อยละ)	คุณสมบัติทางความร้อน*			
	T_o (°C)	T_p (°C)	T_c (°C) ^{ns***}	ΔH (J/g) ^{ns}
0.00		68.06±0.13 ^b	76.43±0.60	10.30±2.50
2.50	63.93±0.18 ^{b**}	67.69±0.33 ^b	78.23±2.79	16.90±13.1
5.00	63.36±0.55 ^{bc}	67.56±0.09 ^b	76.49±0.59	8.30±0.40
7.50	63.00±0.13 ^c	69.69±0.08 ^a	76.16±0.28	4.80±0.20
	65.83±0.04 ^a			
TGDF	ND ^{****}	ND	ND	ND

* ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=2)

** ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c, ...) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

*** ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

**** Not detected



ตาราง 4.16 ผลของเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ได้จากการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบภาค (TGDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเกิดอะไมโลสลิปิดคอมเพล็กซ์ของแป้งข้าวเจ้า*

ความเข้มข้นของเส้นใยอาหาร (ร้อยละ)	คุณสมบัติทางความร้อน*			
	T_o ($^{\circ}\text{C}$) ^{ns***}	T_p ($^{\circ}\text{C}$) ^{ns}	T_c ($^{\circ}\text{C}$)	ΔH (J/g)
0.00	133.37±1.17	133.49±1.22	136.84±0.74 ^{b**}	6.60±0.90 ^b
2.50	134.99±0.92	135.33±1.15	143.94±2.47 ^a	18.00±4.00 ^a
5.00	134.31±0.16	134.51±0.15	141.57±1.41 ^b	18.00±3.70 ^a
7.50	135.01±2.71	135.25±2.69	137.83±2.91 ^b	3.00±1.00 ^b
TGDF	134.96±0.58	135.17±0.61	137.28±1.04	4.10±0.80

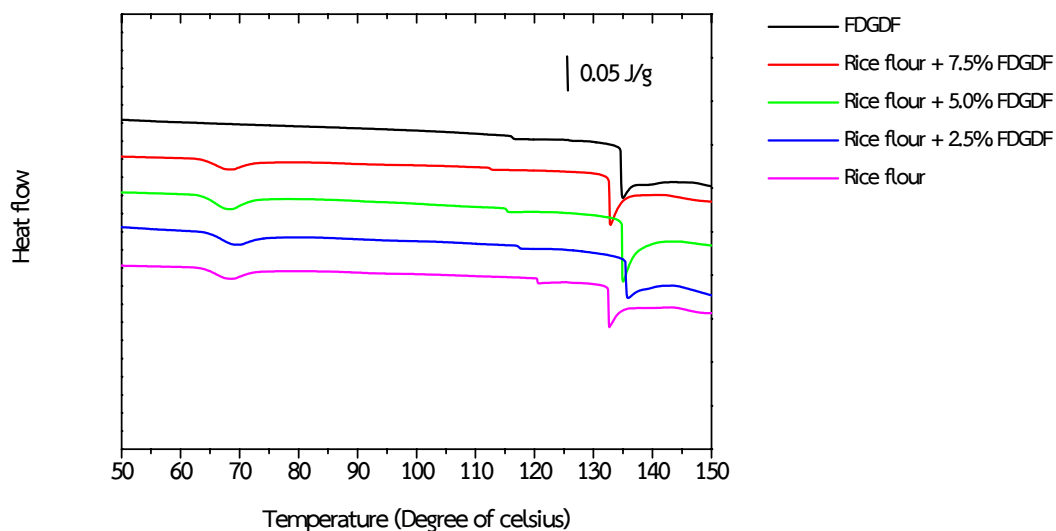
* ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=2)

** ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c, ...) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$)

*** ^{ns} ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

ผลของเส้นใยอาหารจากฝรั่งซึ่งผลิตจากรรมวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDGDF) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 แสดงดังภาพประกอบ 4.9 และตาราง 4.14 จากผลการทดลองไม่พบผลของการเติม FDGDF ต่อ T_o , T_c และ ΔH ของแป้งข้าวเจ้า ($p > 0.05$) และเมื่อพิจารณาภาพประกอบ 4.7 พบว่าเทอร์โมแกรมจาก DSC ของแป้งข้าวเจ้าที่มีการเติม FDGDF ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 มีรูปแบบเดียวกัน และจากการตรวจสอบการเกิดเจลลาติโนเซชันของ FDGDF ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของเทอร์โมแกรมในช่วงการเกิดเจลลาติโนเซชันเช่นเดียวกับ TGDF ซึ่งเป็นผลมาจากมีปริมาณแป้งทั้งหมดในปริมาณน้อย โดยมีปริมาณเท่ากับร้อยละ 0.92 และจากผลการทดลองในตาราง 4.17 แสดงให้เห็นว่าการเติม FDGDF ที่ความเข้มข้น 0, 2.5 และ 5 มีผลต่อ T_c แตกต่างกับการเติม FDGDF ที่ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นว่าการเติม FDGDF ที่ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง T_c ของแป้งข้าวเจ้า และเมื่อถึงช่วงอุณหภูมิการเกิดอะไมโลสลิปิดคอมเพล็กซ์พบว่าเทอร์โมแกรมของแป้งข้าวเจ้าที่มีการเติม FDGDF ที่ทุกความเข้มข้นมีรูปแบบเดียวกัน จากผลการทดลองตาราง 4.18 แสดงให้เห็นว่าการเติม FDGDF ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5 และ 7.5 ไม่มีผลต่อ T_o และ T_p ของแป้งข้าวเจ้า ($p > 0.05$) ขณะเดียวกันพบว่าการเติม FDGDF ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5, 5 และ 7.5 มีผลให้ค่า T_c และ ΔH ของแป้งข้าวเจ้า เพิ่มสูงขึ้น ($p < 0.05$)





ภาพประกอบ 4.9 เทอร์โมแกรมจาก DSC แสดงผลของเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDGDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อคุณสมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวเจ้า

ตาราง 4.17 ผลของเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDGDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเกิดเจลลาตินเซชันของแป้งข้าวเจ้า*

ความเข้มข้นของเส้นใยอาหาร (ร้อยละ)	คุณสมบัติทางความร้อน*			
	T_o (°C)	T_p (°C)	T_c (°C)	ΔH (J/g) ^{ns}
0.00	63.93±0.18 ^{ab}	68.06±0.13 ^b	76.43±0.60 ^a	10.30±2.50
2.50	64.47±0.34 ^a	68.73±0.28 ^a	78.06±1.06 ^a	9.90±0.50
5.00	63.73±0.07 ^b	67.88±0.06 ^b	76.09±0.76 ^a	10.80±0.50
7.50	63.88±0.18 ^{ab}	67.90±0.12 ^b	73.62±0.91 ^b	7.20±0.80
FDGDF	ND ^{****}	ND	ND	ND

* ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=2)

** ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c, ...) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

*** ^{ns} ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

**** Not detected



ตาราง 4.18 ผลของเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDGDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเกิดอะไมโลสลิปิดคอมเพล็กซ์ของแป้งข้าวเจ้า*

ความเข้มข้นของเส้นใยอาหาร (ร้อยละ)	คุณสมบัติทางความร้อน*			
	T _o (°C) ^{ns***}	T _p (°C) ^{ns}	T _c (°C)	ΔH (J/g)
0.00	133.37±1.17	133.49±1.22	136.84±0.74 ^{b**}	6.60±0.90 ^c
2.50	136.22±1.05	136.62±1.28	144.71±1.65 ^a	16.20±6.00 ^{ab}
5.00	134.49±0.46	134.70±0.37	143.01±2.33 ^{ab}	18.60±0.80 ^a
7.50	134.86±3.06	135.10±3.21	139.03±3.36 ^{ab}	7.80±2.40 ^{bc}
FDGDF	134.53±0.13	134.74±0.07	136.96±0.28	5.40±0.60

* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=2)

** ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c, ...) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ (p<0.05)

*** ^{ns} ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (p>0.05)

4.1.3 การทดลองตอนที่ 3: การศึกษาผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่งที่ผลิตจากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกันต่อการย่อยได้ของแป้งข้าวเจ้า

จากผลการทดลองข้างต้นพบว่ากรรมวิธีในการผลิตเส้นใยอาหารส่งผลให้องค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพของเส้นใยอาหารแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่งพบว่าเส้นใยอาหารที่ได้จากการผลิตเส้นใยอาหารแบบสด (FMDF และ FGDF) มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดสูงกว่าเส้นใยอาหารที่ผลิตจากกรรมวิธีอื่นๆ ในขณะที่เส้นใยอาหารที่การผลิตโดยการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TMDF และ TGDF), เส้นใยอาหารที่การผลิตโดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDF และ FDGDF) และเส้นใยอาหารที่การผลิตโดยการทำเส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AMDF และ AGDF) มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดไม่แตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) ทั้งนี้ FMDF และ TGDF เป็นเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด นอกจากนี้ยังมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดไม่ว่าจะตรวจวัดโดยใช้การวัดความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยการดักจับอนุมูลอิสระของDPPH (DPPH assay) หรือวิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยการรีดิวซ์เฟอร์ริก (FRAP assay) และเมื่อพิจารณาการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารที่ต้องการความสะอาดในการผลิตและมีอายุการเก็บที่ยาวนานแล้ว พบว่า FMDF และ TGDF เป็นเส้นใยอาหารที่มีความเหมาะสมต่อการนำมาศึกษาการย่อยได้ของแป้งข้าวเจ้าต่อไป



แป้งประกอบด้วยส่วนที่ถูกละลายอย่างรวดเร็ว (Rapidly digesting starch; RDS) ส่วนที่ถูกละลายอย่างช้าๆ (Slowly digesting starch; SDS) และส่วนที่ทนต่อการย่อย (Resistant starch; RS) โดยวิธีการทดสอบการย่อยได้ของแป้งจะใช้สภาวะที่คล้ายคลึงกับในกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก แป้งจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ไปเป็นกลูโคส และวัดปริมาณกลูโคสที่เวลาแตกต่างกัน โดย RDS ได้จากปริมาณกลูโคสที่เวลาหลังจาก 20 นาที SDS ได้จากปริมาณกลูโคสที่เวลาระหว่าง 20-120 นาที และ RS ได้จากปริมาณแป้งทั้งหมดลบด้วยปริมาณกลูโคสภายใน 120 ของการย่อย (Singh et al, 2010) ซึ่งแป้งส่วนที่ถูกละลายอย่างรวดเร็วหรือ RDS จะถูกย่อยอย่างรวดเร็วและย่อยอย่างสมบูรณ์ในลำไส้เล็กและมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของปริมาณกลูโคสในเลือด แป้งที่ถูกละลายอย่างช้าหรือ SDS ถูกละลายอย่างสมบูรณ์ภายในลำไส้เล็กเช่นเดียวกันกับ RDS แต่ถูกละลายช้ากว่า RDS จึงเป็นแป้งที่พึงประสงค์ในอาหารประเภทแป้งและแป้งที่ทนต่อการย่อยหรือ RS นั้น เป็นแป้งทั้งหมดหรือผลิตภัณฑ์จากการย่อยสลายของแป้งที่ไม่สามารถดูดซึมได้ในส่วนของลำไส้เล็ก แต่จะถูกหมักในลำไส้ใหญ่ซึ่งเป็นผลดีต่อสุขภาพ (Kaur and Sandhu, 2010)

