สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษากระบวนการสกัดใยอาหารจากกากสับปะรด

กนกอร เกริกเกียรติกำจร

อรณิชา พัฒนะกุลพงศ์

ว.ท.
ก1251ก
2550

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....84006
วัน,เดือน,ปี.....23 ก.ย. 2551

b.....11975416.....
i.....

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ

ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Study on Process of Dietary fiber Extraction from Pineapple Waste

Kanokon Krirkkiatkhamjorn

Onicha Pattanagulpong

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement

for the Degree of Bachelor of Science

Biotechnology Program

Department of Applied Biology, Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง การศึกษากระบวนการสกัดใยอาหารจากกากสับปะรด

นักศึกษา นางสาวกนกอร เกริกเกียรติกำจร รหัสประจำตัว 47050110

นางสาวอรณิชา พัฒนะกุลพงศ์ รหัสประจำตัว 47050172

สาขาวิชา เทคโนโลยีชีวภาพ

ภาควิชา ชีววิทยาประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. จิดาภา ทิน้อย

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ. ดร.มาริสา จาตุพรพิพัฒน์

ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ		ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ผศ. อารี ฤทธิบูรณ์	
กรรมการ	ผศ.ดร. มาริสา จาตุพรพิพัฒน์	
กรรมการ	ดร. จิดาภา ทิน้อย	

.....

(รศ.ดร. นวลพรรณ ณ ระนอง)

หัวหน้าภาควิชาชีววิทยาประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง การศึกษากระบวนการสกัดใยอาหารจากกากสับปะรด
นักศึกษา นางสาวกนกอร เกริกเกียรติกำจร
นางสาวอรณิชา พัฒนะกุลพงศ์
สาขาวิชา เทคโนโลยีชีวภาพ
ภาควิชา ชีววิทยาประยุกต์
ปีการศึกษา 2550
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. จิดาภา ทิน้อย
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร. มาริสา จาตุพรพิพัฒน์

บทคัดย่อ

ในการศึกษาการสกัดใยอาหารจากของเหลือทิ้งจากการแปรรูปสับปะรด เมื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของกากสับปะรด เปลือกสับปะรด และแกนสับปะรดพบว่า กากสับปะรดมีปริมาณใยอาหารมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 18.41 จึงได้ศึกษาขั้นตอนเบื้องต้นในการสกัดใยอาหารคือ การกำจัดแป้งโดยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส การกำจัดโปรตีนโดยใช้เอนไซม์โปรติเอส และการสกัดใยอาหารที่ละลายน้ำออกจากใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดแป้งโดยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส คือปริมาณน้ำ 15 เท่าของกากสับปะรดแห้ง พีเอช 5.8 ปริมาณเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส 60 ไมโครลิตร และโดยการสกัดที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง และขั้นตอนการกำจัดโปรตีนโดยเอนไซม์โปรติเอส พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ ปริมาณน้ำเท่ากับ 20 เท่าของกากสับปะรดแห้ง ปริมาณเอนไซม์โปรติ-เอส 120 ไมโครลิตร และระยะเวลาในการสกัดที่ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ส่วนในการสกัดใยอาหารที่ละลายน้ำออกจากใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำโดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับร้อยละ 1 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และใช้เวลาในการแยกที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่ดีที่สุดในการแยกใยอาหารที่ละลายน้ำออกจากใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และปริมาณเพคตินที่ได้เท่ากับร้อยละ 12.34 ของกรัมกากสับปะรดแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special project title	Study on process of dietary fiber extraction from pineapple waste
Name	Ms. Kanokon Krirkkiatkhamjorn
	Ms. Onicha Patanagulpong
Department	Applied Biology
Program	Biotechnology
Academic Year	2007
Special project advisor	Dr. Jidapha Tinoi
Special project co-advisor	Assist. Prof. Dr. Marisa Jatupornpipat

Abstract

Extraction of dietary fiber from pineapple waste during the manufacturing of Pineapple canning was investigated. The chemical composition of pineapple pomace, pineapple husk and pineapple core was also determined. Pineapple pomace was subjected to evaluation as potential source of dietary fiber on the basis of their total content of crude dietary fiber and had the highest crude dietary fiber content (18.41 % by dried weight). This study examined the suitable condition for dietary fiber extraction from pineapple pomace by eliminating starch by α- amylase, protein by protease and isolation of soluble dietary fiber by NaOH solution. The optimal condition for removal starch sample was water content 15 times of pineapple pomace, pH 5.8 and α- amylase content 60 µL at 90 $^{\circ}$C for 1 h. The removal protein was optimized at water content 20 times of pineapple pomace, 120 µl of protease at 50 $^{\circ}$C for 2 h. The crude soluble dietary fiber was extracted by 50 ml of 1% sodiumhydroxide solution at 80 $^{\circ}$C for 3 h. The result showed that the highest of pectin content was 12.34% by dried pineapple pomace.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงงานพิเศษนี้จะสำเร็จลุล่วงมิได้ถ้าหากขาดความช่วยเหลือ ความร่วมมือตลอดจนคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่คณะผู้จัดทำจากบุคคลต่างๆ

ขอขอบพระคุณ ดร.จิดาภา ทิน้อย และผศ.ดร.มาริสา จาตุพรพิพัฒน์ ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ เป็นอย่างสูงที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษาและความช่วยเหลือในการทำโครงงานพิเศษครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ. อารี ฤทธิบูรณ์ ที่กรุณาเป็นประธานกรรมการ ตลอดจนให้คำแนะนำในการทำโครงงานพิเศษ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ที่อำนวยความสะดวกในด้านอุปกรณ์และสารเคมี ขอบคุณเจ้าหน้าที่ธุรการภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกและประสานงาน

ขอขอบคุณเพื่อน พี่ และน้องในภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ ที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจ

และที่สำคัญ ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และทุกคนในครอบครัวเกริกเกียรติกำจรและครอบครัวพัฒนะกุลพงศ์ ที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนในด้านกำลังทรัพย์

สำหรับคุณค่าและประโยชน์ที่เกิดจากรายงานฉบับนี้ ผู้จัดทำขอมอบให้แด่ คุณพ่อ คุณแม่ ครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ	2
1.3 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 ใยอาหาร	4
2.1.1 ประวัติการศึกษา และการให้คำจำกัดความของใยอาหาร	4
2.1.2 ความหมายของใยอาหาร	5
2.1.3 ชนิดของใยอาหาร	5
2.1.4 คุณสมบัติของใยอาหารต่อร่างกาย	7
2.1.5 แหล่งของใยอาหาร	8
2.2 เพคติน	9
2.2.1 โครงสร้างของเพคติน	9
2.2.2 การสกัดเพคติน	10
2.2.3 สมบัติทางเคมีของเพคติน	11
2.2.4 สมบัติทางกายภาพของเพคติน	12
2.2.5 ประโยชน์ของเพคติน	13
2.3 สับปะรด	13
2.3.1 ลักษณะทั่วไป	13
2.3.2 พันธุ์สับปะรด	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.3 พันธุ์สับปะรดที่ปลูกในประเทศไทย	17
2.3.4 ประโยชน์ของสับปะรด	19
2.3.5 องค์ประกอบทางเคมีของสับปะรด	20
2.3.6 ปริมาณผลพลอยได้และเศษเหลือจากอุตสาหกรรมการแปรรูปสับปะรด	21
2.3.7 การผลิตและตลาดสับปะรดของประเทศไทย	22
2.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่เหลือจากกระบวนการแปรรูป	24
2.4.1 การวิเคราะห์ไขมันด้วยวิธีซอกห์เลต	24
2.4.2 การวิเคราะห์ไนโตรเจนและโปรตีนโดยวิธีเจลดาห์ล	25
2.4.3 การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหาร	29
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	33
3.1 วัตถุดิบ	33
3.2 สารเคมี	33
3.3 อุปกรณ์	34
3.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยทั่วไป	35
3.4.1 การวิเคราะห์ความชื้น	35
3.4.2 การวิเคราะห์ไขมันหยาบ	35
3.4.3 การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนและโปรตีน	36
3.4.4 การวิเคราะห์ใยอาหารแบบหยาบ	36
3.4.5 การวิเคราะห์เถ้า	37
3.4.6 การวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรต	37
3.5 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตใยอาหารที่ละลายน้ำ	38
3.5.1 ขั้นตอนการกำจัดแป้งออกจากตัวอย่างโดยเอนไซม์อะไมเลส	38
3.5.2 ขั้นตอนการกำจัดโปรตีนออกจากตัวอย่างโดยเอนไซม์โปรติเอส	39
3.5.3 ขั้นตอนการกำจัดใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำออกจากตัวอย่างโดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6 การวิเคราะห์เพคติน	41
3.6.1 การสกัดสิ่งเจือปนออกด้วยเอทานอล	41
3.6.2 การสกัดเพคตินด้วยกรดไฮโดรคลอริก	41
3.6.3 การแยกเพคตินโดยการตกตะกอนด้วยเอทานอล	41
3.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ	41
บทที่ 4 ผลการทดลอง	42
4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี	42
4.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตใยอาหารหยาบที่ละลายน้ำจากกากสับปะรด	43
4.2.1 การกำจัดแป้งออกจากตัวอย่างโดยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส	44
4.2.2 การกำจัดโปรตีนออกจากตัวอย่างโดยเอนไซม์โปรติเอส	49
4.2.3 การกำจัดใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำออกจากตัวอย่างโดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์	54
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	59
เอกสารอ้างอิง	61
ภาคผนวก ก	66
ภาคผนวก ข	69
ภาคผนวก ค	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงส่วนประกอบของใยอาหารในผลไม้	8
2	แสดงลักษณะที่ดีและไม่ดีของสับปะรดพันธุ์ต่างๆ	18
3	แสดงองค์ประกอบทางเคมีของสับปะรด	20
4	แสดงเนื้อที่ ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ของสับปะรด	23
5	แสดงค่าแฟกเตอร์ของอาหารชนิดต่างๆ	28
6	แสดงองค์ประกอบทางเคมีของของของกากสับปะรด เปลือกสับปะรด และแกนสับปะรดจากการแปรรูปสับปะรด	42
7	ผลของความสามารถในการกำจัดแป้งของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่ปริมาณน้ำต่างกัน	44
8	ผลของความสามารถในการกำจัดแป้งของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่พีเอชต่างกัน	46
9	ผลของความสามารถในการกำจัดแป้งของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่ปริมาณเอนไซม์ ต่างกัน	47
10	ผลของความสามารถในการกำจัดแป้งของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่ระยะเวลาบ่มต่างกัน	49
11	ผลของความสามารถของเอนไซม์โปรติเอสในการกำจัดโปรตีนที่ปริมาณน้ำต่างกัน	50
12	ผลของความสามารถของเอนไซม์โปรติเอสในการกำจัดโปรตีนที่ปริมาณเอนไซม์ต่างกัน	52
13	ผลของความสามารถของเอนไซม์โปรติเอสในการกำจัดโปรตีนที่ระยะเวลาบ่มต่างกัน	53
14	ผลของปริมาณเพคตินที่ได้ในการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียม-ไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสม	54
15	ผลของปริมาณเพคตินที่ได้ในการศึกษาปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสม	55
16	ผลของปริมาณเพคตินของส่วนบนที่กรองได้ในการศึกษาระยะเวลาบ่มที่เหมาะสม	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางภาคผนวกที่

1	แสดงค่าการดูดกลืนแสงของกลูโคสมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆ	67
2	แสดงค่าการดูดกลืนแสงของส่วนใสที่กรองได้ในการศึกษาปริมาณน้ำต่างๆ	67
3	แสดงค่าการดูดกลืนแสงของส่วนใสที่กรองได้ในการศึกษาค่าพีเอชต่างๆ	67
4	แสดงค่าการดูดกลืนแสงของส่วนใสที่กรองได้ในการศึกษาปริมาณเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสต่างๆ	68
5	แสดงค่าการดูดกลืนแสงของส่วนใสที่กรองได้ในการศึกษาระยะเวลาบ่มต่างๆ	68
6	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของความชื้น	70
7	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของไขมัน	70
8	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของโปรตีน	71
9	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของใยอาหาร	71
10	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของเถ้า	71
11	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของคาร์โบไฮเดรต	72
12	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ในการกำจัดแป้งของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่ปริมาณน้ำต่างกัน	72
13	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในการกำจัดแป้งของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่ปริมาณน้ำต่างกัน	73
14	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของน้ำหนักของตัวอย่างหลังจากการกำจัดแป้งในการกำจัดแป้งของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่ปริมาณน้ำต่างกัน	74
15	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ในการกำจัดแป้งของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่พีเอชต่างกัน	74
16	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในการกำจัดแป้งของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่พีเอชต่างกัน	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางภาคผนวกที่		
17	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของน้ำหนักของตัวอย่างหลังจากการกำจัดแป้งในการกำจัดแป้งของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่พีเอชต่างกัน	76
18	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ในการกำจัดแป้งของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่ปริมาณเอนไซม์ต่างกัน	76
19	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในการกำจัดแป้งของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่ปริมาณเอนไซม์ต่างกัน	77
20	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของน้ำหนักของตัวอย่างหลังจากการกำจัดแป้งในการกำจัดแป้งของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่ปริมาณเอนไซม์ต่างกัน	78
21	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ในการกำจัดแป้งของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่ระยะเวลาบ่มต่างกัน	78
22	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในการกำจัดแป้งของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่ระยะเวลาบ่มต่างกัน	79
23	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของน้ำหนักของตัวอย่างหลังจากการกำจัดแป้งในการกำจัดแป้งของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่ระยะเวลาบ่มต่างกัน	79
24	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณโปรตีนหยาบที่กำจัดออกในการกำจัดโปรตีนออกจากตัวอย่างโดยเอนไซม์โปรติเอสที่ปริมาณน้ำต่างกัน	80
25	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของประสิทธิภาพในการกำจัดโปรตีนในการกำจัดโปรตีนออกจากตัวอย่างโดยเอนไซม์โปรติเอสที่ปริมาณน้ำต่างกัน	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางภาคผนวกที่		
26	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของน้ำหนักของตัวอย่างหลังจากการกำจัดโปรตีนในการกำจัดโปรตีนออกจากตัวอย่างโดยเอนไซม์โปรติเอสที่ปริมาณน้ำต่างกัน	81
27	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณโปรตีนหยาบที่กำจัดออกในการกำจัดโปรตีนออกจากตัวอย่างโดยเอนไซม์โปรติเอสที่ปริมาณเอนไซม์ต่างกัน	81
28	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของประสิทธิภาพในการกำจัดโปรตีนในการกำจัดโปรตีนออกจากตัวอย่างโดยเอนไซม์โปรติเอสที่ปริมาณเอนไซม์โปรติเอสต่างกัน	82
29	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของน้ำหนักของตัวอย่างหลังจากการกำจัดโปรตีนในการกำจัดโปรตีนออกจากตัวอย่างโดยเอนไซม์โปรติเอสที่ปริมาณเอนไซม์โปรติเอสต่างกัน	82
30	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณโปรตีนหยาบที่กำจัดออกหลังจากการกำจัดโปรตีนในการกำจัดโปรตีนออกจากตัวอย่างโดยเอนไซม์โปรติเอสที่ระยะเวลาบ่มต่างกัน	83
31	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของประสิทธิภาพในการกำจัดโปรตีนหลังจากการกำจัดโปรตีนในการกำจัดโปรตีนออกจากตัวอย่างโดยเอนไซม์โปรติเอสที่ระยะเวลาบ่มต่างกัน	83
32	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของน้ำหนักของตัวอย่างหลังจากการกำจัดโปรตีนหลังจากการกำจัดโปรตีนในการกำจัดโปรตีนออกจากตัวอย่างโดยเอนไซม์โปรติเอสที่ระยะเวลาบ่มต่างกัน	84
33	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของน้ำหนักเพคตินของส่วนบนที่กรองได้ในการกำจัดใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำออกจากตัวอย่างในการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างกัน	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางภาคผนวกที่

34	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณเพคติน ของส่วนบนที่กรองได้ในการกำจัดใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำออกจากตัวอย่าง ในการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างกัน	85
35	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของน้ำหนักเพคติน ของส่วนบนที่กรองได้ในการกำจัดใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำออกจากตัวอย่าง ในการศึกษาปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างกัน	85
36	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณเพคติน ของส่วนบนที่กรองได้ในการกำจัดใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำออก จากตัวอย่างในการศึกษาปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างกัน	86
37	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของน้ำหนักเพคติน ของส่วนบนที่กรองได้ในการกำจัดใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำออกจากตัวอย่าง ในการศึกษาระยะเวลาบ่มต่างกัน	86
38	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณเพคติน ของส่วนบนที่กรองได้ในการกำจัดใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำออกจากตัวอย่าง ในการศึกษาระยะเวลาบ่มต่างกัน	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่

1 ลักษณะโครงสร้างของเพคตินโดยมีหมู่โฮโมกาแลคทูโรแนน 9
2 สูตรโครงสร้างของกรดกาแลคทูโรนิกจากโมเลกุลของเพคติน 10
3 แสดงผลพลอยได้และเศษเหลือจากโรงงานทำสับปะรดกระป๋อง 21
4 เครื่องสกัดไขมันแบบซอกห์เลต 25
กราฟภาคผนวกที่ 1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของกลูโคสมาตรฐาน
ที่ความเข้มข้นต่างๆ 66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ใยอาหารเป็นสารจำพวกคาร์โบไฮเดรตที่ไม่สามารถย่อย และดูดซึมได้อย่างสมบูรณ์ในลำไส้เล็กและลำไส้ใหญ่ ใยอาหาร ประกอบด้วย โพลีแซคคาไรด์ (polysaccharides) โอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharides) ลิกนิน (lignin) และสารประกอบอื่นๆของพืช (AACC, 2001) ใยอาหารแบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ ใยอาหารที่ไม่สามารถย่อยได้โดยเอนไซม์ในทางเดินอาหารมนุษย์ (insolublc dietary fiber) ซึ่งการบริโภคใยอาหารชนิดนี้มีผลต่อกระบวนการดูดซึมน้ำในร่างกาย และเป็นส่วนประกอบหลักที่พบประมาณ 2 ใน 3 ของผัก ผลไม้ และธัญพืช ส่วนใยอาหารที่สามารถย่อยได้โดยเอนไซม์ในทางเดินอาหารมนุษย์ (soluble dietary fiber) เป็นใยอาหารที่มีผลกระทบต่อกระบวนการดูดซึมน้ำตาล และไขมันในเลือด (Gray, 2006) องค์ประกอบหลักในใยอาหารที่ไม่สามารถย่อยได้โดยเอนไซม์ในทางเดินอาหารมนุษย์ เช่น เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ลิกนิน (lignin) คิวติน (cutin) แป้งที่ไม่สามารถย่อยได้ (resistant starch) ซูเบอริน (suberin) เป็นต้น ส่วนใยอาหารที่สามารถย่อยได้โดยเอนไซม์ในทางเดินอาหารมนุษย์ เช่น เพคติน (pectin) เบต้ากลูแคน (β-glucans) กัมส์ (gums) เป็นต้น (DeVries, 1999)

การบริโภคใยอาหารทั้ง 2 ชนิด ส่งผลให้กระบวนการทางสรีรวิทยาของร่างกายเกิดความสมดุล ได้แก่ ช่วยป้องกันอาการท้องผูก (constipation) และช่วยลดระดับน้ำตาลกลูโคสและคอเลสเตอรอลในเลือดให้ต่ำลง เป็นต้น ซึ่งเป็นการลดความเสี่ยงในการเกิดโรค เช่น โรคที่เกี่ยวข้องกับหัวใจและหลอดเลือดหัวใจ (cardiovascular discase) โรคหลอดเลือดดำโป่ง หรือเส้นเลือดขอด (varicose vein) โรคริดสีดวงทวาร (haemorrhoids) โรคไส้ติ่งอักเสบ (appendicitis) โรคอ้วน (obesity) โรคมะเร็งในลำไส้ใหญ่ (cancer of large bowel) เป็นต้น (Gray, 2006)

แหล่งของใยอาหารที่สำคัญ ได้แก่ ข้าวโอ๊ต ถั่วชนิดต่างๆ มันฝรั่ง ข้าวโพด (Gray, 2006) กล้วย กะหล่ำปลี แอปเปิ้ล ส้ม มะเขือเทศ (McCleary, 1999) สตรอเบอร์รี่ แพร์ ลูกเกด เบอร์รี่ (BC Cancer Agency care and research, 2004) สับปะรด (จินดา, 2547) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการศึกษาหาปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดในผลไม้ที่ปลูกในประเทศไทยชนิดต่างๆ พบว่า ในแก้วมังกร ทุเรียน ฝรั่ง ลองกอง มะม่วง และสับปะรด มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เท่ากับ 2.14, 1.87, 2.70, 0.19, 0.86 และ 0.92 กรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ (Nitithan, 2004) ส่งผลให้การศึกษาแหล่งของใยอาหารได้รับความสนใจมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในประเทศไทยมีเนื้อที่เก็บเกี่ยวสับปะรดราว 629,000 ไร่ ให้ผลผลิตประมาณ 4,129 กิโลกรัมต่อไร่ โดยในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์มีเนื้อที่เก็บเกี่ยวสับปะรดมากที่สุดคือมีเนื้อที่เก็บเกี่ยวราว 281,458 ไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2549) ซึ่งสับปะรดจะถูกนำไปแปรรูปเป็นน้ำสับปะรด แยมสับปะรด สับปะรดกวน และสับปะรดอบแห้ง เป็นต้น ในอุตสาหกรรมแปรรูปสับปะรดพบว่า ใช้ส่วนของสับปะรดเพียงร้อยละ 40 ของผลเท่านั้น เศษเหลือของสับปะรดส่วนใหญ่ ได้แก่ เปลือกนอก ปลายยอดหรือจุก โคนล่าง เศษเนื้อที่เฉือนออก ไส้หรือแกนกลาง รวมทั้งกากสับปะรดหรือเนื้อที่คั้นน้ำออกแล้ว จึงถือเป็นวัสดุเหลือใช้จากการแปรรูปสับปะรดกระป๋องประมาณร้อยละ 60-80 ของน้ำหนักผล และมีการนำวัสดุเหลือใช้จากสับปะรดไปใช้เป็นอาหารสัตว์ ซึ่งการนำของเหลือจากการแปรรูปสับปะรดมาประยุกต์ใช้พบน้อยมาก ทำให้ยังคงมีปริมาณของเหลืออยู่เป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงให้ความสนใจในการเพิ่มมูลค่าแก่ของเหลือจากการแปรรูปสับปะรด เพื่อเป็นการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมและเป็นการลดต้นทุนในการแปรรูปสับปะรดอีกด้วย

ปัจจุบันมีการศึกษาและพัฒนาเกี่ยวกับการเพิ่มมูลค่าของเหลือทิ้งจากอุตสาหรรมการแปรรูปสับปะรด เช่น การผลิตน้ำส้มสายชู (vineagar production) การผลิตโปรตีนเซลล์เดียว (single cell proteins production) การผลิตอาหารสัตว์ (animal feed production) (จินดา, 2547) การผลิตกรดซิตริก (citric acid production) โดยการหมักแบบ solid state โดยจุลินทรีย์ *Aspergillus niger* (Kumar และคณะ, 2003) การผลิตเอทานอล (ethanol production) (Nigam, 1999) และการผลิตก๊าซชีวภาพ (biogas Production) จำพวกก๊าซไฮโดรเจน (Wang และคณะ, 2006) เป็นต้น (Gautam และ Guleria, 2007)

ในโครงงานพิเศษนี้ให้ความสนใจเกี่ยวกับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตใยอาหารจากกากสับปะรด ซึ่งกากสับปะรดอาจเป็นแหล่งใยอาหารที่สำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เกิดจากของเหลือทิ้งและเป็นการเพิ่มมูลค่าของเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปสับปะรด

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ

1. วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีโดยทั่วไปในกากสับปะรด
2. ศึกษาขั้นตอนเบื้องต้นในการผลิตเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้คือ การกำจัดแป้ง การกำจัดโปรตีนและการสกัดใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำออกจากใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ
3. หาปริมาณเพคตินที่เป็นองค์ประกอบของใยอาหารสกัดจากกากสับปะรดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยทั่วไป อีกทั้งคัดเลือกวิธีที่เหมาะสมในการสกัดใยอาหารออกจากกากสับปะรดให้ได้ปริมาณมากที่สุด เพื่อที่จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านโภชนาการ และอุตสาหกรรมอาหารต่อไป

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบองค์ประกอบทางเคมีโดยทั่วไปของกากสับปะรด
2. ทราบสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดใยอาหารจากกากสับปะรดเพื่อให้ได้ปริมาณมากที่สุด
3. เป็นแนวทางในการสกัดใยอาหารจากวัตถุดิบเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมแปรรูปผลไม้อื่นๆ
4. ลดต้นทุนในการผลิตเส้นใยอาหาร
5. ลดปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นพิษอันเนื่องมาจากของเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ใยอาหาร (Dietary fiber)

2.1.1 ประวัติการศึกษา และการให้คำจำกัดความของใยอาหาร (DeVries, 1999)

ปี 1953 Hipsley เป็นบุคคลแรกที่กำหนดคำจำกัดความของ ใยอาหารว่า "ส่วนประกอบของผนังเซลล์ที่ไม่สามารถย่อยได้"

ปี 1972-1976 Trowell และคณะ ให้นิยามความหมายของใยอาหารว่า "ส่วนประกอบบางส่วนของผนังเซลล์ที่ไม่สามารถย่อยโดยเอนไซม์ในทางเดินอาหารของมนุษย์"

ปี 1976 Trowell และคณะ เพิ่มความหมายของใยอาหาร ว่าส่วนประกอบที่ไม่สามารถย่อยได้นั้น คือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน กัม มัลซิเลดจ์ แวกซ์ คิวติน และซูเบอริน

ปี 1976-1981 Asp และคณะ ศึกษาวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบของใยอาหาร

ปี 1979 Prosky บุคคลแรกที่ริเริ่มการลงมติเกี่ยวกับการให้คำนิยาม และวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบของใยอาหารระดับนานาชาติ

ปี 1981 Association of Analytical Chemists International (AOAC) ลงมติเกี่ยวกับการให้คำนิยามและวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบของเส้นใยอาหารระดับนานาชาติ

ปี 1981-1985 Prosky และคณะ ลงมติการศึกษาวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบของใยอาหาร

ปี 1985 AOAC official method 985.29 and AACC approvcd method 32-05 เป็นวิธีที่นำมาใช้เกี่ยวกับการให้คำนิยามและวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบของใยอาหาร

ปี 1985-1988 มีการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบของเส้นใยอาหารชนิดย่อยได้ และย่อยไม่ได้

ปี 1991 วิเคราะห์หาใยอาหารที่ไม่สามารถย่อยได้โดยวิธี AOAC official method 991.42 and AACC approved method 32-07

ปี 1988- 1994 Lce และคณะ ศึกษาวิธีที่เหมาะสมในการวิเคราะห์องค์ประกอบของใยอาหารอื่นๆ

ปี 1992 ได้มีการสำรวจการให้ความหมายเชิงกายภาพของใยอาหารจากนานาชาติเพื่อลงมติ ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปี 1993 สำรวจการให้ความหมายเชิงกายภาพของใยอาหาร และองค์ประกอบสำคัญของใยอาหาร จากนานาชาติเพื่อลงมติ ครั้งที่ 2

ปี 1995 Association of Official Analytical Chemists (AOAC) จัดการประชุมนานาชาติเพื่อกำหนดความหมายทางกายภาพของคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน (Complex carbohydrates) ใยอาหาร และการวิเคราะห์องค์ประกอบ

ปี 1999 นิยามความหมายของใยอาหาร คือ ส่วนประกอบของเซลล์พืชที่สามารถกินได้ โพลิแซกคาร์ไลด์ ลิกนิน และส่วนประกอบบางส่วนที่ไม่สามารถย่อยได้โดยเอนไซม์จากทางเดินอาหารของมนุษย์ โดยแบ่งเป็นส่วนประกอบหลัก คือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน กัมส์ เซลลูโลสที่เปลี่ยนรูป มัลซิเลดจ์ โอลิโกแซคคาร์ไรด์ และเพคติน ส่วนประกอบรอง คือ แวกซ์ คิวติน และซูเบอริน อีกทั้งใช้วิธี AOAC official method 985.29 / American Association of Cereal Chemists (AACC) approved method 32-05 และ AOAC official method 991.43 /AACC approved method 32-07 ในการหาใยอาหารทั้งหมด

2.1.2 ความหมายของใยอาหาร (AACC, 2001)

เส้นใยอาหาร เป็นสารจำพวก คาร์โบไฮเดรตที่ไม่สามารถย่อย และดูดซึมได้อย่างสมบูรณ์ในลำไส้เล็ก และลำไส้ใหญ่ ซึ่งเส้นใยอาหารประกอบด้วย โพลีแซคคาไรด์ โอลิโกแซคคาไรด์ ลิกนิน และสารประกอบอื่นๆของพืช

