



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การเพิ่มมูลค่ากากสมุนไพรไทยบางชนิดที่เป็นส่วนเหลือทิ้ง
จากกระบวนการสกัดโดยใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารเพื่อสุขภาพ

Value Added of Some Thai Herbs Residue
from Wastes Extraction Process as Functional Food Ingredients

ผศ.ดร.วิชมณี ยืนยงพุทธกาล

หัวหน้าโครงการวิจัย

ผศ.ดร.สันทัต วิเชียรโชติ

ผู้ร่วมวิจัย

ดร.อุดมลักษณ์ สุขอัครตะ

ผู้ร่วมวิจัย

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้
จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๕๙

มหาวิทยาลัยบูรพา

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การเพิ่มมูลค่ากากสมุนไพรไทยบางชนิดที่เป็นส่วนเหลือทิ้ง
จากกระบวนการสกัดโดยใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารเพื่อสุขภาพ

Value Added of Some Thai Herbs Residue
from Wastes Extraction Process as Functional Food Ingredients

ผศ.ดร.วิชมณี ยืนยงพุทธกาล¹

หัวหน้าโครงการวิจัย

ผศ.ดร.สันทัต วิเชียรโชติ²

ผู้ร่วมวิจัย

ดร.อุดมลักษณ์ สุขอัสตะ³

ผู้ร่วมวิจัย

¹ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

²สถานวิจัยผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและอาหารเพื่อสุขภาพ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

³สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สิงหาคม 2560

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 103/2559 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัย ได้แก่ นางสาวสุรางค์ ทองสุวรรณ นางสาววัชรี บุญถนอม นางสาวกิตติยา นิลวดี และนางสาวปุณญิศา ศรีหาญ ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทำงานวิจัย รวมถึงขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ และนิสิตภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร รวมถึงผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้

คณะผู้วิจัย
สิงหาคม 2560

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาวิธีการสกัดเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมและกากชিং และการนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารเพื่อสุขภาพ สำหรับกรณีของกากมะตุม จากการศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการสกัดด้วยน้ำ ได้แก่ สกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 และ 120 นาที สกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 และ 120 นาที และไม่ผ่านการสกัดด้วยน้ำ พบว่า สภาวะการสกัดด้วยน้ำมีผลต่อปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ค่าสี และปริมาณผลได้ ($p < 0.05$) โดยวิธีการสกัดด้วยน้ำที่เหมาะสมที่สุดที่ได้ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดมากที่สุด คือ การสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที จากการศึกษาผลของการสกัดด้วยเอทานอลต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุม พบว่า การสกัดกากมะตุมด้วยน้ำและเอทานอลร่วมกัน ทำให้ได้เส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมที่มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำมากกว่าการสกัดด้วยน้ำเพียงอย่างเดียว รวมถึงมีผลให้สมบัติเชิงหน้าที่ด้านความสามารถในการละลาย และความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารผงมากขึ้นด้วย และจากการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมที่ผลิตได้ในปริมาณ 0-1.5% ในไอศกรีมไขมันต่ำ พบว่า การเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุม 1% ในไอศกรีมไขมันต่ำ เป็นปริมาณการเติมที่เหมาะสมที่สุด โดยได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง สำหรับกรณีของกากชিং จากการศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการสกัดกากชিংด้วยน้ำ ได้แก่ สกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 และ 60 นาที สกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 และ 60 นาที และไม่ผ่านการสกัดด้วยน้ำ พบว่า สภาวะการสกัดมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด ค่าสี และปริมาณผลได้ ($p < 0.05$) โดยวิธีการสกัดด้วยน้ำที่เหมาะสมที่สุดที่ได้ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดมากที่สุด คือ การสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที จากการศึกษาผลของการนำกากชিংมาสกัดต่อด้วยเอทานอลเป็นเวลา 0 6 12 และ 24 ชั่วโมง พบว่า การสกัดต่อด้วยเอทานอลทุกสภาวะ มีผลให้มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดสูงขึ้น แต่มีผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติสารต้านอนุมูลอิสระลดลง ($p < 0.05$) โดยพบว่าการสกัดด้วยเอทานอลมีผลให้เกิดรสขมตกค้าง ผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่ พบว่า เส้นใยอาหารผงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที มีความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน และความสามารถในการพองตัว มากกว่าเส้นใยอาหารผงจากกากชিংไม่ผ่านการสกัด จากการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিংที่ผลิตได้แทนที่เนยปริมาณ 0-15% ในคุกกี้ชูการ์สแนป พบว่า การเติมเส้นใยอาหารผงแทนที่เนย 5% ในคุกกี้ชูการ์สแนป เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุด โดยได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

Abstract

This research was to study the extraction method of dietary fiber powder from bael and ginger residue and application as functional food ingredients. For bael residue, the effects of temperature and time of water extraction were varied as: temperature at 70°C for 60 and 120 min, temperature at 90°C for 60 and 120 min and without water extraction. It was found that the condition of water extraction significantly effected on the content of insoluble fiber, soluble fiber, total dietary fiber, total sugar, colors and yield of bael residue dietary fiber powder ($p < 0.05$). The most appropriate water extraction condition which contained highest content of total dietary fiber was at temperature of 90°C for 60 min. Then the effect of ethanol extraction on the quality of dietary fiber powder from bael residue was studied. It was found dietary fiber powder from water extraction combined with ethanol extraction contained higher content of total dietary fiber and insoluble dietary fiber than dietary fiber powder from water extraction alone. Moreover, functional properties in terms of solubility, and water holding capacity of dietary fiber powder were also increased. The effect of 0-1.5% dietary fiber powder from bael residue addition to low fat ice cream was evaluated. The most appropriate formulation was addition of dietary fiber powder from bael residue at 1% in low fat ice cream which received the overall liking score at slightly like to moderately like level. For ginger residue, the effects of water extraction condition was studies as following: at room temperature for 30 and 60 min, at 90°C for 30 and 60 minutes and without water extraction. It was found that the condition of water extraction significantly effected on total phenolic compound content, antioxidant activity, insoluble dietary fiber content, total dietary fiber content, colors value and yield ($p < 0.05$). The most appropriate water extraction condition which contained highest content of total dietary fiber was at temperature of 90°C for 60 minutes. Then the further ethanol extraction was studied varying extraction time as 0 6 12 and 24 hours. It was found that dietary fiber powder from water extraction combined with ethanol extraction contained higher content of total dietary fiber but total phenolic compound content and antioxidant activity were decreased ($p < 0.05$). There was a bitter residue in dietary fiber powder produced from all conditions of ethanol extraction. As a result, functional properties of dietary fiber powder produced from water extraction at 90°C for 60 minutes had better performance in terms of water holding capacity, oil binding capacity and swelling capacity than dietary fiber powder produced without water extraction. The addition of dietary fiber powder from ginger residue replaced butter for 0-15% in sugar snaps cookies products were evaluated. The most appropriate formulation was replaced butter with dietary fiber powder at 5% in sugar-snap cookies which received the overall liking score at slightly like to moderately like level.

สารบัญ

		หน้า
	กิตติกรรมประกาศ.....	ก
	บทคัดย่อ.....	ข
	Abstract.....	ค
	สารบัญ.....	ง
	สารบัญตาราง.....	จ
	สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่		
1	บทนำ.....	1
2	การตรวจเอกสาร.....	4
3	วิธีดำเนินการทดลอง.....	29
4	ผลการทดลองและวิจารณ์.....	42
5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	92
	บรรณานุกรม.....	94
	ภาคผนวก.....	104
	ประวัตินักวิจัย.....	128

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	สูตรพื้นฐานของขนมปัง เค้ก คุกกี้ชูการ์สแนป และวอฟเฟิล.....	17
3-1	สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรอุณหภูมิและเวลาในการสกัดเส้นใยอาหารจากกากมะตูมด้วยน้ำ.....	31
3-2	สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรอุณหภูมิและเวลาการสกัดเส้นใยอาหารจากกากขิงด้วยน้ำ.....	34
3-3	รายละเอียดส่วนผสมไอศกรีมไขมันต่ำสูตรพื้นฐาน.....	39
3-4	ส่วนผสมคุกกี้ชูการ์สแนปสูตรลดน้ำตาลที่แทนที่เนยด้วยเส้นใยอาหารผงจากกากขิง.....	40
4-1	องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของกากมะตูม.....	42
4-2	องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของกากขิง.....	42
4-3	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของกากมะตูม.....	43
4-4	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของกากขิง.....	43
4-5	ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ไม่ผ่านและผ่านการสกัดด้วยน้ำที่สภาวะต่างๆ.....	46
4-6	ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ไม่ผ่านและผ่านการสกัดด้วยน้ำที่สภาวะต่างๆ.....	46
4-7	ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ไม่ผ่านและผ่านการสกัดด้วยน้ำที่สภาวะต่างๆ.....	47
4-8	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ไม่ผ่านและผ่านการสกัดด้วยน้ำที่สภาวะต่างๆ.....	48
4-9	ค่าสี L^* a^* b^* ของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ไม่ผ่านและผ่านการสกัดด้วยน้ำที่ สภาวะต่างๆ.....	50
4-10	ปริมาณผลได้ของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ไม่ผ่านและผ่านการสกัดด้วยน้ำที่สภาวะต่างๆ.....	51
4-11	ปริมาณเส้นใยอาหารของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่สกัดด้วยน้ำอย่างเดียวและสกัดด้วยน้ำและเอทานอล.....	53

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-12	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมที่สกัดด้วยน้ำอย่างเดี่ยวและสกัดด้วยน้ำและเอทานอล	53
4-13	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมที่สกัดด้วยน้ำอย่างเดี่ยวและสกัดด้วยน้ำและเอทานอล.....	54
4-14	ค่าสี $L^* a^* b^*$ ของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมที่สกัดด้วยน้ำอย่างเดี่ยวและสกัดด้วยน้ำและเอทานอล.....	55
4-15	สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าคุณภาพต่างๆ จากการแปรปัจจัยด้านอุณหภูมิและเวลาการสกัดเส้นใยอาหารจากกากขิงด้วยน้ำ.....	56
4-16	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	57
4-17	ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (IDF) ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (SDF) และปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (TDF) ของเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	60
4-18	ค่าสี $L^* a^*$ และ b^* ของเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ และเวลาต่างๆ.....	63
4-19	ปริมาณผลได้ของเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำที่สภาวะต่างๆ.....	63
4-20	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและผ่านการสกัดต่อด้วยเอทานอลที่เวลาต่างๆ.....	64
4-21	ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (IDF) ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (SDF) และปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (TDF) ของเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและผ่านการสกัดต่อด้วยเอทานอลที่เวลาต่างๆ.....	65
4-22	ค่าสี $L^* a^*$ และ b^* ของเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและผ่านการสกัดต่อด้วยเอทานอลที่เวลาต่างๆ.....	67
4-23	ปริมาณผลได้ของเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและผ่านการสกัดต่อด้วยเอทานอลที่เวลาต่างๆสุญญากาศ.....	68

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-24	คะแนนความเข้มจากการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและผ่านการสกัดต่อด้วยเอทานอลที่เวลาต่างๆ ในลักษณะผงแห้ง.....	70
4-25	คะแนนความเข้มจากการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและผ่านการสกัดต่อด้วยเอทานอลที่เวลาต่างๆ ในลักษณะสารละลาย.....	70
4-26	สมบัติเชิงหน้าที่ด้านความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน ความสามารถในการพองตัว และความสามารถในการเกิดอิมัลชันของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ไม่ผ่านและผ่านการสกัด.....	71
4-27	สมบัติเชิงหน้าที่ด้านความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน ความสามารถในการพองตัว และความสามารถในการเกิดอิมัลชันของเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ไม่ผ่านและผ่านการสกัด.....	71
4-28	ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ และปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดของไอศกรีมไขมันต่ำที่เติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมปริมาณต่างๆ.....	75
4-29	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของไอศกรีมไขมันต่ำที่เติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมปริมาณต่างๆ.....	76
4-30	ปริมาณไขมันของไอศกรีมไขมันต่ำที่เติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมปริมาณต่างๆ.....	77
4-31	ค่าสี L* a* b* ของไอศกรีมไขมันต่ำที่เติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมปริมาณต่างๆ.....	80
4-32	ค่าการขึ้นฟูของไอศกรีมไขมันต่ำที่เติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมปริมาณต่างๆ.....	81
4-33	คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมที่แปรปริมาณการเติมเส้นใยอาหาร ผงจากกากมะตูมระดับต่างๆ.....	82
4-34	ปริมาณความชื้นของคุกกี้ชูการ์สแนปที่แทนที่เนยด้วยเส้นใยอาหารผงจากกากขิงปริมาณต่างๆ.....	84

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-35	ปริมาณไขมันของคุกกี้ช็อกโกแลตที่แทนที่เนยด้วยเส้นใยอาหารผงจากกากชিংปริมาณต่างๆ.....	85
4-36	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของคุกกี้ช็อกโกแลตที่แทนที่เนยด้วยเส้นใยอาหารผงจากกากชিংปริมาณต่างๆ.....	85
4-37	ปริมาณเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำ ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ และปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดของคุกกี้ช็อกโกแลตที่แทนที่เนยด้วยเส้นใยอาหารผงจากกากชিংปริมาณต่างๆ.....	86
4-38	ค่าสี L^* a^* และ b^* ของคุกกี้ช็อกโกแลตที่แทนที่เนยด้วยเส้นใยอาหารผงจากกากชিং ปริมาณต่างๆ.....	87
4-39	อัตราการแผ่ขยาย (Spread ratio) และค่าความแข็ง (Hardness) ของคุกกี้ช็อกโกแลตที่แทนที่เนยด้วยเส้นใยอาหารผงจากกากชিংปริมาณต่างๆ.....	89
4-40	คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสคุกกี้ช็อกโกแลตที่แทนที่เนยด้วยเส้นใยอาหารผงจากกากชিংปริมาณต่างๆ.....	90

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	ส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรต.....	6
2-2	ลักษณะของผลมะตูม.....	13
2-3	ภาพตัดขวางของผลมะตูม.....	13
2-4	ลักษณะของเหง้าขิง.....	15
4-1	ลักษณะของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยน้ำ ก) และผ่านการสกัดด้วยน้ำที่สภาวะต่างๆ ได้แก่ สกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 70 °C, 60 นาที ข) สกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 70 °C, 120 นาที ค) สกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 °C, 60 นาที และ ง) สกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 °C, 120 นาที จ).....	49
4-2	ลักษณะของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำเพียงขั้นตอนเดียว ก)และผ่านการสกัดด้วยน้ำและเอทานอล ข)	55
4-3	ลักษณะของเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ไม่ผ่านและผ่านการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน ก) ไม่ผ่านการสกัด ข) อุณหภูมิห้อง, 30 นาที ค) อุณหภูมิห้อง, 60 นาที ง) 90 องศาเซลเซียส, 30 นาที และ จ) 90 องศาเซลเซียส, 60 นาที.....	62
4-4	ลักษณะของเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที และผ่านการสกัดด้วยเอทานอลที่เวลาต่างๆ ได้แก่ ก) 0 ชั่วโมง ข) 6 ชั่วโมง ค) 12 ชั่วโมง และ ง) 24 ชั่วโมง.....	67
4-5	ลักษณะของไอศกรีมเหลวเมื่อเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมปริมาณต่างๆ ได้แก่ ไม่เติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม (ตัวควบคุม) ก) เติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม 0.5% ข) เติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม 1.0% ค) และ เติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม 1.5% ง).....	78
4-6	ลักษณะของไอศกรีมเมื่อเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมปริมาณต่างๆ ได้แก่ ไม่เติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม (ตัวควบคุม) ก) เติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม 0.5% ข) เติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม 1.0% ค) และ เติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม 1.5% ง).....	79

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-7	ลักษณะโตของคูกี้ชูการ์สแนปเมื่อเติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিং ปริมาณต่างๆ ได้แก่ ก) ไม่เติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিং (ตัวควบคุม) ข) เติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিং 5% ค) เติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিং 10% และ ง) เติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিং 15%.....	87
4-8	ลักษณะของคูกี้ชูการ์สแนปเมื่อเติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিংปริมาณ ต่างๆ ได้แก่ ก) ไม่เติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিং (ตัวควบคุม) ข) เติม เส้นใยอาหารผงจากกากชিং 5% ค) เติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিং 10% และ ง) เติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিং 15%.....	88
4-9	ตัวอย่างเอกสารที่ใช้เผยแพร่ความรู้ที่ได้สู่ชุมชน.....	91

บทที่ 1

บทนำ

ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ในปัจจุบันผู้บริโภคตระหนักถึงการรักษาสุขภาพกันมากซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมผู้บริโภคอาหารโดยหันมาบริโภคอาหารสุขภาพกันมากขึ้น สำหรับประเทศไทยมูลค่าตลาดอาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ มีการเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (สถาบันอาหาร, 2557) ทั้งนี้เนื่องจากปัจจุบันคนไทยมีวิถีชีวิตเปลี่ยนจากสังคมชนบทเป็นสังคมเมืองมากขึ้น และปัญหาด้านสุขภาพมีอัตราสูงขึ้น เช่น โรคความดันโลหิตสูง โรคเบาหวาน โรคหัวใจ โรคหลอดเลือดสมอง และโรคมะเร็ง สาเหตุหนึ่งคือการบริโภคอาหารไม่ถูกต้องตามหลักโภชนาการ ดังนั้นการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพที่มีสารพฤกษเคมีที่สำคัญจึงมีส่วนสำคัญต่อสุขอนามัยของผู้บริโภค

เส้นใย (Fiber) เป็นส่วนประกอบของอาหารสุขภาพชนิดหนึ่งที่ได้รับค่านิยมใช้ในอาหารสุขภาพอย่างต่อเนื่อง (Derwisoglu & Yazici, 2006) ส่วนประกอบที่สำคัญของเส้นใย คือ เส้นใยอาหาร (Dietary fiber) หมายถึง ส่วนผนังเซลล์ของพืช ที่ไม่ถูกย่อยในระบบทางเดินอาหาร จึงไม่ให้พลังงาน การบริโภคอาหารที่มีส่วนประกอบของเส้นใยอาหารมีประโยชน์ด้านการรักษาและป้องกันโรคเรื้อรังต่างๆ เช่น โรคหัวใจ โรคมะเร็งบางชนิด โรคเบาหวานและความผิดปกติของระบบทางเดินอาหาร (บงกชรัตน์ เนาวกุล, 2553) Larrauri (1999) กล่าวว่า เส้นใยอาหารในอุดมคติ (Ideal dietary fiber) ต้องมีคุณสมบัติที่สำคัญ ได้แก่ มีกลีนิรอส ลี และกลีนิที่ดี มีองค์ประกอบสมดุล มีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่เหมาะสม อายุการเก็บรักษานาน สามารถใช้เป็นส่วนผสมในอาหารได้และราคาเหมาะสม

ส่วนเหลือทิ้งจำพวกผักผลไม้ที่เกิดจากอุตสาหกรรม พบว่า ยังมีการใช้ประโยชน์ไม่เต็มศักยภาพ โดยอาจนำไปใช้ทำอาหารสัตว์หรือปุ๋ย ทั้งที่ ยังคงเป็นแหล่งที่ดีของเส้นใย รวมถึงมีปริมาณเส้นใยอาหารสูง จึงสามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมในอาหารได้ (Lario et al., 2004) มีรายงานว่าเส้นใยอาหารของผักผลไม้และธัญพืชนอกจากมีปริมาณเส้นใยทั้งที่ละลายน้ำได้และละลายน้ำไม่ได้ในปริมาณสูงแล้ว ยังมีองค์ประกอบของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญที่มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งมีผลดีต่อสุขภาพหลายชนิด เช่น ฟลาโวนอยด์ โพลีฟีนอล แคโรทีนอยด์ และวิตามินซี (Grigelmo-Miguel & Martín-Belloso, 1999; Marín et al., 2007) จึงกล่าวได้ว่าส่วนเหลือทิ้งจากผักผลไม้ยังมีศักยภาพด้านประโยชน์ต่อสุขภาพสามารถนำมาใช้ประโยชน์ต่อได้

ผู้ประกอบการทั้งรายย่อย รายใหญ่ นำสมุนไพรไทยชนิดต่างๆมาแปรรูปเพื่อจำหน่ายหลายรูปแบบ จากการตรวจเอกสารพบว่า มีการนำสมุนไพรไทยบางประเภทที่มีกลีนิรอสเป็นเอกลักษณ์และมีสรรพคุณทางยา มาสกัดกลีนิรอส เช่น มะตูม ขิง ตะไคร้ ใบบัวบก ดอกคำฝอย และ ดอกอัญชัน เป็น

ต้น โดยนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์พร้อมบริโภค เช่น ชาพร้อมดื่ม เครื่องดื่มผงขงละลาย และสารสกัดให้กลิ่นรสรูปแบบผง เป็นต้น โดยในระดับอุตสาหกรรมมักนำสมุนไพรทั้งแบบสดและแห้งนำมาสกัดกลิ่นรสสมุนไพร โดยใช้วิธีการต้มในน้ำร้อนหรือไอน้ำ แล้วทำให้เข้มข้นหรือทำให้เป็นผงแห้ง (สิริลักษณ์ มาลานิยม, 2545) ในกระบวนการดังกล่าวนี้จะมีกากสมุนไพรซึ่งเป็นส่วนเหลือทิ้งจากกระบวนการในปริมาณมาก ดังนั้นการนำกากสมุนไพรดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ต่อให้เต็มศักยภาพ โดยผลิตเป็นผงแห้งที่สะดวกพร้อมใช้งานในรูปแบบของเส้นใยอาหารเพื่อนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารเพื่อสุขภาพจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ งานวิจัยนี้จึงสนใจเพิ่มมูลค่ากากสมุนไพรไทยบางชนิด ได้แก่ กากมะตูม และกากขิง ซึ่งมีกากเหลือทิ้งปริมาณมาก โดยนำมาใช้ประโยชน์ต่อให้เต็มศักยภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำมาใช้ในอาหารเพื่อสุขภาพ โดยการหาสูตรที่เหมาะสมในการเติมเส้นใยผงในผลิตภัณฑ์และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยเลือกผลิตภัณฑ์อาหารต้นแบบที่มีแนวโน้มความเข้ากันได้กับการเติมเส้นใยผง และเป็นผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพที่เป็นที่นิยมในตลาด อีกทั้งกระบวนการผลิตไม่ยุ่งยากซับซ้อน ไม่ต้องใช้เครื่องมือราคาแพง เพื่อมีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ประโยชน์จริงในเชิงพาณิชย์ ได้แก่ ไอศกรีมไขมันต่ำ และ คุกกี้เสริมเส้นใยอาหาร

จากลักษณะสัณฐานวิทยาของพืชสมุนไพรที่นำมาใช้ประโยชน์ ได้แก่ มะตูม และขิง พบว่าในส่วนของเปลือกและเนื้อเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์พืชส่วนเอพิคาร์พ (epicarp) พีโซคาร์พ (mesocarp) และเอ็นโดคาร์พ (endocarp) ประกอบด้วยส่วนของเซลล์ที่มีรงควัตถุ ต่อมไขมันหอม าระเหยสารเพคติก เอมิเซลลูโลส มีวซิเลจ สารในกลุ่มอัลคาลอยด์ ฟลาโวนอยด์ วิตามินและแร่ธาตุ รวมถึงน้ำตาล (โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช, 2557) ดังนั้นในส่วนกากสมุนไพรจึงมีความน่าจะเป็นที่ยังคงมีสารอื่นที่มีใช้องค์ประกอบของเส้นใยอาหาร การสกัดเส้นใยอาหารจากผนังเซลล์ของพืชทำได้โดยใช้สารทำลายชนิดต่างๆเพื่อกำจัดสารอื่นที่มีใช้องค์ประกอบของเส้นใยอาหารออกเช่น การสกัดด้วยน้ำ การสกัดด้วยแอลกอฮอล์ การสกัดด้วยด่าง เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีจะมีวัตถุประสงค์หลักในการกำจัดสารแตกต่างกันจึงส่งผลต่อคุณภาพของเส้นใยที่สกัดได้ (วิจิตร อุดอ้าย และคณะ 2553; บงกชรัตน์ เนาวกุล, 2553) การสกัดด้วยน้ำนิยมใช้อุณหภูมิสูงประมาณ 60-90 องศาเซลเซียส เป็นการแยกส่วนประกอบที่ไม่ต้องการออกจากวัตถุดิบ โดยเฉพาะสารที่ละลายน้ำได้ ตัวอย่างเช่น น้ำตาล อีสาระ กรดอีสาระ และองค์ประกอบของสารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ และสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ในวัตถุดิบเริ่มต้นได้อีกทางหนึ่ง (Larrauri, 1999) สำหรับการสกัดด้วยแอลกอฮอล์จัดเป็นการสกัดสารกลุ่มที่มีขี้ได้ดี ส่วนใหญ่มีจุดประสงค์เพื่อกำจัดสารให้สีและไขมันออกจากวัตถุดิบ (Prakongpan et al., 2002) นอกจากนี้ยังมีการสกัดในสภาวะต่างซึ่งมีจุดประสงค์สำคัญเพื่อกำจัดโปรตีนที่หลงเหลืออยู่ในเส้นใยอาหารออก เพื่อให้เส้นใยมีความบริสุทธิ์มากขึ้น (วิจิตร อุดอ้าย และคณะ, 2553)

วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาสภาวะการสกัดเส้นใยอาหารจากกากสมุนไพรมะเขือเทศที่เหมาะสม
- 2) เพื่อศึกษาผลของปริมาณการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากสมุนไพรมะเขือเทศในอาหารเพื่อสุขภาพต้นแบบ
- 3) เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน

ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีแนวคิดการเพิ่มมูลค่ากากสมุนไพรมะเขือเทศบางชนิด ได้แก่ กากมะเขือเทศ และ กากขิงที่เป็นส่วนเหลือทิ้งจากระบวนการสกัดจากโรงงานอุตสาหกรรม แบ่งการทดลองให้สอดคล้องตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้เป็น 5 ตอน ได้แก่

ตอนที่ 1 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของกากสมุนไพรมะเขือเทศจากการสกัด โดยวิเคราะห์คุณภาพของกากสมุนไพรมะเขือเทศที่ใช้เป็นวัตถุดิบหลัก ด้านปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และค่าสี เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญในการพัฒนากระบวนการสกัดเพื่อกำจัดส่วนที่ไม่ใช่เส้นใยอาหารหรือสารอาหารที่มีประโยชน์

ตอนที่ 2 การศึกษาสภาวะการสกัดเส้นใยอาหารจากกากสมุนไพรมะเขือเทศที่เหมาะสม โดยศึกษาปัจจัยสำคัญในการสกัดด้วยน้ำและแอลกอฮอล์ต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงที่ได้ โดยการวิเคราะห์คุณภาพเส้นใยอาหารผงจากกากสมุนไพรมะเขือเทศที่ได้ด้านปริมาณเส้นใยอาหาร ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ค่าสี และปริมาณผลได้ เลือกสภาวะการสกัดด้วยที่ที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดมากที่สุด รวมถึงพิจารณาคุณภาพอื่นที่วิเคราะห์ประกอบการตัดสินใจ

ตอนที่ 3 การวิเคราะห์คุณภาพของเส้นใยอาหารที่ผลิตได้ คุณสมบัติเชิงหน้าที่ คุณภาพทางเคมีกายภาพและคุณภาพทางจุลินทรีย์เพื่อพิจารณาคุณภาพของเส้นใยอาหารที่ได้และการนำไปปรับใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารที่เหมาะสม

ตอนที่ 4 การศึกษาผลของปริมาณการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากสมุนไพรมะเขือเทศในอาหารเพื่อสุขภาพต้นแบบ เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยอาหารผงจากกากสมุนไพรมะเขือเทศที่ได้มาใช้ประโยชน์เป็นส่วนประกอบอาหาร โดยงานวิจัยนี้นำมาเติมลงในอาหารเพื่อสุขภาพต้นแบบ 2 ชนิด ได้แก่ ไอศกรีมไขมันต่ำ และ คุกกี้เสริมเส้นใยอาหาร

ตอนที่ 5 การถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน โดยจัดทำเอกสารเผยแพร่ โดยให้ความรู้เชิงเทคนิคในการสกัดเส้นใยอาหารจากกากให้ได้คุณภาพมาตรฐานและแนวทางการนำไปใช้ในอาหารเพื่อสุขภาพ

กรอบแนวความคิดของงานวิจัย



บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 เส้นใยอาหาร

เส้นใยอาหาร (Dietary fiber) หมายถึง ส่วนที่กินได้ของพืช ที่พบในส่วนของผนังเซลล์ โดยเฉพาะผักและผลไม้ ซึ่งอาจเป็นส่วนประกอบของเปลือก ราก ใบ ลำต้น ผล หรือเยื่อหุ้มเมล็ดและเมล็ดธัญพืชต่างๆ ซึ่งประกอบไปด้วยสารประกอบที่มีโครงสร้างเป็นคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่ไม่ใช่แป้ง (Non-starch polysaccharides) ได้แก่ เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เพคติน (Pectin) กัมส์ (Gum) มิวซิเลจส์ (Mucilages) และสารที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต (Non-polysaccharides) ได้แก่ ลิกนิน (Lignin) ซึ่งทนต่อการย่อยและการดูดซึมภายในลำไส้มนุษย์เส้นใยอาหารและไม่ให้พลังงาน แต่มีบทบาทสำคัญต่อภาวะโภชนาการและสุขภาพ มีผลดีทางสรีรวิทยา เช่น ช่วยในการขับถ่ายอุจจาระ ลดคอเลสเตอรอลในเลือด และลดระดับน้ำตาลกลูโคสเป็นต้น (ไฟโรจน์ หลวงพิทักษ์ และเบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์, 2538; Jimenez-Escring and Sanchez-Muniz, 2000; สันทนา อมรไชย, 2537; Baghurst et.al, 1996; Eastwood, 1997) ส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรตแสดงความสัมพันธ์ดังภาพที่ 2-1 ส่วนกากใย (crude fiber) หมายถึง ส่วนของพืชที่เหลือจากการย่อยด้วยกรดและด่าง ซึ่งมีปริมาณที่น้อยกว่าเส้นใยอาหารประมาณ 1.6-15.7 เท่า (วิชัย ต้นไพจิตร, 2522)

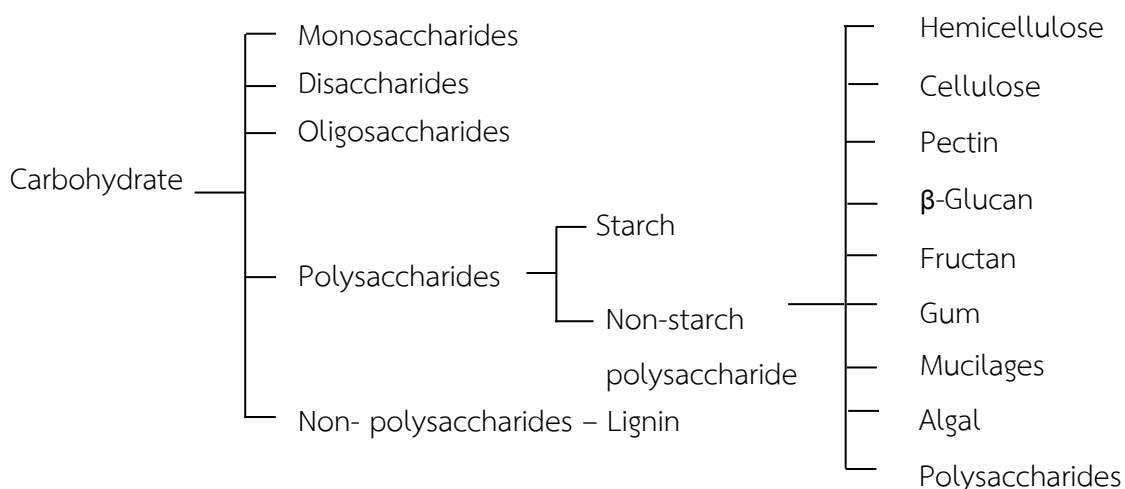
นอกจากนี้ยังมีการให้ความหมายของเส้นใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant dietary fiber) ซึ่งหมายถึง เส้นใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระเป็นองค์ประกอบหรือกล่าวได้ว่าเป็นเส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยสามารถยับยั้งหรือชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำลายอนุมูลอิสระที่ร่างกายได้รับ ยับยั้งการรวมตัวของเกล็ดเลือด การต้านจุลินทรีย์ และการต้านปฏิกิริยาการอักเสบ จึงมีส่วนช่วยป้องกันโรคต่างๆ เช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจ และโรคอัลไซเมอร์ เป็นต้น (Saura-Calixto, 1998)

2.1.1 ประเภทของเส้นใยอาหาร

เส้นใยอาหารสามารถแบ่งตามความสามารถในการละลายได้ 2 ประเภท คือ เส้นใยอาหารที่สามารถละลายน้ำได้ (Soluble dietary fiber) และเส้นใยอาหารที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ Insoluble fiber ผลรวมของเส้นใยอาหารที่สามารถละลายน้ำได้กับใยอาหารที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ เรียกว่า ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber) (Prosky and DeVries, 1992) รายละเอียดของเส้นใยอาหารมีดังนี้ (ไฟโรจน์ หลวงพิทักษ์ และเบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์, 2538; ปาวิชาติ สักกะทานุ, 2540; ดวงจันทร์ เสงส์สวัสดิ์, 2545; นิธิยา รัตนพนนท์, 2549; พัชราภรณ์ วชิรศิริ, 2550)

1) เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble dietary fiber) เป็นคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่ย่อยสลายได้ยาก ได้แก่ เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) รวมถึงลิกนิน (Lignin) คิวติน (Cutin) และแวกซ์ (Wax) เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ มีความสามารถดูดซับอาหาร

ต่างๆได้น้อย แต่จะจับกับน้ำแล้วเกิดการพองตัวในน้ำ ลักษณะคล้ายฟองน้ำ ดังนั้นเมื่อบริโภคเข้าไปแล้วขับถ่ายจะทำให้มีมวลอุจจาระเพิ่มขึ้น เนื่องจากจากระนิ่ม ส่งผลให้ขับถ่ายสะดวก เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 2-1 ส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรต
ที่มา : สันทนา อมรไชย (2537)

1.1) เซลลูโลส (Cellulose) เป็นสายพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสประมาณ 3,000 หน่วย ที่ต่อกันด้วยพันธะเบต้า 1, 4 เซลลูโลส เป็นส่วนประกอบหลักของผนังเซลล์ 10-25% ของส่วนประกอบทั้งหมด เซลลูโลสไม่สามารถละลายน้ำได้ เส้นใยของเซลลูโลสจับตัวกันหนาที่บ มีบางส่วนที่โมเลกุลเรียงตัวไม่เป็นระเบียบและจับตัวกันหลวมๆ ทำให้สามารถดูดซับน้ำไว้ได้และการเกิดการพองตัว มีผลให้กากอาหารมีลักษณะนิ่ม เส้นใยอาหารนี้พบในพืชทุกชนิด แต่ผักจะมีเซลลูโลสมากกว่าธัญชาติและผลไม้

1.2) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เป็นกลุ่มเส้นใยอาหารที่มาจากน้ำตาลเฮกโซส (Hexose) และเพนโทส (Pentose) แต่มีลักษณะโซโมเลกุลที่ต่างกันมากกว่า 250 แบบ โดยทั่วไปจะมีโมเลกุลของน้ำตาลไซเลส (Xylose) ต่อกันด้วยพันธะเบต้า 1-4 เป็นโซ่หลัก ในบางครั้งอาจมีน้ำตาลแมนโนส (Mannose) กาแลคโทส (Galactose) หรือกลูโคสมาต่อกันเป็นโซ่หลัก และมีน้ำตาลชนิดอื่นมาต่อกันเป็นโซ่สาขา ได้แก่ น้ำตาลอะราบินอส์ (Arabinose) กรดกลูโคนิก (Glucuronic acid) และกาแลคโทส เฮมิเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบที่อยู่ปะปนกับเซลลูโลสในผนังเซลล์พืช ความแตกต่างกับเฮมิเซลลูโลสกับเซลลูโลส คือ เฮมิเซลลูโลสสามารถละลายได้ในสารละลายต่างอ่อน ในขณะที่เซลลูโลสไม่สามารถละลายได้

1.3) ลิกนิน (Lignin) ประกอบด้วยโซโมเลกุลของออกซิเจนเตตเตต เบนนิล โพรเพน

(Oxygenated phenyl propane) มีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 1,000-4,500 สังกะหรณ์จากอนุพันธ์ของแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ ได้แก่ คูมาริล (Coumaryl) โคนิเฟอริล (Coniferyl) และไซนาปิล (Sinapyl) เป็นโครงสร้างพอลิเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำ พบในพืชจำพวกไม้เนื้อแข็ง พืชที่ค่อนข้างแก่ ผลไม้สุกมีลิกนินมากกว่าผลไม้ดิบ ลิกนินไม่ละลายทั้งในกรดและด่าง และไม่สามารถย่อยสลายได้ในร่างกายมนุษย์คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญคือ สามารถดูดซับน้ำดี (Bile acid) และอาจมีผลชะลอการดูดซึมสารอาหารบางชนิดในลำไส้เล็ก

1.4) คิวติน (Cutin) และแวกซ์ (Wax) พบร่วมกับส่วนที่เป็นโครงสร้างของพืช โดยมีองค์ประกอบของไขมันที่ไม่รวมกับน้ำ ปกติจะพบในปริมาณที่น้อย

2) เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (Soluble dietary fiber) คือ เส้นใยอาหารส่วนที่มีคุณสมบัติในการละลายน้ำ เส้นใยอาหารชนิดนี้มักจะปนอยู่กับส่วนที่เป็นแป้งในพืช ได้แก่ มิวซิเลจส์ (Mucilages) เบต้า-กลูแคน (Beta glucan) กัม (Gum) ชนิดต่างๆ เส้นใยชนิดนี้สามารถรวมตัวกันกับน้ำได้ในปริมาณมาก เกิดการกระจายโครงสร้างที่อัดแน่น ทำให้สามารถดูดซับสารได้หลายอย่าง เช่น น้ำตาล คอเลสเตอรอล และเกลือแร่บางชนิด เป็นต้น ดังนั้นเส้นใยอาหารประเภทนี้จึงมีผลชะลอและลดการดูดซึมของสารอาหารดังกล่าวเข้าสู่ร่างกาย เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ มีรายละเอียดดังนี้

2.1) เพคติน (Pectin) มีโครงสร้างเป็นสายพอลิเมอร์ของกรดกาแล็กทูโรนิก (D-galacturonic acid) ที่ต่อกันด้วยพันธะอัลฟา 1, 4 โดยมีน้ำตาลหลายชนิดที่อยู่รวมกันในโครงสร้างหลัก เช่น น้ำตาลกาแล็กโทส น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลแรมโนส น้ำตาลอะราบิโนส เป็นโซ่สาขาในการเกิดเจลและความสามารถในการเพิ่มความหนืด ทำให้มีการนำเพคตินไปใช้กันมากในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากเพคตินละลายในน้ำร้อน ได้ลักษณะที่เป็นวุ้นซึ่งจะขัดขวางการดูดซึมของน้ำตาลในเลือดได้ และเหมาะสมสำหรับคนที่มีการท้องผูกสลับกับท้องเสีย เนื่องจากความเป็นวุ้นสามารถห่อหุ้มแบคทีเรียไว้และกำจัดออกจากร่างกาย

2.2) มิวซิเลจส์ (Mucilages) เป็นโพลีแซ็กคาไรด์ที่พืชสะสม มักอยู่รวมกับแป้ง มิวซิเลจส์ มีโซ่โมเลกุลหลักของน้ำตาลกาแล็กโทส-แมนโนส กลูโคส-แมนโนส อะราบิโนส-ไซโลส กรดกาแล็กทูโรนิก-แรมโนส โดยมีน้ำตาลกาแล็กโทสเป็นโซ่สาขา

2.3) เบต้า-กลูแคน (Beta-glucan) ประกอบด้วยสายของน้ำตาลกลูโคสที่ต่อกันด้วยพันธะเบต้า 1,3 และเบต้า 1,4 คุณสมบัติโดยทั่วไปสามารถละลายน้ำได้ มีส่วนน้อยที่ไม่ละลายน้ำ