แป้งข้าวเจ้าที่ไม่มีการเติมเส้นใยอาหารมีปริมาณของ RDS, SDS และ RS เป็นร้อยละ 10.52, 88.52 และ 0.94 ตามลำดับ และมี SDI เท่ากับ 10.52 การเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ได้จากการผลิตโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDF) มีผลต่อการย่อยได้ของแป้งข้าวเจ้าอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อมีการเติม FDMDF ร้อยละ 7.5 ลงในแป้งข้าวเจ้ามีผลให้ปริมาณ RDS ลดลงเหลือเพียงร้อยละ 4.45 ($p \leq 0.05$) และทำให้ SDS เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 95.02 ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ยังลด SDI ให้ต่ำลงมาเป็น 4.45 ($p \leq 0.05$) ตามตาราง 4.15 Brennan (2008) ได้รายงานว่าการลดลงของปริมาณกลูโคสในเลือดนั้นเกี่ยวข้องกับเส้นใยอาหารส่วนที่ละลายน้ำได้ ได้แก่ กัวร์กัม ซึ่งสามารถเพิ่มความหนืดในระบบที่มีทั้งแป้งและเส้นใยอาหารได้ ดังนั้นการย่อยของเอนไซม์จึงเกิดขึ้นได้ช้าลง การลดลงของ RSD และการเพิ่มขึ้นของ SDS นั้น ล้วนเป็นผลดีต่อระบบการย่อยและดูดซึมเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของแป้งส่วนที่ถูกละลายอย่างช้าๆ หรือ SDS ส่งผลให้เกิดการย่อยที่ช้าลง และทำให้ปริมาณกลูโคสในเลือดเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ด้วยเช่นกัน จึงนับว่าแป้งส่วนนี้เป็นแป้งที่พึงประสงค์ของอาหารประเภทแป้ง (Kaur and Sandhu, 2010)

การย่อยได้ของแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TGDF) พบว่า การเติม TGDF ไม่มีผลต่อปริมาณของ RDS, SDS และ SDI ($p > 0.05$) แต่มีผลต่อปริมาณของ RS อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเติมเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่เติม TGDF ที่ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 ปริมาณ RS เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 2.76 ดังแสดงในตาราง 4.16 ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณ RS อาจเป็นผลมาจากปริมาณของเส้นใยอาหารที่เติมลงไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งเส้นใยอาหารส่วนที่ไม่ละลายน้ำ เนื่องจากเส้นใยอาหารส่วนที่ไม่ละลายน้ำจะไม่สามารถถูกย่อยและถูกดูดซึม การเพิ่มขึ้นของ RS ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ถูกละลายของเอนไซม์และไม่ถูกดูดซึมในลำไส้เล็ก แต่จะเกิดการหมักในลำไส้ใหญ่นั้น ตามรายงานของ (Fuentes-Zaragoza et al., 2010) ที่ได้รายงานว่าอาหารที่มี RS เป็นองค์ประกอบสามารถช่วยลดปริมาณกลูโคสในเลือดได้ และอาจมีบทบาทสำคัญในการควบคุมโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ได้ เนื่องจากกลูโคสไม่ถูกดูดซึมในบริเวณลำไส้เล็ก



และนอกจากนี้เมื่อ RS ผ่านไปยังลำไส้ใหญ่ส่วนที่ไม่ทนต่อการหมักจะถูกหมักโดยแบคทีเรียได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดไขมันสายสั้นๆ (Short-chain fatty acids; SCFA) เป็นหลัก ซึ่ง SCFA มีผลทำให้จุลินทรีย์ที่ก่อโรคลดจำนวนลง และส่วนที่ทนต่อการหมักมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มปริมาณอุจจาระทำให้ผู้บริโภครับถ่ายได้สะดวกขึ้น (Wong and Jenkins, 2007) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่งมีผลทำให้การย่อยได้ของแป้งข้าวเจ้าเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยทำให้แป้งข้าวเจ้ามีส่วนที่ถูกย่อยอย่างช้าๆ และส่วนที่ทนต่อการย่อยเพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่งผลดีต่อผู้บริโภคเนื่องจากสามารถช่วยลดการดูดซึมของกลูโคสได้เพิ่มมากยิ่งขึ้น และนอกจากเส้นใยอาหารจะมีผลต่อการย่อยได้ของคาร์โบไฮเดรตประเภทแป้งแล้ว ยังพบว่าสามารถลดการย่อยได้ของโปรตีนอีกด้วย Sivam et al. (2010) รายงานไว้ว่าเส้นใยอาหารจากแอปเปิ้ล มะนาว และข้าวสาลีที่เติมลงไปนึ่งก็แทนที่แป้งข้าวสาลีมีผลทำให้โปรตีนเกิดการย่อยได้น้อยลง และการย่อยได้ของแป้งมีค่าน้อยลงไปอีกเมื่อมีการเติมเส้นใยอาหารในปริมาณที่เพิ่มขึ้น

ตาราง 4.19 ผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการย่อยได้ของแป้งข้าวเจ้า*

ความเข้มข้นของ เส้นใยอาหาร (ร้อยละ)	ชนิดของแป้ง*			SDI
	RDS	SDS	RS	
0.00	10.52±2.86 ^{b**}	88.52±3.02 ^b	0.97±0.16 ^b	10.52±2.86 ^b
2.50	23.84±0.99 ^a	73.70±0.73 ^c	2.47±0.27 ^a	23.84±0.99 ^a
5.00	8.32±1.24 ^{bc}	91.14±1.39 ^{ab}	0.55±0.16 ^b	8.32±1.24 ^{bc}
7.50	4.45±1.34 ^c	95.02±1.19 ^a	0.54±0.15 ^b	4.45±1.37 ^c

* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=2)

** ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ (p<0.05)

หมายเหตุ RDS = Rapid digestibility starch, SDS = Slow digestibility starch, RS = Resistance starch และ SDI = Starch digestibility index



ตาราง 4.20 ผลของเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ได้จากการทำแห้งแบบอบลมร้อน (TGDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการย่อยได้ของแป้งข้าวเจ้า* (เมื่อ RDS = Rapid digestibility starch, SDS = Slow digestibility starch, RS = Resistance starch และ SDI = Starch digestibility index)

ความเข้มข้นของ เส้นใยอาหาร (ร้อยละ)	ชนิดของแป้ง			SDI ^{ns}
	RDS ^{ns}	SDS ^{ns}	RS*	
0.00	10.52±2.86	88.52±3.02	0.97±0.16 ^b	10.52±2.86
2.50	7.76±0.71	90.47±1.20	1.77±0.48 ^b	7.76±0.71
5.00	6.54±0.29	91.75±0.62	1.73±0.33 ^b	6.54±0.29
7.50	9.71±1.37	87.53±1.17	2.76±0.20 ^a	9.71±1.37

* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=2)

** ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ (p≤0.05)

*** ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (p>0.05)

หมายเหตุ RDS = Rapid digestibility starch, SDS = Slow digestibility starch, RS = Resistance starch และ SDI = Starch digestibility index



บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

5.1.1 การศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่ง

5.1.1.1) คุณสมบัติทางเคมีของเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่ง

1) องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่ง

เส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ผลิตแบบสด (FMDF) มีปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้าสูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 2.99 1.04 และ 1.14 ตามลำดับ และเส้นใยอาหารจากฝรั่ง เส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ผลิตแบบสด (FGDF) มีปริมาณโปรตีน และไขมันสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 5.51 และ 1.03 ตามลำดับ เส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งมีปริมาณแป้งทั้งหมดอยู่ระหว่างร้อยละ 46.15 - 58.93 และ 0.44 - 0.97 ตามลำดับ กรรมวิธีการผลิตเส้นใยอาหารโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำให้เส้นใยอาหารที่มีปริมาณแป้งทั้งหมดต่ำกว่ากรรมวิธีอื่นๆ ทั้งในกรณีของเส้นใยอาหารจากมะม่วง (AMDF) และฝรั่ง (AGDF)

2) ปริมาณเส้นใยอาหารของมะม่วงและฝรั่ง

ผลการศึกษาปริมาณเส้นใยอาหารของมะม่วงแก้ว พบว่าเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ผลิตแบบสด (FMDF) มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (TDF) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับเส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตอีก 3 วิธี โดย FMDF มี TDF สูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 37.02 ส่วนปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (IDF) พบว่า FMDF และเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำให้ (AMDF) มีปริมาณ IDF ไม่แตกต่างกัน และมีปริมาณมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 27.44 และ 26.48 ตามลำดับ ในขณะที่พบว่ามีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (SDF) ต่ำที่สุดคือ ร้อยละ 2.81 ส่วนเส้นใยอาหารจากฝรั่ง พบว่าเส้นใยอาหารที่ได้จากการผลิตแบบสด (FGDF) มี TDF และ IDF สูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 94.73 และ 81.88 ตามลำดับ เส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ได้จากการผลิตโดยเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำให้ (AGDF) มี SDF ต่ำกว่าเส้นใยอาหารที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตอื่นอีก 3 วิธี โดยมีปริมาณ SDF เป็นร้อยละ 8.90

3) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic compound; TPC) และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activities) ของเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่ง

เส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ผลิตโดยทำให้แบบแช่เยือกแข็ง (FMDF) มี TPC สูงที่สุด และมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดด้วยเช่นกัน โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 10.78 IC_{50} mg/ml และมีค่าการรีดิวซ์เฟอร์ริก เท่ากับ 104.01 mM Fe (III)/g และเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ผลิตโดยทำให้ด้วยตู้อบลมร้อนแบบลาด (TGDF) ให้ปริมาณ TPC มากกว่าเส้นใยอาหารที่ผลิตด้วยวิธีอื่นๆ โดยมีปริมาณเท่ากับ 0.74 g GAE/100g และมีความสามารถ



ในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ผลิตจากวิธีอื่นๆ โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 11.40 mg/ml และมีค่าการรีดิวซ์เฟอร์ริก เท่ากับ 130.15 mM Fe (III)/g

5.1.1.2) คุณสมบัติทางกายภาพของเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่ง

เส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ผลิตแบบสด (FMDF) มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (WHC) และความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (OHC) สูงกว่ากรรมวิธีการผลิตด้วยวิธีอื่นๆ (9.45 g water/g dietary fiber และ 7.33 g oil/g dietary fiber ตามลำดับ) และเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ผลิตแบบสด FGDF มีค่า WHC และ OHC สูงกว่ากรรมวิธีการผลิตด้วยวิธีอื่นๆ ด้วยเช่นเดียวกัน (16.67 g water/g dietary fiber และ 12.40 g oil/g dietary fiber ตามลำดับ)

5.1.2 ผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่งต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเจ้า

5.1.2.1) ผลต่อคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะร้อนของแป้งข้าวเจ้า (Pasting properties)

แป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติมเส้นใยอาหารมีความหนืดสูงสุด (PV) ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (BD) และความหนืดสุดท้าย (FV) เป็น 358.95 163.14 และ 295.26 RVU ตามลำดับ การเติมเส้นใยอาหารของมะม่วงและฝรั่งที่ได้จากการผลิตทั้ง 4 วิธี ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5 และ 7.5 ส่งผลให้ความหนืด (PV) ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (BD) และความหนืดสุดท้าย (FV) ของแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้น

