

สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตใยอาหารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน
จากเปลือกมะม่วง

OPTIMIZED CONDITION FOR ANTIOXIDANT DIETARY FIBER
PRODUCTION FROM MANGO PEEL

เกรียงศักดิ์ ภูษิต
KRAINGSAK PUSIT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2549
ISBN 974-15-2470-4

**OPTIMIZED CONDITION FOR ANTIOXIDANT DIETARY FIBER
PRODUCTION FROM MANGO PEEL**

KRAINGSAK PUSIT

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2006

ISBN 974-15-2470-4

COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตโยอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจากเปลือกมะม่วง
นักศึกษา	นายเกรียงศักดิ์ ภูษิต
รหัสประจำตัว	45067023
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. ประพันธ์ ปิ่นศิริโรดม

บทคัดย่อ

จากการทดสอบเบื้องต้นเพื่อคัดเลือกวัตถุดิบที่มีแนวโน้มจะใช้เป็นแหล่งของโยอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี โดยการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของโยอาหารผงที่เตรียมได้จากวัตถุดิบ 5 ชนิด คือ เปลือกแก้วมังกร กากพุทรา กากส้มเขียวหวาน กากฝรั่ง และเปลือกมะม่วงสุกน้ำดอกไม้วีเปรียบเทียบกับวิตามินอี พบว่า เปลือกมะม่วงสุกน้ำดอกไม้วีมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดีที่สุด และสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตโยอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันผงจากเปลือกมะม่วงสุก คือ ลดขนาดของเปลือกมะม่วงสุกก่อนขึ้นตอนการล้างเท่ากับ 0.5×1.5 เซนติเมตร และใช้น้ำที่อุณหภูมิห้องในการล้างเพื่อกำจัดน้ำตาลที่ละลายได้บางส่วน จากนั้นนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสจนมีความชื้นสุดท้ายประมาณ 7% นำเปลือกมะม่วงสุกอบแห้งที่ได้ไปบดให้มีขนาดอนุภาคตามต้องการโดยโยอาหารที่เตรียมได้ตามสภาวะที่เหมาะสมดังกล่าว มีองค์ประกอบของปริมาณโยอาหารทั้งหมด ปริมาณโยอาหารที่ละลายน้ำได้ และโยอาหารที่ไม่ละลายน้ำเท่ากับร้อยละ 45.57, 18.08, และ 27.49 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด 69.21 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่าง และ 1 กรัมของโยอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันผงที่เตรียมได้มีความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันใกล้เคียงกับวิตามินอี 200 มิลลิกรัม และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่าวิตามินอี 50 มิลลิกรัม 6 เท่าเมื่อวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมันของโยอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันผงจากเปลือกมะม่วงสุกที่บดให้มีขนาดอนุภาคประมาณ 0.5 มิลลิเมตร พบว่า โยอาหารผงที่ได้มีความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมัน เท่ากับ 6.46 กรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง และ 1.50 กรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ

Thesis Title	Optimized Condition for Antioxidant Dietary Fiber Production from Mango Peel
Student	Mr. Kraingsak Pusit
Student ID.	45067023
Degree	Master of Science
Programme	Food Science
Year	2006
Thesis Advisor	Assist. Prof. Dr. Praphan Pinsirodom

ABSTRACT

Preliminary studies in screening for an appropriate raw material from fruit by-products; including dragon fruit peel, jujube pulp, tangerine peel with pulp, guava pulp, and ripe mango (nam-dok-mai) peel to be used as a source of antioxidant dietary fiber showed that the ripe mango peel was the best material according to its strongest DPPH radical scavenging capacity compared with vitamin E. An optimized condition for the production of antioxidant dietary fiber powder from ripe mango peel was then investigated. It was found that mango peels with a dimension of about 0.5 x 1.5 cm. , washed in room temperature (27 ± 2 °C) water to reduce some soluble sugars, dried in a tray dryer at 50°C to final moisture content of about 7% and ground into powder resulted in the antioxidant dietary fiber powder with optimal qualities in terms of total dietary fiber content, total polyphenol content, DPPH radical scavenging capacity, and inhibition of lipid oxidation. The antioxidant dietary fiber powder obtained from mango peel contained 45.57% dry wt total dietary fiber content with 18.08% dry wt soluble fiber and 27.49% dry wt insoluble fiber. In addition, total polyphenol content in the fiber powder was 69.21 mg gallic acid per gram sample and 1 g of the fiber powder exhibited similar capacity as 200 mg vitamin E in inhibition of lipid oxidation, but greater extent in DPPH scavenging potential compared to 50 mg vitamin E. Water and oil holding capacity of the antioxidant dietary fiber powder with 0.5 mm particle size were 6.46 g water and 1.50 g oil per g dry powder.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เนื่องจากได้รับความกรุณาจาก ผศ. ดร. ประพันธ์ ปิ่นศิริโรดม ที่ได้ให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา และได้ให้คำแนะนำแนวทาง รวมทั้งข้อคิดเห็นต่าง ๆ แก่ข้าพเจ้า ตลอดมา ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ. เยาวลักษณ์ สุรพันธ์พิศิษฐ์ และ ผศ. ดร. ยุพร พิชฌมูท ที่ช่วยเหลือแก้ไข และให้คำแนะนำงานวิจัยบางส่วนจนสำเร็จได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้แก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาของการศึกษา จนกระทั่งข้าพเจ้าประสบความสำเร็จ

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ และพี่น้องนักศึกษาปริญญาโททุกคน นักวิจัย และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการต่าง ๆ ที่ไม่ได้กล่าวไว้ในที่นี้ ที่ให้การสนับสนุนตลอดจนให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เสมอมา

สุดท้ายนี้ขอรำลึกถึงคุณบิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุน และให้กำลังใจมาโดยตลอด คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

เกรียงศักดิ์ ภูมิต

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	V I
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.3 วัตถุประสงค์.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 โยอาหาร(Dietary fiber).....	3
2.2 โยอาหารจากวัสดุเหลือทิ้งจากผลไม้.....	19
2.3 สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันและโยอาหารจากมะม่วง.....	26
2.4 โยอาหารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Antioxidant dietary fiber).....	31
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ.....	33
3.1 วัตถุดิบ.....	33
3.2 สารเคมี.....	33
3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	35
3.4 สถานที่ดำเนินงาน.....	36
3.5 วิธีดำเนินงาน.....	36
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	42
4.1 การทดสอบเบื้องต้นสำหรับวัตถุดิบที่มีแนวโน้มเป็นแหล่งของโยอาหาร ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน.....	42

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.2 การศึกษากรรมวิธีที่เหมาะสมในการผลิตโยอาหารอาหารด้าน ปฏิกิริยาออกซิเดชัน.....	43
4.3 การศึกษาองค์ประกอบและสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของ โยอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจากเปลือกมะม่วงสุก.....	55
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	59
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	59
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	60
บรรณานุกรม.....	61
ภาคผนวก.....	76
ประวัติผู้เขียน.....	88

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คำจำกัดความของใยอาหาร.....	3
2.2 การวิเคราะห์ใยอาหารด้วยวิธีต่าง ๆ และใยอาหารที่วิเคราะห์ได้.....	10
2.3 องค์ประกอบของใยอาหารที่ได้จากกากที่เหลือจากการคั้นน้ำผักและผลไม้ชนิดต่าง ๆ.....	21
2.4 องค์ประกอบ (กรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง) และอัตราส่วนระหว่าง IDF/SDF ของใยอาหารที่ได้จากแหล่งต่าง ๆ.....	21
2.5 คุณค่าทางโภชนาการของมะม่วง.....	27
4.1 ปริมาณน้ำตาลที่ละลายได้ที่เหลืออยู่ในเปลือกมะม่วง ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันของใยอาหารผงจากเปลือกมะม่วงสุกเมื่อขนาดของชิ้นเปลือกมะม่วงและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ล้างที่แตกต่างกัน.....	48
4.2 ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันของใยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุกเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่แตกต่างกัน.....	53
4.3 ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมันของใยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุกที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน.....	54
4.4 ปริมาณของใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ละลายน้ำได้ ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างใยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุก.....	56
4.5 ค่าร้อยละของความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันและค่าร้อยละความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของใยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุก.....	57
4.6 ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมันของใยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุก.....	58

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การเปลี่ยนแปลงของโพลีฟีนอลในมะม่วงที่ระยะการสุก 0, 4, 8, 12, 16, 20, และ 24 วันหลังการเก็บเกี่ยว.....	29
2.2 โครงสร้างทางเคมีของสาร โพลีฟีนอลและสารประกอบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องในเปลือก ลำต้นของมะม่วง.....	30
3.1 ขั้นตอนพื้นฐานในการเตรียมโยอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน.....	37
4.1 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของโยอาหารที่เตรียมได้จากวัสดุเหลือทิ้งจากผลไม้ชนิดต่างๆ ปริมาณ 1 กรัม เปรียบเทียบกับวิตามินอี 50 มิลลิกรัม.....	42
4.2 ปริมาณน้ำตาลที่ละลายได้ที่เหลืออยู่ในตัวอย่างเปลือกมะม่วงสุกที่ผ่านการลดขนาดและล้างน้ำที่อุณหภูมิแตกต่างกัน.....	43
4.3 ปริมาณโยอาหารทั้งหมดในตัวอย่างโยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุกที่มีขนาดและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ล้างแตกต่างกัน.....	44
4.4 ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างโยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุกที่มีขนาดและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ล้างแตกต่างกัน.....	45
4.5 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างโยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุกที่มีขนาดและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ล้างแตกต่างกัน.....	46
4.6 ความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันของตัวอย่างโยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุกที่มีขนาดและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ล้างแตกต่างกัน.....	47
4.7 ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างโยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุกเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่แตกต่างกัน.....	50
4.8 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างโยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุกเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่แตกต่างกัน.....	51
4.9 ความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันของตัวอย่างโยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุกเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่แตกต่างกัน.....	52
4.10 สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมโยอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันผงจากเปลือกมะม่วงสุก.....	55
ง1 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณกรดแกลลิก.....	85

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าการบริโภคอาหารที่มีองค์ประกอบของใยอาหาร (dietary fiber) ปริมาณสูงมีความสัมพันธ์กับการลดอัตราเสี่ยงของการเกิดโรคมะเร็งในลำไส้ การลดระดับของน้ำตาลและโคเลสเตอรอลในเลือด รวมทั้งการควบคุมระบบนิเวศของจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในลำไส้ใหญ่ตามธรรมชาติ (micro flora ecosystem) และระบบขับถ่ายให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ (Stark and Madar, 1999) ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาองค์การอนามัยโลก (WHO) และหน่วยงานของรัฐบาลประเทศต่าง ๆ ได้เสนอแนะให้มีการเพิ่มปริมาณการบริโภคใยอาหารในแต่ละวัน ดังนั้นการวิจัยพัฒนาเพื่อให้ได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์อาหารที่มีองค์ประกอบของใยอาหารปริมาณสูงจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ

ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีองค์ประกอบของใยอาหารปริมาณสูง ส่วนใหญ่จะใช้วัตถุดิบประเภทธัญพืช โดยรูปแบบของผลิตภัณฑ์จะเป็นลักษณะของอาหารเช้าธัญชาติ (breakfast cereals) ขนมอบ (bakery product) และขนมปังกรอบ (biscuits) เป็นต้น อย่างไรก็ตามในปัจจุบันได้มีการนำใยอาหารจากแหล่งอื่นโดยเฉพาะจากผลไม้มาใช้ประโยชน์มากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากใยอาหารจากผลไม้มีคุณค่าทางโภชนาการโดยทั่วไปดีกว่าใยอาหารจากธัญพืช (Saura-Calixto, 1998) โดยที่ใยอาหารจากผลไม้จะมีองค์ประกอบของสารชีวกิจกรรม (bioactive compound) รวมอยู่ด้วย เช่น ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) แคโรทีนอยด์ (carotenoids) รวมทั้งสารประกอบโพลีฟีนอล (polyphenols) ชนิดอื่น ๆ ที่มีสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากนี้ใยอาหารจากผลไม้ยังมีองค์ประกอบที่มีความสมดุลของอัตราส่วนระหว่างใยอาหารที่ละลายน้ำได้ต่อใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (soluble/insoluble dietary fiber ratio) และยังสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมันสูงกว่าใยอาหารจากธัญพืช นอกจากนี้ผลไม้ยังให้พลังงานน้อยกว่าและมีปริมาณของกรดไฟติก (phytic acid) ต่ำกว่าอีกด้วย

สำหรับสารประกอบในกลุ่มโพลีฟีนอลนั้น ได้มีรายงานว่าสารประกอบดังกล่าวมีคุณสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (ประพันธ์, 2545 ; Bravo, 1998) ซึ่งมีผลดีต่อสุขภาพ โดยมีความสามารถในการป้องกันการเกิดโรคร้ายแรงต่าง ๆ เช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจ เป็นต้น ดังนั้นแนวความคิดในการผลิตอาหารที่มีคุณสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจอย่างยิ่ง เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพถึง 2 ทางพร้อม ๆ กัน คือ ประโยชน์จากใยอาหารและประโยชน์จากสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน

การนำใยอาหารไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหารนั้น โดยทั่วไปจะสามารถใช้เติมในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทต่าง ๆ เพื่อเพิ่มปริมาณใยอาหาร ตัวอย่างที่ประสบผลดีได้แก่การใช้ใยอาหารจากแครอทเติมลงในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์หลายชนิด เช่น ไส้กรอก เนื้อบดเบอร์เกอร์ เป็นต้น โดยพบว่าใยอาหารจากแครอทดังกล่าวยังสามารถใช้ทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ไขมันต่ำได้ (Huber *et al.*, 2002)

ในประเทศไทยมีผลไม้หลายชนิดซึ่งมีแนวโน้มที่จะเป็นแหล่งของใยอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี โดยเฉพาะในส่วนของวัสดุเหลือทิ้งจากการบริโภคผลไม้ เช่น เปลือกมะม่วง เปลือกส้ม เปลือกกล้วย แก่นสับปะรด เป็นต้น ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาวิจัยเพื่อคัดเลือกวัตถุดิบที่สามารถจะใช้เป็นแหล่งของใยอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี ซึ่งจะนำไปสู่การผลิตและการใช้ประโยชน์ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อคัดเลือกวัสดุเหลือทิ้งจากผลไม้ที่สามารถใช้เป็นแหล่งของใยอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน

1.2.2 เพื่อศึกษากรรมวิธีที่เหมาะสมในการผลิตใยอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน

1.2.3 เพื่อศึกษาองค์ประกอบและสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของใยอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ได้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อคัดเลือกวัสดุเหลือทิ้งจากผลไม้ที่จะใช้เป็นแหล่งของใยอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันและศึกษากรรมวิธีที่เหมาะสมในการผลิตใยอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันชนิดผงรวมทั้งองค์ประกอบและสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของใยอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ได้ ข้อมูลที่ได้จะเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งจากผลไม้ที่จะใช้เป็นแหล่งของใยอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันและใช้เป็นฐานข้อมูลในการวิจัยในระดับสูงต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 โยอาหาร (Dietary fiber)

2.1.1 นิยาม

คำจำกัดความของโยอาหารได้รับการพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่องในหลายประเทศและหลายองค์กรดังตารางที่ 2.1 โดยที่คำจำกัดความบางส่วนเน้นไปทางด้านคุณสมบัติทางกายภาพของโยอาหาร ในขณะที่อีกส่วนหนึ่งเน้นถึงวิธีการในการวิเคราะห์เพื่อให้ได้มาซึ่งองค์ประกอบของโยอาหารที่ถูกต้อง คำจำกัดความของโยอาหารที่ปัจจุบันได้รับการยอมรับมากที่สุดเป็นของ Trowell ซึ่งกล่าวว่า “โยอาหารประกอบด้วยส่วนที่เหลือของเซลพืชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์” (Trowell *et al.*, 1976) ซึ่งประกอบด้วย เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เซลลูโลส (cellulose) ลิกนิน (lignin) โอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharide) เพคติน (pectin) กัม (gum) และแวกซ์ (wax) อย่างไรก็ตามคำจำกัดความสำหรับโยอาหารสามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ขึ้นกับพื้นฐานของเทคนิคในการวิเคราะห์ที่ก้าวหน้า คุณค่าทางโภชนาการและข้อมูลทางกายภาพที่ค้นพบใหม่ (Champ *et al.*, 2003)

ตารางที่ 2.1 คำจำกัดความของโยอาหาร

ที่มาของคำจำกัดความของโยอาหาร	คำจำกัดความของโยอาหาร
Trowell <i>et al.</i> , 1976	โยอาหารประกอบด้วยโพลีแซคคาไรด์และลิกนินจากพืชซึ่งทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์
Health and Welfare Canada, 1985	โยอาหารเป็นองค์ประกอบในอาหารที่อยู่ภายในวัตถุดิบที่ได้จากพืชซึ่งทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ที่ผลิตโดยมนุษย์ โดยส่วนใหญ่ประกอบด้วย โพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ช (non-starch polysaccharides) และลิกนิน และอาจรวมถึงสารบางชนิดที่เกี่ยวข้อง
U.S. Food and Drug Administration (USFDA), 1987	โยอาหารเป็นวัสดุที่ได้จากการแยกด้วยวิธีการของ AOAC 985.29
Life Sciences Research Office (LSRO), 1987	โยอาหารเป็นองค์ประกอบในอาหารที่อยู่ภายในวัตถุดิบที่ได้จากพืชซึ่งทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ที่ผลิตโดยมนุษย์

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ที่มาของคำจำกัดความของใยอาหาร	คำจำกัดความของใยอาหาร
Health Canada, 1988	แหล่งของใยอาหารชนิดใหม่คือ อาหารที่ผลิตขึ้นมาเพื่อใช้เป็นแหล่งของใยอาหารซึ่งต้องมีลักษณะดังต่อไปนี้ (1) ไม่ใช่ใยอาหารที่มนุษย์บริโภคกันมาแต่เดิม (2) ได้ผ่านกระบวนการทางเคมี (เช่น ออกซิไดซ์) หรือกระบวนการทางกายภาพ (เช่น การบดละเอียด) เพื่อที่จะปรับปรุงคุณสมบัติของใยอาหาร หรือ (3) ทำให้มีความเข้มข้นสูงขึ้นจากต้นกำเนิดที่ได้จากพืช
Anonymous, 1989 (Germany)	ใยอาหารเป็นสารที่มีต้นกำเนิดจากพืชซึ่งไม่สามารถย่อยสลายให้เป็นองค์ประกอบที่สามารถดูดซึมได้ด้วยเอนไซม์ภายในลำไส้เล็กของมนุษย์ ซึ่งทั้งหมดนี้รวมถึงส่วนของโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ชทั้งที่ละลายและไม่ละลายน้ำ ได้แก่ เซลลูโลส (cellulose) เพกติน (pectin) ไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloids) ลิกนิน (lignin) และ resistant starch โดยไม่รวมถึงสารเช่น สารทดแทนน้ำตาลบางชนิด กรดอินทรีย์ ไคติน ซึ่งไม่สามารถดูดซึมหรือดูดซึมได้อย่างไม่สมบูรณ์ในลำไส้เล็ก
Anonymous, 1992 (Belgium)	ใยอาหารเป็นองค์ประกอบของอาหารซึ่งโดยปกติไม่สามารถทำให้ย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์ที่ผลิตจากร่างกายมนุษย์
Anonymous, 1993 (Italy)	ใยอาหารเป็นสารจากพืชที่รับประทานได้ซึ่งโดยปกติไม่สามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์ที่อยู่ในระบบการย่อยอาหารของมนุษย์
FAO/WHO, 1995 (Codex Alimentarius Commission)	ใยอาหารเป็นวัสดุจากพืชหรือสัตว์ที่รับประทานได้ซึ่งไม่สามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์ที่อยู่ในทางเดินอาหารของมนุษย์ และสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยวิธี Codex และวิธีที่ดัดแปลงจาก AOAC 985.29 และ 991.43
Jian-xian, 1995 (China)	ใยอาหารเป็นผลรวมขององค์ประกอบในอาหารที่ไม่สามารถย่อยได้โดยเอนไซม์ภายในลำไส้และไม่สามารถดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้
Denmark, 1995	ใยอาหารเป็นวัสดุที่แยกได้โดยวิธี AOAC 985.29 และ 997.08
Ministry of Health and Welfare, 1996 (Japan)	ใยอาหารเป็นวัสดุที่แยกได้โดยวิธี AOAC 985.29 ในอีกทางหนึ่งของคาร์โบไฮเดรตที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่ไม่สามารถย่อยได้ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ด้วย high performance liquid chromatography ก็จัดเป็นใยอาหารเช่นกัน
Committee on Medical Aspects of Foods (COMA), 1998 (United Kingdom)	ใยอาหารเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ชที่วิเคราะห์ได้ด้วยวิธี Englyst

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ที่มาของคำจำกัดความของใยอาหาร	คำจำกัดความของใยอาหาร
Finland, 1998	ใยอาหารเป็นส่วนหนึ่งของคาร์โบไฮเดรตที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี AOAC 985.29 และ AOAC 997.08
Norway, 1998	ใยอาหารเป็นวัสดุที่แยกได้โดยวิธี AOAC 985.29 รวมถึงอินนูลิน (inulin) และโอลิโกฟรุคโตส (oligofructose)
Sweden, 1999	ใยอาหารเป็นวัตถุดิบที่สามารถรับประทานได้ซึ่งไม่สามารถย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์ภายในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ การวิเคราะห์ใยอาหารสามารถใช้วิธี AOAC 985.29 และ AOAC 997.08
American Association of Cereal Chemists (AACC), 2000	ใยอาหารเป็นส่วนของพืชที่รับประทานได้หรือคาร์โบไฮเดรตที่คล้ายคลึงกันซึ่งทนต่อการย่อยและการดูดซึมในลำไส้เล็กของมนุษย์ รวมทั้งสามารถเกิดการหมักได้อย่างสมบูรณ์หรือเป็นบางส่วนภายในลำไส้ใหญ่ ใยอาหารประกอบด้วย โพลีแซคคาไรด์ โอลิโกแซคคาไรด์ ลิคินิน และสารอื่นที่เกี่ยวข้องที่ได้จากพืช ใยอาหารมีประโยชน์ต่อสุขภาพ ซึ่งรวมถึงการขับถ่าย และการลดระดับโคเรสเตอรอลและกลูโคสในเลือด
Hignett, 2000 (U.K. Food Standards Agency)	ใยอาหารเป็นวัสดุที่แยกได้โดยวิธี AOAC 985.29 และ/หรือ AOAC 991.43 ร่วมกับ AOAC 997.08
Australia New Zealand Food Authority (ANZFA) (Proposed), 2000	ใยอาหารเป็นส่วนที่รับประทานได้ของพืชหรือสารสกัดจากพืชหรือคาร์โบไฮเดรตที่คล้ายคลึงกันที่ทนต่อการย่อยและการดูดซึมในลำไส้เล็กของมนุษย์ รวมทั้งสามารถเกิดการหมักได้อย่างสมบูรณ์หรือเป็นบางส่วนภายในลำไส้ใหญ่ คำว่า ใยอาหารนี้รวมถึงโพลีแซคคาไรด์ โอลิโกแซคคาไรด์ (degrees of polymerization >2) และลิคินิน ใยอาหารส่งผลดีต่อสุขภาพ ดังต่อไปนี้: ช่วยในเรื่องการขับถ่าย การลดระดับโคเรสเตอรอล และการควบคุมระดับกลูโคสในเลือด

ที่มา: ดัดแปลงจาก Institute of medicine, 2001

2.1.2 องค์ประกอบของใยอาหาร

องค์ประกอบของใยอาหารและองค์ประกอบที่มักพบรวมอยู่กับใยอาหารซึ่งอาจจัดเป็นใยอาหารหรือไม่จัดเป็นใยอาหารก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน ใยอาหารสามารถแบ่งออกตามความสามารถในการละลายน้ำได้เป็น 2 ประเภท คือ ใยอาหารที่ละลายน้ำ (soluble dietary fiber, SDF) และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble dietary fiber, IDF) ในส่วนใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ จะประกอบไปด้วยลิคินิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ส่วนใย-

อาหารที่ละลายน้ำ จะมีเพคติน เบตา-กลูแคน (beta-glucan) กาแลคโตแมนแนนกัม (galactomanan gum) และส่วนของโอลิโกแซคคาไรด์ที่ไม่สามารถย่อยได้มากมายรวมไปจนถึงอินนูลิน (inulin) เป็นองค์ประกอบ

องค์ประกอบของใยอาหารและองค์ประกอบที่มักพบรวมอยู่กับใยอาหารทั้งที่ได้จากธรรมชาติและการสังเคราะห์มีดังต่อไปนี้ (Institute of medicine, 2001)

2.1.2.1 เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลสเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่ประกอบด้วยหน่วยของกลูโคไพราโนไซด์ (glucopyranoside) ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β -(1,4) ซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของผนังเซลล์พืชซึ่งมนุษย์ไม่มีเอนไซม์ในการย่อยพันธะ β -(1,4) ดังนั้นจึงไม่สามารถดูดซึมกลูโคสจากเซลลูโลสได้

2.1.2.2 ไคตินและไคโตแซน (Chitin and Chitosan)

ไคตินเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายกับเซลลูโลส ยกเว้นหน่วยของ (1,4) N-acetyl-D-glucosamine ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสเชื่อมต่อกันเป็นเส้นตรงที่ไม่มีกิ่งก้าน ไคโตแซนเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการ N-deacetylated ของไคติน ทั้งไคตินและไคโตแซนเป็นส่วนประกอบในโครงสร้างของเปลือกปูและสัตว์ทะเลอื่น ๆ เนื่องจากองค์ประกอบที่มีปริมาณโพลีแซคคาไรด์อยู่สูง ไคตินและไคโตแซนจึงอาจมีคุณสมบัติทางกายภาพคล้ายคลึงกับใยอาหาร สารประกอบบางชนิดเหล่านี้ไม่สามารถละลายในเอทานอล 78-80 เปอร์เซ็นต์

2.1.2.3 คอนดรอยตินซัลเฟต (Chondroitin Sulfate)

คอนดรอยตินซัลเฟตประกอบด้วยหน่วยของกรดกลูโคโรนิก (glucuronic acid) เชื่อมต่อกับ N-acetyl-D-galactosamine เป็นสารประกอบที่ประกอบด้วยโพลีแซคคาไรด์ซึ่งพบในเนื้อเยื่อเกี่ยวพันของสัตว์ โดยเฉพาะในหลอดเลือด กระดูก และกระดูกอ่อน บางส่วนของสารประกอบเหล่านี้สามารถตกตะกอนในเอทานอล 78-80 เปอร์เซ็นต์

2.1.2.4 คิวติน (Cutin)

คิวตินมีลักษณะคล้ายขี้ผึ้งซึ่งน้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ เป็นองค์ประกอบหลักของคิวติเคิล (cuticle) ซึ่งเป็นชั้นเคลือบที่ช่วยปกป้อง epidermal cell ของพืชจากสภาพแวดล้อมเหนือพื้นดิน

2.1.2.5 เดกซ์ตริน (Dextrins)

เดกซ์ตรินเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายสตาร์ชเป็นบางส่วน ซึ่งจะเกิดการย่อยอย่างสมบูรณ์ที่ลำไส้เล็กของมนุษย์ บางครั้งอาจหมายถึงมอลโตเดกซ์ตริน

2.1.2.6 ฟรุคแทน (Fructans)

ฟรุคแทนเป็นชื่อเรียกโดยทั่วไปของคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยโพลีเมอร์ของฟรุคโตสทั้งแบบกิ่งหรือเส้นตรง ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยหน่วยไกลโคซิดิก (glycosidic)

2.1.2.7 กาแลคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (Galactooligosaccharide)

กาแลคโตโอลิโกแซคคาไรด์เป็นโอลิโกแซคคาไรด์ที่มีระดับการโพลิเมอไรเซชัน 3-10 ประกอบด้วยหน่วยของกาแลคโตสซึ่งไม่สามารถย่อยได้ภายในกระเพาะและลำไส้ พบในลำไส้ใหญ่

2.1.2.8 กัม (Gums)

กัมประกอบด้วยกลุ่มที่แตกต่างกันของโพลีแซคคาไรด์ที่ละลายน้ำ ปกติแยกได้จากเมล็ดพืชและโดยทั่วไปมักมีความหนืดเมื่อละลายน้ำ

2.1.2.9 เฮมิเซลลูโลส (Hemicelluloses)

เฮมิเซลลูโลสเป็นกลุ่มของโพลีแซคคาไรด์ที่พบในผนังเซลล์พืชซึ่งล้อมรอบเส้นใยเซลลูโลส โพลีเมอร์เหล่านี้อาจเป็นเส้นตรงหรือเป็นกิ่งและประกอบด้วย กลูโคส อาราบินอส (arabinose) แมนโนส (mannose) ไซโลส (xylose) และกรดกาแลคโตรอนิก (galacturonic acid)

2.1.2.10 ไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloid)

ไฮโดรคอลลอยด์เป็นชื่อเรียกของกัม เช่น กัวกัม (guar gum) โลคัสบีนกัม (locust bean gum) และกัมอะราบิก (gum arabic) ไฮโดรคอลลอยด์ใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหารเพื่อปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส และความชุ่มชื้น

2.1.2.11 อินนูลิน (Inulin)

อินนูลินเป็นโพลีเมอร์ของฟรุกโตสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β -(2,1) ส่วนปลายสุดเป็นหน่วยของกลูโคสซึ่งสามารถแยกได้จากท่อของดอกกรีกแร่ พบปริมาณเล็กน้อยในผัก ผลไม้ และเมล็ดพืช เช่น ชิคอรี (chicory) และเยรูซาเลมอาร์ทิโชค (Jerusalem artichoke) ละลายได้ในเอทานอล 78-80 เปอร์เซ็นต์

2.1.2.12 ลิกนิน (lignin)

ลิกนินเป็นโพลีเมอร์ที่แตกกิ่งก้านสูงของฟีนิลโพรเพน (phenylpropane) ซึ่งโดยทั่วไปมักรวมอยู่ในคำจำกัดความของใยอาหาร ลิกนินจับอยู่กับเส้นใยโพลีแซคคาไรด์ด้วยพันธะโควาเลนต์ (Jung and Fahey, 1983) และมีองค์ประกอบของฟีนิลโพรเพนตั้งแต่หนึ่งหรือสองหน่วยไปจนถึงมากมาย แม้ว่าจะพบลิกนินปริมาณน้อยในอาหารคน แต่งานวิจัยในสัตว์ที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีปริมาณใยอาหารสูงแสดงให้เห็นว่า ลิกนินมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของใยอาหาร ตัวอย่างเช่น ลิกนินเป็นอุปสรรคต่อการหมักโพลีแซคคาไรด์ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง (Titgemeyer *et al.*, 1991)

2.1.2.13 โมดิไฟด์เซลลูโลส (modified cellulose)

โมดิไฟด์เซลลูโลสผลิตจากการทำปฏิกิริยาของเส้นใยเซลลูโลสซึ่งได้จากฝ้ายหรือเปลือกไม้ได้เป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลส เช่น เมทิลเซลลูโลส (methyl cellulose) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethyl cellulose) และอนุพันธ์ของสารเหล่านี้ ซึ่งสามารถละลายและไม่

ตกตะกอนในเอธานอล 78-80 เปอร์เซ็นต์ สารประกอบมากมายเหล่านี้นำมาใช้เป็นสารที่ช่วยในเรื่องการจับถ่ายและเติมในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่น น้ำสลัด ไอซ์ซิ่ง (icing) ทอปปิง (topping) ขนมหวาน และขนมอบ

2.1.2.14 โพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ช (nonstarch polysaccharides)

โพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ชเป็นส่วนที่แยกออกได้จากการตกตะกอนด้วยเอธานอล 78-80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งรวมถึง อินนูลิน ฟรุคแทน (fructans) โมดิไฟด์เซลลูโลส (modified cellulose) และอะราบินอกาแลคแทน (arabinogalactans) โดยทั่วไปมักหมายถึงสารผสมระหว่าง เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพคติน และกัม

2.1.2.15 โอลิโกฟรุคโตส (Oligofructose)

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยอินนูลินด้วยเอนไซม์ β -fructofuranosidase ในเชื้อรา คือ โอลิโกฟรุคโตสซึ่งเรียกว่าเป็นฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (fructooligosaccharide) ประกอบด้วย ฟรุคโตส 3-5 หน่วย ส่วนปลายสุดเป็นหน่วยของกลูโคส และละลายได้ในเอธานอล 78-80 เปอร์เซ็นต์ พบตามธรรมชาติในพืชเช่น หัวหอม

2.1.2.16 โอลิโกแซคคาไรด์ (Oligosaccharide)

โอลิโกแซคคาไรด์เป็นสารประกอบที่ประกอบด้วยโมโนแซคคาไรด์ 2-10 หน่วยของน้ำตาลที่เหมือนหรือต่างชนิดกันเชื่อมต่อกันแบบเส้นตรงหรือกิ่งก้าน โดยทั่วไปละลายในเอธานอล 78-80 เปอร์เซ็นต์ ไม่ตกตะกอน และไม่รวมอยู่ในการวิเคราะห์ใยอาหารใด ๆ อย่างไรก็ตาม สารประกอบเหล่านี้โดยส่วนใหญ่มีคุณสมบัติทางกายภาพคล้ายโพลีแซคคาไรด์

2.1.2.17 เพคติน (Pectins)

เพคตินพบในผนังเซลล์และเนื้อเยื่อระหว่างเซลล์ของผลไม้หลายชนิด ประกอบด้วยหน่วยของกรดกาแลคโตรอนิกซึ่งมีแรมโนส (rhamnose) กระจายอยู่ในสายโซ่ที่เป็นเส้นตรง มักพบเพคตินที่มีโซ่กิ่งของน้ำตาลที่เป็นกลางและหน่วยของกาแลคโตสอาจเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับหมู่เมธิล ซึ่งทำให้เพคตินมีความข้นหนืดเมื่ออยู่ในน้ำ

2.1.2.18 โพลีเดกซ์โตรส (Polydextrose)

โพลีเดกซ์โตรสเป็นโพลิเมอร์ของกลูโคสซึ่งเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่สังเคราะห์ขึ้นได้จากกระบวนการโพลิเมอไรเซชันของกลูโคสด้วยความร้อน โดยทั่วไปใช้เป็น bulking agent และบางครั้งใช้น้ำตาล ไม่สามารถตกตะกอนด้วยเอธานอล 78-80 เปอร์เซ็นต์

2.1.2.19 Resistant Maltodextrins

Resistant maltodextrins เป็นส่วนผสมระหว่างโอลิโกและโพลีแซคคาไรด์ซึ่งร่างกายไม่สามารถย่อยได้ ผลิตโดยใช้แป้งข้าวโพดผ่านกระบวนการใช้กรดหรือความดันตามด้วยการย่อยโดยเอนไซม์ และไม่ตกตะกอนในเอธานอล 78-80 เปอร์เซ็นต์

2.1.2.20 Resistant Starch

Resistant starch ประกอบด้วยแป้งและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการดีการะเคชันของสตาร์ช ไม่สามารถย่อยและดูดซึมได้ในลำไส้เล็กของมนุษย์ อัตราส่วนของ resistant starch รวมอยู่ในการวิเคราะห์ใยอาหารและมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับใยอาหาร ซึ่งโดยส่วนใหญ่เป็น retrograded amylase อย่างไรก็ตามอัตราส่วนของ resistant starch ไม่คงที่สำหรับอาหารต่างชนิดที่ทำจากส่วนผสมอย่างเดียวกัน เนื่องจาก retrograded amylase เกิดขึ้นจากการหุงต้ม การแช่เย็น และกระบวนการแปรรูป

2.1.2.21 ซาโปนิน (Saponin)

ซาโปนินเป็นไกลโคไซด์จากพืชซึ่งเมื่อผ่านการย่อยจะได้คาร์โบไฮเดรตและซาโปจีนิน (sapogenin) ซึ่งเป็นสเตอรอยด์หรือสารประกอบไตรเทอปีน (triterpene) ส่วนคาร์โบไฮเดรตที่ได้อาจเป็นกลูโคส กาแลคโตส หรือ เมทิลเพนโทส (methylpentose)

2.1.2.22 ซอร์บิทอล (Sorbital)

ซอร์บิทอลเป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์ซึ่งเกิดโดยการรีดักชันของหมู่คาร์บอนิลในกลูโคส

2.1.2.23 แทนนิน (Tannins)

แทนนินหรือกรดแทนนิกเกิดโดยธรรมชาติในหลายส่วนของพืชรวมถึงราก ลำต้น ใบ และผล ให้กลิ่น สี รส ที่รุนแรงในกาแฟและชาหลายชนิด

2.1.2.24 แวกซ์ (Wax)

แวกซ์เป็นสารที่มีลักษณะอ่อนนุ่ม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับไขมันแล้วจะมีความลื่นและความแข็งน้อยกว่า แต่จะมีความเปราะมากกว่า แวกซ์ประกอบด้วยสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่าไขมัน มีแหล่งกำเนิดมาจากพืช สัตว์ แร่ธาตุ และการสังเคราะห์

2.1.2.25 ส่วนประกอบที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต (Noncarbohydrate Components)

ส่วนประกอบที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรตประกอบด้วยลิกนิน คิวติน (cutin) แทนนิน (tannins) และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction products) สัดส่วนขององค์ประกอบเหล่านี้ในอาหารที่ไม่ผ่านกระบวนการมีอยู่น้อยมาก แต่กระบวนการแปรรูปสามารถเพิ่มปริมาณองค์ประกอบเหล่านี้ผ่านวิธีการที่ซับซ้อน ตัวอย่างเช่น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาเมลลาร์ดซึ่งเกิดจากกระบวนการให้ความร้อน ดังนั้นการใช้ความร้อนในกระบวนการแปรรูปอาจเพิ่มปริมาณใยอาหารได้ อย่างไรก็ตามปริมาณใยอาหารที่เพิ่มขึ้นจากการเกิดผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาเมลลาร์ดโดยการให้ความร้อนมีผลต่อปริมาณใยอาหารน้อยมาก

2.1.3 การวิเคราะห์ใยอาหาร

การวิเคราะห์ใยอาหารโดยทั่วไปมีอยู่สองวิธีซึ่งได้พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้แยกและวิเคราะห์ใยอาหาร ได้แก่ enzymatic-gravimetric method และ enzymatic-chemical method องค์ประกอบของใยอาหารที่แยกได้มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวิธีการที่ใช้ ทั้ง enzymatic-gravimetric method และ enzymatic-chemical method ได้รับการปรับปรุงและพัฒนาขึ้นเรื่อยมาเป็นเวลามากกว่า 20 ปี

(ตารางที่ 2.2) วิธี enzymatic-gravimetric method เป็นวิธีที่พยายามลอกเลียนแบบขั้นตอนภายในระบบการย่อยอาหารของมนุษย์โดยใช้เอนไซม์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งจะต้องกำจัดสตาร์ช โปรตีน และไขมัน และนำส่วนที่เหลือไปทำแห้งและชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำน้ำหนักโปรตีนและเถ้าที่ยังหลงเหลืออยู่ไปหักลบออก ผลที่ได้จะแสดงเป็นอัตราส่วนของใยอาหารต่อวัตถุดิบเริ่มต้น ส่วนวิธี enzymatic-chemical method เป็นวิธีที่จะแยกปริมาณคาร์โบไฮเดรตในเส้นใยออกด้วยวิธีทางเคมี หลังจากการกำจัดคาร์โบไฮเดรตในส่วน of available carbohydrate (โมโนแซคคาไรด์ ไดแซคคาไรด์ และสตาร์ช) และไขมันออกแล้ว วิธีการที่แตกต่างกันมากมายได้มีการพัฒนาขึ้นเรื่อยมาเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์องค์ประกอบของโมโนแซคคาไรด์และวิเคราะห์ชนิดของโมโนแซคคาไรด์ในคาร์โบไฮเดรต

ตารางที่ 2.2 การวิเคราะห์ใยอาหารด้วยวิธีต่าง ๆ และใยอาหารที่วิเคราะห์ได้

วิธีการวิเคราะห์ใยอาหาร	ชนิดของวิธีการวิเคราะห์ใยอาหาร	ใยอาหารที่วิเคราะห์ได้
Southgate, 1969	Enzymatic-colorimetric	ใยอาหารที่ละลายน้ำ ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ใยอาหารทั้งหมด
Schweizer and Würsch, 1979	Enzymatic-gravimetric	ใยอาหารที่ละลายน้ำ ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ใยอาหารทั้งหมด
Theander and Åman, 1979	Enzymatic-gas chromatographic	โพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ละลายน้ำ โพลีแซคคาไรด์ที่ละลายน้ำ กรดยูโรนิก (uronic acid) ที่ไม่ละลายน้ำ กรดยูโรนิก (uronic acid) ที่ละลายน้ำ ลิกนิน (lignin) ใยอาหารทั้งหมด
Asp <i>et al.</i> , 1983	Enzymatic-gravimetric	ใยอาหารที่ละลายน้ำ ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ใยอาหารทั้งหมด
Englyst and Cummings, 1984	Enzymatic-gas chromatographic	โพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ชทั้งหมด น้ำตาลแต่ละชนิดที่เป็นองค์ประกอบ
Prosky <i>et al.</i> , 1985	Enzymatic-gravimetric	ใยอาหารทั้งหมด

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

วิธีการวิเคราะห์ใยอาหาร	ชนิดของวิธีการวิเคราะห์ใยอาหาร	ใยอาหารที่วิเคราะห์ได้
Theander and Westerlund, 1986	Enzymatic-gas chromatographic	โพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ละลายน้ำ โพลีแซคคาไรด์ที่ละลายน้ำ กรดยูโรนิก (uronic acid) ที่ไม่ละลายน้ำ กรดยูโรนิก (uronic acid) ที่ละลายน้ำ ลิกนิน (lignin) ใยอาหารทั้งหมด
Englyst and Hudson, 1987	Enzymatic-colorimetric	โพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ชทั้งหมดที่ละลายน้ำ โพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ชทั้งหมดที่ไม่ละลายน้ำ โพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ชทั้งหมด
Lee <i>et al.</i> , 1992 (AOAC 991.43)	Enzymatic-gravimetric using MES-TRIS buffer	ใยอาหารที่ละลายน้ำ ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ใยอาหารทั้งหมด
Prosky <i>et al.</i> , 1992 (AOAC 991.42)	Enzymatic-gravimetric	ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ
Quigley and Englyst, 1992	Enzymatic-high performance liquid chromatographic	โพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ชทั้งหมดที่ละลายน้ำ โพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ชทั้งหมดที่ไม่ละลายน้ำ โพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ชทั้งหมด
Mongeau and Brassard, 1993 (AOAC 992.16)	Enzymatic-gravimetric	ใยอาหารที่ละลายน้ำ ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ใยอาหารทั้งหมด
Li and Cardozo, 1994 (AOAC 993.21)	Enzymatic-gravimetric (For foods and food products with $\leq 2\%$ starch)	ใยอาหารทั้งหมด
Prosky <i>et al.</i> , 1994 (AOAC 993.19)	Enzymatic-gravimetric	ใยอาหารที่ละลายน้ำ
Uppsala Method of Theander <i>et al.</i> , 1995 (AOAC 994.13)	Enzymatic-gas chromatographic	โพลีแซคคาไรด์ กรดยูโรนิก (uronic acid) ลิกนิน (lignin) ใยอาหารทั้งหมด

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

วิธีการวิเคราะห์ใยอาหาร	ชนิดของวิธีการวิเคราะห์ใยอาหาร	ใยอาหารที่วิเคราะห์ได้
Hoebregs, 1997 (AOAC 997.08)	Enzymatic-ion exchange chromatographic	ฟรุคแทน (Fructans)
Craig <i>et al.</i> , 2000 (AOAC 2000.11)	Enzymatic-ion exchange chromatographic	โพลีเดกซ์โตรส (Polydextrose)
McCleary <i>et al.</i> , 2000 (AOAC 999.03)	Enzymatic-spectrophotometric	ฟรุคแทน (Fructans)

ที่มา: คัดแปลงจาก Institute of medicine, 2001

2.1.4 แหล่งของใยอาหาร

ใยอาหารพบโดยธรรมชาติในธัญพืช ผัก ผลไม้ และถั่ว ซึ่งจะมีปริมาณและองค์ประกอบของใยอาหารแตกต่างกัน (Desmedt and Jacobs, 2001) โดยทั่วไปอาหารที่ไม่มีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบจะมีปริมาณใยอาหาร 20 – 35 กรัมของใยอาหาร/100 กรัมน้ำหนักแห้ง และอาหารที่มีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบจะมีปริมาณใยอาหาร 10 กรัมของใยอาหาร/100 กรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนปริมาณใยอาหารที่มีอยู่ในผักและผลไม้จะมีค่าตั้งแต่ 1.5 – 2.5 กรัมของใยอาหาร/100 กรัมน้ำหนักแห้ง (Selvendran and Robertson, 1994) เมื่อเปรียบเทียบกันในระหว่างอาหารชนิดต่าง ๆ ที่อุดมไปด้วยใยอาหาร ธัญพืชนับเป็นแหล่งสำคัญอันดับหนึ่งของใยอาหารซึ่งคิดเป็นปริมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณใยอาหารที่บริโภคกันในแต่ละวัน (Lambo *et al.*, 2005) รองลงมาคือ ใยอาหารที่ได้จากผัก 30 – 40 เปอร์เซ็นต์ ใยอาหารจากผลไม้ 16 เปอร์เซ็นต์ และส่วนที่เหลืออีก 3 เปอร์เซ็นต์ได้มาจากแหล่งอื่น ๆ (Gregory *et al.*, 1990; Cummings, 1996)

ความแตกต่างของปริมาณใยอาหารที่ได้จากธัญพืชขึ้นอยู่กับแหล่งและกระบวนการในการผลิต เช่น ปริมาณใยอาหารในแป้งสาลีจะมีความแตกต่างกันร้อยละ 2.5 ในแป้งสาลีบริสุทธิ์ถึงร้อยละ 12 ในแป้งสาลีไม่ขัดสีที่ได้จากรำข้าวสาลีซึ่งเป็นแหล่งของใยอาหารโดยเฉพาะในส่วนของใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและส่วนนี้จะสูญเสียไปในระหว่างกระบวนการขัดสี สำหรับปริมาณใยอาหารในผักมีประมาณ 28 – 30 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น ถั่วขาวและถั่วแดงมีปริมาณใยอาหารที่สูงกว่านี้ ส่วนผลไม้จะมีปริมาณน้ำพร้อมกับเนื้อเยื่อที่ล้าเลียงปริมาณเล็กน้อยและมีผนังเซลล์บาง ซึ่งลักษณะเหล่านี้สัมพันธ์กับปริมาณใยอาหารที่ต่ำกว่าธัญพืช (1 – 3.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (John and Southgate, 1994)

2.1.5 ประโยชน์ของใยอาหารต่อสุขภาพ

ใยอาหารเริ่มได้รับความสนใจอันเนื่องมาจากการได้มีการสังเกตพบว่า ประชากรในแถบยุโรปที่บริโภคอาหารซึ่งอุดมไปด้วยใยอาหารมีอัตราเสี่ยงในการเกิดโรคที่เกี่ยวข้องกับลำไส้ใหญ่ลดลงอย่างเห็นได้ชัด ตามข้อมูลการศึกษาทำให้ปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันว่าใยอาหารแสดงบทบาทที่สำคัญในการป้องกันโรคได้หลายชนิด และการบริโภคอาหารที่ปริมาณใยอาหารสูง เช่น อาหารที่อุดมไปด้วยธัญพืช ผลไม้ และผักจะส่งผลดีต่อสุขภาพ เนื่องจากการบริโภคอาหารเหล่านี้มีความเกี่ยวข้องกับการลดอัตราเสี่ยงของการเกิดมะเร็งหลายชนิดอย่างเห็นได้ชัด (Beecher, 1999; Jimenez-Escribano *et al.*, 2001) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาอื่นที่เกี่ยวข้องซึ่งศึกษาเปรียบเทียบอัตราเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจ มะเร็งลำไส้ใหญ่ หลอดเลือดอุดตัน เบาหวาน และโรคอื่น ๆ ต่อปริมาณใยอาหารที่มีในอาหารของชาวแอฟริกาและอเมริกา (Burkitt *et al.*, 1974) โดยทั่วไปประโยชน์ที่ได้รับจากการบริโภคใยอาหารมีดังต่อไปนี้

2.1.5.1 โรคที่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินอาหาร

หน้าที่ของใยอาหารซึ่งเป็นที่รู้จักกันมายาวนานที่สุดคือการควบคุมระบบการทำงานของทางเดินอาหาร ใยอาหารสามารถเปลี่ยนปริมาณน้ำ ความหนืด และปริมาณจุลินทรีย์ในลำไส้ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของอาหารผ่านลำไส้ การเพิ่มปริมาณการบริโภคใยอาหารมีผลต่อการลดระยะเวลาในการเคลื่อนที่ของอาหารภายในระบบทางเดินอาหาร เพิ่มปริมาณอุจจาระ และช่วยในเรื่องของการขับถ่าย (Birkett *et al.*, 1997) พร้อมกับการเจือจางปริมาณอุจจาระภายในทางเดินของลำไส้ซึ่งคาดว่าจะเกี่ยวข้องกับการลดอัตราเสี่ยงในการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่ (Trock *et al.*, 1990) การบริโภคใยอาหารในปริมาณต่ำเป็นสาเหตุให้เกิดการแข็งของอุจจาระซึ่งทำให้ใช้เวลานานในการสัมผัสกับสารที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งในลำไส้ (Armstrong and Doll, 1975) การลดความดันภายในลำไส้ใหญ่อาจมีผลทำให้ความเสี่ยงในการเกิดถุงอุตันภายในลำไส้ใหญ่ลดลง (Brodribb and Humphreys, 1976) การเปรียบเทียบระหว่างใยอาหารต่างชนิดกันเห็นได้ชัดว่า ใยอาหารที่เกิดการหมักได้ช้าหรือไม่สมบูรณ์หรือไม่เกิดการหมักมีส่วนในการเพิ่มปริมาณอุจจาระ โดยทั่วไปใยอาหารเหล่านี้จัดว่าเป็นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และในทางตรงกันข้ามใยอาหารที่ละลายน้ำทั้งหมดจะเกิดการหมักได้อย่างรวดเร็ว

ใยอาหารจากพืชเป็นตัวควบคุมระยะเวลาในการเคลื่อนที่ภายในทางเดินอาหาร และมีผลต่อปริมาณอุจจาระ นอกจากนี้ยังส่งผลต่อการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตและไขมันซึ่งมักเชื่อมโยงกับองค์ประกอบเล็ก ๆ อื่น ๆ ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์ เช่น เฟลโวนอยด์และแคโรทีนอยด์ (Heredia *et al.*, 2002; Lefebvre and Thebaudin, 2002)

อาหารที่อุดมไปด้วยใยอาหารยังมีผลต่อความสามารถในการรวมกับกรดน้ำดี และการเผาผลาญโคเรสเตอรอล ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการย่อยและดูดซึมไขมันในลำไส้เล็ก กรดน้ำดีตัวแรก (primary bile acid) ที่รู้จักกันในนามกรดโคลิค (cholic) และกรดควิโนคือออกซีโคลิค

(quenodeoxycholic acid) จะเกิดปฏิกิริยาดีไฮโดรไลซ์ (dehydrolyze) และเปลี่ยนเป็นกรดน้ำดีอันดับสอง (secondary bile acid) ที่เรียกว่า กรดดีออกซีโคลิก (deoxycholic) และกรดลิโตโคลิก (lithocholic acid) ตามลำดับ สารประกอบเหล่านี้แสดงบทบาทที่สำคัญยิ่งต่อสาเหตุของการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่ (Nagengast, 1996) ระดับการดูดซึมของกรดน้ำดีธรรมชาติ กรดดีออกซีโคลิก และกรดโคลิก และโคเรสเตอรอลโดยไขมันอาหารจากพืชจะมีระดับการดูดซึมที่มากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ สภาพะในการผลิต และชนิดของกรดน้ำดี (Gorecka *et al.*, 2002) มีการศึกษาพบว่ารำข้าวสาลีสามารถช่วยลดความเข้มข้นของกรดน้ำดีในอุจจาระ (Alberts *et al.*, 1996) ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับการเป็นสารก่อมะเร็ง

โดยสรุปแล้วหลักฐานทางร่างกายชี้ให้เห็นว่าไขมันที่ย่อยได้ช้าหรือไม่สามารถเกิดการหมักได้ช่วยในด้านการขับถ่าย อย่างไรก็ตามหลักฐานไม่เพียงพอที่จะตัดสินถึงการลดอัตราเสี่ยงในการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่ นอกจากนี้ในการศึกษาที่ละเอียดมากขึ้น ได้สังเกตพบผลที่สอดคล้องกันน้อยลง (Lanza, 1990) เนื่องจากการศึกษาที่ซับซ้อนเกี่ยวกับสมมุติฐานในการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่และการศึกษาทางพันธุกรรมที่เกี่ยวข้องซึ่งออกแบบให้เหมาะสมต่อการทดลองเป็นเรื่องที่ยากมากและใช้ระยะเวลานานกว่าที่จะประสบผลสำเร็จ

2.1.5.2 โรคมะเร็งเต้านม

หลักฐานบางอย่างแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างการบริโภคไขมันอาหารและอัตราเสี่ยงในการเกิดมะเร็งเต้านม (Gerber, 1998) อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์เหล่านี้มีความสอดคล้องกันน้อยกว่าความสัมพันธ์ระหว่างการบริโภคไขมันอาหารกับการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่ แม้ว่าในการทดลองได้แสดงให้เห็นถึงความสามารถของไขมันอาหารในการลดความเข้มข้นของเอสโตรเจน (estrogen) ในเลือดซึ่งเป็นปัจจัยเสี่ยงสำหรับการพัฒนาของมะเร็งเต้านม (Rose *et al.*, 1991) แต่ข้อมูลที่มีไม่เพียงพอที่จะบ่งชี้ว่าอาหารที่มีไขมันสูงสามารถลดความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งเต้านมได้เช่นกัน

2.1.5.3 โรคหัวใจและหลอดเลือด

ข้อมูลจากการทดลอง (Anderson *et al.*, 2000; Olson *et al.*, 1997; Ripsin *et al.*, 1992) สนับสนุนว่า การลดลงของระดับโคเรสเตอรอลในเลือดเป็นผลมาจากไขมันอาหารที่ละลายน้ำซึ่งมีความข้นหนืด และหลักฐานทางการแพทย์ก็ยังสนับสนุนความสัมพันธ์ระหว่างการบริโภคอาหารที่มีปริมาณไขมันสูงเพิ่มขึ้นจะช่วยลดอัตราเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด (Rimm *et al.*, 1996; Wolk *et al.*, 1999)

การใช้ความเข้มข้นของโคเรสเตอรอลในเลือดเป็นตัวบ่งชี้ถึงอัตราเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดแสดงให้เห็นว่า ไขมันอาหารให้ผลที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพโดยช่วยลดระดับโคเรสเตอรอลในเลือดและโดยการปรับสมดุลของสเตอรอล (sterol) (Anderson *et al.*, 1984; Everson *et al.*, 1992; Marlett *et al.*, 1994) การทดลองโดยใช้โพลีแซคคาไรด์บริสุทธิ์ที่มีความข้น

หนืด (เช่น เพคติน psyllium และกัว (guar)) เป็นแหล่งของใยอาหารได้พิสูจน์ว่าโพลีแซคคาไรด์เหล่านี้ช่วยรักษาระดับโคเรสเตอรอลในผู้ป่วยที่มีระดับโคเรสเตอรอลสูง (Brown *et al.*, 1999) หลักฐานบางอย่างยังชี้ให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างการบริโภคใยอาหารและโรคความดันโลหิตสูง ซึ่งเป็นอีกหนึ่งปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด (Ascherio *et al.*, 1992, 1996) แต่ยังไม่เป็นที่แน่ชัดว่าตัวใยอาหารเองหรือสารที่เกี่ยวข้องที่มีอยู่ในใยอาหาร เช่น สารพฤษเคมี และแร่ธาตุ ว่าสิ่งใดที่เป็นปัจจัยสำคัญต่อผลการทดลองที่ได้ในการศึกษาเหล่านี้ อย่างไรก็ตามในทางกลับกันได้มีการศึกษาพบว่า รำข้าวสาลีไม่มีผลต่อความเข้มข้นของโคเรสเตอรอลในเลือด (Anderson *et al.*, 1984) จึงไม่สามารถนำมาใช้ในการสนับสนุนถึงประโยชน์ของใยอาหารต่อโรคที่เกิดกับหัวใจและหลอดเลือดได้

2.1.5.4 โรคเบาหวาน

บทบาทของอาหารที่มีปริมาณใยอาหารสูงต่อการลดความเสี่ยงในการเกิดโรคเบาหวานแบบ Type 2 และการรักษาเบาหวานทั้งสองรูปแบบมีความเกี่ยวข้องกับความเข้มข้นของใยอาหารซึ่งไปลดการตอบสนองต่อไกลซีมิก (glycemic) ได้ดีกว่าแหล่งของอาหารที่อุดมไปด้วยใยอาหารที่ไม่มีความเข้มข้น (เช่น เซลลูโลส และลิกนิน) (Wolever and Jenkins, 1993) นอกจากนี้ใยอาหารที่มีความเข้มข้นยังไปเพิ่มความไวต่ออินซูลิน (Fukagawa *et al.*, 1990) ซึ่งความหนืดที่เพิ่มขึ้นมีผลในการชะลอความหิว ชะลออัตราการดูดซึม และเปลี่ยนองค์ประกอบของแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ (Roberfroid, 1993) การศึกษาทางการแพทย์พบว่า การมีระดับไกลซีมิกสูงและการบริโภคใยอาหารจากธัญพืชต่ำมีความสัมพันธ์ต่อการเพิ่มอัตราเสี่ยงของการเกิดเบาหวานแบบ Type 2 (Salmerón *et al.*, 1997a, 1997b) ในอีกทางหนึ่งเมื่อให้ผู้ป่วยเบาหวานแบบ Type 2 บริโภคอาหารที่มีใยอาหารสูงจะพบว่า ผู้ป่วยมีความเข้มข้นของระดับกลูโคสในเลือดลดลงและช่วยลดความต้องการอินซูลินให้ต่ำลงได้ (Anderson and Ward, 1979) ประโยชน์ของใยอาหารที่มีความเข้มข้นต่อความเข้มข้นของกลูโคสในเลือดได้ผ่านการทดลองมาเป็นเวลากว่า 25 ปีและมีผลที่ได้จากการศึกษาที่สนับสนุนที่เพิ่มขึ้นมากมาย

การย่อยโพลีแซคคาไรด์มีผลต่อการลดความหนืดของกัวกัม (Jenkins *et al.*, 1978; Wood *et al.*, 1994) เนื่องจากความหนืดที่ต่ำลงอาจเพิ่มประสิทธิภาพต่อการนำไปใช้ในอาหาร อย่างไรก็ตามข้อมูลแต่ละอย่างที่มีจะเห็นได้ชัดว่ามีความแตกต่างทางกายภาพเกิดขึ้นเมื่อความยาวของสายโซ่โพลีเมอร์และความหนืดลดลง ซึ่งจะส่งผลต่อสมบัติของใยอาหารในการช่วยลดการตอบสนองต่อไกลซีมิก และการลดระดับโคเรสเตอรอลที่อาจลดลงหรือสูญหายไป (Favier *et al.*, 1997; Jenkins *et al.*, 1978; Lund *et al.*, 1989; Wood *et al.*, 1994) ดังนั้นในการพัฒนาสมบัติความมีชีวิตและความสะดวกในการใช้ในอาหารควรพิจารณาให้ดีถึงประโยชน์ต่อสุขภาพที่อาจสูญเสียไปซึ่งเป็นผลมาจากใยอาหารที่มีความยาวของสายโซ่ที่สั้นกว่าและความหนืดลดลง

2.1.5.5 โรคอ้วน

อาหารที่อุดมไปด้วยใยอาหารได้รับการเสนอแนะให้เป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมน้ำหนักและรักษาโรคอ้วน (Appleby *et al.*, 1998; Burley *et al.*, 1993; Miller *et al.*, 1994) อาหารที่มีปริมาณใยอาหารสูงมีผลต่อการชะลอไม่ให้กระเพาะว่างซึ่งจะทำให้อิ่ม (Roberfroid, 1993) สิ่งเหล่านี้อาจมีผลทำให้พลังงานจากการบริโภคและอัตราการดูดซึมแร่ธาตุลดลง การลดปริมาณพลังงานที่ได้จากอาหารที่อุดมไปด้วยใยอาหารเป็นประโยชน์ต่อการควบคุมน้ำหนัก ดังนั้นอาหารที่มีปริมาณใยอาหารสูงจึงได้รับการยอมรับในการรักษาโรคอ้วน อย่างไรก็ตามผลที่ได้จากการศึกษาเพียงเท่านั้นยังไม่เพียงพอที่จะกำหนดให้ใยอาหารมีประโยชน์ต่อสุขภาพในด้านการรักษาน้ำหนักตัว

2.1.5.6 บทบาทต่อสุขภาพในด้านอื่น

ใยอาหารและวัตถุดิบที่คล้ายใยอาหารมีประโยชน์ต่อสุขภาพมากมายซึ่งยังคงต้องการข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อยืนยันข้อเท็จจริงต่อไป ตัวอย่างเช่นการศึกษาบางกรณีค้นพบว่าใยอาหารอาจให้ผลในการป้องกันแผลที่เกิดในลำไส้ส่วนดูโอดินัม (Aldoori *et al.*, 1997) และป้องกันมะเร็งที่เกี่ยวข้องกับส่วนที่ติดกับหลอดอาหารของกระเพาะลำไส้ (Terry *et al.*, 2001) การทดลองในสัตว์ได้เสนอแนะถึงบทบาทของใยอาหารหลายชนิดต่อหน้าที่ทางระบบภูมิคุ้มกันของลำไส้เล็ก (Field *et al.*, 1999; Lim *et al.*, 1997) แม้ว่าการศึกษาในคนยังมีไม่เพียงพอ อย่างไรก็ตามผลที่ได้รับจากใยอาหารในการเป็น substrate ให้กับแบคทีเรียในลำไส้ก็อาจเป็นอีกเรื่องที่น่าจะได้รับความสนใจ (Roberfroid, 1993) ซึ่งอาจมีความเป็นไปได้ในการใช้ใยอาหารเพื่อปรับจุลภาวะและแบคทีเรียในลำไส้เหมือนกับการเสนอแนะให้ใช้โปรไบโอติก (probiotics)

แม้ว่าจะมีการศึกษาถึงผลของการบริโภคใยอาหารต่อสุขภาพที่ค้นพบขึ้นใหม่มากมาย แต่ก็ยังไม่เป็นที่กระจ่างจวบจนปัจจุบัน ซึ่งโดยส่วนใหญ่มักเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ระหว่างการบริโภคใยอาหารและโรคเฉพาะอย่าง ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อแสดงหน้าที่ที่ถูกต้องขององค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีอยู่ในใยอาหารต่อสุขภาพและโภชนาการของมนุษย์ต่อไป