2.4) กัม (Gum) เป็นสารประกอบโพลีแซ็กคาไรด์ที่เป็นพอลิเมอร์สายยาวและมีน้ำหนักโมเลกุลสูง กัมหลายชนิดที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ทำหน้าที่ช่วยกระจายตัวของไขมัน ทำให้อาหารข้น และให้ความคงตัว เป็นต้น ตัวอย่างกัม เช่น วุ้น (Agar) แอลจีเนต (Alginate) กัมอะราบิก (Arabic gum) คาราจีแนน (Carrageenan) กัวร์กัม (Guar gum) และแซนแทนกัม (Xanthan gum)

2.1.2 คุณสมบัติและสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหาร

เส้นใยอาหารแต่ละชนิดมีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพที่แตกต่างกัน โดยคุณสมบัติของเส้นใยอาหารมีดังนี้ (ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์ และเบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์, 2538; ปฐมนาด มาลัยเลิศ, 2549)

1) ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity)

เป็นสมบัติที่สำคัญของผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ เส้นใยอาหารมีองค์ประกอบเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ ซึ่งพอลิแซ็กคาไรด์เป็นโมเลกุลที่ชอบน้ำ เนื่องจากมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระเป็นจำนวนมาก ซึ่งสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ ดังนั้น เส้นใยอาหารทั้งชนิดที่ละลายน้ำได้และไม่ละลายน้ำจึงสามารถอุ้มน้ำได้ และมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการละลายน้ำของคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน เช่น เพคติน กัม และมิวซิเลจส์ มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำทำให้เกิด ความหนืดเพิ่มขึ้น สร้างเจลได้ด้วยเมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสม ส่วนเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำ ไม่สามารถสร้างเจลได้ แต่สามารถดูดซับน้ำไว้ในโครงสร้างได้ปริมาณมาก นอกจากนี้การอุ้มน้ำได้ดีของเส้นใยอาหารจะช่วยเพิ่มปริมาตรของกากอาหารอันจะไปกระตุ้นการเคลื่อนไหวของลำไส้ ทำให้กากอาหารนุ่ม มีปริมาตรมาก ถ่ายสะดวก เส้นใยอาหารที่ให้ประโยชน์ในลักษณะเช่นนี้มักเป็นพวกเส้นใยหยาบละลายน้ำไม่ได้ สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารนี้ ได้แก่ องค์ประกอบของเส้นใย ขนาดเส้นใยอาหาร ปริมาณอิเล็กโทรไลต์ และค่าพีเอชของสารละลายนั้นๆ

2) ความสามารถในการดูดซึมสารอินทรีย์

สารอินทรีย์ต่างๆ เช่น กรดน้ำดี (bile acid) คลอเรสเตอรอล สารก่อมะเร็ง และสารพิษต่างๆ จากโครงสร้างของเส้นใยอาหารเป็นที่ยึดเกาะของสารอินทรีย์เหล่านี้ก่อให้เกิดผลดีต่อร่างกาย โดยเมื่อภายหลังจากที่เส้นใยอาหารถูกขับออกจากระบบลำไส้ สารอินทรีย์ที่เกาะกับเส้นใยอาหารก็จะถูกขับออกจากร่างกายด้วยพร้อมๆกัน ทำให้ปริมาณและความเข้มข้นของสารอินทรีย์ดังกล่าวลดลง ซึ่งคุณสมบัติในการดูดซับกรดน้ำดีนี้สัมพันธ์กับประสิทธิภาพ ในการลดคอเลสเตอรอลในพลาสมาของเส้นใยอาหารบางชนิด เช่น ราข้าวโอ๊ต เพคติน และกัวกัม (guar gum) เป็นต้น รวมทั้งการที่เส้นใยอาหารสามารถลดความหนืดของกากอาหารในลำไส้ด้วย จึงทำให้ลดโอกาสที่สารก่อมะเร็งเหล่านี้จะสัมผัสกับผนังลำไส้

3) การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากแบคทีเรีย

เส้นใยอาหารเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ร่างกายไม่สามารถนำไปใช้ได้ แต่แบคทีเรียในลำไส้ใหญ่สามารถใช้เส้นใยอาหารได้โดยการหมัก ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและโครงสร้างของเส้นใยอาหารรวมถึงชนิดของแบคทีเรียที่อยู่ในลำไส้ใหญ่

4) คุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนประจุ

ความสามารถในการใช้และการดูดซับแร่ธาตุของร่างกายจะลดลงหากบริโภคอาหารที่มีเส้นใยอาหารสูง เนื่องจากแร่ธาตุต่างๆ และสารอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) จะถูกเส้นใยอาหารจับไว้และขับออกมาในรูปของเสีย

5) ขนาดของอนุภาค

เส้นใยอาหารที่มีอนุภาคใหญ่จะช่วยเพิ่มน้ำหนักของเสียของร่างกายและช่วยลดความดันภายในลำไส้ใหญ่ได้ดีกว่าชนิดที่มีอนุภาคเล็กหรือละเอียด

เส้นใยอาหารแต่ละชนิดจะมีสมบัติเชิงหน้าที่ที่แตกต่างกัน สมบัติเชิงหน้าที่ของพืชแต่ละชนิดจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและเส้นใยอาหารละลายน้ำของพืชชนิดนั้น นอกจากนี้ขนาดของอนุภาคของ ใยอาหาร และวิธีการสกัดเส้นใยอาหารก็มีผลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารเช่นกัน โดยดัชนีที่สามารถบ่งบอกถึงสมบัติเชิงหน้าที่ที่สำคัญของเส้นใยอาหารมีดังนี้ (หยาดฝน ทนงการกิจ, 2557)

1) สมบัติการจับน้ำ (Hydration properties)

เป็นสมบัติของเส้นใยอาหารที่บ่งบอกความสามารถในการเก็บกักน้ำไว้ในโครงสร้างของเส้นใยอาหาร เนื่องจากเส้นใยมีองค์ประกอบของโพลีแซคคาไรด์ ซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีหมู่ไฮดรอกซีอิสระเป็นจำนวนมากจึงสามารถสร้างพันธะกับ ไฮโดรเจนกับน้ำได้ ดังนั้นเส้นใยอาหารทั้งชนิดที่ละลายน้ำไม่ได้และละลายน้ำได้จึงสามารถอุ้มน้ำไว้ได้ดีขึ้นที่สามารถใช้สำหรับบ่งชี้สมบัติการจับน้ำ ได้แก่ สมบัติการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) ความสามารถในการจับน้ำ (Water binding capacity) การพองตัว (Swelling) และ ความสามารถในการละลาย โดยสมบัติในการจับน้ำจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการละลายน้ำ เช่น เซลลูโลสและลิกนินจะมีสมบัติในการอุ้มน้ำต่ำจึงไม่สามารถละลายน้ำได้ ส่วนเพคติน กัม และมิวซิเลจส์ มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงจึงละลายน้ำได้ง่าย

2) ความสามารถในการจับน้ำมัน (Oil-binding capacity)

เป็นสมบัติของเส้นใยอาหารที่ใช้แสดงค่าความสามารถในการจับน้ำมันไว้ในโครงสร้างของเส้นใยอาหาร เส้นใยอาหารที่มีโครงสร้างของโพลีแซคคาไรด์ เช่น อัลจิเนต กัม และเพคติน เป็นต้น จะสามารถจับกับน้ำมันได้ดีจึงมักถูกนำมาใช้ในการเพิ่มความคงตัวของอิมัลชันในอาหาร

3) ความสามารถในการดูดซับน้ำตาล (Glucose adsorption capacity) และความสามารถในการชะลอการดูดซับน้ำตาล (Glucose retardation index)

โดยความสามารถในการดูดซับน้ำตาลสามารถวิเคราะห์ได้จาก ปริมาณของน้ำตาลที่เส้นใยอาหารดูดซับไว้หลังจากที่สภาวะสมดุล ค่านี้มักจะใช้ในการแสดงถึงพฤติกรรมของเส้นใยอาหารในการดูดซับน้ำตาลเมื่ออยู่ในลำไส้ส่วนความสามารถในการชะลอการดูดซับน้ำตาลเป็นค่าที่ใช้ในการทำนายถึงการดูดซับน้ำตาลของเส้นใยอาหารในทางระบบทางเดินอาหารที่เวลาต่างๆ

4) การชะลอการจับกับกรดน้ำดี (Bile acid retardation index)

เป็นดัชนีที่ใช้ในการบ่งบอกถึงผลของเส้นใยต่ออาหารต่อการลดคอเลสเตอรอล เนื่องจากว่ากรดน้ำดีเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการย่อยไขมันในลำไส้เล็ก ดังนั้นสมบัติในการดูดซับกรดน้ำดีของเส้นใยอาหารจะสัมพันธ์กับประสิทธิภาพในการลดคอเลสเตอรอล เนื่องจากการจับตัวกันระหว่างเส้นใยอาหารกับน้ำดีซึ่งมีส่วนประกอบของ คอเลสเตอรอลอยู่ ทำให้น้ำดีถูกขับออกสู่ระบบร่างกายโดยการขับถ่ายพร้อมกับ ใยอาหาร เมื่อน้ำดีถูกขับออกจากร่างกาย ร่างกายก็นำคอเลสเตอรอลปรับเปลี่ยนมาแทนที่ น้ำดีจึง ทำให้ปริมาณคอเลสเตอรอลลดลง โดยมีผลงานวิจัยพบว่า ลิกนินจะดูดซับกรดน้ำดีได้มากกว่าเพคตินและเซลลูโลส

2.2 การผลิตเส้นใยอาหาร

ปัจจุบันมีวัตถุดิบหลากหลายชนิดที่นำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเส้นใยอาหารผง เช่น ข้าวสาลี ข้าว วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร ได้แก่ เปลือกส้ม มันสำปะหลัง เป็นต้น การสกัดเส้นใยอาหารไม่มีรูปแบบและวิธีการที่ตายตัว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแนวทางและวัตถุประสงค์ของผู้วิจัย โดยหลักการพื้นฐานในการผลิตเส้นใยอาหาร คือ การกำจัดเอาส่วนประกอบอื่นๆ เช่น รงควัตถุ ไขมัน โปรตีน แป้ง น้ำตาลอิสระ และสารโมเลกุลขนาดเล็กที่ละลายน้ำออกจากวัตถุดิบที่เหลือแต่ส่วนที่เป็นเส้นใยอาหาร เพื่อให้ได้ส่วนของเส้นใยอาหารที่บริสุทธิ์ในปริมาณสูงต่อน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ การผลิตเส้นใยอาหารผงโดยทั่วไปมีขั้นตอนหลัก 4 ขั้นตอน คือ การบดเปียก (Wet milling) การล้าง (Washing) การทำแห้ง (Drying) และการบดแห้ง (Dry milling) (พัชรภรณ์ วชิรศิริ, 2550; Naowakul et al., 2013) ซึ่งจากการตรวจเอกสารพบว่า การผลิตเส้นใยอาหารมักใช้การสกัด 3 รูปแบบ ดังนี้

2.2.1 การสกัดด้วยน้ำ

การสกัดด้วยน้ำเป็นการแยกส่วนประกอบที่ไม่ต้องการออกจากวัตถุดิบ โดยเฉพาะสารที่ละลายน้ำได้ ได้แก่ น้ำตาลอิสระ กรดอิสระ และองค์ประกอบของสารอนินทรีย์ (Inorganic constituents) ที่ละลายน้ำได้ เช่น แคลเซียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และฟอสฟอรัส เป็นต้น และสามารถลดจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค ขั้นตอนนี้อาจจะมีการสูญเสียส่วนของเส้นใยอาหารที่สามารถละลายน้ำได้บางส่วน เช่น เพคติน ซึ่งส่งผลต่อคุณลักษณะด้านประสิทธิภาพความอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์สุดท้าย แต่อย่างไรก็ตามขั้นตอนนี้สามารถแยกน้ำตาลอิสระออกจากวัตถุดิบ เพื่อลดโอกาสการเกิดสีคล้ำในวัตถุดิบที่ผ่านการทำแห้งและช่วยให้เส้นใยอาหารนั้นให้พลังงานต่ำ กล่าวได้ว่าขั้นตอนการสกัดเพื่อให้ได้เส้นใยอาหารที่มีความบริสุทธิ์ ควรกำจัดส่วนประกอบของน้ำตาลในเส้นใยออกไปให้ได้มากที่สุด (Larrauri, 1999) การสกัดด้วยน้ำนั้นจะต้องคำนึงถึงอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัดด้วย ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเส้นใยอาหารที่สกัดได้ ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของวีระสิทธิ์ ธรรมวโร และคณะ (2556) รายงานว่า การสกัดเส้นใยอาหารจากแกนสับปะรดโดยใช้อุณหภูมิห้องจะให้ผลดีในด้านค่าสี และปริมาณผลผลิตสูงกว่าการสกัดร้อน การสกัดที่ระยะเวลาสั้นจะให้ปริมาณผลผลิตลดลง เนื่องจากการสกัดที่ระยะเวลาสั้นนั้นมีผลทำให้ของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้ เช่น กรดในเส้นใยอาหารมีปริมาณลดลง นิรมล อุตมอ่าง และธีรวัฒน์ เทพใจ

ภาค (2544) กล่าวว่า อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ใช้ในการสกัดเส้นใยมีอิทธิพลต่อปริมาณผลผลิตที่ได้ ความชื้น ความสามารถในการอุ้มน้ำ ปริมาณเถ้า ปริมาณเส้นใยอาหาร และค่าสี

2.2.2 การสกัดด้วยแอลกอฮอล์

การสกัดด้วยแอลกอฮอล์ในการเตรียมเส้นใยอาหารส่วนใหญ่มีจุดประสงค์เพื่อกำจัดสารให้สี กลิ่นรส และไขมันออกจากวัตถุดิบ เพื่อให้ได้เส้นใยอาหารที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้น (Prakongpan et al., 2002) แต่อย่างไรก็ตาม กุหลาบ สิทธิสวนจิก และคณะ (2555) ศึกษาการเตรียมเส้นใยอาหารจากกากส้มเขียวหวาน พบว่าการสกัดด้วยเอทานอลทำให้มีการสูญเสียสารที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระบางชนิด เช่น กรดแอสคอร์บิก และสารประกอบฟีนอลิก เป็นต้น Wongmetinee (2007) กล่าวว่า การสกัดเส้นใยอาหารด้วยแอลกอฮอล์มีรายงานครั้งแรกในปี ค.ศ. 1984 โดย Altomare และคณะ ศึกษาการเตรียมเส้นใยอาหารจากแกนสับปะรดโดยใช้ตัวทำละลายแอลกอฮอล์ ช่วยกำจัดสีและสารประกอบจำพวกกลีโคไซด์ออก หลังจากนั้นนำส่วนที่เหลือมาทำแห้งและนำมาบดเป็นผงให้ละเอียด ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีเซลลูโลสประมาณ 30-40% และมีความสามารถในการจับกับน้ำสูง และในปี ค.ศ. 1996 Thumthanarak ได้สกัดเส้นใยอาหารจากแกนสับปะรดโดยใช้แอลกอฮอล์ 95% ในอัตราส่วน 1:5 (ฐานเปียก) หลังจากสกัดซ้ำสองครั้งได้เส้นใยประมาณ 93.5% โดยเส้นใยอาหารที่ได้สามารถนำไปเติมในผลิตภัณฑ์อาหาร และเครื่องดื่มได้ และวีระสิทธิ์ ธรรมวโร และคณะ (2556) กล่าวว่า แอลกอฮอล์สามารถทำปฏิกิริยากับพันธะไฮโดรเจนในโปรตีน ส่งผลให้โปรตีนเสียรูปจึงทำให้ปริมาณไขมันและโปรตีนต่อน้ำหนักแห้งลดลง ส่งผลให้ค่าเส้นใยอาหารหยาบต่อน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น เนื่องจากเอทานอลเป็นตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดไขมัน ดังนั้นเวลาในการสกัดมีผลต่อปริมาณไขมันที่เหลืออยู่หรือถูกสกัดออกไปจากวัตถุดิบ โดยเมื่อระยะเวลาในการสกัดมากขึ้นปริมาณไขมันที่ถูกสกัดออกไปจากวัตถุดิบก็จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นไปด้วย (วิจิตร อดอ้าย และคณะ, 2553)

2.2.3 การสกัดด้วยต่าง

การสกัดด้วยต่างในการผลิตเส้นใยอาหาร มีจุดประสงค์สำคัญเพื่อกำจัดโปรตีนที่หลงเหลืออยู่ในเส้นใยอาหารออก เพื่อให้เส้นใยอาหารมีความบริสุทธิ์มากขึ้น โดยต้องคำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ เช่น เวลาที่ใช้ในการสกัด และค่า pH ของต่างที่ใช้ในการสกัด โดยมีแนวโน้มว่าความสามารถในการละลายของโปรตีนจะเริ่มสูงขึ้นเมื่อ pH มีค่าสูงขึ้น และสูงสุดที่ pH เท่ากับ 12 และเริ่มลดต่ำลงหลังจาก pH สูงกว่า 12 (วิจิตร อดอ้าย และคณะ, 2553) นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสภาวะต่างสามารถฟอกสีของเส้นใยอาหารได้ ดังเช่นงานวิจัยของ Lertphatcharanon (2007) รายงานว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และระยะเวลาการฟอกสีเพิ่มขึ้น ค่าความสว่างจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

ทั้งนี้ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการสกัด (ประเทืองศรี สิ้นชัยศรี, 2547) มีดังนี้

1) ขนาดอนุภาค (Particle size) ของตัวถูกละลาย ถ้ามีขนาดเล็กจะทำให้พื้นที่ผิวในการถ่ายเทมวลสารมากขึ้น และระยะทางของตัวถูกละลายที่อยู่ภายในของแข็งจะสั้นลงทำให้สามารถแพร่กระจายออกสู่ตัวทำละลายได้เร็วขึ้น

2) ตัวทำละลาย (Solvent) ตัวทำละลายที่ดีควรมีขั้วที่เหมาะสมกับตัวถูกละลาย และมีความหนืดต่ำเพื่อให้มีการหมุนเวียนที่ดี โดยทั่วไปใช้ตัวทำละลายบริสุทธิ์ซึ่งจะไม่มีตัวถูกละลายอื่นๆปนอยู่

3) อุณหภูมิของตัวทำละลาย เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้อัตราการสกัดสูงขึ้น เนื่องจากสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายมีค่ามากขึ้น

4) เวลาในการสกัด ถ้าใช้เวลาในการสกัดน้อย สารที่ต้องการสกัดจะถูกสกัดออกมาน้อย ดังนั้นจึงต้องใช้เวลาในการสกัดที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ปริมาณสารสกัดมากที่สุด

2.3 วัตถุดิบจากสมุนไพรที่ใช้ในงานวิจัย

2.3.1 มะตูม

มะตูมมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Aegle marmelos* อยู่ในวงศ์ Rutaceae สำหรับในประเทศไทยมีชื่อเรียกแตกต่างกันในภาคต่างๆ เช่น มะปิ่น (ภาคเหนือ) กะทันตาเถร ตูม ตุ่มตั่ง (ภาคใต้) หมากตูม (ภาคอีสาน) เป็นไม้พื้นเมืองของประเทศในแถบทวีปเอเชีย ได้แก่ อินเดีย ศรีลังกา ไทย โดยมีถิ่นกำเนิดที่ประเทศอินเดีย มะตูมเป็นพืชตระกูลส้มมะนาว จัดเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลาง ตามลำต้นมีหนามยาวแข็งเปลือกนอกมีสีเทาอมขาว มักแตกเป็นแผ่นห้อยย้อยลงมา เปลือกในมีสีเหลือง ใบเป็นรูปขนนกเรียงสลับกันและมีกลิ่นหอม ดอกมะตูมเป็นดอกช่อสีขาวหรือสีขาวปนเขียว มีกลิ่นหอม ผลมะตูมรูปไข่หรือมีลักษณะเป็นรูปทรงกลม เปลือกผลมีทั้งหนา แข็ง และอ่อนนิ่ม สีเปลือกของผลอ่อนจะเป็นสีขาวส่วนเนื้อผลภายในเป็นสีเหลืองอ่อน ผลมะตูมแก่เปลือกเป็นสีน้ำตาล มีเนื้อผลสีเหลืองทอง และมียางข้นเหนียวสีเหลืองใส ซึ่งมีอยู่มากตามช่องระหว่างเนื้อผลกับเมล็ด สำหรับผลสุกมีเปลือกสีน้ำตาลปนเหลือง มีเนื้อผลสีส้มปนเหลือง ลักษณะอ่อนนิ่มและมีเมล็ดแทรกอยู่จำนวนมาก ลักษณะผลมะตูมแสดงดังภาพที่ 2-2 และลักษณะภาพตัดขวางผลมะตูม แสดงดังภาพที่ 2-3 ในประเทศไทยพบมะตูม 3 พันธุ์ มีลักษณะรูปร่างต่างกัน ได้แก่

- 1) มะตูมนิ่ม มีผลลักษณะรียาวเปลือกนิ่ม
- 2) มะตูมบ้าน มีผลลักษณะผลกลมยาว แต่เปลือกหนา ไม่นิยมรับประทานสด เนื่องจากมีรสเฝื่อน
- 3) มะตูมไข่ มีผลกลมคล้ายลูกมะขวิด มีขนาดเล็กและเปลือกบาง มะตูมจะออกผลอ่อนในช่วงฤดูฝนและผลสุกในช่วงกลางฤดูหนาวถึงฤดูแล้ง (ศิริบุญ พูลสวัสดิ์, 2547)



ภาพที่ 2-2 ลักษณะของผลมะตูม
ที่มา : สุदारัตน์ หอมหวาน (2554)



ภาพที่ 2-3 ภาพตัดขวางของผลมะตูม
ที่มา : สุदारัตน์ หอมหวาน (2554)

หากพิจารณาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของมะตูม พบว่า ผลมะตูมประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 ส่วน (โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช, 2557) ได้แก่

1) เอพิคาร์พ (Epicarp) หรือฟลาเวโด ประกอบด้วยส่วนที่เป็นสีของเปลือก ในส่วนนี้จะประกอบด้วยเซลล์ที่มีรงควัตถุ คาโรทีนอยด์ (Carotenoids) ซึ่งทำให้มองเห็นมะตูมเป็นสีเหลือง จะมีไคตินและซีมี็งเคลือบอยู่เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำ นอกจากนี้ยังพบต่อมน้ำมัน (Oil glands) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ขึ้นจากเปลือกของผล และประกอบด้วยน้ำมันหอมระเหย (Essential oils) ที่มีลักษณะแตกต่างกันออกไปตามแต่ละสายพันธุ์

2) มีโซคาร์พ (Mesocarp) หรือ แอลเบโด (Albedo) เป็นโครงสร้างที่อยู่ใต้เอพิคาร์พ ซึ่งแอลเบโดนี้ประกอบด้วย เซลล์พาราเรโนไมมา (Parenchymatous cells) ขนาดใหญ่ และมีสารเพคติน (Pectin) และเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เป็นองค์ประกอบในปริมาณที่สูง ส่วนของแอลเบโดและฟลาเวโด รวมกันเรียกว่า เพอริคาร์พ (Pericarp) หรือเปลือกผล

3) เอ็นโดคาร์พ (Endocarp) เป็นส่วนเนื้อของผลมะตูมที่นำมารับประทาน ซึ่งในส่วนนี้ประกอบด้วยยางเหนียว (Mucilages) และเมล็ด ซึ่งองค์ประกอบเคมีของเนื้อเยื่อแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกันออกไป โดยสารบางชนิดอาจมีปริมาณสูงและอยู่ในเนื้อเยื่อเฉพาะ เช่น สารแทนนิน (Tannin) ซึ่งพบมากในเพอริคาร์พมากกว่าเนื้อเยื่ออื่นๆ

2.3.2 ขิง

ขิงเป็นได้ทั้งพืชเครื่องเทศและสมุนไพร ซึ่งจัดเป็นพืชไร่ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Zingiber officinale* Roscoe. จัดอยู่ในวงศ์ Zingiberaceae มีถิ่นกำเนิดในทวีปเอเชีย และเป็นพืชปลูกมานานในประเทศจีน พันธุ์ขิงที่นิยมปลูกในประเทศไทยมีหลายสายพันธุ์ มีชื่อเรียกแตกต่างกันในพื้นที่ต่างๆ เช่น ขิงแดง ขิงแกลง (จันทบุรี) ขิงบ้าน ขิงแครง ขิงป่า ขิงเขา ขิงดอกเดียว (ภาคกลาง) ขิงเผือก (เชียงใหม่) สะเอ (กะเหรี่ยง - แม่ฮ่องสอน) โดยจำแนกพันธุ์ขิงที่ปลูกในประเทศไทยไว้ 2 กลุ่ม คือ 1) ขิงใหญ่หรือขิงหยวกหรือขิงขาว ลักษณะง่ามใหญ่ ข้อห่าง เนื้อละเอียด มีเสี้ยนน้อยมาก รสไม่เผ็ดจัด เมื่อบดเปลือกออกเนื้อในไม่มีสี หรือมีสีเหลืองอ่อนๆ ตาที่ปรากฏบนง่ามลักษณะกลมมน ปลายใบป้านและมีความสูงมากกว่าขิงเล็ก เหมาะสำหรับรับประทานเป็นขิงอ่อนหรือขิงดอง ขิงชนิดนี้มีจำหน่ายมากมายในท้องตลาด 2) ขิงเล็กหรือขิงเผ็ด บางแห่งเรียกว่า ขิงดำ ลักษณะเป็นง่ามเล็ก สันข้อถี่ เนื้อมีเสี้ยนมาก และรสค่อนข้างเผ็ด เมื่อบดเปลือกออกแล้วมีสีน้ำตาลหรือน้ำเงินปนเขียว ตาบนง่ามมีลักษณะแหลม ปลายใบแหลม การแตกกอดี นิยมใช้ทำยาสมุนไพรและทำขิงแห้ง เพราะให้น้ำหนักดีกว่าขิงหยวก ส่วนที่นำมาใช้ประโยชน์ของขิง คือ ลำต้นใต้ดินหรือเหง้าขิง (Rhizome) มีลักษณะเป็นข้อๆ แข็ง มีสีขาวหรือเหลืองอ่อน มีเยื่อและเกล็ดเล็กๆ ห่อหุ้ม จะแตกขนานไปกับพื้นดิน สามารถแยกเป็นส่วนย่อยได้เรียกว่า ง่าม (Hands หรือ Finger) ลักษณะการแตกแขนงเป็นแบบนี้มีมือคือ ง่ามอันแรกจะเจริญและแตกง่ามย่อยๆ ต่อกันไปซึ่งมีขนาดต่างกันไปตามพันธุ์ขิง สี เนื้อขิง กลิ่น และความเผ็ดร้อนแตกต่างกันไปตามพันธุ์เช่นกัน ลักษณะเหง้าขิงแสดงดังภาพที่ 2-4 โดยเหง้าขิงสามารถดำรงชีวิตข้ามฤดูหรือหลายฤดู ลำต้นส่วนเหนือดินเป็นลำต้นเทียม (Clump) ประกอบด้วยกาบใบซ้อนทับกันหลายๆ ชั้น เจริญจากตาที่ปรากฏอยู่บนง่ามของขิง ใบมีลักษณะเป็นรูปหอกเกลี้ยงๆ เรียงสลับกันเป็นสองแถว หลังใบห่อจับเป็นรูปร่างน้ำ ปลายใบสอบเรียวแหลม โคนใบสอบแคบ และจะเป็นกาบหุ้มลำต้นเทียม ส่วนดอกออกเป็นช่อ (Inflorescence) รูปเห็ดหรือรูปกระบองโบราณ ดอกเกิดจากยอดที่ไม่มีใบหรือเกิดแยกกับลำต้น ลักษณะดอกเป็นตุ่มมีเกล็ดเล็กๆ ดอกจะแซมออกมาตามเกล็ด ผลมีลักษณะกลม แข็ง โต้ (รุ่งรัตน์ เหลืองนทีเทพ, 2540; รมณี สงวนดีกุล, 2542)



ภาพที่ 2-4 ลักษณะของเหง้าขิง

ที่มา : ขิง สมุนไพรสารพัดประโยชน์ (ม.ป.ป.)

ขิงมีองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้มีกลิ่นรส และความเผ็ด แบ่งออกเป็น 2 ส่วน (ชัยรัตน์ พึ่งเพียร, 2552) คือ

1) น้ำมันหอมระเหย (Essential oil) มีอยู่ประมาณ 1.00-3.00% พบมากในส่วนของคอร์ติคอล พาเรงคิมา (Cortical parenchyma) จึงสามารถสูญเสีไปได้ในระหว่างการปอกเปลือก น้ำมันหอมระเหยถูกสกัดได้โดยใช้วิธีการกลั่นด้วยน้ำ หรือไอน้ำ น้ำมันหอมระเหยในขิงมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ ซิงจิเบอร์เนน (Zingiberene) ซิงจิเบอร์อล (Zingiberol) ไบซาโบลีน (Bisabolene) และแคมเฟน (Camphene) เป็นต้น

2) น้ำมันชัน (Oleo-resin) เป็นของผสมระหว่างเรซิน (Resin) กับน้ำมันหอมระเหย มีอยู่ประมาณร้อยละ 4.00-7.50% พบมากในชั้นคอร์เทกซ์ (Cortex) และมีกระจายอยู่ทั่วไปในชั้นเซลล์เอนโดเดอร์มิส (Endodermis) ดังแสดงในภาพที่ 2-3 น้ำมันชันถูกสกัดได้โดยใช้ตัวทำละลาย น้ำมันชันเป็นส่วนประกอบสำคัญที่ทำให้เกิดกลิ่นรสและความเผ็ดของขิง และยังเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญ คือ จินเจอร์อล (Gingerol) และโชกาออล (Shogaol) ซึ่งสัดส่วนขององค์ประกอบดังกล่าวจะผันแปรตามสายพันธุ์ สภาพการเพาะปลูก และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว

2.4 การใช้เส้นใยอาหารในผลิตภัณฑ์อาหาร

Wongmetinee (2007) กล่าวว่า เส้นใยอาหารถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมหรือสารเติมแต่ง ในผลิตภัณฑ์อาหารอย่างแพร่หลาย ไม่เพียงแต่เพื่อวัตถุประสงค์ทางด้านโภชนาการเท่านั้น เช่น สารเพิ่มมวล สารปรับปรุงเนื้อสัมผัส และสารลดปริมาณไขมัน การเติมเส้นใยอาหารมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับของส่วนผสมอื่น ๆ จึงจำเป็นจะต้องกำหนดสูตรการเติมที่เหมาะสม ตัวอย่างเช่น ปริมาณความต้องการน้ำเพิ่มมากขึ้น ผู้ผลิตอาหารโดยทั่วไปมักใช้เส้นใยอาหารบริสุทธิ์ที่ละลายน้ำในระดับต่ำ (0.2-1.0%) สำหรับคุณสมบัติเชิงหน้าที่ ขณะที่เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำส่วนใหญ่นำมาใช้เพื่อประโยชน์ทางด้านโภชนาการ อย่างไรก็ตามบางครั้งอาจมีการใช้เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำเพื่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ด้วย

การใช้เส้นใยอาหารในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ สามารถการเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ จากเส้นใยอาหารจากธัญชาติ เช่น ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต ข้าวบาร์เลย์ ข้าวโพด เป็นต้น เส้นใยอาหารจากผลไม้ เช่น ผลไม้ตระกูลส้มและแอปเปิ้ล เป็นต้น และเส้นใยอาหารจากผัก เช่น ถั่ว หัวผักกาด และผงเซลลูโลส เป็นต้น การใช้เส้นใยอาหารทดแทนแป้งหรือไขมัน และการเติมส่วนใหญ่สำหรับประโยชน์ทางโภชนาการ นอกจากนี้ส่วนผสมบางอย่างที่มีเส้นใยอาหารสูง สามารถใช้ประโยชน์สำหรับคุณสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสและการกักเก็บน้ำได้เป็นอย่างดี

การใช้เส้นใยอาหารในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ มักนำมาใช้ในวัตถุประสงค์ทางด้านโภชนาการ และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ เช่น การเติมเซลลูโลสผงในเนื้อผลิตภัณฑ์เนื้อบดเพื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารและช่วยลดการสูญเสียปริมาณผลผลิต รวมทั้งช่วยเก็บน้ำในผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น

การใช้เส้นใยอาหารในผลิตภัณฑ์เบตเตอร์ มักใช้เพื่อการลดปริมาณการดูดซับน้ำมันโดยการเติมเส้นใยอาหารก่อนการนำเบตเตอร์ไปทอด Ang (1991) รายงานว่าเซลลูโลสผงรวมทั้งเส้นใยข้าวโอ๊ต เส้นใยถั่วเหลือง เส้นใยถั่ว และเส้นใยหัวผักกาด ในปริมาณเล็กน้อยประมาณ 0.3-3% โดยน้ำหนักของเบตเตอร์ สามารถนำมาใช้เป็นสารลดปริมาณการดูดซับน้ำมันได้ นอกเหนือจากนี้การเติมเส้นใยอาหารในเบตเตอร์ที่นำไปทอดสามารถให้ลักษณะปรากฏของอาหารทอดดีขึ้น โดยเบตเตอร์จะมีสีเหลืองทองหลังจากการทอด ซึ่งแทนที่จะเป็นสีน้ำตาลและสีดำของอนุภาคที่ไม่สม่ำเสมอ

2.5 ไอศกรีม

ไอศกรีมเป็นผลิตภัณฑ์นมแช่แข็ง ทำโดยการแช่แข็งส่วนผสมไอศกรีมที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์แล้วรวมกับการกักเก็บอากาศเข้าไปในผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ได้ไอศกรีมที่มีความขึ้นหืดที่สม่ำเสมอ ไอศกรีมมีส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์จากนม น้ำตาล และน้ำ โดยอาจเติมไข่ สารปรุงแต่งสี และกลิ่นรส รวมทั้งสารเพิ่มความคงตัว (Stabilizer) และอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) ด้วย (Marshell and Arbuckie, 1996) ไอศกรีมสามารถแบ่งได้หลายแบบ แต่หากแบ่งตามปริมาณไขมันของไอศกรีมได้เป็น 5 ประเภท คือ

- 1) ไอศกรีมปกติ (regular ice cream) เป็นไอศกรีมที่มีปริมาณไขมัน 8-18%
- 2) ไอศกรีมลดไขมัน (reduced-fat ice cream) เป็นไอศกรีมที่มีปริมาณไขมัน ต่ำกว่าไอศกรีมปกติ 25%
- 3) ไอศกรีมไลท์ (light ice cream) เป็นไอศกรีมที่มีปริมาณไขมันต่ำกว่าไอศกรีมปกติ 50% หรือมีปริมาณแคลอรีต่ำกว่าปกติ 1/3 เท่า
- 4) ไอศกรีมไขมันต่ำ (low-fat ice cream) เป็นไอศกรีมที่มีปริมาณไขมันต่ำกว่า 3 กรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค (serving) หรือประมาณ 4 ออนซ์
- 5) ไอศกรีมปราศจากไขมัน (nonfat ice cream) เป็นไอศกรีมที่มีปริมาณไขมันต่ำกว่า 0.5 กรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค (serving)

2.6 คูกี้

คูกี้เป็นผลิตภัณฑ์ขนมอบที่มีรสหวาน มีขนาดเล็กและแบน ทำจากแป้งสาลีชนิดโปรตีนปานกลาง (10-11%) หรือแป้งสาลีที่มีโปรตีนต่ำ (7-9%) สำหรับเนยขาวและน้ำตาลเป็นส่วนผสมที่สำคัญ โดยมีปริมาณมากน้อยตามประเภทของคูกี้ คูกี้ทั่วไปจะมีปริมาณของเนยขาว 30-35% ของแป้ง และมีน้ำตาลมากกว่าเนยขาวเล็กน้อย สำหรับวัตถุดิบอื่นๆ จะเหมือนกับที่ใช้เป็นส่วนผสมในเค้ก

อาจมีการดัดแปลงเพื่อเพิ่มความอร่อย โดยตกแต่งด้วยผลไม้แห้ง ถั่วต่างๆ กาแฟ ช็อกโกแลต ซึ่งจะมีการเรียกชื่อตามส่วนผสมนั้นๆ (จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2549)

สำหรับงานวิจัยนี้เลือกที่จะผลิตคุกกี้ชูการ์สแนป จากการตรวจเอกสาร มีการให้ความหมายและอธิบายเกี่ยวกับลักษณะของคุกกี้ชูการ์สแนปไว้ดังนี้

Steertegem et al. (2014) กล่าวว่า ระบบส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ที่มีแป้งสาลีเป็นส่วนผสมหลักมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์โครงสร้างของโดหรือแบดเตอร์ จากการพิจารณาระบบส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ ขนมปัง เค้ก คุกกี้ชูการ์สแนป และวอฟเฟิล พบว่า มีการใช้สัดส่วนของ แป้งสาลี น้ำตาล และไขมัน แตกต่างกัน โดยคุกกี้ชูการ์สแนป เป็นผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ที่มีการใช้น้ำตาลมาก รองจากเค้ก มีการใช้ไขมันต่ำ โดยใช้ผงฟูไม่ใช้ยีสต์ แสดงรายละเอียดส่วนผสมแสดงดังตารางที่ 2-1 นอกจากนี้หากพิจารณาสัดส่วนการใช้แป้งสาลี น้ำตาล และ ไขมัน ของขนมปัง เค้ก คุกกี้ ชูการ์สแนป และวอฟเฟิล พบว่า คุกกี้ชูการ์สแนปมีการใช้ปริมาณแป้งระดับมาก ใกล้เคียงกับวอฟเฟิล มีการใช้ไขมันต่ำ แต่ยังใช้มากกว่ากรณีขนมปัง และมีการใช้น้ำตาลระดับปานกลางซึ่งน้อยกว่าเค้ก

Mancebo et al. (2015) กล่าวว่า คุกกี้ชูการ์สแนปเป็นคุกกี้ที่มีการใช้ไขมันและน้ำตาลในปริมาณสูง โดยมีการใช้ปริมาณน้ำตาล ซึ่งใช้สำหรับการก่อให้เกิดโครงสร้างของกลูเตนเท่านั้น แป้งเป็นส่วนผสมหลักที่ทำให้เกิดโครงสร้างจากการมีองค์ประกอบของสตาร์ช น้ำ และโปรตีน โดยความสมดุลระหว่างน้ำกับสตาร์ชมีความสัมพันธ์กับระดับการถูกทำลายของสตาร์ช ซึ่งมีผลให้การแผ่ขยายของคุกกี้ลดลง

Sciarini et al. (2013) กล่าวว่า คุกกี้ชูการ์สแนป เกิดจากโดที่มีส่วนผสมสำคัญจากแป้งสาลี น้ำตาล และไขมัน แป้งสาลีเป็นส่วนผสมหลักโดยปริมาณของไขมันและน้ำตาลที่อยู่ในระบบส่วนผสมมีผลต่อการเกิดลักษณะคล้ายพลาสติกและเกิดลักษณะโดที่มีการเกาะติดกันเป็นก้อนได้ โดยมีการเกิดโครงสร้างกลูเตนต่ำ ดังนั้นจึงไม่เกิดลักษณะยืดหยุ่น ผลิตภัณฑ์คุกกี้ชูการ์สแนป จะไม่เกิดโครงสร้างของโปรตีน โดยปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ต่ำ หน้าที่ของน้ำตาลคือทำให้ความหวาน และมีผลต่อลักษณะของโครงสร้างและเนื้อสัมผัสของคุกกี้ โดยมีผลต่อการแผ่ขยายของคุกกี้

ตารางที่ 2-1 สูตรพื้นฐานของขนมปัง เค้ก คุกกี้ชูการ์สแนป และวอฟเฟิล

	Flour (g)	Water (g)	Sucrose (g)	Invert sugar syrup (g)	Bakery fat (g)	Egg (g)	Yeast (g)	Baking powder (g)	Salt (g)
Bread	100	60	6	-	-	-	5	-	1.5
Pound cake	100	-	100	-	100	100	-	2.5	<1
Sugar- snap cookie	100	20	60	-	30	-	-	<1	<1
Waffle	100	24	-	33	69	-	11	-	<1

ที่มา : Steertegem et al. (2014)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเส้นใยอาหาร เส้นใยผง และอาหารผง จากวัสดุทางการเกษตรและการนำเส้นใยผงมาเติมในอาหาร รวมทั้งการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยไว้ดังนี้