5.1.2.2) ผลต่อคุณสมบัติด้านรีโอโลยี (Rheology properties) ของเจลแป้งข้าวเจ้า

การทดสอบแบบ Frequency sweep test ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่มีการเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่งซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตแบบต่างๆ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5 และ 7.5 พบว่าเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติม และไม่เติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่งซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตทุกวิธี และในทุกความเข้มข้นมีค่าโมดูลัสสะสม (Storage modulus, G') สูงกว่าโมดูลัสสูญเสีย (Loss modulus, G'') แสดงให้เห็นว่าเจลเหล่านี้มีพฤติกรรมคล้ายของแข็ง (Solid-like behavior) และเจลแป้งข้าวเจ้ามีค่า G' และ G'' เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้น โดยเจลของแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่งที่ผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำให้แห้ง (AMDF และ AGDF ตามลำดับ) มีค่า G' และ G'' สูงที่สุดเมื่อเทียบกับเส้นใยอาหารชนิดอื่น ในการทดสอบแบบ Amplitude sweep test เมื่อกำหนดความเครียดเป็นร้อยละ 2 ความถี่ในการวิเคราะห์เป็น 1 Hz และ อุณหภูมิคงที่ที่ 25 องศาเซลเซียส เจลแป้งข้าวเจ้าที่มีการเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตแบบต่างๆ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5 และ 7.5 ทำให้เจลมีค่า G' สูงกว่า G'' ที่ความเข้มข้นเดียวกันในทุกตัวอย่าง แสดงให้เห็นว่าเจลมีพฤติกรรมคล้ายของแข็ง มากกว่าของเหลว และพบว่าค่า G' , G'' และ G^* ของเจลแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้น และเพิ่มมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้น และนอกจากนี้แป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งมีค่าอัตราส่วนของโมดูลัสที่สูญเสียต่อโมดูลัสสะสม (G''/G') หรือค่า $\tan \delta$ อยู่ระหว่าง 0.14-0.32 และ 0.15-0.25 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเจลของแป้งข้าวเจ้า แสดงพฤติกรรมคล้ายของแข็ง



5.1.2.3) ผลต่อคุณสมบัติด้านความร้อน (Thermal properties) ของแป้งข้าวเจ้า คุณสมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวเจ้าที่เติมและไม่เติมเส้นใยอาหารพบการเปลี่ยนแปลง Endothermic สองช่วงคือ Endothermic ที่หนึ่งซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตโนเซชันของแป้งข้าวเจ้าซึ่งพบที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส พบว่า การเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TMDF) ไม่มีผลต่ออุณหภูมิที่เริ่มเกิดเจลลิตโนเซชัน (T_o) อุณหภูมิที่เกิดเจลลิตโนเซชันสูงสุด (T_p) และค่าพลังงานความร้อน (Enthalpy) ที่ใช้ในการเกิดเจลลิตโนเซชัน (ΔH) ของแป้งข้าวเจ้า ส่วนแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารที่ผลิตโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDF) ไม่มีผลต่อค่า T_p และ ΔH ของแป้งข้าวเจ้า และผลของการเติมเส้นใยอาหารจากฝรั่ง พบว่า แป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TGDF) ไม่มีผลต่อ T_c และ ΔH ของแป้งข้าวเจ้า และเส้นใยอาหารทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDGDF) ไม่มีผลต่อ ΔH ของแป้งข้าวเจ้า

ส่วนการเปลี่ยนแปลง Endothermic ที่สองซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการทำลายโครงสร้างของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะไมโลสและลิปิด (Amylose-lipid complex) นั้น พบที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส พบว่า การเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วง ได้แก่ การเติม TMDF ทำให้ค่า T_o , T_p , T_c และ ΔH ของแป้งข้าวเจ้ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และการเติม FDMDF ไม่มีผลต่อค่า T_o และ T_p ของแป้งข้าวเจ้า ส่วนการเติมเส้นใยอาหารจากฝรั่งพบว่า การเติม TGDF ไม่มีผลต่อค่า T_o และ T_p ของแป้งข้าวเจ้า ขณะเดียวกันพบว่าการเติม TGDF ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 มีผลต่อ T_c ของแป้งข้าวเจ้า และการเติม TGDF ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 และ 5 มีผลต่อค่า ΔH ของแป้งข้าวเจ้าไม่แตกต่างกัน และการเติม FDGDF ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 5 และ 7.5 ไม่มีผลต่อ T_o และ T_p ของแป้งข้าวเจ้า ขณะเดียวกันพบว่ามีผลให้ค่า T_c และ ΔH ของแป้งข้าวเจ้าเพิ่มสูงขึ้น

5.1.3 ผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่งต่อการย่อยได้ของแป้งข้าวเจ้า

แป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติม และเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ผลิตโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 5 และ 7.5 มีปริมาณแป้งที่ถูกย่อยอย่างรวดเร็ว (RDS) แป้งส่วนที่ถูกย่อยอย่างช้าๆ (SDS) แป้งส่วนที่ทนต่อการย่อย (RS) และดัชนีการย่อยได้ของแป้ง (SDI) แตกต่างกัน โดยเมื่อมีการเติม FDMDF ร้อยละ 7.5 ลงในแป้งข้าวเจ้ามีผลให้ปริมาณ RDS ลดลงเหลือเพียงร้อยละ 4.45 และทำให้ SDS เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 95.02 นอกจากนี้ยังลด SDI ให้ต่ำลงมาเป็น 4.45 ในส่วนแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยจากฝรั่งที่ผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TGDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 5 และ 7.5 มีปริมาณ RDS, SDS รวมทั้ง SDI ไม่แตกต่างกับแป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติมเส้นใยอาหารจากฝรั่ง แต่มีผลทำให้ RS มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยการเติม TGDF ที่ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 ทำให้ปริมาณของ RS เพิ่มสูงขึ้นเป็นร้อยละ 2.76

จากผลการศึกษาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่งเป็นเส้นใยที่ประกอบด้วยคุณค่าทางโภชนาการและมีสารต้านอนุมูลอิสระเป็นองค์ประกอบ แต่เมื่อพิจารณาตามนิยามของเส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant dietary fiber; AODF) ตามรายงานของ Saura-Calixto, 1998 แล้วพบว่า เส้นใยอาหารจากมะม่วงมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดไม่เพียงพอต่อการเป็น AODF เนื่องจากต้องมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดใน 1 กรัม



ของเส้นใยอาหาร มากกว่าร้อยละ 50 ของน้ำหนักแห้ง ส่วนเส้นใยอาหารจากฝรั่งมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดเพียงพอต่อการนิยามว่าเป็น AODF เนื่องจากมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดใน 1 กรัม มากกว่าร้อยละ 50 ของน้ำหนักแห้ง อย่างไรก็ตามในส่วนของกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ เส้นใยอาหารจากมะม่วงมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระไม่แตกต่างกับเส้นใยอาหารจากฝรั่ง นอกจากนี้ ผลการศึกษาผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่งต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และการย่อยได้ของแป้งยังแสดงให้เห็นว่าต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งเช่นเดียวกับเส้นใยอาหารจากฝรั่ง และแม้ว่าเส้นใยอาหารจากมะม่วงมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดต่ำกว่าฝรั่ง แต่เส้นใยอาหารจากมะม่วงซึ่งได้จากการรวมวิธีการผลิตโดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDF) สามารถลดการถูกย่อยได้ของแป้งลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยการเติม FDMDF ที่ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 สามารถลดค่า SDI ของแป้งข้าวเจ้าได้ถึง 2.4 เท่า ดังนั้นแม้ว่าเส้นใยอาหารจากมะม่วงไม่อาจจัดให้เป็น AODF ได้เช่นในกรณีของเส้นใยอาหารจากฝรั่ง แต่เส้นใยอาหารจากมะม่วงมีแนวโน้มในการเป็นส่วนประกอบอาหารซึ่งช่วยให้แป้งถูกย่อยได้ช้าลง มีผลให้เกิดการปลดปล่อยน้ำตาลเข้าสู่กระแสเลือดอย่างช้าๆ และสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงอาจช่วยให้ร่างกายควบคุมปริมาณน้ำตาลในเลือดให้อยู่ในระดับปกติได้ดี เป็นผลดีต่อผู้บริโภคโดยเฉพาะผู้บริโภคที่ป่วยเป็นโรคเบาหวาน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อเสนอแนะทั่วไป

จากการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของเส้นใยอาหารจากมะม่วงจะเพิ่มขึ้น เมื่อเส้นใยอาหารจากมะม่วงผ่านกรรมวิธีการผลิตโดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ในขณะที่เส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ผลิตด้วยกรรมวิธีการผลิตโดยการทำแห้งแบบอบด้วยตู้อบลมร้อนส่งผลให้กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของเส้นใยอาหารจากฝรั่งเพิ่มขึ้นได้เช่นเดียวกัน

5.2.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาค้นคว้าต่อไป

ในการศึกษาครั้งต่อไปสามารถนำความรู้ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมเส้นใยอาหารจากผลไม้ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพของผู้บริโภค และนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมอาหารที่เกี่ยวข้องกับแป้งที่ต้องการเพิ่มคุณค่าและประโยชน์ของผลิตภัณฑ์ต่อไป



เอกสารอ้างอิง



เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2547). *ผลิตภัณฑ์มะม่วง*. กรุงเทพฯ: กลุ่มงานส่งเสริมและพัฒนาผลิตภัณฑ์เกษตร ส่วนส่งเสริมวิสาหกิจเกษตรชุมชน สำนักพัฒนาเกษตรกร กรมส่งเสริมการเกษตร.
- กุลศิริ ช.ศิริบุญย์. (2541). โยอาหารกับสุขภาพ. *จดหมายข่าว วท. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย*, 1(11), พฤศจิกายน, 2541.
- ชุตินันท์ เรืองวุฒิ. (2008). *ฝรั่ง: ผลไม้มากคุณค่าทางอาหาร*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี.
- จักรพงษ์ พิมพ์พิมล. (2544). *การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา คุณสมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีหลังการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงแก้วที่ระดับความแตกต่างกัน*. รายงานผลงานวิจัย. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- จารุพันธ์ ทองแถม สุรินทร์ นิลสำราญจิต และเกตุชัย มานะ. (2543). โครงการวิจัยพัฒนาฝรั่งเพื่อการแปรรูป. เชียงใหม่: รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ตามโครงการวิจัยที่ 3025-3030 งบประมาณปี 2543 มูลนิธิโครงการหลวง.
- ธนบูรณ์ อัครศฤงคารสกุล. (2553). *การเตรียม methamphetamine จากยาเสพติดที่ตรวจจับ (ยาไอซ์) และตรวจความบริสุทธิ์ด้วยวิธี Gas Chromatography-FID*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- นิธิยา รัตนพานนท์. (2551). *เคมีอาหาร*. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- นุชนาฏ กิจเจริญ. อาหารสมุนไพราระบาย: โยอาหาร. *Thai Pharmaceutical and Health Science Journal*, 2, 153-158. 2006.
- ริกาญจน์ ฉัตรสกุลวิไล. (ม.ป.ป) *ลิกนิน-แทนนิน*. [ออนไลน์]. ได้จาก : <http://www2.diw.go.th/research/%E0%CD%A1%CA%D2%C3%E0%BC%C2%E1%BE%C3%E8/%C5%D4%A1%B9%D4%B9.pdf> [2 ธันวาคม 2553]
- รุ่งอรุณ หอมดอก. (2545). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์เนคต้ามะม่วงผสมสมุนไพร*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สรวิทย์ จันทร์เทพธิมากุล. (2551). *คุณสมบัติทางรีโอโลยีของโดและผลิตภัณฑ์อาหารเข้าสำเร็จรูป*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อนุชิตา มุ่งงาม. (2553). *สารต้านอนุมูลอิสระ*. มหาสารคาม: ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนศาสตร์ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- Ajila, C.M., Bhat, S.G., and Prasada Rao, U.J.S. (2007). Valuable components of raw and ripe peels from two Indian mango varieties. *Food Chemistry*, 102, 1006–1011.
- Ajila, C.M., Aalami, M., Leelavathi, K., and Prasada Rao, U.J.S. (2010). Mango peel powder: A potential source of antioxidant and dietary fiber in macaroni preparations. *Food Science and Emerging Technologies*, 11, 219–224.