2.1.6 ข้อเสนอแนะในการบริโภคใยอาหาร

ในปัจจุบันข้อเสนอแนะในการบริโภคอาหารได้เปลี่ยนมาให้ความสำคัญกับอาหารที่อุดมไปด้วยพืชเนื่องจากอาหารเหล่านี้มีส่วนช่วยในการรักษาและพัฒนาสุขภาพร่างกาย ดังผลที่ได้จากการสำรวจของ European Cost – 92 Programme พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในการบริโภคผักและผลไม้ระหว่างประเทศในแถบยุโรป (Cummings, 1996) ดังเช่น การบริโภคใยอาหารในประเทศแถบสแกนดิเนเวียต่ำกว่าการบริโภคใยอาหารในแถบยุโรป เช่น ฝรั่งเศส อิตาลี และ สเปนเป็นอย่างมาก (Saura-Calixto & Goni, 1993) ข้อเสนอแนะของปริมาณใยอาหารที่ควรรับประทานในแต่ละประเทศแตกต่างกัน ขณะที่ประเทศในสหราชอาณาจักรได้เสนอให้บริโภคใยอาหารซึ่งอยู่ในรูปโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ช 18 กรัม/วัน แต่ปริมาณการบริโภคนี้เพิ่มขึ้นเป็น 30 กรัม/วันตามข้อเสนอแนะในประเทศเยอรมัน และในสหรัฐอเมริการะบุว่าผู้ชายควรบริโภค

ใยอาหาร 38 กรัม/วัน ส่วนผู้หญิงควรบริโภคใยอาหาร 26 กรัม/วัน (Miller, 2004) อาหารในแถบเมดิเตอร์เรเนียนโดยเฉพาะในสเปน อิตาลี และกรีซให้ปริมาณใยอาหารสูง เนื่องจากอุดมไปด้วย ผัก ธัญพืช ผลไม้และพืชตระกูลถั่ว ซึ่งข้อเสนอแนะของการบริโภคใยอาหารในประเทศเหล่านี้ คือ 20 กรัม/วัน สำหรับผู้ชาย และ 15.7 กรัม/วัน สำหรับผู้หญิง

2.1.7 ผลของกระบวนการแปรรูปต่อคุณสมบัติของใยอาหาร

คุณสมบัติทางด้านหน้าที่ของใยอาหารจากพืชขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างใยอาหารที่ละลายน้ำและใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ขนาดอนุภาค สภาพในการสกัด และแหล่งที่มาของผักผลไม้ (Cadden, 1987; Dreher, 1987; Jaime *et al.*, 2002) รายงานที่เกี่ยวข้องกับผลของปัจจัยในการแปรรูปต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของใยอาหารมีอยู่อย่างจำกัดและบางครั้งก็ขัดแย้งกัน ดังนั้นจึงมีการใช้วัตถุดิบ วิธีการในการวิเคราะห์ใยอาหาร และสถานะในกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันมากมาย (Larrauri, 1999)

2.1.7.1 ผลของการหมักต่อคุณสมบัติของใยอาหาร

การหมักเป็นกระบวนการหนึ่งในกระบวนการแปรรูปอาหารจากพืชที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบและโครงสร้างของใยอาหาร การเปลี่ยนแปลงนี้กระตุ้นโดยกิจกรรมทางเอนไซม์ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการหมัก และโดยหลักจะประกอบด้วยการละลายของโพลีแซคคาไรด์ต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ เอนไซม์ชนิดหลักที่พบในกระบวนการหมักในน้ำเกลือคือ อะไมเลส (amylase) โปรตีนเอส (proteinase) โพลีกาแลกทูโรเนส (polygalacturonase) เซลลูเลส (cellulase) และเบตา-กาแลกโตซิเดส (β -galactosidase) ซึ่งย่อยสลายโพลีแซคคาไรด์ที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์อย่างเฉพาะเจาะจง และผลที่ได้คือ การลดลงของปริมาณใยอาหาร ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยการสูญเสียใยอาหารที่ละลายน้ำและแม้แต่บางส่วน of ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำก็สามารถเกิดการย่อยได้ โพลีแซคคาไรด์จึงถูกปลดปล่อยสู่น้ำเกลือ รวมถึงสารประกอบที่ละลายน้ำ เช่น โพลีแซคคาไรด์ เพคตินที่เป็นกลาง และองค์ประกอบของใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เช่น เฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลส (Jimenez *et al.*, 1998)

มะกอกและกะหล่ำปลีเป็นอาหารหมักที่ทำจากพืชที่รู้จักกันดีที่สุด มะกอกที่ผ่านการแปรรูปเพื่อการบริโภคมีการสูญเสียใยอาหารระหว่างกระบวนการผลิตมาก (Fernandez-Bolanos *et al.*, 2002) ขณะที่ปริมาณใยอาหารจากกะหล่ำปลีต้องมีค่าใกล้เคียงกับกะหล่ำปลีสด (Roch *et al.*, 2000) แต่ทั่วไปในความเป็นจริงอาหารเหล่านี้จะถูกบริโภคพร้อมกับส่วนที่เป็นของเหลวที่ใช้ในการแปรรูปซึ่งมีส่วนของใยอาหารที่สูญเสียไปละลายอยู่ (Soo and Hong, 1997)

2.1.7.2 ผลของการให้ความร้อนต่อคุณสมบัติของใยอาหาร

กระบวนการที่ใช้กันมากที่สุดในการแปรรูปวัตถุดิบที่ได้จากพืชคือ การให้ความร้อน ซึ่งได้แก่ การต้มให้เดือด การหุงต้ม และการบรรจุกระป๋อง มีการพบว่าการให้ความร้อนสามารถเปลี่ยนเนื้อสัมผัสของเนื้อเยื่อพืช และการเปลี่ยนแปลงนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและโครงสร้างของ

ส่วนที่เป็นใยอาหาร ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาผลของการให้ความร้อนต่อคุณสมบัติทางเคมี คุณสมบัติกายภาพ และคุณสมบัติทางชีวภาพของใยอาหาร เพื่อที่จะได้ทราบถึงปริมาณที่ถูกต้องของสารประกอบในใยอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ส่งถึงผู้บริโภค

โดยปกติการต้มให้เดือดเป็นกระบวนการที่ไม่ยาวนานซึ่งทำให้การให้ความร้อนตัวอย่างด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ใอน้ำ หรือไมโครเวฟ กระบวนการเหล่านี้มีผลในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ทั้งหมดที่สามารถส่งผลเสียต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ผลที่ไม่พึงปรารถนาบางประการที่สามารถเกิดขึ้นคือ ความนิ่มของเนื้อเยื่อพืชที่มากเกินไป การสูญเสียสีและกลิ่น รวมถึงการเกิดสีและกลิ่นที่ผิดปกติ การหุงต้มโดยทั่วไปยาวนานกว่ากระบวนการต้มให้เดือด และสามารถทำที่อุณหภูมิการเดือดหรือที่อุณหภูมิต่ำกว่าโดยอาจใช้หรือไม่ใช้ความดันสูงร่วมด้วยก็ได้ และโดยการใช้เตาอบแบบธรรมดาหรือเตาอบไมโครเวฟ (Heredia *et al.*, 2002) ส่วนการบรรจุกระป๋องโดยทั่วไปจะทำโดยการใช้อุณหภูมิสูงและความดันในระยะเวลาอันสั้น

ทั้ง ๆ ที่ในความเป็นจริงมีการบริโภคอาหารจากพืชที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนในปริมาณมาก (Block and Lance, 1987; Reistad and Froyich, 1984) แต่ไม่มีเอกสารอ้างอิงหรือเอกสารที่ได้รับการตีพิมพ์มากนักที่บ่งบอกถึงผลการเปลี่ยนแปลงของใยอาหารและองค์ประกอบของใยอาหารในระหว่างกระบวนการให้ความร้อน แม้จะมีรายงานว่าเฮมิเซลลูโลสและสารประกอบจำพวกเพคตินที่ดูเหมือนว่าจะเป็นส่วนประกอบที่ได้รับผลกระทบมากที่สุด (Ben-Shalom *et al.*, 1992; Massiot *et al.*, 1992)

Tatjana และคณะ (2002) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการแปรรูปโดยการให้ความร้อนถั่วแดงหลวง (kidney bean) พบว่า การละลายของโพลีแซคคาไรด์มีผลต่อการลดลงของปริมาณใยอาหารทั้งหมดและส่วนใหญ่เกิดจากการสูญเสียใยอาหารที่ละลายน้ำ

การเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดของปริมาณใยอาหารที่พบในบางกรณีเป็นผลจากการเกิดองค์ประกอบที่ซับซ้อนระหว่างโพลีแซคคาไรด์และองค์ประกอบอื่น ๆ ในอาหาร เช่น โปรตีน และสารประกอบฟีนอลิกที่ได้รับการวิเคราะห์ว่าเป็นใยอาหาร (Takeyama *et al.*, 1996)

กระบวนการแปรรูปมีความจำเป็นเพื่อที่จะทำให้ผักและถั่วเหมาะแก่การรับประทาน ซึ่งสามารถก่อให้เกิดการลดลงขององค์ประกอบใยอาหารมากมาย ตัวอย่างเช่น ระหว่างกระบวนการหุงต้มเลนทิล (lentil) จะมีปริมาณใยอาหารลดน้อยลงเนื่องจากการลดลงของเฮมิเซลลูโลสในปริมาณมาก (Vidal-Valverde and Frias, 1991; Vidal-Valverde *et al.*, 1992) ในขณะที่รำข้าวสาลีได้มีการค้นพบว่า การให้ความร้อน (การต้มให้เดือด การหุงต้มหรือการอบ) ก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณใยอาหารทั้งหมดซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ขึ้นมาใหม่ แต่เกิดจากการเกิดองค์ประกอบที่ซับซ้อนระหว่างโปรตีนและใยอาหารซึ่งทนต่อการให้ความร้อนและการวิเคราะห์ปริมาณใยอาหาร (Caprez *et al.*, 1986)

นอกจากนี้การหุงต้มผลิตภัณฑ์ผักมีการใช้กรดและสารละลายชนิดต่างๆ ดังนั้น pH จึงเป็นกุญแจสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสที่เกิดขึ้นกับเนื้อเยื่อพืชระหว่างกระบวนการนี้ ตัวอย่างเช่น ได้มีการรายงานว่า มันฝรั่ง ตีนกะหล่ำดอก ถั่วรูปไต และถั่วต่าง ๆ มีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มมากขึ้นเมื่อหุงต้มที่ pH 4 ซึ่งมากกว่าการหุงต้มที่ pH 10 ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่า การละลายขององค์ประกอบใยอาหารมีผลต่อการลดลงของเนื้อสัมผัส ซึ่งผลที่เกิดขึ้นนี้มีนัยสำคัญเป็นพิเศษในผลิตภัณฑ์ เช่น ตีนกะหล่ำดอกซึ่งมีปริมาณใยอาหารสูงและทนต่อการแพร่ของสารละลายต่างได้ น้อย โดยทั่วไปผลกระทบที่เกิดจากสภาวะ pH ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของใยอาหาร ระยะเวลาของการให้ปัจจัย ขนาดของพืช และระดับการแพร่ของของเหลวในการผลิต (Brand *et al.*, 1984)

2.1.7.3 ผลของการเก็บรักษาต่อคุณสมบัติของใยอาหาร

การเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยวผลไม้และผักสดเพื่อพยายามที่จะรักษาลักษณะทางประสาทสัมผัส (สี เนื้อสัมผัส และกลิ่นรส) และคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์สุดท้ายในสถานะที่เหมาะสม ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทางด้านปริมาณและคุณภาพของใยอาหารขึ้นอยู่กับสถานะในการเก็บรักษามากมาย เช่น ในแอปเปิ้ลที่เก็บในสภาวะบรรยากาศควบคุมไม่พบการเปลี่ยนแปลงปริมาณใยอาหารทั้งหมด ในอีกทางหนึ่งหัวหอมซึ่งโดยทั่วไปเก็บในสภาวะที่คับแคบพบการเพิ่มขึ้นขององค์ประกอบใยอาหารและโดยส่วนมากเป็นพวกกรดยูโรนิก (uronic acid) ที่ประกอบด้วยเพคติกโพลีแซคคาไรด์ (pectic polysaccharides) (Marlett, 2000) ระหว่างการเก็บรักษาผักหลายชนิด เช่น ตีนกะหล่ำดอก บลอคโครี และหน่อไม้ฝรั่ง มีการผ่านกระบวนการที่ช่วยให้หน่อกับกันซึ่งสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของเส้นใย ทั้งนี้จะมีผลทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายลดลง กระบวนการนี้นิยมทำในหน่อไม้ฝรั่ง โดยมากจะกระทำที่ส่วนก้านให้แข็งขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีความเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของใยอาหารที่ประกอบด้วย ลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส (Bernalte-Garcia *et al.*, 1995; Rodriguez *et al.*, 1999a, b)

2.1.7.4 ผลของการแช่แข็งต่อคุณสมบัติของใยอาหาร

การแช่แข็งเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถใช้เพื่อรักษาคุณภาพของผักสดที่ต้องการ แม้ว่าจะมีการศึกษาไม่มากนักเกี่ยวกับผลของกระบวนการนี้ต่อคุณสมบัติของใยอาหาร และยิ่งกว่านั้นผลที่ได้ก็ยังขัดแย้งกัน การศึกษาที่ทำในผลไม้เมืองร้อนแสดงให้เห็นว่า ปริมาณใยอาหารในผลไม้แช่แข็งต่ำกว่าในผลไม้สด (Salgado *et al.*, 1999) แต่ผลในทางตรงกันข้ามกลับพบว่า การแช่แข็งไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อปริมาณใยอาหารในผัก เช่น แครอท ถั่วต่าง ๆ พืชคล้ายกะหล่ำ และถั่วเขียว (Nyman *et al.*, 1987)

2.2 ใยอาหารจากวัสดุเหลือทิ้งจากผลไม้

ตลาดของใยอาหารมีการแข่งขันกันสูงและมีใยอาหารชนิดใหม่ซึ่งมีคุณสมบัติที่ดีต่อสุขภาพ ออกมาตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่เพิ่มขึ้นทุกวัน ซึ่งก็ยังมิมีวัตถุดิบที่เหลือทิ้งจากการเกษตรอีกมากมายที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ (Chi-Fai *et al.*, 2003) วัตถุดิบที่เหลือจากการ

แยกแองค์ประกอบหลักที่ต้องการออกจากพืชแล้วมีมากมายซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีราคาถูกและไม่มีคุณค่า โดยที่วัตถุดิบเหลือทิ้งเหล่านี้นำมาใช้เพียงแต่เป็นเชื้อเพลิงหรือเป็นปุ๋ย (Grigelmo-Miguel and Martin-Belloso, 1999) ปัจจุบันการค้นหาวัตุดิบที่อาจนำมาใช้เป็นแหล่งของใยอาหารเพื่อเสริมลงในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีปริมาณใยอาหารต่ำเริ่มได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้นใน (Fernandez-Bolanos *et al.*, 1990) ขณะที่ในอดีตวัตถุดิบที่เหลือจากพืชซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการแปรรูปก่อให้เกิดปัญหาทางเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม แต่ ณ วันนี้วัตถุดิบเหล่านี้ได้รับการพิจารณาให้เป็นแหล่งของ functional compounds (Carle *et al.*, 2001)

กากที่เหลือจากการคั้นน้ำผลไม้เป็นของเสียหลักที่ได้จากกระบวนการแปรรูปผลไม้สดเพื่อนำมาผลิตไวน์ น้ำผลไม้ และเครื่องดื่ม ซึ่งมีปริมาณอย่างน้อย 25 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณวัตถุดิบเริ่มต้น (Fronc and Nawirska, 1994) มีข้อมูลบันทึกว่าประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ของกากที่เหลือจากการคั้นน้ำผลไม้ที่เกิดจากกระบวนการแปรรูปในโพลแลนด์จะถูกส่งไปเก็บในพื้นที่ว่างซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียโดยเปล่าประโยชน์ ซึ่งกากที่เหลือจากการคั้นน้ำผลไม้เหล่านี้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่เนื่องจากมีองค์ประกอบที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพและมีส่วนผสมที่มีคุณค่าชนิดอื่น ๆ (เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน แร่ธาตุ และอื่น ๆ) กากที่เหลือจากการคั้นน้ำผลไม้ยังเป็นวัตถุดิบที่มีราคาถูกที่ใช้สำหรับอาหารคนและอาหารสัตว์ (Fronc and Nawirska, 1994) การจัดการที่เหมาะสมกับของเสียที่เกิดจากการแปรรูปผลไม้จะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและค่าสาธารณูปโภค และยังมีข้อได้เปรียบอื่นทางเศรษฐกิจด้านศักยภาพในการนำเอาของของเสียเหล่านี้มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะช่วยลดปัญหาที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม

มีผลไม้หลายชนิดตัวอย่างเช่น ส้ม แอปเปิ้ล พีช และมะกอกซึ่งนำมาใช้ในการสกัดน้ำผลไม้และมีการค้นพบว่าวัสดุเหลือทิ้งที่ได้มีสารประกอบที่มีคุณค่าต่าง ๆ ในปริมาณสูง โดยในส่วนของใยอาหารเป็นส่วนที่มีประสิทธิภาพที่ดีในการนำมาเตรียมเพื่อใช้เป็นอาหารเสริมสุขภาพ (functional foods)

กากที่เหลือจากการคั้นน้ำผักและผลไม้ ได้แก่ แอปเปิ้ล เชอร์รี่ โห้บกเบอร์รี่ แบลคเคอเรนท์ แพร์ และแครอทมีองค์ประกอบของใยอาหารที่มีปริมาณเพคตินต่ำและมีลิกนินสูง (Nawirska and Kwasniewski, 2003) (ตารางที่ 2.3) นอกจากนี้จากการศึกษาของ Laurauri (1999) ยังพบว่าวัสดุเหลือทิ้งจากผลไม้ ได้แก่ เกรฟฟรุต มะนาว ส้ม และแอปเปิ้ลเป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยใยอาหารซึ่งมีปริมาณใยอาหารทั้งหมดสูงกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 2.4)

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของใยอาหารที่ได้จากกากที่เหลือจากการคั้นน้ำผักและผลไม้ชนิดต่าง ๆ

องค์ประกอบ ของใยอาหาร	แอปเปิ้ล	เชอร์รี่	โซกเบอร์รี่	แบลคเคอเรนท์	แพร์	แครอท
เพคติน	11.7	1.51	7.85	2.73	13.4	3.88
เฮมิเซลลูโลส	24.4	10.7	33.5	25.3	18.6	12.3
เซลลูโลส	43.6	18.4	34.6	12.0	34.5	51.6
ลิกนิน	20.4	69.4	24.1	59.3	33.5	32.2

ที่มา : Nawirska and Kwasniewsk, 2003

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบ (กรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง) และอัตราส่วนระหว่าง IDF/SDF ของใยอาหารที่ได้จากแหล่งต่าง ๆ

ปริมาณใยอาหาร	IDF	SDF	TDF	IDF/SDF
เกรฟฟรุตพันธุ์ Ruby	56.0	4.57	62.6	12.7 : 1
มะนาวพันธุ์ Eureka	50.9	9.20	60.1	5.5 : 1
มะนาวพันธุ์ Fino 49	62.0	6.25	68.3	9.9 : 1
ส้มพันธุ์ Valencia	54.0	10.28	64.3	5.3 : 1
แอปเปิ้ลพันธุ์ Royal Gara	63.9	14.33	78.2	4.5 : 1
แอปเปิ้ลพันธุ์ Granny Smith	56.5	4.14	60.7	12.9:1
แอปเปิ้ลพันธุ์ Liberty	81.6	8.20	89.8	9.9:1

ที่มา : ดัดแปลงจาก Larrauri, 1999

หมายเหตุ : IDF = ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ SDF = ใยอาหารที่ละลายน้ำ และ TDF = ปริมาณใยอาหารทั้งหมด

วัสดุเหลือทิ้งจากส้มและมะนาวซึ่งมีปริมาณมากและมีราคาถูกจัดเป็นแหล่งที่สำคัญของใยอาหาร เนื่องจากอุดมไปด้วยเพคติน (Askar, 1998) ผลไม้ชนิดอื่นเช่น องุ่น แอปเปิ้ล กว๊าย ฝรั่ง และอื่น ๆ ซึ่งในกระบวนการแปรรูปส่วนก่อให้เกิดวัสดุเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก เช่น เปลือก แกน และเมล็ด วัสดุคั้นเหล่านี้สามารถเป็นปัจจัยหนึ่งที่ควบคุมทางด้านการค้าของผลิตภัณฑ์เหล่านี้ได้ถ้ายังไม่มีมีการค้นพบถึงประโยชน์ เนื่องจากมีการสูญเสียมากเมื่อเทียบกับวัสดุคั้นเริ่มต้นจึงสามารถส่งผลต่อการเพิ่มราคาของกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์เหล่านี้ได้ (Schieber *et al.*, 2002)

ของเสียจากแหล่งอื่นที่ได้มาจากกีวี่มีปริมาณใยอาหารประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง (Martin-Cabrejas *et al.*, 1995) และจากเปลือกสับปะรดซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ของใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำในปริมาณสูง (70 เปอร์เซ็นต์ของใยอาหารทั้งหมด) โดยองค์ประกอบหลักประกอบไปด้วย น้ำตาล เช่น กลูโคสและไซโลสและมีความสามารถในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มี

ประสิทธิภาพ (Salvi and Rajput, 1995; Larrauri *et al.*, 1997) นอกจากนี้ยังมีมะกอกซึ่งใช้สำหรับผลิตน้ำมันก็ยังให้วัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตที่อุดมไปด้วยสารประกอบต่าง ๆ ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ รวมถึงโพลีฟีนอลและใยอาหาร (Heredia *et al.*, 1993)

2.2.1 ประโยชน์ของใยอาหารจากผลไม้

ปัจจุบันประโยชน์ต่อสุขภาพที่ได้จากผลไม้ในการป้องกันโรคหัวใจและโรคมะเร็งหลายชนิดได้รับการยอมรับกันอย่างกว้างขวางว่าเกี่ยวข้องกับสารประกอบที่มีประโยชน์ที่อยู่ในตัวผลไม้ (Benavente-Garcia *et al.*, 1997; Block, 1992) ดังรายงานที่เสนอแนะว่ากรดแอสคอร์บิก (วิตามินซี) และเฟลโวนอยด์ในผลไม้ สามารถยับยั้งโรคเหล่านี้เนื่องมาจากประสิทธิภาพของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Hertog *et al.*, 1993; Marin, 2002; Salah *et al.*, 1995)

อิทธิพลของกรดแอสคอร์บิกในหลายกระบวนการเช่นการดูดซับเหล็ก การเผาผลาญกรดอะมิโน กระบวนการออกซิเดชันและรีดักชันของเซลล์และฮอร์โมนได้รับการตีพิมพ์อย่างแพร่หลาย (Buettner, 1993) ซึ่งนำไปสู่ข้อสันนิษฐานว่ากรดแอสคอร์บิกซึ่งเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสามารถยับยั้งการพัฒนาของเซลล์มะเร็ง (Diplock, 1991) นอกจากนี้เฟลโวนอยด์ก็เป็นสารที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากอีกตัวหนึ่งในฐานะที่เป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารต้านมะเร็งยับยั้งการติดเชื้อ และเนื่องจากผลในการยับยั้งการออกซิเดชันของไขมัน (Elangovan *et al.*, 1994; Jean and Bodinier, 1994; Marin *et al.*, 2002; Meyer, 1994; Rice Evans *et al.*, 1997)

ผลิตภัณฑ์ใยอาหารส่วนใหญ่มักใช้ธัญพืชเป็นวัตถุดิบหลัก อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปใยอาหารที่ได้จากผลไม้มีคุณค่าทางโภชนาการที่ดีกว่าธัญพืชเนื่องจากประกอบไปด้วยสารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพในปริมาณที่เหมาะสม มีปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำทั้งหมด ความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมัน ความสามารถในการหมักในลำไส้ใหญ่ที่สูงกว่า ในขณะที่เดียวกันก็มีปริมาณกรดไฟติกและค่าพลังงานต่ำ ดังนั้นใยอาหารที่ได้จากผลไม้จึงเริ่มมีความสำคัญมากขึ้น และมีการพัฒนากระบวนการสำหรับการเตรียมใยอาหารจากผลไม้ให้มีการสูญเสียสารประกอบที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพน้อยที่สุดซึ่งอาจให้ผลดีต่อสุขภาพที่สูงกว่าตัวใยอาหารเองเพียงอย่างเดียว (Larrauri, 1999) ใยอาหารเข้มข้นจากผลไม้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารพร้อมกับให้ผลที่ดีเยี่ยม ซึ่งเป็นใยอาหารที่ประกอบด้วยใยอาหารที่ละลายน้ำ 15 เปอร์เซ็นต์โดยรวมและมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้หลายเท่า (Habafood, 2002)

วัสดุเหลือทิ้งจากแอปเปิ้ลมีเพคตินและโพลีฟีนอลซึ่งเป็นสารประกอบที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ (Carle *et al.*, 2001) และกากที่เหลือจากการคั้นน้ำองุ่นก็ประกอบด้วยใยอาหารชนิดต่าง ๆ เช่นเดียวกับเปลือกและเนื้อฝรั่ง (Schieber *et al.*, 2002) เนื่องจากใยอาหารเหล่านี้มีความเชื่อมโยงกับสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เป็นอนุพันธ์ของกรดและยังประกอบไปด้วยสารที่ช่วยเสริมคุณค่าทางอาหารอย่างสมบูรณ์และมากมาย ใยอาหารชนิดอื่นที่น่าสนใจคือใยอาหารชนิดที่มีเพคตินที่มีกิ่งก้านอยู่ในปริมาณสูง ซึ่งสามารถแยกได้จากเปลือกมะม่วง (Sudahakar and Maini, 2000)

Gorinstein *et al.*, 2001 ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณใยอาหาร สารโพลีฟีนอล และแร่ธาตุในแอปเปิ้ล พบว่า แอปเปิ้ลเป็นแหล่งของใยอาหารที่มีความสมดุลของอัตราส่วนระหว่างใยอาหารที่ละลายน้ำและใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

Grigelmo-Miguel and Martin-Belloso, 1998 ศึกษาผลของการเติมใยอาหารจากผลไม้ต่อคุณสมบัติทางกายภาพและลักษณะทางประสาทสัมผัสของแยมสตอเบอรี่ พบว่า ส่วนที่เหลือจากการคั้นน้ำส้มเป็นแหล่งของใยอาหารที่ดีเยี่ยมเนื่องจากมีปริมาณเพคตินสูง

Fernandez-Gines *et al.*, 2003; Wolfe and Liu, 2003 ศึกษาใยอาหารจากแหล่งต่าง ๆ ในฐานะที่ใช้เป็นส่วนผสมที่เติมลงในอาหารเพื่อเพิ่มคุณค่า พบว่า ใยอาหารจากส้มและแอปเปิ้ลมีคุณภาพที่ดีกว่าใยอาหารจากแหล่งอื่นเนื่องจากมีสารประกอบที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น เพลวโนอยด์ โพลีฟีนอล และแคโรทีน

Gorinstein *et al.*, 2001; Grigelmo-Miguel and Martin-Belloso, 1999; Prosky *et al.*, 1988 พบว่า ใยอาหารที่ได้จากพืชตระกูลส้มมีข้อได้เปรียบกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งของใยอาหารที่บริโภคกันโดยทั่วไป เช่น ธัญพืช เนื่องจากพืชตระกูลส้มมีปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำประมาณ 33 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ในข้าวสาลีพบปริมาณใยอาหารเพียง 7 เปอร์เซ็นต์

2.1.2 สถานะที่เหมาะสมในการผลิตใยอาหารชนิดผงจากวัสดุเหลือทิ้งจากผลไม้

Larrauri (1999) ได้รายงานว่าใยอาหารในทางอุดมคติควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ คือ ไม่มีองค์ประกอบที่มีคุณค่าทางโภชนาการ มีความเข้มข้นมากเท่าที่จะเป็นไปได้ ไม่มีรสชาติ สี และกลิ่น มีองค์ประกอบของสารชีวกิจกรรมที่สมดุลและมีปริมาณเพียงพอ มีอายุการเก็บรักษานาน มีความเข้ากันได้กับกระบวนการผลิต มีคุณสมบัติทางกายภาพตามที่ต้องการ อย่างไรก็ตามอาหารที่อุดมไปด้วยใยอาหารไม่เพียงแต่จะส่งผลต่อคุณภาพโดยรวมของอาหารโดยการเปลี่ยนคุณสมบัติทางกายภาพเท่านั้น แต่ยังมีผลต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเมื่อเติมใยอาหารจากพืชลงในผลิตภัณฑ์อาหารจะมีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำและความหนืดของผลิตภัณฑ์ (Kethireddipalli *et al.*, 2002) ทั้งนี้ความหนืดของส่วนใยอาหารที่ละลายน้ำมีความสำคัญกว่าส่วนที่เป็นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำในอาหาร โดยที่ใยอาหารที่ละลายน้ำเมื่อผสมกับน้ำจะช่วยให้เกิดความหนืด (Gorinstein *et al.*, 2001)

ปัจจุบันมีวัสดุเหลือทิ้งมากมายที่สามารถใช้เป็นแหล่งของใยอาหารได้ เช่น ส้ม มะม่วง สับปะรด องุ่น ฝรั่ง ซึ่งเป็นแหล่งของใยอาหารที่มีคุณภาพดี เนื่องจากมีปริมาณใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ละลายน้ำ ความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมัน ความสามารถในการหมักในลำไส้ใหญ่ที่สูง และมีกรดไฟติกและปริมาณพลังงานที่ต่ำ จึงจำเป็นที่จะต้องพัฒนากระบวนการเตรียมใยอาหารจากผลไม้ให้มีการสูญเสียองค์ประกอบที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ ได้แก่ เพลวโนอยด์ สารประกอบโพลีฟีนอล แคโรทีน และอื่น ๆ ให้น้อยที่สุด ลักษณะเฉพาะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในทางการค้าคือ มีปริมาณใยอาหารสูงกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ มีความชื้นต่ำกว่า 9 เปอร์เซ็นต์ มี

ปริมาณไขมันต่ำ มีปริมาณพลังงานต่ำ (ต่ำกว่า 8.36 กิโลจูลต่อกรัม) และปราศจากสีและกลิ่นรส ซึ่งสถานะที่เหมาะสมในแต่ละขั้นตอนของการผลิตโยเกิร์ตผงจากวัสดุเหลือทิ้งจากผลไม้ดังต่อไปนี้

2.1.2.1 การลดขนาด (Wet milling)

ขนาดอนุภาคที่เล็กมากในวัตถุดิบสดเริ่มต้นเป็นสิ่งที่ไม่เหมาะสมเนื่องจากระหว่างขั้นตอนการล้างจะสามารถดูดซับน้ำไว้ได้มาก ซึ่งทำให้ยากแก่ขั้นตอนการอบแห้ง และยังสามารถทำให้เกิดการสูญเสียวัตถุดิบที่บดแล้วระหว่างการแยกน้ำออก ในอีกทางหนึ่งขนาดอนุภาคที่ใหญ่เกินไปก็ไม่สะดวกแก่การกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ต้องการ เช่น น้ำตาล ระหว่างขั้นตอนการล้าง ซึ่งทำให้ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนาน

มีการใช้ขนาดอนุภาคที่แตกต่างกันในการบดวัตถุดิบเริ่มต้นตั้งแต่ 0.6-2.0 เซนติเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการและชนิดของวัตถุดิบ

2.1.2.2 การล้าง (Washing)

การล้างมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ต้องการในโยเกิร์ตและกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค ซึ่งอาจทำให้เกิดการสูญเสียองค์ประกอบในส่วนที่เป็นโยเกิร์ตที่ละลายน้ำ เช่น เพคตินได้