López-Vargas et al. (2013) ศึกษา 1) องค์ประกอบทางเคมี 2) สมบัติทางกายภาพและเคมี 3) คุณสมบัติเทคโนโลยี 4) ปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ทั้งหมด 5) คุณสมบัติของสารต้านออกซิเดชัน 6) คุณสมบัติของสารต้านจุลินทรีย์ ของเส้นใยอาหารผงที่ได้จากส่วนเหลือทิ้ง (กาก และเมล็ด หรือเปลือก) ของเสาวรสปันธุ์สีเหลือง (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*) นำมาวิเคราะห์ความเหมาะสมสำหรับการใช้เป็นส่วนผสมอาหารจากธรรมชาติ วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีทั้งหมด ได้แก่ ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำ (WHC) ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (OHC) และความสามารถในการพองตัว (SWC) ปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ทั้งหมด สำหรับกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ ใช้การทดสอบที่แตกต่างกัน 3 แบบ คือ (DPPH, FIC และ FRAP) ขณะที่กิจกรรมของสารต้านจุลินทรีย์วิเคราะห์โดยใช้วิธี microdilution ปริมาณเส้นใยอาหารของเมล็ดและกากของเสาวรสปันธุ์สีเหลือง (PFSP) มี 53.51 กรัม/100 กรัม ขณะที่ปริมาณเส้นใยในอัลบิโดของเสาวรสปันธุ์สีเหลือง (PFA) มี 71.79 กรัม / 100 กรัม เส้นใยทั้งสองประเภทแสดงให้เห็นคุณสมบัติเทคโนโลยีที่ดี ปริมาณสารฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นใยและตัวทำละลายที่ใช้ ซึ่งในการศึกษานี้ DMSO เป็นตัวทำละลายที่มีประสิทธิภาพมากกว่าเมทานอลหรือน้ำ จากการวิเคราะห์ตัวอย่างทั้งหมดแสดงให้เห็นว่ามีความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันและสารต้านจุลินทรีย์ได้ดี

Naowakul et al. (2013) ศึกษาผลของความเร็ว (16, 820 18, 220 และ 20, 220 รอบต่อนาที) และ ระยะเวลา (1, 3 และ 5 นาที) ในการบดเปียกต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของเส้นใยอาหารผงที่เตรียมจากเปลือกในส้มโอ จากผลการศึกษาพบว่า ความเร็วในการบดเปียกเปลือกในส้มโอมีอิทธิพลต่อสมบัติของเส้นใยอาหารผงที่เตรียม จากเปลือกในส้มโอมากกว่าระยะเวลาในการบดเปียก การเพิ่มความเร็วทำให้ค่า L* ความสามารถในการอุ้มน้ำมันวอเตอร์แอกทิวิตี และปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำ ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำลดลง การเพิ่มระยะเวลาในการบดเปียกทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำมันเพิ่มขึ้น แต่มีความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง การบดเปียกด้วยความเร็วระดับสูง เป็นเวลา 1 นาที ทำให้ได้เส้นใยอาหารผงที่มีสมบัติทางกายภาพและเคมีที่ดีคือ มีค่า L* เท่ากับ 97.29 ปริมาณผลผลิตที่ได้เท่ากับ 11.40% วอเตอร์แอกทิวิตี เท่ากับ 0.207 ปริมาณความชื้นเท่ากับ 7.84% โดยน้ำหนักเปียก ความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 5.10 ความสามารถในการอุ้มน้ำเท่ากับ 14.50 กรัม/น้ำต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ความสามารถในการอุ้มน้ำมันเท่ากับ 2.38 กรัม/น้ำมันต่อกรัม ตัวอย่างแห้ง ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่

ละลายน้ำ เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารทั้งหมดเท่ากับ 44.57%, 35.45% และ 80.02% โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ดังนั้นสภาวะในการบดเปียกด้วยความเร็ว 20, 220 รอบ เป็นเวลา 1 นาที จึงเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ร่วมกับขั้นตอนอื่นๆ ในการผลิตเส้นใยอาหารผงต่อไป

Crizel et al. (2013) ได้ทำการเปรียบเทียบเส้นใยจากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมผลิตน้ำส้มโดยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ เปลือก กากและเมล็ด (F1) และเปลือก (F2) ซึ่งทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีได้แก่ ปริมาณเส้นใยทั้งหมด เส้นใยที่ละลายน้ำได้และละลายน้ำไม่ได้ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ความสามารถในการละลายน้ำ การอุ้มน้ำและน้ำมัน และวัดค่าสีและศึกษาองค์ประกอบของแคโรทีนอยด์ พบว่า เส้นใย F1 และ F2 มีความสามารถในการละลาย ความสามารถการอุ้มน้ำ และความสามารถการอุ้มน้ำมัน ไม่แตกต่างกัน จึงน่าจะนำมาใช้ในส่วนผสมอาหารในลักษณะที่คล้ายคลึงกันได้ คุณสมบัติการทำงานเส้นใยแสดงให้เห็นผลด้านดีในด้านความสามารถการอุ้มน้ำความสามารถการอุ้มน้ำมันและช่วยให้การประยุกต์ใช้ในการสูตรผลิตภัณฑ์อาหาร เพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสและลดค่าแคลอรีทั้งเส้นใย F1 และ F2 รวมทั้งเป็นแหล่งที่ดีของสารฟีนอลิกและแคโรทีนอยด์ จากนั้นนำเส้นใย F1 และ F2 มาเติมในไอศกรีมโดยมีสูตรควบคุม (IC) และสูตรเติมเส้นใย (ICF1, ICF2) และศึกษาองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ความชื้น ไขมันและความชอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ปริมาณไขมันของไอศกรีมลดลงประมาณ 70% โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในคุณสมบัติอื่นเช่น สี กลิ่น และเนื้อสัมผัส แต่ควรต้องปรับปรุงด้านกลิ่นรสและด้านความรู้สึกตักข้างหลังการรับประทานเนื่องจากมีรสขมตักข้างเล็กน้อย

Manish et al. (2013) ได้ศึกษาการสกัดเพคตินจากมะตูม (BFP) และคุณสมบัติทางเภสัชกรรมได้แก่คุณสมบัติทางเคมีกายภาพคุณสมบัติการไหลและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของเพคตินที่สกัดได้ โดยทำการสกัดเพคตินจากมะตูมและทำแห้งด้วยตู้อบลมสุญญากาศภายใต้ความดัน 10 มิลลิเมตรปรอท ที่อุณหภูมิ 38 - 42 °C บดเป็นผงแล้วนำมาวิเคราะห์ปัจจัยที่ต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของผงมะตูมและเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่าง BFP และเพคตินของส้ม (CP) ในด้านคุณสมบัติการไหล คุณสมบัติเชิงหน้าที่ ผลของการต้านจุลชีพและกิจกรรมของยาต้านการแข็งตัวของเลือด พบว่า ไม่พบปัจจัยใดๆที่ต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการในมะตูม ไม่พบคุณสมบัติการไหลระหว่าง BFP และ CPแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ CP จะมีค่าสูงกว่าเนื่องจากขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ค่า pH น้ำหนักโมเลกุล เป็นต้น คุณสมบัติทางเคมีกายภาพและประสิทธิภาพของอนุภาคของเพคตินผงนั้น สามารถนำไปใช้ในเชิงเภสัชกรรม การนำไปใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงรูปแบบยาได้ และผลิตภัณฑ์อาหารได้ โดยมีผลที่ดีในด้านความคงตัวของ emulsion สำหรับผลของการต้านจุลชีพ พบว่า BFP มีผลที่ดีกว่า CP ที่ขายทางการค้าสำหรับใช้เติมในอาหารและยา

Sittisuanjik et al (2012) ศึกษาผลของวิธีการเตรียมต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมและสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารผงจากกากส้มเขียวหวาน โดยวิธีเตรียมกากส้มเขียวหวาน 3 วิธี ได้แก่ วิธีแรกนำกากส้มมาล้างด้วยน้ำประปาที่อุณหภูมิปกติ วิธีที่ 2 ลวกในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 95 °C เป็นเวลา 5 นาที และวิธีที่ 3 นำกากส้มที่ผ่านการลวกในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 95 °C เป็นเวลา 5 นาที และแช่สารละลายเอทานอล 95% v/v ดัดแปลงตามวิธีของ Prakongpan et al. (2002) นำทุกตัวอย่างมาทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C บดและร่อนผ่านตะแกรง จากนั้นนำมาสกัดด้วยสารละลายเมทานอลเข้มข้น 80 % v/v ดัดแปลงตามวิธีของ Loypimai et al. (2010) และเก็บรักษาในขวดฝาเกลียวสีขาวที่อุณหภูมิ -25 °C นำมาวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด วิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH (1,1-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging; IC50) และวิเคราะห์ total antioxidant capacity พบว่าการเตรียมเส้นใยอาหารโดยใช้วิธีการล้างวัตถุดิบด้วยน้ำ มีปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระรวม และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด (มีค่าเท่ากับ 87.22 µg GAE/กรัมน้ำหนักแห้ง, 782.62 µg GAE/กรัมน้ำหนักแห้ง และ 0.11 กรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ) วิธีการเตรียมมีผลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารผงจากกากส้มเขียวหวาน ($p \leq 0.05$) พบว่าการเตรียมเส้นใยอาหารผงด้วยการลวกในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 95 °C เป็นเวลา 5 นาที และแช่สารละลายเอทานอล 95% v/v แสดงค่าความสามารถในการอุ้มน้ำความสามารถในการอุ้มน้ำมันและค่า bulk density สูงสุด (มีค่าเท่ากับ 14.48 น้ำหนักน้ำ/น้ำหนักตัวอย่าง, 1.66 น้ำหนักน้ำมัน/น้ำหนักตัวอย่าง และ 0.57 น้ำหนักตัวอย่าง/ปริมาตร ตามลำดับ) ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้ใช้เป็นแนวทางสำหรับประยุกต์ใช้เส้นใยอาหารผงจากกากส้มเขียวหวานในสูตรผลิตภัณฑ์อาหารต่อไป

Wongmetinee (2007) ศึกษากรรมวิธีในการผลิตใยอาหารจากกากตะไคร้ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการสกัดและการฟอกสี รวมถึงวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของใยอาหารที่สกัดได้ และทดสอบความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร การศึกษาเปรียบเทียบในการผลิตใยอาหารระหว่างการสกัดด้วยเอทานอลร่วมกับการฟอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และการผลิตโดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสภาวะต่าง (AHP treatment) พบว่ากรรมวิธีหลังมีความเหมาะสมสำหรับการผลิตใยอาหารมากกว่า โดยสภาวะในการผลิตคือ กากตะไคร้ต่อสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 2.1 โมลาร์ ที่อัตราส่วน 1: 20 ในสภาวะต่าง (pH 9.0) ที่อุณหภูมิ 87-93 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ได้ผลผลิตใยอาหารจากกากตะไคร้ปริมาณ 82% โดยมีปริมาณใยอาหารทั้งหมด 86% ซึ่งส่วนใหญ่เป็นใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำ จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของใยอาหารพบว่าใยอาหารจากกากตะไคร้มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ 7.40 กรัมต่อกรัมตัวอย่าง ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน 2.25 กรัมต่อกรัมตัวอย่าง ค่า emulsifying activity 2.03% ค่า emulsion stability 1.90% ค่า water activity 0.41 ปริมาณความชื้น 5.79%

ใยอาหารที่ผลิตได้มีสีเหลืองอมเขียว และมีค่าความเป็นกรด-ด่างปานกลาง (6.95) การประยุกต์ใช้ใยอาหารจากกากตะไคร้ในผลิตภัณฑ์คุกกี้ โดยเติมใยอาหารลงไปแทนที่แป้งสาลีในปริมาณ 5, 10, 12.5 และ 15% โดยน้ำหนัก เพื่อเพิ่มปริมาณใยอาหารในผลิตภัณฑ์ พบว่าระดับสูงสุดที่สามารถเติมได้คือ 12.5% ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความแตกต่างจากสูตรควบคุมในด้านการแผ่ตัวและความแข็งของคุกกี้ และมีสีที่แตกต่างจากสูตรควบคุมอย่างชัดเจน

Prakongpan et al. (2002) ศึกษาการสกัดและการใช้เส้นใยอาหารจากแกนสับประรด โดยใช้สารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 (1:5 w/v) ได้ Pineapple core dietary fiber (PDF) และสกัดเซลลูโลสได้เป็น Pineapple core cellulose (PC) โดยใช้สารแอลคาลอยด์ จากนั้นนำสารที่สกัดได้ไปผ่านกระบวนการฟอกสี (Bleaching process) จากการสกัดด้วยสารดังกล่าวข้างต้นได้ปริมาณเส้นใยอาหาร 99.8% และ 95.2% ของน้ำหนักแห้งตามลำดับ ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพและการนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์โดนัทเค้ก เค้ก และผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสคะแนนการยอมรับอยู่ในเกณฑ์ดี

สหขวัญ โรจนคุณธรรม และอังคณา จันทรพลพันธ์ (2557) ศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และเคมีกายภาพของเส้นใยอาหารจากมะม่วงแก้ว ได้แก่ เส้นใยอาหารสดจากมะม่วงแก้ว และเส้นใยอาหารจากมะม่วงแก้วที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ นอกจากนี้ยังศึกษาผลของเส้นใยอาหารเหล่านั้นต่อคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะร้อน ของแป้งข้าวเจ้าอีกด้วย ผลการศึกษาพบว่าเส้นใยอาหารสดจากมะม่วงแก้วมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (36.84%) เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (9.68%) และเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (27.49%) สูง กว่าเส้นใยอาหารจากมะม่วงแก้วที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ (เส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำและเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำเป็น 29.29%, 2.81% และ 26.48% ตามลำดับ) เส้นใยอาหารสด จากมะม่วงแก้วมีความสามารถในการอุ้มน้ำ (9.45 g water/g dietary fiber) และน้ำมัน (7.33 g oil/g dietary fiber) สูงกว่าเส้นใยอาหารจากมะม่วงแก้วที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ (ความสามารถในการอุ้มน้ำ มีค่าเท่ากับ 6.30 water/g dry sample และความสามารถในการอุ้มน้ำมันมีค่าเท่ากับ 4.02 oil/g dry sample) ตรวจสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยใช้ Folin-Ciocalteu method ผลการตรวจสอบ พบว่าเส้นใยอาหารสดจากมะม่วงแก้วมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (0.51 GAE/100 g) สูงกว่าเส้นใยอาหารจากมะม่วงแก้วที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ (0.06 g GAE/100 g) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระตรวจสอบด้วยวิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay สูงกว่าเส้นใยอาหารจากมะม่วงแก้วที่ไม่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์เมื่อตรวจวัดความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของเส้นใยอาหารจากมะม่วงแก้ว โดยใช้วิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP) และ 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) assays พบว่าเส้นใยอาหารสดจากมะม่วงแก้วมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าเส้นใย

อาหารจากมะม่วงแก้วที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ การเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงแก้วลงในแป้งข้าวเจ้าส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเจ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

อังคณา คงสุวรรณ และคณะ (2557) ได้ศึกษาหาความสัมพันธ์ของการลดขนาดแกนและเปลือกสับปะรด (2.5 5.0 7.5 10.0 และ 12.5 มิลลิเมตร) และปัจจัยร่วมในการสกัดคืออุณหภูมิ (60 70 80 และ 90°C) เวลา (5 62.5 120 และ 177.5 นาที) อัตราส่วนของน้ำต่อกาก (50:50 ถึง 67:33 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก) และพีเอช (3.0 3.5 4.0 4.5 และ 5) ที่ส่งผลต่อค่าผลได้และปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดของแกนและเปลือกสับปะรด โดยทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (respond surface methodology, RSM) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมพบว่าขนาดแกนและเปลือกสับปะรดมีผลต่อค่าผลได้ โดยมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของชิ้นเปลือกและแกนสูงขึ้น อีกทั้งเวลาและอุณหภูมิในการสกัดที่มากขึ้นยังส่งผลต่อการสกัดเส้นใยจากแกนสับปะรด

วีระสิทธิ์ ธรรมวโร และคณะ (2556) ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการสกัดใยอาหารจากแกนสับปะรดและการประยุกต์ใช้ในซูบเฟือกหอม โดยการสกัดที่อุณหภูมิห้อง ($30 \pm 2^\circ\text{C}$) และสกัดร้อน ($90 \pm 2^\circ\text{C}$) ที่ระยะเวลา 20, 60, 180 นาที และสกัด 180 นาทีที่ร่วมกับสกัดต่อในเอทานอล 24 ซม. พบว่าการสกัดที่อุณหภูมิห้องจะให้ค่าด้านความสว่าง (L^*) สูงขึ้นและค่าสีเหลืองน้อยลงรวมถึงร้อยละของผลผลิตสูงกว่าวิธีการสกัดร้อน ระยะเวลาการสกัดที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความสว่าง และปริมาณผลผลิตที่ได้ลดลง กระบวนการผลิตที่คัดเลือกคือ การสกัดแกนสับปะรดบดในน้ำที่อุณหภูมิห้อง 20 นาที แยกน้ำออกและอบแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส จนตัวอย่างมีความชื้น 5-8% ใยอาหารที่ผลิตได้มีค่าความชื้นฐานแห้งเท่ากับ 0.09, ใยอาหารหยาบ 33.09%, เถ้า 1.05%, โปรตีน 3.61% และ ไขมัน 1.80 % พลังงานมีค่าเท่ากับ 2.408 Kcal/g การเสริมใยอาหารลงในซูบเฟือกและทดสอบความชอบ พบว่าผู้ทดสอบ 30 คนให้คะแนนความชอบซูบเฟือกที่เสริมใยอาหารขนาด 40 หรือ 60 mesh ที่ปริมาณ 0.5% โดยน้ำหนักซูบเฟือกไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยให้คะแนนในระดับชอบปานกลาง (7.0 ± 1.2)

กุหลาบ สิทธิสวนจิก และคณะ (2555) ศึกษาผลของวิธีการเตรียมต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม และสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารผงจากกากส้มเขียวหวาน โดยวิธีเตรียมกากส้มเขียวหวาน 3 วิธี ได้แก่ การล้าง การลวก และการแช่สารละลายเอทานอล จากการศึกษาพบว่าการเตรียมใยอาหารโดยใช้วิธีการล้างวัตถุดิบด้วยน้ำประปามีปริมาณของสารประกอบฟีนอลิก ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระรวม (Total antioxidant capacity) และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH (1,1 diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging; IC50) สูงสุด (มีค่าเท่ากับ $87.22 \mu\text{g GAE/กรัม น้ำหนักแห้ง}$, $782.62 \mu\text{g GAE/กรัม น้ำหนักแห้ง}$ และ $0.11 \text{กรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ}$) วิธีการเตรียมมีผลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารผงจากกาก

สัมพันธ์ (p ≤ 0.05) พบว่าการเตรียมโยอาหารผงด้วยวิธีการแช่สารละลายเอทานอล แสดงค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำมันและค่า Bulk density สูงสุด (มีค่าเท่ากับ 14.48 น้ำหนักน้ำ/น้ำหนักตัวอย่าง, 1.66 น้ำหนักน้ำมัน/น้ำหนักตัวอย่าง และ 0.57 น้ำหนักตัวอย่าง/ปริมาตร ตามลำดับ)

กุลรภัส วชิรศิริ และคณะ (2555) ศึกษาการเตรียมเส้นโยอาหารจากเปลือกเงาะ โดยนำเปลือกเงาะมาผ่านกระบวนการเตรียมเส้นโยอาหารและทำบริสุทธิ์ด้วยกระบวนการ alkaline hydrogen peroxide treatment จากนั้นนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติต่างๆของโยอาหารได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า ปริมาณเส้นโยอาหารทั้งหมด ปริมาณเส้นโยอาหารที่ละลายน้ำ และเส้นโยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ วิเคราะห์ค่าสีรายงานค่า L* ค่า a* และค่า b* วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำและน้ำมัน ทดสอบความเป็นพิษของเส้นโยอาหารตรวจสอบ acute oral toxicity test และศึกษาผลของเส้นโยอาหารจากเปลือกเงาะต่อคุณภาพของไอศกรีมนมไอศกรีมนมสูตรมาตรฐาน ประกอบไปด้วยนมสด นมผง หางนมผง น้ำตาล น้ำ และสารให้ความคงตัว และเติมเส้นโยอาหารจากเปลือกเงาะในปริมาณ 0%, 1%, 3% และ 5% ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด โดยทำการตรวจสอบคุณภาพต่างๆได้แก่ สี การขึ้นฟูของผลิตภัณฑ์ (overrun, %) และอัตราการละลาย (g/10 min) ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสการยอมรับผลิตภัณฑ์ ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสรสชาติ และความชอบโดยรวม ด้วยการประเมินทางประสาทสัมผัสแบบ 9 point Hedonic Scale พบว่าการเติมเส้นโยอาหารจากเปลือกเงาะมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมนมแตกต่างกับไอศกรีมไม่ได้มีการเติมเส้นโยอาหารอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) และปริมาณการเติมเส้นโยอาหารมีผลต่อคุณภาพด้านกายภาพอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ในขณะที่ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าปริมาณการเติมเส้นโยอาหาร 3% ของปริมาณส่วนผสมทั้งหมด ไม่ทำให้ไอศกรีมนมแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) กับไอศกรีมนมที่ไม่ได้มีการเติมเส้นโยอาหารและได้รับคะแนนการยอมรับอยู่ในเกณฑ์ชอบถึงชอบมาก

บงกชรัตน์ เนาวกุล (2553) ได้ศึกษาผลของความเร็ว (16,820 18,220 และ 20,220 รอบต่อนาที) และระยะเวลา (1, 3 และ 5 นาที) ในการบดเปียกต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของเส้นโยอาหารผงที่เตรียมจากเปลือกในส้มโอ จากผลการศึกษาพบว่าความเร็วในการบดเปียกเปลือกในส้มโอ มีอิทธิพลต่อสมบัติของเส้นโยอาหารผงที่เตรียมจากเปลือกในส้มโอมากกว่าระยะเวลาในการบดเปียก การเพิ่มความเร็วทำให้ค่า L* ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน วอเตอร์แอกทิวิตี และปริมาณเส้นโยอาหารที่ไม่ละลายน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำ ปริมาณเส้นโยอาหารที่ละลายน้ำลดลง การเพิ่มระยะเวลาในการบดเปียกทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำมันเพิ่มขึ้นแต่มีความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง การบดเปียกด้วยความเร็วระดับสูงเป็นเวลา 1 นาที ทำให้ได้เส้นโยอาหารผงที่มีสมบัติทางกายภาพและเคมีที่ดี คือ มีค่า L* เท่ากับ 97.29 ปริมาณผลผลิตที่ได้เท่ากับ

11.40% วอเตอร์แอกทิวิตีเท่ากับ 0.207 ปริมาณความชื้นเท่ากับ 7.84% โดยน้ำหนักเปียกความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 5.10 ความสามารถในการอุ้มน้ำเท่ากับ 14.50 กรัม น้ำต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ความสามารถในการอุ้มน้ำมันเท่ากับ 2.38 กรัม น้ำมันต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารทั้งหมดเท่ากับ 44.57%, 35.45% และ 80.02% โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ดังนั้นสถานะในการบดเปียกด้วยความเร็ว 20,220 รอบเป็นเวลา 1 นาที จึงเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ร่วมกับขั้นตอนอื่นๆ ในการผลิตเส้นใยอาหารผงต่อไป

วิจิตร อุดอ้าย และคณะ (2553) ได้ศึกษาการสกัดและการใช้ประโยชน์ทางอาหารของเส้นใยอาหารและเซลลูโลสจากเปลือกกล้วย โดยนำเปลือกกล้วยมาผลิตเป็นอาหาร คือสกัดสารที่มีประโยชน์จากเปลือกกล้วย 2 ชนิด ได้แก่ เซลลูโลส และเส้นใยอาหาร โดยศึกษาชนิด ความเข้มข้นของสารและเวลาที่เหมาะสม ด้วยการใช้สารเคมีในการสกัด 2 ชนิด ได้แก่ เอทานอล เพื่อกำจัดไขมัน โดยใช้ความเข้มข้นของสาร 3 ระดับ คือ 90% 95% และ 99% ที่ระยะเวลา 8 16 และ 24 ชั่วโมง และโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อกำจัดโปรตีน โดยใช้ความเข้มข้น 25% ที่ pH 3 ระดับ คือ 11.6 11.8 และ 12 และเวลา (contact time) 3 ระดับ คือ 8 16 และ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นศึกษาระยะการสุกของเปลือกกล้วย 3 ระยะ ที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด เปรียบเทียบสมบัติของเซลลูโลสและเส้นใยอาหารที่ผลิตได้กับผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกันกับที่ผลิตในทางการค้า พบว่าเวลาในการสกัดมีผลต่อปริมาณไขมันที่เหลืออยู่หรือถูกสกัดออกไปจากเปลือกกล้วย โดยที่เมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้น ปริมาณไขมันที่ถูกสกัดออกไปจากเปลือกกล้วยก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ในขณะที่ความเข้มข้นของเอทานอลที่ใช้ นั้น ไม่มีผลต่อการสกัดไขมันออกจากเปลือกกล้วย และเวลาในการสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีผลต่อปริมาณโปรตีนที่เหลืออยู่ หรือถูกสกัดออกไปจากเปลือกกล้วย เฉพาะเมื่อสกัดเป็นเวลา 24 ชั่วโมงเท่านั้น ในขณะที่ค่า pH ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้คือ 11.6, 11.8 และ 12.0 นั้น ไม่มีผลต่อการสกัดโปรตีนออกจากเปลือกกล้วย เนื่องจากความสามารถในการละลายของโปรตีนเริ่มสูงขึ้นที่เมื่อ pH มีค่าสูงขึ้นและสูงสุดที่ pH 12 และสูงกว่า 12

พัชรภรณ์ วชิรศิริ (2550) ได้ศึกษากระบวนการสกัดเส้นใยอาหาร จากเปลือกกล้วยน้ำว้า ที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 13-14 สัปดาห์ หลังการแทงปลี โดยในกระบวนการสกัดได้ใช้วิธีการเตรียมวัตถุดิบที่แตกต่างกัน 4 วิธี คือการบดแห้ง การบดเปียก การบดเปียกร่วมกับการล้างน้ำที่อุณหภูมิห้อง และการบดเปียกร่วมกับการล้างน้ำร้อน ตัวอย่างที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีการต่างๆ จะนำมาสกัดไขมัน โปรตีน และแป้งออกโดยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส กลูโคอะไมเลส และนิวเทรส พบว่าได้ผลผลิต 6.12% 6.10% 5.18% และ 4.95% โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีความสามารถในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมัน พบว่าเส้นใยอาหารที่เตรียมโดยวิธีการบดเปียกร่วมกับการล้างน้ำอุณหภูมิห้อง มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดและค่าความสามารถในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมันสูงที่สุดและแตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยอาหารที่เตรียมด้วยวิธีอื่นๆ สีของ

ผลิตภัณฑ์เส้นใยอาหารที่สกัดได้เป็นสีน้ำตาลอาจเป็นข้อจำกัดในการนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อาหาร

สิชรินทร์ ก้อนในเมือง และปราณี อ่านเป็รื่อง (2546) ได้ศึกษาการผลิตเส้นใยอาหารจากหัวกระเทียมพันธุ์ *Allium sativum* Lin. โดยวิธีการแยกไขมันและแป้งในหัวกระเทียม กำจัดไขมันโดยแช่หัวกระเทียมบดในสารละลายเอทานอลเข้มข้น 95% ในอัตราส่วน 1:3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นแยกแป้งออกจากหัวกระเทียมที่ผ่านการกำจัดไขมันออกแล้วโดยการย่อยสลายแป้งด้วยเอนไซม์แอลฟาอะมัยเลส (Termaryl 120 L) เข้มข้น 5% โดยปริมาตรต่อน้ำหนักเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 °C pH 6.9 ได้เส้นใยอาหารจากหัวกระเทียมที่มีปริมาณสูงทั้งเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้และเส้นใยอาหารทั้งหมดในปริมาณ 28.32% และ 85.77% ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าเส้นใยอาหารจากหัวกระเทียมที่ผลิตได้ไม่แสดงฤทธิ์ของการทำลายจุลินทรีย์ จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมปังที่เตรียมโดยมีเส้นใยอาหารจากหัวกระเทียมเป็นส่วนผสม 10% ได้รับคะแนนดีทั้งในด้านสี รสชม กลิ่นกระเทียม ความนุ่ม และการยอมรับรวม

เพ็ญภา เกียรติธีรชัย (2543) ศึกษาการสกัดเส้นใยอาหารจากเปลือกกล้วยเหลืองโดยใช้ตัวทำละลายเพื่อการสกัดที่แตกต่างกัน คือ แอลกอฮอล์ 95% และสารละลายต่าง พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสกัดทั้งสองวิธีมีปริมาณคิดเป็น 52.8% และ 59.4% ของน้ำหนักแห้งตามลำดับ การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ พบว่าการสกัดด้วยสารละลายต่างให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความบริสุทธิ์สูงกว่าการสกัดด้วยแอลกอฮอล์เล็กน้อย คือ มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดเท่ากับ 90.14% และ 88.86% ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และมีปริมาณน้ำอิสระอยู่ประมาณ 0.37 ค่าความเป็นกรดต่าง ของผลิตภัณฑ์ที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์เท่ากับ 4.8 ในขณะที่การสกัดด้วยสารละลายต่างมีค่า 8.6 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ พบว่า ความสามารถในการอุ้มน้ำของใยอาหารที่ได้จากการสกัดด้วยสารละลายต่างมีค่าสูงกว่าการสกัดโดยใช้แอลกอฮอล์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.2 และ 2.5 กรัมต่อกรัมใยอาหารตามลำดับ โดยค่าดังกล่าวจะลดลงเมื่อขนาดอนุภาคของใยอาหารลดลง การสกัดด้วยสารละลายต่างให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีขาวอมเหลือง และสีอ่อนกว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสกัดด้วยแอลกอฮอล์ เมื่อตรวจสอบลักษณะของใยอาหารโดยใช้กล้องจุลทรรศน์พบว่าใยอาหารที่ได้จากการสกัดทั้งสองวิธี มีลักษณะเป็นท่อนรูปทรงกระบอก การศึกษาผลของการเติมใยอาหารที่สกัดได้ลงในผลิตภัณฑ์อาหาร 3 ชนิด พบว่า เค้กที่เติมใยอาหารขนาดเล็ก (>100 เมช) 4% ของน้ำหนักรวมจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นและมีผลต่อเนื้อสัมผัสของเค้กอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และมีคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสไม่เปลี่ยน ไปจากสูตรปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) คุกกี้ที่เติมใยอาหารขนาดใหญ่ (<60 เมช) ที่ระดับ 1% ของน้ำหนักรวมมีค่าการขยายตัวเพิ่มขึ้นระหว่าง 1.5%-5.5% และคะแนนการยอมรับโดยรวมของคุกกี้ที่เติมใยอาหารสูงกว่าสูตรปกติ โดนัทเค้กที่เติมใยอาหารขนาดกลาง (60-100 เมช) ที่ได้จากการสกัดด้วยสารละลายต่างที่ระดับ 3% ของน้ำหนักรวม

ช่วยลดการอมน้ำมันระหว่างทอดได้ประมาณ 10% โดยมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสไม่เปลี่ยนไปจากสูตรปกติ ($p > 0.05$)

นอกจากนี้ได้ตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยไว้ดังนี้

Chung et al. (2014) ศึกษาผลของการใช้ประโยชน์ของข้าวกล้องงอก (GBR) ในคุกกี้ช็อกโกแลต และผลการใช้ความร้อนขึ้นของข้าวกล้องงอก โดยนำข้าวกล้องงอกจะมีการนำมาทำในหิ้งงอกที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วหลังจากนั้นก็นำไปให้ความร้อนขึ้น (17 กรัม ต่อ 100 กรัม) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เตรียมคุกกี้ช็อกโกแลตด้วยแป้งข้าวขาว แป้งข้าวกล้อง แป้งข้าวกล้องงอก และแป้งข้าวกล้องงอกที่ผ่านการให้ความร้อนขึ้นแทนแป้งสาลี (13-100 กรัม ต่อ 100 กรัม) ตัวอย่างที่ใช้แป้งข้าวขาวทั้งหมด ยกเว้นคุกกี้ที่ทำจากแป้งข้าวกล้องงอกและแป้งข้าวกล้องงอกที่ผ่านการให้ความร้อนขึ้นใช้แรงกดน้อยกว่าคุกกี้ที่ทำมาจากแป้งสาลี และผลทำให้คุกกี้นุ่มขึ้น เมื่อมีปริมาณแป้งข้าวมากขึ้น คุกกี้ที่ทำมาจากแป้งข้าวกล้องงอกจะมีลักษณะทางกายภาพที่ดีกว่าคุกกี้ที่ทำมาจากแป้งสาลี แต่คุกกี้ที่ผสมแป้งข้าวกล้องงอกที่ผ่านการให้ความร้อนขึ้นมีการปรับปรุงทางกายภาพและค่าการแผ่ขยาย (Spread factor) สูงกว่าคุกกี้จากแป้งข้าวกล้องงอก คุกกี้ที่ทำจากแป้งข้าวกล้องงอกที่ผ่านการให้ความร้อนขึ้นมีความแน่นเนื้อที่ต่ำในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิห้องมากกว่าตัวอย่างอื่น จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าสามารถผลิตคุกกี้ที่มีคุณภาพที่ยอมรับได้รวมถึงมีคุณภาพทางโภชนาการที่ดีขึ้น จากการทดแทนแป้งสาลีบางส่วนหรือทั้งหมดของแป้งข้าวกล้องงอกที่ผ่านการให้ความร้อนขึ้น

Martínez-Cervera et al. (2011) ศึกษาเนื้อสัมผัส องค์ประกอบ ลักษณะปรากฏ สี และวิเคราะห์ผลทางประสาทสัมผัสของมัฟฟินช็อกโกแลตไขมันต่ำ โดยเส้นใยโกโก้ถูกใช้เป็นส่วนทดแทนไขมันในมัฟฟินช็อกโกแลตและไขมันนั้นจะถูกแทนที่บางส่วนด้วยเส้นใยโกโก้ในอัตราส่วน 25%, 50% และ 75% ตามลำดับ โดยมีมัฟฟินช็อกโกแลตปกติ (ไขมัน 100%) เป็นตัวอย่างควบคุม ซึ่งมีการเติมผงโกโก้ลงไปเพื่อเป็นการเปรียบเทียบ จากการศึกษาการไหลของแบทเทอร์ ความสูงของผลิตภัณฑ์ขนมอบ พบว่า มีค่าลดลงในขณะที่อัตราร้อยละของการแทนที่ไขมันเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างของการสูญเสียน้ำหนักเมื่อสังเกตภายหลังการทำใหเย็น 1 ชั่วโมง จากการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของมัฟฟินที่ถูกทดแทนไขมัน พบว่า มีค่า Hardness Chewiness และ Resilience ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม และมีการสะสมความชื้นมากขึ้น จากการวิเคราะห์สีช็อกโกแลตของตัวอย่าง พบว่า ตัวอย่างที่มีการทดแทนไขมันปริมาณมากได้รับคะแนนใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมบ่งบอกถึงการมีลักษณะด้านสีที่ดีโดยไม่ต้องเพิ่มผงโกโก้ ลักษณะคล้ายฟองน้ำและความมีสปริงของตัวอย่างที่ทดแทนไขมันปริมาณน้อยได้รับคะแนนใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม โดยทั่วไปแล้วเมื่อระดับเส้นใยโกโก้ที่เติมมีปริมาณมาก

ขึ้น มีฟีนมีระดับความเหนียวและระดับความยากในการเคี้ยวและกลืนมากขึ้น ส่วนความหนืดและรสมมีแตกต่างไปจากการใช้ผงโกโก้

จุฑารัตน์ โกวิทยาและคณะ (2549) กล่าวว่า การลดไขมันในไอศกรีมวานิลามีผลทำให้คุณภาพของไอศกรีมด้อยลง จึงได้ศึกษาการใช้อินนูลินเพื่อปรับปรุงคุณภาพของไอศกรีมวานิลาลดไขมันที่มีไขมัน 3% โดยน้ำหนัก พบว่าไอศกรีมวานิลาสูตรควบคุมที่มีไขมัน 9% กับไอศกรีมวานิลาลดไขมันที่มีไขมัน 3% ที่เติมอินนูลิน 3-9% มีความหนืดของไอศกรีมมิกซ์ การขึ้นฟูและมีความแข็งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ไอศกรีมวานิลาลดไขมันที่เติมอินนูลิน 6% ให้การขึ้นฟูและมีความแข็งไม่แตกต่างกับไอศกรีมวานิลาสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่มีการละลายเร็วกว่า นอกจากนี้ขนาดของสายอินนูลินมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมด้วย เมื่อเติมอินนูลิน 6% อินนูลินสายยาว (HP) ให้ไอศกรีมมิกซ์ที่มีความหนืดสูงกว่า ไอศกรีมแข็งมากกว่า การขึ้นฟูต่ำกว่า และมีการละลายช้ากว่าอินนูลินสายสั้น (GR) ($p < 0.05$) เมื่อเติมอินนูลินผสมสายยาวและสายสั้น อัตราส่วน 3:3 (รวมเป็น 6%) ช่วยลดการละลายของไอศกรีมและรักษารูปร่างในระหว่างการละลาย ได้ดีกว่าการใช้อินนูลินสายสั้นอย่างเดียวและให้ลักษณะทางประสาทสัมผัสและการยอมรับที่ใกล้เคียงกับไอศกรีมสูตรควบคุม

นิรมล อุตมอ่าง และธีรวัฒน์ เทพใจกาศ (2544) ได้ศึกษาการสกัดเส้นใยจากกากสับปะรดแล้วนำไปเสริมในผลิตภัณฑ์อาหารได้แก่ เครื่องดื่ม เบเกอรี่ และไส้กรอก วิธีการสกัดเส้นใยเริ่มจากการนำวัตถุดิบกากสับปะรดจากโรงงานทำน้ำสับปะรดโดยนำกากสับปะรดมาล้างและปั่นละเอียด สกัดไขมันออกโดยการแช่ ในอะซิโตน 80% นาน 2 ชั่วโมง สกัดด้วยน้ำเย็น 18-20 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จากการศึกษาสภาวะการสกัดที่เหมาะสมคือ น้ำร้อนอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และใช้เอ็ดทีเอ (EDTA) 1.0% สกัดนาน 2 ชั่วโมง กรองแล้วอบแห้งเป็นผงอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เส้นใยที่ได้มีองค์ประกอบและคุณสมบัติดังนี้ ความชื้น 7.87% เถ้า 1.77% เส้นใย 32.02% และเยื่อใย 81.08% มีความสามารถในการอุ้มน้ำ 10.47 เท่า จากการทดลองเสริมเส้นใยดังกล่าวในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเนคต้าเทียมกลั่นรสส้ม พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเส้นใยต่อน้ำต่อเนคต้าเท่ากับ 1:40:25 การเสริมเส้นใยในคุกกี้พบว่าใช้เส้นใยละเอียด 30 เมช ปริมาณ 6% ได้คุกกี้ที่ผู้ทดสอบชิมต้องการและการทดลองเสริมเส้นใยในไส้กรอกเวียนนา พบว่า ใช้เส้นใยละเอียด 30 เมช ปริมาณ 3% ได้ไส้กรอกที่มีลักษณะที่ดี

วิภา สุโรจนะเมธากุล และคณะ (2542) ได้ศึกษาการเติมเซลลูโลสผงจากเปลือกถั่วเหลืองหรือกากดอกกระเจียวร้อยละ 5, 10, 15 ในคุกกี้พบว่า ผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่เติมเซลลูโลสผงมีความหนาแน่น (Density) ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรปกติแต่ค่าการขยายตัวของคุกกี้ (Spread ratio) ทุกตัวอย่างที่เติมเซลลูโลสจากเปลือกถั่วเหลืองมีค่าลดลงและแตกต่างจากสูตรปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การเติมเซลลูโลสจากกากดอกกระเจียวในคุกกี้