2.1.3 ชนิดของใยอาหาร (AACC, 2001) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

2.1.3.1 ใยอาหารที่ละลายน้ำ (Soluble dietary fiber)

ก. กัมส์ (Gums) เป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลของน้ำตาลจำนวนมาก มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นพอลิเมอร์สายยาวของกาแลคโทแมนแนน มีน้ำหนักโมเลกุล 220,000-250,000 ดาลตัน ในโมเลกุลประกอบด้วยน้ำตาลแมนโนส ที่ต่อกันด้วยพันธะ β-1,4 และมีแขนงข้างของน้ำตาลกาแลคโตสหนึ่งโมเลกุลต่อทุกๆ 2 โมเลกุลของน้ำตาลแมนโนส ทำให้อัตราส่วนของน้ำตาลแมนโนสต่อกาแลคโตสเป็น 2 ต่อ 1 กัมส์จะมีคุณสมบัติอุ้มน้ำและกระจายตัวได้ดีในน้ำเย็น สารละลายที่ได้มีความหนืดสูง และจะให้ความหนืดสูงสุดภายหลังเวลา 2 ชั่วโมง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะอุ้มน้ำมากขึ้นและมีความหนืดเพิ่มมากขึ้นด้วย โดยความหนืดจะขึ้นกับอุณหภูมิ พีเอช เวลา ความเข้มข้น การคน และขนาดของอนุภาค

ข. เพคติน (Pectin) เป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลของน้ำตาลจำนวนมาก และในหมู่โมเลกุลของน้ำตาลบางหมู่มีกลุ่มเมทิลและกลุ่มกรดยูโรนิค เพคตินบางชนิด ไม่ละลายน้ำ พบมากในผนังเซลล์พืชโดยรวมตัวกับเซลลูโลส ทำหน้าที่ยึดเกาะผนังเซลล์ให้เชื่อมติดกัน สารประกอบเพคตินเป็นพอลิเมอร์สายยาวของกรดกาแลคทูโรนิก (D-galacturonic acid) ต่อกันด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่ง β-1,4 ในหมู่โมเลกุลของกาแลคทูโรนิกบางส่วนจะถูกเอสเทอริไฟด์ด้วยหมู่เมทิลได้เป็นเมทอกซิลเอสเทอร์ ซึ่งถ้ากลุ่มไฮดรอกซิล ในกรดถูกแทนที่ด้วยกลุ่มเมทิล สารประกอบเพคตินนั้นก็จะละลายได้ในสารละลายด่าง และมีบางส่วนที่ยังคงเหลือเป็นหมู่คาร์-บอกซิลอิสระ ในโมเลกุลของสารประกอบเพคตินที่สกัดได้จากธรรมชาติยังมีน้ำตาลชนิดอื่นๆปนอยู่ด้วย เช่น ไซโลส กาแลคโทส อะราบิโนส และแรมโนส โดยโมเลกุลของน้ำตาลจะเกาะอยู่เป็นสายแขนง น้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบเพคตินผันแปรอยู่ในช่วงประมาณ 10,000-400,000 ดาลตัน และมีกรดกาแลคทูโรนิกประมาณ 300-800 หน่วยต่อโมเลกุลของสารประกอบเพคทิน

ค. มัลซิเลดจ์ (Mucilage) ถูกหลั่งในเอนโดสเปิร์ม (endosperm) ของเซลล์พืช เพื่อทำหน้าที่ป้องกันการเกิดดีไฮเดรชั่น (dehydration) มากเกินไป

2.1.3.2 ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble dietary fiber)

ก. เซลลูโลส (Cellulose) เป็นโฮโมโพลีแซคคาไรด์สายตรงของน้ำตาลอีกชนิดและเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีมากที่สุดในโลก เพราะเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบที่อยู่ในผนังเซลล์ของพืช โดยรวมตัวอยู่กับพวกไซแลน (xylan) และลิกนิน (lignin) เซลลูโลสที่ได้จากแต่ละส่วนของพืชจะมีความแข็งแรง และความเหนียวแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับอายุและชนิดของพืช โมเลกุลของเซลลูโลสประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสมาต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่ง β-D-1,4 ซึ่งแตกต่างจากโมเลกุลของสตาร์ชที่น้ำตาลกลูโคสต่อกันด้วยพันธะไกลโค-ไซด์ที่ตำแหน่ง α-D-1,4 โมเลกุลของเซลลูโลสเป็นสายยาวไม่มีสายแขนง สายยาวจะมาเกาะกันตามแนวราบด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคส ทำให้โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลสเป็นพอลิคริสตัลไลน์ (polycrystalline) ที่แข็งแรงยึดเกาะกันเป็นเส้นใยเซลลูโลสมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 100,000-2,000,000 ดาลตัน

เซลลูโลสไม่ละลายน้ำ ทนต่อปฏิกิริยาของเอนไซม์ กรดและด่างที่เจือจางถูกย่อยได้ด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ร่างกายของคนและสัตว์บางชนิดไม่มีเอนไซม์เซลลูเลสในระบบย่อยอาหาร ทำให้ไม่สามารถย่อยเซลลูโลสจากพืชเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้ ส่วนสัตว์พวกที่กินพืชเป็นอาหาร เช่น โค และกระบือ สามารถย่อยเซลลูโลสได้เนื่องจากในกระเพาะมีจุลินทรีย์ ซึ่งมีเอนไซม์เซลลูเลสช่วยย่อยเซลลูโลสได้

ข. เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืช ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลเชิงเดี่ยว (monosaccharide) ชนิดต่างๆ ตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปที่มีคุณสมบัติในการละลายเหมือนกันคือ ละลายได้ในสารละลายด่าง น้ำตาลเชิงเดี่ยวนี้แบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ เพนโทแซนส์ (pentosans) และ เฮกโซแซนส์ที่ไม่ใช่เซลลูโลส (non cellulose hexosans) น้ำตาลเชิงเดี่ยวที่พบมากในเฮมิเซลลูโลสคือ ดี-ไซแลนส์ (D-xylans)และ ดี-กลูโค-ดีแมนแนนส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(D-gluco-D-mannans) และมีแขนงข้างเป็นน้ำตาลเชิงเดี่ยวชนิดอื่นๆ เช่น แอล-อะราบิโนส (L-arabinoses) เฮมิเซลลูโลสจำแนกออกตามชนิดของน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลได้เป็น ไซแลน (xylans) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลไซโลส แมนแนน (mannans) เป็นพอ-ลิเมอร์ของน้ำตาล แมนโนส กาแลคแทน (galactans) เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกาแลคโตส อะราบิโนกาแลค-แทน (arabinogalactans) กลูโคแมนแนน (glucomannans) และอะราบิโนไซแลน (arabionxylans)

ค. ลิกนิน (Lignin) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของแอลกอฮอล์ที่พืชผลิตเมื่อแก่ขึ้น ทำให้ส่วนต่างๆ ของพืชมีโครงสร้างที่แข็งแรง เช่น เปลือกนอกของธัญพืช ซึ่งถูกทำลายในกระบวนการขัดสี

2.1.4 คุณสมบัติของใยอาหารต่อร่างกาย (Gray, 2006)

2.1.4.1 ลดระดับคลอเลสเตอรอลในเลือด

มีการศึกษามากมายทั้งในคนและสัตว์ทดลองเพื่อทดสอบความสำคัญของใยอาหารชนิดต่างๆ ต่อการลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด ผลการศึกษาพบว่าใยอาหารที่ละลายน้ำสามารถลดระดับคลอเลสเตอรอลในเลือดของมนุษย์ และคลอเลสเตอรอลในเลือดและตับของสัตว์ทดลอง ใยอาหารที่ให้ผลนี้คือ เพคทิน จากการศึกษาพบว่า ส่วนใหญ่สามารถลดระดับคลอ-เลสเตอรอลในเลือดอยู่ในช่วงร้อยละ 5-10 และสามารถลดระดับคลอเลสเตอรอลได้สูงสุดถึงร้อยละ 25 การลดระดับคลอเลสเตอรอลในเลือดของใยอาหารที่ละลายน้ำถือเป็นการลดอัตราเสี่ยงของโรคหัวใจ สมมติฐานหนึ่งในการลดระดับคลอเลสเตอรอลในเลือดของใยอาหารที่ละลายน้ำคือ ใยอาหารจะทำให้การขับกรดน้ำดีเพิ่มมากขึ้นโดยใยอาหารจะไปล้อมรอบกรดน้ำดีทำให้ไม่สามารถย่อยไขมันได้ และคลอเรสเตอรอลในเส้นเลือดก็จะถูกดึงมาใช้ในการสร้างกรดน้ำดีขึ้นมาใหม่ ดังนั้นความเข้มข้นของคลอเลสเตอรอลในเลือดจึงลดลง

2.1.4.2 ช่วยทำให้ลำไส้ใหญ่ทำหน้าที่ได้ดีขึ้น

อาหารที่มีใยอาหารมีผลให้ลำไส้ใหญ่ลดเวลาที่ใช้ในการลำเลียงน้อยลง เพิ่มน้ำหนักอุจจาระ และมีการระบายบ่อยขึ้น ช่วยเจือจางปริมาณสารพิษในลำไส้ใหญ่และทำให้การเตรียมสารสำหรับถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่เป็นไปโดยปกติ ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เช่น รำข้าวสาลี ช่วยเพิ่มปริมาณอุจจาระอย่างมากอันเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เป็นโรคท้องผูกและริดสีดวงทวาร ผักและผลไม้ กัมส์ และมัลซิเลดจ์เพิ่มปริมาณอุจจาระปานกลาง ขณะที่ถั่วและเพคทินเพิ่มน้อยที่สุด

2.1.4.3 ช่วยป้องกันมะเร็งลำไส้และการเกิดถุงตันที่ลำไส้ใหญ่

มะเร็งลำไส้ใหญ่เป็นโรคที่เกิดจากเซลล์เยื่อบุผนังลำไส้เปลี่ยนแปลงและเจริญเติบโตผิดปกติจนไม่สามารถควบคุมได้ในระยะแรกการเจริญเติบโตของเซลล์จะไม่ใช่เนื้อร้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าไม่ได้รับการตรวจรักษาและตัดออกไปก็จะสามารถกลายเป็นเนื้อร้ายได้ ซึ่งจะใช้ระยะเวลานานหลายปี การบริโภคอาหารที่มีปริมาณใยอาหารน้อยก็เป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดโรค โดยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์ในระบบย่อยอาหาร ลดการรวมตัวของกรดน้ำดี เพิ่มเวลาของอาหารที่ตกค้างในลำไส้ใหญ่ ลดน้ำหนักและปริมาณอุจจาระตลอดจนลดความถี่ของการขับถ่ายอุจจาระ อันเป็นเหตุให้เกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่ได้ ส่วนโรคถุงตันมีความสัมพันธ์กับความอ่อนแอของผนังลำไส้โดยอาการท้องผูกจะทำให้เกิดการอักเสบของผนังลำไส้ เริ่มมีอาการระคายเคืองและการติดเชื้อ โดยเกิดจากแรงดันของอุจจาระแข็ง

2.1.5 แหล่งของใยอาหาร (สันทนา, 2537)

2.1.5.1 รำ

เป็นแหล่งที่มีใยอาหารรวมกันหลายชนิด รวมทั้งเซลลูโลสและเพคติน รำที่มาจากข้าวโพดช่วยป้องกันและลดอาการท้องผูก นอกจากนี้ยังช่วยลดปริมาณคลอเรสเตอรอลที่เป็นสาเหตุของหลอดเลือดแห้ง (atherosclerosis) ลดไขมันในเลือด ลดปริมาณน้ำตาลกลูโคสในเลือด ส่วนรำที่มาจากข้าวสาลีจะช่วยควบคุมปริมาณกลูโคสในผู้ป่วยโรคเบาหวาน โดยรำมีกากประมาณร้อยละ 12.7 และเพิ่มกากได้ดีกว่าแป้งที่ทำจากข้าวกล้องถึงประมาณ 5 เท่าตัว

2.1.5.2 ผักและผลไม้

ใยอาหารจากผักและผลไม้ไม่ได้ประกอบด้วยเซลลูโลสเพียงอย่างเดียว ใยอาหารในพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกันหรือแม้แต่ส่วนต่างๆของพืชชนิดเดียวกันก็จะมีใยอาหารที่แตกต่างกันด้วย เช่นผักคะน้า ก้านจะมีใยอาหารมากกว่าใบและดอก โดยปริมาณใยอาหารส่วนใหญ่จะมีมากเมื่อพืชแก่ ส่วนในผลไม้จะมีส่วนประกอบของใยอาหารดังที่แสดงในตาราง

ตารางที่ 1 แสดงส่วนประกอบของใยอาหารในผลไม้

ชนิดของผลไม้	ปริมาณใยอาหาร (กรัมต่อ 100 กรัม)
ส้มเขียวหวาน	1.30
มะม่วงดิบ	1.70
มะละกอ	2.30
กล้วยน้ำว้า	2.35
ฝรั่ง	5.00
ละมุด	5.60

ที่มา : สันทนา, 2537

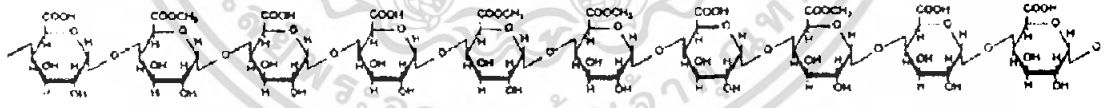
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เพคติน (pectin) (นิรนาม, 2551ง)

เพคตินเป็นสารประกอบโพลิเมอร์ที่พบในพืช จัดเป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตเช่นเดียวกับแป้งและเซลลูโลส ค้นพบในศตวรรษที่ 18 ทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้เกิดเจล ผู้ที่ตั้งชื่อและริเริ่มศึกษากรรมวิธีการสกัดเพคติน คือ Braconnot ในปีคริสตศักราช 1825 (Nussinovitch, 1997) เพคตินมาจากภาษากรีก แปลว่าตัวประสานหรือตัวทำให้แข็ง (congeal or solidity) ในทางการค้าจะสกัดเพคตินจากเปลือกผลไม้ตระกูลส้ม และกากแอปเปิ้ล การสกัดเพคตินทางการค้าเริ่มขึ้นในศตวรรษที่ 20 และพัฒนาเรื่อยๆ จนถึงปัจจุบัน สารประกอบเพคตินทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของเซลล์ และเป็นสารที่สำคัญในบริเวณชั้น middle lamella ที่ยึดเหนี่ยวเซลล์เข้าด้วยกันโดยจับกับเซลลูโลส เฮมิ-เซลลูโลส และไกลโคโปรตีนของผนังเซลล์พืช (Christensen, 1986) โดยเฉพาะบริเวณที่มีเนื้อเยื่ออ่อนนุ่ม เช่น ต้นอ่อน ใบ และผลไม้ การสกัดเพคตินนั้นจะใช้วิธีการสกัดด้วยกรดแล้วตกตะกอนด้วยเอธิลหรือเมธิลแอลกอฮอล์ จากนั้นทำให้แห้ง บดให้เป็นผงโดยให้มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 10 เก็บไว้ในถุงที่สามารถกันความชื้นได้ ควรเก็บรักษาไว้ที่เย็น และแห้ง

2.2.1 โครงสร้างของเพคติน

เพคตินในทางการค้า มีองค์ประกอบหลักเป็นสารโพลิเมอร์ของหมู่กาแลคทูโรนิกที่ต่อกันด้วยพันธะ แอลฟา (1-4) ดังรูปที่ 1 โดยโมเลกุลของเพคตินประกอบด้วยกรดกาแลคทูโรนิกที่เชื่อมต่อกันประมาณ 200-1000 หน่วย ส่วนใหญ่เพคตินจะถูกเอสเทอริไฟด์ หรือแทนที่ด้วยหมู่เมธอกซิล โดยใช้สารเอธิลหรือเมธิลแอลกอฮอล์ในการเอสเทอริไฟด์ แต่ในทางธรรมชาติเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ที่มีอยู่ในเซลล์พืช หรือเอนไซม์จากเชื้อยีสต์และเชื้อรา (May, 1997)



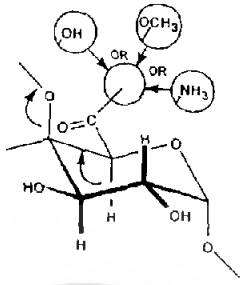
รูปที่ 1 ลักษณะโครงสร้างของเพคติน โดยมีหมู่โฮโมกาแลคทูโรแนน (Homogalacturonan) มาเชื่อมต่อกันเป็นสายยาว

ที่มา: Seymour และคณะ, 2002

เพคตินทางการค้าจะมีปริมาณหมู่กาแลคทูโรนิกประมาณร้อยละ 75 โดยมีการแทนที่ ด้วยหมู่เอสเทอร์ระหว่างร้อยละ30-80 ทั้งนี้ต้องควบคุมการเกิดเอสเทอริไฟด์ในเพคตินเพื่อให้ได้คุณสมบัติทางกายภาพ และความหนืดตามที่ต้องการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร หากหมู่ OCH_3 ในตำแหน่ง C-6 ถูกแทนที่ด้วยหมู่เอไมด์ ($-NH_2$) ซึ่งอาจถูกแทนที่ได้สูงสุดถึงร้อยละ 80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพคตินที่ได้จะเรียกว่า เอมิเดดเพคติน (amidated pectin) ดังรูปที่ 2 แสดงตำแหน่งของการเกิดเอส-เทอริฟิเค-ชัน และตำแหน่งของเอไมด์ในโมเลกุลของกรดกาแลคทูโรนิก



รูปที่ 2 สูตรโครงสร้างของกรดกาแลคทูโรนิกจากโมเลกุลของเพคติน
ที่มา: Seymour และคณะ, 2002

2.2.2 การสกัดเพคติน

การสกัดเพคตินสามารถใช้สารในการสกัดได้เพคตินเป็นกลุ่มต่างๆ โดยในเซลล์พืชที่ผ่านการล้างสิ่งเจือปนออกแล้ว นำมาสกัดด้วยน้ำร้อนหรือเย็น หรือสารละลายบัฟเฟอร์ เรียกเพค-ตินกลุ่มนี้ว่า เพคตินที่ละลายน้ำได้ (water soluble pectin) จากนั้นนำกากมาสกัดต่อด้วยสารเร่งปฏิกิริยา (chelating agents) ที่ร้อนหรือเย็น เช่น แอมโมเนียมออกซาเลต (ammonium oxalate) เอธิลีน ไดเอ-มีนเตตระอะซิติกแอซิด (EDTA) โซเดียมเฮกซะเมททาฟอสเฟต (sodium hexamethaphosphate) เรียกเพคตินกลุ่มนี้ว่าคีเลเตอร์โซลูเบิล เพคติน(Chelatorsoluble pectins) แล้วนำกากมาสกัดต่อด้วย 0.05 โมลาร์โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate) สกัดที่อุณหภูมิที่เย็นหรืออุณหภูมิห้อง เพคตินที่ได้เรียกว่าคาร์บอเนต-โซลูเบิล เพคติน (Carbonate-soluble pectins) และถ้านำกากที่เหลือมาสกัดต่อด้วยโซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride) หรือสารผสมกรดอะซิติก (acetic acid mixture) เพคตินที่ได้เรียกว่า Pectins bound by oxidative coupling

นอกจากนี้ยังมีทางเลือกในการใช้สารเคมีในสกัดเพคติน คือหลังจากการสกัดเพค-ตินกลุ่มที่ละลายได้ในสารละลาย chelating agent แล้ว นำกากมาสกัดด้วยกรดที่อุณหภูมิสูง เพคตินที่ได้เรียกว่าแอซิดโซลูเบิล เพคติน (Acid-soluble pectins) จากนั้นนำกากมาสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิที่เย็น 0 องศาเซลเซียส เพคตินที่ได้เรียกว่าอัลคาไรด์ โซลูเบิล เพคติน (Alkaline-soluble pectins)

สารประกอบเพคตินนั้นประกอบด้วยน้ำตาลจำนวนมาก แต่ยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัดว่าน้ำตาลนั้นเกาะในตำแหน่งใดของโครงสร้าง แต่อย่างไรก็ตามหากสกัดเพคตินจากพืชด้วยความระมัดระวัง และ มีการควบคุมการทำงานของเอนไซม์ พบว่าเพคตินที่สกัดได้จะมีโครงสร้างแบบ Block structure (De Vries และคณะ, 1986)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของเพคตินที่สกัดด้วยกรดเจือจางจะมีความแตกต่างกัน คือร้อยละ 5-10 ของกรดกาแลคทูโรนิกจะประกอบด้วยน้ำตาล เช่น กาแลคโทส กลูโคส แรมโนส อะราบิโนส และไซโลส โดยอาจจะเชื่อมกับกาแลคทูโรเนตซึ่งเป็นโครงสร้างสายหลักของเพคติน บางครั้งน้ำตาลแรมโนส อาจเป็นส่วนหนึ่งของโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) จำพวกกลูแคน (glucan) และไซโลกลูแคน (xyloglucans) ซึ่งถ้ามีสารเหล่านี้ในเพคติน เจลที่ได้จะมีคุณภาพไม่ดี เพคตินที่สกัดได้จากผลไม้ตระกูลส้ม แอปเปิ้ล เชอรี่ สตรอเบอรี่ แครรอท ฟักทอง หัวบีท มันฝรั่ง หัวหอม และกะหล่ำปลีส่วนใหญ่แล้วจะมีส่วนประกอบของน้ำตาลเหมือนกัน (Rolin และคณะ, 1990) น้ำตาลที่พบในเพคตินส่วนใหญ่จะเป็นกลุ่มแรมโนกาแลคทูโรแนน โดยบริเวณที่พบน้ำตาลประเภทนี้มากจะมักถูกเรียกว่า hairy region ทั้งนี้เนื่องจากน้ำตาลกลุ่มแรมโนกาแลคทูโรแนนจะมีลักษณะเป็นโพลีเมอร์ที่เชื่อมมาต่อสลับกับกรดกาแลคทูโรนิก แต่ถ้าเป็นน้ำตาลกาแลคทูโรแนนมาเชื่อมต่อกันเป็นสายยาวจะเรียกส่วนนี้ว่า smooth regions ทั้งนี้ปริมาณของ smooth regions หรือ hairy regions นั้นจะขึ้นอยู่กับเพคตินว่าสกัดมาจากส่วนใดของพืช และกรรมวิธีในการสกัดเพคติน

2.2.3 สมบัติทางเคมีของเพคติน

2.2.3.1 การเกิดเจลของเพคตินที่มีหมู่เมธอกซิลสูง

ในการเกิดเจลของเพคตินได้จะต้องมีปริมาณน้ำตาลและกรดที่เหมาะสมเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากสายเพคตินจะถูกดึงน้ำออก มีผลทำให้เพคตินมีประจุลบจึงทำให้ลดแรงระหว่าง สายโซ่ (chain-chain interaction) ความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมในการเกิดเจลของเพคตินชนิดที่เกิดเจลได้ช้า และเร็วนั้น คือ 3.2 และ 3.4 ตามลำดับ ที่ความเป็นกรด-ด่างต่ำ ค่าความคงตัวของเจล (gel strength) จะเพิ่มมากขึ้น และอุณหภูมิในการเกิดเจลก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย

สภาวะที่เหมาะสมในการเกิดเจลนั้นมีหลายปัจจัย ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำตาลสูงๆ พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างจะเพิ่มมากขึ้น โดยน้ำตาลจะมีผลต่ออัตราการเกิดเจล โดยพบว่าหากใช้กลูโคสไซรัปทดแทนน้ำตาลจะมีผลทำให้ความคงตัวของเจล (gel strength) ลดลง แต่ต้องใช้อุณหภูมิในการเกิดเจลเพิ่มมากขึ้น ในการใช้น้ำตาลฟรุกโตสทดแทนน้ำตาล จะมีผลต่อความคงตัวเจล (gel strength) น้อย แต่จะมีผลต่อการลดลงของอุณหภูมิในการเกิดเจล

2.2.3.2 การเกิดเจลของเพคตินที่มีหมู่เมธอกซิลต่ำ

ในการเกิดเจลของเพคตินที่มีหมู่เมธอกซิลต่ำนั้นขึ้นอยู่กับหลายๆ ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณ Ca^{2+} ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของน้ำตาล ปริมาณของเพคติน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการเกิดเจลและค่าความคงตัวของเจลที่ต้องการในการเตรียมเจลมาตรฐานต้องประกอบด้วยความเป็นกรด-ด่าง 3.0 ปริมาณน้ำตาลร้อยละ 30 โดยให้มีเพคตินร้อยละ 1 และสารประกอบแคลเซียม โดยเพคตินชนิดนี้จะไม่สามารถเกิดเจลได้หากมีปริมาณแคลเซียมไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพียงพอ แต่ถ้าหากเพิ่มปริมาณของแคลเซียม ค่าความคงตัวของเจล ก็จะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่งแล้วจะลดลง อุณหภูมิในการเกิดเจลก็จะเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิปกติ และจุดเดือดจะเพิ่มมากขึ้นตามความคงตัวของเจลที่เพิ่มขึ้น

การลดลงของค่า a_w เนื่องจากการละลายของน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น จะสามารถเกิดเจลได้ง่าย แม้ว่าจะมี Ca^{2+} ต่ำ และเป็นเพคตินที่ไม่ไวต่อ Ca^{2+} หากต้องการใช้น้ำตาลเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 60 จะต้องใช้ Ca^{2+} เพิ่มมากขึ้นตามปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น

2.2.4 สมบัติทางกายภาพของเพคติน

2.2.4.1 สมบัติการละลายของเพคติน

เพคตินสามารถละลายในน้ำเย็น และทำให้เกิดความข้นหนืดได้เช่นเดียวกับกัมส์ชนิดอื่นๆ แต่ผงเพคตินจับกันเป็นก้อนได้ง่ายมีผลทำให้ละลายได้ช้า และยาก เพคตินจะสามารถละลายได้ดีในน้ำอุ่น หรือน้ำที่มีอุณหภูมิมากว่า 60 องศาเซลเซียส แล้วทำการผสมด้วยเครื่องผสมความเร็วจากต่ำไปหาสูงสุด ต้องระวังไม่ให้เพคตินจับกันเป็นก้อนเพราะจะทำให้ละลายได้ยาก อีกวิธีที่ละลายเพคตินได้ดีนั้นจะต้องผสมเพคตินกับน้ำตาลโดยอัตราส่วนของเพคติน 1 ส่วน กับน้ำตาล 5 ส่วน หรือกับสารละลายอื่นๆ เช่น สารละลายน้ำตาล ความเข้มข้นร้อยละ 65 หรือแอลกอฮอล์เพื่อทำให้เพคตินเปียก ถ้าไม่ได้ผสมด้วยเครื่องผสมความเร็วสูง ให้ต้มประมาณ 1 นาที เพื่อให้มั่นใจได้ว่าเกิดการละลายได้หมด (Rolin และคณะ, 1990) การตรวจดูว่ามีการละลายเกิดขึ้นสมบูรณ์หรือไม่ สามารถทำได้โดยการดูฟิล์มของสารละลายบนไม้พาย หรือใบมีดที่สะอาดจะต้องใสไม่มี ส่วนคล้ายเม็ดทรายอยู่

2.2.4.2 ความหนืดของเพคติน

ความหนืดของเพคตินขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเพคติน ปริมาณแคลเซียม ปริมาณความเป็นกรด-ด่าง ชนิดของเพคติน และขนาดของมวลโมเลกุล ดังนี้

1) ความเข้มข้นของเพคติน สารละลายเพคตินเจือจางจะให้การไหลแบบนิวโต-เนียน (Newtonian) ถ้าสารละลายเพคตินมีความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 1 สารละลายเพคตินจะมีคุณสมบัติเป็นซูโดพลาสติก โซลูชั่น (Pseudoplastic solution) (Kawakatsu, 2001)
2) ความเป็นกรด-ด่าง ถ้าเพิ่มความเป็นกรดด่างพบว่า ความหนืดของสารละลายเพคตินจะเพิ่มขึ้นด้วย ถ้าความเป็นกรดด่างลดลงเป็น 2.5-5.5 สารละลายเพคตินจะอยู่ในรูปของ Thixotropic solution สารละลายที่มีประจุ+1 จะลดความหนืดของสารละลายเพคติน เพราะแรงดึงดูดระหว่างประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) มวลโมเลกุล เพคตินที่มีมวลโมเลกุลสูง จะทำให้สารละลายมีความหนืดสูงขึ้นด้วย การหาน้ำหนักโมเลกุลของเพคตินสามารถทำได้โดยการหาค่า intrinsic viscosity ในทางตรงกันข้ามเมื่อเจือจางสารละลายและไม่มีแคลเซียมสารละลาย จะมีความหนืดลดลง การเตรียมสารละลายเพคตินให้มีเนื้อสัมผัสแตกต่างกันนั้น สามารถทำได้โดยผสมเพคตินชนิดต่างๆหรือผสมเพคตินให้มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (Michel และคณะ, 1985)