การกำจัดน้ำตาลจากวัตถุดิบเริ่มต้นมีผลดีต่อขั้นตอนการอบแห้ง ซึ่งจะไม่ทำให้เกิดสีคล้ำในผลิตภัณฑ์ และยังทำให้โยเกิร์ตมีพลังงานต่ำลง ผลของการล้างต่อคุณภาพของวัตถุดิบบางชนิดมีดังต่อไปนี้

1) ส้ม

ปริมาณน้ำตาลอิสระในตัวอย่างเปลือกส้มที่ล้างด้วยน้ำร้อนต่ำกว่าเมื่อใช้น้ำธรรมดา ล้าง ส่วนอนุภาคขนาดเล็กก่อนการล้างจะมีความสามารถในการดูดซับน้ำที่น้อยกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ ซึ่งอาจเนื่องมาจากอนุภาคขนาดเล็กทำให้ง่ายต่อการสูญเสียองค์ประกอบของโยเกิร์ตที่ละลายน้ำ ส่วนตัวอย่างที่ไม่ได้ล้างน้ำมีปริมาณน้ำตาลอิสระทั้งหมดสูงที่สุดและมีความสามารถในการดูดซับน้ำต่ำที่สุด (Larrauri, 1997)

2) มะม่วง

เช่นเดียวกันกับเปลือกส้ม การล้างเปลือกมะม่วงด้วยกระบวนการที่แตกต่างกันทำให้คุณลักษณะทางเคมีกายภาพเปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะโพลีฟีนอลและโยเกิร์ตที่ละลายน้ำ ซึ่งโพลีฟีนอลและโยเกิร์ตที่ละลายน้ำจะมีปริมาณสูงสุดเมื่อใช้ขนาดอนุภาคใหญ่และระยะเวลาในการล้างสั้น ส่วนอนุภาคขนาดเล็กสามารถนำไปสู่การสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลที่อยู่ในโยเกิร์ตได้ (Larrauri *et al.*, 1996)

2.1.2.3 การทำแห้ง (Drying)

การกำจัดน้ำออกจากวัตถุดิบก่อนขั้นตอนการทำแห้งเป็นสิ่งจำเป็น ทั้งนี้หมายถึง ขั้นตอนการคัดเลือก การคั่นน้ำ หรือขั้นตอนอื่น ๆ (Ferguson and Fox, 1978) การทำแห้งเป็น ขั้นตอนหลักในการผลิตโยอาหารที่มีราคาสูงที่สุด ซึ่งจะช่วยเพิ่มระยะเวลาในการเก็บรักษาโดยไม่ต้องเติมพวกสารกันบูด และช่วยลดขนาดของภาชนะบรรจุรวมทั้งค่าใช้จ่ายในการขนส่ง

ในอุตสาหกรรมอาหารมีการใช้วิธีในการอบแห้งมากมาย อย่างไรก็ตามก่อนเข้าสู่ ขั้นตอนการอบแห้งในการผลิตโยอาหารผงจากวัสดุเหลือทิ้งจากผลไม้ คุณลักษณะของวัตถุดิบ ได้แก่ ความชื้นสูงและปริมาณน้ำตาลต่ำ จะต้องได้รับการพิจารณาเพื่อการออกแบบกระบวนการที่จะทำให้เกิดผลเสียต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้น้อยที่สุด (Ferguson and Fox, 1978; Bernardo *et al.*, 1990)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกวิธีในการอบแห้งมีดังนี้คือ คุณสมบัติทางกายภาพและ คุณสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์ การอนุรักษ์พลังงาน การเว้นช่องว่างระหว่างวัตถุดิบที่พอเหมาะ ความสะดวกในการปฏิบัติงาน ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ และใช้ต้นทุนต่ำ

มีข้อมูลน้อยมากที่สามารถยืนยันถึงผลของกระบวนการทำแห้งต่อคุณภาพของ ผลิตภัณฑ์ แต่โดยทั่วไปการใช้ความร้อนสูงจะไปทำลายเยื่อหุ้มเซลล์และปลดปล่อยสารที่อยู่ภายใน เซลล์ออกมาซึ่งส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของโพลีแซคคาไรด์ เช่น เพคติน มีรายงานที่อธิบายถึงกลไกที่เป็นไปได้ของการสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลในตัวอย่างที่ทำแห้งที่อุณหภูมิสูง ทั้งนี้จะทำให้เกิดการปลดปล่อยสารประกอบโพลีฟีนอลที่จับอยู่ในโยอาหารจากการเสื่อมสลายของลิกนินซึ่งนำไปสู่การปลดปล่อยอนุพันธ์ของกรดฟีนอลิก หรือเป็นจุดเริ่มต้นของการเสื่อมสลายของ สารประกอบโพลีฟีนอลด้วยความร้อน (Millard and Berset, 1995) โดยผลของสภาวะในการอบแห้งต่อคุณภาพของวัตถุดิบบางชนิดมีดังต่อไปนี้

1) ส้ม

อัตราในการทำแห้งเปลือกส้มมีผลมาจากปริมาณเปลือกส้มที่ใช้ในการอบแห้งแต่ละ ครั้ง และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งจะมีผลต่อค่าความสามารถในการดูดซับน้ำของโยอาหาร ยิ่งอัตราการทำแห้งสูงก็ยิ่งทำให้ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำของตัวอย่างลดน้อยลง (Larrauri, 1997) นอกจากนี้การเสื่อมสลายขององค์ประกอบบางชนิดในโยอาหารที่ละลายน้ำเมื่อใช้อุณหภูมิ สูงอาจเกิดขึ้นได้เช่นกัน

2) องุ่น

ปริมาณโพลีฟีนอลและแทนนินในกากองุ่นแดงไม่มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการทำ แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ขณะที่เมื่อใช้อุณหภูมิในการทำแห้ง 100 และ 140 องศาเซลเซียส จะมีผลทำให้ปริมาณโพลีฟีนอลลดลง 18.6 และ 32.6 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิ

ในการทำแห้งเดียวกันจะทำให้สูญเสียแทนนินเพียงแค่ 11.1 และ 16.6 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (Larrauri *et al.*, 1997)

2.1.2.4 การบดแห้ง (Dry milling)

การบดแห้งใยอาหารทั้งหมดทำขึ้นเพื่อเพิ่มการยอมรับในผลิตภัณฑ์สุดท้าย ซึ่งใยอาหารที่บดแห้งแล้วอาจมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบหรือองค์ประกอบของผนังเซลล์ การบดอาจมีผลต่อคุณสมบัติในการอุ้มน้ำของใยอาหารและมีผลต่อเนื้อสัมผัส ซึ่งการยอมรับและคุณภาพของใยอาหารที่จะใช้เติมลงไปในการขึ้นรูปขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างทางกายภาพของใยอาหาร โดยทั่วไปขนาดอนุภาคของใยอาหารชนิดผงที่ใช้ในทางการค้ามีค่าระหว่าง 0.15 และ 0.43 มิลลิเมตร (Archer Daniels Midland Co., 1992)

2.3 สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันและใยอาหารจากมะม่วง

มะม่วงมีชื่อเรียกทางวิทยาศาสตร์ คือ *Mangifera indica* Linn. มะม่วงเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ ใบเดี่ยวสีเขียว ขอบใบเรียบ ฐานใบมน ปลายใบแหลม กลีบดอกมี 5 กลีบ ดอกออกช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ลูกดิบสีเขียว เมื่อสุกเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหรือเหลืองส้ม มีเมล็ดภายใน 1 เมล็ด พันธุ์มะม่วงที่นิยมปลูก ได้แก่ มะม่วงแก้วศรีสะเกษ มะม่วงพันธุ์มรดก มะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ทะวาย พันธุ์ฟ้าลั่น พันธุ์หนองแซง พันธุ์เขียวเสวย เป็นต้น และมีพันธุ์ส่งเสริมแยกตามลักษณะการรับประทานดังนี้ พันธุ์รับประทานสุก ได้แก่ น้ำดอกไม้ อกร่อง ทองคำ พันธุ์รับประทานดิบ ได้แก่ ฟ้าลั่น เขียวเสวย และแรด พันธุ์แปรรูป ได้แก่ แก้วสามปี

มะม่วงเป็นผลไม้ที่อุดมไปด้วยวิตามิน แร่ธาตุ และสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น เบตา-แคโรทีน วิตามินเอ บี และซี และสารประกอบในกลุ่มฟีนอลิก ได้แก่ ฟีนอลควอซีติน (phenols) ควอซีติน (quercetin) ไอโซควอซีติน (isoquercetin) แอสตรากาลิน (astragalin) ฟิเซติน (fisetin) กรดแกลลิก (gallic acid) และเมทิลแกลเลต (methylgallate) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการป้องกันโรคมะเร็งและโรคหัวใจ มะม่วงยังประกอบไปด้วยโพแทสเซียมและใยอาหาร อีกทั้งยังให้พลังงานต่ำ ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำซึ่งพบมากในมะม่วงมีส่วนช่วยในการป้องกันท้องผูกและมะเร็งลำไส้ใหญ่ คุณค่าทางโภชนาการของมะม่วงแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 คุณค่าทางโภชนาการของมะม่วง

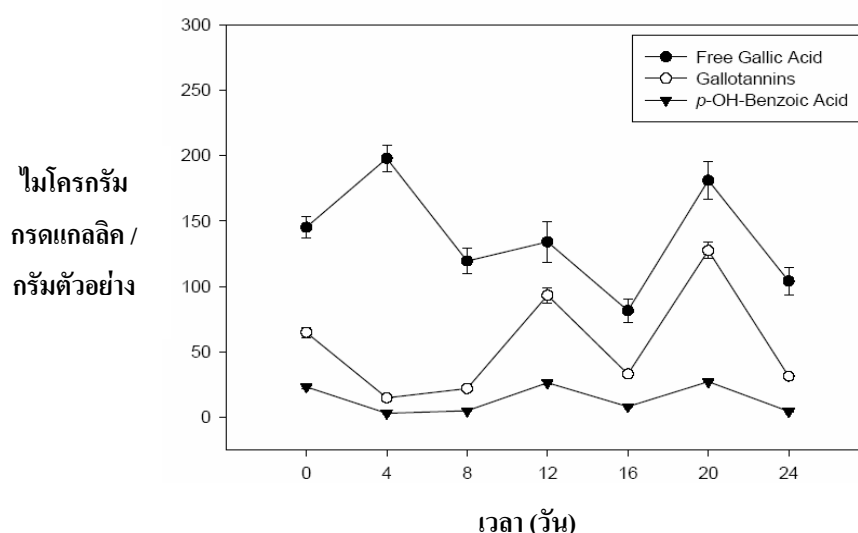
สารอาหาร	หน่วย	ปริมาณ 1 ถ้วย (165 กรัม)
น้ำ	g	134.821
พลังงาน	kcal	107.250
โปรตีน	g	0.842
ไขมัน	g	0.446
ใย	g	0.825
คาร์โบไฮเดรต	g	28.050
ใยอาหาร	g	2.970
แร่ธาตุ		
แคลเซียม , Ca	mg	16.500
เหล็ก , Fe	mg	0.214
แมกนีเซียม , Mg	mg	14.850
ฟอสฟอรัส , P	mg	18.150
โพแทสเซียม , K	mg	257.400
โซเดียม , Na	mg	3.300
สังกะสี , Zn	mg	0.066
ทองแดง , Cu	mg	0.181
แมงกานีส , Mn	mg	0.045
ซีลีเนียม , Se	mcg	0.990
วิตามิน		
Vitamin C	mg	45.705
Thiamin	mg	0.096
Riboflavin	mg	0.094
Niacin	mg	0.964
Pantothenic acid	mg	0.264
Vitamin B-6	mg	0.221
Folate	mcg	23.100
Folate	mcg	23.100
Vitamin A, IU	IU	6425.100
Tocopherol, alpha	mg	1.848
ไขมัน		
Fatty acids, total saturated	g	0.109

ตารางที่ 2.5 คุณค่าทางโภชนาการของมะม่วง (ต่อ)

สารอาหาร	หน่วย	ปริมาณ 1 ถ้วย (165 กรัม)
12:0	g	0.002
14:0	g	0.015
16:0	g	0.086
18:0	g	0.005
Fatty acids, total monounsaturated	g	0.167
16:1 undifferentiated	g	0.079
18:1 undifferentiated	g	0.089
Fatty acids, total polyunsaturated	g	0.084
18:2 undifferentiated	g	0.023
18:3 undifferentiated	g	0.061
กรดอะมิโน		
Tryptophan	g	0.013
Threonine	g	0.031
Isoleucine	g	0.030
Leucine	g	0.051
Lysine	g	0.068
Methionine	g	0.008
Phenylalanine	g	0.028
Tyrosine	g	0.017
Valine	g	0.043
Arginine	g	0.031
Histidine	g	0.020
Alanine	g	0.084
Aspartic acid	g	0.069
Glutamic acid	g	0.099
Glycine	g	0.035
Proline	g	0.030
Serine	g	0.036

ที่มา : ดัดแปลงจาก USDA, 2003

ได้มีการแยกและระบุชนิดสารประกอบโพลีฟีนอลในมะม่วงโดยใช้เทคนิคในการแยกและการสกัดมากมายมาแล้วกว่า 30 ปี ผลงานวิจัยชิ้นแรกที่เผยแพร่เกี่ยวกับสารประกอบโพลีฟีนอลในมะม่วงด้วยวิธีการแยกโดย two-dimensional paper chromatography เพื่อแยกสารประกอบโพลีฟีนอลซึ่งสกัดด้วย อะซิโตน อีเทอร์ เอธิลอะซิเตด และเมทานอล (El Ansari *et al.*, 1969) งานวิจัยนี้ประสบผลสำเร็จในการแยก ellagic acid , gallic acid (GA) , *m*-digallic acid , *m*-trigallic acids, isoquercitin , mangiferin , quercetin และ gallotannin (GT) จากมะม่วงพันธุ์ ‘Rumani’ การศึกษาเมื่อเร็ว ๆ นี้ได้ใช้วิธีการแยกสารประกอบโพลีฟีนอลโดยใช้ HPLC เนื่องจากมีข้อได้เปรียบในเรื่องความเร็ว ความถูกต้อง และความแม่นยำ Schieber *et al.* (2000) ได้ทำการแยกสารประกอบโพลีฟีนอลในมะม่วง ซึ่งพบว่าประกอบด้วย quercetin ที่อยู่ในรูป glycoside 7 ชนิด ได้แก่ quercetin 3-arabanose-glucose (peltatoside) , quercetin 3-galactose (hyperoside) , quercetin 3-glucose (isoquercitrin) , quercetin (pentose) , quercetin 3-arabonose (avicularin) , quercetin 3-rhamanose (quercitrin) , และ quercetin (aglycon) รวมทั้ง kaempferol ที่อยู่ในรูป glycosides 4 ชนิด ได้แก่ kaempferol (hexose) , kaempferol 3-glucose (astragalin) , kaempferol (pentose) , และ kaempferol (aglycon) นอกจากนี้ยังพบ GA , caffeic acid , protocatechuic acid , *p*-coumaric acid , mangiferin , และ GT ภาพที่ 2.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงของโพลีฟีนอลในมะม่วงที่ระยะการสุก 0, 4, 8, 12, 16, 20, และ 24 วันหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งพบว่าระหว่างการสุกของมะม่วงไม่มีการเปลี่ยนแปลงของกรดแกลลิกอิสระ แกลโลแทนนิน และ *p*-Hydroxy-benzoic acid ซึ่งเป็นสารในกลุ่มโพลีฟีนอลอย่างมีนัยสำคัญเกิดขึ้น



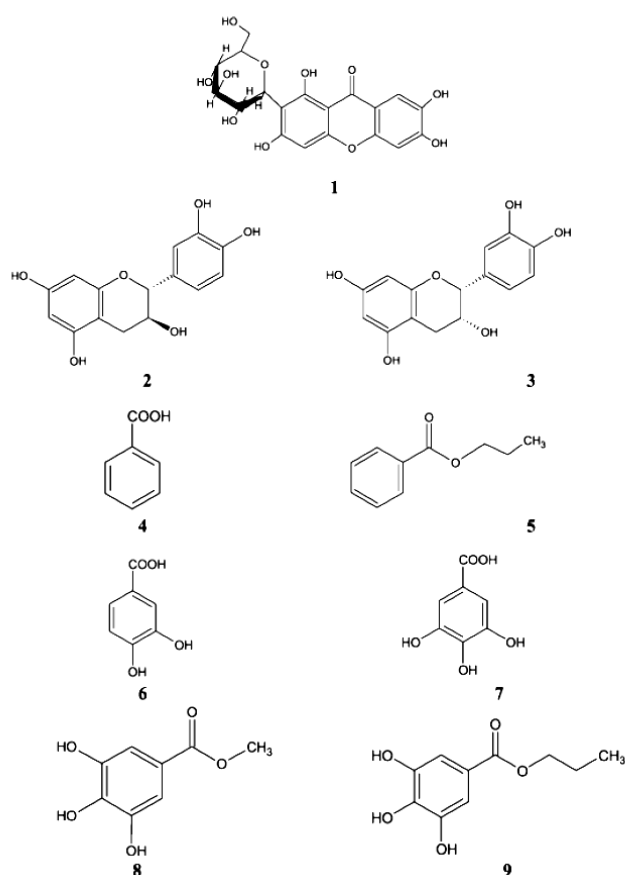
รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงของโพลีฟีนอลในมะม่วงที่ระยะการสุก 0, 4, 8, 12, 16, 20, และ 24

วันหลังการเก็บเกี่ยว

ที่มา: Angela (2003)

ระหว่างกระบวนการแปรรูปมะม่วง ส่วนของเปลือกและเมล็ดก่อให้เกิดวัสดุเหลือทิ้งประมาณ 40 – 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักผลทั้งหมด ซึ่งวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้เป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยสารอาหารมากมายและสามารถนำมาเพิ่มคุณค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์อาหารได้ เปลือกมะม่วงสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดเพคตินที่มีคุณภาพดีซึ่งมีปริมาณถึง 6.1 เปอร์เซ็นต์และยังประกอบไปด้วยใยอาหารถึง 5.4 เปอร์เซ็นต์

สารสกัดที่ได้จากส่วนต่าง ๆ ของมะม่วงได้แก่ ใบ เมล็ด เนื้อ ราก เปลือก และเปลือกของลำต้น มีการนำมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์ทางยารักษาโรคในหลายประเทศ การศึกษาของ Alberto (2005) พบว่า เปลือกลำต้นของมะม่วงประกอบด้วยสารประกอบโพลีฟีนอลในปริมาณสูง ซึ่งพบทั้งหมด 7 ชนิดดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของสารโพลีฟีนอลและสารประกอบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องในเปลือก

ลำต้นของมะม่วง , Mangiferin (1); (+) Catechin (2); (-) Epicatechin (3); Benzoic acid (4); Benzoic acid, propyl ester (5); 3,4-Dihydroxybenzoic acid (6); Gallic acid (7); Gallic acid, methyl ester (8); Gallic acid, propyl ester (9)

ที่มา: Alberto (2005)

Gorinstein และคณะ (1999) ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดและใยอาหารในผลไม้เมืองร้อน ได้แก่ สับปะรด แอปเปิ้ล พลัม เงาะ ลิ้นจี่ ฝรั่ง และมะม่วงพบว่า มะม่วงสุกมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด กรดแกลลิก ใยอาหารทั้งหมด และใยอาหารที่ละลายน้ำสูงที่สุด

Larrauri และคณะ (1997) ศึกษาสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจากใยอาหารที่ได้จากเปลือกมะม่วงพบว่า สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจากใยอาหารที่ได้จากเปลือกมะม่วงซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธี ferric thiocyanate colorimetric ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.05 มีฤทธิ์ในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงกว่า BHA 0.75 เท่า และสูงกว่า French PARAD'OX (โพลีฟีนอลเข้มข้นที่ใช้ในทางการค้า) และวิตามินอี 1.4 และ 3.4 เท่าตามลำดับ

2.4 ใยอาหารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Antioxidant dietary fiber)

ใยอาหารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (antioxidant dietary fiber) หมายถึง อาหารที่มีคุณสมบัติในการเป็นทั้งเส้นใยอาหาร (dietary fiber) และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) โดยสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (antioxidant) จากพืชที่สำคัญ ได้แก่ โพลีฟีนอล (ซึ่งที่พบมากได้แก่ สารในกลุ่มฟลาโวนอยด์) และแคโรทีนอยด์ เป็นต้น ซึ่งสารประกอบเหล่านี้มีสมบัติในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี โดยมีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ และอนุพันธ์ของออกซิเจนที่ไวต่อปฏิกิริยา (reactive oxygen species) ซึ่งเป็นสาเหตุเบื้องต้นที่สำคัญของการเกิดโรคต่าง ๆ สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติดังกล่าวจึงมีประโยชน์ต่อสุขภาพโดยสามารถป้องกันการเกิดโรคต่าง ๆ ได้

Saura-Calixto (1998) ได้ให้คำจำกัดความของใยอาหารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (antioxidant dietary fiber) ไว้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วยสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันตามธรรมชาติ (natural antioxidant) ในปริมาณที่สูง โดยรวมอยู่กับโครงร่างของเส้นใยอาหาร (fiber matrix) ซึ่งลักษณะที่สำคัญของใยอาหารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ควรจะมีคุณสมบัติ 3 ประการ ดังต่อไปนี้

- 1) ปริมาณของใยอาหาร (วิเคราะห์โดยวิธีของ AOAC) ควรมีค่าสูงกว่า 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง
- 2) ใยอาหารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน 1 กรัม ควรมีความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้เท่ากับวิตามินอีอย่างน้อย 200 มิลลิกรัม (วิเคราะห์โดยวิธี Ferric thiocyanate colorimetric method, FTC) และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับวิตามินอีอย่างน้อย 50 มิลลิกรัม (วิเคราะห์โดยวิธี DPPH)
- 3) สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันดังกล่าวจะต้องเป็นองค์ประกอบที่มีอยู่ภายในตัวของวัตถุดิบตามธรรมชาติ ไม่ใช่ด้วยวิธีการเติมลงไป หรือเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีหรือปฏิกิริยาโดยเอนไซม์ในระหว่างกระบวนการเตรียม

Larrauri และคณะ (1996a) ศึกษาการเตรียมใยอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจากเปลือกส้มและเปลือกมะนาว พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณใยอาหาร 61 – 69 เปอร์เซ็นต์โดยมีปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำได้ 19 – 22 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง และความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของใยอาหารจากเปลือกมะนาวมีค่าที่สูงกว่าใยอาหารจากเปลือกส้ม ทั้งนี้เนื่องจากชนิดและองค์ประกอบของสารโพลีฟีนอลแตกต่างกัน

Larrauri และคณะ (1996b) ทดลองเตรียมใยอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจากเปลือกมะม่วง พบว่าเปลือกมะม่วงเป็นแหล่งของใยอาหารที่ดี โดยมีใยอาหารสูงถึง 70 เปอร์เซ็นต์และยังมีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าวิตามินอี 3.4 เท่า

Jimenez-Escrig และคณะ (2001) ทดลองเตรียมใยอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจากเปลือกและเนื้อฝรั่ง พบว่าทั้งส่วนของเปลือกและเนื้อฝรั่งมีองค์ประกอบของใยอาหารปริมาณสูง (48 – 49 เปอร์เซ็นต์) นอกจากนี้เปลือกและเนื้อฝรั่ง 1 กรัม ยังมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับวิตามินอี 104.1 มิลลิกรัม และ 54.0 มิลลิกรัม ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์โดยวิธี DPPH ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีสมบัติในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี

Saura-Calixto (1998) ทดลองเตรียมใยอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจากกากองุ่น พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณใยอาหาร 64.6 เปอร์เซ็นต์นอกจากนี้กากองุ่น 1 กรัม ยังมีความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (วิเคราะห์โดยวิธี Ferric thiocyanate colorimetric method, FTC) และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (วิเคราะห์โดยวิธี DPPH) เท่ากับวิตามินอี 400 มิลลิกรัม และ 100 มิลลิกรัม ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากากองุ่นเป็นแหล่งของใยอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ดี

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 วัสดุดิบ

3.1.1 เปลือกมะม่วงสุกพันธุ์น้ำดอกไม้ (*Mangifera indica* L.) ซึ่งเลือกผลสุกที่มีสีเหลืองนวลทั้งผล จาก อ.บางคล้า จ.ฉะเชิงเทรา

3.1.2 เปลือกแก้วมังกร (*Hylocereus undatus*)

3.1.3 กากพุทรา (*Zizyphus mauritiana* L.) ที่เหลือจากการแยกน้ำโดยใช้เครื่องแยกกาก

3.1.4 กากฝรั่ง (*Psidium guajava* L.) ที่เหลือจากการแยกน้ำฝรั่ง

3.1.5 กากส้มเขียวหวาน (*Citrus reticulata*) ที่เหลือจากการคั้นน้ำส้ม

3.2 สารเคมี

3.2.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber)

3.2.1.1 สารเคมีที่ใช้ในขั้นตอนวิเคราะห์ใยอาหาร

- Ethanol 95%	LABSCAN, Thailand
- Heat-stable alpha-amylase	Catalog Number A 3306 SIGMA CHEMICAL, USA
- Protease	Catalog Number P 3910 SIGMA CHEMICAL, USA
- Amyloglucosidase	Catalog Number AMG A9913 SIGMA CHEMICAL, USA
- Diatomaceous earth (Celite 545)	Celite 545 AW, NO. C8656 SIGMA CHEMICAL, USA
- MES - 2 - (N-Morpholino)ethanesulfonic acid	NO. M-8250 SIGMA CHEMICAL, USA
- TRIS - Tris(hydroxymethyl)aminomethane	NO. T-1503 SIGMA CHEMICAL, USA
- Hydrochloric acid (HCl)	LABSCAN, Thailand

3.2.1.2 สารเคมีที่ใช้ในขั้นตอนวิเคราะห์โปรตีน

- Sulfuric acid (H ₂ SO ₄)	LABSCAN, Thailand
- Boric acid	MERCK, German

- Hydrochloric acid (HCl)	LABSCAN, Thailand
- Sodium hydroxide (NaOH)	CARLO, Italy
- Silicon Dioxide (SeO ₂)	MERCK, German
- Potassium sulphate (K ₂ SO ₄)	CARLO, Italy
- Copper Sulphate (CuSO ₄ ·5H ₂ O)	CARLO, Italy
- Bromocresol green	MERCK, German
- Methyl red	MERCK, German

3.2.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (free radical scavenging capacity)

- Ethanol 95%	LABSCAN, Thailand
- 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)	SIGMA CHEMICAL, USA
- DL- α -tocopherol	SIGMA CHEMICAL, USA

3.2.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมัน (inhibition of lipid oxidation)

- Ethanol 99.5%	LABSCAN, Thailand
- Linoleic acid	SIGMA CHEMICAL, USA
- Sodium hydrogen phosphate (Na ₂ HPO ₄)	MERCK, German
- Sodium dihydrogen phosphate (NaH ₂ PO ₄)	MERCK, German
- Ammonium thiocyanate (NH ₄ SCN)	SIGMA CHEMICAL, USA
- Ferrous chloride (FeCl ₂)	SIGMA CHEMICAL, USA
- Hydrochloric acid (HCl)	LABSCAN, Thailand
- DL- α -tocopherol	SIGMA CHEMICAL, USA

3.2.4 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (total polyphenol contents)

- Ethanol 95%	LABSCAN, Thailand
- Sodium carbonate (Na ₂ CO ₃)	MERCK, German
- Folin-Ciocalteu	CARLO, Italy
- Gallic acid	FLUKA, Switzerland

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือในการเตรียมวัตถุดิบ

- ตู้อบแห้งลมร้อน (Tray drier) OR 663 PATCH, Thailand
- อุปกรณ์คั้นน้ำผลไม้แบบใช้มือกด
- เครื่องแยกกาก KENWOOD, England
- เครื่องบดแห้ง (pin mill) ZM 200 RETSCH, Germany
- เครื่องวิเคราะห์ความชื้น HR73 METTLER-TOLEDO, Switzerland
(Halogen moisture analyzer)

3.3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด

- อุปกรณ์เครื่องแก้ว
- ชุดวิเคราะห์ใยอาหาร VELP, Thailand
- ชุดวิเคราะห์โปรตีน GERHARDT, Germany
- เตาเผา S 302 AU CARBOLITE, England

3.3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

- อุปกรณ์เครื่องแก้ว
- เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-VIS spectrophotometer) SHIMADZU, Japan

3.3.4 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมัน

- อุปกรณ์เครื่องแก้ว
- อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ MEMMERT, Germany
- เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-VIS spectrophotometer) SHIMADZU, Japan

3.3.5 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด

- อุปกรณ์เครื่องแก้ว
- เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-VIS spectrophotometer) SHIMADZU, Japan

3.3.6 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมัน

- อุปกรณ์เครื่องแก้ว
- ชุดเครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge) T - 42 K CENTRIKON, Italy
- ชุดสกัดไขมัน (Soxhlet) S 306 AK GERHARDT, Germany

- ชุดกรองสุญญากาศ WJ-20 SIBATA, Japan
- เตาอบลมร้อน (Hot air oven) MEMMERT, Germany

3.3.7 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลที่ละลายได้

- Refractometer ATAGO, USA

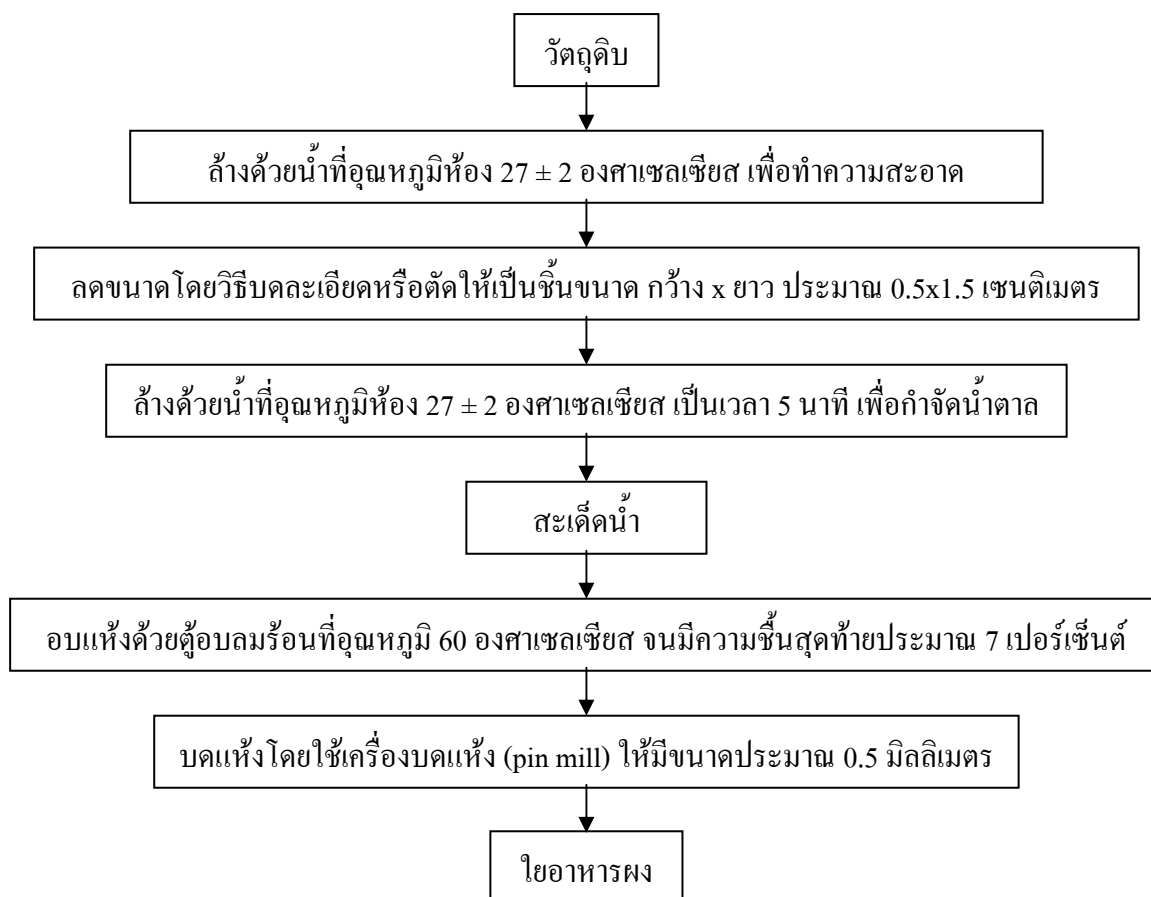
3.4 สถานที่ดำเนินงาน

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.5 วิธีการดำเนินงาน

3.5.1 การเตรียมวัตถุดิบ

นำวัตถุดิบทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ เปลือกแก้วมังกร กากพุทรา กากฝรั่ง กากส้ม และเปลือกมะม่วงสุก มาผลิตโยอาหารชนิดผง ซึ่งขั้นตอนการเตรียมโยอาหารชนิดผงจะใช้วิธีเบื้องต้นที่รายงานโดย Larrauri และคณะ (1999) ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งจะดัดแปลงให้เหมาะสมกับวัตถุดิบแต่ละชนิด โดยกากพุทรา กากฝรั่ง จะใช้การบดให้ละเอียดโดยใช้เครื่องแยกกากก่อนนำไปอบแห้ง