- Angkana Noisuwan. (2009). Effects of milk protein ingredients on physic-chemical properties of rice starch. PhD thesis. New Zealand. Massay University Palmerston North.
- AOAC. (2000). Official methods of analysis 17th ed. Gaithersburg, MD: Association of Official Analytical Chemists.
- Asami, D.K., Y.J. Hong, D.M. Barrett and A.E. Mitchell. (2003). Comparison of the Total Phenolic and Ascorbic Acid Content of Freeze-Dried and Air Dried Marionberry, Strawberry, and Corn Grown Using Conventional, Organic, and Sustainable Agricultural Practices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 1237-1241.
- Bertolini, A. (2010) *Starches: Characterization, properties, application*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Brennan, M.A. (2008) Dietary fiber and their properties:- the possibility of fiber lowering the glycaemic index of food post exteusion. MPhil in food science and technology. New Zealand. Massay University Palmerston North.
- Chantaro, P., Devahastin, S., and Chiewchan, N. (2008). Production of antioxidant high dietary fiber power from carrot peels. *Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie*, 41, 1987-1994.
- Chau, C.F., and Huang, Y.L. (2003). Comparison of chemical composition and physicochemical properties of different fibers prepared from the peel of Citrus sinensis L. Cv. Liucheng. *Journal of Agricultural and Food chemistry*, 51, 2615-1618.
- Cornejo-Villegas, M.A., Acosta-Osorio, A.A., Rojas-Molina, I., Gutie'rrrez-Corte'z, E., Quiroga, M.A., Gayt'an, M., Herrera, G., Rod'iguez-Gar'ca, M.E. (2010). Study of the physicochemical and pasting properties of instant corn flour added with calcium and fibers from nopal powder, *Journal of Food Engineering*, 96, 401-409.
- Cui, Steve.W. (2005). *Food carbohydrates : chemistry, physical properties and applications*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Devries, Jonathan. W. (n.d.). *Total dietary fiber*. Medallion laboratories analytical progress.
- Dasgupta, N., and De, B. (2004). Antioxidant activity of Piper betle L. leaf extract in vitro. *Food Chemistry*, 88, 219-224.



- Eim, V. S., Simal, S., Rossell, C., and Femenia, A. (2008). Effects of addition of carrot dietary fibre on the ripening process of a dry fermented sausage (sobrassada). *Meat Science*, 80, 173–182.
- Elleuch, M., Besbes, S., Roiseux, O., Blecker, C., Deroanne, C., Drira, N.E., and Attia, H. (2008). Date flesh: Chemical composition and characteristics of the dietary fibre. *Food Chemistry*, 111, 676–682.
- Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., and Blecker, C. (2011). Dietary fiber and fiber-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications : A review. *Food chemistry*, 124, 411-421.
- Figuerola, F., Hurtado, M.L., Esteves, A.M., Chiffelle, I., and Asenjo, F. (2005). Fiber concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fiber sources for food enrichment. *Food chemistry*, 91, 395-401.
- Frei, M., Siddhuraju, P., and Becker, K. (2003). Studies on the in vivo starch digestibility and the glycemic index of six different indigenous rice cultivars from the Philippines. *Food Chemistry*, 83, 395–402.
- Fu, L., Xu, B.-T., Xu, X.-R., Gan, R.-Y., Zhang, Y., Xia, E.-Q., and Li, H.-B. (2011). Antioxidant capacities and total phenolic contents of 62 fruits. *Food Chemistry*, 129, 345–350.
- Fuentes-Zaragoza, E., Riquelme-Navarrate, M.J., Sanchez-Zapata, E. and Perez-Alvarez, J.A. (2010). Resistant starch as functional ingredient: a review. *Food Research International*, 43, 931–942.
- Garau, M.C., Simal, S., Rossello', C., and Femenia A. (2007) Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties of dietary fibre and antioxidant capacity of orange (*Citrus aurantium* v. *Canoneta*) by-products. *Food Chemistry*, 104, 1014–1024.
- Grigelmo-Miguel, N., Gorinstein, S., MartõAn-Belloso, o. (1999) Characterisation of peach dietary fibre concentrate as a food ingredient. *Food chemistry*, 65, 175-181.
- Guillon, F., Champ, M. (2000). Structural and physical properties of dietary fibres, and consequences of processing on human physiology. *Food Research International*, 33, 233-245.
- Hassan, F.A., Ismail, A., Hamid, A. A., Azlan, A., and Al-sheraji, s., H. (2011). Characterisation of fibre-rich powder and antioxidant capacity of *Mangifera pajang* K. fruit peels. *Food Chemistry*, 126, 283–288.



- Hu, P., Zhao, H., Duan, Z., Linlin, Z., and Wu, D. (2004). Starch digestibility and the estimated glycemic score of different types of rice differing in amylase content. *Journal of Cereal Science*, 40, 231-237.
- Iqbal, S., Bhangar, M.I., and Anwar, F. (2005). Antioxidant properties and components of some commercially available varieties of rice bran in Pakistan. *Food Chemistry*, 93, 265-272.
- Jimenez, A., Rodriguez, R., Fernandez-Caro, I., Guillen, R., Fernandez-Bolaños, J., and Heredia, A. (2000). Dietary fibre content of table olives processed under different European styles: Study of physicochemical characteristics. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 1903-1908.
- Kahlon, T.S., and Smith, G.E. (2007). In vitro binding of bile acids by bananas, peaches, pineapple, grapes, pears, apricots and nectarines. *Food chemistry*, 101, 1046-1051.
- Kaur, M., and Sandhu, K.S. (2010). In vitro digestibility, structural and functional properties of starch from pigeon pea (*Cajanus cajan*) cultivars grown in India. *Food Research International*, 43, 263-268.
- Lai, P., Li, K.Yuon., Lu, S., and Chen, H.H. (2011). Physicochemical characteristics of rice starch supplemented with dietary fiber. *Food Chemistry*, 127, 153-158.
- Martínez, R., Torres, P., Meneses, M.A., Figueroa, J.G., Pérez-Álvarez, J.A., Viuda-Martos, M. (2012). Chemical, technological and in vitro antioxidant properties of mango, guava, pineapple and passion fruit dietary fibre concentrate, *Food Chemistry*, 135(3), 1520-1526.
- Rodríguez R., Jiménez, A., Fernández-Bolaños, J., Guillén, R., and Heredia, A. (2006). Dietary fibre from vegetable products as source of functional ingredients. *Trends in Food Science & Technology*, 17, 3-15.
- Robertson, J. A., de Monredon, F. D., Dysseler, P., Guillon, F., Amado, R., and Thibault, J.F. (2000). Hydration properties of dietary fiber and resistant starch: A European collaborative study. *Lebensmittel Wissenschaft and Technologie*, 33, 72-79.
- Sasaki, T., Kohyama, K., Suzuki, Y., Okamoto, K., Noel, T. R., and Ring, S. G. (2009). Physicochemical characteristics of waxy rice starch influencing the in vitro digestibility of a starch gel. *Food Chemistry*, 116(1), 137-142.



- Saura-Calixto, F. (1998). Antioxidant dietary fiber product: A new concept and a potential food ingredient. *Journal of Agricultural and Food chemistry* 46, 4303-4306.
- Sharavathy, M.K., Urooj, A., and Puttaraj, S. (2001). Nutritionally important starch fractions in cereal based Indian food preparations. *Food Chemistry*, 75, 241-247.
- Singh, J., Dartois, A. and Kaur, L. (2010). Starch digestibility in food matrix: a review. *Trends in Food Science and Technology*, 21, 168-180.
- Sivam, A.S., Sun-Waterhouse, D., Quek, S.Y., and Perera C.O. (2010). Properties of Bread Dough with Added Fiber Polysaccharides and Phenolic Antioxidants : A Review. *Journal of Food Science*, 75, 63-74.
- Sun-Waterhouse, D., Melton, L.D., O'Connor, C.J., Kilmartin, P.A., and Smith B.G. (2008). Effect of apple cell walls and their extracts on the activity of dietary antioxidant. *Journal of Agricultural and Food chemistry*, 56, 289-295.
- Sun-Waterhouse, D., Teoh, A., Massarotto, C., Wibisono, R., and Wadhwa, S. (2010). Comparative analysis of fruit-based functional snack bars. *Food Chemistry*, 119, 1369-1379.
- Saura-Calixto, F.D. (2003). Antioxidant dietary fiber. *Electronic journal environmental, agricultural and food chemistry*, Boca Raton, FL: CRC Press.
- Thomas, M., CreHpeau, M. J., Rumpunen, K., Thibault, J.-F. (2000). Dietary "bre and cell-wall polysaccharides in the fruits of Japanese quince (*Chaenomeles japonica*), *Lebensmittel Wissenschaft and Technologie*, 33, 124-131.
- Trinidad, T.P., Mallillin, A.C., Sagum, S.R., and Encabo, R.R. (2010). Glycemic index of commonly consumed carbohydrate foods in the Philippines. *Journal functional foods*, 2, 271-274.
- Vergara-Valencia, N., Granados-Perez, E., Agama-Acevedo, E., Tovar, J., Ruales, J., and Bello-Perez, L.A. (2007). Fiber concentrate from mango fruit: Characterization, associated antioxidant capacity and application as a bakery product ingredient. *Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie*, 40, 722-729.
- Whistler, R.L., and Bemiller, J.N. (1997). Carbohydrate chemistry for food scientists. *Food/Nahrung*, 5 (41), 318.
- Wong J. M. W. and Jenkins D. J. A. (2007). Carbohydrate Digestibility and Metabolic Effects. *The Journal of Nutrition*, 11(137), 2539S-2546S.