4) ปริมาณของ Ca^{2+} เพคตินที่มีหมู่เมธอกซิลสูงไม่ต้องการแคลเซียมในการเกิดเจล แต่เพคินที่มีหมู่เมธอกซิลต่ำต้องการแคลเซียมในการเกิดเจล แต่สามารถแบ่งเพคตินออกตมความไวต่อ Ca^{2+} ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่เกิดเจลช้าเนื่องจากความไวต่อแคลเซียมต่ำ และกลุ่มที่เกิดเจลได้เร็ว มีความไวต่อ Ca^{2+} สูง กลุ่มหลังนี้หากเพิ่มปริมาณแคลเซียมความหนืดของสารละลายเพคตินก็จะสูงขึ้นด้วย

2.2.5 ประโยชน์ของเพคติน

เนื่องจากสารประกอบเพคตินมีความสามารถในการพองตัวเมื่อละลายน้ำ และเกิดเจลได้ในสภาวะที่เหมาะสม จึงมีการนำสารประกอบเพคตินในรูปต่างๆ ไปใช้ในอุตสาหกรรมมากมาย เช่น ใช้เป็นสารเพิ่มความข้นหนืด และทำให้เกิดเจลในอุตสาหกรรมอาหารต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมการทำแยม ใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารเด็กเพื่อลดการระคายเคืองอันเนื่องมาจากการบีบตัวของทางเดินอาหาร ใช้เป็นสารช่วยลดคลอเรสเตอรอล เป็นตัวที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของยาให้นานขึ้น ลดระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยที่เป็นโรคฮ้วน และโรคเบาหวาน กรดเพคติกใช้ เป็นส่วนประกอบในอาหารและเครื่องดื่มหลายชนิดโดยเฉพาะอย่างยิ่งในอาหารของผู้ป่วยที่เป็น โรคเบาหวาน เนื่องจากกรดเพคติกจะทำให้อาหารที่มีปริมาณน้ำตาลน้อยเกิดความข้นหนืดขึ้นเมื่อทำปฏิกิริยากับเกลือแคลเซียม สามารถลดความเป็นพิษของสารประกอบพวกโลหะหนักเช่น ปรอท และตะกั่ว ผลผลิตที่ได้จากการย่อยสารประกอบเพคตินในลำไส้ส่วนโคลอน (colon) ใช้เป็นสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเชื้อที่ทำให้เกิดอาการท้องร่วง

2.3 สับปะรด (จารุพันธ์, 2519)

2.3.1 ลักษณะทั่วไป

สับปะรด เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว จัดอยู่ในแฟมิลีโบรมิไลสิอี (family Bromeliaceae) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ananas comosus* ซึ่งเป็นพืชที่มีใบประเภทอุ้มน้ำ และมีดอกแยกเป็นสามส่วน ใบยาวขึ้นเป็นเกลียวรอบต้น พืชในตระกูลโบรมิไลสิอี นี้ประกอบด้วย 2,000 สปีชีส์ จากจำนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จีนัส ทั้งหมด 46 จีนัสและทั้งหมดของพืชในตระกูลนี้เป็นพืชที่ขึ้นในเขตร้อนและร้อนชื้น โดยมีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปอเมริกา มีเพียงหนึ่งสปีชีส์ ที่พบในทวีปอาฟริกาตะวันตก สับปะรดที่เราคุ้นเคยและรับประทานกันมีเพียง สปีชีส์เดียว มีบางสปีชีส์ ที่ปลูกเพื่อใช้ทำเป็นเส้นใย บางชนิดใช้ลูกเป็นไม้ประดับ และเป็นอาหารสัตว์ พืชอีกชนิดหนึ่งชื่อ Bromeliads เป็นไม้ประดับของทวีปอเมริกา จัดเป็นพืชโบราณที่มีวิวัฒนาการเช่นเดียวกับสับปะรด พืชโบราณซึ่งจัดเป็นบรรพบุรุษของสับปะรดบางจีนัส อาจมีความสูงถึง 10 เมตร พืชในจีนัส เหล่านี้ทั้งหมดเป็นพืชที่ขึ้นบนบก มีลำต้นยาว มีรากจำนวนมาก ใบแคบ และมีขนเพื่อช่วยลดการสูญเสียน้ำ ปัจจุบันสับปะรดได้แพร่กระจายไปยังเขตร้อนและร้อนชื้นทั่วโลก ส่วนใหญ่เป็นการปลูกเพื่อบริโภคผลสด และทำเป็นน้ำผลไม้ สับปะรดที่ปลูกกันทั่วไปจะมีความสูงประมาณ 1 เมตร ลำต้นสั้นใบและก้านดอกจะขยายยาว แหล่งปลูกสับปะรดที่ใหญ่ที่สุดคือที่รัฐฮาวายของสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีพื้นที่ปลูก 1 ใน 3 ของโลก และผลิตสับปะรดกระป๋องได้ถึงร้อยละ 60 ของโลก รองลงไปได้แก่ จีน บราซิล และเม็กซิโก

2.3.1.1 พฤษศาสตร์ของสับปะรด

การศึกษาทางชีววิทยาด้านพฤษศาสตร์ของสับปะรด เป็นการศึกษาเพื่อพัฒนาไปสู่ความรู้ทางชีววิทยาด้านอนุกรมวิธาน สัณฐานวิทยา และพันธุศาสตร์ของสับปะรด เพื่อใช้เป็นการเทียบเคียงระหว่างพืชชนิดเดียวกันและพืชในวงศ์ที่ใกล้เคียงกัน สับปะรดถูกจัดอยู่ในประเภทไม้ดิน (terrestrial) อยู่ในวงศ์โบรมิไลสิอี ซึ่งมีพืชในวงศ์นี้ประมาณ 2000 ชนิด พืชในวงศ์นี้อาจแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดตามสภาพความเป็นอยู่คือ

1) พวกที่เจริญเติบโตโดยมีรากหาอาหารบนพื้นดิน (The terrestrials)

2) พวกที่เจริญเติบโตบนต้นไม้ โดยมีรากอากาศ คล้ายกล้วยไม้ (The epiphytes)

3) พวกที่เจริญเติบโตอยู่บนผาหินหรือโขดหิน (saxicolous)

สับปะรดแม้ว่า จะถูกจัดเป็นพืชดิน แต่มีลักษณะบางอย่างของพืชในกลุ่มที่ 2 ด้วยเหมือนกัน กล่าวคือมีเซลล์สำหรับเก็บน้ำเอาไว้ในใบทำให้ทนทานต่อสภาพแห้งแล้ง

2.3.1.2 สัณฐานวิทยาและกายวิภาคของสับปะรด

สับปะรดพันธุ์ที่ปลูกเป็นการค้า ได้แก่พันธุ์ปัตตาเวีย (Cayenne variety) มีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

1) ลำต้น (stem) ประกอบด้วยปล้องสั้น ๆ และใบมากมาย

2) ก้านผล (peduncle) คือ ก้านพยุงผล ซึ่ง มีใบเล็กๆ ติดอยู่ เชื่อมติดกับส่วนบนของลำต้น ก้านผลนี้อาจมีตาเล็กๆ ติดอยู่ ถ้าสภาพเหมาะสมจะพัฒนาไปเป็นตะเกียง

3) ตะเกียง (slip) คือ หน่อที่เกิดจากตาบนก้านผล ตะเกียงนี้ถ้านำไปปลูกขยายจะกินเวลา 18 –20 เดือนจึงจะให้ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ใบ (leaf) รูปร่างแคบ ยาว เรียว จำนวนใบอาจมีถึง 50 ถึง 100 ใบต่อต้น ขึ้นกับความอุดมสมบูรณ์

5) ผล (multiple fruit) จัดเป็นผลรวมที่เกิดจากการเชื่อมติดกันของผลย่อย (จำนวน 100 ถึง 200 ผล) เข้ากับแกนกลางของช่อดอก

6) จุก (crown) ส่วนขยายพันธุ์ที่มีลักษณะคล้ายหน่อ แต่เกิดขึ้นบนส่วนยอดของผลใช้ปลูกขยายพันธุ์ได้ดี ตามปกติหนึ่งผลจะมี 1 จุก ถ้านำไปปลูกขยายพันธุ์จะกินเวลานาน 22 ถึง 24 เดือน

7) หน่ออุ้มลูก (hapas) คือ หน่อที่เกิดจากตาในบริเวณจุดเชื่อมระหว่างก้านผล และลำต้นใช้ขยายพันธุ์ได้เช่นเดียวกับหน่อข้าง

8) หน่อข้าง (aerial sucker) คือ หน่อที่เกิดจากตาบนลำต้น ใช้ขยายพันธุ์ได้ดีโดยจะกินเวลาประมาณ 14 ถึง 16 เดือนจึงจะให้ผล

9) หน่อดิน (underground sucker) เป็นหน่อที่เกิดจากตาบนลำต้นส่วนที่อยู่ใต้ผิวดิน

10) ราก (root) อาจแบ่งได้เป็น 2 พวกคือ รากเหนือดิน และรากใต้ดิน ทำหน้าที่หาอาหารและยึดเหนี่ยวลำต้น

2.3.1.3 การจำแนกทางอนุกรมวิธานของสับปะรด

Kingdom Plant Kingdom

Sub-kingdom Spermatophyta

Class Angiospermae

Sub-class Monocotyledones

Order Farinosae

Family Bromeliaceae

Genera *Ananas* and *Pseudananas*

Species *comosus*

Scientific name ของสับปะรด คือ *Ananas comosus* (L.) Merr.

2.3.1.4 ถิ่นกำเนิดของสับปะรด

สับปะรดเป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกากลาง และอเมริกาใต้ การเพาะปลูกสับปะรดมักทำในบริเวณที่อากาศไม่หนาว หรืออุณหภูมิต่ำใกล้จุดเยือกแข็ง ผลผลิตรวมของสับปะรดทั้งโลกประมาณ 3.5 ล้านตัน ซึ่งในจำนวนนี้ประมาณ 2 ใน 3 ของผลผลิตใช้บริโภคสดในแหล่งที่ปลูกสับปะรดนั่นเอง การค้าขายสับปะรดระหว่างประเทศ มักทำกันใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบของการบรรจุกระป๋อง หรือน้ำสับปะรด มีจำนวนน้อยที่มีการค้าสับปะรดระหว่างประเทศ นอกจากนั้นใบของสับปะรดยังมีเส้นใยมากซึ่งบางประเทศ เช่น ที่ฟิลิปปินส์ และไต้หวัน นำมาผลิตเป็นเส้นใยและเครื่องนุ่งห่มได้ หรือแม้แต่การนำไปผลิตกระดาษ ต้นและผลของสับปะรดสามารถนำมาสกัดเอาเอนไซม์เพื่อย่อยโปรตีน (protease) ชื่อว่าโบรมิเลน (Bromelain) ซึ่งคล้ายกับปาเปน (papain) ซึ่งผลิตได้จากมะละกอ

สับปะรดจัดเป็นพืชที่มีอายุข้ามปี (perrenial) ซึ่งอาจมีอายุถึง 50 ปี หากปลูกด้วยเมล็ดอาจให้ผลเมื่ออายุได้ 4 ปี แต่ถ้าปลูกด้วยหน่อซึ่งทำ เป็นการค้านั้นจะใช้เวลาประมาณ 3 ปี ต่อการเก็บเกี่ยว 2 ครั้ง จากการศึกษาทางพันธุศาสตร์พบว่าพืชในจีนัสอะนานัส (genus *Ananas*) และซูดานานัส (*Pseudananas*) มีความใกล้ชิดหรือเกี่ยวพันกันมาก โดยมีลักษณะของผลคล้ายกันต่างกันที่สับปะรดซึ่งอยู่ในจีนัสอะนานัส มียอดที่ผลซึ่งเรียกว่าจุก หรือ crown ในภาษาอังกฤษ แต่พืชในจีนัสซูดานานัสไม่มี พืชที่มีความใกล้ชิดอย่างยิ่งกับ สับปะรด (*A. comosus*) ได้แก่ *A. bracteatu, A. fritzmuelleri, A. parguazensis, A. ananssoides, A. erectifolius,* โดยเฉพาะ *A. bracteatus* ซึ่งยังคงมีการปลูกอยู่ทางทวีปอเมริกาใต้ ลักษณะที่แตกต่างที่สำคัญระหว่างพันธุ์สับปะรดที่ใช้ปลูกกับพืชที่ใกล้เคียงกันได้แก่ลักษณะ self-incompatibility ซึ่ง เป็นลักษณะเด่นของสับปะรดที่ทำให้ไม่มีเมล็ด ในขณะที่พันธุ์พืชอื่นในจีนัส อะนานัส มีลักษณะ self compatibility หรือลักษณะของการผสมตัวเองและเกิดเป็นเมล็ดนั่นเอง

2.3.2 พันธุ์สับปะรด

โดยทั่วไปแล้วสับปะรดที่ปลูกกันเป็นการค้าทั่วโลกอาจแบ่งออกได้เป็น 5 กลุ่มใหญ่ๆ คือ Cayenne Queen Spanish Abacaxis และ Maipure

กลุ่ม Cayenne จัดเป็นสับปะรดที่ปลูกกันมากที่สุด เพราะเหมาะแก่การผลิตเป็นสับปะรดกระป๋อง และการนำ ไปบริโภคสด ซึ่งสับปะรดในกลุ่มนี้อาจแบ่งออกเป็นสายพันธุ์ย่อยๆ ได้อีกสำหรับพันธุ์สับปะรดที่ปลูกในประเทศไทยที่จัดอยู่ในกลุ่ม Cayenne ได้แก่ พันธุ์ปัตตาเวีย พันธุ์นางแล และพันธุ์น้ำผึ้ง ลักษณะเฉพาะของพันธุ์สับปะรดในกลุ่ม cayenne ได้แก่ ใบ จะมีขอบใบเรียบ มีหนามเฉพาะที่ปลายใบ ผลมีน้ำหนัก 2.3 –3.6 กิโลกรัม ทรงกระบอก ตาตื้น เปลือกสีส้มเข้ม เนื้อสีเหลืองอ่อนถึง เหลือง รสหวาน หรือ หวานอมเปรี้ยว เส้นใยน้อยเนื้อนุ่ม

กลุ่ม Queen เช่น พันธุ์ภูเก็ต หรือสิงคโปร์ มีผลค่อนข้างเล็ก ประมาณ 0.7 กิโลกรัม แต่มีรสหวาน เนื้อละเอียด มีเส้นใยน้อย ใช้ปลูกเพื่อรับประทานผลสด และส่งออกจำหน่ายต่างประเทศทั้งผล เนื่องจากผลมีขนาดเล็ก ข้อเสียของพันธุ์ในกลุ่มนี้คือ ตาลึก เปลือกหนา และมีหนามที่ขอบใบมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

กลุ่ม Spanish เป็น กลุ่มที่มีปลูกกันไม่มากนัก พันธุ์ในประเทศไทยได้แก่ อินทรชิต และพันธุ์ขาว พันธุ์ในกลุ่มนี้เนื้อจะสีเหลืองอ่อนถึงขาว มีเยื่อใยมาก รสเปรี้ยว ไม่เป็นที่นิยมมากนัก

กลุ่ม Abacaxis ปลูกกันมากในบราซิล ผลมีรูปร่างทรงกระบอกยาว เนื้อสีเหลืองอ่อนถึงขาว ฉ่ำน้ำ มีเยื่อใยน้อย ผลมีแกนเล็ก

2.3.3 พันธุ์สับปะรดที่ปลูกในประเทศไทย

จารุพันธ์ (2526) ระบุว่ามีการปลูกสับปะรดในประเทศไทยเป็นเวลานานแล้ว โดยการสันนิษฐานว่าชาวโปรตุเกสเป็นชาติแรกที่นำมาเผยแพร่ยังกรุงศรีอยุธยา ในตอนต้นคริสต์ศตวรรษที่ 16 จากนั้นก็มีการนำ พันธุ์สับปะรดเข้ามาอีกหลายครั้ง ซึ่งพันธุ์สับปะรดที่ปลูกในปัจจุบันอาจมีชื่อเรียกต่างกันไปตามท้องที่แต่ที่พบมากมีดังนี้คือ

2.3.3.1 พันธุ์ปัตตาเวีย (Smooth Cayenne; Sarawak, Kew)

สับปะรดพันธุ์นี้เริ่มเข้ามาแพร่หลายในประเทศไทยและได้รับความนิยมอย่างมาก โดยเราอาจรู้จักในนามสับปะรดศรีราชา ทั้งนี้เพราะบาทหลวงผู้หนึ่งได้นำพันธุ์มาจากประเทศอินเดียและปลูกทดลองในไร่ของโรงเรียนอัสสัมชัญศรีราชา จังหวัดชลบุรี ส่วนที่เรียกว่าสับปะรดปัตตาเวีย นั้นอาจเป็นเพราะมีชาวมลายูได้นำ เอาพันธุ์สับปะรดนี้มาจากประเทศอินโดนีเซีย มาปลูกแพร่หลายที่อำเภอปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จนมีผู้รู้จักในนามสับปะรดปราณบุรี อย่างไรก็ตามไม่ว่าจะเป็นชื่อ ศรีราชา ปัตตาเวีย และปราณบุรี ทั้งหมดจัดอยู่ในกลุ่มของพันธุ์ Smooth Cayenne ซึ่งเป็นพันธุ์เดียวกับที่ปลูกยังแหล่งผลิตสำคัญอื่นๆ ของโลก โดยที่เป็นพันธุ์ที่มีรสหวานและรูปทรงดีจึงเหมาะแก่การปลูกเป็นอุตสาหกรรม สับปะรดพันธุ์นี้มีใบสีเขียวเข้ม ผิวใบด้านบนเป็นมันเงา ขอบใบเรียบ กลางใบมักมีสีแดงอมน้ำตาล ปลายใบมีหนามเล็กน้อย ช่อดอกมีดอกย่อยเฉลี่ยประมาณ 150 ดอก กลีบดอกสีม่วงอมน้ำเงิน ผลอาจมีขนาดใหญ่ เปลือกผลสีเขียวปนดำ ตาตื้น เนื้อในสีเหลืองอ่อนถึงเหลืองเข้ม

2.3.3.2 พันธุ์อินทรชิต หรือ อินทรชิตแดง (Singapore Spanish)

จัดเป็นสับปะรดพันธุ์ที่เก่าแก่ที่สุดของประเทศไทย ซึ่งสันนิษฐานว่าชาวโปรตุเกสเป็นผู้นำ เอามาเผยแพร่ในประเทศไทยสมัยกรุงศรีอยุธยา และมีการขยายพันธุ์สืบต่อกันมาจนกลายเป็นพันธุ์พื้นเมือง สับประรดพันธุ์อินทรชิตมีทรงต้นใหญ่ขนาดเดียวกับพันธุ์ปัตตาเวีย แต่มีหนามคมรูปโค้งงอสีน้ำตาลอมแดงที่ขอบใบ ใบมีสีเขียวอ่อน ลักษณะด้านไม่เป็นมัน ใบไม่เป็นร่องเช่นพันธุ์ปัตตาเวีย ผลมีขนาดเล็กกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย ตาลึก เนื้อสีเหลืองทองเมื่อแก่ รสหวานอ่อนไม่หอม มีเส้นใยมาก ผลเล็กเกินกว่าจะบรรจุกระป๋อง อาจมีตะเกียงที่ก้อนผล ทนทานต่อโรครากและไส้เน่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
84006

2.3.3.3 พันธุ์ขาว (Green Spanish)

เป็นพันธุ์สับปะรดที่มีทรงพุ่มเตี้ย ใบแคบและสั้นกว่าพันธุ์อินทรชิตขอบใบเต็มไปด้วยหนาม เนื้อมีสีเหลืองทองรสหวานอ่อน คุณภาพของเนื้อไม่ดีนัก ผลมักมีหลายจุกเข้าใจว่าเป็นพันธุ์ที่กลายมาจากอินทรชิต

2.3.3.4 พันธุ์ภูเก็ต หรือ พันธุ์สวี (Mauritius Pine, Malacca Queen, Ceylon, Red Ceylon)

ใบของสับปะรดพันธุ์นี้จะแคบและยาวกว่าพันธุ์ขาวและอินทรชิต ใบมีสีเขียวอ่อนและมีแถบสีแดงตอนกลางใบ ขอบใบเต็มไปด้วยหนามสีแดง ผลมีขนาดเล็ก เนื้อสีเหลืองรสหวานกรอบ มีกลิ่นหอม นิยมบริโภคสด ปลูกกันมากในจังหวัดภูเก็ตและชุมพร

2.3.3.5 พันธุ์นางแลหรือพันธุ์น้ำผึ้ง

สับปะรดพันธุ์นี้อาจจัดเป็นสายพันธุ์ย่อยของพันธุ์ปัตตาเวีย ซึ่งเป็นพันธุ์ใน กลุ่มของ Cayenne โดยมีรูปทรงของใบและดอกคล้ายคลึงกับพันธุ์ปัตตาเวียมาก ขอบใบไม่มีหนาม คงมีหนามเล็กน้อยที่ปลายใบ กล่าวกันว่ามีผู้นำพันธุ์นี้มาจากประเทศศรีลังกา และมาปลูกที่ตำบลนางแล อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย จึงมีผู้เรียกว่าพันธุ์นางแล

2.3.3.6 พันธุ์ตราดสีทอง

จัดเป็นสับปะรดสายพันธุ์ใหม่ที่ถูกพัฒนาโดยเกษตรกรจังหวัดตราด มีลักษณะผสมระหว่างสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย และสับปะรดภูเก็ต ผลเล็ก เนื้อฉ่ำน้ำและหวาน

ตารางที่ 2 แสดงลักษณะที่ดีและไม่ดีของสับปะรดพันธุ์ต่างๆ

ลักษณะที่ดี	ลักษณะที่ไม่ดี
1. พันธุ์ปัตตาเวีย คุณสมบัติในการบรรจุกระป๋องนับว่าดี ทนทานต่อความแห้งแล้ง และขาดน้ำได้ดีกว่าพันธุ์อื่นๆ ขอบใบเรียบ เนื้อในสีเหลือง เนื้อฉ่ำ รสหวาน	ไม่พบตะเกียง ไม่ทนต่อโรคมาก และต้นเน่าไม่ทนต่อโรคผลแกน รูปทรงของผลขนาดใหญ่ไม่ดี
2. พันธุ์ภูเก็ต รูปร่างทรงกระบอกสม่ำเสมอดี รสชาติดี เนื้อหวานกรอบ มีกลิ่นหอม เนื้อสีเหลืองจัด ตอบสนองสารเร่งดอกได้ดี การบรรจุกระป๋องไม่ค่อยดีนัก	ตาลึก เนื้อมีช่องว่างเป็นโพรง ในมีหนามมาก หน่อมากเกินไปจนเป็นกอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 (ต่อ) แสดงลักษณะที่ดีและไม่ดีของสับปะรดพันธุ์ต่างๆ

ลักษณะที่ดี	ลักษณะที่ไม่ดี
3. พันธุ์นางแล ผลมีเปลือกบางมาก รสหวานแหลม เนื้อมีเยื่อใยน้อยสีเหลืองจัด ขอบใบมักเรียบ	ผลมีขนาดเล็ก ทรงกลม ผลย่อยนูนพอง ขนส่งทางไกลไม่ค่อยดี
4. พันธุ์อินทรชิต ทนต่อดินเหนียวและการระบายน้ำที่ไม่ดี ทนต่อโรคเน่า เปลือกผลหนา ทนต่อการ ขนส่ง เนื้อสีเหลือง ตอบสนองต่อสารเร่งดอก ได้ดี	ไม่ค่อยทนแล้ง ผลขนาดเล็ก ตาเล็ก ตาลึกใบหนามาก เนื้อมีเยื่อใยมาก มีหลายจุก

ที่มา : นิรนาม, 2550

2.3.4 ประโยชน์ของสับปะรด

2.3.4.1 ผลสับปะรด

ผลสับปะรดซึ่งประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นเนื้อและน้ำนั้นมีประโยชน์มากมาย ตั้งแต่การบริโภคผลสด รวมถึงเป็นสินค้าส่งออกต่างประเทศ นอกจากนี้ยังนำส่วนเนื้อสับปะรดมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ สับปะรดกวน สับปะรดอบแห้ง สับปะรดในน้ำเชื่อม (บรรจุกระป๋อง) และแยมสับปะรด เป็นต้น ในส่วนน้ำสับปะรดที่คั้นได้สามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ เครื่องดื่มน้ำสับปะรด ไวน์ และน้ำส้มสายชูเป็นต้น

2.3.4.2 หน่อหรือจุกสับปะรด

หน่อสับปะรด คือ ส่วนที่แตกขยายออกจากลำต้นเดิม จุกสับปะรด คือ ส่วนที่อยู่บนยอดผลสับปะรด ทั้งหน่อและจุกสับปะรด สามารถใช้ประโยชน์ในการขยายพันธุ์ได้เช่นเดียวกัน ส่วนใหญ่แล้วจะนิยมใช้หน่อในการพันธุ์ เนื่องจากต้นโตเร็ว และได้ผลผลิตเร็วกว่าการใช้จุกขยายพันธุ์

2.3.4.4 ใบ

ปกติชาวไร่สับปะรดจะฟันใบสับปะรดในช่วงก่อนบังคับการออกดอก ซึ่งเศษใบที่ฟันนั้นมีประโยชน์ในการคลุมหน้าดินและย่อยสลายเป็นปุ๋ยในแปลงสับปะรดต่อไป นอกจากนี้ ในปัจจุบันใบสับปะรดเป็นเศษวัสดุที่มีมูลค่า เนื่องจากมีการนำใบสับปะรดมาแปรรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นผ้าใยสับปะรด เป็นผ้าพื้นเมืองของประเทศฟิลิปปินส์ และกระดาษใบสับปะรด ซึ่งกำลังเป็นที่ต้องการของตลาด เพราะสามารถนำไปประดิษฐ์เป็นสิ่งของเครื่องใช้อื่นๆ ได้อีกมากมาย

2.3.4.5 เปลือก

เปลือกสับปะรดที่เหลือจากโรงงานแปรรูปสับปะรด มีประโยชน์มาก เนื่องจากส่วนตาที่เปลือกสับปะรดนั้นอุดมด้วยสารอาหารที่มีคุณค่า จึงมีการนำเปลือกสับปะรดมาเป็นอาหารของโค และสามารถอบแห้งเป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์อื่นๆ นอกจากนี้ยังนำมาทำเป็นน้ำปุ๋ยชีวภาพได้เป็นอย่างดี

2.3.4.6 แกน

แกนสับปะรดคือ ส่วนที่อยู่กลางผลต่อจากก้าน ปกติไม่นิยมนำมารับประทานสด เพราะเนื้อสัมผัสแข็งกระด้าง จึงได้นำมาแปรรูปเป็นแกนสับปะรดอบแห้ง และแกนสับปะรดหยี เพื่อเพิ่มมูลค่าได้อีกส่วนหนึ่ง

2.3.5 องค์ประกอบทางเคมีของสับปะรด

องค์ประกอบทางเคมีของสับปะรดแสดง ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ส่วนประกอบทางเคมีแยกวิเคราะห์ตามส่วนต่างๆ ของสับปะรด (ร้อยละของวัตถุแห้ง)

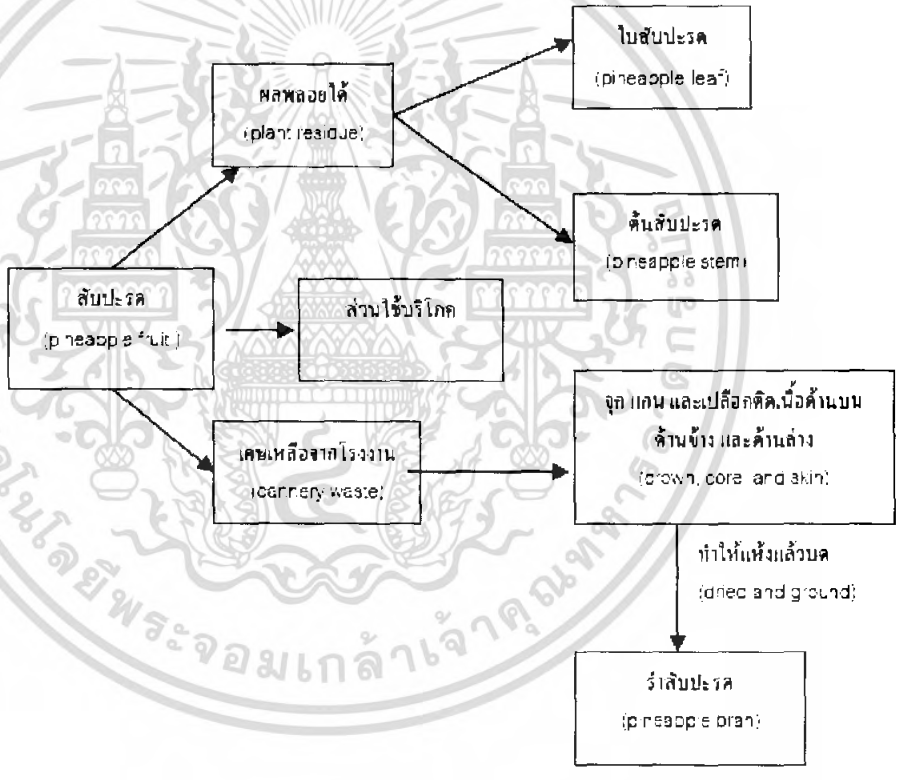
ส่วนประกอบ	เปลือกด้านข้าง	ส่วนหัว	ส่วนล่าง	แกน(ไส้)	เศษเนื้อ
ความชื้น	85.8	84.9	85.9	88.6	84.5
โปรตีน	4.4	4.1	5.4	3.2	3.6
ไขมัน	1.5	1.2	1.4	1.3	1.2
เยื่อใย	8.1	11.6	13.4	8.9	4.7
เถ้า	4.9	5.4	7.6	3.8	4.2
NFE	81.1	77.7	72.2	82.8	86.3
NDS	72.9	61.2	53.1	73.1	85.5
NDF	27.1	38.8	46.9	26.3	14.5
ADF	12.1	17.1	20.4	12.2	5.8
ADL	1.7	1.9	2.8	0.7	0.6
Cellulose	10.4	15.2	17.6	11.5	5.2
Hemicellulose	15.0	21.7	26.5	14.1	8.7