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนพื้นฐานในการเตรียมโยอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ที่มา : ดัดแปลงจาก Larrauri *et al.* (1999)

โดยขั้นตอนหลักในการเตรียมโยอาหารผงดังกล่าวประกอบด้วย การนำวัตถุดิบมาล้างน้ำให้สะอาดและลดขนาดด้วยวิธี บด หั่น หรือตัด จากนั้นล้างน้ำด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที เพื่อกำจัดน้ำตาลออกบางส่วน จากนั้นคั้นน้ำออกบางส่วน และทำแห้งโดยการอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ให้มีความชื้นสุดท้ายประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ บดให้เป็นผงโดยให้มีขนาดประมาณ 0.5 มิลลิเมตร เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

3.5.2 การทดสอบเบื้องต้นเพื่อคัดเลือกวัตถุดิบที่มีแนวโน้มเป็นแหล่งของโยอาหาร

ด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ดี

เนื่องจากคุณสมบัติที่สำคัญของโยอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน คือ ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังนั้นการทดสอบเบื้องต้นเพื่อคัดเลือกวัตถุดิบที่มีแนวโน้มเป็นแหล่งของโยอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ดีจึงใช้การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ตามวิธีในภาคผนวก ข. ทดสอบตัวอย่างโยอาหารที่เตรียมได้เปรียบเทียบกับวิตามินอี ซึ่งการ

ทดสอบจะใช้เกณฑ์ที่แนะนำโดย Saura-Calixto (1998) โดยที่ใยอาหารด้านปฏิกริยาออกซิเดชัน 1 กรัม ควรมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับวิตามินอีอย่างน้อย 50 มิลลิกรัม

3.5.3 การศึกษากรรมวิธีที่เหมาะสมในการผลิตใยอาหารอาหารด้านปฏิกริยาออกซิเดชัน

ขั้นตอนการเตรียมใยอาหารจากผลไม้โดยทั่วไปจะประกอบด้วย การลดขนาด การล้างด้วยน้ำ การบีบคั้นน้ำ การอบแห้ง การบดให้เป็นผง (Larrauri, 1999) ซึ่งสภาวะที่ใช้สำหรับขั้นตอนต่างๆ อาจมีผลต่อองค์ประกอบและคุณภาพของใยอาหารที่เตรียมได้ ดังนั้นในหัวข้อการทดลองนี้จะศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับขั้นตอนที่สำคัญในการเตรียมใยอาหารด้านปฏิกริยาออกซิเดชันจากวัสดุที่คัดเลือกได้จากหัวข้อ 3.5.2 ซึ่งได้แก่เปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้สุก

3.5.3.1 การลดขนาดและการล้างด้วยน้ำ

ขนาดของวัตถุดิบก่อนขั้นตอนการล้างด้วยน้ำและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ล้างมีผลต่อองค์ประกอบและคุณภาพสุดท้ายของใยอาหารที่เตรียมได้ จึงจำเป็นต้องศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการลดขนาดวัตถุดิบและการล้างด้วยน้ำ โดยเตรียมวัตถุดิบให้มีขนาดต่างกัน คือ 0.5x0.5 และ 0.5x1.5 เซนติเมตร จากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำที่มีอุณหภูมิต่างกัน คือ อุณหภูมิห้อง (27 ± 2 องศาเซลเซียส) และ 60 องศาเซลเซียส โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านขั้นตอนการล้างน้ำ วิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลที่ละลายได้ที่เหลืออยู่ (free soluble sugar) ในวัตถุดิบสดหลังจากสะเด็ดน้ำแล้ว จากนั้นผลิตใยอาหารผงโดยนำเปลือกมะม่วงสุกที่ผ่านการลดขนาดและล้างด้วยน้ำที่สภาวะต่าง ๆ ดังกล่าวไปสะเด็ดน้ำแล้วอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นสุดท้ายประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ บดให้เป็นผงโดยให้มีขนาดประมาณ 0.5 มิลลิเมตร นำตัวอย่างใยอาหารผงที่ได้ทั้งหมดไปวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด ความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมัน และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ตามวิธีในข้อ 3.5.5

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลที่ละลายได้ ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด ความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมัน และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างใยอาหารผงที่ได้จากขั้นตอนการลดขนาดและการล้างด้วยน้ำ โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 11.01 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

3.5.3.2 การอบแห้ง

นำวัตถุดิบที่ผ่านการลดขนาดและล้างด้วยน้ำตามสภาวะที่เหมาะสมซึ่งได้จากผลการทดลองในข้อ 3.5.4.1 มาสะเด็ดน้ำก่อนนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิต่างกันคือ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส นำใยอาหารที่เตรียมได้มาวิเคราะห์ค่าปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด ความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมัน และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ตามวิธีในข้อ 3.5.5

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด ความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมัน และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH โดยวางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 11.01 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

3.5.3.3 การบดให้เป็นผง

ขนาดอนุภาคของใยอาหารผงที่เตรียมได้จะมีผลต่อคุณภาพโดยรวมโดยเฉพาะสมบัติทางเคมีกายภาพของใยอาหาร ทดลองบดใยอาหารที่ผลิตได้จากสภาวะที่เหมาะสมซึ่งได้จากการทดลองในหัวข้อ 3.5.3.1 และ 3.5.3.2 ให้เป็นผงขนาดต่างกัน คือ 0.25 และ 0.5 มิลลิเมตร เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมันของตัวอย่างใยอาหารที่ผลิตได้ตามวิธีในข้อ 3.5.5

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมันโดยวางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 11.01 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

3.5.4 ศึกษาองค์ประกอบและคุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของใยอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ได้

นำตัวอย่างใยอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ผลิตได้ตามสภาวะที่เหมาะสมซึ่งได้จากการทดลอง ข้อ 3.5.3 มาวิเคราะห์องค์ประกอบที่สำคัญตามวิธีในข้อ 3.5.5 ดังนี้

- ปริมาณใยอาหารทั้งหมด
- ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำได้
- ปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ
- ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด

วิเคราะห์ประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันดังนี้

- วิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยใช้วิธี DPPH free-radical scavenging assay

- วิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันโดยวิธี ferric thiocyanate (FTC)

วิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของใยอาหาร ได้แก่

- ความสามารถในการดูดซับน้ำ (Water holding capacity)
- ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (Oil absorption capacity)

3.5.5 การวิเคราะห์ทางเคมีและเคมีกายภาพที่ใช้ในการทดลอง

1) ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber)

การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมดในตัวอย่างอาหารผงที่เตรียมได้ จะใช้วิธี Enzymatic-Gravimetric method (AOAC, 1995) ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก. ซึ่งผลิตภัณฑ์ใยอาหารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ดีควรมีองค์ประกอบที่เป็นใยอาหารไม่น้อยกว่า 50% โดยน้ำหนักแห้ง (Saura-Calixto, 1998)

2) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (free radical scavenging capacity)

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระซึ่งมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของตัวอย่าง จะใช้วิธี DPPH free-radical scavenging assay (Brand-Williams *et al.*, 1995) ดังรายละเอียดในภาคผนวก ข. โดยเปรียบเทียบกับวิตามินอีซึ่งเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันมาตรฐาน ตัวอย่างใยอาหารผง 1 กรัม ที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระได้เท่ากับวิตามินอีอย่างน้อย 50 มิลลิกรัม จะเป็นแหล่งของใยอาหารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ดี (Saura-Calixto, 1998)

3) ความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมัน (inhibition of lipid oxidation)

การวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันของตัวอย่างใยอาหารผงจะใช้วิธี Ferric thiocyanate colorimetric method (FTC) (Kikuzaki and Nakatani 1993) ดังรายละเอียดในภาคผนวก ค. โดยเปรียบเทียบกับวิตามินอีซึ่งเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันมาตรฐาน ตัวอย่างใยอาหารผง 1 กรัม ที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้เท่ากับวิตามินอีอย่างน้อย 200 มิลลิกรัม จะเป็นแหล่งของใยอาหารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ดี (Saura-Calixto, 1998)

4) ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (total polyphenol contents)

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างใยอาหารผงที่เตรียมได้จะใช้วิธี Folin-Ciocalteu method โดยใช้กรดแกลลิก (gallic acid) เป็นสารประกอบโพลีฟีนอลมาตรฐาน (Singleton *et al.*, 1999) ดังรายละเอียดในภาคผนวก ง. ซึ่งโดยทั่วไปตัวอย่างที่มีปริมาณของสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในปริมาณที่สูงก็จะมีแนวโน้มในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี

5) ปริมาณน้ำตาลที่ละลายได้ (soluble sugar)

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลที่ละลายได้ที่เหลืออยู่ในตัวอย่าง จะทำโดยการคั้นน้ำ (โดยใช้อุปกรณ์บีบคั้น) จากตัวอย่างสดที่ผ่านการลดขนาด ล้างด้วยน้ำและสะเด็ดน้ำแล้วมาวัดปริมาณน้ำตาลที่ละลายได้ที่เหลืออยู่ในตัวอย่างโดยใช้ Refractometer

6) ความสามารถในการดูดซับน้ำ (water holding capacity)

การวิเคราะห์หาความสามารถในการดูดซับน้ำของตัวอย่างจะใช้วิธีที่รายงานโดย Robertson และคณะ (2000) ดังรายละเอียดในภาคผนวก จ.

7) ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (oil holding capacity)

การวิเคราะห์หาความสามารถในการดูดซับน้ำมันจะใช้วิธีที่รายงานโดย Robertson และคณะ (2000) ดังรายละเอียดในภาคผนวก ฉ.

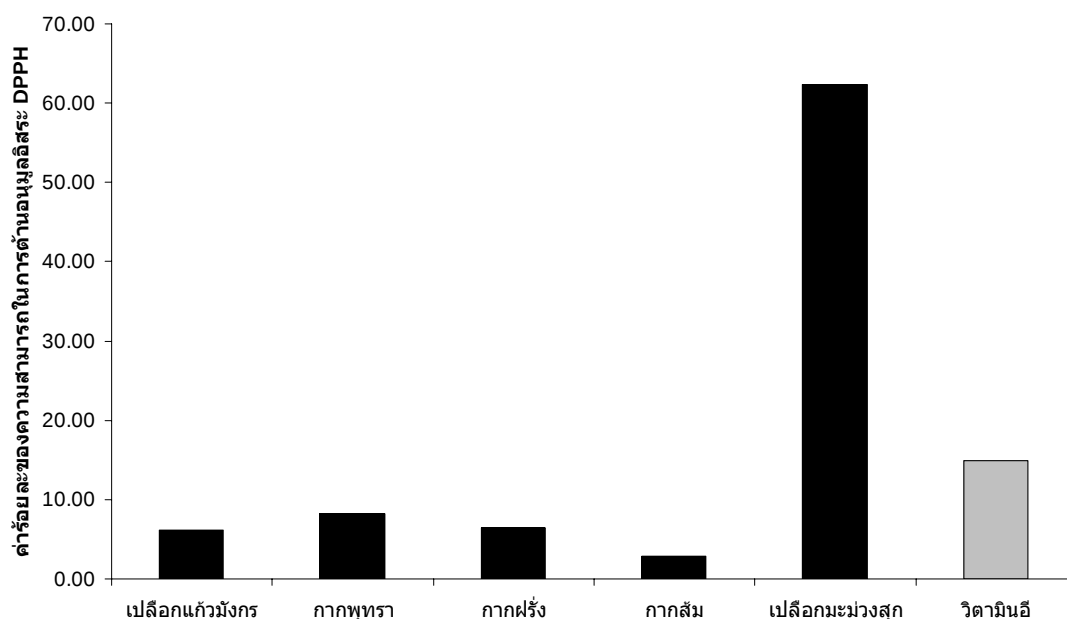
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การทดสอบเบื้องต้นสำหรับวัตถุดิบที่มีแนวโน้มเป็นแหล่งของใยอาหารด้าน

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน

จากการทดลองนำตัวอย่างวัตถุดิบ 5 ชนิด คือ เปลือกมะม่วงสุก เปลือกแก้วมังกร กากพุทรา กากฝรั่ง และกากส้มเขียวหวาน มาเตรียมใยอาหารชนิดผงตามวิธีในข้อ 3.5.1 จากนั้นนำมาเตรียมสารสกัดเพื่อใช้ในการทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เปรียบเทียบกับวิตามินอี ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของใยอาหารที่เตรียมได้จากวัสดุเหลือทิ้งจากผลไม้ชนิดต่างๆ ปริมาณ 1 กรัม เปรียบเทียบกับวิตามินอี 50 มิลลิกรัม

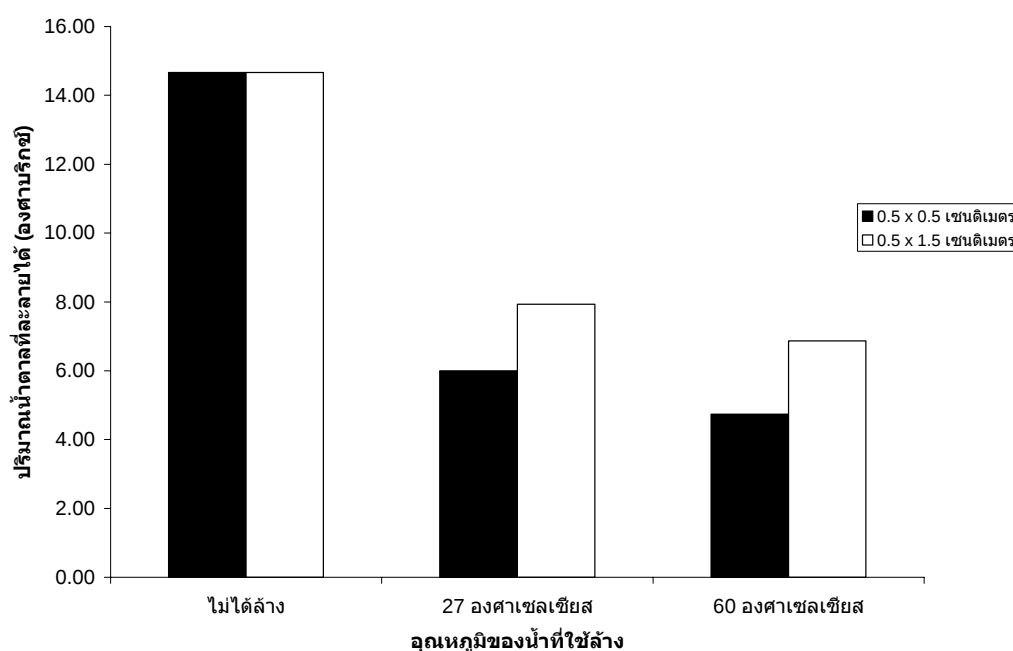
จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าตัวอย่างใยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุกจะให้ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่าตัวอย่างอื่น ๆ ไม่ว่าจะเป็น เปลือกแก้วมังกร กากพุทรา กากฝรั่ง และกากส้มเขียวหวาน นอกจากนี้ใยอาหารผงจากเปลือกมะม่วงสุกปริมาณ 1 กรัม ยังมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่าวิตามินอี 50 มิลลิกรัมอีกด้วย ซึ่งเป็นไปตามข้อเสนอแนะของใยอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่กำหนดไว้โดย Saura-Carlito (1998) ที่ว่า

ใยอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน 1 กรัม ควรมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับวิตามินอีอย่างน้อย 50 มิลลิกรัม (วิเคราะห์โดยวิธี DPPH) ในขณะที่ใยอาหารจากวัตถุดิบชนิดอื่น ๆ มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่น้อยกว่าวิตามินอี ดังนั้นในการทดลองหัวข้อถัดไปจึงเลือกใช้เปลือกมะม่วงสุกมาศึกษากรรมวิธีที่เหมาะสมในการผลิตใยอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันชนิดผงต่อไป

4.2 การศึกษากรรมวิธีที่เหมาะสมในการผลิตใยอาหารอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน

4.2.1 การลดขนาดและการล้างด้วยน้ำ

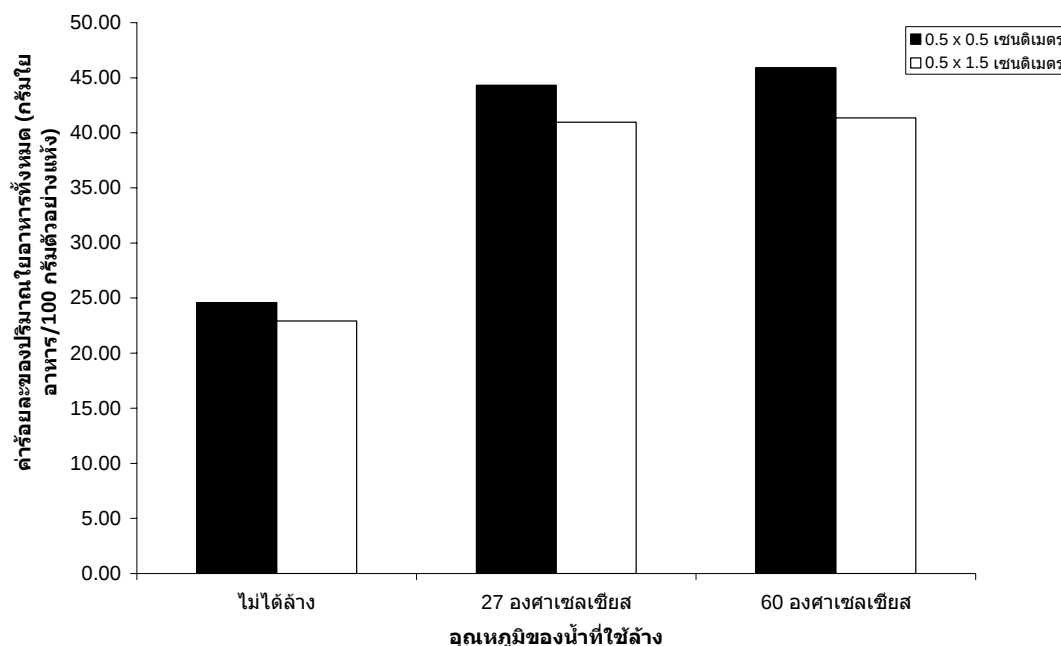
การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการลดขนาดและการล้างน้ำในการผลิตใยอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจากเปลือกมะม่วงสุก โดยวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลที่ละลายได้ซึ่งเหลือในเปลือกมะม่วงสุกที่ผ่านการลดขนาดและล้างน้ำที่สภาวะต่างกันและวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด ความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมัน และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างใยอาหารผงที่เตรียมได้ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.2 – 4.6 และตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.2 ปริมาณน้ำตาลที่ละลายได้ที่เหลืออยู่ในตัวอย่างเปลือกมะม่วงสุกที่ผ่านการลดขนาดและล้างน้ำที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

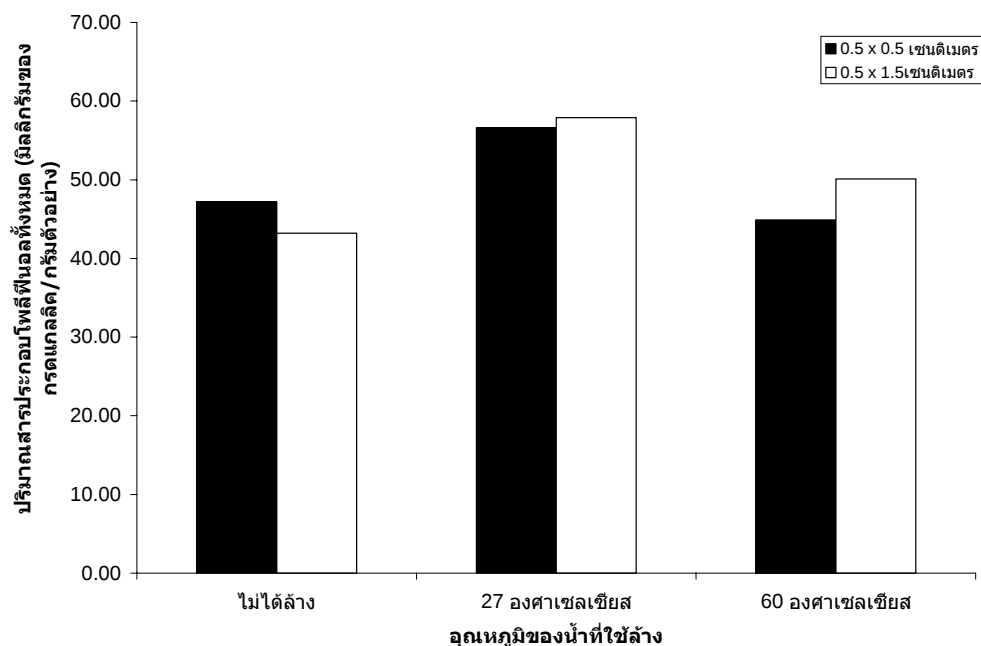
จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าการล้างเปลือกมะม่วงสุกด้วยน้ำสามารถลดปริมาณน้ำตาลที่ละลายได้ลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้ล้างน้ำ และให้ค่าที่ลดลงมากขึ้นเมื่อมีการเพิ่ม

อุณหภูมิของน้ำและลดขนาดของตัวอย่างก่อนนำมาล้างด้วยน้ำ ซึ่งผลการทดลองที่ได้นี้สอดคล้องกับการทดลองที่รายงานโดย Larrauri (1999) พบว่า การล้างเปลือกส้มด้วยน้ำสามารถลดปริมาณน้ำตาลที่ละลายได้ลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้ล้างน้ำ และปริมาณน้ำตาลที่ละลายได้จะลดลงมากขึ้นเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ล้างและลดขนาดของตัวอย่าง



รูปที่ 4.3 ปริมาณใยอาหารทั้งหมดในตัวอย่างใยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุกที่มีขนาดและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ล้างแตกต่างกัน

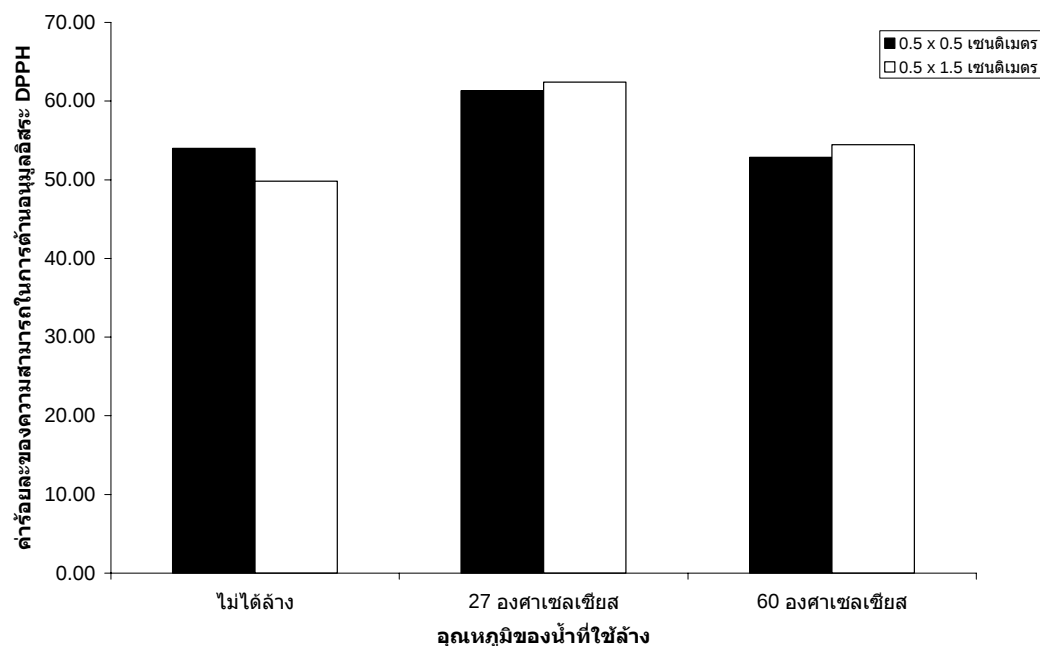
เมื่อพิจารณาปริมาณใยอาหารทั้งหมดในตัวอย่างใยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุก โดยใช้ขนาดของชิ้นเปลือกมะม่วงสุกและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ล้างแตกต่างกัน (รูปที่ 4.3) จะเห็นได้ว่าการล้างเปลือกมะม่วงสุกด้วยน้ำทั้งที่อุณหภูมิ 25 และ 60 องศาเซลเซียส สามารถเพิ่มสัดส่วนของปริมาณใยอาหารทั้งหมดในตัวอย่างใยอาหารผงที่เตรียมได้เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการล้างด้วยน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากการล้างด้วยน้ำเป็นการกำจัดน้ำตาลที่ละลายได้ออกบางส่วน สัดส่วนของปริมาณใยอาหารทั้งหมดจึงเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตามการล้างเปลือกมะม่วงสุกด้วยน้ำดังกล่าวก็มีโอกาสทำให้เกิดการสูญเสียใยอาหารที่ละลายน้ำได้บางส่วนเช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.4 ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างโยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุกที่มีขนาดและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ล้างแตกต่างกัน

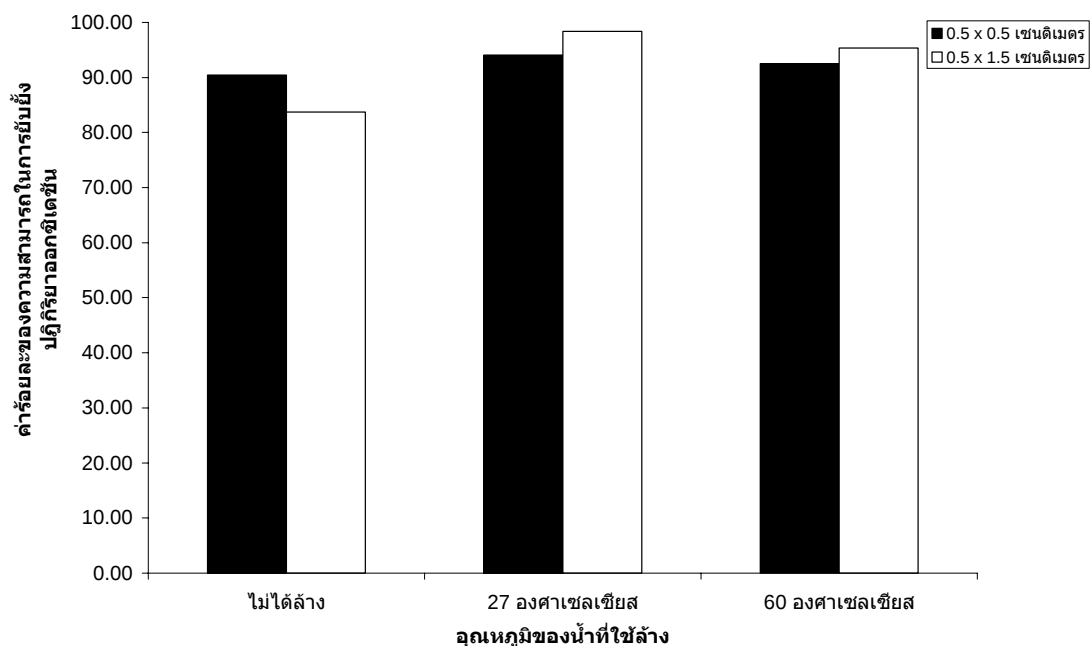
ผลการทดลองในรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าการล้างเปลือกมะม่วงสุกด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสจะทำให้ได้โยอาหารผงที่มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการล้างหรือล้างที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทั้งนี้การล้างเปลือกมะม่วงสุกด้วยน้ำอาจมีผลทำให้มีการสูญเสียปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลที่ละลายน้ำได้โดยเฉพาะการล้างที่อุณหภูมิสูงขึ้นน่าจะมีผลต่อการถูกชะล้างของสารประกอบโพลีฟีนอลมากกว่าการล้างที่อุณหภูมิต่ำ สำหรับตัวอย่างที่ไม่ได้ล้างด้วยน้ำจะให้ค่าที่ใกล้เคียงกับตัวอย่างเปลือกมะม่วงสุกที่ผ่านการล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณน้ำตาลที่สูงกว่าจะมีผลทำให้สัดส่วนของปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดลดลง

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างโยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุกที่หั่นให้มีขนาดแตกต่างกันก่อนทำการล้างด้วยน้ำจะเห็นว่า เปลือกมะม่วงสุกที่หั่นให้มีขนาดเล็กจะเกิดการสูญเสียปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงกว่าเปลือกมะม่วงสุกที่หั่นให้มีขนาดใหญ่กว่า ซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Larrauri (1999) ซึ่งพบว่าในกรณีที่ขนาดของตัวอย่างเปลือกมะม่วงที่นำมาล้างด้วยน้ำมีขนาดเล็กจะมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดที่เหลืออยู่น้อยกว่าตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่



รูปที่ 4.5 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างโยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุกที่มีขนาดและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ล้างแตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างโยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุกที่มีขนาดและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ล้างแตกต่างกันดังผลการทดลองในรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าขนาดของตัวอย่างเปลือกมะม่วงสุกและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ล้าง มีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของโยอาหารผงที่เตรียมได้ในลักษณะที่คล้ายคลึงและสอดคล้องกับปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่าง (รูปที่ 4.4) กล่าวคือตัวอย่างที่มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดสูง จะแสดงสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดีกว่าตัวอย่างที่มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลต่ำกว่า ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า การล้างเปลือกมะม่วงสุกด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสและขึ้นเปลือกมะม่วงสุกที่มีขนาดใหญ่กว่าจะให้โยอาหารผงที่มีแนวโน้มความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่าสภาวะอื่นที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.6 ความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันของตัวอย่างโยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุกที่มีขนาดและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ล้างแตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันของตัวอย่างโยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุกที่มีขนาดและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ล้างแตกต่างกันดังผลการทดลองในรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าขนาดของตัวอย่างเปลือกมะม่วงสุกและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ล้างมีผลต่อความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันของโยอาหารผงที่เตรียมได้ในลักษณะที่คล้ายคลึงและสอดคล้องกับปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่าง (รูปที่ 4.4) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (รูปที่ 4.5) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการล้างเปลือกมะม่วงสุกด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องและขึ้นเปลือกมะม่วงสุกที่มีขนาดใหญ่กว่าจะให้โยอาหารผงที่มีความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการล้างหรือล้างที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสและขึ้นเปลือกมะม่วงสุกที่มีขนาดเล็กกว่า