- Yu, L., and Christie, G. (2001). Measurement of starch thermal transitions using differential scanning calorimetry. *Carbohydrate polymers*, 46, 179-184.
- Zhong, F., Li, Y., Ibanz,M., Oh, H.M., McKenzie, S.K., and Shoemaket, C. (2008). The effect of rice variety and starch isolation method on the pasting and rheological properties of rice starch pastes. *Journal food hydrocolloids*, 23, 406-414.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี



ก.1 การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (Moisture content) (AOAC. 2000)

อบถ้วยใส่ตัวอย่าง (Moisture can) พร้อมฝา ในตู้อบลมร้อน 103 ± 2 องศาเซลเซียส นานประมาณ 15 นาที ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักพร้อมฝา โดยเครื่องชั่งละเอียด (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ชั่งตัวอย่างประมาณ 3-5 กรัม ใส่ลงในถ้วยใส่ตัวอย่าง บันทึกน้ำหนัก นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่ 103 ± 2 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ ปล่อยให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ประมาณ 30 นาที และชั่งน้ำหนัก

ก.2 การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนหรือโปรตีนวิธีเจลดาลท์ (Total nitrogen and crude protein : Kjeldahl method) (AOAC. 2000)

ใส่วัสดุควบคุมการเดือด 2-3 ชิ้น ในหลอดเจลดาลท์ ใส่ K_2SO_4 กรัม แล้วชั่งตัวอย่าง 0.3-0.4 กรัม ใส่ในหลอดเจลดาลท์ เติม $CuSO_4$ 0.13 กรัม แล้วเติม H_2SO_4 เข้มข้น 6.0 มิลลิลิตร ลงในหลอด เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นติดตั้งหลอดเจลดาลท์ลงในช่องของเครื่องย่อยโปรตีน ซึ่งมีเตาไฟฟ้าและฝาครอบ ดูดแก๊สพิษ ปิดฝาครอบให้สนิท ต้มนาน 20 นาที แล้วทำการย่อยต่อ 90 นาที จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้เย็น นำหลอดเจลดาลท์ที่ย่อยตัวอย่างแล้วไปเติมน้ำกลั่น 18 มิลลิลิตร (ปริมาตรประมาณ 3 เท่าของกรดที่ย่อย เพื่อทำการเจือจางกรด) แล้วนำใส่ในช่องกลั่นของเครื่องกลั่นอัตโนมัติ กดปุ่มสารละลาย NaOH เข้มข้น 35 เปอร์เซ็นต์ (v/v) ให้ไหลลงผสมกับสารในหลอดเจลดาลท์ ในปริมาตรต่าง 5 เท่า (30 มิลลิลิตร) ของ H_2SO_4 ที่ใช้ในการย่อย ปิเปตสาร H_2BO_3 อิมตัว ปริมาตร 10 มิลลิลิตรใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร เติม Mix indicator 3 หยด นำไปวางในตำแหน่งของสิ่งที่กลั่นได้ จากนั้นทำการกลั่นด้วยเครื่องกลั่นอัตโนมัติ และนำขวดรูปชมพู่ที่บรรจุสารละลายที่กลั่นได้มาไตเตรทกับสารละลาย HCl เข้มข้น 0.2 นอร์มัล จนถึงจุดสมมูล และบันทึกผล

ก.3 การวิเคราะห์หาปริมาณไขมันวิธีซอกท์เลท (Extractable lipid : Soxhlet method) (AOAC. 2000)

ชั่งตัวอย่างประมาณ 3 กรัม วางบนกระดาษกรองและห่อใส่ใน Extraction thimble และทำการสวม Adapter นำเข้าเครื่องวิเคราะห์ไขมัน ชั่งน้ำหนักบีกเกอร์ประจำเครื่องให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนละเอียดถึงหน่วยมิลลิกรัม แล้วใส่ตัวทำละลายคือ Petroleum ether ใส่ลงในบีกเกอร์ 100 มิลลิลิตร ใส่ Thimble บรรจุตัวอย่างลงในหลอดซอกท์เลท ปรับอัตราการไหลของน้ำผ่านเครื่องสกัดให้เหมาะสม กลั่นระบบ Reflex ด้วยระบบ Steam bath เป็นเวลา 90 นาที หลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ และชั่งหาน้ำหนักไขมันที่ได้

ก.4 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (Dry ashing) (AOAC. 2000)

เผาถ้วย Crucible เปล่าในเตาเผา (Muffle furnace) ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ นานประมาณ 1 ชั่วโมง ชั่งถ้วย Crucible ด้วยเครื่องชั่งละเอียด (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ชั่งตัวอย่างประมาณ 5 กรัม ลงใน Crucible วาง Crucible บนเตาไฟฟ้าในตู้ดูดควันเพิ่มอุณหภูมิที่ละน้อยจนควันหมดและตัวอย่างเปลี่ยนเป็นถ่านสีดำ นำ Crucible ใส่ในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 16 ชั่วโมง นำ Crucible ออกจากเตาเผา ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ถ้ายังมีส่วนสีดำปนอยู่ ให้เติมน้ำกลั่น 1-2 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนให้เถ้ากระจายตัวออก ล้างเถ้าจากแท่ง



แก้วให้หมด แล้วนำ Crucible ไปอบไล่น้ำจนแห้ง และนำเข้าเตาเผาอีกครั้ง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จนได้ แก้วสีขาวทั้งหมด ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ และชั่งน้ำหนัก ด้วยเครื่องชั่งละเอียด

ก.5 การหาปริมาณแป้งทั้งหมด (Total starch) (Megazyme K-TSTA 07/11)

ชั่งตัวอย่าง 100 มิลลิกรัมใส่ในหลอดทดลอง เติมนีเอทานอล 80 เปอร์เซ็นต์ (v/v) 0.2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง Vortex mixer เติมนีเอทานอล α -amylase (pH 5.0) 3 มิลลิลิตร บ่มในอ่างน้ำเดือด เป็นเวลา 6 นาที โดยทำการเขย่าที่เวลา 2 และ 6 นาที จากนั้นวางหลอดทดลองในอ่างน้ำที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เติมนีเอทานอล Amyloglucosidase (330 U on starch) 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และตั้งไว้ที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นถ่ายตัวอย่างในหลอดทดลองทั้งหมดลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น ผสมให้เข้ากัน และนำสารละลายนี้ไป Centrifuge ที่ 3000 rpm เป็นเวลา 10 นาที บีบส่วนใส 0.1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง โดยทำทั้งหมด 2 ซ้ำ และเติมนีเอทานอล GOPOD Reagent ลงในแต่ละหลอด (รวมทั้ง D-glucose และ Reagent blanks) บ่มที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 510 นาโนเมตร

ก.6 ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber) (Megazyme K-TDFR 03/2009)

วิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดโดยใช้ชุดทดสอบของ Megazyme โดยชั่งตัวอย่าง 1 กรัมใส่ในบีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร เติมนีเอทานอล MES-TRIS 40 มิลลิลิตร pH 8.2 ที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส ทำการกวนจนกระทั่งตัวอย่างละลาย ในสารละลาย จากนั้นเติมนีเอทานอล α -amylase 50 ไมโครลิตร ขณะเดียวกันก็กวนที่ความเร็วต่ำ แล้วบ่มใน Shaking water bath ที่อุณหภูมิ 95-100 องศาเซลเซียส นาน 35 นาที นำบีกเกอร์ตัวอย่างออกจาก Shaking water bath และทำให้เย็นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ขูดรอบๆบีกเกอร์ด้วยข้อดักสารและชะล้างด้วยน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร เติมนีเอทานอล Protease 100 ไมโครลิตร ปิดปากบีกเกอร์ด้วยฟอยล์อะลูมิเนียม บ่มใน Shaking water bath ที่อุณหภูมิ 60 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที นำบีกเกอร์ตัวอย่างออก และเปิดฝาบีกเกอร์ เติมนีเอทานอล HCl 0.561 นอร์มัล จำนวน 5 มิลลิลิตร (pH 4.1-4.8) จากนั้นเติมนีเอทานอล Amyloglucosidase 200 ไมโครลิตร ปิดปากบีกเกอร์ด้วยฟอยล์อะลูมิเนียม บ่มใน Shaking water bath ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที นำสารละลายเอนไซม์ที่ได้กรองผ่าน Fritted crucible โดยใช้ร่วมกับปั๊มแบบสุญญากาศ นำน้ำที่ผ่านการกรองแล้วเติมนีเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ 225 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยอัตราส่วนของปริมาตรเอทานอลกับ ปริมาตรของตัวอย่าง ควรอยู่ในอัตราส่วน 4 ต่อ 1 ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง ทำการกรองผ่าน Crucible ล้างโดยใช้สุญญากาศ ล้างส่วนที่เหลือด้วยเอทานอล 78 และ 95 เปอร์เซ็นต์ และอะซิโตน นำตะกอนส่วนที่เหลือมาแห้งข้ามคืนในเตาอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส นำออกจากเตาอบ และทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวิเคราะห์แก้ว และวิเคราะห์โปรตีนด้วยวิธี Kjeldahl คำนวณหาปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด



ก.7 ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble dietary fiber) (Megazyme K-TDFR 03/2009)

วิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำโดยใช้ชุดทดสอบของ Megazyme ซึ่งตัวอย่าง 1 กรัมใส่ในบีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร เติมสารละลายบัฟเฟอร์ MES-TRIS 40 มิลลิลิตร pH 8.2 ที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส ทำการกวนจนกระทั่งตัวอย่างละลายในสารละลาย จากนั้นเติมสารละลาย α -amylase 50 ไมโครลิตร ขณะเดียวกันก็กวนที่ความเร็วต่ำ แล้วบ่มใน Shaking water bath ที่อุณหภูมิ 95-100 องศาเซลเซียส นาน 35 นาที นำบีกเกอร์ตัวอย่างออกจาก Shaking water bath และทำให้เย็นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ขูดรอบๆบีกเกอร์ด้วยข้อตักสารและชะล้างด้วยน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Protease 100 ไมโครลิตร ปิดปากบีกเกอร์ด้วยฟอยล์อะลูมิเนียม บ่มใน Shaking water bath ที่อุณหภูมิ 60 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที นำบีกเกอร์ตัวอย่างออกและเปิดฝาบีกเกอร์ เติมสารละลาย HCl 0.561 นอร์มัล จำนวน 5 มิลลิลิตร (pH 4.1-4.8) จากนั้นเติมสารละลาย Amyloglucosidase 200 ไมโครลิตร ปิดปากบีกเกอร์ด้วยฟอยล์อะลูมิเนียม บ่มใน Shaking water bath ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที กรองส่วนผสมเอนไซม์ผ่าน crucible ลงในขวดรูปชมพู่ ล้างส่วนที่เหลือด้วยน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตรที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และล้างส่วนที่เหลือด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ และอะซิโตน ปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำตะกอนที่เหลือทำแห้งข้ามคืนในเตาอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส นำออกจากเตาอบและทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวิเคราะห์แล้ววิเคราะห์โปรตีนด้วยวิธี Kjeldahl คำนวณหาปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

ก.8 ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (Soluble dietary fiber) (Megazyme K-TDFR 03/2009)

วิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำโดยใช้ชุดทดสอบของ Megazyme ซึ่งตัวอย่าง 1 กรัมใส่ในบีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร เติมสารละลายบัฟเฟอร์ MES-TRIS 40 มิลลิลิตร pH 8.2 ที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส ทำการกวนจนกระทั่งตัวอย่างละลายในสารละลาย จากนั้นเติมสารละลาย α -amylase 50 ไมโครลิตร ขณะเดียวกันก็กวนที่ความเร็วต่ำ แล้วบ่มใน Shaking water bath ที่อุณหภูมิ 95-100 องศาเซลเซียส นาน 35 นาที นำบีกเกอร์ตัวอย่างออกจาก Shaking water bath และทำให้เย็นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ขูดรอบๆบีกเกอร์ด้วยข้อตักสารและชะล้างด้วยน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Protease 100 ไมโครลิตร ปิดปากบีกเกอร์ด้วยฟอยล์อะลูมิเนียม บ่มใน Shaking water bath ที่อุณหภูมิ 60 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที นำบีกเกอร์ตัวอย่างออกและเปิดฝาบีกเกอร์ เติมสารละลาย HCl 0.561 นอร์มัล จำนวน 5 มิลลิลิตร (pH 4.1-4.8) จากนั้นเติมสารละลาย Amyloglucosidase 200 ไมโครลิตร ปิดปากบีกเกอร์ด้วยฟอยล์อะลูมิเนียม บ่มใน Shaking water bath ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที กรองส่วนผสมเอนไซม์ผ่าน crucible ลงในขวดรูปชมพู่ ล้างส่วนที่เหลือด้วยน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตรที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และล้างส่วนที่เหลือด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ และอะซิโตน ปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำส่วนที่กรองผ่าน crucible ในขวดรูปชมพู่ซึ่งน้ำหนัก แล้วเติมเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นปรับน้ำหนักของสารละลายดังกล่าวให้ได้ 80 กรัม และเติม เอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ 320



มิลลิลิตร อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทำการกรองผ่าน Crucible ล้างโดยใช้สุญญากาศ ล้างส่วนที่เหลือด้วยเอทานอล 78 และ 95 เปอร์เซ็นต์ และอะซิโตน นำตะกอนส่วนที่เหลือมาแห้งข้ามคืนในเตาอบ ที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส นำออกจากเตาอบและทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวิเคราะห์ถ้า และวิเคราะห์โปรตีนด้วยวิธี Kjeldahl คำนวณหาปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ

ก.9 การวิเคราะห์กิจกรรมในการต้านอนุมูลอิสระ

1. การสกัดตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์การต้านอนุมูลอิสระ ตามวิธีของ Hassan และคณะ (2011)

ซึ่งตัวอย่าง 500 มิลลิกรัมใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร (v/v) เติมน้ำเอทานอล 50 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 40 มิลลิลิตร และอะซิโตน 70 เปอร์เซ็นต์ (v/v) ปริมาตร 40 มิลลิลิตร หลังจากนั้นเขย่าด้วยเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิ (Incubating shaker) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำส่วนผสมที่ได้ที่ปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 1500g ที่ 23 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที และกรองผ่านกระดาษกรอง นำส่วนของเหลวใสมาปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น และบรรจุสารสกัดใส่ในหลอดไมโครเซ็นทริฟิวซ์ เก็บในที่มืดที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

2. ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ดัดแปลงจาก Iqbal และคณะ (2005)

ปิเปตตัวอย่างสารสกัด 0.2 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติมน้ำกลั่น Folin-Ciocalteu (เจือจางด้วยน้ำกลั่นอัตราส่วน 1:10) ปริมาตร 0.8 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 7 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 7.0 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ นำค่าที่ได้คำนวณเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแกลลิก

3. การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยการดักจับอนุมูลอิสระของ DPPH ดัดแปลงจาก Dasgupta และ De (2004)

ซึ่งสาร 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DHHH) 0.01 กรัม ละลายด้วยตัวทำละลายเมทานอล 250 มิลลิลิตร (ความเข้มข้น 0.004 เปอร์เซ็นต์) ระวังอย่าให้ถูกแสงเนื่องจากเป็นสารที่ไวต่อแสงมาก นำตัวอย่างสารสกัดมา 0.1 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น DPPH ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน หลังจากนั้นตั้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาในที่มืด เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งการยับยั้งอนุมูลอิสระของตัวอย่างสารสกัดที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนสีสารละลายจากสีม่วงเข้มไปเป็นสีเหลือง จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และนำค่าดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณเปอร์เซ็นต์ของฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ดังสมการ



$$\text{ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ} = \frac{(A_0 - A_e) \times 100}{A_0}$$

A_0 = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายไม่เติมตัวอย่างสารสกัด

A_e = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเติมสารสกัด

4. การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยการรีดิวซ์เฟอร์ริก ตามวิธีของ Fu และคณะ (2011)

ปิเปตตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตรใส่ในหลอดทดลอง เติม FRAP reagent (เตรียมจาก sodium acetate buffer (300 มิลลิโมลาร์, pH 3.6), สารละลาย TPTZ 10 มิลลิโมลาร์ (ในตัวทำละลายไฮโดรคลอริก 40 มิลลิโมลาร์) และสารละลาย iron(III) chloride 20 มิลลิโมลาร์ ในอัตราส่วนปริมาตร 10:1:1 ตามลำดับ โดยจะต้องมีการเตรียมใหม่ทุกวัน) 3.0 มิลลิลิตร โดย FRAP reagent ต้องอุ่นที่ 37 องศาเซลเซียสก่อนนำมาใช้ หลังจากนั้นตั้งไว้ในที่มืด 4 นาที และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร และนำค่าที่ได้คำนวณเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ FeSO_4



ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ



ข.1 ความสามารถในการอุ้มน้ำ ตามวิธีของ Robertson และคณะ (2000)

ชั่งตัวอย่าง 250 มิลลิกรัม ใส่ในหลอดเซนตริฟิวซ์ เติมน้ำปริมาตร 25 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 1500g เป็นเวลา 10 นาที แยกส่วนในทิ้งและชั่งน้ำหนักส่วนที่ตกตะกอน ความสามารถในการอุ้มน้ำและน้ำมันคำนวณเป็นกรัมของน้ำหรือน้ำมันต่อกรัมของตัวอย่าง

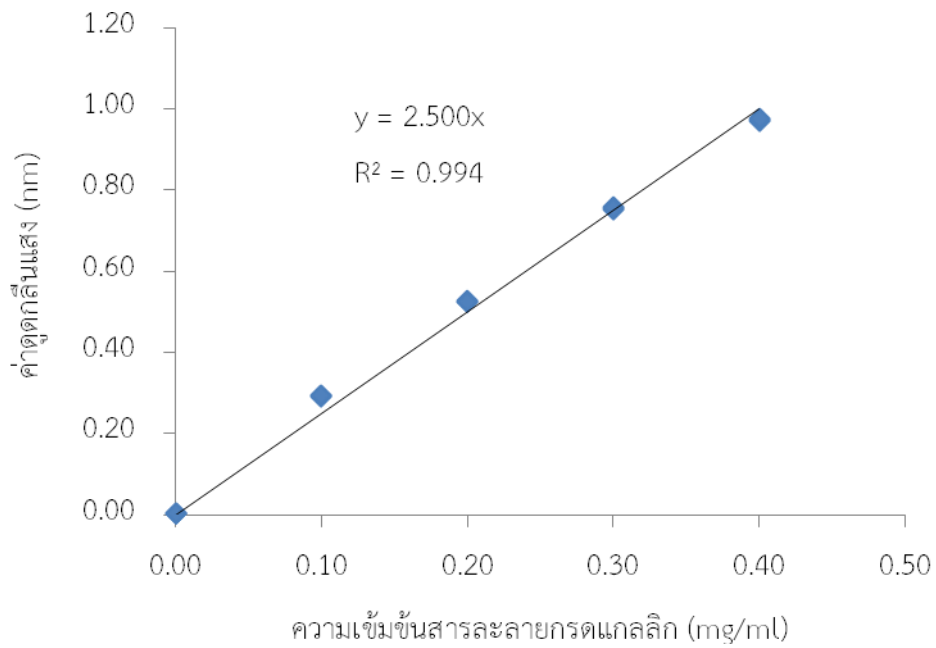
ข.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน ตามวิธีของ Robertson และคณะ (2000)

ชั่งตัวอย่าง 250 มิลลิกรัม ใส่ในหลอดเซนตริฟิวซ์ เติมน้ำมันมะกอกปริมาตร 25 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 1500g เป็นเวลา 10 นาที แยกส่วนในทิ้งและชั่งน้ำหนักส่วนที่ตกตะกอน ความสามารถในการอุ้มน้ำและน้ำมันคำนวณเป็นกรัมของน้ำหรือน้ำมันต่อกรัมของตัวอย่าง