ที่มา : จินดา, 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6 ปริมาณผลพลอยได้และเศษเหลือจากอุตสาหกรรมการแปรรูปสับปะรด

สับปะรดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศ สับปะรดที่นิยมปลูกและมีคุณสมบัติเหมาะสม คือมีสัดส่วนของผลที่ใช้ประโยชน์ในเชิงเศรษฐกิจสูง และส่งโรงงานเพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย (จารุพันธุ์, 2526) จากการศึกษาของสมบัติและคณะ (2539) รายงานว่าสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียมีสัดส่วนของต้นสับปะรดคิดเป็นน้ำหนักผลร้อยละ 37.35 ใบร้อยละ 38.78 จุกร้อยละ 7.77 ส่วนของต้น ก้านผลและหน่อเท่ากับร้อยละ 12.86, 3.08 และ 0.18 ตามลำดับ มาลี (2521) รายงานผลสับปะรดเมื่อเข้าโรงงานจะทำการปลิดจุกและก้านออกคิดเป็นน้ำหนักประมาณร้อยละ 30 ของน้ำหนักทั้งผล



รูปที่ 3 แสดงผลพลอยได้และเศษเหลือจากโรงงานทำสับปะรดกระป๋อง
ที่มา : จินดา, 2547

สับปะรดหนึ่งผลจะหนักประมาณ 1,754.4 กรัมต่อผล ผลผลิตต่อไร่ประมาณ 3,870 กิโลกรัมต่อไร่ สับปะรดหนึ่งผลเมื่อเข้าแปรรูปในโรงงาน จะมีเศษเหลือใช้จากการทำสับปะรดกระป๋องประมาณ 1,228.1 กรัมต่อผล ในพื้นที่ 1 ไร่ จะได้เปลือกสับปะรดเฉลี่ย 2,700.55 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือถ้าคิดเป็นปริมาณเปลือกทั้งประเทศประมาณ 2.8 ล้านตัน ส่วนของใบสับปะรดประมาณ 4.0 ล้านตันและจุกประมาณ 0.370 ล้านตัน (สมบัติและคณะ, 2537) เศษเหลือและผลพลอยได้เหล่านี้จะมีออกมากทุกปีระหว่างเดือนเมษายนถึงมิถุนายน และระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึง มีนาคมในช่วงเวลาอื่นจะมีน้อย

2.3.7 การผลิตและการตลาดสับปะรดของประเทศไทย

สับปะรดเป็นพืชที่ปลูกได้ทั่วไปเกือบทุกภาคของประเทศไทย แต่เดิมนั้นการปลูกสับปะรดมีวัตถุประสงค์หลักในการบริโภคสด จนกระทั่งในปี พ.ศ. 2510 ได้มีการตั้งโรงงานอุตสาหกรรมผลิตสับปะรดกระป๋องขึ้นเป็นครั้งแรก ดังนั้นจึงได้เกิดการผลิตสับปะรดเพื่ออุตสาหกรรมขึ้น ทำให้การปลูกสับปะรดแพร่ขยายพื้นที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีการใช้เทคโนโลยีในการผลิตเพื่อบังคับให้ออกผลได้ตลอดปี จึงมีผลผลิตป้อนโรงงานได้สม่ำเสมอ ปัจจุบันประเทศไทยสามารถผลิตสับปะรดได้มากเป็นอันดับต้นๆของโลก แหล่งปลูกสำคัญอยู่ในภาคกลาง โดยมีพื้นที่ปลูกสับปะรดทั้งหมดประมาณ 0.4 ถึง 0.5 ล้านไร่ แหล่งผลิตในภาคต่าง ๆ มีดังนี้

ในการผลิตสับปะรดของประเทศไทยนั้น ประมาณร้อยละ 40 ของผลผลิตทั้งหมดเพื่อการใช้บริโภคสดภายในประเทศ หรือประมาณ 0.6 ถึง 0.8 ล้านตัน ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 60 เพื่อการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม หรือประมาณ 1.2 ถึง 1.5 ล้านตัน โดยการแปรรูปเป็นสับปะรดกระป๋องและผลิตภัณฑ์อื่น ในด้านของการส่งออกประเทศไทยส่งออกสับปะรดกระป๋องมากเป็นอันดับต้นๆของโลก ทำรายได้ให้แก่ประเทศประมาณปีละ 6000 ถึง 7000 ล้านบาท โดยการส่งออกในรูปสับปะรดกระป๋อง น้ำสับปะรดกระป๋องและสับประรดกวน เป็นต้น ประเทศคู่ค้าที่สำคัญได้แก่ สหรัฐอเมริกา สาธารณรัฐเยอรมัน เนเธอร์แลนด์ แคนาดา เบลเยียม สหราชอาณาจักร ญี่ปุ่น และประเทศในแถบตะวันออกกลาง ประเทศผู้ผลิตสับปะรดเพื่อการส่ง ออกที่เป็นคู่แข่งขันที่สำคัญได้แก่ ฟิลิปปินส์ จีน อินโดนีเซีย มาเลเซีย สหรัฐอเมริกา บราซิล และเม็กซิโก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 แสดงเนื้อที่ ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ของสับปะรดรายจังหวัดปี 2547-2549

จังหวัด	เนื้อที่เก็บเกี่ยว (ไร่)			ผลผลิต (ตัน)			ผลผลิตต่อไร่ (กิโลกรัม)		
	2547	2548	2549	2547	2548	2549	2547	2548	2549
รวมทั้งประเทศ	556,275	613,800	629,199	2,100,979	2,183,280	2,597,770	3,777	3,557	4,129
ลำปาง	12,577	13,505	13,849	48,202	51,468	53,859	3,833	3,811	3,889
พิษณุโลก	17,860	26,971	27,982	88,255	109,647	132,915	4,941	4,065	4,750
อุตรดิตถ์	1,032	1,111	1,005	4,003	3,664	3,668	3,879	3,297	3,650
กำแพงเพชร	130	180	172	496	566	610	3,815	3,144	3,545
อุทัยธานี	20,039	21,355	22,207	81,859	84,433	90,582	4,085	3,954	4,079
เลย	1,026	1,085	1,060	3,549	3,639	3,657	3,459	3,354	3,450
หนองคาย	14,350	14,637	15,585	59,623	48,625	60,002	4,155	3,322	3,850
นครพนม	5,927	6,840	6,913	19,446	23,261	23,960	3,281	3,401	3,466
สุพรรณบุรี	4,002	4,402	4,012	13,411	13,338	13,508	3,351	3,030	3,367
ฉะเชิงเทรา	10,579	11,826	12,392	61,032	66,072	72,915	5,769	5,587	5,884
จันทบุรี	5,350	6,442	56,705	24,877	27,639	31,286	4,650	4,290	4,666
ตราด	18,577	25,273	26,089	63,570	84,841	92,407	3,422	3,357	3,542
ระยอง	56,377	58,524	61,707	315,770	309,416	388,446	5,601	5,559	6,295
ชลบุรี	30,290	31,880	32,506	205,298	191,429	214,072	6,778	6,005	6,589
กาญจนบุรี	30,569	32,267	32,555	95,156	93,533	100,237	3,113	2,899	3,079
ราชบุรี	30,367	31,482	32,039	92,647	86,799	99,481	3,051	2,757	3,105
เพชรบุรี	34,974	36,503	37,222	111,190	108,500	119,185	3,179	2,972	3,202
ประจวบคีรีขันธ์	251,055	276,587	281,458	764,503	824,828	1,039,143	3,045	2,982	3,692
ชุมพร	11,200	12,930	13,738	48,092	51,582	57,837	4,294	3,989	4,210

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

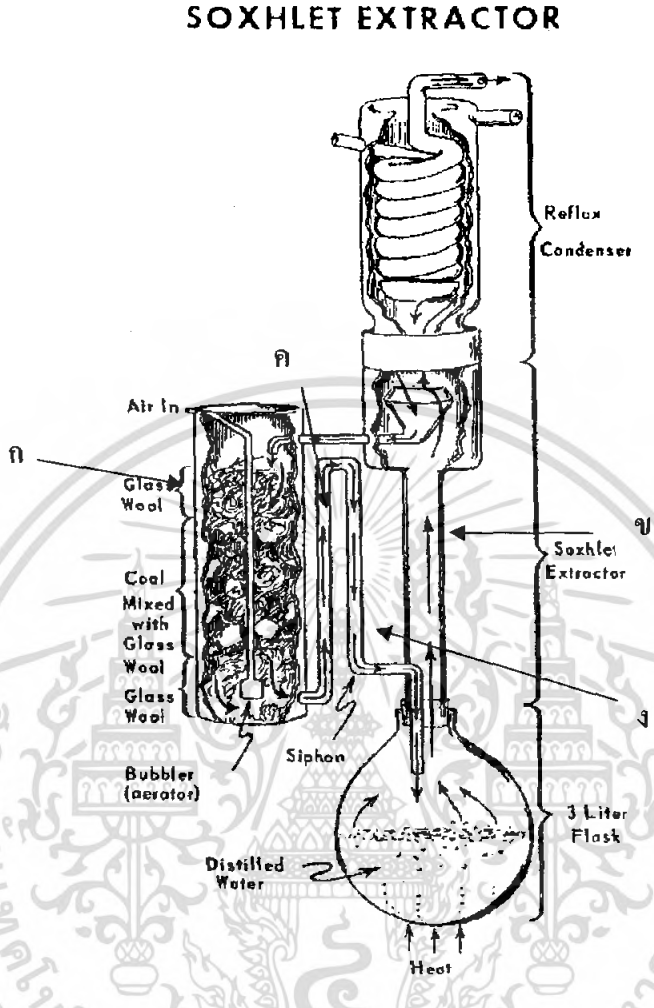
2.4 หลักการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบเหลือใช้จากกระบวนการแปรรูป

2.4.1 การวิเคราะห์ไขมันโดยวิธีซอกห์เลต (soxhlet method) (สิริภัค, 2542)

ซอกห์เลตเป็นเครื่องมือที่ใช้สกัดสารที่เป็นตัวถูกละลายออกจากของผสม (โดยมากเป็นของแข็ง) โดยใช้ตัวทำละลายที่ระเหยง่าย หลักการคือ ทำให้ตัวทำละลายระเหยขึ้นไปควบแน่นเป็นของเหลวตกลงบนของผสมที่ต้องการสกัดแล้วละลายตัวถูกละลายออกมา เมื่อตัวทำละลาย (ที่มีตัวถูกละลายอยู่ด้วย) มีปริมาณมากระดับหนึ่ง จะถูกควบแน่นตกลงมาสู่ขวด ซึ่งจะได้รับความร้อนอีกทำให้ตัวทำละลายระเหยขึ้นไปควบแน่น จากนั้นละลายตัวถูกละลาย และควบแน่นกลับลงมาอย่างนี้เรื่อยไป ดังนั้น การสกัดด้วยเครื่องซอกห์เลตจึงเป็นการสกัดแบบต่อเนื่องโดยใช้ตัวทำละลายเพียงชนิดเดียวในการสกัดสารตัวอย่างซ้ำหลายๆ ครั้ง ซึ่งจะประหยัดตัวทำละลายและสะดวกกว่าวิธีสกัดแบบกรวยแยก จากรูปที่ 2 เมื่อให้ความร้อน ตัวทำละลายจะระเหยกลายเป็นไอลอยขึ้นไปตามท่อ (ก) แล้วกลั่นตัวลงมาบนสารที่ต้องการสกัดซึ่งอยู่ในหลอดรูพรุนที่ทำด้วยเซลลูโลส (ข) พร้อมทั้งละลายสารที่ต้องการออกจากสารตัวอย่าง เมื่อสารละลายสูงเลยระดับ (ค) ก็จะถูกควบแน่นตกลงมาสู่ขวดไหลลงมาตามแขนง (ง) สู่ขวดอีกครั้ง การสกัดจะวนเวียนอยู่เช่นนี้เรื่อยไป โดยตัวทำละลายที่ผ่านท่อ (ก) ขึ้นไป เป็นตัวทำละลายบริสุทธิ์มีความสามารถในการสกัดเหมือนตัวทำละลายใหม่ทุกประการ (อาจใช้ตัวทำละลายผสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัด) เมื่อการสกัดสมบูรณ์สารที่สกัดได้จะนำไปไประเหยเอาตัวทำละลายออกแล้วชั่งหาน้ำหนักของไขมัน

การสกัดไขมันออกจากสารตัวอย่างโดยวิธีซอกห์เลต มักใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ที่ไม่มีขั้ว เช่น เฮกเซนที่ปราศจากน้ำ และสารตัวอย่างต้องแห้งถ้ามีน้ำปนการสกัดจะไม่ได้ผลดี เนื่องจากตัวทำละลายจะแทรกซึมเข้าไปในสารได้ยาก ไขมันที่สกัดได้ประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ ฟอสโฟลิปิด สเตอรอล กรดไขมันอิสระ รงควัตถุ และสารอื่นๆ ที่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์นี้ ดังนั้น จึงเรียกสารสกัดที่ได้ว่า ไขมันหยาบ (crude fat)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 เครื่องสกัดไขมันแบบซอกห์เลต (Soxhlet)

2.4.2 การวิเคราะห์ไนโตรเจนและโปรตีนโดยวิธีเจลดาห์ล (Kjeldahl method) (สิริภัค, 2542)

การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนมีอยู่หลายวิธี สำหรับโปรตีนที่ละลายน้ำ หรืออยู่ในสภาพสารละลาย เช่น ซีรัม หรือโปรตีนที่สกัดได้จากเนื่อเยื่อพืช สัตว์ และอื่นๆ สามารถวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนได้โดยให้สารทำปฏิกิริยากับรีเอเจนต์ซึ่งจะให้สารมีสีเกิดขึ้นแล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงแล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนจากกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณโปรตีน เช่น วิธีของเลารี (Lowry) ซึ่งสามารถหาปริมาณโปรตีนได้แม้มีเพียงปริมาณเล็กน้อย (เป็นไมโครกรัม) นอกจากนี้ยังมีสีย้อม (Dye) อีกหลายชนิดซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับโปรตีนแล้วให้สีที่วัดได้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณโปรตีน อย่างไรก็ตาม วิธีการเหล่านี้มักใช้ในงานวิจัยหรือในโรงพยาบาลมากกว่าที่ใช้ในอุตสาหกรรม และการเกษตรซึ่งนิยมวิธีเจลดาห์ล ใน

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์หาไนโตรเจนแล้วคำนวณหาปริมาณโปรตีน นอกจากการวิเคราะห์หาไนโตรเจนเพื่อหาปริมาณโปรตีนแล้ว การหาไนโตรเจนโดยวิธีนี้ยังใช้ได้ในการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ย ดิน อาหารสัตว์ ฯลฯ

วิธีเจลดาห์ลนี้ได้พัฒนาขึ้นเรื่อยๆ นับตั้งแต่ปริมาณสารตัวอย่างที่เดิมทำในระดับแมคโคร (Macro) ปัจจุบันทำในระดับกึ่งไมโคร (Semimacro) และ Winkler (1913) ได้ปรับปรุงวิธีการให้ดีขึ้นโดยใช้กรดบอริกมาเป็นตัวจับแอมโมเนียที่ได้จากการกลั่นเอาไว้ ก่อนที่จะนำไปไทเทรตซึ่งมีขั้นตอนการวิเคราะห์ คือ

1) การเตรียมสารตัวอย่าง (Sample preparation)

นำสารตัวอย่างมาบดเป็นชิ้นเล็กๆ โดยใช้ เครื่องบด (Blender) สำหรับสารตัวอย่างที่อ่อนหรือเปียกชื้น และใช้โม่หรือเครื่องบดความเร็วสูงสำหรับสารตัวอย่างที่แห้งและแข็ง

2) การย่อย (Digestion)

สารอินทรีย์ไนโตรเจน เช่น โปรตีน กรดอะมิโน กรดนิวคลีอิก จะถูกย่อยด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นที่อุณหภูมิ 350-400 องศาเซลเซียส (โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น ทองแดง ปรอท และซีลีเนียม รวมทั้งสารประกอบต่างๆ เช่น คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) และมีโซเดียม หรือโพแทสเซียมซัลเฟตเป็นตัวช่วยทำให้จุดเดือดสูงขึ้น สารอินทรีย์ทั้งหมดจะถูกไฮโดรไลส์ และออก-ซิไดส์เป็นแอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ซึ่งแอมโมเนียที่ได้จะทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริกเกิดเป็นแอมโมเนียซัลเฟต ดังสมการ

	กรด		ด่าง		น้ำ
Organic nitrogen	$\rightarrow$	$(NH_4)_2SO_4$	$\rightarrow$	NH_3	$\rightarrow$ NH_4OH

3) การกลั่น (Distillation)

เกลือแอมโมเนียถูกสลายด้วยด่างที่มากเกินพอจะเกิดก๊าซแอมโมเนียออกมาซึ่งจะถูกกลั่นออกมาในรูปแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) และถูกจับไว้ด้วยสารละลายกรดบอริก

4) การไทเทรต (Titration)

หาปริมาณแอมโมเนียโดยการไทเทรตกับกรดมาตรฐาน (ที่รู้ความเข้มข้นแน่นอน) ซึ่งมีอินดิเคเตอร์เป็นตัวบ่งชี้บอกจุดยุติ

5) การคำนวณ

จากปริมาณแอมโมเนียจะสามารถคำนวณหาปริมาณไนโตรเจน หรือปริมาณโปรตีนตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอมโมเนียไฮดรอกไซด์ที่กลั่นได้จะดักเก็บไว้ด้วยสารละลายกรดบอริก เพื่อป้องกันการสูญเสียก๊าซแอมโมเนีย เดิมใช้สารละลายกรดมาตรฐานจำนวนมากเกินพอมารองรับแล้วไทเทรตกรดที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาด้วยสารละลายด่างมาตรฐานและคำนวณหาจำนวนโมลกรดที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาพอดีกับแอมโมเนีย แต่วิธีนี้มีจุดอ่อนเพราะค่าที่ได้จากผลต่างจะทวีความความคลาดเคลื่อนและต้องใช้สารละลายมาตรฐานถึง 2 ชนิด นอกจากนี้การเก็บสารละลายด่างมาตรฐานให้มีความเข้มข้นคงที่ทำได้ยาก

วิธีที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน คือใช้สารละลายกรดบอริกมารองรับแอมโมเนียม-ไฮดรอกไซด์ที่กลั่นได้ วิธีนี้ไม่จำเป็นต้องทราบปริมาณที่แน่นอนของกรดบอริก เพราะแอมโมเนียไฮดรอกไซด์จะทำปฏิกิริยากับกรดบอริกได้แอมโมเนียมบอร์เรต (Ammonium borate) ดังสมการ

$$NH_4OH + H_3BO_3 \xrightarrow{NH_4OH} NH_4^+H_2BO^{3-} + H_2O \xrightarrow{NH_4OH} (NH_4^+)_2HBO_3^{2-} + H_2O \longrightarrow (NH_4^+)_2BO_3^{3-} + H_2O$$

แล้วหาปริมาณแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ทั้งหมดในแอมโมเนียมบอร์เรต (Ammonium borate) โดยไทเทรตกับกรดเกลือ (หรือกรดซัลฟิวริก) มาตรฐานความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ดังสมการ

$$(NH_4^+)_2BO_3^{3-} + HCl \longrightarrow (NH_4^+)_2HBO_3^{2-} + NH_4Cl \xrightarrow{HCl} (NH_4^+)_2H_2BO_3^- + NH_4Cl \xrightarrow{HCl} H_3BO_3 + NH_4Cl$$

จะเห็นว่า ถ้ามีปริมาณแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เกิดขึ้น 3 โมล จะต้องใช้กรดเกลือ 3 โมล เช่นเดียวกัน ทำให้สามารถหาจำนวนแอมโมเนียที่เกิดขึ้น และเนื่องจากในการไทเทรตจะมีกรดบอริกเกิดขึ้นจึงเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่เปลี่ยนสีในช่วงพีเอช เท่ากับ 5-6 โดยใช้อินดิเคเตอร์ผสมของเมทิลเรด และบรอมครีซอลกรีนซึ่งจะให้สีชมพูในสารละลายกรด และสีเขียวแกมน้ำเงินในสารละลายด่าง ดังนั้น สารละลายกรดบอริกที่เติมอินดิเคเตอร์จะมีสีชมพู เมื่อรับแอมโมเนียมไฮดรอก-ไซด์ จะเปลี่ยนเป็นสีเขียวแกมน้ำเงิน และเมื่อนำมาไทเทรตกับกรดก็จะให้สีชมพูที่จุดยุติ

นอกจากนี้ ยังมีการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้น โดยให้ทำปฏิกิริยากับรีเอเจนต์ แล้วให้สารสีเกิดขึ้น ดังเช่นวิธีของเนสเลอร์ (Nessler) หรืออาจใช้แอมโมเนียมอิเล็กโทรดวัดปริมาณแอมโมเนียที่เกิดขึ้นโดยตรง ทั้ง 2 วิธีนี้ ได้ดัดแปลงมาใช้กับเครื่องวิเคราะห์อัตโนมัติในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากปริมาณแอมโมเนียที่ได้สามารถหาปริมาณไนโตรเจนได้ เนื่องจากแอมโมเนีย 1 โมล ประกอบด้วย ไนโตรเจน 1 โมล หรือ 14 กรัม และปริมาณไนโตรเจนมีอยู่ค่อนข้างคงที่ในโปรตีนแต่ละชนิด เช่น โปรตีนในเนื้อสัตว์มีไนโตรเจนร้อยละ 16 โปรตีนในนมและไข่มีไนโตรเจนร้อยละ 15.7 และ 15 ตามลำดับ เราจึงสามารถคำนวณปริมาณโปรตีนจากปริมาณไนโตรเจนที่วิเคราะห์ได้ โดยใช้ Conversion factor หรือ Kjeldahl factor ซึ่งเท่ากับ 100/16 หรือ 6.25 สำหรับเนื้อสัตว์ เป็นต้น ดังตารางที่ 5 นั่นคือปริมาณโปรตีนในเนื้อสัตว์ เท่ากับ ปริมาณไนโตรเจน x 6.25

ปริมาณโปรตีนที่หาได้นี้เรียกว่า โปรตีนหยาบ (Crude protein) หาได้จากปริมาณไนโตรเจนแล้วคูณค่าแฟกเตอร์ ซึ่งขึ้นกับชนิดของอาหาร วิธีนี้มีความคลาดเคลื่อนมาก ถ้ามีสารชนิดอื่นที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น กรดนิวคลิอิก และยูเรียปนอยู่ด้วยจะทำให้ได้ปริมาณไนโตรเจนสูงกว่าที่ควร จึงคำนวณเป็นค่าโปรตีนได้สูงกว่าความเป็นจริง

อย่างไรก็ตามวิธีเจลดาห์ลไม่สามารถวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนที่อยู่ในสารที่ประกอบด้วย พันธะระหว่างไนโตรเจนกับไนโตรเจน และไนโตรเจนกับออกซิเจน เช่น ไนไทรต์ ไนเทรต ออกซีม อะโซ และไนโทรโซ เป็นต้น ซึ่งต้องนำไปทำปฏิกิริยาบางอย่างก่อน เช่น ไนไทรต์ และไนเทรต ต้องทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต และเหล็กรีดิวซ์ก่อนแล้วจึงนำไปวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียต่อไป ดังนั้น จึงคำนวณปริมาณโปรตีนได้จากปริมาณไนโตรเจน

ตารางที่ 5 แสดงค่าแฟกเตอร์ของอาหารชนิดต่างๆ

ชนิดอาหาร	แฟกเตอร์	ปริมาณโปรตีน
เนื้อสัตว์	6.25	ปริมาณไนโตรเจน x 6.25
นมและผลิตภัณฑ์นม	6.38	ปริมาณไนโตรเจน x 6.38
เจลาติน	5.55	ปริมาณไนโตรเจน x 5.55
ไข่ขาว	6.68	ปริมาณไนโตรเจน x 6.68
ถั่วเหลือง	5.71	ปริมาณไนโตรเจน x 5.71
ถั่วลิสง	5.42	ปริมาณไนโตรเจน x 5.42
ข้าวสาลี	5.70	ปริมาณไนโตรเจน x 5.70

ที่มา : สิริภัค, 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหาร (dietary fiber) (นิรนาม, 2550ข)

การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และยังต้องมีการพัฒนาอีกต่อไป เนื่องจากวิเคราะห์โดยวิธีใดวิธีหนึ่งไม่สามารถให้ผลการวิเคราะห์ที่ตอบสนองวัตถุประสงค์ต่างๆ ได้ทั้งหมด ดังนั้นการเลือกใช้วิธีวิเคราะห์จะขึ้นอยู่กับความต้องการของนักเคมีแต่ละคน นักเคมีต้องเป็นผู้ประเมินวิธีวิเคราะห์ที่จะใช้โดยดูจากวิธีที่เลือกนั้นสามารถให้ข้อมูลที่ตนสนใจได้หรือไม่ ความแม่นยำ (accuracy) ความเที่ยงตรง (precision) ประสิทธิภาพค่าใช้จ่าย บุคลากร รวมทั้งพิจารณาจากข้อกำหนดต่างๆ ของกฎหมายอาหารด้วย

ปัจจุบันการวิเคราะห์ใยอาหารมี 2 วิธี คือ

2.4.3.1 วิธีที่ใช้การวัดน้ำหนัก (Gravimetric method)

เป็นวิธีการหาปริมาณเส้นใยโดยหาความแตกต่างของน้ำหนักของตัวอย่างหลังจากการผ่านขบวนการทางเคมีที่ใช้ย่อยองค์ประกอบของอาหารอื่นๆ ออกไป ซึ่งวิธีกราวิเมทริก (Gravimetric methods) แบ่งได้เป็น 3 วิธีดังนี้

ก Crude fiber methods เป็นวิธีการหาเส้นใยตามวิธีของ Weends ซึ่งได้คิดขึ้นเมื่อปีคริสตศักราช 1850 เพื่อหาสารประกอบที่ไม่สามารถย่อยได้ในพวกอาหารสัตว์และฟางหญ้า ซึ่งต่อมาได้นำมาหาปริมาณเส้นใยในอาหารของมนุษย์ด้วย พบว่าวิธีนี้จะทำให้พวกเส้นใยหรือส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ย่อยสลายสูญเสียไปร้อยละ 40

ขDetergent fiber methods สืบเนื่องมาจากการสูญเสียส่วนประกอบของเส้นใยไปประมาณร้อยละ 40 ใน crude fiber methods จากการต้มด้วยด่าง ในปี 1955 Walker และ Hepburn ได้แนะนำให้ใช้แค่ขั้นตอนการต้มด้วยกรดเท่านั้น จะทำให้มีส่วนของโปรตีนหลงเหลืออยู่ ซึ่งต้องหักลบออกโดยนำไปหาปริมาณโปรตีนอีกครั้งหนึ่ง ต่อมาVan Soest ได้แก้ไขปัญหานี้ได้โดยขจัดส่วนของโปรตีนออก โดยใช้ดีเทอเจนท์ ซึ่งก็คือ เซทิลริเมทิล แอมโมเนียม โบรมายด์ (Cetylrimethyl ammonium bromide) ใน 1 นอร์มัลของกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) วิธีนี้เรียกว่า acid detergent fiber method (ADF) ซึ่งใช้หาปริมาณเซลลูโลสและลิกนินในเส้นใย อีกวิธีหนึ่งของ detergent fiber method เรียกว่า neutral detergent fiber method (NDF, Van Soest and Wine, 1967) ทำโดยนำตัวอย่างมาต้มกับสารละลายบัฟเฟอร์ที่เป็นกลางของ sodium dodecyl sulfate (SDS) และ EDTA วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้สภาวะอ่อนกว่า ADF และดีเทอเจนท์ ที่ใช้สามารถละลาย protein ได้ดีแต่ละลายไขมันได้จำกัด สำหรับโมเลกุลแป้ง ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาในการกรองสามารถขจัดได้ ด้วยอะไมเลส (amylase)