ตารางที่ 4.1 ปริมาณน้ำตาลที่ละลายได้ที่เหลืออยู่ในเปลือกมะม่วงสุก ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมัน ของใยอาหารผงจากเปลือกมะม่วงสุกเมื่อขนาดของชิ้นเปลือกมะม่วงและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ล้างที่แตกต่างกัน

อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ล้าง (องศาเซลเซียส)	ขนาดตัวอย่าง (เซนติเมตร)	น้ำตาลที่ละลาย ได้ที่เหลืออยู่ (°บrix)	ปริมาณใยอาหาร ทั้งหมด (ร้อยละโดย น้ำหนักแห้ง)	ปริมาณโพลีฟีนอล ทั้งหมด (มิลลิกรัมกรด แกลลิก / กรัมตัวอย่าง)	ความสามารถในการทำลาย อนุมูลอิสระ DPPH (ร้อยละ)	การยับยั้งการเกิด ออกซิเดชันของไขมัน (ร้อยละ)
ไม่ได้ล้าง	0.5 x 0.5	14.67 ± 0.29 ^a	24.59 ± 0.88 ^d	47.20 ± 1.10 ^c	53.99 ± 0.79 ^b	90.44 ± 2.36 ^d
	0.5 x 1.5	14.67 ± 0.29 ^a	22.92 ± 0.46 ^c	43.20 ± 1.30 ^c	49.84 ± 1.62 ^c	83.69 ± 1.35 ^c
27	0.5 x 0.5	6.0 ± 0.00 ^d	44.32 ± 0.74 ^b	56.60 ± 0.60 ^a	61.31 ± 1.07 ^a	94.07 ± 1.10 ^{bc}
	0.5 x 1.5	7.93 ± 0.12 ^b	40.96 ± 0.11 ^c	57.90 ± 0.50 ^a	62.40 ± 1.23 ^a	98.37 ± 0.15 ^a
60	0.5 x 0.5	4.73 ± 0.23 ^c	45.92 ± 0.23 ^a	44.90 ± 0.40 ^c	52.86 ± 1.83 ^{bc}	92.52 ± 1.37 ^{cd}
	0.5 x 1.5	6.87 ± 0.23 ^c	41.34 ± 0.28 ^c	50.10 ± 1.10 ^b	54.46 ± 2.97 ^b	95.34 ± 1.69 ^b

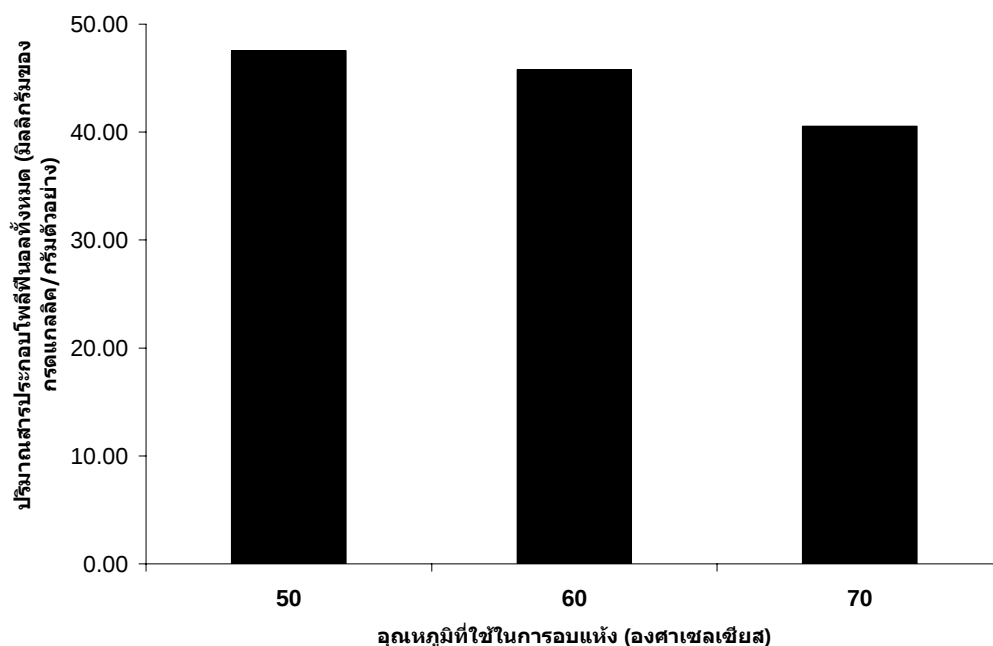
หมายเหตุ : 1) ค่าต่างๆ ที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย+ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากผลการทดลอง 3 ซ้ำ

2) ตัวอักษรด้านขวาที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เมื่อนำข้อมูลจากการศึกษาทั้งหมดมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ (ตารางที่ 4.1) เพื่อประกอบการตัดสินใจในการเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการลดขนาดและการล้างน้ำสำหรับการผลิตโยอาหาด้านปฏิกริยาออกซิเดชันจากเปลือกมะม่วงสุก พบว่าตัวอย่างที่มีขนาดเท่ากับ 0.5×0.5 เซนติเมตร และตัวอย่างที่มีขนาดเท่ากับ 0.5×1.5 เซนติเมตร ซึ่งอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ล้างคือ 27 องศาเซลเซียส หรืออุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที จะให้ค่าต่างๆ ที่ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามในขั้นตอนการลดขนาดของตัวอย่างที่มีขนาดเท่ากับ 0.5×0.5 เซนติเมตร เหมาะกับการใช้เครื่องบดมากกว่าการใช้มีดตัด ซึ่งในการทดลองนี้ได้ใช้มีดตัดให้มีขนาดเล็กลงดังนั้นตัวอย่างที่มีขนาดเท่ากับ 0.5×1.5 เซนติเมตร จะทำได้สะดวกกว่า จึงเลือกสภาวะเหมาะสมที่จะนำไปใช้ศึกษาในขั้นตอนต่อไป คือ ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 0.5×1.5 เซนติเมตร และอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ล้างคือ 27 องศาเซลเซียสหรืออุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที ทั้งนี้เนื่องจากโยอาหารที่เตรียมได้มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงและความสามารถในการต้านปฏิกริยาออกซิเดชันดีที่สุด ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณโยอาหารทั้งหมดต่ำกว่าสภาวะอื่นๆ ก็ตาม แต่ทั้งนี้ก็ถือว่ามียปริมาณโยอาหารทั้งหมดที่จัดว่าสูงแล้วเมื่อเปรียบเทียบกับอาหาร โดยทั่วไปที่ใช้เป็นแหล่งของโยอาหาร เช่น โยอาหารที่ได้จากผักซึ่งมีปริมาณ 28 – 30 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง (John and Southgate, 1994)

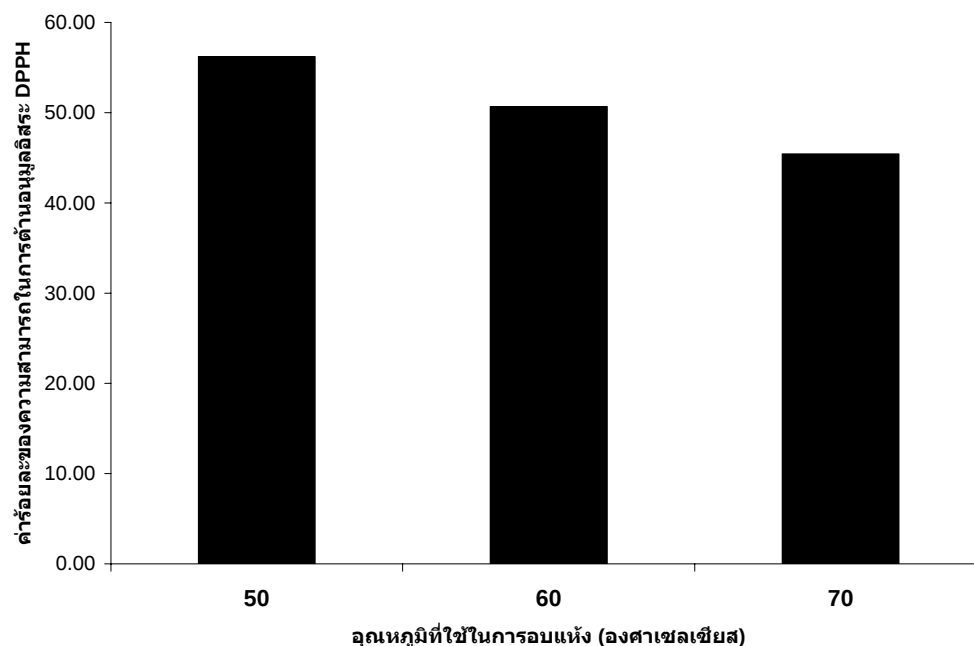
4.2.2 การอบแห้ง

จากการทดลองเตรียมโยอาหารผงจากเปลือกมะม่วงสุกตามวิธีในรูปที่ 3.1 โดยใช้เปลือกมะม่วงสุกที่หั่นให้มีขนาด 0.5×1.5 เซนติเมตร และล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที โดยศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้ง (50, 60, 70 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการอบแห้งเพื่อให้ตัวอย่างมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 7 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 18, 14 และ 10 ชั่วโมงตามลำดับ) นำตัวอย่างโยอาหารผงที่เตรียมได้วิเคราะห์ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด ความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมัน และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.7 – 4.9 และตารางที่ 4.2



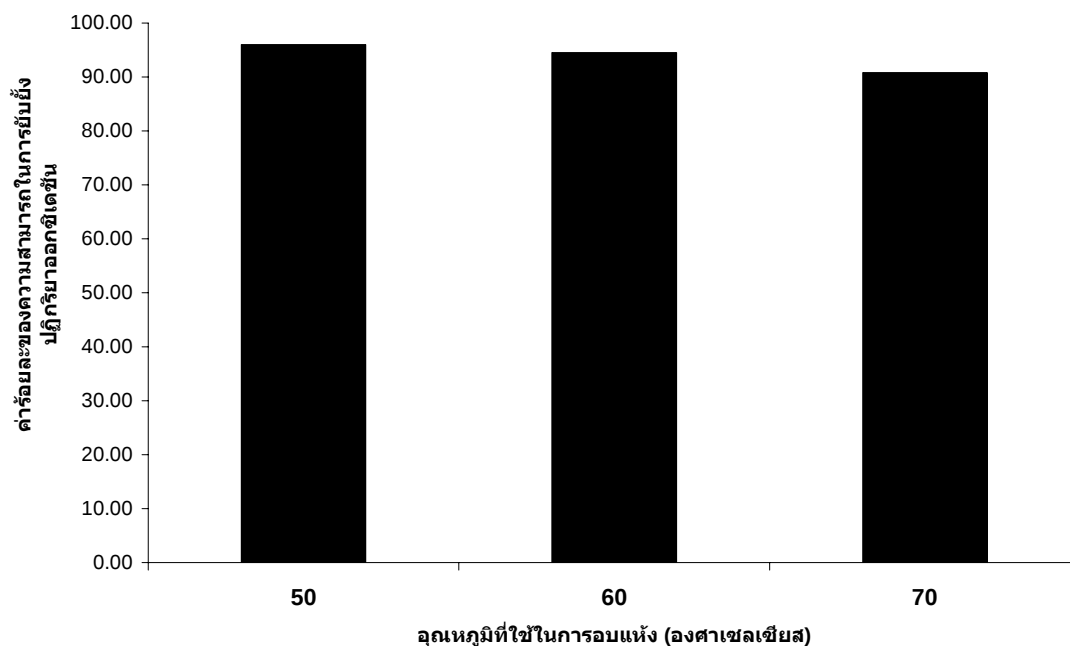
รูปที่ 4.7 ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างโยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุกเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่แตกต่างกัน

ผลการทดลองในรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มมากขึ้นทำให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างโยอาหารผงจากเปลือกมะม่วงสุกลดลง ซึ่งข้อมูลที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Larrauri และคณะ 1997 ที่ศึกษาผลของอุณหภูมิในการทำแห้งต่อปริมาณโพลีฟีนอลในกากองุ่นแดงพบว่า การทำแห้งที่อุณหภูมิ 100 และ 140 องศาเซลเซียสจะมีผลทำให้ปริมาณโพลีฟีนอลในกากองุ่นแดงลดลง 18.6 และ 32.6 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้งจะทำให้เกิดการปลดปล่อยสารประกอบโพลีฟีนอลที่จับอยู่ในโยอาหารจากการเสื่อมสลายของลิกนินซึ่งนำไปสู่การปลดปล่อยอนุพันธ์ของโพลีฟีนอลหรือเป็นจุดเริ่มต้นของการเสื่อมสลายของสารประกอบโพลีฟีนอลด้วยความร้อน (Millard and Berset, 1995)



รูปที่ 4.8 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างโยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุกเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างโยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุกที่ใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่แตกต่างกัน คือ 50, 60, และ 70 องศาเซลเซียส (รูปที่ 4.8) จะเห็นว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเปลือกมะม่วงสุก มีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของโยอาหารผงที่เตรียมได้ในลักษณะที่คล้ายคลึงและสอดคล้องกับปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่าง (รูปที่ 4.7) กล่าวคือตัวอย่างที่มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดสูง จะแสดงสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดีกว่าตัวอย่างที่มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลต่ำกว่า ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียสในการอบแห้งเปลือกมะม่วงสุกจะให้ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่าที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



รูปที่ 4.9 ความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันของตัวอย่างโยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุกเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันของตัวอย่างโยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุกเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่แตกต่างกันดังผลการทดลองในรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเปลือกมะม่วงสุกมีผลต่อค่าความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันของตัวอย่างโยอาหารผงที่เตรียมได้ในลักษณะที่คล้ายคลึงและสอดคล้องกับปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (รูปที่ 4.7) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (รูปที่ 4.8) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้อุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียสในการอบแห้งเปลือกมะม่วงสุกจะให้ค่าความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันสูงกว่าที่ 60 และ 70 องศาเซลเซียส

เมื่อนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ (ตารางที่ 4.2) เพื่อประกอบการตัดสินใจเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งเปลือกมะม่วงสุก พบว่าการอบแห้งเปลือกมะม่วงสุกที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส มีผลทำให้โยอาหารผงที่เตรียมได้มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล และความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันสูงสุดไม่แตกต่างกัน แต่การอบแห้งเปลือกมะม่วงสุกที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ให้ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ที่สูงกว่า ดังนั้นสถานะที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ศึกษาในขั้นตอนต่อไป คือ นำเปลือกมะม่วงสุกซึ่งมีขนาด 0.5 x 1.5 เซนติเมตร และผ่านการล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาทีมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 7 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.2 ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันของ
โยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุกเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่แตกต่างกัน

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด (มิลลิกรัมกรดแกลลิก / กรัมตัวอย่าง)	ความสามารถในการต้าน อนุมูลอิสระ DPPH (ร้อยละ)	ความสามารถในการยับยั้งการ เกิดออกซิเดชันของไขมัน (ร้อยละ)
50	47.56 ± 1.54^a	56.20 ± 3.70^a	96.03 ± 0.09^a
60	45.77 ± 2.26^a	50.68 ± 1.21^b	94.53 ± 1.15^a
70	40.56 ± 0.68^b	45.40 ± 2.68^b	90.83 ± 1.06^b

หมายเหตุ : 1) ค่าต่าง ๆ ที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากผลการทดลอง 3 ซ้ำ

2) ตัวอักษรด้านขวาที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.2.3 การบดให้เป็นผง

จากการทดลองเตรียมโยอาหารผงจากเปลือกมะม่วงสุกโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมในการลดขนาดและการล้างด้วยน้ำซึ่งได้จากผลการทดลองข้อ 4.2.1 และอบแห้งเปลือกมะม่วงสุกจนมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 7 เปอร์เซ็นต์ตามสภาวะที่เหมาะสมซึ่งได้จากผลการทดลองข้อ 4.2.2 จากนั้นนำเปลือกมะม่วงสุกอบแห้งมาบดให้เป็นผงให้มีขนาดอนุภาคต่างกันคือ 0.25 และ 0.50 มิลลิเมตร นำตัวอย่างที่เตรียมได้มาวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมัน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมันของโยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุกที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน

ขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร)	ความสามารถในการดูดซับน้ำ (กรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง)	ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (กรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง)
0.25	5.22 ± 0.71^b	1.63 ± 0.13^c
0.50	5.86 ± 0.21^a	1.98 ± 0.30^c

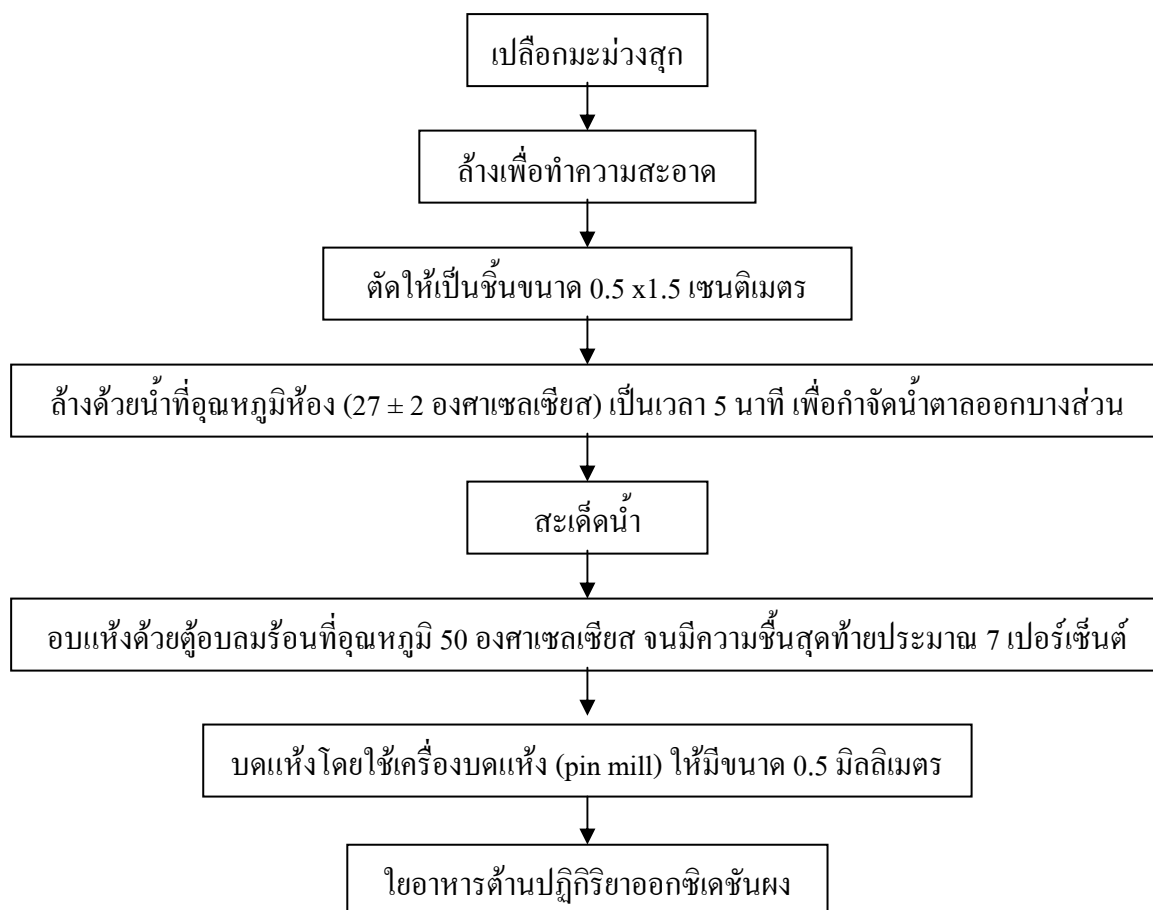
หมายเหตุ : ค่าต่างๆ ที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย+ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากผลการทดลอง 3 ซ้ำ

เมื่อพิจารณาผลการทดลองในตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าโยอาหารที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าจะให้ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำที่สูงกว่าโยอาหารที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า ในขณะที่ค่าดูดซับน้ำมันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมันของโยอาหารจากมะนาว ของ Lario (2004) ซึ่งพบว่าความสามารถในการดูดซับน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น

อย่างไรก็ตามผลที่ได้จากการศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมันของตัวอย่างโยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุกที่มีขนาดอนุภาคที่แตกต่างกันเป็นเพียงการบอกค่าความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมันเท่านั้น สำหรับขนาดที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างเช่น ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความชุ่มชื้น หรือต้องการทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถอุ้มความชื้นไว้ได้มากและนานขึ้น ควรเลือกใช้โยอาหารที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ หรือในผลิตภัณฑ์ประเภทอิมัลชันอาจไม่เหมาะสมหากเลือกใช้โยอาหารที่มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันต่ำซึ่งอาจทำให้เกิดการแยกชั้นของไขมันในผลิตภัณฑ์ได้

สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวอย่างโยอาหารผงที่ได้จากเปลือกมะม่วงสุกโดยสรุปแสดงดังรูปที่ 4.10 ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการศึกษาทั้งหมดมีดังต่อไปนี้ คือ นำเปลือก

มะม่วงสุกมาล้างน้ำเพื่อทำความสะอาด และนำไปหั่นให้มีขนาด 0.5 x 1.5 เซนติเมตร จากนั้นจึงล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที เพื่อกำจัดน้ำตาลที่ละลายได้ออกบางส่วน แล้วจึงนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 7 เปอร์เซ็นต์ และบดให้เป็นผงให้มีขนาดเหมาะสมตามวัตถุประสงค์ที่จะนำไปใช้ต่อไป ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้ขนาดอนุภาค 0.5 มิลลิเมตร ตัวอย่างใยอาหารผงที่ได้จะนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบและสมบัติทางเคมีกายภาพในหัวข้อที่ 4.3 ต่อไป



รูปที่ 4.10 สภาพที่เหมาะสมในการเตรียมใยอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันผงจากเปลือกมะม่วงสุก

4.3 การศึกษาองค์ประกอบและสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของใยอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจากเปลือกมะม่วงสุก

นำตัวอย่างใยอาหารผงจากเปลือกมะม่วงสุกที่เตรียมได้โดยใช้สภาพที่เหมาะสมดังรูปที่ 4.10 แล้ววิเคราะห์ใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ละลายน้ำได้ ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ปริมาณ

โพลีฟีนอลทั้งหมด ความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมัน ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมัน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.4-4.6

4.3.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบที่สำคัญ

จากการนำตัวอย่างโยอาหารผงจากเปลือกมะม่วงสุกที่เตรียมได้โดยใช้สภาวะที่เหมาะสม แล้ววิเคราะห์โยอาหารทั้งหมด โยอาหารที่ละลายน้ำได้ โยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ปริมาณของโยอาหารทั้งหมด โยอาหารที่ละลายน้ำได้ โยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างโยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุก

องค์ประกอบ	ค่าที่วิเคราะห์ได้
โยอาหารทั้งหมด (กรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	45.57 ± 4.30
โยอาหารที่ละลายน้ำได้ (กรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	18.08 ± 3.04
โยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (กรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	27.49 ± 3.67
ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด (มิลลิกรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง)	69.21 ± 2.37

หมายเหตุ : ค่าต่างๆ ที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ผลการทดลองในตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่า โยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุกประกอบด้วยปริมาณโยอาหารทั้งหมดร้อยละ 45.57 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งจัดว่ามีองค์ประกอบของโยอาหารอยู่ในปริมาณสูงเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารที่เป็นแหล่งของโยอาหารชนิดอื่น รวมถึงมีความสมดุลในสัดส่วนของปริมาณโยอาหารที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณโยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ โดยมีปริมาณโยอาหารที่ละลายน้ำได้ร้อยละ 18.08 โดยน้ำหนักแห้ง และปริมาณโยอาหารที่ไม่ละลายน้ำร้อยละ 27.49 โดยน้ำหนักแห้ง นอกจากนี้โยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุกยังเป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ได้แก่ สารประกอบโพลีฟีนอล ซึ่งมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงถึง 69.21 มิลลิกรัม/กรัมตัวอย่าง

4.3.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน

จากการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของโยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุก ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าร้อยละของความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันและค่าร้อยละความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของโยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุก

ตัวอย่าง	ร้อยละของความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมัน	ร้อยละความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH
โยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุก 1 กรัม	89.99 ± 0.85	88.11 ± 1.23
วิตามินอี	83.82 ± 1.72 วิตามินอี 200 มิลลิกรัม	14.87 ± 1.67 วิตามินอี 50 มิลลิกรัม

หมายเหตุ : ค่าต่างๆ ที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากผลการทดลอง 3 ซ้ำ

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของตัวอย่างโยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุกในตารางที่ 4.5 จะเห็นว่า โยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุกมีค่าความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันและค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ร้อยละ 89.99 และ 88.11 ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของวิตามินอีปริมาณ 200 และ 50 มิลลิกรัมจะเห็นได้ว่า โยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุก 1 กรัม มีค่าร้อยละของความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันสูงกว่าค่าที่ได้จากวิตามินอีปริมาณ 200 มิลลิกรัมเล็กน้อย แต่ในส่วนของค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH จะเห็นว่าโยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุก 1 กรัม มีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่าวิตามินอีจำนวน 50 มิลลิกรัมถึง 6 เท่า

4.3.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมัน

จากการวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมันของโยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุกที่มีขนาดอนุภาค 0.5 มิลลิเมตร ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมันของโยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุก

สมบัติที่วิเคราะห์	ค่าที่วิเคราะห์ได้
ความสามารถในการดูดซับน้ำ (กรัม น้ำ/กรัม ตัวอย่างแห้ง)	6.46 ± 0.35
ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (กรัม น้ำมัน/กรัม ตัวอย่างแห้ง)	1.50 ± 0.17

หมายเหตุ : ค่าต่างๆ ที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย+ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

จากข้อมูลในตารางที่ 4.6 จะเห็นว่า โยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุกมีค่าความสามารถในการดูดซับน้ำเท่ากับ 6.46 กรัม น้ำ/กรัม ตัวอย่างแห้ง ซึ่งค่าที่วิเคราะห์ได้นี้มีค่าใกล้เคียงกับค่าความสามารถในการดูดซับน้ำของโยอาหารที่ได้จากแครอทและส้มซึ่งมีค่า 6.54 และ 5.02 กรัม น้ำ/กรัม ตัวอย่างแห้งตามลำดับ และมีค่าสูงกว่าโยอาหารที่ใช้กันโดยทั่วไป ได้แก่ เซลลูโลส และโยอาหารจากข้าวโอ๊ตซึ่งมีค่าความสามารถในการดูดซับน้ำ 2.78 และ 2.32 กรัม น้ำ/กรัม ตัวอย่างแห้งตามลำดับ ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำที่สูงมีประโยชน์ต่อสุขภาพในเรื่องของการขับถ่ายและช่วยชะลอไม่ให้กระเพาะอาหารว่าง นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ต่อการนำไปใช้เป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์อาหารได้อีกด้วย (Brock Lundberg, 2005)

เมื่อพิจารณาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมันของโยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุกซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.50 กรัม น้ำมัน/กรัม ตัวอย่างแห้ง โดยมีค่าใกล้เคียงกับโยอาหารที่ได้จากข้าวโอ๊ตซึ่งมีค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมัน 1 กรัม น้ำมัน/กรัม ตัวอย่างแห้ง (Wesche-Ebeling, 2005) และมีค่าน้อยกว่าค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมันที่ได้จากวัสดุเหลือทิ้งจากการคั้นน้ำมะนาวซึ่งมีค่า 6.7 กรัม น้ำมัน/กรัม ตัวอย่างแห้ง (Lario, 2004) ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าโยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุกเหมาะที่จะนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการให้มีโยอาหารที่สูง พลังงานต่ำ และมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มชุ่มชื้น

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการคัดเลือกวัสดุเหลือทิ้งจากผลไม้ 5 ชนิด ได้แก่ เปลือกมะม่วงสุก เปลือกแก้วมังกร กากพุทรา กากฝรั่ง และกากส้มเขียวหวาน โดยการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดจากใยอาหารผงที่ได้จากวัตถุดิบดังกล่าวพบว่า ตัวอย่างใยอาหารผงที่เตรียมได้จากเปลือกมะม่วงสุกจะให้ค่าความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระสูงกว่าตัวอย่างอื่น ๆ และให้ค่าความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระที่สูงกว่าวิตามินอี 50 มิลลิกรัม จากข้อมูลดังกล่าวจึงเลือกใช้เปลือกมะม่วงสุกในการเป็นวัตถุดิบสำหรับศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตใยอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งพบว่า เปลือกมะม่วงสุกสามารถนำมาเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตใยอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ดี เนื่องจากมีใยอาหารในปริมาณสูง และมีคุณสมบัติต่าง ๆ ที่แสดงถึงความสามารถในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ดี ได้แก่ มีสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดอยู่ในปริมาณสูง และยังมีความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมัน รวมถึงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ที่สูงเมื่อเทียบกับวิตามินอีซึ่งเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันตามธรรมชาติ โดยสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตใยอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งยังคงปริมาณใยอาหาร องค์ประกอบของสารโพลีฟีนอลทั้งหมด และสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยเกิดการสูญเสียน้อยที่สุด คือ การนำตัวอย่างมาล้างเพื่อกำจัดสิ่งสกปรก และลดขนาดตัวอย่างลงให้มีขนาด 0.5×1.5 เซนติเมตร จากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง (27 ± 2 องศาเซลเซียส) แล้วคั้นน้ำออกบางส่วน หลังผ่านขั้นตอนทั้งหมดจึงนำไปทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสจนมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 7 เปอร์เซ็นต์ และนำไปบดแห้งให้มีขนาดที่เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการใช้งานกล่าวคือ ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความชุ่มชื้น หรือต้องการทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถอุ้มความชื้นไว้ได้มากและนานขึ้น ควรเลือกใช้ใยอาหารที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ และถ้าเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทอิมัลชันอาจเหมาะสมกับใยอาหารที่มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันสูงทำให้ลดปัญหาการแยกชั้นของไขมันในผลิตภัณฑ์ได้

ใยอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจากเปลือกมะม่วงสุกที่ผลิตได้ตามสภาวะที่เหมาะสมดังกล่าว มีองค์ประกอบของปริมาณของใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 45.57 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งประกอบด้วย ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำได้ร้อยละ 18.08 โดยน้ำหนักแห้ง และปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำร้อยละ 27.49 โดยน้ำหนักแห้ง นอกจากนี้ใยอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันผงจากเปลือกมะม่วงสุกยังมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงถึง 69.21 มิลลิกรัม/กรัมตัวอย่าง สำหรับค่า

ความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันและค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของโยอาหารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันผงที่เตรียมได้ 1 กรัมมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 89.99 และ 88.11 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับวิตามินอีปริมาณ 200 และ 50 มิลลิกรัมสำหรับการวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ตามลำดับ พบว่าโยอาหารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันผงจากเปลือกมะม่วงมีความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันใกล้เคียงกับวิตามินอีปริมาณ 200 มิลลิกรัม แต่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่าวิตามินอีปริมาณ 50 มิลลิกรัมถึง 6 เท่า

ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมันของโยอาหารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันชนิดผงจากเปลือกมะม่วงที่มีขนาดอนุภาค 0.5 มิลลิเมตรมีค่าเท่ากับ 6.46 กรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง และ 1.50 กรัม/น้ำมัน/กรัมตัวอย่างแห้งตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการลดขนาดและการล้างน้ำสำหรับการผลิตโยอาหารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจากเปลือกมะม่วงสุก พบว่าตัวอย่างที่มีขนาดเท่ากับ 0.5 x 0.5 เซนติเมตรและ 0.5 x 1.5 เซนติเมตร เมื่อล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิห้อง) เป็นเวลา 5 นาที จะมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสูง โดยมีความใกล้เคียงกันสำหรับตัวอย่างที่มีขนาดต่างกัดังกล่าว อย่างไรก็ตามวิธีการลดขนาดของตัวอย่างให้ขนาดเท่ากับ 0.5 x 0.5 เซนติเมตร จะเหมาะกับการใช้เครื่องบดมากกว่าการใช้มีดตัด ดังนั้นการผลิตในระดับอุตสาหกรรมสามารถใช้เครื่องบดในขั้นตอนการลดขนาดเปลือกมะม่วงสุกได้

การอบแห้งเปลือกมะม่วงสุกที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส มีผลทำให้โยอาหารผงที่เตรียมได้มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล และความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ถึงแม้ว่าในการทดลองนี้จะเลือกใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ในการอบแห้งเปลือกมะม่วงสุก แต่การนำไปใช้ในระดับอุตสาหกรรมการเลือกใช้อุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส อาจมีความเหมาะสมกว่าเนื่องจากสามารถลดระยะเวลาและประหยัดพลังงานในการอบแห้ง

การนำโยอาหารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ผลิตได้จากเปลือกมะม่วงสุกไปใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารต้องคำนึงถึง สี กลิ่น รส ของผลิตภัณฑ์อันมีผลมาจากลักษณะทางธรรมชาติของเปลือกมะม่วง คือมีรสเปรี้ยว และมีสีคล้ำ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาถึงปริมาณที่ใช้และความเหมาะสมกับชนิดของผลิตภัณฑ์เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคยอมรับต่อไป

บรรณานุกรม

- ประพันธ์ ปิ่นศิริโรคม และวันทนี ช้างน้อย. 2545. “การเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและศักยภาพการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเมล็ดพืชตระกูลส้มสายพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกในประเทศไทย.” *อาหาร* 32 : 300-307.
- Alberto, J. 2005. “Antioxidant therapy: myth or reality?.” *J. Braz. Chem. Soc.* 16 : 1-19.
- Alberts, D.S., Ritenbaugh, C., Story, J.A., Aickin, M., Rees-McGee, S., Buller, M.K., Atwood, J., Phelps, J., Ramanujam, P.S., Bellapravalu, S., Patel, J., Bettinger, L., and Clark, L. 1996. “Randomized, double-blinded, placebo-controlled study of effect of wheat bran fiber and calcium on fecal bile acids in patients with resected adenomatous colon polyps.” *J. Natl. Cancer. Inst.* 88 : 81–92.
- Alberts, D.S., Martínez, M.E., Roe, D.J., Guillén-Rodríguez, J.M., Marshall, J.R., Van Leeuwen, J.B., Reid, M.E., Ritenbaugh, C., Vargas, P.A., Bhattacharyya, A.B., Earnest, D.L., and Sampliner, R.E. 2000. “Lack of effect of a high-fiber cereal supplement on the recurrence of colorectal adenomas.” *N. Engl. J. Med.* 342 : 1156–1162.
- Aldoori, W.H., Giovannucci, E.L., Stampfer, M.J., Rimm, E.B., Wing, A.L., and Willett, W.C. 1997. “Prospective study of diet and the risk of duodenal ulcer in men.” *Am. J. Epidemiol.* 145 : 42–50.
- Anderson, J.W., and Ward, K. 1979. “High-carbohydrate, high-fiber diets for insulin-treated men with diabetes mellitus.” *Am. J. Clin. Nutr.* 32 : 2312–2321.
- Anderson, J.W., Story, L., Sieling, B., Chen, W-J.L., Petro, M.S., and Story, J.A. 1984. “Hypercholesterolemic effects of oat-bran or bean intake for hypercholesterolemic men.” *Am. J. Clin. Nutr.* 40 : 1146–1155.
- Anderson, J.W., Allgood, L.D., Lawrence, A., Altringer, L.A., Jerdack, G.R., Hengehold, D.A., and Morel, J.G. 2000. “Cholesterol-lowering effects of psyllium intake adjunctive to Diet therapy in men and women with hypercholesterolemia: Meta-analysis of 8 controlled trials.” *Am. J. Clin. Nutr.* 71 : 472–479.
- Angela, j. 2003. “Influence of thermal postharvest stress on mango (*Mangifera indica*) polyphenolics during ripening.” Degree of Master Science, University of Florida.