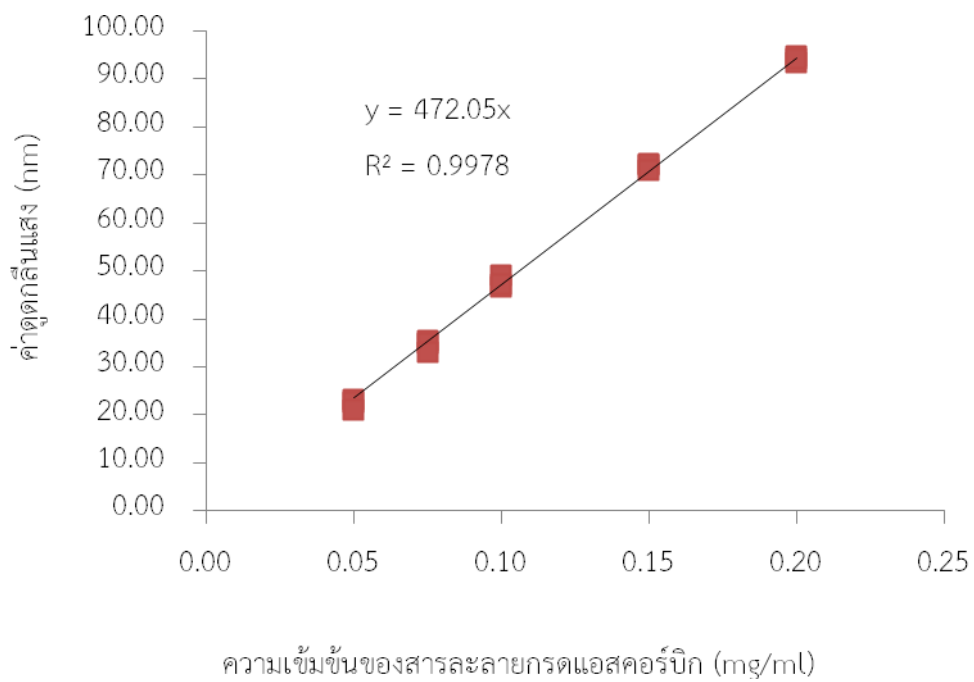


ภาคผนวก ค
กราฟมาตรฐาน



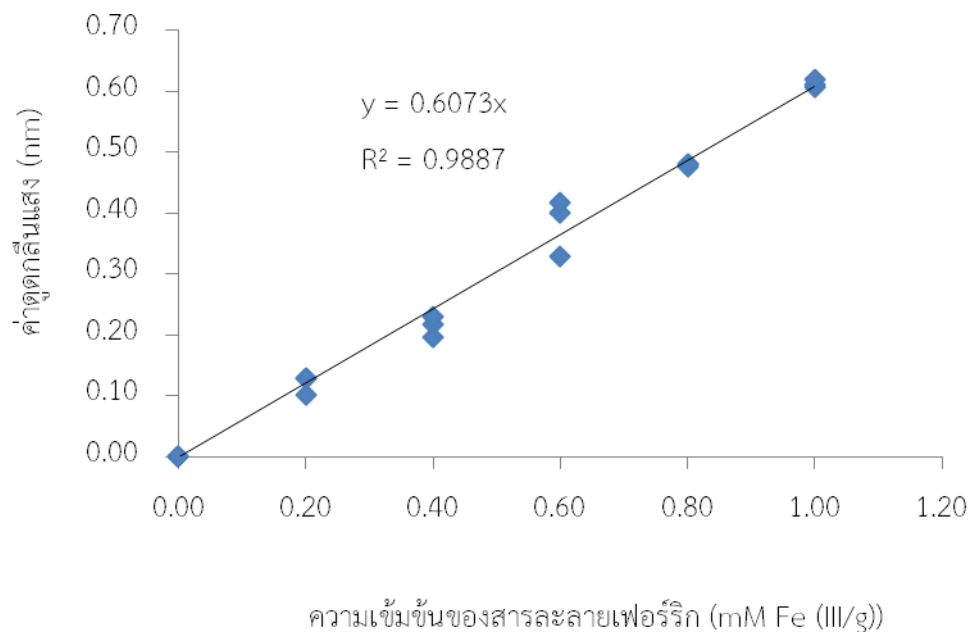


ภาพประกอบ ค.1 กราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแกลลิก



ภาพประกอบ ค.2 กราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแอสคอร์บิก





ภาพประกอบ ค.3 กราฟมาตรฐานของสารละลายเฟอร์ริก



ภาคผนวก ง
การวิเคราะห์ความแปรปรวน



ตาราง ง.1 การเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) ของเส้นใยอาหาร จากมะม่วงชนิดต่างๆ ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
1. ปริมาณความชื้น					
กรรมวิธีการผลิต	9102.9	3	3034.304	308689	.000*
ความคลาดเคลื่อน	.079	8	.010		
2. ปริมาณโปรตีน					
กรรมวิธีการผลิต	2.109	3	.708	250.314	.000*
ความคลาดเคลื่อน	.022	8	.003		
3. ปริมาณไขมัน					
กรรมวิธีการผลิต	1.543	3	.514	267.00	.000*
ความคลาดเคลื่อน	.015	8	.002		
4. ปริมาณเถ้า					
กรรมวิธีการผลิต	.103	3	.034	146.644	.000*
ความคลาดเคลื่อน	.002	8	.000		
5. ปริมาณแป้งทั้งหมด					
กรรมวิธีการผลิต	184.185	3	61.395	13.2870	.015*
ความคลาดเคลื่อน	18.483	8	4.621		

* มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตาราง ง.2 การเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) ของเส้นใยอาหาร จากฝรั่งซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
1. ปริมาณความชื้น					
กรรมวิธีการผลิต	12351	3	4117.027	542396	.000*
ความคลาดเคลื่อน	.061	8	.008		
2. ปริมาณโปรตีน					
กรรมวิธีการผลิต	11.574	3	3.858	2390.1	.000*
ความคลาดเคลื่อน	.013	8	.002		
3. ปริมาณไขมัน					
กรรมวิธีการผลิต	1.297	3	.432	86.222	.000*
ความคลาดเคลื่อน	.040	8	.005		
4. ปริมาณเถ้า					
กรรมวิธีการผลิต	.657	3	.219	1693.8	.000*
ความคลาดเคลื่อน	.001	8	.000		
5. ปริมาณแป้งทั้งหมด					
กรรมวิธีการผลิต	.349	3	.116	8.364	.034*
ความคลาดเคลื่อน	.056	8	.014		

* มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ตาราง ง.3 การเปรียบเทียบปริมาณของเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ของเส้นใยอาหารจากมะม่วงชนิดต่างๆ ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
1. ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด					
กรรมวิธีการผลิต	88.099	3	29.366	21.580	.006*
ความคลาดเคลื่อน	5.443	4	1.361		
2. ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ					
กรรมวิธีการผลิต	138.725	3	46.242	93.657	.000*
ความคลาดเคลื่อน	1.975	4	0.492		
3. ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ					
กรรมวิธีการผลิต	86.856	3	28.952	72.479	.000*
ความคลาดเคลื่อน	1.598	4	0.399		

* มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตาราง ง.4 การเปรียบเทียบปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ของเส้นใยอาหารจากฝรั่งซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
1. ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด					
กรรมวิธีการผลิต	80.073	3	26.691	12.214	.018*
ความคลาดเคลื่อน	8.741	4	2.185		
2. ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ					
กรรมวิธีการผลิต	72.692	3	24.231	9.661	.026*
ความคลาดเคลื่อน	10.033	4	2.508		
3. ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ					
กรรมวิธีการผลิต	33.063	3	11.021	7.849	.038*
ความคลาดเคลื่อน	5.617	4	1.404		

* มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ตาราง ง.5 การเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content; TPC) และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของเส้นใยอาหารจากมะม่วงชนิดต่างๆ ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
1. ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด					
กรรมวิธีการผลิต	1.621	3	.540	194.00	.000*
ความคลาดเคลื่อน	.009	32	.000		
2. ความสามารถในการยับยั้งที่ร้อยละ 50					
กรรมวิธีการผลิต	25.448	2	12.724	161.813	.000*
ความคลาดเคลื่อน	.472	6	.079		
3. ค่าในการรีดิวซ์เฟอร์ริก					
กรรมวิธีการผลิต	57611	3	19203.723	188.807	.000*
ความคลาดเคลื่อน	3254.7	32	101.711		

* มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตาราง ง.6 การเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของเส้นใยอาหารจากฝรั่งซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
1. ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด					
กรรมวิธีการผลิต	1.883	3	.628	2634.2	.000*
ความคลาดเคลื่อน	.008	32	.000		
2. ความสามารถในการยับยั้งที่ร้อยละ 50					
กรรมวิธีการผลิต	791.538	2	395.769	2644.9	.000*
ความคลาดเคลื่อน	.898	6	.150		
3. ค่าในการรีดิวซ์เฟอร์ริก					
กรรมวิธีการผลิต	73834	3	24611.366	553.475	.000*
ความคลาดเคลื่อน	1422.9	32	44.467		

* มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ตาราง ง.7 การเปรียบเทียบความสามารถในการอุ้มน้ำ (WHC) และ ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (OHC) ของเส้นใยอาหารจากมะม่วงชนิดต่างๆ ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
1. ความสามารถในการอุ้มน้ำ					
กรรมวิธีการผลิต	49.008	3	16.336	76.063	.000*
ความคลาดเคลื่อน	1.718	8	.215		
2. ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน					
กรรมวิธีการผลิต	21.672	3	7.224	53.153	.000*
ความคลาดเคลื่อน	1.087	8	.136		

* มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตาราง ง.8 การเปรียบเทียบความสามารถในการอุ้มน้ำ (WHC) และ ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (OHC) ของเส้นใยอาหารจากฝรั่งซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
1. ความสามารถในการอุ้มน้ำ					
กรรมวิธีการผลิต	220.317	3	73.439	154.703	.000*
ความคลาดเคลื่อน	3.798	8	.475		
2. ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน					
กรรมวิธีการผลิต	117.510	3	39.170	103.209	.000*
ความคลาดเคลื่อน	3.036	8	.380		

* มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ตาราง ง.9 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะร้อนของแป้งข้าวเจ้าเมื่อไม่เติมและเติม
เส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยเส้นใยอาหารจากมะม่วงได้จากการผลิต
ที่แตกต่างกัน

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
1. Peak viscosity					
กรรมวิธีการผลิตและความเข้มข้น	8E+006	12	627427.8	357.347	.000*
ความคลาดเคลื่อน	36872	21	1755.792		
2. Trough					
กรรมวิธีการผลิตและความเข้มข้น	125146	12	10428.816	7.826	.000*
ความคลาดเคลื่อน	27984	21	1332.568		
3. Break down					
กรรมวิธีการผลิตและความเข้มข้น	6E+006	12	487588.4	208.234	.000*
ความคลาดเคลื่อน	49172	21	2341.544		
4. Final viscosity					
กรรมวิธีการผลิตและความเข้มข้น	810132	12	67510.960	43.276	.000*
ความคลาดเคลื่อน	32760	21	1560.016		
5. Setback					
กรรมวิธีการผลิตและความเข้มข้น	609126	12	50760.502	33.511	.000*
ความคลาดเคลื่อน	31809	21	1514.727		
6. Peak time					
กรรมวิธีการผลิตและความเข้มข้น	15.993	12	1.333	47.237	.000*
ความคลาดเคลื่อน	.592	21	.028		
7. Pasting temperature					
กรรมวิธีการผลิตและความเข้มข้น	301.039	12	25.087	89.122	.000*
ความคลาดเคลื่อน	5.911	21	.281		

* มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ตาราง ง.10 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะร้อนของแป้งข้าวเจ้าเมื่อไม่เติมและเติม
เส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยเส้นใยอาหารจากฝรั่งได้จากการผลิต
ที่แตกต่างกัน

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
1. Peak viscosity					
กรรมวิธีการผลิตและความเข้มข้น	3E+006	12	270956.5	161.543	.000*
ความคลาดเคลื่อน	35223	21	1677.301		
2. Trough					
กรรมวิธีการผลิตและความเข้มข้น	155072	12	12922.659	8.035	.000*
ความคลาดเคลื่อน	33775	21	1608.325		
3. Break down					
กรรมวิธีการผลิตและความเข้มข้น	2E+006	12	125391.1	74.225	.000*
ความคลาดเคลื่อน	35476	21	1689.327		
4. Final viscosity					
กรรมวิธีการผลิตและความเข้มข้น	649907	12	54158.930	135.969	.000*
ความคลาดเคลื่อน	8364.7	21	398.319		
5. Setback					
กรรมวิธีการผลิตและความเข้มข้น	355539	12	29628.258	34.366	.000*
ความคลาดเคลื่อน	18105	21	862.148		
6. Peak time					
กรรมวิธีการผลิตและความเข้มข้น	8.428	12	.702	16.690	.000*
ความคลาดเคลื่อน	.884	21	.042		
7. Pasting temperature					
กรรมวิธีการผลิตและความเข้มข้น	297.999	12	24.833	95.088	.000*
ความคลาดเคลื่อน	5.484	21	.261		

* มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ตาราง ง.11 การเปรียบเทียบผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ได้จากการผลิตเส้นใยอาหารวิธีต่างๆ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเปลี่ยนแปลงของโมดูลัสสะสม (Storage modulus; G'), โมดูลัสสูญเสีย (Loss modulus; G''), อัตราส่วนของโมดูลัสสูญเสียต่อโมดูลัสสะสม (Tan delta) และโมดูลัสเชิงซ้อน (Complex modulus, G^*) ของเจลข้าวเจ้าความเข้มข้นร้อยละ 10 เมื่อความถี่ (Frequency) เป็น 1 Hz และความเครียด (Strain) มีค่าเป็นร้อยละ 2

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
1. โมดูลัสสะสม (Storage modulus; G')					
กรรมวิธีการผลิตและความเข้มข้น	3E+008	12	27081017	963.792	.000*
ความคลาดเคลื่อน	365279	13	28098.417		
2. โมดูลัสสูญเสีย (Loss modulus; G'')					
กรรมวิธีการผลิตและความเข้มข้น	1E+007	12	977509.8	342.180	.000*
ความคลาดเคลื่อน	37137	13	2856.710		
3. อัตราส่วนของโมดูลัสสูญเสียต่อโมดูลัสสะสม (Tan delta)					
กรรมวิธีการผลิตและความเข้มข้น	.091	12	.008	9.497	.000*
ความคลาดเคลื่อน	.010	13	.001		
4. โมดูลัสเชิงซ้อน (Complex modulus, G^*)					
กรรมวิธีการผลิตและความเข้มข้น	3E+008	12	28057842	948.370	.000*
ความคลาดเคลื่อน	384609	13	29585.332		

* มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ตาราง ง.12 การเปรียบเทียบผลของเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ได้จากการผลิตเส้นใยอาหารวิธีต่างๆ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเปลี่ยนแปลงของโมดูลัสสะสม (Storage modulus; G'), โมดูลัสสูญเสีย (Loss modulus; G''), อัตราส่วนของโมดูลัสสูญเสียต่อโมดูลัสสะสม (Tan delta) และโมดูลัสเชิงซ้อน (Complex modulus, G^*) ของเจลข้าวเจ้าความเข้มข้นร้อยละ 10 เมื่อความถี่ (Frequency) เป็น 1 Hz และความเครียด (Strain) มีค่าเป็นร้อยละ 2

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
1. โมดูลัสสะสม (Storage modulus; G')					
กรรมวิธีการผลิตและความเข้มข้น	8E+007	12	6715501	24.503	.000*
ความคลาดเคลื่อน	4E+006	13	274067.2		
2. โมดูลัสสูญเสีย (Loss modulus; G'')					
กรรมวิธีการผลิตและความเข้มข้น	4E+006	12	347021.2	22.734	.000*
ความคลาดเคลื่อน	198441	13	15264.677		
3. อัตราส่วนของโมดูลัสสูญเสียต่อโมดูลัสสะสม (Tan delta)					
กรรมวิธีการผลิตและความเข้มข้น	.035	12	.003	18.360	.000*
ความคลาดเคลื่อน	.002	13	.000		
4. โมดูลัสเชิงซ้อน (Complex modulus, G^*)					
กรรมวิธีการผลิตและความเข้มข้น	8E+007	12	7051635	24.495	.000*
ความคลาดเคลื่อน	4E+006	13	287884.2		

* มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ตาราง ง.13 การเปรียบเทียบผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ได้จากการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TMDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเกิดเจลาตินในเซชันของแป้งข้าวเจ้า

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
1. Onset					
ความเข้มข้น	2.555	3	.852	1.137	.435
ความคลาดเคลื่อน	2.996	4	.749		
2. Peak					
ความเข้มข้น	3.615	3	1.205	1.513	.340
ความคลาดเคลื่อน	3.185	4	.796		
3. Conclusion					
ความเข้มข้น	30.626	3	10.209	17.344	.009*
ความคลาดเคลื่อน	2.354	4	.589		
4. Enthapy					
ความเข้มข้น	.019	3	.006	.281	.838
ความคลาดเคลื่อน	.092	4	.023		

* มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ตาราง ง.14 การเปรียบเทียบผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ได้จากการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TMDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเกิดอะไมโลสลิพิดคอมเพล็กซ์ของแป้งข้าวเจ้า

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
1. Onset					
ความเข้มข้น	12.726	3	4.242	5.713	.063
ความคลาดเคลื่อน	2.970	4	.742		
2. Peak					
ความเข้มข้น	15.495	3	5.165	5.483	.067
ความคลาดเคลื่อน	3.768	4	.942		
3. Conclusion					
ความเข้มข้น	69.689	3	23.230	14.283	.013*
ความคลาดเคลื่อน	6.506	4	1.626		
4. Enthapy					
ความเข้มข้น	2.349	3	.783	10.436	.023*
ความคลาดเคลื่อน	.300	4	.075		

* มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ตาราง ง.15 ผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเกิดเจลลิตีโนเซนซ์ของแป้งข้าวเจ้า

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
1. Onset					
ความเข้มข้น	.937	3	.312	7.727	.039*
ความคลาดเคลื่อน	.162	4	.040		
2. Peak					
ความเข้มข้น	.311	3	.104	1.496	.344
ความคลาดเคลื่อน	.277	4	.069		
3. Conclusion					
ความเข้มข้น	10.626	3	3.542	10.650	.022*
ความคลาดเคลื่อน	1.330	4	.333		
4. Enthapy					
ความเข้มข้น	.172	3	.057	1.711	.303
ความคลาดเคลื่อน	.134	4	.034		

* มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ตาราง ง.16 ผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMD) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเกิดอะไมโลสลิพิดคอมเพล็กซ์ของแป้งข้าวเจ้า

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
1. Onset					
ความเข้มข้น	7.920	3	2.862	2.862	.168
ความคลาดเคลื่อน	3.689	4	.922		
2. Peak					
ความเข้มข้น	8.713	3	2.904	2.978	.160
ความคลาดเคลื่อน	3.901	4	.975		
3. Conclusion					
ความเข้มข้น	56.017	3	18.679	11.842	.019*
ความคลาดเคลื่อน	6.307	4	1.577		
4. Enthapy					
ความเข้มข้น	2.306	3	.769	8.386	.034*
ความคลาดเคลื่อน	.367	4	.092		

* มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ตาราง ง.16 การเปรียบเทียบผลของเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ได้จากการทำแห้งแบบอบลมร้อน (TGDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเกิดเจลาตินในเซชันของแป้งข้าวเจ้า

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
1. Onset					
ความเข้มข้น	9.486	3	3.162	35.839	.002*
ความคลาดเคลื่อน	.353	4	.088		
2. Peak					
ความเข้มข้น	5.850	3	1.950	54.112	.001*
ความคลาดเคลื่อน	.144	4	.036		
3. Conclusion					
ความเข้มข้น	5.390	3	1.797	.840	.538
ความคลาดเคลื่อน	8.552	4	2.138		
4. Enthapy					
ความเข้มข้น	1.544	3	.515	1.163	.427
ความคลาดเคลื่อน	1.770	4	.442		

* มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ตาราง ง.17 การเปรียบเทียบผลของเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ได้จากการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TGDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเกิดอะไมโลสลิพิดคอมเพล็กซ์ของแป้งข้าวเจ้า

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
1. Onset					
ความเข้มข้น	3.589	3	1.196	.499	.703
ความคลาดเคลื่อน	9.584	4	2.396		
2. Peak					
ความเข้มข้น	4.401	3	1.467	.584	.657
ความคลาดเคลื่อน	10.051	4	2.513		
3. Conclusion					
ความเข้มข้น	65.414	3	21.800	5.082	.075
ความคลาดเคลื่อน	17.163	4	4.291		
4. Enthapy					
ความเข้มข้น	3.597	3	1.199	30.032	.003*
ความคลาดเคลื่อน	.160	4	.040		

* มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตาราง ง.18 การเปรียบเทียบผลของเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ได้จากการทำแห้งแบบแบบแช่เยือกแข็ง (FDGDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเกิดเจลาตินในเซชันของแป้งข้าวเจ้า

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
1. Onset					
ความเข้มข้น	.628	3	.209	4.517	.090
ความคลาดเคลื่อน	.185	4	.046		
2. Peak					
ความเข้มข้น	.966	3	.322	11.131	.021*
ความคลาดเคลื่อน	.116	4	.029		
3. Conclusion					
ความเข้มข้น	20.174	3	6.725	9.312	.028*
ความคลาดเคลื่อน	2.889	4	.722		
4. Enthapy					
ความเข้มข้น	.149	3	.050	2.789	.174
ความคลาดเคลื่อน	.071	4	.018		

* มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ตาราง ง.19 การเปรียบเทียบผลของเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDGDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเกิดอะไมโลสลิพิดคอมเพล็กซ์ของแป้งข้าวเจ้า

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
1. Onset					
ความเข้มข้น	8.261	3	2.754	.912	.510
ความคลาดเคลื่อน	12.074	4	3.018		
2. Peak					
ความเข้มข้น	9.996	3	3.332	.981	.485
ความคลาดเคลื่อน	13.581	4	3.395		
3. Conclusion					
ความเข้มข้น	78.126	3	26.042	5.144	.074
ความคลาดเคลื่อน	20.249	4	5.062		
4. Enthapy					
ความเข้มข้น	2.148	3	.716	6.649	.049*
ความคลาดเคลื่อน	.431	4	.108		

* มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตาราง ง.20 การเปรียบเทียบผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการย่อยได้ของแป้งข้าวเจ้า

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
1. ปริมาณแป้งที่ถูกย่อยอย่างรวดเร็ว					
ความเข้มข้น	425.672	3	141.895	45.559	.002*
ความคลาดเคลื่อน	12.458	4	3.115		
2. ปริมาณแป้งที่ถูกย่อยอย่างช้าๆ					
ความเข้มข้น	521.488	3	173.829	53.573	.001*
ความคลาดเคลื่อน	12.979	4	3.245		
3. ปริมาณแป้งที่ทนต่อการย่อย					
ความเข้มข้น	5.038	3	1.679	45.651	.001*
ความคลาดเคลื่อน	.147	4	.037		
4. ดัชนีการย่อยได้ของแป้ง					
ความเข้มข้น	425.679	3	141.893	45.559	.002*
ความคลาดเคลื่อน	12.458	4	3.115		

* มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ตาราง ง.21 การเปรียบเทียบผลของเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ได้จากการทำแห้งแบบอบลมร้อน (TGDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการย่อยได้ของแป้งข้าวเจ้า

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
1. ปริมาณแป้งที่ถูกย่อยอย่างรวดเร็ว					
ความเข้มข้น	19.769	3	6.590	2.480	.200
ความคลาดเคลื่อน	10.627	4	2.657		
2. ปริมาณแป้งที่ถูกย่อยอย่างช้าๆ					
ความเข้มข้น	21.671	3	7.224	2.349	.214
ความคลาดเคลื่อน	12.301	4	3.075		
3. ปริมาณแป้งที่ทนต่อการย่อย					
ความเข้มข้น	3.250	3	1.084	10.641	.022*
ความคลาดเคลื่อน	.407	4	.102		
4. ดัชนีการย่อยได้ของแป้ง					
ความเข้มข้น	19.769	3	6.590	2.480	.200
ความคลาดเคลื่อน	10.627	4	2.657		

* มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ประวัติย่อผู้วิจัย



ประวัติย่อผู้วิจัย

- ชื่อ นางสาวสหขวัญ โจรจนคุณธรรม
- วันเกิด วันที่ 14 กันยายน พ.ศ. 2530
- สถานที่เกิด อำเภอป่าติ้ว จังหวัดยโสธร
- ประวัติการศึกษา
- พ.ศ. 2546 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนอำนาจเจริญ อำเภอเมือง จังหวัดอำนาจเจริญ
 - พ.ศ. 2549 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนอำนาจเจริญ อำเภอเมือง จังหวัดอำนาจเจริญ
 - พ.ศ. 2553 ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร และการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
 - พ.ศ. 2556 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
- ตำแหน่ง สถานที่ทำงาน -
- ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ บ้านเลขที่ 125 หมู่ 1 ตำบลเชียงเพ็ง อำเภอป่าติ้ว จังหวัดยโสธร 35150
- รางวัลเรียนดี ทุนวิจัย และทุนการศึกษา
- ทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประเภทบัณฑิตศึกษา ประจำปี 2554
 - ทุนอุดหนุนการวิจัย งบประมาณรายได้ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปี 2555
- ผลงานวิจัย
- Characterisation of antioxidant dietary fiber from mango (*Mangifera indica* L.) and its effect on pasting behaviors of rice flour