ค Enzymatic methods วิธีนี้สามารถหาใยอาหารที่ละลายน้ำ (soluble fiber) และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble fiber) ซึ่งไม่สามาถทำได้โดยวิธีใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนได้ หลักการนั้นใช้การย่อยสลายด้วยเอนไซม์ โดยเอนไซม์ที่ใช้นี้มีความแตกต่างกันไป ส่วนวิธีที่ใช้แตกต่างกันตรงที่ เอนไซม์ที่เลือกใช้ในการละลายแป้งและโปรตีน นำตัวอย่างแห้ง (2 ซ้ำ) สกัดไขมันออกในกรณีที่มีไขมันมากกว่าร้อยละ 10 ของน้ำหนักแห้ง จากนั้นนำไปเติมเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเจลาติไนส์เซชัน (gelatinization) โปรตีเอสเพื่อย่อยโปรตีน เอมิลโลกลูโคซิเดสเพื่อย่อยแป้งและนำส่วนผสมทั้งหมดที่ผ่านการย่อยมาเติมเอทานอลเพื่อตกตะกอนส่วนใยอาหารที่สามารถย่อยได้ แล้วนำไปกรอง จากนั้นนำส่วน residue (ใยอาหารที่ไม่สามารถย่อยได้) ล้างด้วยน้ำเอทานอลและอะซีโตน ต่อมานำไปอบให้แห้งและชั่งจนได้น้ำหนักคงที่ แล้วแบ่งออกเป็น 2 ส่วน เพื่อหาปริมาณโปรตีนและเถ้าซึ่งใช้ในการหาปริมาณใยอาหารทั้งหมด

2.4.3.2 Enzymatic chemical methods

เป็นวิธีวิเคราะห์ที่ใช้เอนไซม์ในการย่อยตัวอย่าง แล้ววิเคราะห์สิ่งที่เหลือโดยวิธีเคมีคือ ย่อยพอลิกแซ็กคาไรด์นั้นด้วยกรดอีกครั้งได้เป็นน้ำตาลเชิงเดี่ยว และวิเคราะห์น้ำตาลโดยแก๊ส ลิควิด โครมาโตกราฟฟี (gas liquid chromatography หรือ GLC) หรือ โดยวิธีไฮ-เพอร์ฟอร์แมนซ์ ลิควิด โครมาโตกราฟฟี (high performance liquid chromatography หรือ HPLC) ส่วนกรดยูโรนิกวิเคราะห์โดยใช้วิธีวัดสี (colorimetric method)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ใยอาหาร พบงานวิจัยมากมายที่วิเคราะห์ใยอาหารในวัตถุดิบต่างๆ ตั้งแต่ผัก ผลไม้จนไปถึงกากที่เหลือจากการแปรรูป ซึ่งในการวิเคราะห์จะใช้วิธีที่แตกต่างกันไป

Redondo-Cuenca และคณะ (2006) ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและใยอาหารในถั่วเหลืองอ่อนและถั่วเหลืองแก่โดยในถั่วเหลืองแต่ละชนิดก็จะแบ่งตามการเพาะปลูกออกไปอีก ในถั่วเหลืองอ่อนจะแบ่งเป็น ถั่วเหลืองอ่อนที่ปลูกแบบคอนเวนชันนอล (convcntional) คือวิธีการปลูกแบบทั่วไป มีการใช้ปุ๋ยเคมี สารเร่งการเจริญเติบโต และยาฆ่าแมลง เพื่อใช้ในการเพิ่มผลผลิตให้มากขึ้น ส่วนอีกชนิดคือถั่วเหลืองอ่อนที่ปลูกแบบอีคอโลจิคอล (ecological) คือการปลูกแบบเกษตรอินทรีย์ เป็นการปลูกที่คำนึงถึงสิ่งแวดล้อมมีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ และหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีทุกชนิด ส่วนในถั่วเหลืองแก่นั้นจะแบ่งออกเป็น ถั่วเหลืองแก่ที่ปลูกแบบคอนเวนชันนอล ถั่วเหลืองแก่ที่ปลูกแบบอีคอโลจิคอล ถั่วเหลืองแก่ที่ได้รับการตัดแต่งพันธุกรรม และถั่วเหลืองแก่ที่ไม่ได้รับการตัดแต่งพันธุกรรม จากการทดลองพบว่าในถั่วเหลืองแก่มีปริมาณใยอาหาร ไขมันและเถ้า มากกว่าในถั่วเหลืองอ่อน แต่ความชื้นและคาร์โบไฮเดรตมีในถั่วเหลืองอ่อนมากกว่า สำหรับปริมาณโปรตีนจะพบใกล้เคียงกัน การวิเคราะห์ใยอาหารทำโดยใช้วิธีของ Englyst และคณะ (1994)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือเป็นการวิเคราะห์ใยอาหารโดยใช้การวิเคราะห์น้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบของใยอาหารโดยใช้เทคนิค แก๊ส-ลิควิด โครมาโทกราฟี พบว่าเมล็ดถั่วเหลืองมีปริมาณใยอาหารสูง คือในถั่วเหลืองแก่มีใยอาหาร 13.7-16.5 กรัมต่อ 100 กรัม และในถั่วเหลืองอ่อนจะพบน้อยกว่าคือมีใยอาหาร 9.19-9.45 กรัมต่อ 100 กรัม

ศิริขวัญ (2548) ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารในพืชพื้นบ้านบางชนิดโดยวิธี นอน เอนไซมาติก กราวิเมตริก (non-enzymatic Gravimetric method) โดยพืชพื้นบ้านที่ใช้ได้แก่ ฟักทอง ฟักเขียว มะระ บวบเหลี่ยม และแตงกวา โดยนำพืชตัวอย่างมาต้มกับกรดซัลฟิวริกร้อยละ 1.25 และโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1.25 แล้วกรองด้วยน้ำกลั่นร้อน น้ำกลั่นเย็น และอะซีโตน ตามลำดับ จะได้เส้นใยอาหารและแร่ธาตุที่ละลายได้ยาก และนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศา-เซลเซียส ใช้เวลา 2 ชั่วโมงและเผาในเตาเผาอุณหภูมิสูง อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 3 ชั่วโมง ส่วนที่หายไปจะเป็นปริมาณใยอาหารในผลไม้แห้ง จากผลการวิจัยพบว่า บวบเหลี่ยมมีปริมาณใยอาหารมากที่สุด คือ ร้อยละ 23.8817 รองลงมาคือ มะระ ฟักเขียว แตงกวา ซึ่งมีปริมาณใยอาหารเท่ากับร้อยละ 17.1451 14.8356 14.4290 ตามลำดับ และฟักทองมีปริมาณใยอาหารน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 7.8597

Claye และคณะ (1996) ได้ทำการศึกษาปริมาณใยอาหารจากวัตถุดิบ 5 ชนิด ได้แก่ ข้าวสาลี ข้าว ข้าวโอ๊ต มะเขือเทศ และแอปเปิ้ล โดยเริ่มจากการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณ วิเคราะห์ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ใยอาหารที่ละลายน้ำ และปริมาณใยอาหารทั้งหมด และได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบภายในของใยอาหารที่ละลายน้ำโดยแบ่งเป็นเฮมิเซลลูโลสเอและบี เซลลูโลส และลิกนิน พบว่า ปริมาณโปรตีนในแต่ละตัวอย่างจะแตกต่างกันโดยข้าวโอ๊ตจะมีน้อยที่สุดคือ ร้อยละ 4.6 มะเขือเทศมีมากที่สุดคือร้อยละ 24.9 ปริมารใยอาหารที่ละลายน้ำจะพบในข้าวโอ๊ตน้อยที่สุด คือร้อยละ 1.5 และพบมากที่สุดใน แอปเปิ้ลคือมีร้อยละ 13.9 ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำจะพบในข้าวน้อยที่สุด คือร้อยละ 46.7 และพบในข้าวโอ๊ตมากที่สุดคือร้อยละ 73.6 ส่วนปริมาณใยอาหารทั้งหมด จะพบในข้าวน้อยที่สุดคือร้อยละ 51.4 และพบในข้าวโอ๊ตมากที่สุดคือร้อยละ 75.1 สัดส่วนของเฮมิเซลลูโลสมีปริมาณมากในทุกตัวอย่าง ยกเว้นในข้าว โดยข้าวสาลีจะมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสสูงที่สุดคือร้อยละ 44.0 รองลงมาเป็นแอปเปิ้ลพบร้อยละ 38.4 ข้าวโอ๊ตร้อยละ 38.3 มะเขือเทศพบร้อยละ36.5 และในข้าวจะพบน้อยที่สุด คือร้อยละ 31.6 ปริมาณเซลลูโลสพบร้อยละ 32.2 26.6 24.4 20.8 และ 19.7 ของใยอาหารทั้งหมดใน ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต ข้าว แอปเปิ้ลและมะเขือเทศ ตามลำดับ ส่วนปริมาณลิกนินจะพบในข้าวสาลีน้อยที่สุดคือร้อยละ 5.2 และพบในข้าวโอ๊ตมากที่สุด คือร้อยละ 21.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังมีวิจัยที่วิเคราะห์ใยอาหารในกากที่เหลือทิ้ง เช่น งานวิจัยของ อรุณี (2540) ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณและชนิดของใยอาหารในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยใช้วัสดุเหลือทิ้ง 22 ชนิด ได้แก่ ผักบุ้ง ใบยอ ใบคะน้า ใบชะพลู ผักโขม ถั่วฝักยาว ก้านบัว ก้านกล้วย กาบผักกาดขาว กาบกะหล่ำปลี เปลือกส้ม เปลือกมะนาว เนื้อส้ม ส่วนที่คั้นน้ำออกแล้ว แกนสับปะรด ซังขนุน เปลือกแตงโม เปลือกถั่วลิสง เปลือกแห้ว เปลือกข้าวโพด ซังข้าวโพด ฟางข้าว แกลบ วิเคราะห์ปริมาณใยอาหารโดยวิธีเอนไซมาติก – กราวิเมตริก (Enzymatic Gravimetric Method) โดยใช้เครื่อง TECATOR (FIBERTEC System E 1023) และวิเคราะห์ความชื้นความสามารถในการอุ้มน้ำและวิเคราะห์หาปริมาณเซลลูโลส จากผลการวิเคราะห์พบว่า เปลือกมะนาวมีปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำได้สูงที่สุดคือร้อยละ 33.5 เปลือกถั่วลิสงมีปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำสูงที่สุดคือร้อยละ 92.5 ซังข้าวโพดมีปริมาณใยอาหารรวมสูงที่สุดคือร้อยละ 92.9 กาบนอกของผักกาดขาวมีความชื้นสูงที่สุดคือร้อยละ 95.2 และซังข้าวโพดมีปริมาณเซลลูโลสสูงที่สุดคือร้อยละ 41 ของน้ำหนักแห้ง

กุลวดี (2542) ได้ทำการทดลองผลิตใยอาหารจากเศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดฝักอ่อนด้วยวิธีสกัดด้วยน้ำ พบว่าผลิตภัณฑ์ใยอาหารที่ได้จากการสกัดจากฝักอ่อน (WEE) และจากใบและขั้วอ่อน (WELS) มีปริมาณใยอาหารร้อยละ 57.06 และ 69.41 ตามลำดับ ในขณะที่ผงแห้งจากฝักอ่อนดิบ (REF) และใบและขั้วดิบ (RLSF) มีใยอาหารทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 17.10 และ 26.55 ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่มีสีและกลิ่นดี ยกเว้น RLSF มีสีเขียวไม่สวย และมีกลิ่นเหม็นเขียว ได้วิเคราะห์หาคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดด้วยวิธีการหาองค์ประกอบโดยประมาณ หาค่าความหนืด (viscosity) ด้วย Brabender Amylograph และวัดสีด้วยเครื่อง The Data color international spectroflash จากนั้นได้ทดลองนำผลิตภัณฑ์ใยอาหารที่ผลิตได้ไปผสมกับแป้งข้าวเจ้าแล้วนำไปทำก๋วยเตี๋ยวพบว่าก๋วยเตี๋ยวที่มีการผสมใยอาหารลงไปมีปริมาณใยอาหารเพิ่มขึ้น และได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค เมื่อผสมใยอาหารลงไปไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของแป้งข้าวเจ้า

Sowbhagya และคณะ (2007) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับกากเมล็ดยี่หร่าที่เหลือจากการสกัดน้ำมันออกไปแล้วโดยคาดว่าจะสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งของการสกัดใยอาหารได้ โดยในเมล็ดยี่หร่าก่อนที่จะผ่านการสกัดน้ำมันนั้นจะพบใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 59 ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำร้อยละ 48.5 และใยอาหารที่ละลายน้ำร้อยละ 10.5 ขณะที่กากของเมล็ดยี่หร่าที่ผ่านการสกัดน้ำมันออกไปแล้วจะพบใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 62.1 ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำร้อยละ 51.7 และใยอาหารที่ละลายน้ำร้อยละ 10.4 ดังนั้นกากของเมล็ดยี่หร่าจึงถือว่าเป็นแหล่งของใยอาหารที่ดี นอกจากนี้ยังเป็นการนำวัตถุดิบที่เหลือจากการแปรรูปทางอุตสาหกรรมมาใช้ประโยชน์ได้ เป็นการลดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากของเหลือทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัตถุดิบ

กากสับปะรด แกนสับปะรด และเปลือกสับปะรด จากโรงงาน บริษัท สยามอุตสาหกรรมการเกษตรสับปะรด จำกัด เตรียมตัวอย่างโดย นำส่วนเปลือกสับปะรด แกนสับปะรด และกากสับปะรด ที่ได้จากการแปรรูปสับปะรดของโรงงานบริษัท สยามอุตสาหกรรมการเกษตรสับปะรด จำกัด มาล้างด้วยน้ำสะอาดเพื่อขจัดสิ่งสกปรก แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนกว่าจะทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตใยอาหารชนิดละลายน้ำในลำดับต่อไป

3.2 สารเคมี

สารเคมี	บริษัท
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	BDH
กรดซัลฟูริก (H_2SO_4)	MERCK
กรดบอริก (H_3BO_3)	MERCK
กรดไฮโดรคลอริก (HCl)	MERCK
คอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ($CuSO_4.5H_2O$)	MERCK
ปิโตรเลียม อีเทอร์ (Petrolium Ether)	Panreac, Schalau
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)	MERCK
เอ็น-ออกตานอล (N-octanol)	MERCK
เอทานอล	องค์การสุรา-กรมสรรพสารมิตร
กรดซิตริก (citric acid)	MERCK
ไดเบสิกโซเดียมฟอสเฟต ($Na_2HPO_4.7H_2O$)	MERCK
แอลฟาอะไมเลส (α-Amylase)	Sigma
โปรตีเอส (Protease)	Sigma

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 อุปกรณ์

อุปกรณ์	บริษัท
อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า	Memmert
ตู้อบลมร้อน	Memmert
เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง	OHAUS
โถดูดความชื้น	DURAN
หลอดย่อย	Gerhardt
เตาย่อย	Gerhardt
เครื่องกลั่น	Gerhardt
บิวเรต	PYREX
ถ้วยสกัดไขมัน	BUCHI
เครื่องสกัดไขมัน	BUCHI
เตาเผา	GALLENKAMP
ถ้วยกระเบื้อง	HCT
เครื่องมือชุดวิเคราะห์เส้นใยหยาบ	VELP
ซินเตอร์กลาส	ROBU-GLAS
เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง	Denver instrument 215, USA
เครื่องแก้ว	PYREX, DURAN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยทั่วไปของของเหลือจากกระบวนการแปรรูปสับปะรด

3.4.1 การวิเคราะห์ความชื้น (AOAC, 1990)

นำตัวอย่างไปชั่งประมาณ 2 กรัมใส่ใน moisture can ที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จากนั้นนำมาไว้ในโถดูดความชื้นทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำมาชั่งหาน้ำหนักคงที่ นำน้ำหนักที่ได้ไปคำนวณโดยใช้สูตร

$$\text{ร้อยละความชื้นในอาหาร} = [100 \times (A-B)] / C$$

A = น้ำหนักของ moisture can กับน้ำหนักก่อนอบ

B = น้ำหนักของ moisture can กับน้ำหนักหลังอบ

C = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ

3.4.2 การวิเคราะห์ไขมันหยาบ (Crude fat) (สิริภัค, 2542)

ใช้วิธีซอกห์เลตโดยชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม ใส่ในหลอดรูพรุน (Thimble) ปิดด้านบนด้วยสำลีหรือตัดกระดาษกรองวางตอนบน เพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของตัวอย่าง จากนั้นนำใส่ลงใน Soxhlet tube และประกอบเข้ากับ condenser และบีกเกอร์สกัดไขมัน ที่สะอาดและทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้วเติมปิโตรเลียมอีเทอร์ลงไปให้มากเกินพอ โดยในการสกัดจำเป็นต้องให้ความร้อนแก่ Soxhlet tube โดยการใช้อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) โดยจะต้องปรับระดับความร้อนจนอีเทอร์ระเหยเป็นไอ และควบแน่นหยดลงบนตัวอย่างอย่างต่อเนื่อง กันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำบีกเกอร์สกัดไขมันที่มีสารที่สกัดได้ไประเหยจนแห้ง แล้วอบในตู้อบที่ 105 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วนำไปชั่งจนได้น้ำหนักคงที่จากนั้นนำไปคำนวณร้อยละไขมันหยาบโดยใช้สูตร

$$\text{ร้อยละไขมันหยาบ} = \frac{(B-A) \times 100}{W}$$

A = น้ำหนักของบีกเกอร์สกัดไขมันก่อนการสกัด

B = น้ำหนักของบีกเกอร์สกัดไขมันหลังการสกัด

W = น้ำหนักของตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนและโปรตีน (Crude protein) (Pearson, 1970)

โดยวิธีเจลดาห์ลชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัมใส่ลงในหลอดย่อยสำหรับวิเคราะห์โปรตีน เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 30 มิลลิลิตรเพื่อใช้ในการย่อยตัวอย่าง เติมสารผสมระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต และโพแทสเซียมซัลเฟต เพื่อใช้ในการเร่งปฏิกิริยา ย่อยที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง หรือจนกว่าจะได้สารละลายใสทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปกลั่นโดยใช้เครื่องกลั่น และใช้กรดบอริกร้อยละ 4 เป็นตัวดักจับก๊าซแอมโมเนีย จากนั้นนำกรดบอริกที่มีก๊าซแอมโมเนียมาไตเตรทด้วย กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล โดยใช้อินดิเคเตอร์ผสมระหว่าง เมทิลเรดและบรอมครีซอลกรีน บันทึกปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรทแล้วนำค่าไปคำนวณร้อยละไนโตรเจน

ในการวิเคราะห์จะต้องทำแบลงค์ โดยการทำแบลงค์นั้นจะไม่มีการเติมตัวอย่างลงในหลอดย่อย จากนั้นก็ทำตามวิธีเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่าง แล้วนำปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรตไปคำนวณตามสูตรการหาร้อยละไนโตรเจนดังนี้

$$\text{ร้อยละไนโตรเจน} = \frac{0.0014 \times A \times (B-C) \times 100}{0.1 \times D}$$

A = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรท

B = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริดที่ใช้ในการไตเตรทกับตัวอย่าง

C = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรทกับแบลงค์

D = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้

จากนั้นนำร้อยละไนโตรเจนที่ได้ไปใช้ในการหาร้อยละโปรตีนจากสูตร

ร้อยละโปรตีน = ร้อยละไนโตรเจน x ค่าแฟกเตอร์

ค่าแฟกเตอร์ที่ใช้ในการหาปริมาณโปรตีนของสับปะรดเท่ากับ 6.25

3.4.4 การวิเคราะห์ใยอาหารแบบหยาบ (Crude fiber) (AOAC, 1990)

ชั่งตัวอย่างอาหารที่ใส่ในถ้วยแก้วสำหรับวิเคราะห์ใยอาหาร ชั่งให้ได้น้ำหนักของตัวอย่างประมาณ 1 กรัม เติมกรดซัลฟูริกร้อยละ 1.25 ที่ต้มให้ร้อนก่อนจนถึงระดับ 150 มิลลิเมตร เติม 3-5 หยดของเอ็น-ออกตานอล ต้มให้เดือดเป็นเวลา 30 นาที เปิด run ไปที่ Vacuum เพื่อระบาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดซัลฟูริกออก ล้าง 3 ครั้งด้วยน้ำกลั่นร้อนๆ ครั้งละ 30 มิลลิลิตร (ในการล้างแต่ละครั้งให้เปิดลิ้นไปที่ Pressure เพื่อดันให้อากาศผ่านฐานของถ้วยแก้วทำให้ส่วนผสมในถ้วยแก้วคลุกเคล้ากันโดยตลอด) หลังจากปล่อยน้ำล้างครั้งสุดท้ายออกจนหมดแล้ว เติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1.25 ที่ทำให้ร้อนไว้ก่อนแล้วลง ไป 150 มิลลิลิตร พร้อมกับ 3-5 หยดของเอ็น-ออกตานอล ต้มให้เดือดนาน 30 นาที ทำซ้ำโดย เปิด run ไปที่ Vacuum เพื่อระบายกรดซัลฟูริก ออก ล้าง 3 ครั้งด้วยน้ำกลั่นร้อนๆ ครั้งละ 30 มิลลิลิตร ล้างด้วยน้ำกลั่นเย็นอีก 1 ครั้ง แล้วล้างอีก 3 ครั้งด้วยอะซีโตน 25 มิลลิลิตร เปิดให้ความร้อนเข้า ทุกครั้งที่ทำการล้าง ทำให้แห้ง โดยอบที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือจนกว่าจะได้น้ำหนักคงที่ ค่านี้เป็นน้ำหนักของใยอาหารหยาบรวมกับน้ำหนักของเถ้า ทำการหาปริมารของเถ้าแล้วนำหนักของเถ้ามาหักลบกับน้ำหนัก ใยอาหารหยาบรวมกับเถ้าจะได้น้ำหนักของใยอาหารหยาบที่ปราศจากเถ้า นำค่าที่ได้มาคำนวณร้อยละใยอาหารหยาบจากสูตร

ร้อยละใยอาหารหยาบ = (น้ำหนักของเส้นใยหยาบ x 100) / น้ำหนักของตัวอย่าง

3.4.5 การวิเคราะห์เถ้า (ash) (AOAC, 1990)

ชั่งตัวอย่าประมาณ 2 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้อง (crucible) ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 525 องศาเซลเซียส จะกระทั่งเถ้าเป็นสีขาวทั้งหมด (ใช้เวลาประมาณ 3 ถึง 4 ชั่วโมง) ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำมาชั่งหาน้ำหนักคงที่และนำน้ำหนักที่ได้ไปคำนวณร้อยละเถ้าจากสูตร

ร้อยละเถ้าในอาหาร = [(B-A) x100] / W

A = น้ำหนัก Crucible

B = น้ำหนัก Crucible + น้ำหนักเถ้าภายหลังการเผา

W = น้ำหนักตัวอย่าง

3.4.6 การวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) (AOAC, 1990)

คำนวณได้จากการหักลบร้อยละความชื้น โปรตีน ไขมัน ใยอาหาร และเถ้าออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตใยอาหารที่ละลายน้ำ (Dong-Ho Woo และคณะ, 2005)

3.5.1 ขั้นตอนการกำจัดแป้งออกจากตัวอย่างโดยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส

3.5.1.1 การศึกษาปริมาณน้ำที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์

ชั่งตัวอย่างปริมาณ 2 กรัม ในฟลาสก์ขนาด 125 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่น 10, 15, 20, 30 และ 40 เท่าของน้ำหนักตัวอย่าง ตามลำดับ นำไปปรับพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 นอร์มอล ให้มีค่าเท่ากับ 5.8 และเติมเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสปริมาณ 40 ไมโครลิตร จากนั้นนำไปบ่มในเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไปกรองผ่านซินเตอร์กลาสเบอร์ 2 (pore size 36-100 ไมครอน) ภายใต้สุญญากาศ นำส่วนบนไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ จากนั้นนำส่วนใสไปตรวจวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวส์

3.5.1.2 การศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์

ชั่งตัวอย่างปริมาณ 2 กรัม ในฟลาสก์ขนาด 125 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นในปริมาณที่เหมาะสมตามที่ได้ศึกษาในข้อ 3.5.1.1 และนำไปปรับพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 นอร์มอล ให้มีค่าเท่ากับ 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 5.8, 5.9, 6.0, 6.5 และ 7.0 ตามลำดับ เติมเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสปริมาณ 40 ไมโครลิตรจากนั้นนำไปบ่มในเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไปกรองผ่านซินเตอร์กลาสเบอร์ 2 (pore size 36-100 ไมครอน) ภายใต้สุญญากาศ นำส่วนบนไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ จากนั้นนำส่วนใสไปตรวจวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวส์

3.5.1.3 การศึกษาปริมาณเอนไซม์ที่เหมาะสม

ชั่งตัวอย่างปริมาณ 2 กรัม ในฟลาสก์ขนาด 125 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นในปริมาณที่เหมาะสมตามที่ได้ศึกษาในข้อ 3.5.1.1 และนำไปปรับพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 นอร์มอล ให้มีค่าเหมาะสมตามที่ได้ศึกษาในข้อ 3.5.1.2 และเติมเอนไซม์แอลฟาอะ-ไมเลสปริมาณ 10, 20, 40, 60 และ 80 ไมโครลิตรจากนั้นนำไปบ่มในเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไปกรองผ่านซินเตอร์กลาสเบอร์ 2 (pore size 36-100 ไมครอน) ภายใต้สุญญากาศ นำส่วนบนไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ จากนั้นนำส่วนใสไปตรวจวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.1.4 การศึกษาระยะเวลาในการบ่มเพื่อกำจัดแป้งออกที่เหมาะสม

ชั่งตัวอย่างปริมาณ 2 กรัม ในฟลาสก์ขนาด 125 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นในปริมาณที่เหมาะสมตามที่ได้ศึกษาในข้อ 3.5.1.1 และนำไปปรับพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 นอร์มอล ให้มีค่าเหมาะสมตามที่ได้ศึกษาในข้อ 3.5.1.2 และเติมเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสปริมาณ ที่เหมาะสมตามที่ได้ศึกษาในข้อ 3.5.1.3 จากนั้นนำไปบ่มในเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ แล้วนำไปกรองผ่านซินเตอร์กลาสเบอร์ 2 (pore size 36-100 ไมครอน) ภายใต้สุญญากาศ นำส่วนบนไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนได้น้ำหนักคงที่ จากนั้นนำส่วนใสไปตรวจวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวส์

3.5.2 ขั้นตอนการกำจัดโปรตีนออกจากตัวอย่างโดยเอนไซม์โปรติเอส

3.5.2.1 การศึกษาปริมาณน้ำที่เหมาะสม

ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการกำจัดแป้งปริมาณ 3 กรัม ในฟลาสก์ขนาด 125 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่น 10, 15, 20, 30 และ 40 เท่าของน้ำหนักตัวอย่าง ตามลำดับ นำไปปรับพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 นอร์มอล ให้มีค่าเท่ากับ 7.0 และเติมเอนไซม์โปรติเอสปริมาณ 60 ไมโครลิตร จากนั้นนำไปบ่มในเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไปกรองผ่านซินเตอร์กลาสเบอร์ 2 (pore size 36-100 ไมครอน) ภายใต้สุญญากาศ นำส่วนบนไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนได้น้ำหนักคงที่ จากนั้นนำไปตรวจสอบปริมาณโปรตีนโดยวิธีเจดาห์ลเพื่อศึกษาปริมาณโปรตีนที่ถูกกำจัดออกจากสับปะรด

3.5.2.2 การศึกษาปริมาณเอนไซม์ที่เหมาะสม

ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการกำจัดแป้งปริมาณ 3 กรัม ในฟลาสก์ขนาด 125 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่น ในปริมาณที่เหมาะสมตามที่ได้ศึกษาในข้อ 3.5.2.1 และนำไปปรับพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 นอร์มอล ให้มีค่าเท่ากับ 7.0 และเติมเอนไซม์โปรติเอสปริมาณ 15, 30, 60, 90, 120 และ 150 ไมโครลิตร จากนั้นนำไปบ่มในเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไปกรองผ่านซินเตอร์กลาสเบอร์ 2 (pore size 36-100 ไมครอน) ภายใต้สุญญากาศ นำส่วนบนไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนได้น้ำหนักคงที่ จากนั้นนำไปตรวจสอบปริมาณโปรตีนโดยวิธีเจดาห์ลเพื่อศึกษาปริมาณโปรตีนที่ถูกกำจัดออกจากสับปะรด

3.5.2.3 การศึกษาระยะเวลาบ่มที่เหมาะสม

ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการกำจัดแป้งปริมาณ 3 กรัม ในฟลาสก์ขนาด 125 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่น ในปริมาณที่เหมาะสมตามที่ได้ศึกษาในข้อ 3.5.2.1 และนำไปปรับพีเอช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 นอร์มอล ให้มีค่าเท่ากับ 7.0 และเติมเอนไซม์โปรติเอส ปริมาณที่เหมาะสมตามที่ได้ศึกษาในข้อ 3.5.2.2 จากนั้นนำไปบ่มในเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง ตามลำดับ แล้วนำไปกรองผ่านซินเตอร์กลาสเบอร์ (pore size 36-100 ไมครอน) ภายใต้สุญญากาศ นำส่วนบนไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ จากนั้นนำไปตรวจสอบปริมาณโปรตีนโดยวิธีเจดาห์ลเพื่อศึกษาปริมาณโปรตีนที่ถูกกำจัดออกจากสับปะรด