ปริมาณร้อยละ 10-15 ให้ค่าการขยายตัวของคุกกี้ลดลงจากสูตรปกติอย่างมีนัยสำคัญ เพราะอาหารที่เติมมีความสามารถในการรวมกับน้ำได้ดีทำให้โดมีลักษณะแห้งกว่าแป้งสาลีล้วนๆและมีผลให้โดไม่สามารถแผ่ขยายได้ คุกกี้ที่เติมเซลลูโลสผงจะมีสีที่อ่อนลง และสม่ำเสมอกว่าสูตรปกติทั้งนี้เพราะเซลลูโลสลงไปช่วยสีของผลิตภัณฑ์และเซลลูโลสไม่สามารถเกิดปฏิกิริยา Maillard และ Caramelization ได้ คุกกี้ที่เติมเซลลูโลสจะมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นและแตกต่างจากสูตรปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

มาลี ทองคำ (2541) การศึกษาการพัฒนาคุกกี้ให้มีเส้นใยอาหารสูงและพลังงานต่ำ เป็นวิธีการหนึ่งที่จะเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารและลดพลังงานในคุกกี้ ทำให้ผู้บริโภคได้รับประโยชน์จากการรับประทานคุกกี้ ในการทดลองพบว่า สามารถใช้แป้งโฮลวีทในอัตราส่วน 50% แทนแป้งสาลีอ่อนกประสงค์ในสูตรคุกกี้เนย และการเพิ่มปริมาณถั่วแดง เห็ดหูหนูขาว มะเขือเทศแช่หิม และลูกเกด ในปริมาณร้อยละ 70 ของน้ำหนักแป้งโดยที่ผู้ชิมให้คะแนนการยอมรับ เส้นใยอาหารสามารถทำได้โดยตรงโดยการใช้วัตถุดิบที่เป็นแหล่งของใยอาหารที่เตรียมได้จากกากถั่วเหลือง แคนส์บะระด ถั่วแดงรวม เท่ากับ 7.80 คุกกี้ที่เพิ่มเส้นใยอาหารมีค่า Spread Ratio ลดลง การแก้ไขจึงเพิ่มปริมาณไข่ขาวขึ้นอีก 3 เท่า ทำให้ได้คุกกี้ที่มีรูปร่างน่ารับประทาน ผลการตรวจสอบทางกายภาพ พบว่าคุกกี้ใยอาหารสูงและพลังงานต่ำมีค่า Spread ratio ค่า Direct density และค่า Water absorption index เท่ากับ 4.46, 0.55, 9.21 กรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของคุกกี้ใยอาหารสูงและพลังงานต่ำ พบว่ามีปริมาณใยอาหารเท่ากับ 8.62 กรัมต่อ 100 กรัม และให้พลังงาน 355.9 แคลอรีต่อ 100 กรัม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับคุกกี้เนยสูตรปกติ จะมีปริมาณเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้น 125.06% และให้พลังงานลดลง 27.76%

บทที่ 3

วิธีดำเนินการทดลอง

วัตถุดิบและสารเคมี

- 1) กากมะตุมแช่แข็ง รับประทาน บริษัทเอ็นเอสทีฟู้ด อินกรีเดียนท์ จำกัด
- 2) กากขิง รับประทาน บริษัทนิวคอนเซพท์โปรดักท์ จำกัด
- 3) เอทานอล (ethanol) ความเข้มข้น 95% บริษัท คาร์โลเออร์บา รีเอเจนท์ จำกัด
- 3) ทางนมผง (skimmed milk powder) บริษัท เอฟ เอ กรู๊ป จำกัด มหาชน
- 4) ครีม (cream) ไขมัน 8% ตรา Millac gold บริษัท สยามฟู้ด เซอร์วิส จำกัด
- 5) น้ำตาลทราย ตรามิตรผล บริษัท มิตรผล จำกัด
- 6) สารเพิ่มความคงตัว (stabilizer) Fulfill I 400 บริษัท บอร์เนต คอร์เปอเรชั่น จำกัด
- 7) มอลโตเด็คซ์ตริน (maltodextrin) บริษัท อีเอส จำกัด
- 8) แป้งสาลี ตราวาว บริษัทยูไนเต็ดฟลาวมิลล์ จำกัด
- 9) เนยสด ตรารอรัคิต บริษัทอุตสาหกรรมนมไทย จำกัด
- 10) ผงฟู ตรามิลล์ฟู้ดส์ บริษัทยูนิลีเวอร์เบสฟู้ด (ประเทศไทย) จำกัด
- 11) น้ำตาลไอโซมอลทูลอส บริษัท น้ำตาลราชบุรี จำกัด

อุปกรณ์และเครื่องมือ

สำหรับการผลิตเส้นใยอาหารผง

- 1) ตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray dryer) ประเทศไทย
- 2) เครื่องบดอาหารแห้ง ไม้หวดหยาบ รุ่น XS-08B ประเทศจีน
- 3) ตะแกรงร่อนขนาด 50 เมช

สำหรับการผลิตไอศกรีมและคุกกี้

- 1) เครื่องปั่นไอศกรีม RIVAL รุ่น HOM 122050 ประเทศไทย
- 2) เครื่องผสม (Mixer) Thai mixer รุ่น KV-05 ประเทศไทย
- 3) เต้าอบไฟฟ้า Severin Typ. 2024 ประเทศไทย
- 4) อุปกรณ์เบเกอรี่ เช่น ตะแกรงร่อนแป้ง ลูกกลิ้ง พายพลาสติก พิมพ์คุกกี้

สำหรับการวิเคราะห์

- 1) เครื่องวิเคราะห์ความชื้น (Moisture analyzer) Satorius รุ่น MA 30 ประเทศเยอรมนี
- 2) ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) Memert รุ่น ULE 600 ประเทศเยอรมนี
- 3) เครื่องวัดสี HunterLab รุ่น Mini Scan XP Plus ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 4) เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) Stable Micro System รุ่น TA- XT2 ประเทศอังกฤษ
- 5) เครื่องชั่งน้ำหนักละเอียด Satorius รุ่น BA 2115 ประเทศเยอรมนี
- 6) อ่างน้ำแบบควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) Heto รุ่น CB 60 VS ประเทศเดนมาร์ก
- 7) อุปกรณ์ในการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส เช่น ถ้วยชิม แก้วน้ำ ช้อน
- 8) อุปกรณ์เครื่องแก้ว เช่น กระจกตวง ปีกเกอร์ ขวดรูปขนมปัง ขวดปรับปริมาตร เป็นต้น
- 9) อุปกรณ์เครื่องครัว เช่น กะละมัง ถาด ช้อน มีด เป็นต้น

วิธีดำเนินการทดลอง

ตอนที่ 1 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของกากสมุนไพรรองการสกัด

การเตรียมตัวอย่าง

วัตถุดิบกากสมุนไพรรอง ได้แก่ กากมะตูม และ กากขิง ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นส่วนเหลือทิ้งจากกระบวนการสกัดกลิ่นรสและแปรรูปผลิตภัณฑ์สมุนไพรรองจากโรงงานอุตสาหกรรม สำหรับกากมะตูมได้รับมาจากโรงงานในลักษณะกากสดแช่แข็ง จึงนำมาแช่แข็งต่อในตู้แช่แข็ง อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำมาใช้งาน เตรียมตัวอย่างโดยนำกากมะตูมแช่แข็งมาทำลาย โดยวางไว้ในตู้เย็น อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส จนกว่าจะละลายหมด และวางบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำ สำหรับกากขิงได้รับมาจากโรงงานในลักษณะกากแห้ง แต่เพื่อเป็นการควบคุมคุณภาพวัตถุดิบเริ่มต้น จึงนำมาเตรียมขั้นต้นโดยการตากแดด และอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด อุณหภูมิ 60 ± 1 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นประมาณ $8\pm 1\%$ แล้วบรรจุในถุงพลาสติกโพลีเอทิลีน ปิดผนึกสนิท แล้วเก็บไว้ในกล่องพลาสติกทึบแสงที่อุณหภูมิห้อง จนกว่าจะนำมาใช้งาน

การวิเคราะห์คุณภาพ

- 1) ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน กากใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000)
- 2) ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (AOAC, 2000)
- 3) ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (AOAC, 2000)
- 4) ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (AOAC, 2000)
- 5) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดโดยวิธี Lane and Eynon volumetric method (AOAC, 2000)
- 6) ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) และรายงานเป็นค่า L^* a^* และ b^*

ตอนที่ 2 การศึกษาสภาวะการสกัดเส้นใยอาหารจากกากสมุนไพรรองที่เหมาะสม

2.1 การศึกษาสภาวะการสกัดเส้นใยอาหารจากกากมะตูม

2.1.1 การศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการสกัดด้วยน้ำต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม

การสกัดด้วยน้ำเป็นการแยกส่วนประกอบที่ละลายน้ำได้ซึ่งไม่ต้องการออกจากวัตถุดิบตัวอย่างเช่น น้ำตาลอิสระ กรดอิสระ และองค์ประกอบของสารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ (Larrauri, 1999) ในกรณีกากมะตูมน่าจะยังมีส่วนประกอบพวกน้ำตาลอิสระรวมถึงสารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำได้คงอยู่ และเนื่องจากสภาวะที่ใช้ในการสกัดมีความสำคัญกับองค์ประกอบของเส้นใยที่ได้ รวมถึงอาจมีผลต่อการคงอยู่ของสารพฤกษเคมีที่สำคัญ จึงควรหาสภาวะการสกัดด้วยน้ำที่เหมาะสม

ในขั้นตอนนี้จึงต้องการศึกษาผลของปัจจัยด้านอุณหภูมิและเวลาการสกัดด้วยน้ำต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม ดังนั้นเป็นการศึกษา 2 ปัจจัย ปัจจัยละ 2 ระดับ ได้แก่ อุณหภูมิของการสกัด คือ 70 และ 90 องศาเซลเซียส และเวลาการสกัด คือ 1 และ 2 ชั่วโมง จัดสิ่งทดลองแบบ 2×2 factorial ได้ 4 สิ่งทดลอง และเปรียบเทียบกับตัวควบคุม คือ สิ่งทดลองที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยน้ำ รวมเป็น 5 สิ่งทดลอง รายละเอียดดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรรูปอุณหภูมิและเวลาในการสกัดเส้นใยอาหารจากกากมะตุมด้วยน้ำ

สิ่งทดลองที่	อุณหภูมิการสกัด	เวลาการสกัด (นาที)
1	ไม่ผ่านการสกัดด้วยน้ำ (ตัวควบคุม)	
2	70 องศาเซลเซียส	60
3	70 องศาเซลเซียส	120
4	90 องศาเซลเซียส	60
5	90 องศาเซลเซียส	120

การสกัดด้วยน้ำ

นำกากมะตุมมาบดลดขนาด โดยใช้เครื่องบดอาหาร ควบคุมสภาวะการบดดังนี้ บดกากมะตุมครั้งละ 300 กรัม โดยใช้ความเร็วระดับปานกลางคงที่ และบดเป็นเวลา 2 นาที ได้ชิ้นมะตุมเป็นลักษณะชิ้นหยาบ นำกากที่บดแล้วมาสกัดด้วยน้ำ โดยการแช่ในน้ำ กำหนดอัตราส่วนระหว่าง กาก : น้ำ เท่ากับ 1 : 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ดัดแปลงวิธีจาก พัชราภรณ์ วชิรศิริ (2550) เตรียมน้ำที่ใช้สกัด โดยนำไปให้ความร้อนด้วยเตาไฟฟ้าจนมีอุณหภูมิตามกำหนด แล้วนำกากมะตุมมาแช่ เป็นการสกัดด้วยการให้ความร้อนตามอุณหภูมิและเวลาที่กำหนด ควบคุมอุณหภูมิการสกัดโดยการแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ เมื่อครบเวลา กรองกากผ่านถุงผ้าไนลอน แล้วบีบเอาของเหลวออก (ดัดแปลงจากวิธีของ Prakangpan et al., 2002)

การทำแห้งและบดเป็นผง

นำกากมะตุมที่ผ่านและไม่ผ่านการสกัดด้วยน้ำ มาอบแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนแบบภาดอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นสุดท้าย $6 \pm 1\%$ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2549) โดยบันทึกเวลาในการทำแห้งของแต่ละสิ่งทดลองไว้ด้วย นำเส้นใยกากมะตุมแห้งที่ได้มาบดให้เป็นผง โดยใช้เครื่องบดอาหารแห้ง ควบคุมสภาวะการบดดังนี้ บดกากมะตุมครั้งละ 100 กรัม โดยใช้ความเร็วสูงและบดเป็นเวลา 90 วินาที โดยหยุดพักทุก 30 วินาที เพื่อเกลี่ยตัวอย่าง นำมาร้อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช บรรจุเส้นใยกากมะตุมในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ แล้วปิดผนึกสนิท จนกว่าจะนำมาวิเคราะห์ (ดัดแปลงจากวิธีของ นิรมล อุตมอ่าง และธีรวัฒน์ เทพใจกาศ, 2544)

การวิเคราะห์คุณภาพ

การวิเคราะห์คุณภาพ

สุ่มตัวอย่างเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

- 1) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดโดยวิธี Lane and Eynon volumetric method (AOAC, 2000)
- 2) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงจากวิธี Hun et al., 2003)
- 3) สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ โดยการทดสอบประสิทธิภาพการจับกันของอนุมูลอิสระ DPPH (ดัดแปลงจากวิธีของ Karagozler et al., 2008 และวิธีของ Hun et al, 2003)
- 4) ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลาย (AOAC, 2000)
- 5) ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (AOAC, 2000)
- 6) ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (AOAC, 2000)

7) ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) และรายงานเป็นค่า L^* a^* และ b^* และ ΔE

8) ปริมาณผลได้ (Yield) คำนวณจากสูตร

$$\% \text{Yield} = \frac{\text{น้ำหนักเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมที่ได้}}{\text{น้ำหนักกากมะตุมที่ใช้}} \times 100$$

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomize Design: CRD) และวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคุณภาพที่วัดได้จากทั้ง 5 สิ่งทดลอง โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรม SPSS version 23

เกณฑ์ในการเลือก

พิจารณาเลือกสภาวะการสกัดด้วยน้ำที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดมากที่สุด รวมถึงพิจารณาคุณภาพอื่นที่วิเคราะห์ประกอบการตัดสินใจ

2.1.2 การศึกษาผลของการสกัดด้วยเอทานอลต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุม

การสกัดด้วยเอทานอลมีจุดประสงค์เพื่อกำจัดสารให้สี และไขมันออกจากวัตถุดิบ จึงมีผลให้ได้เส้นใยอาหารที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้น (Prakongpan et al., 2002) อย่างไรก็ตามการนำกากที่ได้จากการสกัดด้วยน้ำมาสกัดด้วยเอทานอลต่ออาจมีผลต่อการคงอยู่ของสารพฤกษเคมีที่สำคัญ รวมถึงสมบัติเชิงหน้าที่เฉพาะด้านของเส้นใยอาหารที่ได้ จึงควรมีการเปรียบเทียบคุณภาพของเส้นใยอาหารที่ใช้และไม่ใช้การสกัดด้วยเอทานอลร่วมด้วย

ในขั้นตอนนี้จึงต้องการศึกษาผลการใช้และไม่ใช้การสกัดด้วยเอทานอลร่วมด้วย ซึ่งหมายถึง สกัดด้วยน้ำเพียงอย่างเดียว และสกัดด้วยน้ำและเอทานอล ต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมที่ได้

การสกัดด้วยเอทานอล

เตรียมตัวอย่างและดำเนินการสกัดด้วยน้ำตามสภาวะที่เลือกได้ นำกากที่เหลือจากการสกัดด้วยน้ำมาสกัดต่อด้วยเอทานอล โดยการแช่ในเอทานอลความเข้มข้น 95% กำหนดอัตราส่วนระหว่าง กาก:เอทานอล เท่ากับ 1 : 3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร สกัดด้วยการแช่กากมะตุมในเอทานอลเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อครบเวลากรองกากผ่านถุงผ้าไนลอน แล้วบีบเอาของเหลวออก (ดัดแปลงจากวิธีของ Prakongpan et al., 2002)

การทำแห้งและบดเป็นผง

นำกากมะตุมที่ผ่านและไม่ผ่านการสกัดด้วยเอทานอล มาอบแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนแบบถาด อุณหภูมิ 60 ± 1 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นประมาณ $8 \pm 1\%$ โดยบันทึกเวลาในการทำแห้งของแต่ละสิ่งทดลองไว้ด้วย นำเส้นใยกากมะตุมแห้งที่ได้มาบดให้เป็นผง โดยใช้เครื่องบดอาหารแห้งควบคุมสภาวะการบดดังนี้ บดกากมะตุมครั้งละ 100 กรัม โดยใช้ความเร็วสูงและบดเป็นเวลา 90 วินาที โดยหยุดพักทุก 30 วินาที เพื่อเกลี่ยตัวอย่าง นำมาร้อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช บรรจุเส้นใยกากมะตุมในถุงออลูมิเนียมฟอยด์ แล้วปิดผนึกสนิท จนกว่าจะนำมาวิเคราะห์ (ดัดแปลงจากวิธีของ นิรมล อุตมอ่างและธีรวัฒน์ เทพใจกาศ, 2544)

การวิเคราะห์คุณภาพ

สุ่มตัวอย่างเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

- 1) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงจากวิธี Hun et al., 2003)
- 2) สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ โดยการทดสอบประสิทธิภาพการจับกันของอนุมูลอิสระ DPPH (ดัดแปลงจากวิธีของ Karagozler et al., 2008 และวิธีของ Hun et al., 2003)
- 3) ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลาย (AOAC, 2000)
- 4) ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (AOAC, 2000)
- 5) ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (AOAC, 2000)
- 6) ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) และรายงานเป็นค่า L* a* และ b*
- 7) ปริมาณผลได้ (Yield) คำนวณจากสูตร

$$\% \text{Yield} = \frac{\text{น้ำหนักเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมที่ได้}}{\text{น้ำหนักกากมะตุมที่ใช้}} \times 100$$

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลอง 5 ซ้ำ วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ T-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรม SPSS version 23

เกณฑ์ในการเลือก

พิจารณาเลือกสภาวะการสกัดด้วยเอทานอลที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดมากที่สุด รวมถึงพิจารณาค่าคุณภาพอื่นที่วิเคราะห์ประกอบการตัดสินใจ

2.2 การศึกษาสภาวะการสกัดเส้นใยอาหารจากกากขิง

2.2.1 การศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการสกัดด้วยน้ำต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงจากกากขิง ในขั้นตอนนี้ต้องการศึกษาผลของปัจจัยด้านอุณหภูมิและเวลาการสกัดด้วยน้ำต่อคุณภาพเส้นใยอาหารผงจากกากขิง โดยศึกษา 2 ปัจจัย ปัจจัยละ 2 ระดับ ได้แก่ อุณหภูมิของการสกัด คือ อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส) และ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และเวลาการสกัด คือ 30 นาที และ 60 นาที จัดสิ่งทดลองแบบ 2×2 factorial ได้ 4 สิ่งทดลอง รายละเอียดดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรรูปอุณหภูมิจากเวลาการสกัดเส้นใยอาหารจากกากขิงด้วยน้ำ

สิ่งทดลอง	อุณหภูมิการสกัด	เวลาการสกัด (นาที)
1	อุณหภูมิห้อง	30
2	อุณหภูมิห้อง	60
3	90 องศาเซลเซียส	30
4	90 องศาเซลเซียส	60

การสกัดด้วยน้ำ

เพื่อเป็นการควบคุมขนาดชิ้นตัวอย่างกากขิงแห้งสำหรับการสกัดให้มีความสม่ำเสมอ ดำเนินการลดขนาดกากขิงแห้ง โดยใช้กรรไกรตัดให้มีขนาดความยาวประมาณ 1 เซนติเมตร การสกัดด้วยน้ำ ทำได้โดยการแช่กากขิงแห้งในน้ำ กำหนดอัตราส่วนระหว่างกากขิง: น้ำ เท่ากับ 1 : 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (ดัดแปลงจากวิธีของวีระสิทธิ์ ธรรมวโร และคณะ, 2556) การสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ดำเนินการโดยการต้มน้ำด้วยเตาไฟฟ้าจนมีอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสก่อน แล้วจึงนำกากขิงแช่ลงในน้ำร้อน คนผสมให้เข้ากัน และควบคุมอุณหภูมิการสกัดโดยการแช่ภาชนะลงในอ่างน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 90 องศาเซลเซียสเช่นกัน สำหรับกรณีการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง ดำเนินการโดยนำกากขิงแช่ลงในน้ำที่อุณหภูมิห้อง และคนผสมให้เข้ากัน เมื่อครบเวลาการสกัดตามที่กำหนด กรองกากขิงผ่านถุงผ้าไนลอนแล้วบีบเอาของเหลวออก (ดัดแปลงจากวิธีของ Prakongpan et al., 2002)

การทำแห้งและบดเป็นผง

การทำแห้งดำเนินการโดย นำกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำ มาอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด อุณหภูมิ 60±1 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นประมาณ 8±1% ดำเนินการโดยเกลี่ยตัวอย่างบนถาดสำหรับอบ โดยไม่ให้ตัวอย่างซ้อนทับกันเป็นชั้นหนาเกินไป ควบคุมให้มีความหนาไม่เกิน 1 เซนติเมตร เพื่อให้ตัวอย่างได้รับความร้อนทั่วถึงกัน การบดเป็นผงดำเนินการโดย นำเส้นใยขิงแห้งที่ได้มาบดให้เป็นผง โดยใช้เครื่องบดอาหารแห้ง ควบคุมสภาวะการบดดังนี้ บดตัวอย่างครั้งละ 100 กรัม โดยใช้ความเร็วสูงและบดเป็นเวลา 90 วินาที โดยหยุดพักทุก 30 วินาที เพื่อเกลี่ยตัวอย่าง นำมา ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 เมช บรรจุเส้นใยอาหารผงจากกากขิง ในถุงอลูมิเนียมฟอยล์แล้วปิดผนึกสนิทเก็บที่อุณหภูมิห้อง (ดัดแปลงจากวิธีของ นิรมล อุตมอ่า และธีรวัฒน์ เทพใจกาศ, 2544)

การวิเคราะห์คุณภาพ

สุ่มตัวอย่างเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

- 1) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดโดยวิธี Lane and Eynon volumetric method (AOAC, 2000)
- 2) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงจากวิธี Hun et al., 2003)
- 3) สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ โดยการทดสอบประสิทธิภาพการจับกันของอนุมูลอิสระ DPPH (ดัดแปลงจากวิธีของ Karagozler et al., 2008 และวิธีของ Hun et al., 2003)
- 4) ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลาย (AOAC, 2000)
- 5) ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (AOAC, 2000)

- 6) ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (AOAC, 2000)
- 7) ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) และรายงานเป็นค่า L^* a^* และ b^* และ ΔE
- 8) ปริมาณผลได้ (Yield) คำนวณจากสูตร

$$\% \text{Yield} = \frac{\text{น้ำหนักเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ได้}}{\text{น้ำหนักกากขิงที่ใช้}} \times 100$$

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Factorial in Complete Randomize Design) และวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรม SPSS version 23

เกณฑ์ในการเลือก

พิจารณาเลือกสภาวะการสกัดด้วยน้ำที่เหมาะสม ที่ทำให้ได้ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดมากที่สุด รวมถึงพิจารณาคุณภาพอื่นที่วิเคราะห์ประกอบการตัดสินใจ

2.2.2 การศึกษาผลของระยะเวลาการสกัดด้วยเอทานอลต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงจากกากขิง

การสกัดด้วยแอลกอฮอล์ในการเตรียมเส้นใยอาหารส่วนใหญ่มีจุดประสงค์เพื่อกำจัดสารให้สี กลิ่นรส และไขมันออกจากวัตถุดิบ เพื่อให้ได้เส้นใยอาหารที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้น (Prakongpan et al., 2002) ในการสกัดเส้นใยอาหารจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร พวกผักผลไม้ด้วยแอลกอฮอล์พบว่า มักใช้แอลกอฮอล์เข้มข้น 95% แต่ใช้เวลาในการสกัดแตกต่างกันไป โดยอาจขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการสกัด รวมถึงชนิดและปริมาณสารที่ต้องการกำจัดออก หากต้องการลดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์เป็นหลัก เช่น รสฝาดขมในกากมะนาว มักสกัดด้วยแอลกอฮอล์ในระยะเวลาสั้น ประมาณ 30 นาที (Wuttipalakorn, et al., 2009) ในขณะที่หากต้องการสกัดไขมันออกจากวัตถุดิบมักสกัดด้วยแอลกอฮอล์ในระยะเวลาสั้นขึ้น ประมาณ 24 ชั่วโมง ถึง 48 ชั่วโมง (สุชาติ นกเถื่อน, 2554; วีระสิทธิ์ ธรรมวโร และคณะ, 2556; อังคณา คงชวรรณ, 2557) อย่างไรก็ตามผลการสกัดกากมะตูมด้วยเอทานอลความเข้มข้น 95% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีผลให้เส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมมีปริมาณเส้นใยอาหารมากกว่าเส้นใยอาหารผงที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยเอทานอล รวมถึงมีสมบัติเชิงหน้าที่ดีกว่าเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยเอทานอล แต่พบว่าเส้นใยอาหารผงที่ผ่านการสกัดด้วยเอทานอลมีรสขมตกค้างที่อาจเกิดจากผลของการใช้ระยะเวลาการสกัดนานเกินไป (ธนิกานต์ สันต์สวัสดิ์, 2549) ในขั้นตอนนี้ต้องการศึกษาผลของปัจจัยด้านระยะเวลาการสกัดด้วยเอทานอลต่อคุณภาพเส้นใยอาหารผงจากกากขิง โดยแปรเวลาการสกัด คือ 0, 6, 12 และ 24 ชั่วโมง ได้ 4 สิ่งทดลอง

การสกัดด้วยเอทานอล

เตรียมตัวอย่างและดำเนินการสกัดตามสภาวะที่เลือกได้ แล้วนำกากที่เหลือจากการสกัดด้วยน้ำมาสกัดต่อด้วยเอทานอล โดยการแช่ในเอทานอลความเข้มข้น 95% กำหนดอัตราส่วนระหว่างกากขิง: เอทานอล เท่ากับ 1 : 3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (ดัดแปลงจากวิธีของ วีระสิทธิ์ ธรรมวโร และคณะ, 2556) ดำเนินการสกัดด้วยการแช่กากขิงในเอทานอลโดยคนผสมให้เข้ากัน แช่ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อครบเวลาตามที่กำหนด กรองกากขิงผ่านผ้าไนลอน แล้วบีบน้ำออก (ดัดแปลงจากวิธีของ Prakongpan et al., 2002)

การทำแห้งและบดเป็นผง

การทำแห้งดำเนินการโดย นำกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยเอทานอล มาอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบลาด อุณหภูมิ 60 ± 1 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นสุดท้ายประมาณ $8 \pm 1\%$ ดำเนินการโดยเกลี่ยตัวอย่างบนถาดสำหรับอบโดยไม่ให้ตัวอย่างซ้อนทับกันเป็นชั้นหนา ควบคุมให้ความหนาไม่เกิน 1 เซนติเมตร เพื่อให้ตัวอย่างได้รับความร้อนทั่วถึงกัน

การบดเป็นผงดำเนินการโดย นำเส้นใยขิงแห้งที่ได้มาบดให้เป็นผง โดยใช้เครื่องบดอาหารแห้ง ควบคุมสภาวะการบดดังนี้ บดตัวอย่างครั้งละ 100 กรัม โดยใช้ความเร็วสูงและบดเป็นเวลา 90 วินาที โดยหยุดพักทุก 30 วินาที เพื่อเกลี่ยตัวอย่าง นำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 เมช บรรจุเส้นใยอาหารผงจากกากขิงในถุงอลูมิเนียมฟอยด์แล้วปิดผนึกสนิท จนกว่าจะนำมาวิเคราะห์

การวิเคราะห์คุณภาพ

สุ่มตัวอย่างเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

- 1) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงจากวิธี Hun et al., 2003)
- 2) สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ โดยการทดสอบประสิทธิภาพการจับกันของอนุมูลอิสระ DPPH (ดัดแปลงจากวิธีของ Karagozler et al., 2008 และวิธีของ Hun et al., 2003)
- 3) ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลาย (AOAC, 2000)
- 4) ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (AOAC, 2000)
- 5) ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (AOAC, 2000)
- 6) ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) และรายงานเป็นค่า L^* a^* และ b^*
- 7) ปริมาณผลได้ (Yield) คำนวณจากสูตร

$$\% \text{Yield} = \frac{\text{น้ำหนักเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ได้}}{\text{น้ำหนักกากขิงที่ใช้}} \times 100$$

- 8) ลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงปริมาณด้วยวิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA) โดยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 8 คน โดยเสนอตัวอย่างทั้งในลักษณะผงแห้ง และลักษณะสารละลายจากการนำเส้นใยอาหารผงจากกากขิงมาชงในน้ำร้อน ประเมินคุณลักษณะเกี่ยวกับ สี กลิ่น กลิ่นรส และรสชาติ

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomize Design) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรม SPSS version 23

เกณฑ์ในการเลือก

พิจารณาเลือกสภาวะการสกัดด้วยเอทานอลที่เหมาะสม ที่ทำให้ได้ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดมากที่สุด มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูง มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูง และไม่มีรสขมตกค้าง รวมถึงพิจารณาคุณภาพอื่นที่วิเคราะห์ประกอบการตัดสินใจ

ตอนที่ 3 การวิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารที่ผลิตได้

สุ่มตัวอย่างเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมและกากขิงที่เลือกได้และกากขิงผงที่ไม่ผ่านการสกัดมาวิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่ ดังนี้

- 1) ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity, WHC) (McMahon and Dawson, 1975)
- 2) ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (Oil holding capacity, OHC) (Beuchat, 1977)
- 3) ความสามารถในการพองตัว (Swelling capacity, SWC) (ดุชฎี สุริยพรรณพงศ์ และคณะ, 2545)
- 4) ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน (Emulsion capacity) (Cui et al, 1993)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลอง 5 ซ้ำ วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี T-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรม SPSS for Windows Version 23

ตอนที่ 4 การศึกษาผลของปริมาณการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากสมุนไพรรในอาหารเพื่อสุขภาพต้นแบบ

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยอาหารผงจากกากสมุนไพรรที่ได้ มาใช้ประโยชน์เป็นส่วนประกอบอาหาร โดยงานวิจัยนี้นำมาเติมลงในอาหารเพื่อสุขภาพต้นแบบ 2 ชนิด ได้แก่ ไอศกรีมไขมันต่ำ และ คุกกี้เสริมเส้นใยอาหาร โดยแปรปริมาณการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากสมุนไพรรลงในสูตรพื้นฐาน

4.1 การศึกษาผลของปริมาณการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมต่อคุณภาพของไอศกรีมไขมันต่ำ

ใช้สูตรไอศกรีมไขมันต่ำสูตรพื้นฐานของกฤษติยา ทิสมบูรณ์ และนิภา เสือเดช (2556) แปรปริมาณการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมเพิ่มลงในไอศกรีมไขมันต่ำสูตรพื้นฐานเป็น 4 ระดับ คือ 0% 0.5% 1.0% และ 1.5% โดยน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด รายละเอียดส่วนผสมไอศกรีมไขมันต่ำสูตรพื้นฐานแสดงในตารางที่ 3-3

การผลิตไอศกรีม

ควบคุมการผลิตไอศกรีมตามขั้นตอน 5 ขั้นตอน ดังนี้คือ (ดัดแปลงจาก สมจิตร สุรพัฒน์, 2544)

1) การผสม (mixing) ทำได้โดยชั่งส่วนผสมของแห้ง ได้แก่ หางนมผง น้ำตาลทราย สารเพิ่มความคงตัว มอลโตเด็คทรีน และเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมผสมให้เข้ากัน นำไปละลายกับน้ำเติมครีมและนำไปให้ความร้อนจนอุณหภูมิถึง 80 องศาเซลเซียส และคงไว้เป็นเวลา 30 วินาที ทำให้เย็นโดยการแช่ภาชนะส่วนผสมลงในอ่างน้ำ (อุณหภูมิห้อง) จนอุณหภูมิส่วนผสมถึง 55 องศาเซลเซียส แล้วผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องปั่นผสมที่ความเร็วปานกลาง นาน 1 นาที

2) การพาสเจอร์ไรส์ (pasteurization) ทำได้โดยให้ความร้อนส่วนผสมในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิให้ส่วนผสมมีอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที

3) การทำให้เย็น (cooling) ทำได้โดยแช่ภาชนะส่วนผสมลงในอ่างน้ำ (อุณหภูมิห้อง) จนอุณหภูมิมูลตกถึงอุณหภูมิห้อง

4) การบ่ม (aging) ทำได้โดยนำส่วนผสมมาแช่เย็นในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้เป็นส่วนผสมของไอศกรีมเหลว

5) การปั่นไอศกรีม (ice cream freezing) เป็นการทำให้แข็งด้วยเครื่องปั่นไอศกรีมนำส่วนผสมที่บ่มแล้วมาปั่นจนไอศกรีมขึ้นฟูทั้งหมด กำหนดใช้เวลาในการปั่น 30 นาที ในขณะที่ปั่นไอศกรีมควบคุมอุณหภูมิไม่เกิน 0 องศาเซลเซียส โดยการเติมน้ำแข็งผสมเกลือลงในถังให้ความเย็นของเครื่องปั่นไอศกรีม เมื่อครบกำหนดเวลานำไอศกรีมเก็บที่ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

การวิเคราะห์คุณภาพ

สุ่มตัวอย่างไอศกรีมที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

- 1) ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (AOAC, 2000)
- 2) ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (AOAC, 2000)
- 3) ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (AOAC, 2000)
- 4) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงจากวิธีของ Hun et al., 2003)
- 5) สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ โดยการทดสอบประสิทธิภาพการจับกันของอนุมูลอิสระ DPPH (ดัดแปลงจาก Karagozler et al., 2008 และวิธีของ Hun et al., 2003)
- 6) ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)
- 7) ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (colorimeter) และรายงานเป็นค่า L^* a^* และ b^*
- 8) การขึ้นฟู (over run) (Marshall and Arbuckle, 1996)
- 9) ความชอบทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส ความรู้สึกตกค้าง และความชอบโดยรวม โดยวิธี 9-point hedonic scale ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน

ตารางที่ 3-3 รายละเอียดส่วนผสมไอศกรีมไขมันต่ำสูตรพื้นฐาน

ส่วนผสม	% โดยน้ำหนัก
หางนมผง	11.00
มอลโตเด็กซ์ตริน	8.00
น้ำตาลทราย	8.00
ครีม	24.00
สารเพิ่มความคงตัว	0.65
น้ำ	48.35
รวม	100.00

เกณฑ์ในการพิจารณา

เลือกสูตรไอศกรีมไขมันต่ำที่เติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมได้มากที่สุด โดยยังคงได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบ (ได้คะแนนอย่างน้อย 6 คะแนน) และพิจารณาร่วมกับคุณภาพอื่นที่วิเคราะห์

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomize Design: CRD) สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพทุกค่า ยกเว้นการทดสอบทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomize Complete Block Design) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรม SPSS version 23

4.2 การศึกษาผลของปริมาณการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากขิงแทนที่เนยต่อคุณภาพของคุกกี้ชูการ์สแนป

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยอาหารผงมาใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์คุกกี้โดยใช้แทนที่ไขมันบางส่วน โดยเลือกเติมในผลิตภัณฑ์คุกกี้ต้นแบบคือ คุกกี้ชูการ์สแนป (Sugar snap cookie) สูตรลดน้ำตาล เนื่องจากพบว่าการผลิตคุกกี้ชิ่งชูการ์สแนป (Ginger sugar snap cookie) จำหน่ายเป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าอยู่แล้ว โดยเนื้อสัมผัสปกติของคุกกี้ค่อนข้างกรอบแข็ง โดยมีการใช้ปริมาณไขมันประมาณ 30-50 กรัม/แป้ง 100 กรัม (Pareyt et al., 2009; Sciarini et al., 2013; Steertegem et al., 2014) การเติมเส้นใยอาหารผงจากกากขิงโดยใช้แทนที่ไขมันบางส่วนจึงอาจได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายอยู่แล้ว ผู้บริโภคน่าจะยอมรับผลิตภัณฑ์ได้ง่ายขึ้น

ดำเนินการโดยนำเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่เลือกได้ มาแทนที่เนยในสูตรคุกกี้ชูการ์สแนป โดยแปรระดับการแทนที่ 4 ระดับ คือ 0% 5% 10% และ 15% ซึ่งคุกกี้ชูการ์สแนปสูตรลดน้ำตาลตัดแปลงมาจาก อีรารัตน์ อธิธิโสภณกุล และคณะ (2553) Chung, et al. (2014) และ Steertegem et al. (2014) และรายละเอียดส่วนผสมคุกกี้ชูการ์สแนปสูตรลดน้ำตาลแทนที่เนยด้วยเส้นใยอาหารผงจากกากขิง แสดงดังตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 ส่วนผสมคูกี้ชูการ์สแนปสูตรลดน้ำตาลที่แทนที่เนยด้วยเส้นใยอาหารผงจากกากชিং

ส่วนผสม	ปริมาณการแทนที่เนย (% โดยน้ำหนักแป้ง)			
	สูตร 0%*	สูตร 5%*	สูตร 10%*	สูตร 15%*
แป้งสาลีเนกประสงค์	100.00	100.00	100.00	100.00
เส้นใยอาหารผงจากกากชিং	-	2.00	4.00	6.00
เนย	40.00	38.00	36.00	34.00
น้ำตาลทราย	30.00	30.00	30.00	30.00
น้ำตาลไอโซมอลทูลอส	7.00	7.00	7.00	7.00
เกลือ	0.60	0.60	0.60	0.60
น้ำ	35.00	35.00	35.00	35.00
ผงฟู	0.40	0.40	0.40	0.40

* สูตรคูกี้ชูการ์สแนปที่แทนที่เนยด้วยเส้นใยอาหารผงจากกากชিংในปริมาณต่างๆ

การวิเคราะห์คุณภาพ

สุ่มตัวอย่างคูกี้ชูการ์สแนปที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

- 1) ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)
- 2) ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)
- 3) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงจากวิธี Hun et al., 2003)
- 4) สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ โดยการทดสอบประสิทธิภาพการจับกันของอนุมูลอิสระ DPPH (ดัดแปลงจากวิธีของ Karagozler et al., 2008 และวิธีของ Hun et al., 2003)
- 5) ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลาย (AOAC, 2000)
- 6) ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (AOAC, 2000)
- 7) ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (AOAC, 2000)
- 8) ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) และรายงานเป็นค่า L^* a^* และ b^*
- 9) อัตราการแผ่ขยายของคูกี้ (AACC, 1986) แสดงดังภาคผนวก ข-6
- 10) ลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่องวัดลักษณะทางประสาทสัมผัส Texture Analyzer และรายงานเป็นค่าความแข็ง
- 11) ความชอบทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ สีที่ผิวคูกี้ สีเนื้อในคูกี้ กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัสในปาก และความชอบโดยรวม โดยวิธี 9-point hedonic scale ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน

เกณฑ์ในการพิจารณา

เลือกสูตรคุกกี้ชูการ์สแนปที่เติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিংได้มากที่สุด โดยยังคงได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบ (ได้คะแนนอย่างน้อย 6 คะแนน) และพิจารณาร่วมกับคุณภาพอื่นที่วิเคราะห์

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomize Design) สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพทุกค่า ยกเว้นการทดสอบทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomize Complete Block Design) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรม SPSS version 23

ตอนที่ 5 การถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน

จัดทำเอกสารเผยแพร่ โดยให้ความรู้เชิงเทคนิคในการสกัดเส้นใยอาหารจากกากให้ได้คุณภาพมาตรฐานและแนวทางการนำไปใช้ในอาหารเพื่อสุขภาพ เผยแพร่ให้กับชุมชน เช่น โรงงานแปรรูปอาหารที่มีวัตถุดิบกากสมุนไพร องค์การบริหารส่วนตำบล กลุ่มแม่บ้านวิสาหกิจชุมชน และประชาชนที่สนใจ เป็นต้น