- Anonymous. 1989. "GDCh Stellungnahme der Untergruppe "Ballaststoffe" der Arbeitsgruppe "Freagen der Emahrung" der Fachgruppe "Lebensmittelchemie und gerichtliche Chemie" in der GDCh". **Lebensm. Gerich. Chem.** 43 : 113–117.
- Anonymous. 1992. Belgian Food Law, KB 8/1/1992.
- Anonymous. 1993. Italian Food Law, DL 16/2/1993.
- Anonymous. 2000. "AACC holds midyear meeting." **Cereal Foods World** 45 : 327.
- ANZFA (Australia New Zealand Food Authority). 2000. "Notice of a Proposed Change to Food Regulation and Further Invitation for Submissions. Application 227. Inulin and Fructooligosaccharides as Dietary Fber." Canberra : ANZFA.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1995. "Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists." 16th edition. Washington DC : AOAC.
- Appleby, P.N., Thorogood, M., Mann, J.I., and Key, T.J. 1998. "Low body mass index in non-meat eaters: The possible roles of animal fat, dietary fibre and alcohol." **Int. J. Obes.** 22 : 454–460.
- Archer Daniels Midlan Co. 1992. **The ADM ready reference fiber guide.** Canada : Archer Daniels Midlan Co.
- Armstrong, B., and Doll, R. 1975. "Enviromental factors and cancer incidence and motality in different countries." **Int. J. Cancer** 15 : 617-631.
- Ascherio, A., Rimm, E.B., Giovannucci, E.L., Colditz, G.A., Rosner, B., Willett, W.C., Sacks, F., and Stampfer, M.J. 1992. "A prospective study of nutritional factors and hypertension among US men." **Circulation** 86 : 1475–1484.
- Ascherio, A., Hennekens, C., Willett, W.C., Sacks, F., Rosner, B., Manson, J., Witteman, J., and Stampfer, M.J. 1996. "Prospective study of nutritional factors, blood pressure, and hypertension among US women." **Hypertension** 27 : 1065–1072.
- Askar, A. 1998. "Importance and characteristic of tropical fruits." **Fruit.Proc.** 8 : 273-276.
- Asp, N.G., Johansson, C.G., Hallmer, H., and Siljeström, M. 1983. "Rapid enzymatic assay of insoluble and soluble dietary fiber." **J. Agric. Food Chem.** 31 : 476–482.
- Beecher, G. 1999. "Phytonutrients role in metabolism: Effect on resistance to degenerative processes." **Nutr. Rev.** 57 : 3-6.

- Ben-Shalom, N., Olat, D., Levi, A., and Pinto, R. 1992. "Change in molecular weight of water-soluble and EDTA-soluble pectin fractions from carrot after heat treatments." **Food Chem.** 45 : 243-245.
- Benavente-Garcia, O., Castillo, J., Marin, F.R., Ortuno, A., and Del Rio, J.A. 1997. "Uses and properties of citrus flavonoids." **J. Agric. Food Chem.** 45 : 4505-4515.
- Bernalte-Garcia, M.J., Hernandez-Mendez, M.T., and Carballo- Garcia, B.M. 1995. "Dietary fiber content of fresh and refrigerated white asparagus." **Alimentaria.** 261 : 43-47.
- Bernardo, A.M.B., Dumoulin, E.D., Lebert, A.M., and Bimbenet, J.J. 1990. "Drying of sugar beet fiber with hot air or superheated steam." **Drying Tech.** 8 : 767-779.
- Block, G., and Lanza, E. 1987. "Dietary fiber source in the United States by demographic group." **J. Natu. Cancer Ins.** 79 : 83-86.
- Block, G. 1992. "The data support a role for antioxidants in reducing cancer risk." **Nutr. Rev.** 50 : 207-213.
- Brock Lundberg, M.S. 2005. **Using highly expanded citrus fiber to improve the quality and nutritional properties of food.** [Online]. Available: http://Fiberstar, Inc_ - Library.html. (Accessed 8/12/2005)
- Brand, L., Jeltema, M., Zabik, M., and Jeltema, B. 1984. "Effect of cooking in solutions of varying pH on the dietary fiber components of vegetables." **J. food sci.** 49 : 900-909.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., and Berset, C. 1995. "Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity." **Lebensm. Wiss. Tech.** 28 : 25-30.
- Bravo, L. 1998. "Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism and nutritional significance." **Nutr. Rev.** 56: 317-333.
- Brown, L., Rosner, B., Willett, W.C., and Sacks, F.M. 1999. "Cholesterol-lowering effects of dietary fiber: A meta-analysis." **Am. J. Clin. Nutr.** 69 : 30-42.
- Buettner, G.R. 1993. "The pecking order of free radicals and antioxidants: lipid peroxidation, alpha tocopherol and ascorbate." **Arch. Biochem. Biophys.** 300 : 535-543.
- Burkitt, D.P., Walker, A.R.P., and Painter, N.S. 1974. "Dietary fiber and disease." **J. Am. Med. Assoc.** 229 : 1068-1074.
- Burley, V.J., Paul, A.W., and Blundell, J.E. 1993. "Sustained post-ingestive action of dietary fibre: Effects of a sugar-beet-fibre-supplemented breakfast on satiety." **J. Hum. Nutr. Diet.** 6 : 253-260.

- Cadden, A.M. 1987. "Comparative effects of partial size reduction on physical structure and water binding properties of several plant fibers." **J. Food. Sci.** 52 : 1595-1599.
- Caprez, A., Arrigoni, E., Amado, R., and Neucom, H. 1986. "Influence of different types of thermal treatment on the chemical composition and physical properties of wheat bran." **J. Cereal Sci.** 4 : 233-239.
- Carle, R., Keller, P., Schieber, A., Rentschler, C., Katzschnner, T., and Rauch, D. **Method for obtaining useful materials from the by-products of fruit and vegetable processing.** Patent application WO 01/78859 A1, 2001
- Champ, M., Langkilde, A.M., Brouns, F., Kettlitz, B., and Collet, Y. 2003. "Advances in dietary fibre characterisation. 1. Definition of dietary fibre, physiological relevance, health benefits and analytical aspects." **Nutr. Res. Rev.** 16 : 71-82.
- Chi-Fai, Ch., Ya-Ling, H., and Mao-Hsiang, L. 2003. "In vitro hypoglycaemic effects of different insoluble fiber-rich fractions prepared from the peel of *Citrus sinensis* L. Cv. Liucheng." **J. Agric. Food Chem.** 51 : 6623-6626.
- COMA (Committee on Medical Aspects of Food and Nutrition Policy). 1998. **Committee news. Food Safety Information Bulletin.** No. 97. Aberdeen : Food Standards Agency, MAFF, Department of Health.
- Craig, S.A.S, Holden, J.F., and Khaled, M.Y. 2000. "Determination of polydextrose as dietary fiber in foods." **J. AOAC. Int.** 83 : 1006-1012.
- Cummings, J.H. 1996. **Metabolic and physiological aspects of dietary fibre.** Brussels : Commission of the European Communities.
- Desmedt, A., and Jacobs, H. 2001. **Guide to functional food ingredients.** Surrey : Food RA Leatherhead Publishing.
- Diplock, A.T. 1991. "Antioxidant nutrient and disease prevention: an overview." **Am. J. Clin. Nutr.** 53 : 189-193.
- Dreher, M.L. 1987. **Handbook of Dietary Fiber.** Newyork : Marcel Dekker Inc.
- El Ansari, M., Reddy, K., Sastry, K., and Nayudamma, Y. 1969. "Polyphenolic components of mango (*Mangifera indica*) fruit." **Leather Sci.** 16 : 13-14.
- Elangovan, V., Sekar, N., and Govindasamy, S. 1994. "Chemoprotective potential of dietary bioflavonoids against 20-methylcholanthrene-induced tumorigenesis." **Cancer Lett.** 87 : 107-113.

- Englyst, H.N., and Cummings, J.H. 1984. "Simplified method for the measurement of total non-starch polysaccharides by gas-liquid chromatography of constituent sugars as alditol acetates." **Analyst**. 109 : 937–942.
- Englyst, H.N., and Hudson, G.J. 1987. "Colorimetric method for routine measurement of dietary fibre as non-starch polysaccharides. A comparison with gas-liquid chromatography." **Food Chem**. 24 : 63–76.
- Everson, G.T., Daggy, B.P., McKinley, C., and Story, J.A. 1992. "Effects of psyllium hydrophilic mucilloid on LDL-cholesterol and bile acid synthesis in hypercholesterolemic men." **J. Lipid Res**. 33 : 1183–1192.
- FAO/WHO (Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization). 1995. **Guidelines for Nutrition Labelling**. Volume 1A. Rome : FAO/WHO
- Favier, M.L., Bost, P.E., Guittard, C., Demigne, C., and Remesy, C. 1997. "The cholesterol-lowering effect of guar gum is not the result of a simple diversion of bile acids toward fecal excretion." **Lipids**. 32 : 953–959.
- Ferguson, R., and Fox, K. 1978. **Dietary citrus fibers**. Winterhaven : FL.
- Fernández-Bolan˜os, J., Rodriguez, R., Saldan˜a, C., Heredia, A., Guillén, R., and Jiménez, A. 2002. "Factors affecting the changes in texture of dressed '(alin˜adas)' olives." **Euro. Food Res. Tech**. 214 : 237–241.
- Fernandez-Gines, J.M., Fernandez-Lopez, J., Sayas-Barbera, E., and Perez-Alvarez, J.A. 2003. "Effects of storage conditions on quality characteristics of bologna sausages made with citrus fiber." **J. Food Sci**. 68 : 710-715.
- Field, C.J., McBurney, M.I., Massimino, S., Hayek, M.G., and Sunvold, G.D. 1999. "The fermentable fiber content of the diet alters the function and composition of canine gut associated lymphoid tissue." **Vet. Immunol. Immunopathol**. 72 : 325–341.
- Frankel, E.N., Waterhouse, A.L. and Teissedre, P.L. 1995. "Principle phenolic phytochemicals in selected califonia wines and their antioxidant activity in inhibiting oxidation of human low-density lipoprotein to lipid peroxidation." **J. Agric. Food Chem**. 43 : 890-894.
- Fronc, A., and Nawirska, A. 1994. "Potential uses of waste products from fruit processing." **Ochrona Srodo**. 2 : 31-32.

- Fukagawa, N.K., Anderson, J.W., Hageman, G., Young, V.R., and Minaker, K.L. 1990.
 “Highcarbohydrate, high-fiber diets increase peripheral insulin sensitivity in healthy young and old adults.” **Am. J. Clin. Nutr.** 52 : 524–528.
- Gerber, M. 1998. “Fibre and breast cancer.” **Eur. J. Cancer. Prev.** 7 : S63–S67.
- Giovannucci, E., Stampfer, M.J., Colditz, G., Rimm, E.B., and Willett, W.C. 1992.
 “Relationship of diet to risk of colorectal adenoma in men.” **J. Natl. Cancer. Ins.** 84 : 91–98.
- Giovannucci, E., Rimm, E.B., Stampfer, M.J., Colditz, G.A., Ascherio, A., and Willett, W.C.
 1994. “Intake of fat, meat, and fiber in relation to risk of colon cancer in men.” **Cancer. Res.** 54 : 2390–2397.
- Gordon, D.T., and Ohkuma, K. 2001. **Determination of resistant maltodextrin and total dietary fiber in selected foods by ion-exchange chromatography: Collaborative study.** Newyork : AOAC.
- Gorecka, D., Korczak, J., Balcerowski, E., and Decyk, K. 2002. “Sorption of bile acids and cholesterol by dietary fiber of carrots, cabbage and apples.” **Elec. J. Polish. Agric. Univ.** 5 : 2.
- Gorinstein, S., Zemser, M., Haruenkit, R., Chuthakorn, R., Grauer, F., Martin-Belloso, O., and Trakhtenberg, S. 1999. “Comparative content of total dietary fiber in tropical fruits and persimmon.” **J. Nutr. Biochem.** 10 : 367-371.
- Gorinstein, S., Martin-Belloso, O., Park, Y-S., Haruenkit, R., Lojek, A., CiZM Caspi, A., Libman, I., and Trakhtenberg, S. 2001. “Comparison of some biochemical characteristics of different citrus fruits.” **Food Chem.** 74 : 309-315.
- Gorinstein, S., Zachwieja, Z., Folta, M., Barton, H., Piotrowicz, J., Zember, M., Weisz, M., Trakhtenberg, S., and Martin-Belloso, O. 2001. “Comparative content of dietary fiber, total phenolics, and minerals in persimmons and apples.” **J. Agric. Food Chem.** 49 : 952-957.
- Gregory, J., Foster, K., Tyler, H., and Wiseman, M. 1990. **The dietary and nutritional study of British adults.** London : HMSO.
- Grigelmo-Miguel, N., and Martin-Belloso, O. 1998. “Characterization of dietary fiber from orange juice extraction.” **Food Res. Int.** 31 : 355-361.

- Grigelmo-Miguel, N., and Martin-Belloso, O. 1999. "Comparison of dietary fibre from by-products of processing fruits and greens and from cereals." **Lebensm. Wiss. Tech.** 32 : 503–508.
- Health and Welfare Canada. 1985. **Report of the Expert Advisory Committee on Dietary Fibre.** Ottawa : Supply and Services Canada.
- Health Canada. 1988. **Guideline Concerning the Safety and Physiological Effects of Novel Fibre Sources and Food Products Containing Them.** Ottawa : Food Directorate, Health Protection Branch, Health Canada.
- Herbafood. 2002. **Herbacel AQ Plus. Apple and citrus fibre.** [Online]. Available : <http://www.Herbafood.de/eaqplus.pdf>. (Accessed 8/12/2005)
- Heredia, A., Ruiz-Gutierrez, V., Felizón, B., Guillén, R., Jiménez, A., and Fernández-Bolanños, J. 1993. "Apparent digestibility of dietary fibre and other components in table olives." **Die. Nahrung.** 37 : 226–233.
- Heredia, A., Jiménez, A., Fernández-Bolanños, J., Guillén, R., and Rodriguez, R. 2002. **Fibra Alimentaria.** Madrid : Biblioteca de Ciencias.
- Hertog, M.G.L., Feskeens, E.J.M., Hollman, C.H., Katan, M.B., and Kromhout, D. 1993. "Dietary antioxidant flavonoids and risk of heart disease; the Zutphen elderly study." **Lancet.** 342 :1007-1011.
- Hignett, R. 2000. **Letter to All Interested Parties. Nutrition Labelling of Dietary Fibre.** [Online]. Available : http://foodstandards.gov.uk/farm_fork/nutfibre.html. (Accessed 8/12/2005)
- Hoebregs, H. 1997. "Fructans in foods and food products, ion-exchange chromatographic method: Collaborative study." **J. AOAC Int.** 80 : 1029–1037.
- Huber, W., Vosgen, W., and Mintier, Y.L. 2002. "Carrot fiber as opportunity." **Fleisch. Int.** 4 :12-15.
- Jaime, L., Molla, E., Fernandez, A., Martin-Cabrejas, M., Lopez Andreu, F., and Esteban, R. 2002. "Structural carbohydrates differences and potential source of dietary fiber of onion (*Alliumcepa* L.) tissues." **J. Agric. Food Chem.** 50 : 122-128.
- Jean, T., and Bodinier, M.C. 1994. "Mediators involved in inflammation: effects of Daflon 500 mg on their release." **Angiology.** 45 : 554-559.

- Jenkins, D.J.A., Wolever, I.M.S., Leeds, A.R., Gassull, M.A., Haisman, P., Dilawari, J., Goff, D.V., Metz, G.L., and Alberti, K.G.M.M. 1978. "Dietary fibres, fibre analogues, and glucose tolerance: Importance of viscosity." **Br. Med. J.** 1 : 1392–1394.
- Jian-xian, Z. 1995. **Functional Foods**. Beijing : China Light Industry Publishing House.
- Jiménez, A., Sánchez-Romero, C., Guillén, R., Fernández-Bolaños, J., and Heredia, A. 1998. "Solubilization of cell wall poly-saccharides from olive fruits into treatment liquids during Spanish green olive processing." **J. Agric. Food Chem.** 46 : 4376–4381.
- Jiménez-Escribano, A., Rincón, M., Pulido, R., and Saura-Calixto, F. 2001. "Guava fruit as a new source of antioxidant dietary fiber." **J. Agric. Food Chem.** 49 : 5489–5493.
- Jimenez-Escrig, A., Rincon, M., Pulido, R., and Saura-Calixto, F. 2001. "Guava fruit (*Psidium guajava* L.) as a new source of antioxidant dietary fiber." **J. Agric. Food Chem.** 49 : 5489-5493.
- Johnson, I.T., and Southgate, D.A.T. 1994. **Dietary fibre and related substances Food safety series no. 3**. London : Chapman & Hall.
- Jung, H.G., and Fahey, G.C. 1983. "Nutritional implications of phenolic monomers and lignin: A review." **J. Anim. Sci.** 57 : 206–219.
- Kethireddipalli, P., Hung, Y-C., McWatters, K.H., and Phillips, R.O. 2002. "Effect of milling method (wet and dry) on the functional properties of cowpea (*Vigna unguiculata*) pastes and end product." **J. Food Sci.** 67 : 48-52.
- Kethireddipalli, P., Hung, Y-C., Phillips, R.O., and Mc Watters, K.H. 2002. "Evaluating the role of cell material and soluble protein in the functionality of cowpea (*Vigna unguiculata*) pastes." **J. Food Sci.** 67 : 53-59.
- Kikuzaki, H., and Nakatani, N. 1993. "Antioxidant effects of some ginger constituents." **J. Food Sci.** 58 : 1407-1410.
- Lambo, A.M., Oste, R., and Nyman, M.E. 2005. "Dietary fibre in fermented oat and barley β-glucan rich concentrates." **Food Chem.** 89 : 283–293.
- Lanza, E. 1990. **Dietary Fiber: Chemistry, Physiology, and Health Effects**. New York : Plenum Press.
- Larrauri, J.A., Ruperez, P., Borroto, B., and Saura Calixto, F. 1996. "Mango peel as a new tropical fiber: Preparation and characterization." **Lebensm. Wiss. Tech.** 29 : 729-733.

- Larrauri, J.A., Ruperez, P., and Saura-Calixto, F. 1996a. "High dietary fiber powders from orange and lime peels: associated polyphenols and antioxidant capacity." **Food. Res. Int.** 29 : 757-762.
- Larrauri, J.A., Goni, I., Martin-Carron, N., Ruperez, P., and Saura-Calixto, F. 1996b. "Measurement of health-promoting properties in fruit dietary fibres: antioxidant capacity, fermentability and glucose retardation index." **J. Sci. Food Agric.** 71 : 515-519.
- Larrauri, J.A., Ruperez, P., and Saura Calixto, F. 1997. "Effect of drying temperature on the antioxidant activity of red grape pomace peel." **J. Agric. Food Chem.** 45 : 1390-1399.
- Larrauri, J.A., Ruperez, P., and Saura-Calixto, F. 1997. "Pineapple shell as a source of dietary fiber with associated polyphenols." **J. Agric. Food Chem.** 45 : 4028-4031.
- Larrauri, J.A., Borroto, B., and Crespo, A. 1997. "Water recycling in processing orange peel to a high dietary fibre powder." **Int. J. Food Sci. & Tech.** 32 : 73-76.
- Larrauri, J.A. 1999. "New approaches in the preparation of High dietary fiber powders from fruit-by products." **Trends Food Sci. Tech.** 10 : 3-8.
- Lario, Y., Sendra, E., Garcia-Perez, J., Fuentes, C., Sayas-Barbera, E., Fernandez-Lopez, J., and Perez-Alvarez, J.A. 2004. "Preparation of high dietary fiber powder from lemon juice by products." **Innovative Food sci. Emerging Tech.** 5 : 113 -117.
- Lee, S.C., Prosky, L., and DeVries, J.W. 1992. "Determination of total, soluble, and insoluble dietary fiber in foods - Enymatic-gravimetric method, MES-TRIS buffer: Collaborative study." **J. AOAC Int.** 75 : 395-416.
- Lefebvre, A.C., Thébaudin, J.Y. 2002. Fibras extraídas de las hortalizas. In Y. Tirilly, and C. Bourgeois (Eds.), **Tecnologia de las Hortalizas**. SA : Acribia/Zaragoza.
- Li BW Cardozo, M.S. 1994. "Determination of total dietary fiber in foods and products with little or no starch, nonenzymatic-gravimetric method: Collaborative study." **J. AOAC Int.** 77 : 687-689.
- Lim, B.O., Yamada, K., Nonaka, M., Kuramoto, Y., Hung, P., and Sugano, M. 1997. "Dietary fibers modulate indices of intestinal immune function in rats." **J. Nutr.** 127 : 663-667.
- LSRO (Life Sciences Research Office). 1987. **Physiological Effects and Health Consequences of Dietary Fiber**. Bethesda : LSRO.

- Lund, E.K, Gee, J.M., Brown, J.C., Wood, P.J., and Johnson, I.T. 1989. "Effect of oat gum on the physical properties of the gastrointestinal contents and on the uptake of D-galactose and cholesterol by rat small intestine in vitro." **Br. J. Nutr.** 62 : 91–101.
- Marin, F.R., Frutos, M.J., Perez-Alvarez, J.A., Martinez-Sanchez, F., and Del Rio, J.A. 2002. "Flavonoids as nutraceuticals: structural related antioxidant properties and their role on ascorbic acid preservation. In Acta-Ur-Rahman (Ed.)." **J. Nat. Prod.** 26 : 324-389.
- Marlett, J.A., Hosig, K.B., Vollendorf, N.W., Shinnick, F.L., Haack, V.S., and Story, J.A. 1994. "Mechanism of serum cholesterol reduction by oat bran." **Hepatology.** 20 : 1450–1457.
- Marlett, J.A. 2000. "Changes in content and composition of dietary fiber in yellow onions and Red Delicious apples during commercial storage." **J. AOAC Int.** 83 : 992–996.
- Martin-Cabrejas, M.A., Esteban, R.M., López-Andreu, F.J., Waldron, K., and Selvendran, R.R. 1995. "Dietary fiber content of pear and kiwi pomaces." **J. Agric. Food Chem.** 43 : 662–666.
- Massiot, P., Guiller, I., Baron, A., and Drilleau, J. 1992. "Cell wall polysaccharides modifications during heat treatment and enzymatic degradation of carrot tissues." **Lebensm. Wiss. Tech.** 20 : 29–36.
- McCleary, B.V., Murphy, A, and Mugford, D.C. 2000. "Measurement of total fructan in foods by enzymatic/spectrophotometric method: Collaborative study." **J. AOAC Int.** 83 : 356–364.
- Meyer, O.C. 1994. "Safety and security of Daflon 500 mg in venous insufficiency and in hemorrhoidal disease." **Angiology.** 45 : 579-584.
- Millard, M.N, and Berset, C. 1995. "Evolution of antioxidant activity during kilning: Role of insoluble bound phenolic acids of barley and malt." **J. Agric. Food Chem.** 43 : 1789-1793.
- Miller, J. 2004. "Dietary fibre intake, disease prevention, and health promotion: An overview with emphasis on evidence from epidemiology." 143–164. in J.M. van der Kamp, N.G. Asp, J. Miller, and G. Schaafsma (Eds.), **Dietary fibre.** Netherlands : Wageningen Academic Publishers.
- Miller, W.C., Niederpruem, M.G., Wallace, J.P., and Lindeman, A.K. 1994. "Dietary fat, sugar, and fiber predict body fat content." **J. Am. Diet. Assoc.** 94 : 612–615.

Ministry of Health and Welfare. 1996. **Regarding the Analytical Methods for Nutritional Components in Connection with Introduction of the Standards for Nutrition Labeling.** Bureau : Environmental Health Bureau.

Mongeau, R., and Brassard, R. 1993. "Enzymatic-gravimetric determination in foods of dietary fiber as sum of insoluble and soluble fiber fractions: Summary of collaborative study." **J. AOAC Int.** 76 : 923–925.

Nagengast, F.M. 1996. "Effect of fibre and resistant starch on bile acid metabolism." 201–202. in Y. Mälkki, & J. H. Cummings (Eds.). **Dietary fibre and fermentation in the colon.** Brussels : European Commission.

Nawirska, A., and Kwasniewska, M. 2005. "Dietary fiber fractions from fruit and vegetable processing waste." **J. Food Chem.** 91 : 221-225.

Nyman, M., Palsson, K.E., and Asp, N.G. 1987. "Effects of processing on Dietary fibre in vegetables." **Lebensm. Wiss. Tech.** 1987 : 29–36.

Olson, B.H., Anderson, S.M., Becker, M.P., Anderson, J.W., Hunninghake, D.B., Jenkins, D.J.A., LaRosa, J.C., Rippe, J.M., Roberts, D.C.K., Stoy, D.B., Summerbell, C.D., Truswell, A.S., Wolever, T.M.S., Morris, D.H., and Fulgoni, V.L. 1997. "Psyllium-enriched cereals lower blood total cholesterol and LDL cholesterol, but not HDL cholesterol, in hypercholesterolemic adults: Results of a meta-analysis." **J. Nutr.** 127 : 1973–1980.

Prosky, L., Asp, N-G., Furda, I., DeVries, J.W., Schweizer, T.F., and Harland, B.F. 1985. "Determination of total dietary fiber in foods and food products: Collaborative study." **J. Assoc. Off Anal. Chem.** 68 : 677–679.

Prosky, L., Asp, N-G., Schweizer, T.F., DeVries, J.W., and Furda, I. 1988. "Determination of insoluble and soluble dietary fiber in foods and food products: interlaboratory study." **J. AOAC Int.** 71 : 1017-1023.

Prosky, L., Asp, N-G., Schweizer, T.F., DeVries, J.W., and Furda, I. 1992. "Determination of insoluble and soluble dietary fiber in foods and food products: Collaborative study." **J. AOAC Int.** 75 : 360–367.

Prosky, L., Asp, N-G., Schweizer, T.F., DeVries, J.W., Furda, I., and Lee, S.C. 1994. "Determination of soluble dietary fiber in foods and food products: Collaborative study." **J. AOAC Int.** 77 : 690–694.

- Quigley, M.E., and Englyst, H.N. 1992. "Determination of neutral sugars and hexosamines by high-performance liquid chromatography with pulsed amperometric detection." **Analyst**. 117 : 1715–1718.
- Reistad, R., and Frølich, W. 1984. "Content and composition of dietary fibre in some fresh and cooked Norwegian vegetables." **Food Chem.** 13 : 209–224.
- Rice Evans, C., Miller, N.J., and Paganda, G. 1997. "Antioxidant properties of phenolic compounds." **Trends Plant Sci.** 2 : 152-159.
- Rimm, E.B., Ascherio, A., Giovannucci, E., Spiegelman, D., Stampfer, M.J., and Willett, W.C. 1996. "Vegetable, fruit, and cereal fiber intake and risk of coronary heart disease among men." **J. Am. Med. Assoc.** 275 : 447–451.
- Ripsin, C.M., Keenan, J.M., Jacobs, D.R., Elmer, P.J., Welch, R.R., Van Horn, L., Liu, K., Turnbull, W.H., Thye, F.W., Kestin, M., Hegsted, M., Davidson, D.M., Davidson, M.H., Dugan, L.D., Demark-Wahnefried, W., and Beling, S. 1992. "Oat products and lipid lowering: A meta-analysis." **J. Am. Med. Assoc.** 267 : 3317–3325.
- Roberfroid, M. 1993. "Dietary fiber, inulin, and oligofructose: A review comparing their physiological effects." **Crit. Rev. Food Sci. Nutr.** 33 : 103–148.
- Robertson, J.A., de Monredon, F.D., Dysseler, P., Guillon, F., Amado, R., and Thibault, J.F. 2000. "Hydration Properties of dietary fiber and resistant starch: a European collaborative study." **Lebensm. Wiss. Tech.** 33 : 72-79.
- Roch, C.Y., Yung, J.C., I, and C.W. 2001. "Effect of temperature, NaCl and lactic starters on sauerkraut fermentation." **Taiwanese J. Agric. Chemists Food Sci.** 39 : 16–22.
- Rodriguez, R., Jiménez, A., Guillén, R., Heredia, A., and Fernández Bolanños, J. 1999a. "Postharvest changes in white asparagus during refrigerated storage." **J. Agric. Food Chem.** 47 : 3551–3557.
- Rodriguez, R., Jiménez, A., Guillén, R., Heredia, A., and Fernández Bolanños, J. 1999b. "Turnover of asparagus cell wall polysaccharides during postharvest storage." **J. Agric. Food Chem.** 47 : 4525–4531.
- Rose, D.P., Goldman, M., Connolly, J.M., and Strong, L.E. 1991. "High-fiber diet reduces serum estrogen concentrations in premenopausal women." **Am. J. Clin. Nutr.** 54 : 520–525.