3.5.3 ขั้นตอนการสกัดแยกใยอาหารที่ละลายน้ำออกจากใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

3.5.3.1 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสม

ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการกำจัดแป้งและโปรตีน 2 กรัม เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปบ่มในเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปกรองผ่านซินเตอร์กลาสเบอร์ 2 (pore size 36-100 ไมครอน) ภายใต้สุญญากาศ นำส่วนบนไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักที่คงที่ของใยอาหารที่ละลายน้ำ จากนั้นนำไปตรวจสอบปริมาณเพคติน

3.5.3.2 การศึกษาปริมาณของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสม

ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการกำจัดแป้งและโปรตีน 2 กรัม เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นที่เหมาะสมตามที่ได้ศึกษาในข้อ 3.5.3.1 ปริมาตร 30, 40 และ 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปบ่มในเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปกรองผ่านซินเตอร์กลาสเบอร์ 2 (pore size 36-100 ไมครอน) ภายใต้สุญญากาศ นำส่วนบนไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักที่คงที่ของใยอาหารที่ละลายน้ำ จากนั้นนำไปตรวจสอบปริมาณเพคติน

3.5.3.3 การศึกษาระยะเวลาบ่มที่เหมาะสม

ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการกำจัดแป้งและโปรตีน 2 กรัม เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นและปริมาณที่เหมาะสมตามที่ได้ศึกษาในข้อ 3.5.3.1 และ 3.5.3.2 จากนั้นนำไปบ่มในเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปกรองผ่านซินเตอร์กลาสเบอร์ 2 (pore size 36-100 ไมครอน) ภายใต้สุญญากาศ นำส่วนบนไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักที่คงที่ของใยอาหารที่ละลายน้ำ จากนั้นนำไปตรวจสอบปริมาณเพคติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การวิเคราะห์เพคติน (นิรนาม, 2551ง)

3.6.1 การสกัดสิ่งเจือปนออกด้วยเอทานอล

ชั่งตัวอย่างแห้งที่บดแล้วมา 1 กรัม เติมเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 2 มิลลิลิตรนำไปต้มในอ่างน้ำร้อนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที นำมากรองด้วยผ้าขาวบาง 4 ชั้น กากที่กรองได้จะถูกนำมาแช่ในเอทานอลร้อยละ 30 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที แล้วกรองออก เก็บตะกอนที่ได้มาสกัดซ้ำอีกครั้งด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 30 อีกครั้ง แล้วเก็บตะกอนที่ได้ไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

3.6.2 การสกัดเพคตินด้วยกรดไฮโดรคลอริค (Mollea และคณะ, 2008)

นำตะกอนที่ผ่านการสกัดสิ่งเจือปน มาเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริคความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ ในอัตราส่วน 1 ต่อ 30 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร แล้วนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นกรองขณะที่ยังร้อนอยู่ และเก็บสารละลายที่กรองได้ไว้ด้วยผ้าขาวบาง 4 ชั้น โดยกากที่กรองได้จะนำมาสกัดซ้ำอีกครั้ง แล้วนำสารละลายที่กรองได้ทั้งหมดมารวมกัน ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นก่อนนำไปตกตะกอนด้วยเอทานอล

3.6.3 การแยกเพคตินโดยการตกตะกอนด้วยเอทานอล

นำสารละลายที่ได้จากการสกัดเพคตินมาเติมเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ที่เย็นจัดในอัตราส่วนเอทานอลต่อสารละลายที่สกัดเท่ากับ 8 ต่อ 9 โดยปริมาตร ในสภาวะที่เย็นพร้อมกับกวนสารละลายช้าๆ เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปแช่ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อให้เพคตินรวมตัวกัน และตกตะกอนลงมาได้ดีขึ้น แล้วทำการกรองภายใต้สภาวะสุญญากาศโดยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 และล้างตะกอนที่เหลือด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 80 2 ครั้ง แล้วตามด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 จากนั้นนำตะกอนไปอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ และบันทึกน้ำหนักตะกอนเพคตินที่ได้

3.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) และวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ SPSS version 16.0 และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่ศึกษาโดยวิธีการ Duncans New Multiple Range Test (DNMR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง และวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและการผลิตใยอาหารที่ละลายน้ำโดยใช้ของเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปสับปะรด ที่ได้รับมาจาก โรงงาน บริษัทสยามอุตสาหกรรมเกษตรสับปะรด จำกัด โดยนำส่วนของกากสับปะรด แกนสับปะรด และเปลือกสับปะรด ไปอบโดยเมื่ออบจนแห้งจะได้น้ำหนักแห้งของ กากสับปะรด แกนสับปะรด และเปลือกสับปะรดเท่ากับร้อยละ 38.80, 42.22 และ 42.22 ของน้ำหนักสดตามลำดับ

4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ประกอบด้วยการวิเคราะห์ความชื้น ไขมัน โปรตีน ใยอาหาร เถ้า และคาร์โบไฮเดรต โดยการวิเคราะห์ความชื้นจะนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส (AOAC, 1990) ปริมาณไขมันวิเคราะห์โดยการสกัดด้วยปิโตรเลียม อีเทอร์ โดยใช้ soxhlet system การวิเคราะห์โปรตีนโดยใช้ kjeldahl method ซึ่งเป็นการวิเคราะห์โปรตีนจากเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน ปริมาณเถ้าวิเคราะห์โดยนำไปเผาในเตาเผา (AOAC, 1995) ปริมาณใยอาหารหยาบวิเคราะห์โดยการนำไปสกัดด้วยกรดและด่าง (AOAC, 1990) ปริมาณคาร์โบไฮเดรตสามารถคำนวณได้จากการหักลบ เปอร์เซ็นต์ความชื้น ไขมัน โปรตีน เถ้าและใยอาหารออกไป ได้ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลขององค์ประกอบทางเคมีของกากสับปะรด เปลือกสับปะรด และแกนสับปะรดจากการแปรรูปสับปะรด

องค์ประกอบทางเคมี	ส่วนของสับปะรด (ร้อยละ)		
	กาก	เปลือก	แกน
ความชื้น	$13.44^{b} \pm 0.34$	$13.90^{a} \pm 0.0006$	$5.28^{c} \pm 0.11$
ไขมัน	$0.35^{a} \pm 0.002$	$0.32^{b} \pm 0.004$	$0.32^{b} \pm 0.003$
โปรตีน	$6.78^{b} \pm 0.02$	$7.27^{a} \pm 0.04$	$5.45^{c} \pm 0.15$
ใยอาหาร	$18.41^{a} \pm 0.009$	$7.18^{c} \pm 0.12$	$12.58^{b} \pm 0.48$
เถ้า	$3.78^{c} \pm 0.23$	$7.36^{a} \pm 0.06$	$3.97^{b} \pm 0.04$
คาร์โบไฮเดรต	$57.20^{c} \pm 0.06$	$63.97^{b} \pm 0.12$	$72.39^{a} \pm 0.72$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ: ตัวอักษรหมายถึง ความแตกต่างกันทางสถิติของชุดข้อมูลโดยเรียงอันดับตามตัวอักษรเปรียบเทียบตามแนวนอน หากตัวอักษรเหมือนกันถึงจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากการนำของเหลือทิ้งจากการแปรรูปสับปะรดคือ กากสับปะรด เปลือกสับปะรด และแกนสับปะรดมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่า ปริมาณความชื้นในเปลือกสับปะรดจะมีมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ คือเท่ากับร้อยละ 13.90 รองลงมาคือในกากสับปะรดและแกนสับปะรดมีปริมาณความชื้นเท่ากับ ร้อยละ 13.44 และ 5.28 ตามลำดับ ปริมาณไขมันที่พบในกากสับปะรดจะมีมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญคือเท่ากับร้อยละ 0.35 เปลือกสับปะรด และแกนสับปะรดมีปริมาณเท่ากันคือร้อยละ 0.32 ปริมาณโปรตีนพบว่าเปลือกสับปะรดมีโปรตีนมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญคือร้อยละ 7.27 รองลงมาคือกากสับปะรดมีปริมาณโปรตีนเท่ากับร้อยละ 6.78 และแกนสับปะรดมีปริมาณโปรตีนน้อยที่สุดคือร้อยละ 5.45 ปริมาณเถ้าพบในเปลือกสับปะรดมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญเท่ากับร้อยละ 7.36 ในกากสับปะรดมีปริมาณเถ้าร้อยละ 3.78 และแกนสับปะรดจะมีปริมาณเถ้าร้อยละ 3.97 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต พบในแกนสับปะรดมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญคือร้อยละ 72.39 รองลงมาคือเปลือกสับปะรดพบปริมาณคาร์โบไฮเดรตเท่ากับร้อยละ 63.97 และในกากสับปะรดจะพบปริมาณคาร์โบไฮเดรตน้อยที่สุดคือร้อยละ 57.20

ปริมาณใยอาหารพบในกากสับปะรดมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญคิดเป็นร้อยละ 18.41 รองลงมาคือแกนสับปะรดพบใยอาหารเท่ากับร้อยละ 12.58 และในเปลือกสับปะรดพบปริมาณใยอาหารน้อยที่สุดคือร้อยละ 7.18 จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ กากสับปะรด เปลือกสับปะรด และแกนสับปะรดพบว่าเมื่อเปรียบเทียบปริมาณใยอาหารหยาบทั้งหมด ในกากสับปะรดจะมีปริมาณใยอาหารหยาบมากที่สุด และมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตน้อยที่สุด ซึ่งในการผลิตใยอาหารที่ละลายน้ำวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตต้องผ่านกระบวนการกำจัดแป้งออกก่อน ดังนั้นกากสับปะรดจึงเป็นของเหลือทิ้งจากการแปรรูปสับปะรดที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตใยอาหารที่ละลายน้ำมากที่สุด

4.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตใยอาหารหยาบที่ละลายน้ำจากกากสับปะรด

ในการผลิตใยอาหารที่ละลายน้ำ จะประกอบด้วยขั้นตอน การกำจัดแป้ง การกำจัดโปรตีน การแยกใยอาหารที่ละลายน้ำออกจากใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งในแต่ละขั้นตอนจะมีวิธีการและสภาวะในการทำงานที่แตกต่างกันออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 การกำจัดแป้งออกจากตัวอย่างโดยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส

การกำจัดแป้งออกจากตัวอย่างจะใช้เอนไซม์แอลฟาอะไมเลสเพื่อย่อยแป้ง จะมีการเติมน้ำกลั่นลงในตัวอย่าง ปรับพีเอช เติมเอนไซม์ แล้วนำไปบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า จากนั้นนำไปกรอง แล้วนำไปอบแห้งเพื่อให้ได้ตัวอย่างที่กำจัดแป้งแล้ว โดยในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของแต่ละส่วน โดยเทียบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการย่อยสลายแป้งที่เป็นองค์ประกอบในกากสับปะรดโดยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส ด้วยการทดสอบการเกิดปฏิกิริยากับสารละลาย 3, 5 Dinitrosalicylic (DNS method)

4.2.1.1 การศึกษาปริมาณน้ำที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส

ในการกำจัดแป้งสำหรับการสกัดใยอาหารออกจากกากสับปะรด ได้ศึกษาปริมาณน้ำที่เติมลงไปในกากสับปะรด เพื่อให้ได้กากสับปะรดที่ความเข้มข้นต่างกัน โดยเติมน้ำปริมาตร 10, 15, 20, 30, 40 และ 50 เท่าของน้ำหนักกากสับปะรดแห้ง จากนั้นเติมเอนไซม์อะไมเลสในปริมาณ 40 ไมโครลิตร และนำไปบ่มที่อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่าที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้ววัดหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการย่อยแป้งด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสออกจากกากสับปะรด และชั่งหาน้ำหนักของกากสับปะรดที่ได้หลังจากการกำจัดแป้งออกแล้ว ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลของปริมาณน้ำที่มีการกำจัดแป้งออกจากกากสับปะรดของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส

ปริมาณน้ำ (เท่าของน้ำหนักแห้ง)	ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (มิลลิกรัม/กรัมกากสับปะรดแห้ง)	น้ำหนักของกากสับปะรดหลังจากการกำจัดแป้ง(กรัม)
10	-	-	-
15	$3.58^{a} \pm 0.006$	$53.71^{a} \pm 0.09$	$1.4754^{b} \pm 0.004$
20	$2.62^{b} \pm 0.007$	$39.26^{b} \pm 0.12$	$1.4829^{a} \pm 0.003$
30	$2.00^{c} \pm 0.003$	$30.02^{c} \pm 0.04$	$1.4736^{b} \pm 0.005$
40	$1.49^{d} \pm 0.16$	$22.31^{d} \pm 0.24$	$1.4797^{ab} \pm 0.002$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ: ตัวอักษรหมายถึง ความแตกต่างกันทางสถิติของชุดข้อมูลโดยเรียงอันดับตามตัวอักษรเปรียบเทียบตามแนวคอลัมน์ หากตัวอักษรเหมือนกันถึงจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 7 และเมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการย่อยแป้งออกจากกากสับปะรด พบว่าเมื่อเติมปริมาณน้ำเท่ากับ 15 เท่าของน้ำหนักกากสับปะรดแห้ง จะได้ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีค่าเท่ากับ 3.58 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรและ 53.71 มิลลิกรัมต่อกรัมสับปะรดแห้ง และพบว่ามีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัยเมื่อเทียบกับการเติมน้ำที่ปริมาณที่มากกว่า 15 เท่าของกากสับปะรดแห้ง (20, 30 และ40 เท่าของกากสับปะรดแห้ง) และพบว่าเมื่อเติมปริมาณน้ำที่แตกต่างกัน จะได้ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และน้ำหนักกากสับปะรดแห้งหลังจากการกำจัดแป้งออกแล้วพบว่า ที่ปริมาณน้ำเท่ากับ 15 และ 30 เท่าของน้ำหนักกากสับปะรดแห้งมีน้ำหนักกากสับปะรดแห้งหลังการกำจัดแป้งเท่ากับ 1.4754 และ 1.4736 กรัม ตามลำดับและพบว่าเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และถือว่าน้ำหนักกากสับปะรดที่เหลือจากการกำจัดแป้งออกเมื่อใช้ปริมาณน้ำ 15 เท่าสามารถกำจัดแป้งออกจากกากสับปะรดได้มากที่สุด ทำให้น้ำหนักกากสับปะรดที่เหลือจากการกำจัดแป้งออกมีค่าน้อยที่สุดและที่ปริมาณน้ำเท่ากับ 20 และ40 เท่าของน้ำหนักกากสับปะรดแห้งมีน้ำหนักกากสับปะรดแห้งหลังการกำจัดแป้งเท่ากับ 1.4892 และ 1.4797 กรัม ซึ่งถือว่าเป็นปริมาณน้ำที่เอนไซม์แอลฟาอะไมเลสใช้ในการกำจัดแป้งออกมาได้น้อยกว่าที่ 15 และ 30 เท่า อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเมื่อเติมปริมาณน้ำในการละลายกากสับปะรดเป็น 10 เท่าของน้ำหนักกากสับปะรดแห้ง พบว่ากากสับปะรดเกิดการดูดซึมน้ำเข้าไปเป็นจำนวนมาก ทำให้ปริมาณน้ำที่เหลืออยู่น้อย โอกาสการเข้าทำปฏิกิริยาของเอนไซม์อะไมเลสในการย่อยแป้งออกจากกากสับปะรดน้อยมากจึงไม่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ได้

4.2.1.2 การศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของเอนไซม์อะไมเลส

ในการกำจัดแป้งสำหรับการสกัดใยอาหารออกจากกากสับปะรด ได้ศึกษาค่าพีเอชเริ่มต้นที่ต่างกันคือ 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 5.8, 5.9, 6.0, 6.5 และ 7.0 เมื่อกำจัดแป้งโดยใช้กากสับปะรดที่เติมน้ำปริมาตร 15 เท่าของน้ำหนักกากสับปะรดแห้ง จากนั้นเติมเอนไซม์อะไมเลสในปริมาณ 40 ไมโครลิตร และนำไปบ่มที่อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่าที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้ววัดหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการย่อยแป้งด้วยเอนไซม์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอลฟาอะไมเลสออกจากกากสับปะรด และชั่งหาน้ำหนักของกากสับปะรดที่ได้หลังจากการกำจัดแป้งออกแล้ว ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลของค่าพีเอชเริ่มต้นที่ต่างกันในการกำจัดแป้งออกจากกากสับปะรดของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส

ค่าพีเอช	ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (มิลลิกรัม/กรัมกากสับปะรดแห้ง)	น้ำหนักของกากสับปะรดหลังจากการกำจัดแป้ง (กรัม)
4.0	$2.94^{f} \pm 0.07$	$44.09^{f} \pm 0.96$	$1.4992^{a} \pm 0.002$
4.5	$3.01^{e} \pm 0.006$	$45.13^{e} \pm 0.10$	$1.4913^{b} \pm 0.001$
5.0	$3.17^{c} \pm 0.02$	$47.58^{c} \pm 0.06$	$1.4874^{d} \pm 0.001$
5.5	$3.24^{b} \pm 0.02$	$48.56^{b} \pm 0.27$	$1.4837^{e} \pm 0.001$
5.8	$3.35^{a} \pm 0.01$	$50.30^{a} \pm 0.09$	$1.4902^{bc} \pm 0.001$
5.9	$3.17^{c} \pm 0.003$	$47.59^{c} \pm 0.04$	$1.4876^{d} \pm 0.001$
6.0	$3.08^{d} \pm 0.01$	$46.20^{d} \pm 0.18$	$1.4890^{cd} \pm 0.002$
6.5	$3.03^{e} \pm 0.02$	$45.49^{e} \pm 0.25$	$1.4917^{b} \pm 0.001$
7.0	$3.00^{e} \pm 0.01$	$45.05^{e} \pm 0.09$	$1.4984^{a} \pm 0.001$

หมายเหตุ: ตัวอักษรหมายถึง ความแตกต่างกันทางสถิติของชุดข้อมูลโดยเรียงอันดับตามตัวอักษรเปรียบเทียบตามแนวคอลัมน์ หากตัวอักษรเหมือนกันถึงจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 8 ในการศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดแป้งออกจากตัวอย่าง พบว่า ที่พีเอชเท่ากับ 5.8 ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการกำจัดแป้งออกจากกากสับปะรดแห้งมีปริมาณมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าเท่ากับ 3.35 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อเทียบกับค่าพีเอชอื่น โดยเมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ที่ค่าพีเอชเริ่มต้น 5.8 พบว่าความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเทียบกับพีเอชเริ่มต้น 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 5.9, 6.0, 6.5 และ7.0 เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการกำจัดแป้งพบว่าที่พีเอช 5.8 จะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการกำจัดแป้งมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญเช่นเดียวกัน คือที่ค่าเท่ากับ 50.30 มิลลิกรัมต่อกรัมกากสับปะรดแห้ง รองลงมาคือที่พีเอชเท่ากับ 5.5, 5.0, 5.9, 6.0, 6.5, 4.5, 7.0 และ 4.0 โดยมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการกำจัดแป้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 48.56, 47.58, 47.51, 46.20, 45.49, 45.13, 45.05 และ 44.09 มิลลิกรัมต่อกรัมกากสับปะรดแห้ง ตามลำดับโดยเมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์พบว่าพีเอชเริ่มต้น 5.8 จะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการกำจัดแป้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการกำจัดแป้งเมื่อใช้พีเอชเริ่มต้นค่าอื่น และน้ำหนักแห้งของกากสับปะรดหลังการกำจัดแป้งพบว่าที่พีเอช เท่ากับ 4.0 และ 7.0 มีน้ำหนักของตัวอย่างหลังการกำจัดแป้งใกล้เคียงกันคือ 1.4992 และ 1.4984 กรัม และปริมาณน้ำหนักแห้งของกากสับปะรดหลังการกำจัดแป้งที่พีเอช เท่ากับ 4.0 และ 7.0 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

4.2.1.3 การศึกษาปริมาณเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดแป้งออกจากกากสับปะรด

ในการกำจัดแป้งสำหรับการสกัดใยอาหารออกจากกากสับปะรด ปริมาณของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่ต่างกันในการกำจัดแป้งออกจากตัวอย่าง โดยศึกษาปริมาณเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่ปริมาณ 10, 20, 40, 60, 80 และ 100 ไมโครลิตร ใช้ในการกำจัดแป้งออกจากกากสับปะรดที่เติมน้ำปริมาตร 15 เท่าของน้ำหนักกากสับปะรดแห้ง และนำไปบ่มที่อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่าที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้ววัดหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการย่อยแป้งด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสออกจากกากสับปะรด และชั่งหาน้ำหนักของกากสับปะรดที่ได้หลังจากการกำจัดแป้งออกแล้ว ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลของปริมาณเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่มีผลต่อการกำจัดแป้งออกจากกากสับปะรด

ปริมาณเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (ไมโครลิตร)	ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (มิลลิกรัม/กรัมกากสับปะรดแห้ง)	น้ำหนักของตัวอย่างหลังจากการกำจัดแป้ง (กรัม)
10	$3.23^{d} \pm 0.01$	$48.50^{d} \pm 0.14$	$1.4894^{ab} \pm 0.001$
20	$3.34^{c} \pm 0.01$	$50.12^{c} \pm 0.07$	$1.4913^{a} \pm 0.002$
40	$3.40^{b} \pm 0.02$	$51.08^{b} \pm 0.23$	$1.4753^{c} \pm 0.003$
60	$3.58^{a} \pm 0.003$	$53.64^{a} \pm 0.04$	$1.4875^{b} \pm 0.002$
80	$3.57^{a} \pm 0.003$	$53.56^{a} \pm 0.16$	$1.4901^{ab} \pm 0.001$

หมายเหตุ: ตัวอักษรหมายถึง ความแตกต่างกันทางสถิติของชุดข้อมูลโดยเรียงอันดับตามตัวอักษรเปรียบเทียบตามแนวคอลัมน์ หากตัวอักษรเหมือนกันถึงจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 9 ในการศึกษาปริมาณเอนไซม์ที่เหมาะสมในการกำจัดแป้งออกจากกากสับปะรดแห้งพบว่า เมื่อใช้ปริมาณเอนไซม์เท่ากับ 60 ไมโครลิตร ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการกำจัดแป้งมากที่สุด คือ 3.58 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรและพบว่าความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการย่อยของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสปริมาณ 80 ไมโครลิตรพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และพบว่าความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการย่อยของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสจะแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อใช้ปริมาณเอนไซม์น้อยกว่า 60 ไมโครลิตร เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์พบว่า เมื่อใช้ปริมาณเอนไซม์เท่ากับ 60ไมโครลิตร ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการกำจัดแป้งมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญเช่นเดียวกันโดยมีค่าเท่ากับ 53.64 มิลลิกรัมต่อกรัมกากสับปะรดแห้ง รองลงมาคือที่ปริมาณเอนไซม์เท่ากับ 80, 40, 20 และ 10 ไมโครลิตร โดยปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เอนไซม์เท่ากับ 60ไมโครลิตรไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ปริมาณเอนไซม์เท่ากับ 80 ไมโครลิตร แต่จะแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ปริมาณเอนไซม์เท่ากับ 10, 20 และ40 ไมโครลิตร และเมื่อพิจารณาน้ำหนักของกากสับปะรดแห้งหลังการกำจัดแป้งออกพบว่าที่ปริมาณเอนไซม์เท่ากับ 20 ไมโครลิตรจะมีน้ำหนักของกากสับปะรดแห้งหลังการกำจัดแป้งออกมากที่สุดคือ 1.4913 กรัมและมีปริมาณมากกว่าน้ำหนักของกากสับปะรดแห้งหลังการกำจัดแป้งเมื่อใช้ปริมาณเอนไซม์เท่ากับ 10, 40, 60 และ 80 ไมโครลิตร และน้ำหนักของกากสับปะรดแห้งหลังการกำจัดแป้งออกที่ปริมาณเอนไซม์เท่ากับ 40 ไมโครลิตรมีความแตกต่างทางสถิติกับน้ำหนักของกากสับปะรดแห้งหลังการกำจัดแป้งออกที่ปริมาณเอนไซม์ที่มากกว่าและน้อยกว่า 40 ไมโครลิตร

4.2.1.4 การศึกษาระยะเวลาบ่มที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส

ในการกำจัดแป้งสำหรับการสกัดใยอาหารออกจากกากสับปะรด เมื่อกากสับปะรดที่เติมน้ำปริมาตร 15 เท่าของน้ำหนักกากสับปะรดแห้ง โดยย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสปริมาตร 60 ไมโครลิตรและนำไปบ่มที่อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่าที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และบ่มเป็นระยะเวลา 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง แล้ววัดหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการย่อยแป้งด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสออกจากกากสับปะรด และชั่งหาน้ำหนักของกากสับปะรดที่ได้หลังจากการกำจัดแป้งออกแล้ว พบว่าที่ระยะเวลาบ่มเท่ากับ 1 ชั่วโมง ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าเท่ากับ 3.67 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และพบว่าความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ที่ระยะเวลาบ่ม 1 ชั่วโมง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเทียบกับความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ที่ระยะเวลาบ่ม 2, 3 และ 4 ชั่วโมง และปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการกำจัดแป้งพบว่ามีค่ามากที่สุดเมื่อบ่มเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง และมีค่าเท่ากับ 55.04 มิลลิกรัมต่อกรัมกากสับปะรดแห้ง รองลงมาคือที่ระยะเวลาบ่มเท่ากับ 2, 3 และ 4 ชั่วโมง โดยมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการกำจัดแป้งเท่ากับ 52.31, 47.72 และ 41.14 มิลลิกรัมต่อกรัมกากสับปะรดแห้ง ตามลำดับ และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ระยะเวลาบ่ม 1 ชั่วโมงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ที่ระยะเวลาบ่ม 2, 3 และ 4 ชั่วโมงเช่นเดียวกัน และน้ำหนักแห้งของกากสับปะรดหลังการกำจัดแป้งพบว่าที่ระยะเวลาบ่ม 1 ชั่วโมง น้ำหนักแห้งของกากสับปะรดหลังการกำจัดแป้งมีปริมาณน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าเท่ากับ 1.4729 กรัม และพบว่ามีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบที่ระยะเวลาบ่ม 2, 3 และ 4 ชั่วโมง โดยมีน้ำหนักแห้งของกากสับปะรดหลังการกำจัดแป้งเท่ากับ 1.4860, 1.5006 และ 1.4923 กรัม โดยน้ำหนักแห้งของกากสับปะรดหลังการกำจัดแป้งที่ระยะเวลาบ่มเท่ากับ 1 ชั่วโมง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับน้ำหนักแห้งของกากสับปะรดหลังการกำจัดแป้งที่ระยะเวลาบ่ม 3, 4 และ 2 ชั่วโมง

ตารางที่ 10 ผลของระยะเวลาในการบ่มที่มีต่อการกำจัดแป้งออกจากกากสับปะรดของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส

ระยะเวลาบ่ม (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (มิลลิกรัม/กรัมกากสับปะรดแห้ง)	น้ำหนักของกากสับปะรดหลังจากการกำจัดแป้ง (กรัม)
1	$3.67^{a} \pm 0.003$	$55.04^{a} \pm 0.04$	$1.4729^{d} \pm 0.001$
2	$3.49^{b} \pm 0.006$	$52.31^{b} \pm 0.09$	$1.4860^{c} \pm 0.001$
3	$3.18^{c} \pm 0.009$	$47.72^{c} \pm 0.13$	$1.5006^{a} \pm 0.002$
4	$2.74^{d} \pm 0.003$	$41.14^{d} \pm 0.04$	$1.4923^{b} \pm 0.004$

หมายเหตุ: ตัวอักษรหมายถึง ความแตกต่างกันทางสถิติของชุดข้อมูลโดยเรียงอันดับตามตัวอักษรเปรียบเทียบตามแนวคอลัมน์ หากตัวอักษรเหมือนกันถึงจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.2.2 ขั้นตอนการกำจัดโปรตีนออกจากตัวอย่างโดยเอนไซม์โปรติเอส

ในขั้นตอนการกำจัดโปรตีนออกจากตัวอย่าง ตัวอย่างที่ใช้จะต้องผ่านการกำจัดแป้งออกไปแล้ว โดยในขั้นตอนของการกำจัดโปรตีน จะมีการเติมน้ำกลั่นลงในตัวอย่าง แล้วปรับ

เอกสารนี้ได้ออกให้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พีเอชให้เหมาะสมกับการทำงานของเอนไซม์ เติมเอนไซม์โปรติเอส และนำไปบ่มในเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า จากนั้นนำไปกรองและนำส่วนบนไปอบแห้งเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป เนื่องจากในแต่ละส่วนจะมีสภาวะที่เหมาะสมแตกต่างกันออกไป จึงได้ทำการศึกษาในเรื่องของปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการเติมลงไปในตัวอย่าง ปริมาณเอนไซม์ และระยะเวลาที่เหมาะสม