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของกากสมุนไพรรากการสกัด

กากมะตูมและกากขิงที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นส่วนเหลือทิ้งจากกระบวนการสกัดกลั่นรส สำหรับกรรมวิธีการสกัด ได้รับมาจากโรงงานในลักษณะกากสดแช่แข็ง ก่อนวิเคราะห์นำมาทำลาย โดยวางไว้ในตู้เย็น อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส จนกว่าจะละลายหมด และวางบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำ สำหรับกรรมวิธี ได้รับกากขิงมาจากโรงงานในลักษณะกากขิงแห้ง แต่เพื่อให้กากขิงแห้งมีความชื้นสม่ำเสมอ และเก็บรักษาได้นาน จึงนำมาเตรียมขึ้นต้นโดยการตากแดด และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 ± 1 องศาเซลเซียส จนมีความชื้น $8\pm 1\%$ จากการสุ่มตัวอย่างกากขิงแห้งมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4-1 และ 4-2 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4-3 และ 4-4

ตารางที่ 4-1 องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของกากมะตูม

องค์ประกอบทางเคมี	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	(%โดยน้ำหนักเปียก)	(%โดยน้ำหนักแห้ง)
ความชื้น	77.52 ± 0.09	-
โปรตีน	1.79 ± 0.06	7.96 ± 0.04
ไขมัน	0.31 ± 0.07	1.38 ± 0.08
เถ้า	0.89 ± 0.08	3.96 ± 0.05
กากใย	6.96 ± 0.11	30.96 ± 0.04
คาร์โบไฮเดรต	12.53 ± 0.11	55.74 ± 0.10

ตารางที่ 4-2 องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของกากขิง

องค์ประกอบทางเคมี	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	(%โดยน้ำหนักเปียก)	(%โดยน้ำหนักแห้ง)
ความชื้น	7.52 ± 0.06	-
โปรตีน	3.73 ± 0.04	4.03 ± 0.03
ไขมัน	0.55 ± 0.05	0.59 ± 0.05
เถ้า	0.39 ± 0.01	0.42 ± 0.01
กากใย	71.70 ± 0.18	77.50 ± 0.06
คาร์โบไฮเดรต	16.15 ± 0.20	17.46 ± 0.12

ตารางที่ 4-3 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัตการต้านอนุมูลอิสระของกากมะตูม

ค่าคุณภาพ	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (%)	5.61 \pm 0.48
ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมแกลลิก/100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	314.22 \pm 0.88
สมบัตการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition)	80.30 \pm 0.45

ตารางที่ 4-4 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัตการต้านอนุมูลอิสระของกากขิง

ค่าคุณภาพ	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (%)	ND
ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมแกลลิก/100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	805.19 \pm 0.38
สมบัตการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition)	87.88 \pm 0.13

ND (Not Detected) หมายถึง ตรวจไม่พบ

สำหรับกรณีกากมะตูม ได้รับมาจากโรงงานในลักษณะกากสด จากตารางที่ 4-1 พบว่า กากมะตูมมีปริมาณความชื้นสูง 77.52% สำหรับกากขิงที่ใช้ในงานวิจัยซึ่งผ่านการนำมาเตรียมขั้นต้น โดยการแตกแดดและอบแห้ง จากตารางที่ 4-2 พบว่า กากขิงมีปริมาณความชื้น 7.52% ซึ่งอยู่ในช่วง 8 \pm 1% ตามที่กำหนดไว้ จึงจัดเป็นอาหารประเภทความชื้นต่ำ (ปริมาณความชื้นต่ำกว่า 15%) การนำ กากขิงมาแตกแดดและอบแห้ง เป็นการกำจัดความชื้นให้เหลือน้อยลง ป้องกันและควบคุมการเจริญ ของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย ทั้งรา ยีสต์ และแบคทีเรีย จึงช่วยยืดอายุการเก็บรักษาให้นาน ขึ้น มีโอกาสเก็บไว้ได้นานที่อุณหภูมิห้องโดยไม่เน่าเสีย

จากผลการทดลอง พบว่า กากมะตูมที่ใช้ในงานวิจัยมีองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 7.96% 1.38% 3.96% และ 55.74% โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ โดยมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตค่อนข้างสูง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกากมะตูมที่ได้รับมารวมส่วน เมล็ดอ่อน เนื้อ และเปลือก ซึ่งน่าจะมีส่วนประกอบพวกคาร์โบไฮเดรตค่อนข้างปริมาณมาก หากพิจารณา ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของมะตูม พบว่า ผลมะตูมโดยเฉพาะส่วนเนื้อเป็นส่วนมีโซคาร์พ (Mesocarp) หรือ แอลเบโด (Albedo) มีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตพวกเพคตินและเฮมิ เซลลูโลส รวมถึงน้ำตาลด้วย (โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช, 2557) สำหรับกากขิงที่ใช้ในงานวิจัยมี องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 4.03% 0.59% 0.42% และ 17.46% โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่าองค์ประกอบทางเคมี โดยประมาณของขิงแห้งผง ตามที่นิจศิริ เรืองรังสี (2542) รายงานไว้ว่า ขิงแห้งผงมีปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 9.12%, 5.95%, 1.65% และ 70.9% โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากวัตถุดิบกากขิงที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นส่วนเหลือทิ้งจากกระบวนการสกัด กลิ่นรสขิงในระดับอุตสาหกรรม จึงอาจทำให้องค์ประกอบต่างๆ ทั้งในกลุ่มโปรตีน ไขมัน เถ้า และ คาร์โบไฮเดรต ซึ่งอยู่ในขิง ถูกสกัดออกไปได้มาก โดยเฉพาะสารกลุ่มน้ำมันหอมระเหยที่ให้กลิ่นรส

ต่างๆในเชิง จึงทำให้ปริมาณไขมันเหลืออยู่ในกากชিংเพียง 0.59% โดยน้ำหนักแห้งเท่านั้น

กากใย (Crude fiber) หมายถึง ไฟเบอร์จากผนังเซลล์ (Cell wall) ของพืชเป็นสารประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่เหลือจากการย่อยด้วยกรดอ่อนและด่างอ่อน (วิชัย ตันไพจิตร, 2522) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของกากมะตูมและกากชিংที่ใช้ในงานวิจัยพบว่า มีกากใย 30.96-77.50% โดยน้ำหนักแห้ง แสดงให้เห็นว่าวัตถุดิบกากมะตูมและกากชিংนี้น่าจะมีศักยภาพที่ดีในการนำมาผลิตเส้นใยอาหารผงได้ และเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุเศษเหลือชนิดอื่นที่มีการนำมาศึกษาวิจัยการผลิตเส้นใยอาหารผงพบว่า กากมะตูมและกากชিংที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีปริมาณกากใยค่อนข้างสูง ตัวอย่างเช่น กากจากการคั้นน้ำสับประรดมีกากใย 32.02% โดยน้ำหนักแห้ง (วีระสิทธิ์ ธรรมวโร และคณะ, 2556) กากส้มเขียวหวานมีกากใย 48.70% โดยน้ำหนักแห้ง (ธนิกันต์ สันต์สวัสดิ์, 2541) และกากถั่วเหลืองมีกากใย 2.2% โดยน้ำหนักแห้ง (มาลี ชัมศรีสกุล, 2542)

จากตารางที่ 4-3 พบว่า กากมะตูมมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 5.61% ในขณะที่ผลจากตารางที่ 4-4 ตรวจสอบไม่พบปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในกากชিংที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในกระบวนการสกัดกลิ่นรสชিংในระดับอุตสาหกรรม มีผลให้น้ำตาลซึ่งสามารถละลายน้ำได้ ถูกชะออกในระหว่างกระบวนการสกัด จึงอาจเหลือน้ำตาลทั้งหมดในปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้ นอกจากนี้พบข้อมูลว่า คาร์โบไฮเดรตในชিংส่วนใหญ่เป็นจำพวกแป้งไม่ใช่ น้ำตาล ขึ้นอยู่กับความแก่และพันธุ์ชিং มีงานวิจัยจำนวนหนึ่งนำชিংแก่มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแป้งชিং ตัวอย่างเช่น ศึกษาการนำชিংทั้งที่ปอกและไม่ปอกเปลือก ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกและไม่ลวกมาผลิตแป้งจากชিংแก่ในประเทศไนจีเรีย (Alakali et al., 2009) เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ผลิตภัณฑ์ เบเกอรี่ นอกจากนี้พบว่าการนำแป้งชিংไปใช้เป็นสารต้านเชื้อราในน้ำผึ้งได้ด้วย โดยพบว่าการเติมแป้งชিং 1% สามารถต้านเชื้อรา *Candida albicans* ในน้ำผึ้ง ได้มีประสิทธิภาพดีกว่าการเติมแป้งข้าวโพด 10% โดยแป้งชিংมีความต้านทานการย่อยของอะไมเลสน้อยกว่า (Moussa et al., 2012)

สำหรับผลการวิเคราะห์ที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบของสารพฤกษเคมีและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ พบว่า กากมะตูมที่ใช้ในงานวิจัยมีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด 314.22 มิลลิกรัมแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง และมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระซึ่งรายงานในรูปแบบ %Inhibition 80.30% สำหรับกากชিংที่ใช้ในงานวิจัย มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด 805.19 มิลลิกรัมแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง และมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระซึ่งรายงานในรูปแบบ %Inhibition เท่ากับ 87.88% จากข้อมูลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของกากมะตูมและกากชিংที่ใช้ในงานวิจัย จึงยืนยันให้เห็นว่า กากชিংเป็นวัสดุส่วนเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพน่าจะสามารถนำมาผลิตเส้นใยอาหารผงที่มีสารต้านอนุมูลอิสระได้ นอกจากนี้ผลจากการวิเคราะห์ ทำให้ทราบถึงองค์ประกอบทางเคมีของกากมะตูมและกากชিং ที่พบว่ามีสารอื่นที่มีโครงสร้างของเส้นใยอาหาร ที่ต้องกำจัดออกเพื่อให้ได้เส้นใยอาหารที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้นในขั้นตอนต่อไป

ตอนที่ 2 ผลการศึกษาสภาวะการสกัดเส้นใยอาหารจากกากสมุนไพรมะตูม

2.1 ผลการศึกษาสภาวะการสกัดเส้นใยอาหารจากกากมะตูม

2.1.1 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการสกัดด้วยน้ำต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม

1) ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

จากตารางที่ 4-5 พบว่า ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ได้ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำมากที่สุด (72.03%) และเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำที่มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำน้อยที่สุด (32.59%) การสกัดด้วยน้ำมีผลในการกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ใช่เส้นใยอาหารออกไปได้มาก เส้นใยอาหารจึงมีความบริสุทธิ์ขึ้น จึงมีโอกาสเหลือสัดส่วนปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำต่อน้ำหนักเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ได้มากขึ้นนั่นเอง

จากผลการทดลอง พบว่า ที่เวลาในการสกัดเท่ากัน กากมะตูมที่สกัดด้วยน้ำอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำมากกว่าที่สกัดด้วยน้ำอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิสูง เป็นการทำให้ผนังเซลล์พืชอ่อนนุ่มลง จึงมีโอกาสแยกองค์ประกอบต่างๆออกจากวัตถุดิบ เช่น น้ำตาลอิสระ กรดอิสระ สารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ โปรตีนที่ละลายน้ำได้ รวมถึงสารต่างๆที่มีสมบัติละลายน้ำได้ โดยสามารถละลายปนออกมากับน้ำที่ใช้สกัด และในกรณีโปรตีนยังมียโอกาสเกิดการเสียสภาพ จากการสัมผัสอุณหภูมิสูง และมีโอกาสถูกชะล้างออกมากับน้ำที่ใช้สกัดได้ด้วยเช่นกัน (พัชรภรณ์ วชิรศิริ, 2550) จากผลการทดลอง พบว่า ที่อุณหภูมิในการสกัดเท่ากัน กากมะตูมที่สกัดด้วยน้ำเป็นเวลา 60 นาที มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำมากกว่าการสกัดเป็นเวลา 120 นาที FAO (1998) กล่าวว่า การใช้ระยะเวลาในการลวก ต้ม หรือสกัดด้วยความร้อนเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มทำให้ปริมาณเส้นใยอาหารทุกชนิดลดลงได้ เนื่องจากการใช้ความร้อนอาจมีผลในการทำลายพันธะภายในสายพอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharide) ของเส้นใยอาหารทั้งที่มีสมบัติละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ จนทำให้ขนาดของพอลิแซคคาไรด์สั้นลง และมีโอกาสเกิดการละลายน้ำได้มากขึ้น

2) ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ

จากตารางที่ 4-6 พบว่า ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม มีปริมาณอยู่ในช่วง 8.67%-14.98% น้อยกว่าเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ที่มีปริมาณอยู่ในช่วง 32.59%-72.03% ทั้งนี้เนื่องมาจากเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำมีสมบัติในการละลายน้ำได้ โดยสามารถรวมตัวกับน้ำได้ดี จึงมีโอกาสถูกชะไปพร้อมกับน้ำที่ใช้ในการสกัดได้ง่าย ส่วนเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ มักเป็นพวกคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งเป็นส่วนที่เป็นผนังเซลล์พืชที่มีสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่มีความสามารถในการจับน้ำไว้ได้ จึงมีโอกาสสูญเสียไประหว่างการสกัดด้วยน้ำน้อยกว่า (ดวงจันทร์ เสงส์สวัสดิ์, 2545)

ตารางที่ 4-5 ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมที่ไม่ผ่านและผ่านการสกัดด้วยน้ำที่สภาวะต่างๆ

อุณหภูมิและเวลาในการสกัดด้วยน้ำ	ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (% โดยน้ำหนักแห้ง)
ไม่ผ่านการสกัดด้วยน้ำ (ตัวควบคุม)	32.59 ± 0.88 ^d
70 องศาเซลเซียส, 60 นาที	66.37 ± 0.53 ^b
70 องศาเซลเซียส, 120 นาที	62.15 ± 0.30 ^c
90 องศาเซลเซียส, 60 นาที	72.03 ± 0.48 ^a
90 องศาเซลเซียส, 120 นาที	67.87 ± 0.32 ^b

^{a,b,c,...} แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4-6 ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมที่ไม่ผ่านและผ่านการสกัดด้วยน้ำที่สภาวะต่างๆ

อุณหภูมิและเวลาในการสกัดด้วยน้ำ	ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (% โดยน้ำหนักแห้ง)
ไม่ผ่านการสกัดด้วยน้ำ (ตัวควบคุม)	14.98 ± 0.39 ^a
70 องศาเซลเซียส, 60 นาที	12.70 ± 0.12 ^b
70 องศาเซลเซียส, 120 นาที	11.33 ± 0.10 ^c
90 องศาเซลเซียส, 60 นาที	10.53 ± 0.08 ^d
90 องศาเซลเซียส, 120 นาที	8.67 ± 0.24 ^e

^{a,b,c,...} แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

3) ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด

จากตารางที่ 4-7 พบว่า ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมที่ได้ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดคำนวณได้จาก ผลรวมของปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ จากผลการทดลอง พบว่า เส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดมากที่สุด (82.56%) รองลงมาคือ การสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที (79.07%) การสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที (76.54%) การสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที (73.48%) และ การไม่ผ่านการสกัดด้วยน้ำ (47.57%) ตามลำดับ จากผลการทดลองจึงเป็นการยืนยันให้เห็นว่า การผลิตเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุม โดยการสกัดด้วยน้ำ สามารถกำจัดองค์ประกอบอื่นที่ไม่ใช่เส้นใยอาหารออกได้ เป็นผลให้เส้นใยอาหารผงที่ได้มี

ความบริสุทธิ์สูงขึ้น จึงมีสัดส่วนของปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดต่อน้ำหนักเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมที่ได้มากขึ้น โดยพบว่า ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำ อยู่ในช่วง 73.48%-82.56% ซึ่งมากกว่าปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยน้ำ (ตัวควบคุม) ที่มีปริมาณเพียง 47.57% คิดเป็นปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดที่เพิ่มขึ้น 54.47%-73.55% อย่างไรก็ตาม พบข้อสังเกตจากผลการทดลองว่า การสกัดด้วยน้ำมีผลให้ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (8.67%-12.70%) ลดลงเมื่อเทียบกับตัวควบคุม (14.98%) ดังนั้นอาจเป็นข้อจำกัดของการสกัดด้วยน้ำที่ควรคำนึงถึงอีกประการหนึ่ง หากต้องการรักษาปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ให้คงอยู่ในปริมาณมาก

ตารางที่ 4-7 ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมที่ไม่ผ่านและผ่านการสกัดด้วยน้ำที่สภาวะต่างๆ

อุณหภูมิและเวลาในการสกัดด้วยน้ำ	ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (% โดยน้ำหนักแห้ง)
ไม่ผ่านการสกัดด้วยน้ำ (ตัวควบคุม)	47.57 ± 0.55 ^e
70 องศาเซลเซียส, 60 นาที	79.07 ± 0.41 ^b
70 องศาเซลเซียส, 120 นาที	73.48 ± 0.40 ^d
90 องศาเซลเซียส, 60 นาที	82.56 ± 0.54 ^a
90 องศาเซลเซียส, 120 นาที	76.54 ± 0.37 ^c

^{a,b,c,...} แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

จากตารางที่ 4-8 พบว่า ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมที่ได้จากการสกัดด้วยน้ำ (0.57%-0.76%) มีปริมาณน้อยกว่าการไม่ผ่านการสกัดด้วยน้ำ (5.59%) ($p < 0.05$) จากผลการทดลองยืนยันให้เห็นว่า กากมะตุมมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ และสามารถกำจัดได้ด้วยการสกัดด้วยน้ำ โดยคิดเป็นปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่ลดลงถึง 89.80%-86.40% จากผลการทดลอง พบว่า ที่อุณหภูมิในการสกัดเท่ากัน กากมะตุมที่สกัดด้วยน้ำ 60 นาที สามารถกำจัดน้ำตาลได้มากกว่าการสกัดด้วยน้ำเป็นเวลา 120 นาที เนื่องมาจากการใช้ระยะเวลาในการลวก ต้ม หรือสกัดด้วยความร้อนเพิ่มขึ้น มีโอกาสทำให้ผนังเซลล์พืชอ่อนนุ่ม (FAO, 1998; Dabhade and Khedkar, 1980) จึงทำให้น้ำตาลที่คงอยู่ในกากมะตุมมีโอกาสถูกชะออกมาในน้ำที่ใช้สกัดได้มากขึ้น

ตารางที่ 4-8 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ไม่ผ่านและผ่านการสกัดด้วยน้ำที่สภาวะต่างๆ

อุณหภูมิและเวลาในการสกัดด้วยน้ำ	ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%โดยน้ำหนักแห้ง)
ไม่ผ่านการสกัดด้วยน้ำ (ตัวควบคุม)	5.59 ± 0.08 ^a
70 องศาเซลเซียส, 60 นาที	0.76 ± 0.01 ^b
70 องศาเซลเซียส, 120 นาที	0.59 ± 0.01 ^c
90 องศาเซลเซียส, 60 นาที	0.71 ± 0.01 ^b
90 องศาเซลเซียส, 120 นาที	0.57 ± 0.01 ^c

^{a,b,c} แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

5) ค่าสี

เส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ไม่ผ่านและผ่านการสกัดด้วยน้ำ แสดงดังภาพที่ 4-1 โดยจากการสังเกตด้วยตาเปล่า พบว่า เส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ได้มีสีน้ำตาลอ่อน โดยเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยน้ำมีสีน้ำตาลคล้ำที่สุด เมื่อนำเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมทุกสิ่งทดลองมาวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าสีในระบบ CIE รายงานเป็นค่า L^* a^* และ b^* ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-9 โดยพบว่า ค่า a^* มีค่าเป็นบวก (+) แสดงถึงค่าสีแดง และค่า b^* มีค่าเป็นบวก (+) แสดงถึงค่าสีเหลือง และพบว่า ค่าสี L^* a^* และ b^* ของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ได้ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยน้ำมีค่าความสว่างต่ำที่สุด (L^* 66.74) ในขณะที่มีค่าสีแดง (a^* 8.50) และค่าสีเหลือง (b^* 27.55) สูงที่สุด ($p < 0.05$) ส่วนเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งเป็นสภาวะที่รุนแรงที่สุด มีค่าความสว่างสูงที่สุด (L^* 72.10) ในขณะที่มีค่าสีแดง (a^* 5.85) และค่าสีเหลือง (b^* 21.27) ต่ำที่สุด ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นแนวโน้มว่าเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำมีสีที่สว่างขึ้น มีความเป็นสีแดงและเหลืองลดลง ซึ่งสอดคล้องกับสีที่มองเห็นด้วยตาเปล่าว่า เส้นใยอาหารผงที่ได้มีสีน้ำตาลคล้ำน้อยที่สุด จากผลการทดลอง พบว่า ที่อุณหภูมิในการสกัดเท่ากัน หากใช้เวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มให้ค่า L^* เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า a^* และ b^* ลดลง ($p < 0.05$) และที่เวลาการสกัดเท่ากันหากใช้อุณหภูมิในการสกัดเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มให้ค่า L^* เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า a^* และ b^* ลดลง ($p < 0.05$)



ก) ไม่ผ่านการสกัดด้วยน้ำ



ข) สกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 70 °C, 60 นาที



ค) สกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 70 °C, 120 นาที



ง) สกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 °C, 60 นาที



จ) สกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 °C, 120 นาที

ภาพที่ 4-1 ลักษณะของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยน้ำ ก) และผ่านการสกัดด้วยน้ำที่สภาวะต่างๆ ได้แก่ สกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 70 °C, 60 นาที ข) สกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 70 °C, 120 นาที ค) สกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 °C, 60 นาที และ ง) สกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 °C, 120 นาที จ)

ตารางที่ 4-9 ค่าสี L* a* b* ของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ไม่ผ่านและผ่านการสกัดด้วยน้ำที่
สภาวะต่างๆ

อุณหภูมิและเวลาในการสกัดด้วยน้ำ	ค่าสีเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	L*	a*	b*
ไม่ผ่านการสกัดด้วยน้ำ (ตัวควบคุม)	66.74 ± 0.23 ^d	8.50 ± 0.18 ^a	27.55 ± 0.28 ^a
70 องศาเซลเซียส, 60 นาที	69.84 ± 0.73 ^c	6.40 ± 0.26 ^b	23.56 ± 0.72 ^b
70 องศาเซลเซียส, 120 นาที	70.71 ± 0.35 ^b	6.21 ± 0.41 ^b	22.99 ± 1.36 ^b
90 องศาเซลเซียส, 60 นาที	71.10 ± 0.81 ^b	6.32 ± 0.18 ^b	23.64 ± 0.49 ^b
90 องศาเซลเซียส, 120 นาที	72.10 ± 1.05 ^a	5.85 ± 0.44 ^c	21.27 ± 1.44 ^c

a,b,c,... แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

6) ปริมาณผลได้

จากตารางที่ 4-10 พบว่า ปริมาณผลได้ของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ได้ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) เส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยน้ำมีปริมาณผลได้มากที่สุด (20.63%) ในขณะที่เส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที มีปริมาณผลได้น้อยที่สุด (13.82%) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการสกัดด้วยน้ำเป็นการกำจัดสารที่ละลายน้ำได้ ได้แก่ น้ำตาลอิสระ กรดอิสระ และองค์ประกอบของสารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ เช่น แคลเซียม โปแทสเซียม แมกนีเซียม และฟอสฟอรัส เป็นต้น การใช้สภาวะการสกัดที่รุนแรงจึงมีโอกาสมิให้มีการสูญเสียองค์ประกอบดังกล่าวไปได้มากกว่า (Larrauri, 1999) สภาวะการสกัดด้วยน้ำที่ใช้อุณหภูมิสูงและเวลานานขึ้นจึงเอื้อต่อการสูญเสียองค์ประกอบที่ละลายน้ำได้มากจึงมีปริมาณผลได้ลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ พัชรภรณ์ วชิรศิริ (2550) ได้ศึกษาการสกัดเส้นใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว่า พบว่า การบดเปียกร่วมกับการล้างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส มีปริมาณผลได้น้อยที่สุด (4.95%) เมื่อเปรียบเทียบกับ การบดแห้ง การบดเปียก และการบดเปียกร่วมกับการล้างน้ำอุณหภูมิห้อง ที่มีปริมาณผลได้เท่ากับ 6.12% 6.10% และ 5.18% ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ปริมาณผลได้ที่รายงานนี้ไม่เกี่ยวข้องกับ ความบริสุทธิ์ของเส้นใยอาหารที่ได้ เพราะคำนวณจากน้ำหนักเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ได้ต่อน้ำหนัก กากมะตูมที่ใช้

ตารางที่ 4-10 ปริมาณผลได้ของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมที่ไม่ผ่านและผ่านการสกัดด้วยน้ำที่
สภาวะต่างๆ

อุณหภูมิและเวลาในการสกัดด้วยน้ำ	ปริมาณผลได้เฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)
ไม่ผ่านการสกัดด้วยน้ำ (ตัวควบคุม)	20.63 \pm 0.37 ^a
70 องศาเซลเซียส, 60 นาที	16.91 \pm 0.21 ^b
70 องศาเซลเซียส, 120 นาที	15.90 \pm 0.66 ^c
90 องศาเซลเซียส, 60 นาที	14.34 \pm 0.31 ^d
90 องศาเซลเซียส, 12 ชั่วโมง	13.82 \pm 0.01 ^d

^{a,b,c,...} แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

7) ผลการคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสม

จากเกณฑ์ที่กำหนดไว้ คือ พิจารณาเลือกสภาวะการสกัดด้วยน้ำที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดมากที่สุด รวมถึงพิจารณาคุณภาพอื่นๆที่วิเคราะห์ ประกอบการตัดสินใจจากผลการทดลอง พบว่า การสกัดกากมะตุมด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ทำให้ได้ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ 82.56% ($p < 0.05$) โดยสิ่งทดลองดังกล่าวมีปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำสูงที่สุด เท่ากับ 72.03% มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำเท่ากับ 10.53% ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด เท่ากับ 0.711% และมีปริมาณผลได้เท่ากับ 14.34% โดยเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมที่ได้มีสีน้ำตาลอ่อน การสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ที่จะนำไปใช้สำหรับขั้นตอนต่อไป

2.1.2 ผลของการสกัดด้วยเอทานอลต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุม

จากการนำกากมะตุมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 นาที มาสกัดด้วยเอทานอล เปรียบเทียบกับการไม่ผ่านการสกัดด้วยเอทานอล แล้วนำมาทำแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ± 1 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นสุดท้าย $8 \pm 1\%$ และสุ่มตัวอย่างนำไปวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ แสดงผลดังตารางที่ 4-10 ถึง 4-16 ผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

1) ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

จากตารางที่ 4-11 พบว่า ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเอทานอลมีปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (81.19%) มากกว่าเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำเพียงขั้นตอนเดียว (70.87%) ทั้งนี้เนื่องจากขั้นตอนการสกัดด้วยเอทานอลสามารถกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ใช่เส้นใยอาหารออกไปได้ โดยมักเป็นกลุ่มของสารให้สี สารให้กลิ่นรส และไขมัน ออกจากวัตถุดิบได้ (Prakongpan et al., 2002) จึงทำให้เส้นใยอาหารที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้น จึงมีโอกาสเหลือสัดส่วนปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำต่อน้ำหนักเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมที่ได้มากขึ้นนั่นเอง

2) ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ

จากตารางที่ 4-11 พบว่า ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเอทานอลมีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (8.76%) น้อยกว่าเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำเพียงขั้นตอนเดียว (10.61%) อาจเนื่องมาจากเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้บางชนิดสามารถละลายได้ในเอทานอลด้วย เช่น เพคติน (ชินานาฏ วิทยาประภากร และ สมัชญ์ ทวีเกษมสมบัติ, 2556; Jimenez and Sanchez, 2000) ทำให้เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ จึงมีโอกาสถูกชะออกมาได้ในขั้นตอนการสกัดด้วยเอทานอล ซึ่งใช้เวลาในการแช่ถึง 24 ชั่วโมง เพคตินจัดเป็นเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ชนิดหนึ่ง Aravatinos and Oreopoulou (1992) และ Pagan et al. (1999) กล่าวว่า ในขั้นตอนการสกัดเพคตินออกจากวัสดุเศษเหลือพวกผักผลไม้ สามารถดำเนินการได้ด้วยขั้นตอนที่สำคัญคือการตกตะกอนเพคตินด้วยเอทานอล แสดงให้เห็นว่า การสกัดด้วยเอทานอลสามารถแยกเพคตินออกมาได้ การที่เอทานอลสามารถตกตะกอนเพคตินและสามารถเกิดเป็นลักษณะเจลที่สามารถกรองแยกออกมาได้ เนื่องจากเพคตินเป็นสารที่มีขี้วจึจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายมีขี้ว โดยเฉพาะ เอทานอล และเมื่อเอทานอลละลายหรือรวมตัวกับสารโมเลกุลขนาดใหญ่ (Macromolecule) เช่น โปรตีนหรือโพลีแซคคาไรด์ จะทำให้สารโมเลกุลขนาดใหญ่ตกตะกอนแข็งตัวหรือเสียสภาพธรรมชาติ เพราะเกิดการดึงน้ำมาไว้ในแอลกอฮอล์ได้มาก จึงสามารถแยกเพคตินออกมาได้ (ชินานาฏ วิทยาประภากร และสมัชญ์ ทวีเกษมสมบัติ , 2556 และเสียงชัย จัตุรัส, ม.ป.ป.) ดังนั้นการนำกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำมาสกัดซ้ำด้วยเอทานอลอีกครั้ง จึงมีโอกาสทำให้เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้มีโอกาสสูญเสียไปได้มากขึ้น

3) ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด

จากตารางที่ 4-11 พบว่า ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ได้ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเอทานอลมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (89.61%) มากกว่าเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำเพียงขั้นตอนเดียว (81.49%) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเอทานอล มีปริมาณเส้นใยอาหารที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้น คิดเป็นปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นถึง 8.12% สอดคล้องกับงานวิจัยของ เต็มสิริ ไชยเดช (2550) สกัดเส้นใยอาหารจากกากแครอทด้วยเอทานอลที่มีความเข้มข้น 95% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า การสกัดเส้นใยอาหารจากกากแครอทด้วยเอทานอล ได้ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เท่ากับ 84.20% และงานวิจัยของ นภาพร เชี่ยวชาญ (2556) ผลิตเส้นใยอาหารผงจากกากมะนาว พบว่า การเตรียมกากมะนาวด้วยการลวกและแช่เอทานอล ได้ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เท่ากับ 71.26%

ตารางที่ 4-11 ปริมาณเส้นใยอาหารของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมที่สกัดด้วยน้ำอย่างเดียวและสกัดด้วยน้ำและเอทานอล

วิธีการสกัด	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (% โดยน้ำหนักแห้ง)		
	เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ	เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ	เส้นใยอาหารทั้งหมด
สกัดด้วยน้ำ (ตัวควบคุม)	70.87 \pm 0.59 ^b	10.61 \pm 0.09 ^a	81.49 \pm 0.66 ^b
สกัดด้วยน้ำและเอทานอล	81.19 \pm 0.31 ^a	8.76 \pm 0.34 ^b	89.61 \pm 0.81 ^a

^{a,b,c,...} แสดงถึงค่าในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ

จากตารางที่ 4-12 พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมผงที่ได้ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเอทานอล มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (124.55 มิลลิกรัมแกลลิก/100 กรัม) น้อยกว่าเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำเพียงขั้นตอนเดียว (152.77 มิลลิกรัมแกลลิก/100 กรัม) เนื่องจากเอทานอลเป็นตัวทำละลายที่ดี ดังนั้นเมื่อนำกากมะตุมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำมาสกัดด้วยเอทานอลซ้ำ จึงมีโอกาสให้สารประกอบฟีนอลิกที่คงอยู่ ถูกสกัดออกมาพร้อมกับเอทานอลได้มาก ส่งผลให้เส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเอทานอล จึงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลง โดยปกติปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมักมีความสัมพันธ์กับสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกหลายชนิดมีสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชัน เช่น ฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก และ แทนนิน จากผลการทดลองจึงแสดงให้เห็นว่ามีผลสอดคล้องกับแนวโน้มปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ที่พบว่า เส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเอทานอลมี % inhibition (55.65) น้อยกว่าเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำเพียงขั้นตอนเดียว (72.81)

ตารางที่ 4-12 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมที่สกัดด้วยน้ำอย่างเดียวและสกัดด้วยน้ำและเอทานอล

วิธีการสกัด	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (% inhibition)
สกัดด้วยน้ำ (ตัวควบคุม)	152.77 \pm 0.16 ^a	72.81 \pm 0.00 ^a
สกัดด้วยน้ำและเอทานอล	124.55 \pm 1.02 ^b	55.65 \pm 0.16 ^b

^{a,b} แสดงถึงค่าในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

5) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

จากตารางที่ 4-13 พบว่า ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมผงที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยพบว่า เส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเอทานอล มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (0.413%) น้อยกว่าเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำเพียงขั้นตอนเดียว (0.713%) แสดงให้เห็นว่าการนำกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำมาสกัดต่อด้วยเอทานอล สามารถกำจัดน้ำตาลออกจากวัตถุดิบได้มากขึ้น ซึ่งน้ำตาลอิสระที่มีอยู่ในผลมะตูมมีสมบัติในการละลายได้ในเอทานอล โดยน้ำตาลอะราบินอสและน้ำตาลกาแลกโตสสามารถละลายได้ในเอทานอลบางส่วน ในขณะที่น้ำตาลกลูโคสมีความสามารถละลายได้ในเอทานอลได้มาก (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) การนำกากมะตูมมาแช่ต่อในเอทานอลความเข้มข้น 95% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง อาจมีผลให้โครงสร้างเซลล์พืชเปลี่ยนแปลงไปได้ จากการสังเกตระหว่างการทดลองเห็นว่าชิ้นกากมะตูมมีความนุ่มและยุ่ยมากขึ้น จึงอาจเอื้อต่อการแพร่ออกของน้ำตาลที่ยังหลงเหลืออยู่ได้มากขึ้น เป็นผลให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเอทานอลมีปริมาณลดลง

ตารางที่ 4-13 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่สกัดด้วยน้ำอย่างเดี่ยวและสกัดด้วยน้ำและเอทานอล

วิธีการสกัด	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%โดยน้ำหนักแห้ง)
สกัดด้วยน้ำ (ตัวควบคุม)	0.713 \pm 0.006 ^a
สกัดด้วยน้ำและเอทานอล	0.413 \pm 0.006 ^b

^{a,b} แสดงถึงค่าในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

6) ค่าสี

เส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่สกัดด้วยน้ำอย่างเดี่ยวและสกัดด้วยน้ำและเอทานอล แสดงดังภาพที่ 4-2 โดยจากการสังเกตด้วยตาเปล่า พบว่า เส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ได้มีสีน้ำตาลอ่อน เมื่อนำเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมมาวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าสีในระบบ CIE รายงานเป็นค่า L^* a^* และ b^* ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-14 พบว่า ค่า a^* มีค่าเป็นบวก (+) แสดงถึงค่าสีแดง และค่า b^* มีค่าเป็นบวก (+) แสดงถึงค่าสีเหลือง และพบว่าค่าสี L^* a^* และ b^* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเอทานอล มีค่าความสว่าง (L^* 70.23) มากกว่าเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำเพียงขั้นตอนเดียว (L^* 69.68) ในขณะที่เส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเอทานอล มีค่าสีแดง (a^* 6.23) และค่าสีเหลือง (b^* 22.05) น้อยกว่าเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำเพียงขั้นตอนเดียว (a^* 6.32 และ b^* 23.76)



ก) ผ่านการสกัดด้วยน้ำ (ตัวควบคุม)



ข) ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเอทานอล

ภาพที่ 4-2 ลักษณะของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำเพียงขั้นตอนเดียว ก) และผ่านการสกัดด้วยน้ำและเอทานอล ข)

ตารางที่ 4-14 ค่าสี L* a* b* ของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่สกัดด้วยน้ำอย่างเดี่ยวและสกัดด้วยน้ำและเอทานอล

วิธีการสกัด	ค่าสีเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	L*	a*	b*
สกัดด้วยน้ำ (ตัวควบคุม)	69.68 ± 0.23 ^b	6.32 ± 0.03 ^a	23.76 ± 0.03 ^a
สกัดด้วยน้ำและเอทานอล	70.23 ± 0.81 ^a	6.23 ± 0.02 ^b	22.05 ± 0.17 ^b

^{a,b} แสดงถึงค่าในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

7) ผลการคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสม

จากเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือ เลือกสภาวะการสกัดที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดมากที่สุด รวมถึงพิจารณาคุณภาพอื่นที่วิเคราะห์ประกอบการตัดสินใจ จากผลการทดลองพบว่า การสกัดกากมะตูมด้วยน้ำและเอทานอล ทำให้ได้เส้นใยอาหารผงที่มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (89.61%) มากกว่าเส้นใยอาหารผงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำเพียงอย่างเดียว (81.49%) ($p < 0.05$) ซึ่งเป็นการทำให้ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดเพิ่มขึ้นถึง 8.12% และเมื่อพิจารณาคุณภาพอื่นที่วิเคราะห์ พบว่า การสกัดด้วยน้ำและเอทานอลทำให้ได้เส้นใยอาหารผงที่มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (81.19%) มากกว่าเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่สกัดด้วยน้ำเพียงอย่างเดียว รวมถึงได้เส้นใยอาหารผงที่มีสีน้ำตาลอ่อนกว่า ทั้งนี้ยังมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (124.55 มิลลิกรัมแกลติก/100 กรัม) มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%inhibition 55.65) มีปริมาณผลได้ (13.38%) อยู่ในระดับสูง การสกัดด้วยน้ำและเอทานอลจึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ที่จะนำไปใช้ในการผลิตเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมสำหรับขั้นตอนต่อไป

2.2 ผลการศึกษาสภาวะการสกัดเส้นใยอาหารจากกากขิง

2.2.1 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการสกัดด้วยน้ำต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงจากกากขิง

จากการศึกษาผลของปัจจัยด้านอุณหภูมิการสกัด (อุณหภูมิห้อง และ 90 องศาเซลเซียส) และปัจจัยด้านเวลาการสกัด (30 และ 60 นาที) ในการสกัดด้วยน้ำต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงจากกากขิง ได้แก่ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด ค่าสี และปริมาณผลได้ โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปผลการวิเคราะห์ ANOVA ได้ดังตารางที่ 4-15 พบว่า อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัยระหว่างอุณหภูมิและเวลาการสกัดต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงจากกากขิง มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ค่าสี L* a* และ b* และปริมาณผลได้ ($p < 0.05$) อิทธิพลของปัจจัยหลักด้านอุณหภูมิการสกัดและเวลาการสกัดมีผลต่อปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด ($p < 0.05$) สำหรับปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ไม่ได้วิเคราะห์ข้อมูล เนื่องจากตรวจไม่พบปริมาณองค์ประกอบดังกล่าว (Not Detected)

ตารางที่ 4-15 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าคุณภาพต่างๆ จากการแปรปัจจัยด้านอุณหภูมิและเวลาการสกัดเส้นใยอาหารจากกากขิงด้วยน้ำ

ค่าคุณภาพ	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ x เวลา
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด	-	-	-
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด	*	*	*
สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ	*	*	*
ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ	*	*	ns
ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ	-	-	-
ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด	*	*	ns
ค่าสี L*	*	*	*
ค่าสี a*	*	*	*
ค่าสี b*	*	*	*
ค่าความแตกต่างของสี (ΔE)	*	*	*
ปริมาณผลได้	*	*	*

หมายเหตุ * หมายถึง ปัจจัยนั้นมีผลต่อค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns หมายถึง ปัจจัยนั้นไม่มีผลต่อค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

- หมายถึง ไม่ได้วิเคราะห์ข้อมูล

1) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำที่สภาวะต่างๆ ให้ผลว่าตรวจไม่พบปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง

ที่ตรวจไม่พบปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในกากขิงที่ใช้ในโครงการวิจัยนี้ จึงเป็นการยืนยันให้เห็นว่าเส้นใยอาหารผงจากกากขิงทุกสิ่งทดลอง ไม่มีองค์ประกอบของน้ำตาลหรือมีเหลืออยู่น้อยมากจนตรวจไม่พบ

2) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัตการต้านอนุมูลอิสระ

จากตารางที่ 4-16 พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัตการต้านอนุมูลอิสระของเส้นใยอาหารผงจากกากขิงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัตการต้านอนุมูลอิสระของเส้นใยอาหารผงจากกากขิง มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน กล่าวคือ เส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในปริมาณมาก จะมีสมบัตการต้านอนุมูลอิสระมากด้วย จากผลการทดลอง พบว่า เส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่สกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด (777.14 มิลลิกรัมแกลลิก/100 กรัม) และมีสมบัตการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดเช่นกัน (%Inhibition เท่ากับ 81.15) ($p < 0.05$) โดยสถานะที่ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัตการต้านอนุมูลอิสระรองลงมา ได้แก่ การสกัดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 60 นาที และการสกัดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส 60 นาที มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดต่ำที่สุด (583.44 มิลลิกรัมแกลลิก/100 กรัม) และมีสมบัตการต้านอนุมูลอิสระต่ำที่สุดเช่นกัน (%Inhibition เท่ากับ 76.58) ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัตการต้านอนุมูลอิสระ มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อใช้สถานะในการสกัดด้วยน้ำที่รุนแรงขึ้น จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิสูง และใช้เวลานาน มีโอกาสสูญเสียองค์ประกอบพวกสารประกอบฟีนอลิกได้มาก และมีผลให้สมบัตการต้านอนุมูลอิสระลดลงด้วย เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการสกัดเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้สัมประสิทธิ์การแพร่ของของแข็งในเซลล์มากขึ้น ทำให้อัตราการสกัดของแข็งสูงขึ้น ของแข็งในเซลล์ที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระบางชนิด เช่น รงควัตถุ กรดแอสคอร์บิก และสารประกอบฟีนอลิก เป็นต้น มีโอกาสถูกสกัดออกมาในน้ำได้ดีขึ้น (ดวงจันทร์ เสงส์สวัสดิ์, 2545 ; ประเทืองศรี สิ้นชัยศรี, 2547)

ตารางที่ 4-16 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัตการต้านอนุมูลอิสระของเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

อุณหภูมิและเวลาการสกัด ด้วยน้ำ	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	สมบัตการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition)
อุณหภูมิห้อง, 30 นาที	777.14 \pm 2.73 ^a	81.15 \pm 0.12 ^a
อุณหภูมิห้อง, 60 นาที	676.48 \pm 2.53 ^b	79.08 \pm 0.14 ^b
90 องศาเซลเซียส, 30 นาที	631.89 \pm 4.24 ^c	77.71 \pm 0.25 ^c
90 องศาเซลเซียส, 60 นาที	583.44 \pm 1.81 ^d	76.58 \pm 0.05 ^d

^{a,b,c,.....} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

3) ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ และ ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด

เส้นใยอาหารไม่ใช่สารอาหารและไม่ให้พลังงานแก่ร่างกาย แต่ก็มีความสำคัญต่อภาวะโภชนาการและสุขภาพของมนุษย์ เส้นใยอาหารประกอบไปด้วยโมเลกุลของคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่ไม่ใช่แป้ง เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส กัม เพคตินและมิวซิเลจส์ เป็นองค์ประกอบหลัก รวมถึงสารประกอบที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต เช่น ลิกนิน เส้นใยอาหารสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดตามความสามารถการละลายน้ำได้ คือเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (IDF) และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (SDF) โดยผลรวมของเส้นใยอาหารทั้งสองชนิด เรียกว่า เส้นใยอาหารทั้งหมด (TDF) (หยาดผน ทะนงการกิจ, 2557) จากตารางที่ 4-17 ตรวจไม่พบปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ตรวจพบเฉพาะปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ดังนั้นปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดจึงเท่ากับปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ การที่ตรวจไม่พบปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ อาจเนื่องมาจากเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ เช่น เพคติน กัม และมิวซิเลจส์ เป็นองค์ประกอบที่สามารถละลายได้ดีในน้ำ ดังนั้นกากขิงที่ผ่านกระบวนการสกัดกลั่นรสจากโรงงานอุตสาหกรรม จึงมีโอกาสสูญเสียเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ไปในกระบวนการสกัดกลั่นรสได้ แต่หากแม้อย่างหลงเหลืออยู่ในกากขิงที่นำมาใช้ในโครงการวิจัยนี้ เมื่อนำกากขิงมาสกัดด้วยน้ำทั้งที่ใช้อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิสูงถึง 90 องศาเซลเซียส อาจมีผลทำให้เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ มีโอกาสถูกชะไปพร้อมกับน้ำที่ใช้ในการสกัดได้ จนอาจไม่เหลือหรือมีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้เหลืออยู่น้อยมากจนไม่สามารถตรวจพบได้ รวมทั้งกากขิงที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีขนาดชิ้นเล็ก จึงเอื้อต่อการสูญเสียเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำออกไปได้โดยง่าย เนื่องจากมีพื้นผิวสัมผัสกับน้ำที่สกัดได้อย่างทั่วถึง ในขณะที่ตรวจพบเฉพาะเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งมักเป็นพวกคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งเป็นส่วนของผนังเซลล์พืชที่มีสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่มีความสามารถในการจับกับน้ำไว้ได้ (ดวงจันทร์ เสงส์สวัสดิ์, 2545) โดยกากขิงที่ใช้ในโครงการวิจัยนี้ได้มาจากขิงแก่ ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นใยมาก จึงน่าจะมีองค์ประกอบของเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำอยู่มาก มีรายงานว่าวัสดุเศษเหลือทางการเกษตรที่บริโภคได้ โดยเฉพาะส่วนเปลือกหรือกากมักมีเส้นใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก ตัวอย่างเช่น นันทียา และ สุกัญญา ตุ่มพูล (2547) รายงานว่า เปลือกกล้วยเหลืองเมล็ดแห้งมีคาร์โบไฮเดรต 86% ซึ่งเป็นเส้นใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำ ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เป็นองค์ประกอบหลัก และกรรณิการ์ ห้วยแสน (2542) กล่าวว่า รำข้าวสาลีมีเส้นใยอาหารทั้งหมด 42.6% ซึ่งเป็นเส้นใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ จำพวกเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส

จากผลการวิเคราะห์ ANOVA พบว่า อิทธิพลของปัจจัยหลักด้านอุณหภูมิการสกัดและเวลาการสกัดมีผลต่อปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาอิทธิพลด้านอุณหภูมิการสกัดด้วยน้ำ จากตารางที่ 4-17 พบว่า เส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (72.14%) มากกว่าเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง (69.72%) ($p < 0.05$) การสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิสูง เป็นการทำให้ผนังเซลล์อ่อนนุ่ม จึงมีโอกาสดึงองค์ประกอบต่างๆ ออกจากวัตถุดิบ เช่น น้ำตาลอิสระ กรดอิสระ สารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ โปรตีนที่ละลายน้ำได้ รวมถึงสารต่างๆ ที่มีสมบัติละลายน้ำได้ โดยสามารถละลายปนออกมากับ

น้ำที่ใช้สกัด และในกรณีโปรตีนยังมียโอกาสเกิดการเสียสภาพ จากการสัมผัสอุณหภูมิสูง และมีโอกาสถูกชะล้างออกมากับน้ำที่ใช้สกัดด้วยเช่นกัน (พัชรภรณ์ วชิรศิริ, 2550) เมื่อพิจารณาอิทธิพลด้านเวลาการสกัดด้วยน้ำ พบว่า เส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำเป็นเวลา 60 นาที มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (71.73%) มากกว่าเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำเป็นเวลา 30 นาที (70.13%) ($p < 0.05$) การสกัดด้วยน้ำมีผลในการกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ใช่เส้นใยอาหารออกไปได้ ดังนั้นการใช้เวลาการสกัดด้วยน้ำนานขึ้นจึงมีโอกาให้เกิดการสกัดได้มาก ทำให้สัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ที่ไม่ใช่เส้นใยอาหารสูญเสียไปกับน้ำเพิ่มขึ้น เส้นใยอาหารที่ได้จึงมีความบริสุทธิ์มากขึ้น ทั้งการสกัดด้วยน้ำโดยใช้อุณหภูมิสูงขึ้นหรือใช้เวลานานขึ้นจึงมีผลในการกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ใช่เส้นใยอาหารออกไปได้มาก เส้นใยอาหารจึงมีความบริสุทธิ์ขึ้น จากผลการทดลองจึงแสดงให้เห็นว่า สภาวะการสกัดด้วยน้ำที่ใช้อุณหภูมิสูง (90 องศาเซลเซียส) และใช้เวลาการสกัดนาน (60 นาที) ทำให้มีสัดส่วนปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำหรือปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดต่อน้ำหนักเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ได้ มากกว่าสภาวะการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง และใช้เวลาการสกัดสั้น (30 นาที)

ตารางที่ 4-17 ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (IDF) ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (SDF) และปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (TDF) ของเส้นใยอาหารผง จากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

อุณหภูมิการสกัด	เวลาการสกัด (นาที)						TDF* เฉลี่ย ± ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน (%โดยน้ำหนักแห้ง)
	30			60			
	IDF (%โดยน้ำหนักแห้ง)	SDF (%โดยน้ำหนักแห้ง)	TDF (%โดยน้ำหนักแห้ง)	IDF (%โดยน้ำหนักแห้ง)	SDF (%โดยน้ำหนักแห้ง)	TDF (%โดยน้ำหนักแห้ง)	
อุณหภูมิห้อง	69.13±0.29	ND	69.13±0.29	70.30±0.27	ND	70.30±0.27	69.72±0.69 ^b
90 องศาเซลเซียส	71.12±0.16	ND	71.12±0.16	73.15±0.62	ND	73.15±0.62	72.14±1.18 ^a
TDF* เฉลี่ย ± ค่า เบี่ยงเบนมาตรฐาน (%โดยน้ำหนักแห้ง)	70.13±1.11 ^B			71.73±1.16 ^A			

ND (Not Detected) หมายถึง ตรวจไม่พบ

* ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (TDF) เท่ากับปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (IDF)

^{a,b,.....} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

^{A,B,.....} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

4) ค่าสี L* a* b* และ ΔE

เส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ไม่ผ่านการสกัดและผ่านการสกัดด้วยน้ำที่สภาวะต่างๆ แสดงดังภาพที่ 4-3 เส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ได้มีสีเหลืองอมน้ำตาล โดยเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยน้ำมีสีเหลืองอมน้ำตาลเข้มที่สุด ในขณะที่เส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที มีสีเหลืองอมน้ำตาลอ่อนที่สุด เมื่อนำเส้นใยอาหารผงจากกากขิงทุกสิ่งทดลองมาวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าสีในระบบ CIE รายงานเป็นค่า L* a* และ b* ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-18 พบว่า ค่า a* มีค่าเป็นบวก (+) และค่า b* มีค่าเป็นบวก (+) แสดงถึง มีความเป็นสีแดงและสีเหลือง ตามลำดับ โดยพบว่า ค่าสี L* a* และ b* ของเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ได้ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยน้ำมีค่า L* เท่ากับ 54.81 ค่า a* เท่ากับ 6.78 และค่า b* เท่ากับ 25.27 ส่วนเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ซึ่งเป็นสภาวะที่รุนแรงที่สุด มีค่าความสว่างสูงที่สุด (L* เท่ากับ 58.55) ในขณะที่มีค่าสีแดง (a* เท่ากับ 5.88) และค่าสีเหลือง (b* เท่ากับ 22.90) ต่ำที่สุด ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นแนวโน้มว่าเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำมีสีที่สว่างขึ้น มีความเป็นสีแดงและสีเหลืองลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยอาหารผงที่ไม่ผ่านการสกัด ซึ่งสอดคล้องกับสีที่มองเห็นด้วยตาเปล่าว่าเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ได้มีสีเหลืองอมน้ำตาลอ่อนที่สุดในขณะที่เส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งเป็นสภาวะที่รุนแรงน้อยที่สุด มีค่าความสว่างต่ำที่สุด (L* เท่ากับ 55.55) ในขณะที่มีค่าสีแดง (a* เท่ากับ 6.50) และค่าสีเหลือง (b* เท่ากับ 25.27) สูงที่สุด ($p < 0.05$) และเมื่อคำนวณค่า ΔE ซึ่งเป็นความแตกต่างของค่าสีเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยอาหารผงที่ไม่ผ่านการสกัด พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที มีค่า ΔE มากที่สุด (4.54) รองลงมาคือ เส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที (2.14) สกัดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 60 นาที (2.08) และสกัดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที (0.81) ตามลำดับ

5) ปริมาณผลได้

จากตารางที่ 4-19 พบว่า ปริมาณผลได้ของเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ได้ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที มีปริมาณผลได้น้อยที่สุด (16.93%) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการสกัดด้วยน้ำเป็นการกำจัดสารที่ละลายน้ำได้ ได้แก่ น้ำตาลอิสระ กรดอิสระ และองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ เช่น แคลเซียม โปแทสเซียม แมกนีเซียม และฟอสฟอรัส เป็นต้น (Larraui, 1999) การใช้สภาวะการสกัดที่รุนแรงจึงมีโอกาสให้มีการสูญเสียองค์ประกอบดังกล่าวไปได้มากกว่าสภาวะการสกัดด้วยน้ำที่ใช้อุณหภูมิสูงและเวลานานขึ้นเอื้อต่อการสูญเสียองค์ประกอบที่ละลายละลายน้ำได้มาก จึงมีปริมาณผลได้ลดลง



ก) ไม่ผ่านการสกัด



ข) อุลตราซาวด์, 30 นาที



ค) อุลตราซาวด์, 60 นาที



ง) 90 องศาเซลเซียส, 30 นาที



จ) 90 องศาเซลเซียส, 60 นาที

ภาพที่ 4-3 ลักษณะของเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ไม่ผ่านและผ่านการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิต่างกัน ก) ไม่ผ่านการสกัด ข) อุลตราซาวด์, 30 นาที ค) อุลตราซาวด์, 60 นาที ง) 90 องศาเซลเซียส, 30 นาที และ จ) 90 องศาเซลเซียส, 60 นาที

ตารางที่ 4-18 ค่าสี L* a* และ b* ของเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

อุณหภูมิและเวลา การสกัดด้วยน้ำ	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	L*	a*	b*	ΔE [#]
อุณหภูมิห้อง, 30 นาที	55.55 ± 0.06 ^d	6.50 ± 0.04 ^a	25.27 ± 0.10 ^a	0.81 ± 0.20 ^d
อุณหภูมิห้อง, 60 นาที	56.53 ± 0.18 ^c	6.40 ± 0.03 ^b	24.17 ± 0.03 ^b	2.08 ± 0.04 ^c
90 องศาเซลเซียส, 30 นาที	56.98 ± 0.02 ^b	6.33 ± 0.02 ^c	23.22 ± 0.26 ^c	2.14 ± 0.26 ^b
90 องศาเซลเซียส, 60 นาที	58.55 ± 0.09 ^a	5.88 ± 0.08 ^d	22.90 ± 0.07 ^d	4.54 ± 0.20 ^a

a,b,c,..... ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ΔE คำนวณจากการเปรียบเทียบกับตัวอย่างเส้นใยอาหารผงที่ไม่ผ่านการสกัดที่มีค่า L*= 54.81

a*= 6.78 และ b*= 25.27

ตารางที่ 4-19 ปริมาณผลได้ของเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำที่สภาวะต่างๆ

อุณหภูมิและเวลาการสกัดด้วยน้ำ	ปริมาณผลได้เฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)
อุณหภูมิห้อง, 30 นาที	21.56 ± 0.06 ^a
อุณหภูมิห้อง, 60 นาที	19.34 ± 0.06 ^b
90 องศาเซลเซียส, 30 นาที	18.43 ± 0.02 ^c
90 องศาเซลเซียส, 60 นาที	16.93 ± 0.02 ^d

a,b,c,..... ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

6) ผลการคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสม

จากเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือเลือกสภาวะการสกัดด้วยน้ำที่เหมาะสม ที่ทำให้ได้ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดมากที่สุด โดยพิจารณาร่วมกับคุณภาพอื่นๆ ที่วิเคราะห์ ผลการทดลองพบว่า การสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที เป็นสิ่งทดลองที่เหมาะสมที่สุด ทำให้ได้เส้นใยอาหารผงที่ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ 72.14% โดยน้ำหนักแห้ง โดยยังคงมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ ได้แก่ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 583.44 มิลลิกรัม แกลลิก/100 กรัม และมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระรายงานเป็น %Inhibition เท่ากับ 76.58 และเส้นใยอาหารจากกากขิงที่ได้มีสีเหลืองอมน้ำตาลอ่อนที่สุด

2.2.2 ผลของระยะเวลาการสกัดด้วยเอทานอลต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงจากกากขิง

จากการนำกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที มาสกัดต่อด้วยเอทานอลเป็นเวลา 0 6 12 และ 24 ชั่วโมง แล้วนำมาทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 ± 1 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นสุดท้าย 8±1% และสุ่มตัวอย่างไปวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ แสดงผลดังตารางที่ 4-17 ถึง 4-20 ผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

1) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ

จากตารางที่ 4-20 พบว่า ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ได้ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำเพียงอย่างเดียวมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด (583.58 มิลลิกรัมแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) รองลงมา ได้แก่ เส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและสกัดต่อด้วยเอทานอล 6 ชั่วโมง (46.36 มิลลิกรัมแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) 12 ชั่วโมง (44.27 มิลลิกรัมแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) และ 24 ชั่วโมง (42.97 มิลลิกรัมแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นว่าเวลาในการสกัดด้วยเอทานอลนานขึ้น มีผลให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดลดลง เนื่องมาจากเอทานอลเป็นตัวทำละลายที่ดี โดยเป็นสารที่มีขี้ สามารถใช้สกัดสารประกอบฟีนอลิกได้ (ปรียานุช อินทร์รอด, 2551; สุวรรณ แสนทวี และคณะ, 2555) และการสกัดด้วยเอทานอลสามารถกำจัดไขมันออกจากวัตถุดิบได้ จึงเป็นการกำจัดสารประกอบฟีนอลิกที่ละลายได้ในไขมันออกได้ด้วย (วทันยา ลิ้มปพยอม และคณะ, 2557) ดังนั้นจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อนำกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำมาสกัดต่อด้วยเอทานอลในเวลานานขึ้น สามารถทำให้สารประกอบฟีนอลิกที่คงอยู่ถูกสกัดออกมาพร้อมกับเอทานอลได้มากขึ้น จึงเป็นการเพิ่มโอกาสการสกัดระหว่างเอทานอลกับกากขิงจึงมีผลให้ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดจึงลดลง จากการทดลอง พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระมีผลสอดคล้องกัน โดยพบว่าเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำเพียงอย่างเดียวมี %Inhibition เท่ากับ 76.45% มากที่สุด รองลงมาได้แก่ เส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและสกัดต่อด้วยเอทานอล 6 ชั่วโมง (65.39%), 12 ชั่วโมง (63.48%) และ 24 ชั่วโมง (61.96%) ตามลำดับ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4-20 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและผ่านการสกัดต่อด้วยเอทานอลที่เวลาต่างๆ

เวลาการสกัดด้วยเอทานอล (ชั่วโมง)	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition)
0	583.58 \pm 1.03 ^a	76.45 \pm 0.28 ^a
6	46.36 \pm 0.43 ^b	65.39 \pm 0.12 ^b
12	44.27 \pm 0.10 ^c	63.48 \pm 0.14 ^c
24	42.97 \pm 0.42 ^d	61.96 \pm 0.14 ^d

^{a,b,c,.....} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2) ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ และ ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด

จากตารางที่ 4-21 พบว่า จากการทดลองตรวจไม่พบปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ตรวจพบเฉพาะปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ดังนั้นปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดจึงเท่ากับ ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ การที่ตรวจไม่พบปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ สอดคล้องกับการที่ตรวจไม่พบปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำในเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำ และการนำกากขิงมาสกัดด้วยเอทานอลมีผลทำให้เส้นใยอาหารมีความบริสุทธิ์มากขึ้น จึงเพิ่มโอกาสให้ไม่สามารถตรวจพบปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ จากผลการทดลอง พบว่า ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดของเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำเพียงอย่างเดียว มีปริมาณเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำและปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดเท่ากับ 72.84% ซึ่งน้อยกว่าเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและสกัดด้วยเอทานอล 6 ชั่วโมง (75.28%), 12 ชั่วโมง (76.06%) และ 24 ชั่วโมง (78.24%) ตามลำดับ ($p < 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากขั้นตอนการสกัดด้วยเอทานอลทำให้เส้นใยอาหารมีความบริสุทธิ์มากขึ้น เนื่องจากเอทานอลสามารถกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ใช่เส้นใยอาหารออกได้ โดยมักเป็นกลุ่มของสารให้สี กลิ่นรส และไขมันออกจากวัตถุดิบ (Prakongpan et al., 2002; หยาตผน ทนงการกิจ, 2557) เมื่อระยะเวลาในการสกัดมากขึ้น สามารถสกัดส่วนประกอบที่ไม่ใช่เส้นใยอาหารออกจากวัตถุดิบเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้เส้นใยอาหารมีความบริสุทธิ์มากขึ้น (วิจิตร อุดอ้าย และคณะ, 2553) จึงมีโอกาสทำให้เหลือสัดส่วนปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำต่อน้ำหนักเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ได้มากขึ้น

ตารางที่ 4-21 ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (IDF) ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (SDF) และปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (TDF) ของเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและผ่านการสกัดด้วยเอทานอลที่เวลาต่างๆ

เวลาในการสกัดด้วยเอทานอล (ชั่วโมง)	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%โดยน้ำหนักแห้ง)		
	ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (IDF)	ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (SDF)	ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (TDF)
0	72.84 \pm 0.31 ^d	ND	72.84 \pm 0.31 ^d
6	75.28 \pm 0.13 ^c	ND	75.28 \pm 0.13 ^c
12	76.06 \pm 0.35 ^b	ND	76.06 \pm 0.35 ^b
24	78.24 \pm 0.11 ^a	ND	78.24 \pm 0.11 ^a

^{a,b,c,.....} ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ND (Not Detected) หมายถึง ตรวจไม่พบ

3) ค่าสี L* a* และ b*

เส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและสกัดด้วยเอทานอล เป็นเวลา 0 6 12 และ 24 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 4-4 โดยจากการสังเกตด้วยตาเปล่า พบว่า เส้นใยอาหารผงจาก

กากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำเพียงอย่างเดียว มีสีเหลืองอมน้ำตาลคล้ำกว่าเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและสกัดต่อด้วยเอทานอลเป็นเวลา 6 12 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ

เมื่อนำเส้นใยอาหารผงจากกากขิงทุกสิ่งทดลองมาวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าสีในระบบ CIE รายงานเป็นค่า L^* a^* และ b^* ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-22 โดยพบว่า ค่า a^* มีค่าเป็นบวก (+) แสดงถึงค่าสีแดง และค่า b^* มีค่าเป็นบวก (+) แสดงถึงค่าสีเหลือง และพบว่า ค่าสี L^* a^* และ b^* ของเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ได้ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำเพียงอย่างเดียว มีค่าความสว่างน้อยที่สุด (L^* เท่ากับ 58.59) รองลงมา ได้แก่ เส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและสกัดต่อด้วยเอทานอล 6 ชั่วโมง (59.21) , 12 ชั่วโมง (60.25) และ 24 ชั่วโมง (60.78) ตามลำดับ ($p < 0.05$) ในขณะที่เส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำเพียงอย่างเดียว มีค่าสีแดง (a^* เท่ากับ 6.27) และมีค่าสีเหลือง (b^* เท่ากับ 23.90) มากที่สุด รองลงมาได้แก่ เส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเอทานอล 6 ชั่วโมง (a^* เท่ากับ 5.73 และ b^* เท่ากับ 22.82) , 12 ชั่วโมง (a^* เท่ากับ 5.43 และ b^* เท่ากับ 22.30) และ 24 ชั่วโมง (a^* เท่ากับ 5.19 และ b^* เท่ากับ 21.54) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเวลาในการสกัดด้วยเอทานอลนานขึ้น มีผลให้ค่าความสว่าง (L^*) เพิ่มขึ้น แต่ค่าสีแดง (a^*) และสีเหลือง (b^*) ลดลง เนื่องจากกากขิง มีรงควัตถุที่สำคัญที่ให้สีเหลืองในกลุ่มแคโรทีนอยด์ (ซีรัตัน ฟิงเพียร์, 2552) แคโรทีนอยด์ มีสมบัติในการละลายได้ดีในน้ำมัน ตัวทำละลายอินทรีย์ ซึ่งรวมถึงเอทานอลด้วย จึงมีโอกาสดูดซับออกไปได้ในระหว่างการนำกากขิงมาแช่ในเอทานอลเป็นเวลา 6 12 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาในการสกัดเพิ่มมากขึ้น รงควัตถุสีเหลืองจึงมีโอกาสดูดซับออกไปจากวัตถุดิบมากขึ้นด้วย (วิจิตร อุดอ้าย และคณะ, 2553) จากการสังเกต พบว่า หลังการสกัดสารละลายเอทานอลที่ใช้แช่มีสีออกเหลือง (แสดงดังภาพในภาคผนวกภาพที่ จ-2) แสดงให้เห็นว่า รงควัตถุในกากขิงถูกสกัดออกมาด้วย ซึ่งสอดคล้องกับที่ Prakongpan et al. (2002) กล่าวว่า เอทานอลเป็นตัวทำละลายที่สามารถสกัดสารให้สีและไขมันออกจากวัตถุดิบได้ ซึ่งสามารถทำให้เส้นใยอาหารที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้น



ก) 0 ชั่วโมง



ข) 6 ชั่วโมง



ค) 12 ชั่วโมง



ง) 24 ชั่วโมง

ภาพที่ 4-4 ลักษณะของเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที และผ่านการสกัดด้วยเอทานอลที่เวลาต่างๆ ได้แก่ ก) 0 ชั่วโมง ข) 6 ชั่วโมง ค) 12 ชั่วโมง และ ง) 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 4-22 ค่าสี L* a* และ b* ของเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและผ่านการสกัดด้วยเอทานอลที่เวลาต่างๆ

เวลาในการสกัดด้วยเอทานอล (ชั่วโมง)	ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	L*	a*	b*
0	58.59 ± 0.07 ^d	6.27 ± 0.04 ^a	23.90 ± 0.39 ^a
6	59.21 ± 0.14 ^c	5.73 ± 0.02 ^b	22.82 ± 0.10 ^b
12	60.25 ± 0.10 ^b	5.43 ± 0.18 ^c	22.30 ± 0.07 ^c
24	60.78 ± 0.10 ^a	5.19 ± 0.06 ^d	21.54 ± 0.08 ^d

^{a,b,c,.....} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

4) ปริมาณผลได้

จากตารางที่ 4-23 พบว่า ปริมาณผลได้ของเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ได้ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่สกัดน้ำเพียงอย่างเดียวมีปริมาณผลได้ (16.91%) มากกว่าเส้นใยอาหารที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเอทานอลในระยะเวลาการสกัดเอทานอล 6 ชั่วโมง (15.62%), 12 ชั่วโมง (14.98%) และ 24 ชั่วโมง (12.32%) ตามลำดับ เนื่องจากเอทานอลเป็นตัวทำละลายที่สามารถสกัดสารให้สีและไขมันออกจากวัตถุดิบได้ (Prakongpan et al., 2002) การนำกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำมาสกัดต่อด้วยเอทานอลระดับความเข้มข้น 95% ตามระยะเวลา 6 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง มีผลทำให้โครงสร้างเซลล์พืชเปลี่ยนแปลงไปได้ โดยกากขิงมีความนุ่มและยุ่ยมากขึ้น และเมื่อระยะเวลาในการสกัดมากขึ้นจึงทำให้องค์ประกอบของสารต่างๆ แพร่ออกมาได้มากขึ้น จึงเป็นสาเหตุให้เส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเอทานอลลดลง อย่างไรก็ตามปริมาณผลได้ที่รายงานไม่เกี่ยวข้องกับควมบริสุทธิ์ของเส้นใยอาหารที่ได้ เพราะคำนวณจากน้ำหนักเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ได้ต่อน้ำหนักกากขิงที่ใช้

ตารางที่ 4-23 ปริมาณผลได้ของเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและผ่านการสกัดต่อด้วยเอทานอลที่เวลาต่างๆ

เวลาในการสกัดด้วยเอทานอล (ชั่วโมง)	ปริมาณผลได้เฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)
0	16.91 ± 0.02 ^a
6	15.62 ± 0.08 ^b
12	14.98 ± 0.11 ^c
24	12.32 ± 0.17 ^d

^{a,b,c,d} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

5) ลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงปริมาณ

จากการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงปริมาณด้วยวิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA) โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 8 คน โดยประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัส ดังนี้คือ สีเหลืองอมน้ำตาล กลิ่นขิง กลิ่นรสขิง และรสขม ของตัวอย่างผงแห้งและสารละลายจากการนำเส้นใยอาหารผงจากกากขิงมาชงในน้ำร้อน โดยประเมินตัวอย่างเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและผ่านการสกัดต่อด้วยเอทานอลเป็นเวลา 0 6 12 และ 24 ชั่วโมง ในการประเมินใช้สเกลเส้นตรง 15 เซนติเมตร และให้ผู้ทดสอบแต่ละคนให้คะแนนตามระดับความเข้ม (Intensity) 0 คะแนน คือมีความเข้มน้อยที่สุด 15 คะแนน คือ มีความเข้มมากที่สุด ผลการประเมินแสดงดังตารางที่ 4-24 และ 4-25 พบว่า ระยะเวลาในการสกัดเส้นใยอาหารผงจากกากขิงด้วยเอทานอลเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ลักษณะทางประสาทสัมผัสต่างๆ ของเส้นใยอาหารผงจากกากขิงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เมื่อพิจารณาคูณลักษณะสีเหลืองอมน้ำตาล กลิ่นขิง และกลิ่นรสขิง พบว่า เมื่อระยะเวลาในการสกัดด้วยเอทานอลเพิ่มมากขึ้นความเข้มของสีเหลืองอมน้ำตาล กลิ่นขิง และกลิ่นรสขิงของตัวอย่างเส้นใยอาหารผงแห้งและสารละลายของเส้นใยอาหารผงลดลง แสดงให้เห็นว่าอิทธิพล

ของเวลาในการสกัดด้วยเอทานอลนานขึ้น มีผลทำให้ความเข้มข้นของสีเหลืองอมน้ำตาล กลิ่นขิง และ กลิ่นรสขิงลดลง ซึ่งยืนยันให้เห็นว่าการสกัดด้วยเอทานอลเป็นการกำจัดรงควัตถุที่ให้สีได้ รวมถึงสกัด สารที่ให้กลิ่นรสออกจากวัตถุดิบได้ (สุชาติ นกเถื่อน, 2554) Durling, et al. (2007) กล่าวว่า เอทานอล เป็นสารที่มีขี้ที่สามารถสกัดกลิ่นหอมระเหยได้ โดยมีความสามารถในการสกัดสารหอมระเหยชนิดที่มีขี้ได้ดี จึงมีการนำมาใช้ในการสกัดกลิ่นรสออกจากวัตถุดิบ ตัวอย่างเช่น อมรรัตน์ ตั้งสกุล และคณะ (2550) ที่รายงานว่า สามารถสกัดสารให้กลิ่นรสของโอสีโอเรซินจากหอมหัวใหญ่ โดยใช้ตัวทำละลาย เอทานอลเข้มข้น 95% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เมื่อพิจารณาคูณลักษณะรส พบว่า เส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำ เพียงอย่างเดียว มีระดับความเข้มข้นน้อยที่สุดเท่ากับ 4.29 ($p < 0.05$) ในขณะที่เส้นใยอาหารผงจาก กากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและสกัดต่อด้วยเอทานอลเป็นเวลา 6, 12 และ 24 ชั่วโมง มีระดับความ ขมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) อยู่ในช่วง 13.00-13.38 การที่เส้นใยอาหารผง จากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำยังคงมีรสขม อาจเนื่องจากในกากขิง มีสารกลุ่มอัลคาลอยด์ให้รส ผาดและขม (Umeh et al., 2013) แม้ผ่านการสกัดด้วยน้ำมาแล้วสารกลุ่มนี้อาจยังคงค้างอยู่ค้างอยู่ บ้าง นอกจากนี้เมื่อนำเส้นใยอาหารผงจากกากขิงมาแช่ในเอทานอลความเข้มข้นสูงถึง 95% เป็น เวลนานานถึง 6-24 ชั่วโมง อาจมีผลต่อโครงสร้างของเซลล์พืชเปลี่ยนแปลงไปได้ จากการทดลอง สังเกตเห็นได้ว่า เส้นใยของกากขิงมีความนุ่มและยุบมากขึ้น จึงเพิ่มโอกาสให้เอทานอลแพร่เข้าไปใน โครงสร้างได้มากและทำให้เส้นใยอาหารจากกากขิงมีรสขมมากขึ้นเมื่อผ่านการสกัดด้วยเอทานอล พบ ข้อสังเกตจากผลการทดลองว่า ระดับความเข้มข้นของคุณลักษณะสีเหลืองอมน้ำตาลและรสขม ของ ตัวอย่างเส้นใยอาหารผงแห่งที่ใช้ระยะเวลาการสกัดด้วยเอทานอลเท่ากัน มีระดับความเข้มข้นมากกว่า สารละลายของเส้นใยอาหารผง ในขณะที่ระดับความเข้มข้นของคุณลักษณะกลิ่นขิง และกลิ่นรสขิงของ ตัวอย่างเส้นใยอาหารผงแห่งมีระดับความเข้มข้นน้อยกว่าสารละลายของเส้นใยอาหารผง ทั้งนี้เนื่องจาก น้ำที่ใช้แช่เส้นใยอาหารผง ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส และมีการใช้น้ำร้อนอุณหภูมิสูงประมาณ 100 องศา เซลเซียส น้ำจึงเป็นตัวทำละลายสามารถแพร่เข้าไปยังโครงสร้างเส้นใยอาหารผงได้ ทำให้สีและรสขม ของเส้นใยอาหารผงจากกากขิง สามารถละลายออกมาพร้อมกับน้ำที่ใช้แช่ได้ จึงเป็นผลให้ความเข้มข้น ของสีเหลืองอมน้ำตาลและรสขมลดลง และน้ำมันหอมระเหยในขิงสามารถระเหยออกมาได้มากขึ้น เมื่อสัมผัสกับความร้อนจากน้ำที่ใช้แช่ ทำให้ได้กลิ่นขิงและกลิ่นรสขิงมากกว่าเส้นใยอาหารผงแห่ง

ตารางที่ 4-24 คะแนนความเข้มจากการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเส้นใยอาหารผง จากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและผ่านการสกัดต่อด้วยเอทานอลที่เวลาต่างๆ ใน ลักษณะผงแห้ง

เวลาในการสกัดด้วย เอทานอล (ชั่วโมง)	คุณลักษณะ			
	สีเหลืองอมน้ำตาล	กลิ่นขิง	กลิ่นรสขิง	รสขม
0	10.69 ± 0.82 ^a	7.34 ± 0.93 ^a	7.31 ± 0.80 ^a	4.29 ± 1.50 ^b
6	9.23 ± 0.93 ^b	5.01 ± 1.04 ^b	4.68 ± 1.16 ^b	13.00 ± 1.57 ^a
12	8.01 ± 1.22 ^c	3.41 ± 1.55 ^c	3.58 ± 0.98 ^c	13.38 ± 1.07 ^a
24	5.83 ± 1.52 ^d	2.21 ± 1.03 ^d	2.20 ± 1.16 ^d	13.33 ± 1.36 ^a

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

ตารางที่ 4-25 คะแนนความเข้มจากการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเส้นใยอาหารผง จากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและผ่านการสกัดต่อด้วยเอทานอลที่เวลาต่างๆ ใน ลักษณะสารละลาย

เวลาในการสกัดด้วย เอทานอล (ชั่วโมง)	คุณลักษณะ			
	สีเหลืองอมน้ำตาล	กลิ่นขิง	กลิ่นรสขิง	รสขม
0	9.91 ± 1.15 ^a	9.63 ± 1.12 ^a	9.76 ± 0.79 ^a	2.19 ± 0.24 ^b
6	8.16 ± 1.57 ^b	7.34 ± 0.97 ^b	5.13 ± 1.37 ^b	12.54 ± 1.25 ^a
12	6.15 ± 1.27 ^c	6.29 ± 1.43 ^c	4.04 ± 0.82 ^c	12.93 ± 1.05 ^a
24	4.58 ± 1.34 ^d	5.09 ± 1.31 ^d	3.25 ± 0.63 ^d	12.74 ± 0.76 ^a

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

6) ผลการคัดเลือกสิ่งทดลอง

จากเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือ เลือกสภาวะการสกัดที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดมากที่สุด รวมถึงพิจารณาคุณภาพอื่นที่วิเคราะห์ประกอบการตัดสินใจ จากผลการทดลองพบว่า แม้การนำกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำมาสกัดต่อด้วยเอทานอลทุกสภาวะมีผลให้มีปริมาณ เส้นใยอาหารทั้งหมดสูงขึ้น แต่มีผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติสารต้านอนุมูลอิสระลดลง และที่สำคัญการสกัดด้วยเอทานอลทุกสภาวะ มีผลให้เกิดรสขมตกค้างมากกว่าการไม่ผ่านการสกัดด้วยเอทานอลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ของ เส้นใยอาหารผง Larrauri (1999) กล่าวว่า สมบัติเส้นใยอาหารผงที่ดีคือ ไม่มีสี กลิ่นรส และมีภาพลักษณ์ในแง่บวกของผู้บริโภค ดังนั้นในการทดลองจึงควรเลือกสิ่งทดลองที่ยังคงมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงมีสมบัติต้านอนุมูลอิสระสูง และไม่มีรสขมตกค้างมากนัก นั่นคือเลือกเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำเพียงอย่างเดียว โดยพบว่า มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดเท่ากับ 72.84% และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

เท่ากับ 583.58 มิลลิกรัมแกลลิก/100 กรัม สมบัติสารต้านอนุมูลอิสระที่รายงานในรูป %inhibition เท่ากับ 76.45%

ตอนที่ 3 ผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารที่ผลิตได้

จากการวิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมและกากขิงที่ไม่ผ่าน และผ่านการสกัดในด้านต่างๆ ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน ความสามารถในการพองตัว และความสามารถในการเกิดอิมัลชัน ได้ผลดังตารางที่ 4-26 และ 4-27 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-26 สมบัติเชิงหน้าที่ด้านความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน ความสามารถในการพองตัว และความสามารถในการเกิดอิมัลชันของเส้นใยอาหารผง จากกากมะตูมที่ไม่ผ่านและผ่านการสกัด

สมบัติเชิงหน้าที่	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	ไม่ผ่านการสกัด	ผ่านการสกัด
ความสามารถในการอุ้มน้ำ (กรัม/กรัมตัวอย่าง)	3.21 ± 0.20 ^b	3.61 ± 0.28 ^a
ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (กรัม/กรัมตัวอย่าง)	1.35 ± 0.11 ^b	1.57 ± 0.20 ^a
ความสามารถในการพองตัว (กรัม/กรัมตัวอย่าง)	3.22 ± 0.08 ^b	4.89 ± 0.10 ^a
ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน (%)	48.22 ± 0.08 ^a	43.80 ± 0.57 ^b

^{a,b,c,.....} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4-27 สมบัติเชิงหน้าที่ด้านความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน ความสามารถในการพองตัว และความสามารถในการเกิดอิมัลชันของเส้นใยอาหารผง จากกากขิงที่ไม่ผ่านและผ่านการสกัด

สมบัติเชิงหน้าที่	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	ไม่ผ่านการสกัด	ผ่านการสกัด
ความสามารถในการอุ้มน้ำ (กรัม/กรัมตัวอย่าง)	5.11 ± 0.40 ^b	8.80 ± 0.13 ^a
ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (กรัม/กรัมตัวอย่าง)	2.42 ± 0.23 ^b	3.53 ± 0.16 ^a
ความสามารถในการพองตัว (กรัม/กรัมตัวอย่าง)	4.79 ± 0.02 ^b	6.86 ± 0.14 ^a
ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน (%)	16.89 ± 0.47 ^a	13.88 ± 0.14 ^b

^{a,b,c,.....} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) มีความเกี่ยวข้องกับความสามารถในการดูดซับ เก็บกักน้ำไว้ในโครงสร้างของเส้นใยอาหาร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ตัวอย่างเช่น ลักษณะโครงสร้างของเส้นใยอาหาร หากประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) จำนวนมาก

จะสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bonding) กับน้ำได้มาก เส้นใยอาหารนั้นจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี (Nelson et al., 1976; López-Vargas et al., 2013) ชนิดของเส้นใยอาหาร หากมีองค์ประกอบของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำปริมาณมากจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำมาก (Goni and Martin-Carron, 1998; Betancur-Ancona, et al., 2004) นอกจากนี้ยังมีขึ้นอยู่กับลักษณะความเป็นรูพรุน (Porosity) ขนาดอนุภาค (Particle size) แรงยึดเหนี่ยวระหว่างไอออน (Ionic strength) ความบริสุทธิ์ของเส้นใยอาหาร (Purity) (Femenia et al., 1997; Raghavarao et al., 2008) จากตารางที่ 4-26 และ 4-27 พบว่า ความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมและกากขิงที่ผ่านการสกัด มีค่าสูงกว่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารผงที่ไม่ผ่านการสกัด ($p < 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการสกัดทำให้เส้นใยอาหารผงมีความบริสุทธิ์มากขึ้น โดยสามารถกำจัดองค์ประกอบต่างๆที่ขัดขวางการดูดซับ เก็บกักน้ำไว้ในโครงสร้างของเส้นใยอาหาร จึงช่วยปรับปรุงความสามารถในการอุ้มน้ำให้มากขึ้นได้ (Peerajit et al., 2012) ในขั้นตอนการสกัดซึ่งดำเนินการโดยการแช่ตัวอย่างในน้ำเป็นเวลานาน จึงมีผลให้โครงสร้างเซลล์พืชมีลักษณะนุ่มมากขึ้น เป็นผลให้ได้เส้นใยอาหารที่มีลักษณะและปริมาณรูพรุนเพิ่มขึ้น จึงมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น เป็นการเพิ่มโอกาสให้เส้นใยอาหารผงสามารถละลายน้ำและอุ้มน้ำได้มากขึ้น (พัชรภรณ์ วชิรศิริ, 2550; สหขวัญ โรจนคุณธรรม และอังคณา จันทรพลพันธ์, 2557)

Betancur-Ancona, et al. (2004) กล่าวว่า แม้กลไกการดูดซับน้ำมันของเส้นใยอาหารจะยังไม่ปรากฏชัดเจน แต่น่าจะมีความเกี่ยวข้องกับสมบัติพื้นผิว (Surface properties) และสมบัติการไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic properties) ซึ่งสอดคล้องกับที่มินกวิจยหลายท่าน กล่าวไว้ว่า ความสามารถในการอุ้มน้ำมันของเส้นใยอาหาร มีความเกี่ยวข้องกับสมบัติพื้นผิว และโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยอาหารส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ซึ่งจะช่วยให้มีความสามารถในการจับกับน้ำมันได้ดี รวมถึงค่าความหนาแน่นโดยรวม และขนาดอนุภาคของเส้นใยอาหารด้วย (López-Vargas et al., 2013; สหขวัญ โรจนคุณธรรม และอังคณา จันทรพลพันธ์, 2557) จากตารางที่ 4-26 และ 4-27 พบว่า ความสามารถในการอุ้มน้ำมันของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมและกากขิงที่ผ่านการสกัด มีค่าสูงกว่าความสามารถในการอุ้มน้ำมันของเส้นใยอาหารผงที่ไม่ผ่านการสกัด ($p < 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการสกัดเส้นใยมีผลให้ปรับปรุงสมบัติพื้นผิวของอนุภาคเส้นใยอาหารให้มีผิวสัมผัสมากขึ้น จึงเพิ่มโอกาสการสัมผัสกันระหว่างเส้นใยอาหารผงกับน้ำมันได้มากขึ้น ดำเนินการโดยการแช่ตัวอย่างในน้ำเป็นเวลานาน จึงมีผลให้โครงสร้างเซลล์พืชมีลักษณะนุ่มมากขึ้น เป็นผลให้ได้เส้นใยอาหารที่มีลักษณะและปริมาณรูพรุนเพิ่มขึ้น จึงมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น เป็นการเพิ่มโอกาสให้เส้นใยอาหารผงสามารถดูดซับน้ำมันได้มากขึ้น (พัชรภรณ์ วชิรศิริ, 2550; สหขวัญ โรจนคุณธรรม และอังคณา จันทรพลพันธ์, 2557) Betancur-Ancona, et al. (2004) กล่าวว่า ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของเส้นใยอาหาร เกี่ยวข้องกับการดูดซับน้ำมันบริเวณพื้นผิวขององค์ประกอบอินทรีย์ (Organic compounds) ซึ่งมักมีค่าสอดคล้องกับปริมาณองค์ประกอบอินทรีย์พวกเซลลูโลส (Cellulose) และเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ซึ่งเป็นเส้นใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำ หากมีปริมาณมากจะมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันสูง เนื่องจากเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส มีส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ที่สามารถจับ (Trap) กับหยดน้ำมัน (Oil droplet) ได้ หรือกล่าวได้ว่าหยดไขมันสามารถถูกล้อมรอบด้วยอนุภาคของเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสได้มาก จึงแสดงความสามารถในการ

ดูดซับน้ำมันได้ จากผลการทดลองเส้นใยอาหารจากกากขิงที่ผ่านการสกัดมีปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำมากกว่าเส้นใยอาหารจากกากขิงที่ไม่ผ่านการสกัด จึงน่าจะมีส่วนประกอบพวกเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสมากกว่า ทำให้มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันมากกว่านั่นเอง

ความสามารถในการพองตัว เป็นสมบัติเกี่ยวกับน้ำ (Hydration property) ของเส้นใยอาหารพอง ที่เป็นการวัดปริมาตรที่เกิดขึ้นเมื่อเส้นใยอาหารพองกระจายตัวในน้ำ (Yalegama et al., 2013) ปริมาตรที่เพิ่มขึ้นนี้มีความเกี่ยวข้องกับปริมาณของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำเป็นสำคัญ โดยหากเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ สามารถดูดซับเก็บกักน้ำและพองตัวได้ จะมีความสามารถในการพองตัวสูง โดยเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ที่มีความสามารถในการพองตัวได้ที่สำคัญ ได้แก่ เพคติน อย่างไรก็ตามเส้นใยอาหารที่ไม่สามารถละลายน้ำได้บางชนิด ก็มีความสามารถในการพองตัวด้วยเหมือนกัน เช่น เซลลูโลส และ เฮมิเซลลูโลส (López-Vargas et al., 2013; สหขวัญ โรจนคุณธรรม และอังคณา จันทรพลพันธ์ , 2557) จากตารางที่ 4-26 และ 4-27 พบว่า ความสามารถในการพองตัวของเส้นใยอาหารพองจากกากมะตูมและกากขิงที่ผ่านการสกัด มีค่าสูงกว่าความสามารถในการพองตัวของเส้นใยอาหารพองที่ไม่ผ่านการสกัด ($p < 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการสกัดทำให้เส้นใยอาหารพองมีความบริสุทธิ์มากขึ้น โดยสามารถกำจัดองค์ประกอบต่างๆที่ขัดขวางการดูดซับ เก็บกักน้ำไว้ในโครงสร้างของเส้นใยอาหาร จึงช่วยปรับปรุงความสามารถในการอุ้มน้ำ และความสามารถในการพองตัวให้มากขึ้นได้ (Peerajit et al., 2012) และในขั้นตอนการสกัดซึ่งดำเนินการโดยการแช่ตัวอย่างในน้ำเป็นเวลานาน จึงมีผลให้โครงสร้างเซลล์พืชมีลักษณะนุ่มมากขึ้น เป็นผลให้ได้เส้นใยอาหารที่มีลักษณะและปริมาณรูพรุนเพิ่มขึ้น จึงมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น เป็นการเพิ่มโอกาสให้เส้นใยอาหารพองสามารถละลายน้ำ และอุ้มน้ำ รวมถึงมีการพองตัวได้มากขึ้นเช่นกัน (พัชรภรณ์ วชิรศิริ, 2550; สหขวัญ โรจนคุณธรรม และอังคณา จันทรพลพันธ์ , 2557)

การเกิดอิมัลชัน หมายถึง การเกิดระบบคอลลอยด์ที่ประกอบด้วยของเหลวสองชนิดที่ไม่ละลายซึ่งกันและกัน แต่มีการผสมเป็นเนื้อเดียวกันระหว่างของเหลวส่วนที่ไม่ละลายซึ่งกันและกัน โดยทั่วไปจะเป็นน้ำและน้ำมัน ซึ่งประกอบด้วยเฟสที่กระจายตัวและเฟสต่อเนื่อง (Dickinson, 1993) จากตารางที่ 4-26 และ 4-27 พบว่า เส้นใยอาหารพองที่ผ่านการสกัด แม้มีความสามารถในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมันสูง แต่มีความสามารถในการเกิดอิมัลชันต่ำกว่าเส้นใยอาหารพองที่ไม่ผ่านการสกัด โดยมีข้อสังเกตว่าค่าความสามารถในการเกิดอิมัลชันของเส้นใยอาหารพองจากกากขิงค่อนข้างต่ำ ในขณะที่ความสามารถในการเกิดอิมัลชันของเส้นใยอาหารพองจากกากมะตูมมีมากกว่า อาจเนื่องมาจากเส้นใยอาหารพองจากกากขิง ขาดสมบัติการผสมเป็นเนื้อเดียวกันระหว่างเฟสของน้ำและน้ำมัน ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญที่จะได้จากเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้โดยเฉพาะเส้นใยอาหารพองที่ผ่านการสกัดมีโอกาสสูญเสียเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้มากกว่า Riaz (1993) และ Grigelmo-Miguel and Martin-Bellosso (2000) กล่าวว่า การที่เส้นใยอาหารพองมีความสามารถในการเกิดอิมัลชันสูง หมายถึงอาหารพองนั้นสามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันกับส่วนผสมอื่นได้ง่าย และเป็นเนื้อเดียวกันกับระบบอิมัลชัน ไม่แยกชั้น รวมถึงทำให้เฟสของน้ำและน้ำมันผสมเข้ากันได้ดีขึ้น โดยสามารถช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างของเหลวสองชนิด ทำให้สามารถผสมเข้ากันได้ โดยเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ เป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำหน้าที่ให้ระบบอิมัลชันมีความคงตัว เนื่องจากเมื่อเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้รวมตัวกับน้ำแล้ว จะสามารถให้ความหนืดกับส่วนผสมได้ จึงช่วยให้ระบบคอลลอยด์ที่ประกอบด้วย

ของเหลวที่ไม่ละลายซึ่งกันและกัน ผสานเข้ากันได้มากยิ่งขึ้น ตัวอย่างเช่น เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ พวกเพคติน จะช่วยทำให้อิมัลชันมีความคงตัว เกิดการผสานกันระหว่างเฟสของน้ำและน้ำมันได้ดี

ตอนที่ 4 ผลของปริมาณการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมในอาหารเพื่อสุขภาพ ต้นแบบ

4.1 ผลของปริมาณการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมต่อคุณภาพของไอศกรีมไขมันต่ำ

จากการเตรียมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมตามวิธีที่เลือกได้ โดยวิธีการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที และนำกากที่ได้มาสกัดด้วยเอทานอล เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากการสังเกตและทดสอบชิม เส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่ผลิตได้ พบว่า เส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม ยังคงมีกลิ่นและกลิ่นรสมะตูมอยู่ รวมถึงมีรสชาติค่อนข้างฝาดขม เมื่อนำมาทำการทดลองเบื้องต้น โดยการแปรปริมาณการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมเพิ่มลงในไอศกรีมไขมันต่ำ สูตรพื้นฐาน ในปริมาณ 2% และ 5% โดยน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด พบว่า ไอศกรีมที่ได้ทั้งสองสูตรไม่เป็นที่ยอมรับในด้านความชอบด้านรสชาติ เนื่องจากมีความรู้สึกฝาดขมตกค้างหลังการชิม แสดงให้เห็นว่าการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมเพิ่มลงในไอศกรีมไขมันต่ำสูตรพื้นฐาน ในปริมาณ 2%-5% เป็นปริมาณการเติมที่มากเกินไป มีแนวโน้มไม่เป็นที่ยอมรับทางประสาทสัมผัส

ดังนั้นในการทดลองขั้นตอนนี้จึงแปรปริมาณการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมลงในไอศกรีมไขมันต่ำเป็น 4 ระดับ คือ 0% (ตัวควบคุม) 0.5% 1.0% และ 1.5% โดยน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด และสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณไขมัน ค่าสี การขึ้นฟู และความชอบทางประสาทสัมผัส แสดงผลดังตารางที่ 4-25 ถึง 4-29 ผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

1) ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

จากตารางที่ 4-27 พบว่า การเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมในปริมาณต่างๆ ทำให้ไอศกรีมไขมันต่ำมีปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม 1.5% ทำให้ไอศกรีมมีปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำมากที่สุด เท่ากับ 1.219% รองลงมาคือ ไอศกรีมที่มีการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมในปริมาณ 1% และ 0.5% ที่มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เท่ากับ 0.813% และ 0.406% ตามลำดับ ในขณะที่ไอศกรีมที่ไม่เติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม (ตัวควบคุม) ไม่สามารถวัดปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำได้ จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำในไอศกรีมไขมันต่ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมในปริมาณที่มากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมมีองค์ประกอบของเส้นใยอาหารประเภทที่ไม่ละลายน้ำอยู่ในปริมาณค่อนข้างสูง คือ 81.19%

2) ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ

จากตารางที่ 4-28 พบว่า แนวโน้มปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำสอดคล้องกับปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ กล่าวคือ การเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมในปริมาณต่างๆ ทำให้ไอศกรีมไขมันต่ำมีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม 1.5% ทำให้ไอศกรีมมีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำมากที่สุด เท่ากับ 0.131% รองลงมาคือ ไอศกรีมที่มีการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมในปริมาณ

1% และ 0.5% ที่มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ เท่ากับ 0.088% และ 0.044% ตามลำดับ ในขณะที่ไอศกรีมที่ไม่เติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม (ตัวควบคุม) ไม่สามารถวัดปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำได้ จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำในไอศกรีมไขมันต่ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมในปริมาณที่มากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมมีองค์ประกอบของเส้นใยอาหารประเภทที่ละลายน้ำอยู่ 8.76%

3) ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด

เนื่องจากปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด แสดงถึงผลรวมของปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ดังนั้นผลการทดลองจึงมีแนวโน้มสอดคล้องกัน จากตารางที่ 4-28 พบว่า การเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมในปริมาณต่างๆ ทำให้ไอศกรีมไขมันต่ำมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม 1.5% ทำให้ไอศกรีมมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดมากที่สุด เท่ากับ 1.346% รองลงมาคือ ไอศกรีมที่มีการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมในปริมาณ 1% และ 0.5% ที่มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เท่ากับ 0.897% และ 0.449% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดในไอศกรีมไขมันต่ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมในปริมาณที่มากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมมีองค์ประกอบของเส้นใยอาหารทั้งหมด 89.61%

ตารางที่ 4-28 ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ และปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดของไอศกรีมไขมันต่ำที่เติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมปริมาณต่างๆ

เส้นใยอาหารผงจาก กากมะตูม (%)	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (% โดยน้ำหนักแห้ง)		
	เส้นใยอาหารที่ ไม่ละลายน้ำ	เส้นใยอาหารที่ ละลายน้ำ	เส้นใยอาหารทั้งหมด
0 (ตัวควบคุม)	nd	nd	nd
0.5	0.406 \pm 0.001 ^c	0.044 \pm 0.002 ^c	0.449 \pm 0.004 ^c
1.0	0.813 \pm 0.002 ^b	0.088 \pm 0.003 ^b	0.897 \pm 0.008 ^b
1.5	1.219 \pm 0.003 ^a	0.131 \pm 0.005 ^a	1.346 \pm 0.011 ^a

^{a,b,c,...} แสดงถึงค่าในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

nd (non detectable) หมายถึง ไม่สามารถตรวจวัดได้

4) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ

จากตารางที่ 4-29 พบว่า การเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมในปริมาณต่างๆทำให้ไอศกรีมไขมันต่ำมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการผลิตเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมสามารถนำมาเติมในไอศกรีมเพื่อเพิ่มปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดได้ โดยการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม 1.5% ทำให้ไอศกรีมมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด เท่ากับ 107.55 มิลลิกรัม แกลลิก/100 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง ในขณะที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของไอศกรีมไขมันต่ำสูตรควบคุม เท่ากับ 95.22 มิลลิกรัมแกลลิก/100 กรัม การเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมในไอศกรีมไขมันต่ำ ทำให้ไอศกรีมมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มไม่แตกต่างกันโดยมี % inhibition อยู่ในช่วง 8.21- 8.91% ในขณะที่ไอศกรีมไขมันต่ำสูตรควบคุม ซึ่งมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระต่ำที่สุด โดยมี % inhibition เท่ากับ 7.42 จากผลการทดลองพบข้อสังเกตว่า ไอศกรีมไขมันต่ำสูตรควบคุม วิเคราะห์พบสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 95.22 มิลลิกรัมแกลลิก/100 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง และมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่รายงานเป็น %inhibition เท่ากับ 7.42% แสดงให้เห็นว่าไอศกรีมสูตรควบคุมนี้มีองค์ประกอบของสารฟีนอลิกอยู่ด้วย ซึ่งอาจเนื่องมาจากใน ส่วนผสมของไอศกรีมมีการใช้ ครีม และหางนมผง เป็นส่วนผสมหลัก ซึ่งทั้งครีมและหางนมผงนี้ มีองค์ประกอบของ วิตามินเอ อยู่ประมาณ 190 ไมโครกรัม/100 กรัม และวิตามินเอในนม มักมีองค์ประกอบในรูปของ แครโรทีนอย์ จำพวก เบต้า-แคโรทีน แอลฟา- แคโรทีน อยู่ถึง 0.0035 และ 0.016 ไมโครโมล/ลิตร (Azeredo & Trugo, 2008)

ตารางที่ 4-29 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของไอศกรีมไขมันต่ำที่เติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมปริมาณต่างๆ

เส้นใยอาหารผงจาก กากมะตูม (%)	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมแกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (% inhibition)
0 (ตัวควบคุม)	95.22 ± 0.32 ^d	7.42 ± 0.49 ^b
0.5	105.94 ± 0.35 ^c	8.21 ± 0.33 ^a
1	106.81 ± 0.33 ^b	8.58 ± 0.31 ^a
1.5	107.55 ± 0.38 ^a	8.91 ± 0.50 ^a

^{a,b,c,...} แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

5) ปริมาณไขมัน

จากตารางที่ 4-30 พบว่า การเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมในปริมาณต่างๆ ไม่มีผลทำให้ไอศกรีมไขมันต่ำมีปริมาณไขมันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีปริมาณไขมันอยู่ในช่วง 2.63-2.83% โดยไอศกรีมที่ได้ยังจัดเป็นไอศกรีมไขมันต่ำ (low-fat ice cream) ที่ต้องมีไขมันอยู่ในช่วง 2.5-3% (บงกชรัตน์ เนาวกุล, 2553) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ บงกชรัตน์ เนาวกุล (2553) ที่แปรการเติมเส้นใยอาหารผงจากเปลือกในส้มโอลงในไอศกรีมนม ในปริมาณ 0%-1.5% พบว่า ไอศกรีมนมที่ได้มีปริมาณไขมันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีปริมาณไขมันอยู่ในช่วง 9.23%-10.34%

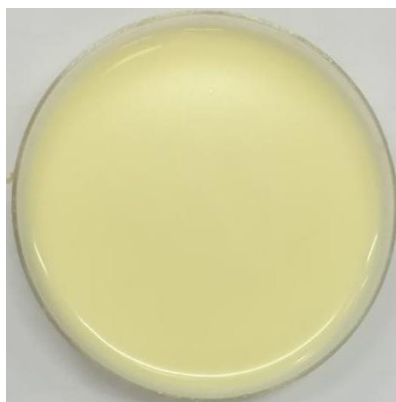
ตารางที่ 4-30 ปริมาณไขมันของไอศกรีมไขมันต่ำที่เติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมปริมาณต่างๆ

เส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม (%)	ปริมาณไขมันเฉลี่ย ^{ns} ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%โดยน้ำหนักแห้ง)
0 (ตัวควบคุม)	2.83 ± 0.11
0.5	2.77 ± 0.14
1.0	2.74 ± 0.14
1.5	2.63 ± 0.12

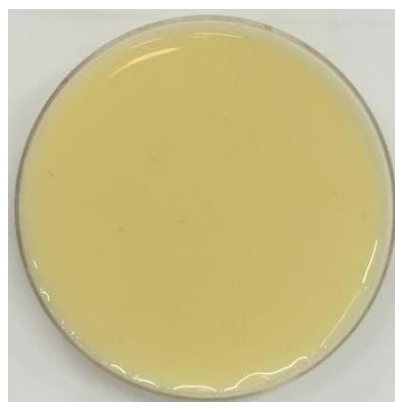
^{ns} แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

6) ค่าสี

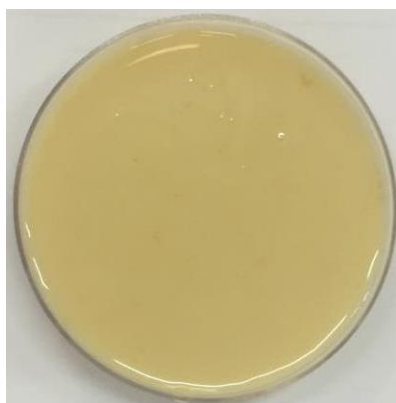
ลักษณะปรากฏของไอศกรีมเหลว และไอศกรีมที่แช่แข็งแล้ว ซึ่งมีการที่เติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมปริมาณต่างๆ แสดงดังภาพที่ 4-5 และ 4-6 ตามลำดับ จากการสังเกตไอศกรีมไขมันต่ำที่เติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมด้วยตาเปล่า พบว่า เมื่อปริมาณเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมเพิ่มขึ้น ทำให้ไอศกรีมเหลวและไอศกรีมไขมันที่แช่แข็งแล้ว มีสีออกน้ำตาลเข้มขึ้น โดยไอศกรีมสูตรควบคุมมีสีน้ำตาลอมเหลืองและมีความสว่างมากที่สุด เมื่อนำไอศกรีมไขมันต่ำที่เติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมในปริมาณต่างๆ มาวิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าสีในระบบ CIE ได้ผลดังตารางที่ 4-31 พบว่า การเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมในปริมาณต่างๆ ทำให้ไอศกรีมไขมันต่ำมีค่าสี L^* a^* และ b^* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ไอศกรีมสูตรควบคุมมีค่าความสว่าง (L^* 86.60) และค่า b^* แสดงถึงค่าสีเหลือง (29.55) มากที่สุด และค่า a^* มีค่าเป็นลบ (-) แสดงถึงค่าสีเขียว (-1.2) ในขณะที่การเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม 0.5% 1.0% และ 1.5% ทำให้ไอศกรีมมีค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 79.50 76.16 และ 72.53 ตามลำดับ และค่า b^* แสดงถึงค่าสีเหลือง เท่ากับ 25.16 24.82 และ 23.67 ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มลดลง เมื่อมีการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมมากขึ้น สำหรับค่า a^* มีค่าเป็นบวก (+) แสดงถึงค่าสีแดง โดยมีค่าเท่ากับ 2.62 4.36 และ 5.5 ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากสีของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมที่เติม มีสีน้ำตาลอ่อน การเติมในสูตรมากขึ้นจึงเป็นการเพิ่มสีออกทางน้ำตาลเข้มขึ้นให้กับผลิตภัณฑ์ได้ ค่าสีของไอศกรีมที่ได้จึงมีแนวโน้มให้ไอศกรีมมีสีออกทางแดงมากขึ้น มีความสว่างและค่าสีเหลืองลดลง



ก) ตัวควบคุม



ข) เติมน้ำมันโยอาหารผงจากกากมะตูม 0.5%



ค) เติมน้ำมันโยอาหารผงจากกากมะตูม 1.0%



ง) เติมน้ำมันโยอาหารผงจากกากมะตูม 1.5%

ภาพที่ 4-5 ลักษณะของไอศกรีมเหลวเมื่อเติมน้ำมันโยอาหารผงจากกากมะตูมปริมาณต่างๆ ได้แก่ ไม่เติมน้ำมันโยอาหารผงจากกากมะตูม (ตัวควบคุม ก) เติมน้ำมันโยอาหารผงจากกากมะตูม 0.5% ข) เติมน้ำมันโยอาหารผงจากกากมะตูม 1.0% ค) และ เติมน้ำมันโยอาหารผงจากกากมะตูม 1.5% ง)



ก) ตัวควบคุม



ข) เติมน้ำมันอาหารผงจากกากมะตูม 0.5%



ค) เติมน้ำมันอาหารผงจากกากมะตูม 1.0%



ง) เติมน้ำมันอาหารผงจากกากมะตูม 1.5%

ภาพที่ 4-6 ลักษณะของไอศกรีมเมื่อเติมน้ำมันอาหารผงจากกากมะตูมปริมาณต่างๆ ได้แก่ ไม่เติมน้ำมันอาหารผงจากกากมะตูม (ตัวควบคุม) ก) เติมน้ำมันอาหารผงจากกากมะตูม 0.5% ข) เติมน้ำมันอาหารผงจากกากมะตูม 1.0% ค) และ เติมน้ำมันอาหารผงจากกากมะตูม 1.5% ง)

ตารางที่ 4-31 ค่าสี L* a* b* ของไอศกรีมไขมันต่ำที่เติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมปริมาณต่างๆ

เส้นใยอาหารผงจาก กากมะตุม (%)	ค่าสีเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	L*	a*	b*
0 (ตัวควบคุม)	86.60 \pm 0.10 ^a	-1.2 \pm 0.06 ^d	29.55 \pm 0.28 ^a
0.5	79.50 \pm 0.07 ^b	2.62 \pm 0.13 ^c	25.16 \pm 0.02 ^b
1.0	76.16 \pm 0.11 ^c	4.36 \pm 0.12 ^b	24.82 \pm 0.19 ^b
1.5	72.53 \pm 0.04 ^d	5.55 \pm 0.09 ^a	23.67 \pm 0.26 ^c

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

7) การขึ้นฟู

การขึ้นฟู (over run) หมายถึง ปริมาณที่เพิ่มขึ้นของไอศกรีมจากส่วนผสมไอศกรีมเหลว เนื่องจากการอัดอากาศในระหว่างการผลิต หากไอศกรีมมีค่าการขึ้นฟูสูง หมายถึง ปริมาณของอากาศในไอศกรีมมีมาก และหากมีค่าการขึ้นฟูต่ำ หมายถึง ปริมาณอากาศในไอศกรีมมีน้อย การจับอากาศไว้ในโครงสร้างไอศกรีมไม่ดี ขั้นตอนการผลิตไอศกรีมที่มีความสำคัญ และเกี่ยวข้องกับการขึ้นฟูของไอศกรีม ได้แก่ ขั้นตอนการปั่นไอศกรีม ที่เป็นการนำส่วนผสมไอศกรีมเหลวที่ผ่านการบ่มมาตีปั่นด้วยเครื่องทำไอศกรีม ซึ่งการตีปั่นไอศกรีม เป็นการผสมอากาศเข้าไปในเนื้อไอศกรีม ฟองอากาศที่เกิดขึ้นจะกระจายตัวอยู่ในส่วนของไอศกรีมที่เป็นของเหลวไม่แข็งตัว และจะถูกล้อมรอบด้วยเม็ดไขมันที่เกาะกันเป็นโครงสร้างร่างแหทำให้ฟองอากาศคงตัวอยู่ในโครงสร้างของไอศกรีมได้ (Marshall and Arbuckle, 1996)

จากตารางที่ 4-32 พบว่า ปริมาณการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมมีผลต่อการขึ้นฟูของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมไขมันต่ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อมีการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมในปริมาณมากขึ้น ทำให้ไอศกรีมมีค่าการขึ้นฟูมากขึ้น โดยการขึ้นฟูของไอศกรีมที่เติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมปริมาณ 1.5% มีค่าการขึ้นฟูมากที่สุด เท่ากับ 10.94% รองลงมาคือ ไอศกรีมที่มีการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมในปริมาณ 1.0% 0.5% และ 0% ที่มีค่าการขึ้นฟู เท่ากับ 8.32% 7.68% และ 6.39% ตามลำดับ การที่ไอศกรีมสูตรที่มีการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตุมมีค่าการขึ้นฟูมากกว่าไอศกรีมสูตรควบคุม เนื่องมาจาก เส้นใยอาหารผงจากกากมะตุม ซึ่งมีองค์ประกอบของเส้นใยอาหารประเภทละลายน้ำได้เป็นองค์ประกอบด้วย ซึ่งเส้นใยอาหารประเภทละลายน้ำได้ที่มีสมบัติละลายน้ำแล้วอุ้มน้ำไว้ได้ และให้ความหนืดจึงอาจมีผลให้ไอศกรีมเหลวมีความหนืดมากขึ้น และเมื่อนำไอศกรีมเหลวมาปั่นเพื่อเติมอากาศเข้าไปในโครงสร้าง มีผลให้โครงสร้างของฟองอากาศที่เป็นโครงสร้างของ ของเหลว อากาศ และของแข็ง มีความเสถียรและคงตัวมากขึ้น หรือกล่าวได้ว่าการเติมเส้นใยอาหารผงในส่วนผสมทำให้ช่วยเสริมความแข็งแรงของการอุ้มน้ำในโครงสร้างของไอศกรีมได้ดีขึ้น (ธนิกานต์ สันต์สวัสดิ์, 2549; Elleuch et al., 2011)

ตารางที่ 4-31 ค่าการขึ้นฟูของไอศกรีมไขมันต่ำที่เติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมปริมาณต่างๆ

เส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม (%)	ค่าการขึ้นฟูเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)
0 (ตัวควบคุม)	6.39 \pm 0.15 ^d
0.5	7.68 \pm 0.12 ^c
1.0	8.32 \pm 0.06 ^b
1.5	10.94 \pm 0.24 ^a

^{a,b,c,...} แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

8) ความชอบทางด้านประสาทสัมผัส

ผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส ความรู้สึกตกค้าง และความชอบโดยรวม โดยวิธี 9-point hedonic scale ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน แสดงดังตารางที่ 4-32 พบว่า ปริมาณการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมในไอศกรีมไขมันต่ำมีผลต่อคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสทุกด้านอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาด้านความชอบด้านสี กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวม พบว่า ผลที่ได้มีแนวโน้มเดียวกัน โดยไอศกรีมไขมันต่ำสูตรควบคุม มีคะแนนความชอบมากที่สุด อยู่ในช่วงเท่ากับ 7.17-8.13 ซึ่งอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก รองลงมาคือ ไอศกรีมไขมันต่ำที่เติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม 1% มีคะแนนความชอบอยู่ในช่วงเท่ากับ 6.10-7.37 ซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ในขณะที่ไอศกรีมไขมันต่ำที่เติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม 0.5% และ 1.5% มีคะแนนความชอบอยู่ในช่วงเท่ากับ 4.70-6.93 และ 4.20-6.67 ซึ่งอยู่ในระดับไม่ชอบเล็กน้อยถึงชอบเล็กน้อย

ทั้งนี้เนื่องจากตัวอย่างไอศกรีมที่เติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมในปริมาณน้อยเกินไป (0.5%) จนผู้บริโภคไม่สามารถรับรู้ได้ว่าเป็นกลิ่นรส และรสชาติของส่วนผสมอะไร เนื่องจากมีความเข้มข้นไม่มากพอที่จะระบุเอกลักษณ์นี้ได้ รวมถึงมีสีน้ำตาลหม่น เหนียวข้นไม่ชัดเจน จึงทำให้ได้รับคะแนนความชอบด้านสี กลิ่นรส และรสชาติต่ำ และยังมีผลทำให้ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมต่ำด้วย แต่เมื่อเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมในปริมาณมากเกินไป (1.5%) ทำให้ สี กลิ่นรส และรสชาติ ของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมมีความเข้มข้นด้านสี กลิ่นรส และรสชาติรุนแรงมากเกินไป จึงทำให้ได้รับคะแนนความชอบด้านสี กลิ่นรส และรสชาติต่ำ และยังมีผลทำให้ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมต่ำด้วย สำหรับกลิ่นรส และรสชาติของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม อาจเกิดจากลักษณะเฉพาะของสารในกลุ่มอัลคาลอยด์ คูมาริน ฟลาโวนอยด์ และแทนนิน ที่มีอยู่ในส่วนเปลือกและเมล็ดของกากมะตูม โดยสารแทนนินมักอยู่ในส่วนของเปลือกและเมล็ดของผลไม้ การนำมาใช้ผลิตเส้นใยอาหารผง อาจมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคได้ เนื่องจากมักให้รสชาติฝาดขม (โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช, 2557; กุลนรี ศาสตร์ประสิทธิ์ และ กุลยา ลี้รุ่งเรืองรัตน์, 2552)

เมื่อพิจารณาความชอบด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และความรู้สึกตกค้าง พบว่า มีแนวโน้มเดียวกัน โดยไอศกรีมไขมันต่ำสูตรควบคุม มีคะแนนความชอบมากที่สุด เท่ากับ 7.27-7.83 ซึ่งอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก และการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมมากขึ้นมีแนวโน้ม

ให้ได้รับคะแนนความชอบลดลง อย่างไรก็ตามพบว่า ไอศกรีมไขมันต่ำที่เติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม 1.0% ยังคงได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และความรู้สึกรัดค้ำอยู่ในช่วงเท่ากับ 6.13-7.23 ซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง การเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมเพิ่มถึง 1.5% ทำให้คะแนนชอบด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และความรู้สึกรัดค้ำอยู่ในช่วงเท่ากับ 4.10-6.73 ซึ่งอยู่ในระดับไม่ชอบเล็กน้อยถึงชอบเล็กน้อย

ทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมเตรียมโดยผ่านการร่อนตะแกรงขนาด 80 เมช เท่านั้น จึงอาจยังไม่เป็นผงละเอียดมากนัก การเติมลงในไอศกรีมจึงอาจทำให้ผู้บริโภคสังเกตเห็นลักษณะเป็นผงกระจายตัว ไม่เป็นเนื้อเดียวกันนัก เมื่อมีการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมในปริมาณมากขึ้น อาจมีผลต่อความชอบด้านลักษณะปรากฏ นอกจากนี้ผู้บริโภคอาจรู้สึกว่ามีลักษณะเป็นผงสากลิ้นเล็กน้อย รวมถึงมีความรู้สึกรัดค้ำหลังการบริโภคไอศกรีม จากกลิ่นรส รสชาติ ที่เป็นเอกลักษณ์ของกากมะตูม รวมถึงอาจมีความรู้สึกรัดค้ำ เมื่อมีการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมในปริมาณมากขึ้น นภาพร เชี่ยวชาญ (2556) และบงกชรัตน์ เนาวกุล (2553) รายงานว่า ขนาดอนุภาคมีความเกี่ยวข้องกับปริมาณการนำเส้นใยอาหารผงไปใช้เติมในผลิตภัณฑ์อาหาร โดยการลดขนาดอนุภาคให้เล็กจะเพิ่มความสามารถในการละลายได้ในส่วนผสมมากขึ้น และทำให้มีความเข้ากันได้เป็นเนื้อเดียวกันกับส่วนผสมอาหารมากยิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตามต้องคำนึงถึงความยุ่งยากในการดำเนินการ ปริมาณผลได้ และความจำเป็นในการบดจนละเอียดมากเกินไป ที่อาจส่งผลต่อการสูญเสียองค์ประกอบทางเคมี สารพิษเคมีที่คงอยู่ของเส้นใยอาหารผงด้วย

ตารางที่ 4-33 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมที่แปรปริมาณการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมระดับต่างๆ

ความชอบคุณลักษณะ	ปริมาณการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม (%)			
	0 (ตัวควบคุม)	0.5	1	1.5
ลักษณะปรากฏ	7.83 ± 0.95 ^a	7.00 ± 1.23 ^{bc}	7.23 ± 1.16 ^b	6.73 ± 1.41 ^c
สี	8.13 ± 0.90 ^a	6.93 ± 1.36 ^c	7.37 ± 1.24 ^b	6.67 ± 1.44 ^c
กลิ่นรส	7.17 ± 1.23 ^a	5.57 ± 1.76 ^b	6.70 ± 1.39 ^a	5.30 ± 1.72 ^c
รสชาติ	7.47 ± 1.14 ^a	4.70 ± 1.80 ^c	6.10 ± 1.45 ^b	4.20 ± 1.06 ^c
เนื้อสัมผัส	7.40 ± 1.13 ^a	7.30 ± 1.42 ^a	6.67 ± 1.40 ^b	5.80 ± 1.49 ^c
ความรู้สึกรัดค้ำ	7.27 ± 1.14 ^a	6.20 ± 1.27 ^b	6.13 ± 1.54 ^b	4.10 ± 1.86 ^c
ความชอบโดยรวม	7.83 ± 0.79 ^a	5.33 ± 1.67 ^c	6.57 ± 1.91 ^b	5.07 ± 1.41 ^c

a,b,... แสดงถึงค่าในแนวนอนมีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

9) ผลการคัดเลือกสูตรไอศกรีมที่เหมาะสมที่สุด

จากเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือ เลือกสูตรไอศกรีมที่เติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมได้มากที่สุด โดยยังคงได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบ (ได้คะแนนอย่างน้อย 6 คะแนน) และพิจารณาร่วมกับคุณภาพอื่นที่วิเคราะห์ จากผลการทดลอง พบว่า สามารถเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมได้มากที่สุด 1% โดยได้รับคะแนนความชอบโดยรวม อยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปาน

กลาง (6.57) โดยไอศกรีมที่ได้มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารทั้งหมด เท่ากับ 0.813% 0.088% และ 0.897% โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 106.81 มิลลิกรัมแกลลิก/100 กรัม มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ รายงานเป็น % inhibition เท่ากับ 8.58% มีปริมาณไขมัน 2.74% และค่าการขึ้นฟู 8.32%

4.2 ผลของปริมาณการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিংแทนที่เนยต่อคุณภาพของคุกกี้ชูการ์สแนป

จากการนำเส้นใยอาหารผงจากกากชিংที่ผ่านการสกัดตามสภาวะที่เลือกได้ มาแทนที่เนยในสูตรคุกกี้ชูการ์สแนปสูตรลดน้ำตาล โดยแปรระดับการแทนที่เนย 4 ระดับ คือ 0% 5% 10% และ 15% โดยน้ำหนักแห้ง และสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณไขมัน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด ค่าสี อัตราการแผ่ขยาย ลักษณะเนื้อสัมผัสรายงานเป็นค่าความแข็ง และความชอบทางประสาทสัมผัส แสดงผลดังตารางที่ 4-34 ถึง 4-40 ผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

1) ปริมาณความชื้น

จากตารางที่ 4-34 พบว่า เมื่อแทนที่เนยด้วยปริมาณของเส้นใยอาหารผงจากกากชিংเพิ่มขึ้น มีผลให้ปริมาณความชื้นของคุกกี้ชูการ์สแนปมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยตัวอย่างควบคุมที่ไม่ได้เติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিংมีปริมาณความชื้นสูงที่สุดเท่ากับ 8.31% โดยน้ำหนักแห้ง เมื่อเติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিংเพิ่มขึ้นในปริมาณ 5% 10% และ 15% คุกกี้มีความชื้นลดลงเหลือ 7.24% 6.08% และ 5.12% โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ อาจเนื่องมาจากเส้นใยอาหารผงจากกากชিং มีสมบัติเชิงหน้าที่ด้านความสามารถในการอุ้มน้ำสูง (8.80 กรัม/กรัมตัวอย่าง) จึงสามารถดูดซับเก็บกักน้ำในส่วนผสมไว้ในโครงสร้างของเส้นใยอาหารได้ดีจึงเหลือน้ำในส่วนผสมสำหรับการเกิดโดที่สมบูรณ์ ที่เป็นโครงสร้างของกลูเตนที่แข็งแรงได้น้อยลง (ปิยะรัชช กุลเมธี และคณะ, 2553) เมื่อนำโดมาอบที่อุณหภูมิสูง น้ำในโครงสร้างของเส้นใยอาหารมีโอกาสระเหยออกไปได้ง่ายจึงเหลือน้ำอยู่ในคุกกี้ที่น้อยลง จึงเป็นผลให้คุกกี้ชูการ์สแนปที่มีการใช้ปริมาณเส้นใยอาหารผงจากกากชิ่งมาก จึงมีปริมาณความชื้นลดลง นอกจากนี้ในการลดปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์ทำให้ปริมาณน้ำในส่วนผสมลดลง เนื่องจากความชื้นที่ได้จากเนยสาดหายไป โดยปกติเนยสดมีน้ำอยู่ประมาณ 16-18% (รุจิรัตน์ มุลตรี, 2544 ; จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2549) ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ อมรรัตน์ ถนนวนแก้ว และคณะ (2551) พบว่า ปริมาณความชื้นของคุกกี้ลดลง ($p < 0.05$) เมื่อมีการเสริมด้วยเพคตินซึ่งเป็นเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 5.68%-7.71% ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 8.47% และ Yanniotis et al. (2007) พบว่าเมื่อเพิ่มเส้นใยอาหารลงไปในขนมขบเคี้ยวทำให้ปริมาณความชื้นลดลง ตามปริมาณเส้นใยอาหารที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4-34 ปริมาณความชื้นของคุกกี้ชูการ์สแนปที่แทนที่เนยด้วยเส้นใยอาหารผงจากกากชিং ปริมาณต่างๆ