- Salah, N., Miller, N.J., Paganga, G., Tijburg, L., Bolwell, G.P., and Rice Evans, C. 1995. "Polyphenolic flavonoids as scavenger of aqueous phase radicals and as chain breaking antioxidants." **Archives Biochem. Biophys.** 322 : 339-346.
- Salgado, S.M., Guerra, N.B., and Melo Filho, A.B. 1999. "Frozen fruit pulps: Effects of the processing on dietary fiber contents." **Revista de Nutricao.** 50 : 281-285.
- Salmerón, J., Ascherio, A., Rimm, E.B., Colditz, G.A., Spiegelman, D., Jenkins, D.J., Stampfer, M.J., Wing, A.L., and Willett, W.C. 1997a. "Dietary fiber, glycemic load, and risk of NIDDM in men." **Diab. Care.** 20 : 545-550.
- Salmerón, J., Manson, J.E., Stampfer, M.J., Colditz, G.A., Wing, A.L., and Willett, W.C. 1997b. "Dietary fiber, glycemic load, and risk of non-insulin-dependent diabetes mellitus in women." **J. Am. Med. Assoc.** 277 : 472-477.
- Salvi, M.J., and Rajput, C., 1995. "production, composition, storage and processing." 1-661. In D. K. Salunke, S. S. Kadam, Dekker (Eds.). **Handbook of fruit science and technology.** New York : Marcel Dekker.
- Sanchez-Moreno, C., Larrauri, J.A., and Saura-Calixto, F. 1998. "A procedure to measure the antiradical efficiency of polyphenols." **J. Sci. Food Agric.** 76 : 270-276.
- Saura-Calixto, F.D., and González, I. 1993. "Dietary fibre intakes in Spain." 67-75. in J. H. Cummings, & W. Frolich (Eds.). **Dietary Fibre Intakes in Europe.** Brussels : Commission of the European Communities.
- Saura-Calixto, F. 1998. "Antioxidant dietary fiber product : a new concept and a potential food ingredient." **J. Agric. Food Chem.** 46 : 4303-4306.
- Schatzkin, A., Lanza, E., Corle, D., Lance, P., Iber, F., Caan, B., Shike, M., Weissfeld, J., Burt, R., Cooper, M.R., Kikendall, J.W., and Cahill, J. 2000. "Lack of effect of a low-fat, high-fiber diet on the recurrence of colorectal adenomas." **N. Engl. J. Med.** 342 : 1149-1155.
- Schieber, A., Stintzing, F.C., and Carle, R. 2002. "By-products of plant food processing as a source of functional compounds: Recent developments." **Trends Food Sci. Tech.** 12 : 401-413.
- Schieber, A., Ullrich, W., and Carle, R. 2000. "Characterization of polyphenols in mango puree concentration by HPLC with diode array and mass spectrometric detection." **Innovative Food Sci. Emerg. Tech.** 1 : 161-166.

- Schweizer, T.F., and Würsch, P. 1979. "Analysis of dietary fibre." **J. Sci. Food Agric.** 30 : 613–619.
- Selvendran, R.R., and Robertson, J.A. 1994. "Dietary fiber in foods: Amount and type." 11–20. in R. Amado, & J. L. Barry (Eds.). **Metabolic and Physiological Aspects of Dietary Fiber in Food Luxembourg.** Brussels : Commission of the European Communities.
- Singleton, V.L., and Rossi, Jr. 1965. "Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents." **Am. J. Enol. Vitic.** 76 : 270 – 276.
- Soo, K.M., and Hong, S.R. 1997. "Changes in the contents of dietary fibers and pectin substances during fermentation on Baik-kimchi." **J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.** 26 : 1006–1012.
- Southgate, D.A.T. 1969. "Determination of carbohydrates in foods. II. Unavailable carbohydrates." **J. Sci. Food Agric.** 20 : 331–335.
- Sudhakar, D.V., and Maini, S.B. 2000. "Isolation and characterization of mango peel pectins." **J. Food Process. Preserv.** 24 : 209–227.
- Takeyama, E., Yokokawa, N., and Tanimura, A. 1996. "Changes in polysaccharide components and metal adsorption ability of soybean dietary fiber on heating." **J. Japanese Soc. Food Sci. Tech.** 43 : 231–237.
- Tatjana, K., Terezija, G., Milica, K., and Plestenjak, A. 2002. "Dietary fibre content of dry and processed beans." **Food Chem.** 80 : 231–235.
- Theander, O., and Aman, P. 1979. "Studies on dietary fibres. 1. Analysis and chemical characterization of water-soluble and water-insoluble dietary fibres." **Swedish J. Agric. Res.** 9 : 97–106.
- Theander, O., and Westerlund, E. 1986. "Determination of individual components of dietary fiber." 57–75. in Spiller, G.A. **CRC Handbook of Dietary Fiber in Human Nutrition.** Boca Raton : CRC Press.
- Theander, O., Aman, P., Westerlund, E., Andersson, R., and Pettersson, D. 1995. "Total dietary fiber determined as neutral sugar residues, uronic acid residues, and Klason lignin (the Uppsala method): Collaborative study." **J. AOAC Int.** 78 : 1030–1044.
- Titgemeyer, E.C., Cameron, M.G., Bourquin, L.D., and Fahey, G.C. 1991. "Digestion of cell wall components by dairy heifers fed diets based on alfalfa and chemically treated oat hulls." **J. Dairy Sci.** 74 : 1026–1037.

- Trock, B., Lanza, E., and Greenwald, P. 1990. "Dietary fiber, vegetables, and colon cancer: Critical review and meta-analyses of the epidemiologic evidence." **J. Natl. Cancer Inst.** 82: 650-661.
- Trowell, H.C., Southgate, D.A.T., Wolever, T.M.S., Leeds, A.R., Gassull, M.A., and Jenkins, D.J.A. 1976. "Dietary fibre redefined." **Lancet.** 1 : 967.
- Trowell, H., Burkitt, D., and Heaton, K. 1985. **Definitions of Dietary Fibre and Fibre-depleted Foods Dietary Fibre-depleted Foods and Disease.** London : Academic Press.
- USDA. 2003. **National Nutrient Database for Standard Reference.** Washington, DC : United States Dept. of Agriculture
- USFDA (U.S. Food and Drug Administration). 1987. "Nutrition labeling of food; calorie content." **Federal Regist.** 52 : 28590–28691.
- Vidal-Valverde, C., and Friás, J. 1991. "Legume processing effects on dietary fiber components." **J. Food Sci.** 56 : 1350–1352.
- Vidal-Valverde, C., Friás, J., and Esteban, R. 1992. "Dietary fiber in processed lentils." **J. Food Sci.** 57 : 1161–1163.
- Wesche-Ebeling, P., Escobedo, G., Sanchez, S., Argáiz-Jamet, A., and Lopez-Malo, A. 2005. **Dietary fiber from oats, amaranth seed and mesquite pod: Physical and chemical properties, and in vitro metabolic activity.** [online]. Available : <http://ift.confex.com/ift/98annual/techprogram/accepted/572.html>. (Accessed 8/12/2006)
- Wolever, T.M.S., and Jenkins, D.J.A. 1993. "Effect of dietary fiber and foods on carbohydrate metabolism." 111–152. in Spiller, G.A. **CRC Handbook of Dietary Fiber in Human Nutrition.** Boca Raton : CRC Press.
- Wolfe, K.E., and Liu, R.H. 2003. "Apples peels as value-added food ingredient." **J. Agric. Food Chem.** 51 : 1676-1683.
- Wolk, A., Manson, J.E., Stampfer, M.J., Colditz, G.A., Hu, F.B., Speizer, F.E., Hennekens, C.H., and Willett, W.C. 1999. "Long-term intake of dietary fiber and decreased risk of coronary heart disease among women." **J. Am. Med. Assoc.** 281 : 1998–2004.
- Wood, P.J., Braaten, J.T., Scott, F.W., Riedel, K.D., Wolynetz, M.S., and Collins, M.W. 1994. "Effect of dose and modification of viscous properties of oat gum on plasma glucose and insulin following an oral glucose load." **Br. J. Nutr.** 72 : 731–743.

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ละลายน้ำได้

(Enzymatic-Gravimetric method : AOAC,1995)

การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ละลายน้ำได้ จะใช้ชุดวิเคราะห์ใยอาหารและชุดวิเคราะห์โปรตีนในการวิเคราะห์ โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

ปริมาณใยอาหารทั้งหมด

ขั้นตอนการย่อยและตกตะกอน

1. ชั่งตัวอย่าง (M_1 , M_2) 1 ± 0.005 กรัม ใส่บีกเกอร์ทรงสูง 400 มิลลิลิตร โดยมี Blank (B_1 , B_2) เพื่อควบคุมความแปรปรวนจากการใช้สารเคมี
2. เติมน้ำ MES-TRIS Buffer (pH 8.2) ปริมาตร 40 มิลลิลิตร ลงในแต่ละบีกเกอร์ คนให้ตัวอย่างกระจายตัวสม่ำเสมอ
3. เติมน้ำ heat-stable α -amylase ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ปิดปากบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ คนอย่างสม่ำเสมอโดยใช้แท่งแม่เหล็กที่ความเร็วต่ำในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 95-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที
4. นำออกจากอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงเหลือประมาณ 60 องศาเซลเซียส
5. เติมน้ำ protease ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ปิดปากบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ คนที่ความเร็วต่ำในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
6. เติมน้ำกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.561 นอร์มอล ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ขณะที่คน จากนั้นเติมน้ำ amyloglucosidase ปริมาตร 300 ไมโครลิตร ปิดปากบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ คนความเร็วต่ำในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
7. เติมน้ำเอทานอล 95% ที่อุ่น (60 องศาเซลเซียส) ปริมาตร 225 มิลลิลิตร (อัตราส่วนเอทานอลต่อปริมาณของตัวอย่าง ควรจะเป็น 4:1) นำออกจากอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ แล้วปล่อยให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิห้องใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง

ขั้นตอนการกรอง

8. เตรียม crucible สำหรับใช้ในการกรองโดยนำ crucible ไปอบในเตาเผา (muffle furnace) ที่ 525 องศาเซลเซียส ข้ามคืน ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วล้างด้วยน้ำและปล่อยให้แห้ง
9. ชั่ง diatomaceous earth ประมาณ 1 กรัม ใส่ลงใน crucible และนำไปอบที่ 130 องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนัก crucible ที่มี diatomaceous earth (D)

10. นำ crucible ที่มี diatomaceous earth ไปใส่ในเครื่องกรอง เทสารละลายปฏิกิริยาที่ได้จากข้อ 7 ลงไป เปิดปั๊มดูดเอาสารละลายที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ออก
11. ล้างสารที่อยู่ใน crucible ด้วย 78% เอทานอล 95% เอทานอล และอะซิโตน ปริมาตร 15 มิลลิลิตร 2 ครั้งตามลำดับ
12. นำ crucible ที่มีสารที่ได้จากการกรองและ diatomaceous earth ไปอบให้แห้งที่ 105 องศาเซลเซียส ซ้ำมึนในตู้อบจนน้ำหนักคงที่ หลังจากนั้นนำออกมาทิ้งไว้ให้เย็นใน desiccator และนำไปชั่งน้ำหนัก (B) นำน้ำหนักที่ชั่งได้ลบออกจากรน้ำหนัก crucible ที่มี diatomaceous earth (D) จะได้น้ำหนักตัวอย่างที่เหลือจากขั้นตอนการย่อยและการกรอง (Sample residue, R)
13. นำตัวอย่าง M_1 ที่เหลือใน crucible ไปวิเคราะห์โปรตีนที่ย่อยไม่ได้ (undigestible protein) ด้วยวิธี Kjeldahl ส่วนตัวอย่าง M_2 นำไปวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า โดยนำไปเผาในเตาเผาที่ 525 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นใน desiccator และนำไปชั่งน้ำหนัก (C) นำน้ำหนักที่ชั่งได้ลบออกจากรน้ำหนัก crucible ที่มี diatomaceous earth (D) จะได้น้ำหนักเถ้า (Ash on sample residue, A)

ปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

ขั้นตอนการย่อย

1. ขั้นตอนการย่อยทำเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ใยอาหารทั้งหมดในข้อ 1-6 แต่ไม่ต้องตกตะกอนด้วยเอทานอล

ขั้นตอนการกรอง

2. เตรียม crucible ที่ทำความสะอาดแล้ว อบในเตาเผาที่ 525 องศาเซลเซียส ประมาณ 6 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วล้างด้วยน้ำและปล่อยให้แห้ง
3. ชั่ง diatomaceous earth ประมาณ 1 กรัม ใส่ลงใน crucible และนำไปอบที่ 130 องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนัก crucible ที่มี diatomaceous earth (D)
4. นำ crucible ที่มี diatomaceous earth ไปใส่ในเครื่องกรอง เทสารละลายปฏิกิริยาที่ได้จากขั้นตอนการย่อยลงไป เปิดปั๊มดูดเอาสารละลายที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ออก
5. ล้างสารที่อยู่ใน crucible ด้วยน้ำที่มีอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ปริมาตร 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง
6. ล้างสารที่อยู่ใน crucible ด้วย 78% เอทานอล 95% เอทานอล และอะซิโตน ปริมาตร 15 มิลลิลิตร 2 ครั้ง ตามลำดับ
7. นำไปอบให้แห้งที่ 105 องศาเซลเซียส ซ้ำมึนในตู้อบจนน้ำหนักคงที่และวิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำเช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์ใยอาหารทั้งหมด

ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำได้

ขั้นตอนการย่อยและการแยกใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

1. ขั้นตอนการย่อยและการกรองทำเช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ แต่ในข้อที่ 4 ให้เก็บสารละลายที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ที่ได้จากการกรองไว้ใน บีกเกอร์ทรงสูง 600 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นใยอาหารส่วนที่ละลายน้ำได้

ขั้นตอนการตกตะกอนและการกรอง

2. ล้างสารที่อยู่ใน crucible ด้วยน้ำที่มีอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ปริมาตร 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง เก็บน้ำที่ได้จากการล้างไปรวมกับสารละลายที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้อ 1
3. เติมนิเอทานอล 95% ที่อุ่นให้มีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (อัตราส่วนนิเอทานอลต่อ ปริมาตรของตัวอย่าง ควรจะเป็น 4:1) ปลอຍให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิห้องใช้เวลา ประมาณ 1 ชั่วโมง
4. นำไปกรองตามขั้นตอนการกรองและวิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำได้ เช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด

การวิเคราะห์โปรตีน (Kjeldahl method)

1. นำตัวอย่าง M_1 ที่ผ่านขั้นตอนการวิเคราะห์ใยอาหารใน crucible มาชั่งน้ำหนักแล้วใส่ ลงในหลอดสำหรับวิเคราะห์โปรตีน
2. เติมหะตะติสต์ที่เป็นสารผสมของ $\text{SeO}_2 : \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} : \text{K}_2\text{SO}_4$ ในอัตราส่วน 1 : 8 : 40 ปริมาตร 7 กรัม
3. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น (93-95%) ปริมาตร 15 มิลลิลิตร
4. นำไปเข้าเครื่องย่อยใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมงจนได้สารละลายสีเขียวใส
5. นำไปเข้าชุดกลั่นโปรตีน
6. เก็บก๊าซที่ได้จากการกลั่นลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตรที่บรรจุกรดบอริก 2 % ปริมาตร 60 มิลลิลิตร แล้วเติม mixed indicator (ซึ่งเตรียมโดยนำ 0.1% Bromocresol green ในนิเอทานอล 95% มา 10 มิลลิลิตร ผสมกับ 0.1% Methyl red ในนิเอทานอล 95% ปริมาตร 2 มิลลิลิตร) 3-5 หยด
7. นำไปไทเทรตกับกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล
8. คำนวณปริมาณโปรตีน (P) จากสูตร

$$\text{ปริมาณโปรตีน (P)} = \frac{N_{\text{HCl}} \times V_{\text{HCl}} \times 14 \times 6.25}{\text{นน. ตัวอย่าง (กรัม)} \times 1000}$$

เมื่อ N_{HCl} คือ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรต (นอร์มอล)
 V_{HCl} คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)

การคำนวณ

1. Blank (B, mg)

$$B = [(BR_1 + BR_2)/2] - P_B - A_B$$

เมื่อ BR_1, BR_2 = Blank Residue (g)

P_B = Protein on blank residue (g)

A_B = Ash on blank residue (g)

2. Dietary fiber (DF, g/100 g)

$$DF = \{[(R_1 + R_2)/2] - P - A - B\} / [(M_1 + M_2)/2] \times 100$$

เมื่อ R_1, R_2 = Sample Residue (g)

P = Protein on sample residue (g)

A = Ash on sample residue (g)

B = Blank weight (g)

M_1, M_2 = Sample weight (g)

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (Brand-Williams *et al.*, 1995)

วิธีการ

ขั้นตอนการเตรียมสารสกัดตัวอย่าง

1. ชั่งตัวอย่างใยอาหารผงที่เตรียมได้ 3.85 กรัม ใส่ขวดก้นกลม ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมเอทานอล 95% ปริมาตร 50 มิลลิลิตร
3. สกัดด้วยวิธีการรีฟลักซ์ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. กรองสารสกัดตัวอย่างที่ได้ด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 โดยใช้กรวยบุชเนอร์
5. ปรับปริมาตรของสารสกัดตัวอย่างที่ได้ในขวดวัดปริมาตรให้เป็น 50 มิลลิลิตร ด้วยเอทานอล 95%
6. เจือจางสารสกัดตัวอย่างที่ได้ โดยปิเปตสารสกัดจากขวดในข้อ 5 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรและปรับปริมาตรให้เป็น 50 มิลลิลิตร ด้วยเอทานอล 95%

หมายเหตุ ปริมาณตัวอย่างที่ชั่งได้จากการคำนวณให้เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เพื่อเปรียบเทียบกับวิตามินอีตามเกณฑ์ที่แนะนำโดย Saura-Calixto (1998) เท่านั้น ซึ่งปริมาณตัวอย่างอาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นกับความเข้มข้นและปริมาตรของสารละลาย DPPH ที่ใช้ในขั้นตอนการวิเคราะห์

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. ปิเปตสารสกัดตัวอย่างจากขวดในข้อ 6 ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร เติมลงในหลอดทดลองที่มีสารละลาย DPPH ในเอทานอล 95% ความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์ ปริมาตร 3.9 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที (สำหรับ control ให้ใช้เอทานอล 95% แทนสารตัวอย่าง)
2. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 515 นาโนเมตร
3. คำนวณค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH จากสูตร

$$\% \text{ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH} = \left[1 - \frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง}}{\text{ค่าการดูดกลืนแสงของ control}} \right] \times 100$$

ขั้นตอนการเตรียมสารละลายวิตามินอี (DL- α -tocopherol)

สำหรับการเตรียมสารละลายวิตามินอีเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เปรียบเทียบกับตัวอย่างใยอาหารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจะใช้เกณฑ์ที่แนะนำโดย Saura-Calixto (1998) โดยที่ใยอาหารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน 1 กรัม ควรมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับวิตามินอีอย่างน้อย 50 มิลลิกรัม มีขั้นตอนดังนี้

1. ชั่งวิตามินอี 0.77 กรัม ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมเอทานอล 95 % และปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร
2. เจือจางโดยการปิเปตสารละลายจากขวดข้างต้นปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมเอทานอล 95 % และปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร
3. นำไปวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เช่นเดียวกับสารสกัดตัวอย่าง

หมายเหตุ ปริมาณวิตามินอีที่ชั่งได้จากการคำนวณให้เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เพื่อเปรียบเทียบกับใยอาหารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันตามเกณฑ์ที่แนะนำโดย Saura-Calixto (1998) เท่านั้น ซึ่งปริมาณวิตามินอีสามารถเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นกับความเข้มข้นและปริมาตรของสารละลาย DPPH และปริมาณตัวอย่างใยอาหารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ใช้

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมัน

Ferric thiocyanate colorimetric method (FTC)

(Kikuzaki and Nakatani 1993)

วิธีการ

ขั้นตอนการเตรียมสารสกัดตัวอย่าง

1. ชั่งตัวอย่างไขมันอาหารผงที่เตรียมได้ 3.85 กรัม ใส่ขวดก้นกลม ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมหาเซล (95%) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร
3. สกัดด้วยวิธีการรีฟลักซ์ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. กรองสารสกัดตัวอย่างที่ได้ด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 โดยใช้กรวยบุชเนอร์
5. ปรับปริมาตรของสารสกัดตัวอย่างที่ได้ในขวดวัดปริมาตรให้เป็น 50 มิลลิลิตร ด้วยมหาเซล 95%
6. เจือจางสารสกัดตัวอย่างที่ได้ โดยปิเปตสารจากขวดในข้อ 5 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรปรับปริมาตรให้เป็น 50 มิลลิลิตร ด้วยมหาเซล 95%

หมายเหตุ ปริมาณตัวอย่างที่ชั่งได้จากการคำนวณให้เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันเพื่อเปรียบเทียบกับวิตามินอีตามเกณฑ์ที่แนะนำ โดย Saura-Calixto (1998) เท่านั้น ซึ่งปริมาณตัวอย่างสามารถเปลี่ยนแปลงได้

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. ปิเปตสารสกัดตัวอย่างจากขวดในข้อ 6 ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองฝาเกลียว (สำหรับ control ใช้น้ำกลั่นแทนสารละลายตัวอย่าง)
2. เติมหาเซลกรดลิโนเลอิก (linoleic acid) เพิ่มขึ้น 2.51% ในมหาเซล 99.5% ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร
3. เติมหาเซลละลาย phosphate buffer เพิ่มขึ้น 0.05 โมลาร์ (pH 7.0) ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร
4. เติมน้ำกลั่น 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ปิดฝาแล้วนำไปเก็บในที่มืด ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส
5. ปิเปตสารละลายปฏิกิริยาข้างต้นที่เวลาของปฏิกิริยาทุกๆ 24 ชั่วโมงเป็นเวลา 96 ชั่วโมงมา 0.1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง
6. เติมหาเซล 75% ปริมาตร 9.7 มิลลิลิตร

7. เติมนิยามโซไอโอไซยาเนต (ammonium thiocyanate) ความเข้มข้น 30% ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร
8. เติมนิยามคลอไรด์ (ferrous chloride) ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ ในกรดไฮโดรคลอริก 3.5% ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันทิ้งไว้เป็นเวลา 3 นาที
9. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 นาโนเมตร
10. คำนวณค่าความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันจากสูตร

$$\begin{array}{l} \text{\% ความสามารถ} \\ \text{ในการยับยั้ง} \\ \text{การเกิดออกซิเดชันของไขมัน} \end{array} = 100 - \left[\frac{(\text{Asample}_{96h}) / (\text{Asample}_{0h})}{(\text{Acontrol}_{96h}) / (\text{Acontrol}_{0h})} \times 100 \right]$$

ขั้นตอนการเตรียมสารละลายวิตามินอี (DL- α -tocopherol)

สำหรับการเตรียมสารละลายวิตามินอีเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันเปรียบเทียบกับตัวอย่างไขมันอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจะใช้เกณฑ์ที่แนะนำโดย Saura-Calixto (1998) โดยที่ไขมันอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน 1 กรัม ควรมีความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันเท่ากับวิตามินอีอย่างน้อย 200 มิลลิกรัม มีขั้นตอนดังนี้

1. ชั่งวิตามินอี 0.0154 กรัม ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร เติมนิยามอล 95% และปรับปริมาตรให้เป็น 50 มิลลิลิตร
2. นำไปวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมัน เช่นเดียวกับสารสกัดตัวอย่าง

หมายเหตุ ปริมาณวิตามินอีที่ชั่งได้จากการคำนวณให้เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันเพื่อเปรียบเทียบกับไขมันอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันตามเกณฑ์ที่แนะนำโดย Saura-Calixto (1998) เท่านั้น ซึ่งปริมาณวิตามินอีสามารถเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นกับปริมาณตัวอย่างไขมันอาหารด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ใช้

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (Singleton *et al.*, 1998)

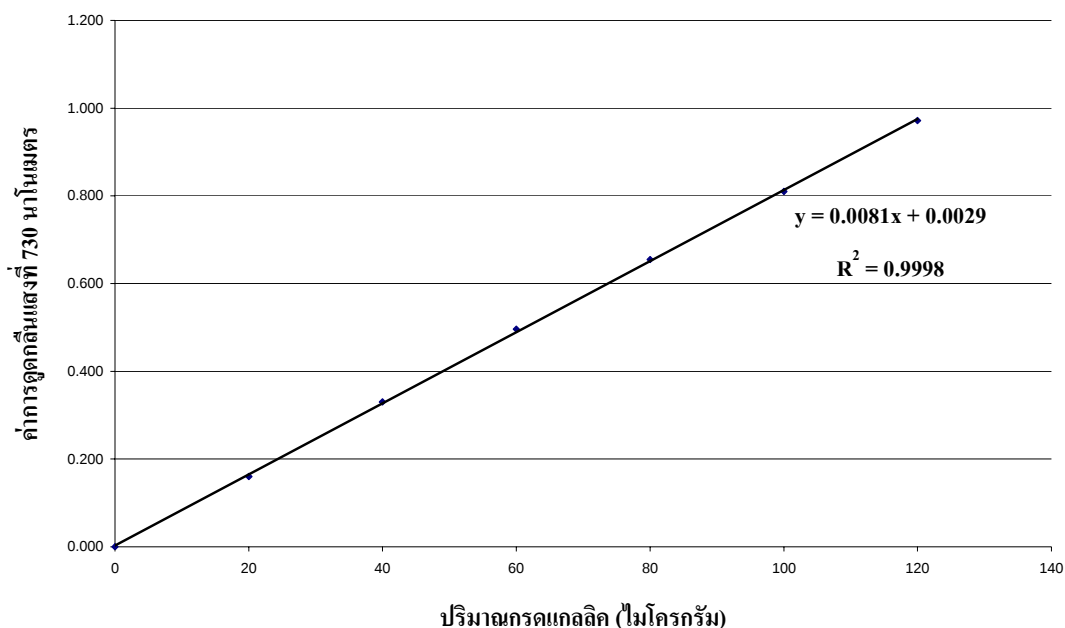
วิธีการ

การเตรียมกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก

1. ชั่งกรดแกลลิก 0.04 กรัม ละลายในเอทานอล 95% ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร
2. เตรียมหลอดทดลองที่มีสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกที่มีความเข้มข้นต่างกันดังตาราง

หลอดทดลองที่	สารละลายแกลลิก (มิลลิลิตร)	น้ำกลั่น (มิลลิลิตร)	ปริมาณกรดแกลลิก (ไมโครกรัม)
1	0	10	0
2	0.05	9.95	20
3	0.10	9.90	40
4	0.15	9.85	60
5	0.20	9.80	80
6	0.25	9.75	100
7	0.30	9.75	120

3. เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu 0.5 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองแต่ละหลอด เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที
4. เติมสารละลายละลาย Na_2CO_3 เข้มข้น 10% จำนวน 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที
5. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงดังกล่าวกับปริมาณกรดแกลลิกเป็นไมโครกรัม



รูปที่ ๑1 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณกรดแกลลิก

ขั้นตอนการเตรียมสารสกัดตัวอย่าง

1. ชั่งตัวอย่างโยอาหารผงที่เตรียมได้ 3.85 กรัม ใส่ขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำเอธานอล 95% ปริมาตร 50 มิลลิลิตร
3. สกัดด้วยวิธีการรีฟลักซ์ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. กรองสารสกัดตัวอย่างที่ได้ด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 โดยใช้กรวยบุชเนอร์
5. ปรับปริมาตรของสารสกัดตัวอย่างที่ได้ในขวดวัดปริมาตรให้เป็น 50 มิลลิลิตร ด้วยเอธานอล 95%

ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่าง

1. ปิเปตสารสกัดตัวอย่างจากขวดในข้อ 5 ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองและเติมน้ำกลั่น 9.5 มิลลิลิตร (สำหรับ blank ใช้เอธานอล 95% แทนสารตัวอย่าง)
2. เติมน้ำละลาย Folin-Ciocalteu ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที
3. เติมน้ำละลายละลาย Na_2CO_3 เข้มข้น 10% ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที
4. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างจากกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก

ภาคผนวก จ

การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับน้ำ (Robertson *et al.*, 2000)

วิธีการ

1. ชั่งใยอาหารผง 3 กรัม ใส่ในหลอดสำหรับเครื่องหมุนเหวี่ยง
2. เติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร และตั้งทิ้งไว้จนกระทั่งถึงสภาวะสมดุล (ประมาณ 18 ชั่วโมง)
3. นำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 3,000 x g เป็นเวลา 20 นาที
4. รินส่วนของเหลวด้านบนออกและเก็บส่วนที่เป็นตะกอนด้านล่างไปชั่งน้ำหนัก (residue fresh weight)
5. นำตะกอนที่ชั่งน้ำหนักแล้วไปทำให้แห้งโดยการเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่
6. ชั่งน้ำหนักตะกอนที่แห้งแล้ว (residue dry weight)
7. คำนวณหาความสามารถในการดูดซับน้ำ (water holding capacity : WHC) จากสูตร

$$\text{WHC (g / g)} = \frac{\text{Residue fresh weight} - \text{Residue dry weight}}{\text{Residue dry weight}}$$

ภาคผนวก ฉ

การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (Robertson *et al.*, 2000)

วิธีการ

1. ชั่งใยอาหารผง 3 กรัม ใส่ในหลอดสำหรับเครื่องหมุนเหวี่ยง
2. เติมน้ำมัน 30 มิลลิลิตร และตั้งทิ้งไว้จนกระทั่งถึงสภาวะสมดุล (ประมาณ 18 ชั่วโมง)
3. นำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 3,000 x g เป็นเวลา 20 นาที
4. นำส่วนของเหลวด้านบนออกและเก็บส่วนที่เป็นตะกอนด้านล่างไปชั่งน้ำหนัก (residue fresh weight)
5. นำตะกอนที่ชั่งน้ำหนักแล้วไปทำการสกัดไขมันออก โดยใช้เครื่องสกัดไขมัน (soxhlet)
6. นำตะกอนที่สกัดไขมันออกแล้วไปชั่งน้ำหนัก (residue dry weight)
7. คำนวณหาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (oil absorption capacity : OAC) จากสูตร

$$\text{OAC (g / g)} = \frac{\text{Residue fresh weight} - \text{Residue dry weight}}{\text{Residue dry weight}}$$

ประวัติผู้เขียน

นาย เกรียงศักดิ์ ภูมิต เกิดวันที่ 8 ธันวาคม พ.ศ. 2522 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
คุณทหารลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพฯ ปีการศึกษา 2544 ศึกษาต่อในระดับวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร ปี
การศึกษา 2545 และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2549