4.2.2.1 การศึกษาปริมาณน้ำที่เหมะสมสำหรับการทำงานของเอนไซม์โปรติเอส

ในขั้นตอนของการกำจัดโปรตีนสำหรับการผลิตใยอาหาร คือความเข้มข้นเริ่มต้นของกากสับปะรดที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์โปรติเอส โดยการเติมน้ำลงในตัวอย่างในปริมาณที่แตกต่างกัน เพื่อให้เอนไซม์โปรติเอสสามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้ดีที่สุด โดยขั้นตอนนี้ได้ศึกษาปริมาณน้ำ 15, 20, 30 และ 40 เท่าของน้ำหนักกากสับปะรดแห้ง เมื่อกากสับปะรดผ่านกระบวนการกำจัดโปรตีนออกแล้ว จากนั้นนำกากสับปะรดที่ได้อบให้แห้ง และชั่งน้ำหนัก จะได้น้ำหนักของกากสับปะรดที่กำจัดโปรตีนออกแล้ว และจากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนที่เหลืออยู่ด้วยวิธีเจดาห์ล จะได้ปริมาณโปรตีนที่ถูกกำจัดออก และคำนวณหาประสิทธิภาพในการกำจัดโปรตีนออกจากกากสับปะรด ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ผลของปริมาณน้ำที่ต่างกันต่อความสามารถในการทำงานของเอนไซม์โปรติเอสในการกำจัดโปรตีนออกจากกากสับปะรด

ปริมาณน้ำ (เท่าของน้ำหนักกากสับปะรดแห้ง)	ปริมาณโปรตีนที่ถูกกำจัดออก (ร้อยละของน้ำหนักกากสับปะรดแห้ง)	ประสิทธิภาพในการกำจัดโปรตีน (ร้อยละ)	น้ำหนักของกากสับปะรดหลังจากการกำจัดโปรตีน (กรัม)
15	$6.21^{c} \pm 0.49$	$91.60^{c} \pm 0.73$	$2.8124^{ab} \pm 0.0021$
20	$6.40^{a} \pm 0.12$	$94.43^{a} \pm 0.18$	$2.8111^{b} \pm 0.0020$
30	$6.26^{b} \pm 0.00$	$92.44^{b} \pm 0.00$	$2.8095^{b} \pm 0.0021$
40	$6.04^{d} \pm 0.14$	$89.08^{d} \pm 0.18$	$2.8191^{a} \pm 0.0046$

หมายเหตุ: ตัวอักษรหมายถึง ความแตกต่างกันทางสถิติของชุดข้อมูลโดยเรียงอันดับตามตัวอักษรเปรียบเทียบตามแนวคอลัมน์ หากตัวอักษรถึงจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 11 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนหยาบที่กำจัดออกไป พบว่าที่ปริมาณน้ำเท่ากับ 20 เท่าของน้ำหนักกากสับปะรดแห้งสามารถกำจัดโปรตีนหยาบออกไป

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยสามารถกำจัดโปรตีนออกได้ร้อยละ 6.40 ของน้ำหนักกากสับปะรด และพบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดโปรตีนออกจากกากสับปะรดสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญเช่นเดียวกัน โดยประสิทธิภาพในการกำจัดโปรตีนมีค่าเท่ากับร้อยละ 94.43 และรองลงมาคือที่ปริมาณน้ำเท่ากับ 30, 15 และ 40 เท่าของน้ำหนักกากสับปะรดแห้ง ซึ่งพบว่าสามารถกำจัดโปรตีนหยาบได้เท่ากับร้อยละ 6.26, 6.21 และ 6.04 ของน้ำหนักกากสับปะรดแห้งตามลำดับ และมีประสิทธิภาพเท่าละร้อยละ 92.44, 91.60 และ 89.08 ตามลำดับ โดยพบว่าปริมาณโปรตีนที่ถูกกำจัดออกจากกากสับปะรดและประสิทธิภาพในการกำจัดโปรตีนที่ปริมาณน้ำต่างกันมีความแตกต่างกันอยางมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเมื่อพิจารณาน้ำหนักแห้งของกากสับปะรดที่กำจัดโปรตีนออกแล้วพบว่า ที่ปริมาณ 15-30 เท่าจะได้น้ำหนักแห้งของกากสับปะรดใกล้เคียงกัน ซึ่งในทางสถิติถือว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับร้อยละ 95 โดยมีค่าประมาณ 2.8095-2.8124 กรัม และพบว่ามีค่าที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการกำจัดโปรตีนที่ใช้ปริมาณน้ำเท่ากับ 40 เท่าของกากสับปะรด

4.2.2.2 การศึกษาปริมาณเอนไซม์โปรติเอสที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดโปรตีน

ในขั้นตอนการกำจัดโปรตีนออกจากกากสับปะรดสำหรับการสกัดใยอาหาร ได้ศึกษาผลของปริมาณเอนไซม์โปรติเอสที่เหมาะสมในการกำจัดโปรตีนออกจากกากสับปะรดให้มากที่สุด โดยได้ศึกษาปริมาณเอนไซม์ 15, 30, 60, 90, 120 และ 150 ไมโครลิตร โดยในการกำจัดโปรตีนจะใช้ปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่ 20 เท่าของกากสับปะรด และปรับพีเอชให้เหมาะสมกับการทำงานของเอนไซม์โปรติเอส บ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะได้น้ำหนักของกากสับปะรดแห้งที่กำจัดโปรตีนออกแล้ว และหาปริมาณของโปรตีนที่ถูกกำจัดออกและประสิทธิภาพในการกำจัดโปรตีนออก ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 12 พบว่า ปริมาณโปรตีนที่ถูกกำจัดออกจากกากสับปะรดพบว่าเมื่อใช้ปริมาณเอนไซม์เท่ากับ 120 และ 150 ไมโครลิตร ปริมาณโปรตีนที่ถูกกำจัดออกจากกากสับปะรดเท่ากับร้อยละ 6.42 และ 6.43 ตามลำดับ ซึ่งถือว่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 และพบว่าปริมาณของโปรตีนที่ถูกกำจัดออกจะแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อปริมาณเอนไซม์ที่น้อยกว่า 120 ไมโครลิตร โดยพบว่าปริมาณโปรตีนที่ถูกกำจัดออกเมื่อใช้ปริมาณเอนไซม์โปรติเอสเท่ากับ 15, 30, 60, และ 90 ไมโครลิตร จะมีปริมาณโปรตีนหยาบที่กำจัดออกเท่ากับร้อยละ 6.05, 6.24, 6.30 และ 6.38 ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการกำจัดโปรตีนพบว่าเมื่อใช้ปริมาณเอนไซม์เท่ากับ 120 และ 150 ไมโครลิตร มีประสิทธิภาพของการกำจัดโปรตีนออกได้ดีที่สุด และไม่แตกต่างกันทางสถิติคือมีค่าเท่ากับร้อยละ 94.85 และ 94.75 ตามลำดับ และพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดโปรตีนออกจะแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 เมื่อเทียบกับการกำจัดโปรตีนออกเมื่อใช้ปริมาณเอนไซม์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15, 30, 60 และ 90 ไมโครลิตร และน้ำหนักของกากสับปะรดหลังการกำจัดโปรตีนออกพบว่าเมื่อใช้ปริมาณเอนไซม์ 30-150 ไมโครลิตรพบว่าน้ำหนักแห้งของกากสับปะรดที่ได้มีปริมาณที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีค่าประมาณ 2.8055 - 2.8085 กรัม และพบว่าน้ำหนักของกากสับปะรดที่กำจัดโปรตีนออกจะแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการใช้ปริมาณเอนไซม์โปรติเอสเท่ากับ 15 ไมโครลิตร

ตารางที่ 12 ผลของปริมาณเอนไซม์โปรติเอสที่มีต่อการกำจัดโปรตีนออกจากกากสับปะรด

ปริมาณเอนไซม์โปรติเอส (ไมโครลิตร)	ปริมาณโปรตีนที่ถูกกำจัดออก (ร้อยละของน้ำหนักกากสับปะรดแห้ง)	ประสิทธิภาพในการกำจัดโปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	น้ำหนักของกากสับปะรดหลังจากการกำจัดโปรตีน (กรัม)
15	$6.05^{e} \pm 0.34$	$89.29^{e} \pm 0.54$	$2.8215^{a} \pm 0.0038$
30	$6.24^{d} \pm 0.12$	$92.02^{d} \pm 0.18$	$2.8076^{b} \pm 0.0052$
60	$6.30^{c} \pm 0.01$	$92.95^{c} \pm 0.18$	$2.8085^{b} \pm 0.0020$
90	$6.38^{b} \pm 0.25$	$94.12^{b} \pm 0.36$	$2.8080^{b} \pm 0.0042$
120	$6.43^{a} \pm 0.01$	$94.85^{a} \pm 0.18$	$2.8055^{b} \pm 0.0023$
150	$6.42^{a} \pm 0.02$	$94.75^{a} \pm 0.36$	$2.8061^{b} \pm 0.0018$

หมายเหตุ: ตัวอักษรหมายถึง ความแตกต่างกันทางสถิติของชุดข้อมูลโดยเรียงอันดับตามตัวอักษรเปรียบเทียบตามแนวคอลัมน์ หากตัวอักษรเหมือนกันถึงจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.2.2.3 การศึกษาระยะเวลาบ่มที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของเอนไซม์โปรติเอส

ในขั้นตอนการกำจัดโปรตีนออกจากกากสับปะรดเพื่อแยกสกัดใยอาหาร โดยใช้เอนไซม์โปรติเอส ปริมาณ 120 ไมโครลิตร กำจัดโปรตีนออกจากกากสับปะรดที่ปริมาณในการละลาย 20 เท่าของน้ำหนักกากสับปะรด และนำไปบ่มในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยศึกษาการบ่มที่ระยะเวลาต่างๆ กัน คือ 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง เพื่อหาระยะเวลาในการกำจัดโปรตีนออกจากกากสับปะรดให้มากที่สุด จากนั้นหาน้ำหนักของกากสับปะรดที่กำจัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรตีนออกแล้ว ปริมาณโปรตีนที่ถูกกำจัดออกและประสิทธิภาพในการกำจัดโปรตีน ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ผลของระยะเวลาในการกำจัดโปรตีนออกจากกากสับปะรดด้วยเอนไซม์โปรติเอส

ระยะเวลาบ่ม (ชั่วโมง)	ปริมาณโปรตีนหยาบที่กำจัดออก (ร้อยละของน้ำหนักกากสับปะรดแห้ง))	ประสิทธิภาพในการกำจัดโปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	น้ำหนักของตัวอย่างหลังจากการกำจัดโปรตีน (กรัม)
1	$6.31^{a} \pm 0.19$	$94.85^{a} \pm 2.82$	$2.1813^{a} \pm 0.0080$
2	$6.38^{a} \pm 0.02$	$94.16^{a} \pm 0.36$	$2.8030^{a} \pm 0.0021$
3	$6.35^{a} \pm 0.04$	$93.70^{a} \pm 0.63$	$2.8071^{a} \pm 0.0037$
4	$6.37^{a} \pm 0.04$	$94.22^{a} \pm 0.62$	$2.8089^{a} \pm 0.0060$
5	$6.36^{a} \pm 0.05$	$93.90^{a} \pm 0.37$	$2.8104^{a} \pm 0.0060$

หมายเหตุ: ตัวอักษรหมายถึง ความแตกต่างกันทางสถิติของชุดข้อมูลโดยเรียงอันดับตามตัวอักษรเปรียบเทียบตามแนวคอลัมน์ หากตัวอักษรเหมือนกันถึงจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 13 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนที่ถูกกำจัดออกจากตัวอย่างเมื่อใช้เวลาบ่มเท่ากับ 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง พบว่ามีปริมาณโปรตีนที่ถูกกำจัดออกมาใกล้เคียงกันคือร้อยละ 6.31, 6.38, 6.35, 6.37 และ 6.36 ตามลำดับ ซึ่งถือว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการกำจัดโปรตีนออกจากกากสับปะรด พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดโปรตีนเมื่อใช้เวลาบ่มที่เวลาต่างกันคือ เวลา 1-5 ชั่วโมงพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดโปรตีนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ และน้ำหนักของกากสับปะรดหลังการกำจัดโปรตีนออกที่เวลาต่างกัน จะเห็นได้ว่าการกำจัดโปรตีนออกจากกากสับปะรด ที่เวลา 1 ชั่วโมงถือว่าเป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดโปรตีนออกจากกากสับปะรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ขั้นตอนการสกัดใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำออกจากกากสับปะรดโดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

การแยกสกัดใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำออกจากกากสับปะรดโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ประกอบไปด้วยขั้นตอนการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วนำไปบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า จากนั้นนำไปกรอง แล้วนำส่วนบนที่ได้จากการกรองไปอบแห้ง เพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

4.2.3.1 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสม

การกำจัดใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำออกจากกากสับปะรดในขั้นต้นจะศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมต่อการกำจัดใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และได้ศึกษา ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1, 2, 3 และ 4 โดยนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะได้กากสับปะรดที่เป็นใยอาหารที่ละลายน้ำและหาปริมาณของเพคตินที่เป็นองค์ประกอบในใยอาหารที่ละลายน้ำที่สกัดได้จากกากสับปะรด ได้ผลดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีผลต่อการสกัดใยอาหารออกจากกากสับปะรดและปริมาณเพคตินที่สกัดได้

ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ร้อยละของน้ำหนักต่อปริมาตร)	น้ำหนักเพคติน (กรัมต่อกรัมกากสับปะรดแห้ง)	ปริมาณเพคติน (ร้อยละของน้ำหนักกากสับปะรดแห้ง)
1	$0.1276^{a} \pm 0.0031$	$12.76^{a} \pm 0.03$
2	$0.0327^{b} \pm 0.0002$	$3.27^{b} \pm 0.01$
3	$0.0248^{c} \pm 0.0014$	$2.48^{c} \pm 0.14$
4	$0.0180^{d} \pm 0.0002$	$1.80^{d} \pm 0.01$

หมายเหตุ: ตัวอักษรหมายถึง ความแตกต่างกันทางสถิติของชุดข้อมูลโดยเรียงอันดับตามตัวอักษรเปรียบเทียบตามแนวคอลัมน์ หากตัวอักษรเหมือนกันถึงจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 14 เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละต่างกัน พบว่าน้ำหนักเพคติน (กรัมต่อกรัมสับปะรดแห้ง) และปริมาณเพคติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักกากสับปะรดแห้ง ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และพบว่าน้ำหนักเพคตินและปริมาณเพคตินมีค่ามากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 ของน้ำหนักต่อปริมาตร โดยมีน้ำหนักเพคตินเท่ากับ 0.1276 กรัมต่อกรัมกากสับปะรดแห้ง และปริมาณเพคตินเท่ากับร้อยละ 12.76 ของน้ำหนักกากสับปะรดแห้ง และพบว่าเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มากขึ้น น้ำหนักของเพคตินและปริมาณเพคตินที่ได้มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.2.3.2 การศึกษาปริมาณของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

ในการศึกษาปริมาณของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำออกจากกากสับปะรด โดยศึกษาปริมาณของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 30, 40 และ 50 มิลลิลิตร และบ่มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ได้กากสับปะรดที่เป็นใยอาหารที่ละลายน้ำที่แยกออกจากใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและหาปริมาณของเพคตินที่เป็นองค์ประกอบในใยอาหารที่ละลายน้ำที่สกัดได้จากกากสับปะรด จากการเมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 เท่ากับ 30 และ 40 มิลลิลิตร พบว่าน้ำหนักของเพคตินและปริมาณเพคตินมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าเท่ากับ 0.0587 และ 0.0566 กรัมต่อกรัมของกากสับปะรดแห้ง และพบว่าเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 1 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร พบว่ามีปริมาณเพคติน และน้ำหนักเพคตินมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเทียบกับที่ปริมาตร 30 และ 40 มิลลิลิตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยมีน้ำหนักเพคตินเท่ากับ 0.1230 กรัมต่อกรัมสับปะรดแห้งและปริมาณเพคตินเท่ากับร้อยละ 12.30 ของน้ำหนักกากสับปะรดแห้ง

ตารางที่ 15 ผลของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีผลต่อปริมาณเพคตินที่สกัดได้จากกากสับปะรดในขั้นตอนการสกัดใยอาหารที่ละลายน้ำออกจากใยอาหารที่ละลายน้ำ

ปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 (มิลลิลิตร)	น้ำหนักเพคติน (กรัมต่อกรัมกากสับปะรดแห้ง)	ปริมาณเพคติน (ร้อยละของน้ำหนักกากสับปะรดแห้ง)
30	$0.0587^{b} \pm 0.0003$	$5.87^{b} \pm 0.0258$
40	$0.0566^{b} \pm 0.0006$	$5.66^{b} \pm 0.0566$
50	$0.1230^{a} \pm 0.0020$	$12.30^{a} \pm 0.1986$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ: ตัวอักษรหมายถึง ความแตกต่างกันทางสถิติของชุดข้อมูลโดยเรียงอันดับตามตัวอักษรเปรียบเทียบตามแนวคอลัมน์ หากตัวอักษรเหมือนกันถึงจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.2.3.3 การศึกษาระยะเวลาบ่มที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

ในการกำจัดใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำออกจากกากสับปะรดโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เมื่อนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาในการบ่มกับการกำจัดใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำต่างกันคือ 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง และหาปริมาณเพคตินที่สกัดได้ พบว่าได้ผลดังแสดงในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ผลของระยะเวลาในการกำจัดใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำออกจากกากสับปะรดและปริมาณเพคติที่สกัดได้

ระยะเวลาบ่ม (ชั่วโมง)	น้ำหนักเพคติน (กรัมต่อกรัมกากสับปะรดแห้ง)	ปริมาณเพคติน (ร้อยละของน้ำหนักกากสับปะรดแห้ง)
1	$0.0594^{c} \pm 0.0002$	$5.94^{c} \pm 0.02$
2	$0.0681^{b} \pm 0.0005$	$6.81^{b} \pm 0.05$
3	$0.1234^{a} \pm 0.0011$	$12.34^{a} \pm 0.12$
4	$0.0581^{d} \pm 0.0009$	$5.81^{cd} \pm 0.09$
5	$0.0578^{d} \pm 0.0003$	$5.78^{d} \pm 0.03$

หมายเหตุ: ตัวอักษรหมายถึง ความแตกต่างกันทางสถิติของชุดข้อมูลโดยเรียงอันดับตามตัวอักษรเปรียบเทียบตามแนวคอลัมน์ หากตัวอักษรเหมือนกันถึงจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 16 เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาบ่มที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง พบว่าที่ระยะเวลาบ่มเท่ากับ 3 ชั่วโมง มีปริมาณเพคติน และน้ำหนักเพคตินมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญคือร้อยละ 12.34 ของน้ำหนักกากสับปะรดแห้ง และ 0.1234 กรัมต่อกรัมกากสับปะรดแห้ง ตามลำดับ รองลงมาคือที่ระยะเวลาบ่มเท่ากับ 2, 1, 4 และ 5 ชั่วโมง โดยมีน้ำหนักเพคตินและปริมาณเพคตินเท่ากับ 0.0681, 0.0594, 0.0581 และ 0.0578 กรัมต่อกรัมกากสับปะรดแห้ง และร้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละ 6.81, 5.94, 5.81 และ 5.78 ของน้ำหนักของกากสับปะรด ตามลำดับ และพบว่าที่ชั่วโมงที่ 4 และ 5 พบว่าน้ำหนักเพคตินและปริมาณเพคตินไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของของเหลือทิ้งจากการแปรรูปสับปะรดพบว่า เปลือกสับปะรดมีปริมาณความชื้นมากที่สุดคือร้อยละ 13.90 รองลงมาคือ กากสับปะรดและแกนสับปะรดที่มีปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 13.44 และ 5.28 ตามลำดับ ซึ่งความแตกต่างที่เกิดขึ้นนั้นเป็นผลเนื่องมาจากลักษณะทางกายภาพเริ่มต้นของเปลือกและแกนสับปะรดที่ไม่ผ่านการคั้นน้ำออกจึงทำให้มีปริมาณความชื้นสูง แต่ส่วนกากสับปะรดนั้นจะผ่านกระบวนการคั้นน้ำออกมาแล้ว เมื่อพิจารณาปริมาณโปรตีนหยาบพบว่า เปลือกสับปะรดมีปริมาณโปรตีนหยาบมากที่สุดคือร้อยละ 7.27 รองลงมาคือ กากและแกนสับปะรดที่มีปริมาณโปรตีนเท่ากับร้อยละ 6.78 และ 5.45 ตามลำดับ ซึ่งปริมาณโปรตีนที่พบนั้นมีค่าน้อยกว่าในเมล็ดหัวหอมใหญ่สีแดง รำข้าว กากพืช และเปลือกเมล็ดงาที่ผ่านการอบแห้ง ที่มีปริมาณโปรตีนหยาบเท่ากับร้อยละ 27.9, 18.35, 14.60 และ 7.5 (Dini และคณะ, 2008; Abdul-Hamid และคณะ, 2000; Pagian และคณะ, 1999; Elleuch และคณะ, 2007) แต่มีปริมาณโปรตีนหยาบมากกว่าในข้าวโอ๊ตในการศึกษาของ Claye และคณะ (1996) ที่มีปริมาณโปรตีนหยาบเท่ากับร้อยละ

ในการศึกษาปริมาณไขมันหยาบพบว่า ส่วนต่างๆของสับปะรดมีปริมาณไขมันหยาบน้อยและมีความใกล้เคียงกัน กากสับปะรดมีปริมาณไขมันหยาบมากที่สุดคือร้อยละ 0.35 รองลงมาคือแกนและเปลือกสับปะรดที่มีปริมาณไขมันหยาบเท่ากับร้อยละ 0.32 ปริมาณไขมันหยาบที่วิเคราะห์ได้นั้นมีค่าน้อยกว่าปริมาณไขมันหยาบในเมล็ดหัวหัวใหญ่สีแดง รำข้าว และกากพืชซึ่งมีปริมาณไขมันหยาบเท่ากับร้อยละ 23.6, 16.62 และ ตามลำดับ (Dini และคณะ, 2008; Abdul-Hamid และคณะ, 2000; Pagan และคณะ, 1999)

ของเหลือทิ้งที่ได้จากการแปรรูปสับปะรดมีปริมาณเถ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 3.78-7.36 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณเถ้าในเปลือกข้าวสาลี รำข้าว เปลือกข้าวโอ๊ต กากพืช และกากส้ม ที่มีปริมาณเถ้าเท่ากับร้อยละ 2.6-8 (Abdul-Hamid และคณะ, 2000; Grigelmo-Miguel และคณะ, 1999a และ 1999b) เมื่อวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตพบว่า ส่วนแกนสับปะรดมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเท่ากับร้อยละ 72.39 ซึ่งมากกว่าส่วนเปลือกและกากสับปะรดที่มีค่าเท่ากับร้อยละ 63.97 และ 57.20 ตามลำดับ

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบปริมาณใยอาหารหยาบทั้งหมดพบว่า กากสับปะรดมีปริมาณใยอาหารหยาบมากที่สุดคือร้อยละ 18.41 ซึ่งมีค่ามากกว่าส่วนแกนและเปลือกสับปะรดที่มีปริมาณใยอาหารหยาบทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 12.58 และ 7.18 ตามลำดับ จึงสามารถนำส่วนของกาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามมิให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สับปะรดนำไปผลิตเป็นใยอาหารได้ และเมื่อเปรียบปริมาณใยอาหารทั้งหมดกับของเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปธัญพืชและผลไม้อื่นๆ พบว่า กากสับปะรดมีปริมาณใยอาหารมากกว่าเมล็ดหอมหัวใหญ่สีแดง (Dini และคณะ, 2008) เปลือกมะนาว เปลือกส้ม เปลือกส้มโอ (Gorinstein และคณะ, 2001) และถั่วเหลืองอ่อน (Redondo-Cuenca และคณะ,2006) ที่มีใยอาหารทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 16.10, 14.00, 13.90, 13.90 และ 9.45 ตามลำดับ แต่มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดน้อยกว่า กากพีช (Pagan และคณะ, 1999) รำข้าวสาลี รำข้าวโอ๊ต (Grigelmo-Miguel และคณะ, 1999) รำข้าว (Abdul-Hamid และคณะ, 2000) ซึ่งมีปริมาณใยอาหารทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 54.20, 44.00, 27.04 และ 23.80 ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามเนื้อที่เพาะปลูกและผลผลิตต่อไร่ในประเทศไทยค่อนข้างสูง ดังนั้นของเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปสับปะรดจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการนำมาผลิตใยอาหารได้

ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดแป้งออกโดยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสพบว่า ปริมาณน้ำที่เหมาะสมคือ 15 เท่าของน้ำหนักกากสับปะรดแห้ง พีเอชที่เหมาะสมคือ 5.8 ปริมาณเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่เหมาะสมเท่ากับ 60 ไมโครลิตร และระยะเวลาบ่มที่เหมาะสมคือ 1 ชั่วโมง

ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโปรตีนออกโดยเอนไซม์โปรติเอสพบว่า ปริมาณน้ำที่เหมาะสมคือ 20 เท่าของน้ำหนักกากสับปะรดแห้ง ปริมาณของเอนไซม์โปรติเอสที่เหมาะสมคือ 120 ไมโครลิตร และระยะเวลาบ่มที่เหมาะสมคือ 3 ชั่วโมง

ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำออกโดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์พบว่า ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมคือร้อยละ 1 ปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50 มิลลิลิตร และระยะเวลาบ่มที่เหมาะสมคือ 3 ชั่วโมง

ความสัมพันธ์ของโครงสร้างของเพคตินที่ดี และการนำไปใช้ประโยชน์ยังคงต้องทำการศึกษากันต่อไป (Ralet และคณะ, 2002) ปัจจุบันมีการศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างเพคตินมากมายซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของพืช และการสกัด ยกตัวอย่างเช่น ในการสกัดเพคตินจากชูก้าบีท (sugar beet) จะใช้กรดไฮโดรคลอริกหรือกรดไนตริก ในช่วงพีเอชเท่ากับ 1-3 อุณหภูมิเท่ากับ 75-90 องศาเซลเซียส (Levigne และคณะ, 2002a) การสกัดเพคตินจากเปลือกมะม่วงพันธุ์ซินิ (Ceni mango) โดยน้ำปราศจากไอออนได้ปริมาณเพคตินชนิด methylation มากกว่า การใช้กรดไฮโอคลอริกที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (Kratchanova และคณะ, 1991) การสกัดเพคตินจากเปลือกเอมบาเรลา (Ambarella) โดยกรดไฮโดรคลอริก น้ำปราศจากไอออน และกรดออกซาลิคพบว่า การใช้กรดออกซาลิคหรือแอมโมเนียมออกซาเลตจะได้ปริมาณเพคตินมากที่สุด เช่นเดียวกับการศึกษาของปริมาณเพคตินในเปลือกกล้วยของ Emaga และคณะ (2007) ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Berardini และคณะ (2005) ใช้กรดซัลฟิวริกเจือจาง และทำการตกตะกอนเพคตินโดยเอทานอลจึงกล่าวได้ว่า โครงสร้างของเพคตินและความเหมาะสมในการนำมาใช้ประโยชน์ขึ้นกับแหล่งที่มาและวิธีการสกัด อีกทั้งยังสามารถกล่าวได้ว่าปริมาณเพคตินมีผลเนื่องมาจากระยะเวลาการสุกของผลไม้ (Bulk และคณะ, 1996) และอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด (Fraeye และคณะ, 2007; El-Nawawi, 1987)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กุลวดี ตรองพาณิชย์. 2542. การผลิตใยอาหารจากเศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดฝักอ่อน. [Online]. Available : http://www.biotec.or.th/rde/RDEResultF1.asp?Id_Rde=459

จารุพันธ์ ทองแถม. 2519. การศึกษาลักษณะประจำพันธุ์และคุณภาพของผลสับปะรดพันธุ์ต่าง ๆ ในประเทศไทย. *เกษตรสาร*. 7: 163 – 183.

จารุพันธ์ ทองแถม. 2526. สับปะรดและอุตสาหกรรมสับปะรดในประเทศไทย. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จินดา สนิทวงศ์ ณ อยุธยา. 2547. การใช้เศษเหลือและผลพลอยได้จากกากสับปะรดเป็นอาหารสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง.กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ *รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2547*. 562-581

สิริภัค สระตันต์. 2542. ปฏิบัติการชีวเคมีเบื้องต้น. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สันทนา อมรไชย. 2537. ใยอาหาร.[Online].Available:http://library.dip.go.th/elib/cgi-bin/opacexe.exe?op=dsp&bid=10856&lang=1&db=Main&pat=%e3%c2%cd%d2%cb%d2%c3&cat=tit&skin=u&lpp=256&catop=&scid=zzz

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2547. สถิติการเกษตรของไทยประจำปี 2547. [Online]. Available : http://www.oae.go.th/statistic/yearbook47/

ศิริพร กุลวงศ์ และพรชัย ล้อวิลัย. 2548. ผลของเศษเหลือจากสับปะรดเป็นแหล่งอาหารหยาบต่อสมรรถนะการผลิตโค.กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิริขวัญ เบ็ญจกรรณ์. 2548. การวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยอาหารในพืชพื้นบ้านบางชนิดโดยวิธีนอนเอนไซมาติก กราวิเมตริก. [Online]. Available : http://www.sci.cmru. ac.th/research.php

นิรนาม. 2550ก. Analitical progress. [Online]. Available : http://www.medlabs.com

นิรนาม. 2550ข. การหาปริมาณเส้นใยอาหาร. [Online]. Available : http://www.sithiporn.co.th/newweb/newsletter/21-4-2005-1114054690.doc

นิรนาม. 2541ค. ใยอาหารเคล็ดลับแห่งสุขภาพ. [Online]. Available :http://web.ku.ac.th/schoolnet/snet4/anatomy/fiber.htm

นิรนาม. 2551ง. การตรวจสอบปริมาณเพคตินในพืชสดและน้ำหมักชีวภาพ.[Online]. Availablc http://filing.fda.moph.go.th/library/e-learning/CPIC/น้ำหมักชีวภาพ/ผลการวิจัยเรื่องที่ 2 การวิเคราะห์ปริมาณเพคติน.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อรุณี ตรีศิริโรจน์. 2540. การวิเคราะห์ปริมาณและชนิดของใยอาหารในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. [Online]. Available: http://research.sc.mypage.utcc.ac.th/ezcatfiles/research.sc/img/img/abstract27-45_part3.pdf

Abdul-Hamid A., and Luan Y. S. 2000. Functional properties of dietary fibre prepared from defatted rice bran. *Food Chem.* 68:15-19.

American Association of Cereal Chemists (AACC). 2001. The definition of dietary fiber. Dietary Fiber Technical Committee. *Cereal Foods World.* 46:112.

AOAC. 1990. Official methods of analyses. Association of Official Analytical Chemists: Washington, DC.

AOAC. 2000. Official methods of analyses. Association of Official Analytical Chemists: Washington, DC.

BC Cancer Agency care and research. 2004. [Online]. Available : http://www.dietitians.ca/news/downloads/highlights_research_summer04_ada_summary.pdf

Bardiya N., Somayaji D. and Khanna S. 1996. Biomethanation of banana peel and pineapple waste. *PII: S0960-8524.* 58: 73-76.

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

Bulk R.E. E., Babiker E. F. E. and Tinay A. H. E. 1997. Changes in chemical composition of guava fruits during development and ripening. *Food Chem.*59: 395-399.

Claye S. S., Idouraine A. and Weber C.W. 1996. Extraction and fractionation of insoluble fiber from five fiber sources. *Food Chem.* 57: 305-310

DeVries J.W., Proky L., Li B. and Cho S. 1999. A Historical Perspective on Defining Dietary fiber American Association of Cereal Chemist. Inc.

De Vries, J. A., Voragen, A. G. J., Rombouts, F. M. and Pilnik, W. 1981. Extraction and purification of pectins from alcohol insoluble solids from ripe and unripe apples. *Carbohyd. Polym.* 1: 117-127.

De Vries, J.A., Rombouts, F.M., Voragen, A.G.J., and Pilnik, W. 1982. Enzymatic degradation of apple pectins. *Carbohyd. Polym.* 2: 25.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

De Vries JA.,Voragen AGJ., Rombouts FM and Pilnik W. 1986. Structural studies of apple pectins with pectolytic enzymes. In: Fishman ML, Jen JJ. , editors. Chemistry and Function of Pectins. Washington, DC: *American Chemical Society*. 38–48.

DeVries JW, Prosky L, Li B and Cho S. 1999. A historical perspective on defining dietary fibre. *Cereal Foods World.* 44: 367–369.

Dini I., Tenore G. C., and Dini A. 2008. Chemical composition, nutritional value and antioxidant properties of *Allium caepa L. Var. tropeana* (red onion) seeds. *Food Chem.* 107: 613–621.

Doo-Wang H. and Kim, J.k. 2005. Method for preparing soluble dietary fiber from corn hull. *United States Patent* No. 6838099.

El-Nawawi S.A. and Shehata F.R.. 1987. Extraction of pectin from Egyptian orange peel. Factors affecting the extraction, *Biol. Wastes*. 20: 281–290.

Elleuch M., Besbes S., Roiseux O., Blecker C., and Attia H. 2007. Quality characteristics of sesame seeds and by-products. *Food Chem.* 103: 641–650.

Emaga T. H., Robert C., Ronkart S. N., Wathelet B., and Paquot M. 2007. Dietary fibre components and pectin chemical features of peels during ripening in banana and plantain varieties. *Article in press*.

Fraeye I., Roeck A. D., Duvetter T., Verlent I., Hendrickx M. and Loey A. V. 2007. Influence of pectin properties and processing conditions on thermal pectin degradation. *Food Chem.* 105: 555–563.

Gorinstein S., Martı´ n-Belloso O., Park Y. S., Haruenkit R., Lojek A., Ciz M., Caspi A., Libman I., and Trakhtenberg S. 2001. Comparison of some biochemical characteristics of different citrus fruits. *Food Chem.*74: 309–315.

Guatam H.R. and Guleria S.P.S. 2007. Fruit and vegetable waste utilization. [Online]. Available : http://www.techno- preneur.net/ScienceTechMag/jan07/Fruit__vegetable.pdf

Gray J. 2006. *Dietary fibre : definition, analysis, physiology and health.* International Life Science Institute (ILSL) Europe. P. 1-44.

Grigelmo-Miguel N. and MartmH n-Belloso O. 1999. Comparison of Dietary Fibre from By-products of Proccssing Fruits and Greens and from Cereals. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.,* 32: 503-508

James C. S. 1995. *Analytical Chemistry of Foods*. 1st ed. Great Britain : Alden Press, Oxford.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kawakatsu, T., Tragardh, G., and Tragardh, C. 2001. Production of W/O/W emulsions and S/O/W pectin microcapsules by microchannel emulsification. Colloids and Surfaces A—*Physicochemical and Engineering Aspects*. 189: 257–264.

Kratchanova M., Benemou C., and Kratchanova, C. 1991. On the pectic substances of mango fruits. *Carbohyd. Polym.* 15: 271–282.

Kumar D., Jain V.K., and Shanker S. A. 2003. Utilisation of fruit waste for citric acid production by solid state fermentation. *Process Biochem.* 38: 1725-1729.

Larrauri J.A., Ruperez P., Borroto B. and Saura-Calixto F. 1996. Mango Peels as a New Tropical Fibre: Preparation and Characterization. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.* 29: 729–733.

Levigne S., Ralet M.-C., and Thibault, J.-F. 2002a. Characterisation of pectins extracted from fresh sugar beet under different conditions using an experimental design. *Carbohydrate Polym.*49: 145–153

Pagan J., and Ibarz A. 1999. Extraction and rheological properties of pectin from fresh peach pomace. *J. Food Eng.* 39: 193-201.

Pearson, D. 1970. *The chemical analysis of foods*. 5th ed. London : J. and A. Churchill. P. 452.

Prosky, L., Asp, N. G., Schweizer, T. F., De Vries, J. W., and Furda, I. 1988. Determination of insoluble, soluble, and total dietary fibre in food products : interlaboratory study. *AOAC.* 71: 1017–1023.

Michel F., Thibault, J.F., Mercier C., Heitz, F. and Pouillaude, F. 1985. Extraction and characterization of pectins from sugar beet pulp. *J. Food Sci.. 50*: 1499-1500.

McCleary, B.V. 1999. Enzyme purity and activity in fibre determination. *Cereal Food world.* 44: 590-596.

Nussinovitch A. 1997. Hydrocolloid Applications: Gum Tcchnology in the Food and Other Industries. *Chapman and Hall*, London, United Kingdom. pp. 354.

Nigam J.N. 1999. Continuous ethanol production from pineapple cannery waste. *J. Biotechnol.* 72: 197-202.

Nitithan S., Komindr S., Nichachotsalid A. 2004. Phytate and fiber content in Thai fruits commonly consumed by diabetic patient. *J. Med. Assoc. Thai.* 87: 1444-1446.

Seymour GB., Knox JP. (eds). 2002. Pectins and their manipulation, Oxford, Blackwell Publishing/CRC. p. 250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sowbhagya H.B., Suma P. F., Mahadevamma S. and Tharanathan R.N. 2007. Spent residue from cumin–a potential source of dietary fiber. *Food Chem.* 104: 1220-1225.

Ralet, M.-C., & Thibault, J.-F. 2002. Interchain heterogeneity of enzymatically deesterified lime pectins. *Biomacromolecules*. 3: 917–925.

Redondo-Cuenca A., Villanueva-Suárez M.J., Rodríguez-Sevilla M.D. and Mateos-Aparicio I. 2007. Chemical composition and dietary fibre of yellow and green commercial soybeans (Glycine max). *Food Chem.*101: 1216-1222.

Rolin C., and De Vries J. A., 1990. Pectin. In: *Food gels*; Harris, P.J, p. 401-434.

Wang C.H., Lin P.J. and Chang J.S. 2006. Fermentative conversion of sucrose and pineapple waste into hydrogen gas in phosphate-buffered culture seeded with municipal sewage. *Process Biochem.* 41: 1353-1358.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

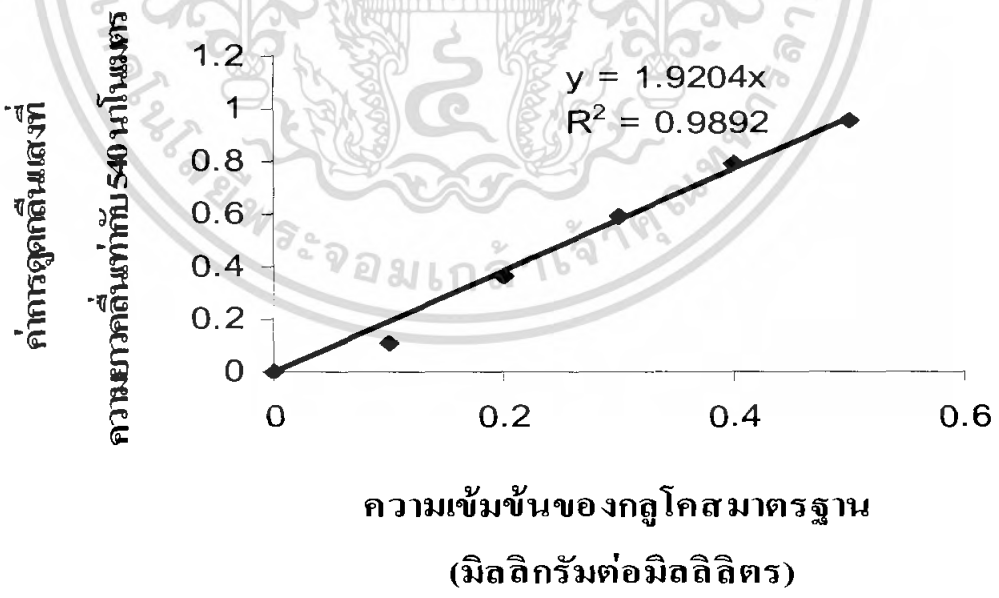
การวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยวิธี DNS

นำตัวอย่างที่ต้องการวัด 1 มิลลิลิตร เติม 3,5 ไดไนโตรซาลิไซลิก 3 มิลลิลิตร แล้วนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นแช่ในน้ำก๊อกให้เย็น เติมน้ำกลั่น 6 มิลลิลิตร แล้ววัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นในรูปของน้ำตาลกลูโคสโดยนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร

เตรียมกราฟมาตรฐานกลูโคส โดยนำสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยนำมาเติม3, 5 ไดไนโตรซาลิไซลิก 3 มิลลิลิตร นำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที แช่ในน้ำก๊อกให้เย็น เติมน้ำกลั่น 6 มิลลิลิตร วัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นในรูปของน้ำตาลกลูโคสโดยนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร

คำนวณวามเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ในตัวอย่าง โดยนำไปเปรียบเทียบกับกราฟกลูโคสมาตรฐาน

กราฟภาคผนวกที่ 1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของกลูโคสมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของกลูโคสมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของกลูโคสมาตรฐาน (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร
0.1	0.110
0.2	0.361
0.3	0.592
0.4	0.792
0.5	0.952

ตารางภาคผนวกที่ 2 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของส่วนใสที่กรองได้ในการศึกษาปริมาณน้ำต่างๆ

ปริมาณน้ำ (เท่าของน้ำหนักแห้ง)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร
15 (10X)	0.688
20 (10X)	0.503
30 (10X)	0.384
40 (10X)	0.224
50 (10X)	0.286

ตารางภาคผนวกที่ 3 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของส่วนใสที่กรองได้ในการศึกษาค่าพีเอชต่างๆ

ค่าพีเอช	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร
4.0	0.564
4.5	0.578
5.0	0.609
5.5	0.622
5.8	0.643
5.9	0.609
6.0	0.591
6.5	0.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 3 (ต่อ) แสดงค่าการดูดกลืนแสงของส่วนใสที่กรองได้ในการศึกษาค่าพีเอชต่างๆ

ค่าพีเอช	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร
7.0	0.576

ตารางภาคผนวกที่ 4 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของส่วนใสที่กรองได้ในการศึกษาปริมาณเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสต่างๆ

ปริมาณเอนไซม์อะไมเลส (ไมโครลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร
10 (10X)	0.621
20 (10X)	0.654
40 (10X)	0.642
60 (10X)	0.687
80 (10X)	0.625

ตารางภาคผนวกที่ 5 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของส่วนใสที่กรองได้ในการศึกษาระยะเวลาบ่มต่างๆ

ระยะเวลาบ่ม (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร
1	0.705
2	0.670
3	0.611
4	0.527

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การเตรียมฟอสเฟตซิเตรตบัฟเฟอร์สำหรับการเตรียมเอนไซม์โปรติเอส

1) เตรียมสารละลาย A ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

โดยชั่งกรดซิตริก (citric acid) 19.21 ละลายในน้ำปราศจากไอออน 1000 มิลลิลิตร

2) เตรียมสาร B ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์

โดยชั่งไดเบสิกโซเดียมฟอสเฟต (dibasic sodium phosphate, $Na_2HPO_4.7H_2O$) 53.65 กรัม ในน้ำปราศจากไอออน 1000 มิลลิลิตร

3) ผสมสารละลาย A ปริมาตร 6.5 มิลลิลิตร และสารละลาย B 43.6 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 6 ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของความชื้น

Moisture	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
core	3	5.2779		
pomace	3		13.4352	
husk	3			13.8969
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for group in homogeneos subsets are diplayed. A Use Hamonic Mean Sample size = 3.00

ตารางภาคผนวกที่ 7 ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของไขมัน

Fat	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
husk	3	.3172	
core	3	.3230	
pomace	3		.3472
Sig.		.076	1.000

Means for group in homogeneos subsets are diplayed. A Use Hamonic Mean Sample size = 3.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 8 ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของโปรตีน

Protein	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
core	3	5.4507		
pomace	3		6.7765	
husk	3			7.2686
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for group in homogeneos subsets are diplayed. A Use Hamonic Mean Sample size = 3.00

ตารางภาคผนวกที่ 9 ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของใยอาหาร

Dietary fiber	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
husk	3	7.1788		
core	3		12.5834	
pomace	3			18.4667
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for group in homogeneos subsets are diplayed. A Use Hamonic Mean Sample size = 3.00

ตารางภาคผนวกที่ 10 ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของเถ้า

Ash	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
pomace	3	3.7790		
core	3		3.9713	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 10 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของเถ้า

Ash	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
husk	3			7.3654
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for group in homogeneos subsets are diplayed. A Use Hamonic Mean Sample size = 3.00

ตารางภาคผนวกที่ 11 ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของคาร์โบไฮเดรต

Carbohydrate	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
pomace	3	57.1954		
husk	3		63.9730	
core	3			72.3937
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for group in homogeneos subsets are diplayed. A Use Hamonic Mean Sample size = 3.00

ตารางภาคผนวกที่ 12 ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ในการกำจัดแป้งของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่ปริมาณน้ำต่างกัน

water	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
40x	3	1.4875			
30x	3		2.0013		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 12 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ในการกำจัดแป้งของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่ปริมาณน้ำต่างกัน

water	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
20x	3			2.6175	
15x	3				3.5809
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for group in homogeneos subsets are diplayed. A Use Hamonic Mean Sample size = 3.00

ตารางภาคผนวกที่ 13 ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ในการกำจัดแป้งของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่ปริมาณน้ำต่างกัน

water	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
40x	3	22.3130			
30x	3		30.0200		
20x	3			39.2625	
15x	3				53.7130
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for group in homogeneos subsets are diplayed. A Use Hamonic Mean Sample size = 3.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 14 ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของน้ำหนักของตัวอย่างหลังจากการกำจัดแป้ง ในการกำจัดแป้งของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่ปริมาณน้ำต่างกัน

water	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
30x	3	1.4736	
15x	3	1.4754	
40x	3	1.4797	1.4797
20x	3		1.4829
Sig.		.075	.295

Means for group in homogeneos subsets are diplayed. A Use Hamonic Mean Sample size = 3.00

ตารางภาคผนวกที่ 15 ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ในการกำจัดแป้งของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่พีเอชต่างกัน

pH	N	Subset for alpha = 0.05					
		1	2	3	4	5	6
4.0	3	2.9394					
7.0	3		3.0035				
4.5	3		3.0084				
6.5	3		3.0326				
6.0	3			3.0803			
5.0	3				3.1723		
5.9	3				3.1729		
5.5	3					3.2375	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 15 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของความเข้มข้น ของน้ำตาลรีดิวซ์ในการกำจัดแป้งของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่พีเอชต่างกัน

pH	N	Subset for alpha = 0.05					
		1	2	3	4	5	6
5.8	3						3.3535
Sig.		1.000	.187	1.000	.977	1.000	1.000

Means for group in homogeneos subsets are diplayed. A Use Hamonic Mean Sample size = 3.00

ตารางภาคผนวกที่ 16 ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในการกำจัดแป้งของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่พีเอชต่างกัน

pH	N	Subset for alpha = 0.05					
		1	2	3	4	5	6
4.0	3	44.0910					
7.0	3		45.0530				
4.5	3		45.1260				
6.5	3		45.4895				
6.0	3			46.2040			
5.0	3				47.5850		
5.9	3				47.5940		
5.5	3					48.5630	
5.8	3						50.3025
Sig.		1.000	.187	1.000	.977	1.000	1.000

Means for group in homogeneos subsets are diplayed. A Use Hamonic Mean Sample size = 3.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 17 ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของน้ำหนักของตัวอย่างหลังจากการกำจัดแป้ง ในการกำจัดแป้งของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่พีเอชต่างกัน

pH	N	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	5
5.5	3	1.4837				
5.0	3		1.4874			
5.9	3		1.4876			
6.0	3		1.4890	1.4890		
5.8	3			1.4902	1.4902	
4.5	3				1.4913	
6.5	3				1.4917	
7.0	3					1.4984
4.0	3					1.4992
Sig.		1.000	.165	.268	.192	.456

Means for group in homogeneos subsets are diplayed. A Use Hamonic Mean Sample size = 3.00

ตารางภาคผนวกที่ 18 ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ในการกำจัดแป้งของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่ปริมาณเอนไซม์ต่างกัน

Amylase	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
0.5	3	3.2337			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 18 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ในการกำจัดแป้งของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่ปริมาณเอนไซม์ต่างกัน

Amylase	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
1	3		3.3413		
2	3			3.4055	
4	3				3.5704
3	3				3.5757
Sig.		1.000	1.000	1.000	.458

Means for group in homogeneos subsets are diplayed. A Use Hamonic Mean Sample size = 3.00

ตารางภาคผนวกที่ 19 ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในการกำจัดแป้งของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่ปริมาณเอนไซม์ต่างกัน

Amylase	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
0.5	3	48.5055			
1	3		50.1195		
2	3			51.0825	
4	3				53.5555
3	3				53.6350
Sig.		1.000	1.000	1.000	.458

Means for group in homogeneos subsets are diplayed. A Use Hamonic Mean Sample size = 3.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 20 ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของน้ำหนักของตัวอย่างหลังจากการกำจัดแป้งในการกำจัดแป้งของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่ปริมาณเอนไซม์ต่างกัน

amylase	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
2	3	1.4753		
3	3		1.4875	
0.5	3		1.4894	1.4894
4	3		1.4901	1.4901
1	3			1.4931
Sig.		1.000	.193	.069

Means for group in homogeneos subsets are diplayed. A Use Hamonic Mean Sample size = 3.00

ตารางภาคผนวกที่ 21 ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ในการกำจัดแป้งของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่ระยะเวลาบ่มต่างกัน

time	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
4hr	3	2.7425			
3hr	3		3.1816		
2hr	3			3.4871	
1hr	3				3.6694
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for group in homogeneos subsets are diplayed. A Use Hamonic Mean Sample size = 3.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 22 ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในการกำจัดแป้งของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่ระยะเวลาบ่มต่างกัน

time	N	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	5
3hr	3	42.5085				
4hr	3		46.1084			
2hr	3			52.3068		
5hr	3				55.8738	
1hr	3					56.8753
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for group in homogeneos subsets are diplayed. A Use Hamonic Mean Sample size = 3.00

ตารางภาคผนวกที่ 23 ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของน้ำหนักของตัวอย่างหลังจากการกำจัดแป้งในการกำจัดแป้งของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่ระยะเวลาบ่มต่างกัน

time	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
1hr	3	1.4729			
2hr	3		1.4860		
4hr	3			1.4923	
3hr	3				1.5006
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for group in homogeneos subsets are diplayed. A Use Hamonic Mean Sample size = 3.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 24 ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณโปรตีนหยาบที่กำจัดออกในการกำจัดโปรตีนออกจากตัวอย่างโดยเอนไซม์โปรติเอสที่ปริมาณน้ำต่างกัน

Water	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
40x	3	6.0364			
15x	3		6.2072		
30x	3			6.2641	
20x	3				6.3993
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for group in homogeneos subsets are diplayed. A Use Hamonic Mean Sample size = 3.00

ตารางภาคผนวกที่ 25 ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของประสิทธิภาพในการกำจัดโปรตีนในการกำจัดโปรตีนออกจากตัวอย่างโดยเอนไซม์โปรติเอสที่ปริมาณน้ำต่างกัน

Water	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
40x	3	89.0779			
15x	3		91.5984		
30x	3			92.4386	
20x	3				94.4332
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for group in homogeneos subsets are diplayed. A Use Hamonic Mean Sample size = 3.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 26 ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของน้ำหนักของตัวอย่างหลังจากการกำจัดโปรตีนในการกำจัดโปรตีนออกจากตัวอย่างโดยเอนไซม์โปรติเอสที่ปริมาณน้ำต่างกัน

Water	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
30x	3	2.8095	
20x	3	2.8111	
15x	3	2.8142	2.8142
40x	3		2.8191
Sig.		.097	.077

Means for group in homogeneos subsets are diplayed. A Use Hamonic Mean Sample size = 3.00

ตารางภาคผนวกที่ 27 ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณโปรตีนหยาบที่กำจัดออกในการกำจัดโปรตีนออกจากตัวอย่างโดยเอนไซม์โปรติเอสที่ปริมาณเอนไซม์ต่างกัน

Enzyme (µl)	N	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	5
15	3	6.0506				
30	3		6.2356			
60	3			6.2997		
90	3				6.3780	
150	3					6.4207
120	3					6.4278
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	.705

Means for group in homogeneos subsets are diplayed. A Use Hamonic Mean Sample size = 3.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 28 ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของประสิทธิภาพในการกำจัดโปรตีนในการกำจัดโปรตีนออกจากตัวอย่างโดยเอนไซม์โปรติเอสที่ปริมาณเอนไซม์โปรติเอสต่างกัน

Enzyme (µl)	N	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	5
15	3	89.2882				
30	3		92.0187			
60	3			92.9641		
90	3				94.1191	
150	3					94.7490
120	3					94.8540
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	.705

Means for group in homogeneos subsets are diplayed. A Use Hamonic Mean Sample size = 3.00

ตารางภาคผนวกที่ 29 ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของน้ำหนักของตัวอย่างหลังจากการกำจัดโปรตีนในการกำจัดโปรตีนออกจากตัวอย่างโดยเอนไซม์โปรติเอสที่ปริมาณเอนไซม์โปรติเอสต่างกัน

Enzyme (µl)	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
120	3	2.8055	
150	3	2.8061	
30	3	2.8076	
60	3	2.8080	
90	3	2.8085	
15	3		2.8215
Sig.		.352	1.000

Means for group in homogeneos subsets are diplayed. A Use Hamonic Mean Sample size = 3.00

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 30 ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณโปรตีนหยาบที่กำจัดออกหลังจากการกำจัดโปรตีนในการกำจัดโปรตีนออกจากตัวอย่างโดยเอนไซม์โปรติเอสที่ระยะเวลาบ่มต่างกัน

Time	N	Subset for alpha = 0.05
		1
1 hr	3	6.3139
3 hr	3	6.3495
5 hr	3	6.3631
4 hr	3	6.3681
2 hr	3	6.3780
Sig.		.444

Means for group in homogeneos subsets are diplayed. A Use Hamonic Mean Sample size = 3.00

ตารางภาคผนวกที่ 31 ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของประสิทธิภาพในการกำจัดโปรตีนหลังจากการกำจัดโปรตีนในการกำจัดโปรตีนออกจากตัวอย่างโดยเอนไซม์โปรติเอสที่ระยะเวลาบ่มต่างกัน

Time	N	Subset for alpha = 0.05
		1
1 hr	3	93.1739
3 hr	3	93.6990
5 hr	3	93.9000
4 hr	3	93.9738
2 hr	3	94.1191
Sig.		.444

Means for group in homogeneos subsets are diplayed. A Use Hamonic Mean Sample size = 3.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 32 ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของน้ำหนักของตัวอย่างหลังจากการกำจัดโปรตีนหลังจากการกำจัดโปรตีนในการกำจัดโปรตีนออกจากตัวอย่างโดยเอนไซม์โปรติเอสที่ระยะเวลาบ่มต่างกัน

Time	N	Subset for alpha = 0.05
		1
2 hr	3	2.8030
3 hr	3	2.8071
4 hr	3	2.8089
5 hr	3	2.8104
1 hr	3	2.8125
Sig.		.052

Means for group in homogeneos subsets are diplayed. A Use Hamonic Mean Sample size = 3.00

ตารางภาคผนวกที่ 33 ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของน้ำหนักเพคตินของส่วนบนที่กรองได้ในการกำจัดการกำจัดใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำออกจากตัวอย่างในการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอก-ไซด์ต่างกัน

NaOH	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
4%	3	.0180			
3%	3		.0248		
2%	3			.0327	
1%	3				.0428
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for group in homogeneos subsets are diplayed. A Use Hamonic Mean Sample size = 3.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 34 ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณเพคตินของส่วนบนที่กรองได้ในการกำจัดการกำจัดใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำออกจากตัวอย่างในการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอก-ไซด์ต่างกัน

NaOH	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
4%	3	1.7983			
3%	3		2.4823		
2%	3			3.2657	
1%	3				4.2817
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for group in homogeneos subsets are diplayed. A Use Hamonic Mean Sample size = 3.00

ตารางภาคผนวกที่ 35 ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของน้ำหนักเพคตินของส่วนบนที่กรองได้ในการกำจัดการกำจัดใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำออกจากตัวอย่างในการศึกษาปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างกัน

NaOH	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
40	3	.0566	
30	3	.0587	
50	3		.1230
Sig.		.074	1.000

Means for group in homogeneos subsets are diplayed. A Use Hamonic Mean Sample size = 3.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 36 ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณเพคตินของส่วนบนที่กรองได้ในการกำจัดการกำจัดใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำออกจากตัวอย่างในการศึกษาปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างกัน

NaOH	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
40	3	5.6607	
30	3	5.8727	
50	3		12.2967
Sig.		.074	1.000

Means for group in homogeneos subsets are diplayed. A Use Hamonic Mean Sample size = 3.00

ตารางภาคผนวกที่ 37 ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของน้ำหนักเพคตินของส่วนบนที่กรองได้ในการกำจัดการกำจัดใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำออกจากตัวอย่างในการศึกษาระยะเวลาบ่มต่างกัน

Time	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
5 hr	3	.0578			
4 hr	3	.0581			
1 hr	3		.0594		
2 hr	3			.0681	
3 hr	3				.1234
Sig.		.701	1.000	1.000	1.000

Means for group in homogeneos subsets are diplayed. A Use Hamonic Mean Sample size = 3.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 38 ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณเพคตินของส่วนบนที่กรองได้ในการกำจัดการกำจัดใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำออกจากตัวอย่างในการศึกษาระยะเวลาบ่มต่างกัน

Time	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
5hr	3	5.7840			
4hr	3	5.8067	5.8067		
1hr	3		5.9363		
2hr	3			6.8067	
3hr	3				12.3350
Sig.		.713	.056	1.000	1.000

Means for group in homogeneos subsets are diplayed. A Use Hamonic Mean Sample size = 3.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้