การแทนที่เนยด้วยเส้นใย อาหารผงจากกากชিং (%)	ปริมาณความชื้น \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%โดยน้ำหนักแห้ง)
0 (ตัวควบคุม)	8.31 \pm 0.20 ^a
5	7.24 \pm 0.19 ^b
10	6.08 \pm 0.19 ^c
15	5.12 \pm 0.22 ^d

^{a,b,c,.....} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2) ปริมาณไขมัน

จากตารางที่ 4-35 พบว่า เมื่อแทนที่เนยด้วยปริมาณเส้นใยอาหารผงจากกากชিংเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ปริมาณไขมันของคุกกี้ชูการ์สแนปมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งนี้ เป็นผลจากปริมาณไขมันในสูตรการผลิตลดลง ปริมาณไขมันของคุกกี้ชูการ์สแนปจึงลดลงด้วย โดย ปริมาณไขมันของคุกกี้ชูการ์สแนปที่แทนที่เนยด้วยเส้นใยอาหารผงจากกากชিংปริมาณ 15% มีปริมาณ ไขมันน้อยที่สุด เท่ากับ 15.21% รองลงมาคือ คุกกี้ชูการ์สแนปที่แทนที่เนยด้วยเส้นใยอาหารผงจาก กากชিংปริมาณ 10% 5% และ 0% ที่มีปริมาณไขมัน เท่ากับ 16.58% 17.29% และ 18.69% โดย น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

มีนักวิจัยพัฒนาสูตรอาหาร โดยการเติมเส้นใยอาหารผงร่วมกับการลดการใช้ไขมันใน ส่วนผสม โดยอาศัยแนวคิดที่ว่า เส้นใยอาหารผงมีสมบัติเชิงหน้าที่ต่างๆ เช่น ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน และความสามารถในการเกิดอิมัลชัน ที่ทำหน้าที่คล้ายไขมันได้ มี ผลให้ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีปริมาณไขมันลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) รวมถึงมีปริมาณ เส้นใยอาหารเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลดีต่อสุขภาพของผู้บริโภค ดังตัวอย่างงานวิจัยของ สุชาติ นกเถื่อน และ ยุทธนา พิมลศิริผล (2555) ต้องการลดปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์คุกกี้ โดยการเติมเส้นใยอาหารผง จากเปลือกชั้นในของผลส้มโอ (0%-10%) ร่วมกับการใช้แป้งข้าวเจ้า (53.20%-59.10%) และใช้ไขมัน จากเนยสด (36.8%-40.89%) พบว่า คุกกี้สูตรที่เหมาะสมซึ่งใช้เส้นใยอาหารผงจากเปลือกชั้นในของ ผลส้มโอ 7.05% แป้งข้าวเจ้า 55.17% และเนยสด 37.77% มีปริมาณไขมัน เท่ากับ 28.71% ซึ่ง ลดลงจากสูตรควบคุมถึง 30.85% อติศักดิ์ เอกโสวรรณ และคณะ (2541) ศึกษาการใช้อัตราส่วน ระหว่างสารละลายแป้งบุกเข้มข้น 2% ต่อเนยสด 0:100, 25:75, 30:70, 35:65, 40:60, และ 45:55 โดยน้ำหนัก พบว่า คุกกี้สูตรที่เหมาะสมใช้อัตราส่วนระหว่างสารละลายแป้งบุกและเนยสดเป็น 30:70 มีปริมาณไขมันลดลงจาก 29.22% เป็น 20.90% นอกจากนี้ อมรรรัตน์ ถนนแก้ว และคณะ (2551) พัฒนาคุกกี้เสริมเพกตินจากเปลือกมะนาว พบว่า ในการทดแทนไขมันโดยใช้เพกตินสามารถลด ปริมาณไขมันลงได้ 2.23%

ตารางที่ 4-35 ปริมาณไขมันของคูกี้ชูการ์สแนปที่แทนที่เนยด้วยเส้นใยอาหารผงจากกากชিং ปริมาณต่างๆ

การแทนที่เนยด้วยเส้นใย อาหารผงจากกากชিং (%)	ปริมาณไขมันเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%โดยน้ำหนักแห้ง)
0 (ตัวควบคุม)	18.69 \pm 0.01 ^a
5	17.29 \pm 0.03 ^b
10	16.58 \pm 0.03 ^c
15	15.21 \pm 0.06 ^d

^{a,b,c,.....} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

3) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ

จากตารางที่ 4-36 พบว่า เมื่อแทนที่เนยด้วยปริมาณของเส้นใยอาหารผงจากกากชিং เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของคูกี้ชูการ์สแนป มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการผลิตเส้นใยอาหารผงจากกากชিংสามารถนำมาเติมในคูกี้ชูการ์สแนป เพื่อเพิ่มปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดได้ โดยการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিং 15% ทำให้คูกี้ชูการ์สแนปมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด เท่ากับ 226.67 มิลลิกรัมแกลติก/100 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง ($p < 0.05$) ในขณะที่คูกี้ชูการ์สแนปสูตรควบคุมมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดต่ำที่สุด เท่ากับ 164.92 มิลลิกรัมแกลติก/100 กรัม ($p < 0.05$) การเติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিংในคูกี้ชูการ์สแนป มีผลให้คูกี้ชูการ์สแนปมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เช่นกัน โดยคูกี้ชูการ์สแนปที่เติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিং 15% มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด มี %Inhibition เท่ากับ 8.13% ในขณะที่คูกี้ชูการ์สแนปสูตรควบคุมมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระต่ำที่สุด โดยมี %Inhibition เท่ากับ 2.44% ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4-36 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของคูกี้ชูการ์สแนปที่แทนที่เนยด้วยเส้นใยอาหารผงจากกากชিংปริมาณต่างๆ

การแทนที่เนยด้วย เส้นใยอาหารผง จากกากชিং (%)	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมแกลติก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (%Inhibition)
0 (ตัวควบคุม)	164.92 \pm 0.60 ^d	2.44 \pm 0.02 ^d
5	194.06 \pm 0.75 ^c	6.28 \pm 0.10 ^c
10	203.57 \pm 0.78 ^b	7.12 \pm 0.07 ^b
15	226.67 \pm 0.50 ^a	8.13 \pm 0.07 ^a

^{a,b,c,.....} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4) ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ และปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด

จากผลการทดลองยังคงไม่สามารถตรวจวัดปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้จากคูกี้ชูการ์สแนปทุกสูตร ดังนั้นปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดจึงเท่ากับปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ จากตารางที่ 4-37 พบว่า การเติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিংในปริมาณต่างๆ ทำให้คูกี้ชูการ์สแนปมีปริมาณเส้นใยอาหารไม่ละลายน้ำและปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিং 15% ทำให้คูกี้ชูการ์สแนปมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดมากที่สุด เท่ากับ 4.38% โดยน้ำหนักแห้ง รองลงมาคือ คูกี้ชูการ์สแนปที่มีการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিংปริมาณ 10% และ 5% ที่มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เท่ากับ 2.93% และ 1.45% โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ($p < 0.05$) ในขณะที่คูกี้ชูการ์สแนปที่ไม่เติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিং (ตัวควบคุม) ไม่สามารถวัดปริมาณเส้นใยอาหารทุกชนิดได้ จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อเติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিংในปริมาณที่มากขึ้น มีผลให้ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดในคูกี้ชูการ์สแนปมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยอาหารผงจากกากชিংมีองค์ประกอบของเส้นใยอาหารอยู่ในปริมาณค่อนข้างสูง คือ 73.15% ดังนั้นการเติมเส้นใยอาหารจากกากชিংผงในคูกี้ชูการ์สแนปจึงเป็นการเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด โดยเฉพาะเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำให้กับผลิตภัณฑ์ได้

ตารางที่ 4-37 ปริมาณเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำ ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ และปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดของคูกี้ชูการ์สแนปที่แทนที่เนยด้วยเส้นใยอาหารผงจากกากชিংปริมาณต่างๆ

การแทนที่เนยด้วย เส้นใยอาหารผง จากกากชিং (%)	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%โดยน้ำหนักแห้ง)		
	เส้นใยอาหารที่ไม่ ละลายน้ำ	เส้นใยอาหารที่ ละลายน้ำ	เส้นใยอาหารทั้งหมด
0 (ตัวควบคุม)	ND	ND	ND
5	1.45 \pm 0.14 ^c	ND	1.45 \pm 0.14 ^c
10	2.93 \pm 0.13 ^b	ND	2.93 \pm 0.13 ^b
15	4.38 \pm 0.24 ^a	ND	4.38 \pm 0.24 ^a

^{a,b,c,.....} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ND (Not Detected) หมายถึง ตรวจไม่พบ

5) ค่าสี L* a* และ b*

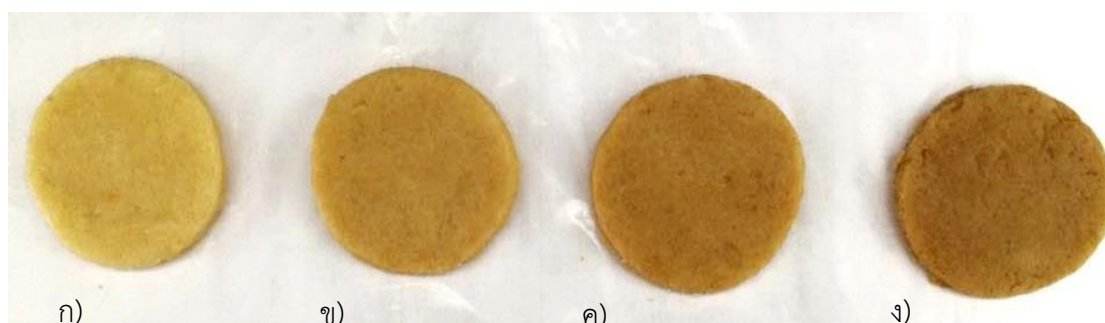
ลักษณะปรากฏของโดและคูกี้ชูการ์สแนป ซึ่งมีการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিংปริมาณต่างๆ แสดงดังภาพที่ 4-7 และ 4-8 ตามลำดับ จากการสังเกตลักษณะของโดและคูกี้ชูการ์สแนปที่เติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিংด้วยตาเปล่า พบว่า เมื่อเติมปริมาณเส้นใยอาหารผงจากกากชিং

เพิ่มขึ้น ทำให้โตนและคูกี้ชูการ์สแนป มีสีน้ำตาลออกเหลืองเข้มขึ้น โดยคูกี้ชูการ์สแนปที่มีสีออกเหลือง และมีความสว่างมากที่สุด เมื่อนำคูกี้ชูการ์สแนปที่เติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিংในปริมาณต่างๆ มาวิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่องวัดสีในระบบ CIE ได้ผลดังตารางที่ 4-38 พบว่า ปริมาณการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিংมีผลต่อค่าสี L^* a^* และ b^* ของผลิตภัณฑ์คูกี้ชูการ์สแนปแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากผลการทดลองพบว่า คูกี้ชูการ์สแนปสูตรควบคุมมีค่าความสว่าง (L^* เท่ากับ 79.35) มากที่สุด ($p < 0.05$) ส่วนค่าความเป็นสีแดง (a^* เท่ากับ 3.26) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^* เท่ากับ 24.99) น้อยที่สุด ($p < 0.05$) ในขณะที่เมื่อเติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিং 5% 10% และ 15% ทำให้คูกี้ชูการ์สแนปมีค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 72.92 68.30 และ 66.55 ตามลำดับ ($p < 0.05$) ซึ่งมีแนวโน้มลดลง เมื่อมีการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিংเพิ่มมากขึ้น สำหรับค่าความเป็นสีแดง (a^*) เท่ากับ 5.86 7.01 และ 7.83 ตามลำดับ ($p < 0.05$) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เท่ากับ 27.49 27.83 และ 28.68 ตามลำดับ ($p < 0.05$) ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিংเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากสีของเส้นใยอาหารผงจากกากชিংที่เติม มีสีน้ำตาลอมเหลือง จึงทำให้คูกี้ชูการ์สแนปมีสีน้ำตาลอมเหลืองมากขึ้น

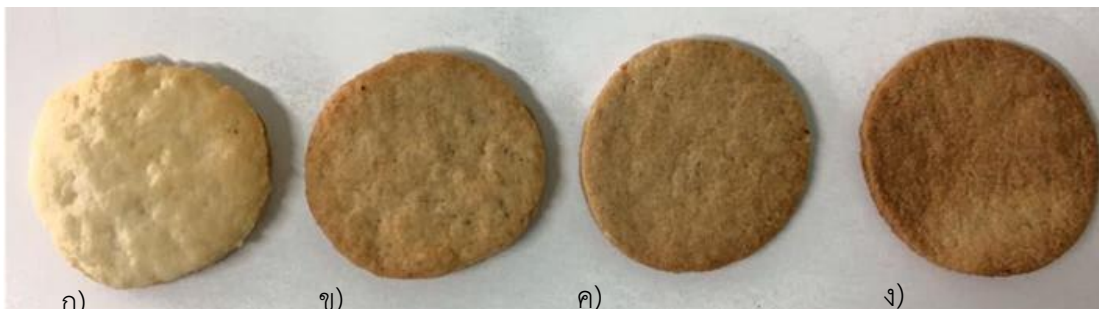
ตารางที่ 4-38 ค่าสี L^* a^* และ b^* ของคูกี้ชูการ์สแนปที่แทนที่เนยด้วยเส้นใยอาหารผงจากกากชিং ปริมาณต่างๆ

การแทนที่เนยด้วย เส้นใยอาหารผง จากกากชিং (%)	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	L^*	a^*	b^*
0 (ตัวควบคุม)	79.35 \pm 0.11 ^a	3.26 \pm 0.06 ^d	24.99 \pm 0.22 ^d
5	72.92 \pm 0.06 ^b	5.86 \pm 0.04 ^c	27.49 \pm 0.17 ^c
10	68.30 \pm 0.09 ^c	7.01 \pm 0.01 ^b	27.83 \pm 0.17 ^b
15	66.55 \pm 0.24 ^d	7.83 \pm 0.10 ^a	28.68 \pm 0.13 ^a

^{a,b,c,.....} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพที่ 4-7 ลักษณะโตนของคูกี้ชูการ์สแนปเมื่อเติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিংปริมาณต่างๆ ได้แก่ ก) ไม่เติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিং (ตัวควบคุม) ข) เติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিং 5% ค) เติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিং 10% และ ง) เติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিং 15%



ภาพที่ 4-8 ลักษณะของคุกกี้ชูการ์สแนปเมื่อเติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিংปริมาณต่างๆ ได้แก่
 ก) ไม่เติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিং (ตัวควบคุม) ข) เติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিং 5%
 ค) เติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিং 10% และ ง) เติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিং 15%

6) อัตราการแผ่ขยายของคุกกี้และลักษณะเนื้อสัมผัส

โดยปกติในกระบวนการผลิตคุกกี้มีขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการขยายตัวของคุกกี้ ตัวอย่างเช่น ขั้นตอนการตีเนยกับน้ำตาล มีผลให้อากาศเข้าไปแทรกตัวในส่วนผสม เกิดเป็นฟองอากาศขนาดเล็ก เมื่อนำไปอบ คุกกี้เกิดการขยายตัวได้ รวมถึงในการตีผสมระหว่างแป้งสาลีกับส่วนของเหลว มีผลให้เกิดโครงสร้างกลูเตน ซึ่งกลูเตนมีความสามารถในการกักเก็บอากาศที่ส่งผลต่อการขยายตัวของคุกกี้ได้ ในการทดลองนี้มีการวัดอัตราการแผ่ขยายของคุกกี้ชูการ์สแนป คิดจากอัตราส่วนระหว่างความกว้างต่อความสูงของคุกกี้การ์สแนป ซึ่งอัตราการแผ่ขยายที่เพิ่มมากขึ้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ความหนืดของโด โดที่มีลักษณะเหลวย้อมแผ่ขยายได้ง่ายกว่าโดที่มีลักษณะเหนียวหนืดหรือแห้งแข็ง รวมถึงเกี่ยวข้องกับความสามารถในการกักเก็บอากาศของส่วนผสม หากสามารถกักเก็บอากาศได้มากจะมีโอกาสเกิดการแผ่ขยายตัวได้ดี (รุจิรัมย์ มุลตรี, 2544; Wang et al., 2004; Chung et al., 2014)

จากตารางที่ 4-39 พบว่า การเติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিংเพิ่มมากขึ้น ทำให้อัตราการแผ่ขยายลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คุกกี้ชูการ์สแนปสูตรควบคุมมีอัตราการแผ่ขยายมากที่สุด (8.93) ในขณะที่การเติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিং 5% 10% และ 15% ทำให้คุกกี้ชูการ์สแนปมีอัตราการแผ่ขยายเท่ากับ 8.06 6.28 และ 5.40 ตามลำดับ ($p < 0.05$) จากการเติมเส้นใยอาหารผงลงในส่วนผสม เส้นใยอาหารผงนี้จะไปแย่งจับกับน้ำในส่วนผสม เนื่องจากโครงสร้างของเส้นใยอาหารผงประกอบไปด้วยหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก ที่สามารถเกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ จึงทำให้เหลือน้ำที่จะไปผสมกับแป้งน้อย (ปิยะรัชช กุลเมธี และคณะ, 2553) มีผลให้เกิดโครงสร้างกลูเตนที่มีความยืดหยุ่นน้อยลง เกิดการขยายตัวได้น้อย จึงส่งผลให้ความสามารถในการกักเก็บอากาศของโดลดลง ทำให้อัตราการแผ่ขยายลดลง (ศิวัชร สุขความดี, 2553) และรุจิรัมย์ มุลตรี (2544) กล่าวว่า การเติมเส้นใยอาหารที่มากเกินไปในการผลิตคุกกี้ ทำให้เกิดการรวมตัวกับของเหลวในส่วนผสมมาก จะทำให้ได้โดที่มีลักษณะแห้งทำให้อัตราการแผ่ขยายของคุกกี้ลดลง และงานวิจัยของจิรนาถ ทิพย์รักษา และนาตยา สินทวี (2553) กล่าวว่า การเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารจากกากเมล็ด

ทานตะวันในผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่ระดับ 0, 5, 10, 15 และ 20 กรัมในสูตร คุกกี้มีค่าอัตราการแผ่ขยายเท่ากับ 5.50 4.24 3.22 3.00 และ 2.85 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

สำหรับการวัดค่าความแข็งของคุกกี้ชูการ์สแนป ใช้คุกกี้ชูการ์สแนป จำนวน 10 ชิ้น โดยได้มีการควบคุมน้ำหนักคุกกี้ให้มีน้ำหนัก 7.45 ± 0.05 กรัมต่อชิ้น โดยใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analyser) รายงานเป็นค่าความแข็ง หมายถึง แรงที่ใช้ในการทำให้คุกกี้ชูการ์สแนปแตกออก (หน่วยนิวตัน) จากตารางที่ 4-39 พบว่า ผลการทดลองสอดคล้องกับปริมาณความชื้นเมื่อปริมาณความชื้นลดลง ส่งผลให้ค่าความแข็งของคุกกี้ชูการ์สแนปเพิ่มขึ้น คุกกี้ชูการ์สแนปสูตรควบคุมมีค่าความแข็งน้อยที่สุด (16.97 นิวตัน) รองลงมาได้แก่ คุกกี้ชูการ์สแนปแทนที่เนยด้วยเส้นใยอาหารผงจากกากชিংปริมาณ 5% (27.65 นิวตัน) 10% (34.22 นิวตัน) และ 15% (40.11 นิวตัน) ตามลำดับ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4-39 อัตราการแผ่ขยาย (Spread ratio) และค่าความแข็ง (Hardness) ของคุกกี้ชูการ์สแนปที่แทนที่เนยด้วยเส้นใยอาหารผงจากกากชিংปริมาณต่างๆ

การแทนที่เนยด้วยเส้นใย อาหารผงจากกากชিং (%)	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	อัตราการแผ่ขยาย	ค่าความแข็ง (นิวตัน)
0 (ตัวควบคุม)	8.93 ± 0.50^a	16.97 ± 0.64^d
5	8.06 ± 0.45^b	27.65 ± 0.65^c
10	6.28 ± 0.37^c	34.22 ± 0.47^b
15	5.40 ± 0.23^d	40.11 ± 0.73^a

^{a,b,c,.....} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

7) ความชอบทางประสาทสัมผัส

ผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ สีที่ผิวคุกกี้ สีเนื้อในคุกกี้ กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัสในปาก และความชอบโดยรวม โดยวิธี 9-point hedonic scale ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน แสดงดังตารางที่ 4-40 พบว่า ปริมาณการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিংในคุกกี้ชูการ์สแนป มีผลต่อคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสทุกด้านอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คะแนนความชอบทุกด้านมีแนวโน้มเดียวกัน โดยคุกกี้ชูการ์สแนปสูตรควบคุมได้รับคะแนนความชอบทุกด้านมากที่สุด อยู่ในช่วง 6.63-7.70 ซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง รองลงมาคือ คุกกี้ชูการ์สแนปที่เติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিং 5% ได้รับคะแนนความชอบทุกด้านอยู่ในช่วง 5.87-6.80 ซึ่งอยู่ในระดับชอบเฉยๆ ถึงชอบเล็กน้อย ส่วนคุกกี้ชูการ์สแนปที่เติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিং 10% และ 15% ได้รับคะแนนความชอบทุกด้านน้อยที่สุดโดยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) อยู่ในช่วง 4.87-6.03 และ 4.70-5.98 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับไม่ชอบเล็กน้อยถึงชอบเล็กน้อย

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงให้เห็นแนวโน้มว่า การเติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিংเพิ่มมากขึ้น (5-15%) มีผลทำให้ได้รับคะแนนความชอบด้านต่างๆ ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับ

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสกับคูกี้ชูการ์สแนป สูตรควบคุม พบแนวโน้มคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สีที่ผิวคูกี้ สีเนื้อในคูกี้ กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ และเนื้อสัมผัสในปาก เป็นไปในแนวทางเดียวกันกันคือ การเติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিংเพิ่มมากขึ้น ตั้งแต่ 5-15% ทำให้ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สีที่ผิวคูกี้ สีเนื้อในคูกี้ กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ และเนื้อสัมผัสในปาก ต่ำกว่าคูกี้ชูการ์สแนปสูตรควบคุม ($p < 0.05$) โดยการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিং 10% มีผลให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สีที่ผิวคูกี้ สีเนื้อในคูกี้ กลิ่น กลิ่นรส กลิ่นรส รสชาติ และเนื้อสัมผัสในปาก ไม่แตกต่างจากการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিং 15% ($p \geq 0.05$)

เมื่อพิจารณาคะแนนด้านความชอบโดยรวม พบว่า การเติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিং ตั้งแต่ 5-15% ได้รับคะแนนความชอบแตกต่างจากคูกี้ชูการ์สแนปสูตรควบคุม ($p < 0.05$) ซึ่งคูกี้ชูการ์สแนปสูตรควบคุมได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุด เท่ากับ 7.33 ซึ่งอยู่ในระดับชอบปานกลาง การเติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিংตั้งแต่ 5-15% ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมลดลง เท่ากับ 6.43 5.43 และ 5.10 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงเฉยๆ (บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ) แต่การเติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিং 10% มีผลให้คะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวมไม่แตกต่างจากการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিং 15% ($p \geq 0.05$) ทั้งนี้ผู้ทดสอบได้ให้ความเห็นเพิ่มเติมว่า การเติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিংปริมาณมากขึ้นทำให้เนื้อสัมผัสคูกี้ชูการ์สแนปแข็งมากขึ้นและมีกลิ่นชিংมากขึ้น

ตารางที่ 4-40 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสคูกี้ชูการ์สแนปที่แทนที่เนยด้วยเส้นใยอาหารผงจากกากชিংปริมาณต่างๆ

ความชอบคุณลักษณะ	ปริมาณการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিং (%)			
	0%	5%	10%	15%
ลักษณะปรากฏ	7.60 ± 1.19 ^a	6.67 ± 1.06 ^b	6.00 ± 1.49 ^c	5.93 ± 1.64 ^c
สีที่ผิวคูกี้	7.70 ± 1.18 ^a	6.73 ± 1.23 ^b	5.87 ± 1.43 ^c	5.87 ± 1.68 ^c
สีเนื้อในคูกี้	7.27 ± 1.44 ^a	6.80 ± 0.96 ^b	6.03 ± 0.89 ^c	5.98 ± 1.81 ^c
กลิ่น	7.13 ± 1.44 ^a	6.57 ± 1.25 ^b	5.73 ± 1.17 ^c	5.60 ± 1.45 ^c
กลิ่นรส	7.13 ± 1.41 ^a	6.10 ± 1.21 ^b	5.23 ± 1.33 ^c	5.23 ± 1.81 ^c
รสชาติ	7.17 ± 1.29 ^a	6.13 ± 1.36 ^b	4.87 ± 1.43 ^c	4.70 ± 1.58 ^c
เนื้อสัมผัสในปาก	6.63 ± 1.54 ^a	5.87 ± 1.63 ^b	5.03 ± 1.58 ^c	4.73 ± 1.68 ^c
ความชอบโดยรวม	7.33 ± 1.24 ^a	6.43 ± 1.28 ^b	5.43 ± 1.36 ^c	5.10 ± 1.67 ^c

^{a,b,c,.....} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

8) ผลการคัดเลือกคูกี้ชูการ์สแนปที่เหมาะสม

จากเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือ เลือกสูตรคูกี้ชูการ์สแนปที่เติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিংได้มากที่สุด โดยยังได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบ (ได้คะแนนอย่างน้อย 6 คะแนน) และพิจารณาร่วมกับคุณภาพอื่นที่วิเคราะห์ จากผลการทดลอง พบว่า สามารถเติมเส้นใยอาหารผงจากกากชিংได้มากที่สุด 5% โดยได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบ

ปานกลาง (6.43) โดยคูกี้ชูการ์สแนปมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 7.24% โดยน้ำหนักแห้ง มีปริมาณไขมันเท่ากับ 17.29% โดยน้ำหนักแห้ง มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 194.06 มิลลิกรัม แกลลิก/100 กรัม น้ำหนักแห้ง มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระรายงานเป็น %Inhibition เท่ากับ 6.28% ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารทั้งหมด เท่ากับ 1.45% โดยน้ำหนักแห้ง

ตอนที่ 5 ผลการถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน

จัดทำเอกสารเผยแพร่ โดยให้ความรู้เชิงเทคนิคในการสกัดเส้นใยอาหารจากกากให้ได้คุณภาพมาตรฐานและแนวทางการนำไปใช้ในอาหารเพื่อสุขภาพ เผยแพร่ให้กับชุมชน เช่น โรงงานแปรรูปอาหารที่มีวัตถุดิบกากสมุนไพร องค์การบริหารส่วนตำบล กลุ่มแม่บ้านวิสาหกิจชุมชน และประชาชนที่สนใจ ตัวอย่างเอกสารที่ใช้เผยแพร่ความรู้สู่ชุมชนแสดงดังภาพที่ 4-9



ภาพที่ 4-9 ตัวอย่างเอกสารที่ใช้เผยแพร่ความรู้ที่ได้สู่ชุมชน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ผลการศึกษาหาสภาวะการสกัดเส้นใยอาหารจากกากสมุนไพรมะเขือเทศ

1) กากมะเขือเทศ

จากการศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการสกัดกากมะเขือเทศด้วยน้ำต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงจากกากมะเขือเทศ พบว่า อุณหภูมิและเวลาในการสกัดด้วยน้ำ มีผลต่อปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด และค่าสี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที มีความเหมาะสมที่สุด ได้เส้นใยอาหารผงจากกากมะเขือเทศที่มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดมากที่สุด เท่ากับ 82.56% (โดยน้ำหนักแห้ง)

จากการศึกษาผลของการสกัดด้วยเอทานอลร่วมด้วย โดยการนำกากมะเขือเทศที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที มาสกัดต่อด้วยการแช่เอทานอลความเข้มข้น 95% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า เส้นใยอาหารผงจากกากมะเขือเทศที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำเพียงอย่างเดียว และผ่านการสกัดด้วยน้ำและเอทานอล มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ค่าสี แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยพบว่า การสกัดกากมะเขือเทศด้วยน้ำและเอทานอลร่วมกัน มีความเหมาะสมที่สุด ได้เส้นใยอาหารผงจากกากมะเขือเทศที่มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดมากที่สุด เท่ากับ 89.61% (โดยน้ำหนักแห้ง)

2) กากขิง

จากการศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการสกัดกากขิงด้วยน้ำต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงจากกากขิง พบว่า อุณหภูมิและเวลาในการสกัดด้วยน้ำ มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด ค่าสี และปริมาณผลได้ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที มีความเหมาะสมที่สุด ได้เส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่มีปริมาณเส้นใยอาหารมากที่สุด เท่ากับ 73.15% (โดยน้ำหนักแห้ง)

จากการศึกษาผลของการสกัดเอทานอลร่วมด้วย โดยนำกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที มาสกัดต่อด้วยการแช่เอทานอลความเข้มข้น 95% เป็นเวลา 0 6 12 และ 24 ชั่วโมง พบว่า การนำกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำมาสกัดต่อด้วยเอทานอลทุกสภาวะมีผลให้มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดสูงขึ้น แต่มีผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติสารต้านอนุมูลอิสระลดลง และการสกัดด้วยเอทานอลทุกสภาวะมีผลให้เกิดรสขมตกค้างจากการวิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารผงจากกากขิงที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำเพียงอย่างเดียว พบว่า มีความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน และความสามารถในการพองตัวมากกว่าเส้นใยอาหารผงจากกากขิงไม่ผ่านการสกัดด้วยน้ำ แต่มีความสามารถในการเกิดอิมัลชันน้อยกว่า ($p < 0.05$)

5.1.2 มีความเป็นไปได้ที่จะใช้เส้นใยอาหารผงจากกากสมุนไพรรักษาคุณภาพต้นแบบ

จากการศึกษาปริมาณการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมต่อคุณภาพของไอศกรีมไขมันต่ำ พบว่า เมื่อเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูมมากขึ้นมีผลให้ไอศกรีมไขมันต่ำมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด และค่าการขึ้นฟู มากกว่าไอศกรีมไขมันต่ำสูตรควบคุม ($p < 0.05$) โดยไอศกรีมไขมันต่ำที่มีการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม 1.0% เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด ได้รับความยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม อยู่ในช่วง 6.13 – 7.37 คะแนน ซึ่งอยู่ในความชอบระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

จากการศึกษาปริมาณการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากขิงแทนที่เนยต่อคุณภาพของคุกกี้ชูการ์สแนป พบว่า เมื่อเติมเส้นใยอาหารผงจากกากขิงมากขึ้นมีผลให้คุกกี้ชูการ์สแนปมีปริมาณความชื้น ปริมาณไขมัน และอัตราการแผ่ขยายน้อยลง แต่ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด และความแข็งเพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับคุกกี้ชูการ์สแนปสูตรควบคุม ($p < 0.05$) โดยคุกกี้ชูการ์สแนปที่มีการเติมเส้นใยอาหารผงจากกากขิง 5% เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด ได้รับความยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้าน ลักษณะปรากฏ สีที่ผิวคุกกี้ สีเนื้อในคุกกี้ กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัสในปาก และความชอบโดยรวม อยู่ในช่วง 5.87-6.80 ซึ่งอยู่ในความชอบระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ศึกษาการนำเส้นใยอาหารผงที่ได้ไปเป็นส่วนประกอบในอาหารชนิดอื่นๆ เช่น ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ผลิตภัณฑ์อาหารทอด เป็นต้น
- 2) ศึกษาการเพิ่มมูลค่ากากสมุนไพรรักษาชนิดอื่นที่เป็นส่วนเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปในระดับอุตสาหกรรม

บรรณานุกรม

- กฤษฎิยา ทิสมบุรณ์ และนิภา เสือเดช. (2556). การผลิตสำหรับผักกาดทะเลผงและการใช้เป็น ส่วนประกอบของไอศกรีมไขมันต่ำ. ปรินูญานิพนธ์, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี อาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- กรรณิการ์ ห้วยแสน. (2542). ผลของแป้งถั่วเหลือง คาราจีแนน รำข้าวสาลี และรำข้าวเจ้าในแพตตี้ หมูไขมันต่ำ. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร, ภาควิชาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีการอาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กุลนรี ศาสตร์ประสิทธิ์ และกุลยา ลิมรุ่งเรืองรัตน์. (2552). การใช้เปลือกมังคุดเป็นแหล่งใยอาหารใน โดนต์เค้ก. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 40(3), 97-100.
- กุลรภัส วชิรศิริ, โสรดา วัลภา, ดำรงชัย สิทธิสำอางค์ และฐิติชญา สุวรรณทัฬ. (2555). การศึกษาผล ของการเสริมใยอาหารจากเปลือกเงาะที่มีต่อคุณภาพของไอศกรีมนม. วารสาร วิทยาศาสตร์เกษตร, 43(2), 313-316.
- กุหลาบ สิทธิสวนจิก, พีรยา โชติถนอม และชัตติยา ชินวงษ์นิจศิริ. (2555). ผลของวิธีการเตรียมต่อ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมและสมบัติเชิงหน้าที่ของใย อาหารผงจากกากส้มเขียวหวาน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 43(2), 233-236.
- กองบรรณาธิการใกล้เคียง. (ม.ป.ป.). ชิง สมุนไพรรักษาโรคประโยชน์. วันที่ค้นข้อมูล 31 ธันวาคม 2558, เข้าถึงได้จาก <http://www.goldcupfoods.com/benefits005.html>
- โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช. (2557). สมุนไพรไทย มะตูม. วันที่ค้นข้อมูล 25 สิงหาคม 2557, เข้าถึงได้จาก <http://www.xn--22c0cpkaok4bya8ih1l7b.com>
- จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล. (2549). เบเกอรี่เทคโนโลยีเบื้องต้น (พิมพ์ครั้งที่ 7). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จิรนาถ ทิพย์รักษา และนาตยา สันทวี. (2553). การใช้กากเมล็ดทานตะวันเสริมเส้นใยในผลิตภัณฑ์ คุกกี้เนย. รายงานการวิจัย, ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยสยาม.
- จุฬารัตน์ โกวิทยา, มาศอุบล ทองงาม และสมจิต สุรพัฒน์. (2549). การปรับปรุงคุณภาพของไอศกรีม วานิลลาไขมันโดยใช้อินนูลิน. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44 (หน้า 438-445). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชัยรัตน์ พึ่งเพียร. (2552). สมบัติและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบจากขิงที่สกัด ด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตและการประยุกต์ใช้สารสกัดในไอศกรีม. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ชินานาฏ วิทยาประภากร และสมัชญ์ ทวีเกษมสมบัติ. (2556). การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการ สกัดเพคตินจากวัสดุทางการเกษตร. วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร ฉบับพิเศษ, 183-189.
- ดวงจันทร์ เสงส์สวัสดิ์. (2545). ใยอาหารเพื่อสุขภาพ. วารสารอาหาร, 32, 157-159.

- ดุขฎิ สุริยพรรณพงศ์, ศุจิมน ตันวิเชียร, จิตติมา มานะกิจ, ดวงรัตน์ ชูวิสิฐกุล. (2545). *การสกัดและประเมินลักษณะของเซลลูโลสจากขานอ้อย ผักตบชวา และธูปฤาษี*. รายงานวิจัย. คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- เต็มสิริ ไชยเดช. (2550). *การศึกษาการสกัดใยอาหารและแคโรทีนอยด์จากกากแครอทที่เป็นส่วนเหลือทิ้งจากการผลิตน้ำแครอท*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาอาหารและโภชนาการเพื่อการพัฒนา, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ธนิกานต์ สันต์สวัสดิ์. (2549). *การผลิตเส้นใยอาหารผงจากกากส้มเขียวหวาน*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางอาหาร, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ธีรรัตน์ อธิโสภณกุล, ยิ่งวิทย์ เจริญสุวรรณกิจ, และวิชชุณี ปิ่นเกตุ. (2553). ผลของการทดแทนน้ำตาลด้วยไอโซมอลทูลอสต่อคุณภาพของคุกกี้. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 41(3), 9-12.
- นภาพร เขียวชาญ. (2556). *ผลของกระบวนการผลิตต่อสารพฤกษเคมีและสมบัติเชิงหน้าที่ของผงใยอาหารสูงผลิตจากกากมะนาวหลังการคั้นน้ำ*. รายงานวิจัย, ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- นันทิยา ธิกะ และสุกัญญา ตุ่มพูล. (2547). *การพัฒนาสูตรแป้งชูบทอดสูตรเสริมสมุนไพรรและใยอาหารจากเปลือกกล้วยเหลือง*. โปรแกรมมิชชาวิทยาศาสตรและเทคโนโลยีการอาหาร, คณะเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์.
- นิจศิริ เรืองรังษี. (2542). *เครื่องเทศ*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นิธิยา รัตนาปนนท์. (2545). *เคมีอาหาร*. กรุงเทพฯ: โอ. เอส. พริ้นติ้ง เฮาส์.
- นิธิยา รัตนาปนนท์. (2549). *เคมีอาหาร*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- นิรมล อุตมอ่าง และธีรวัฒน์ เทพใจกาศ. (2544). การสกัดเส้นใยจากกากสับปะรด และการใช้ประโยชน์. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 39* (หน้า 395-401), กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- บงกชรัตน์ เนาวกุล. (2553). *การผลิตเส้นใยอาหารจากเปลือกในส้มโอที่ผ่านการลดความขม และการใช้ประโยชน์ในไอศกรีมนม*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ปฐมนาถ มาลัยเลิศ. (2549). *การพัฒนาสูตรคุกกี้ดัดแปลง*. วิทยานิพนธ์คุรุศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี.
- ประเทืองศรี สิ้นชัยศรี. (2547). *พรรณพืชหอมและน้ำมันหอมระเหย*. นนทบุรี: นีออน บুক มีเดีย.
- ปาริชาติ สักกะทานุ. (2540). *คุณค่าอาหารเส้นใยป้องกันบำบัดสารพัดโรค* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์รวมธรรม.
- ปิยะรัชช กุลเมธี, อภิญญา จันทรวัดนะ, หทัยชนก ศรีประไพ และภัทรพร เศรษฐโชติก. (2553). การใช้ประโยชน์จากกากกล้วยเหลืองทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมปัง. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, 20(1), 98-105.

- ปริญานูช อินทร์รอด. (2551). *ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันและปริมาณสารประกอบฟีนอลรวมของส่วนสกัดจากต้นเร่วหอมและว่านสาวหลง*. ปริญญาานิพนธ์, ภาควิชาชีวเคมี, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- พัชรารณณ์ วชิรศิริ, (2550). *การสกัดใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาบัณฑิต, ภาควิชาคหกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เพ็ญญา เกียรติธีรชัย. (2543). *การศึกษาการสกัดเส้นใยอาหารจากเปลือกกล้วยเหลืองและการนำไปใช้ประโยชน์*. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาอาหารและโภชนาการเพื่อการพัฒนา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์ และเบญจวรรณ ธรรมธนาภิรักษ์. (2538). *เส้นใยอาหารกับคุณภาพชีวิต. วารสารคุณค่าเพื่อชีวิต, 2, 63-67.*
- มาลี ชัมศรีสกุล. (2542). *การสกัดเส้นใยอาหารจากกากกล้วยเหลืองเพื่อใช้ในอุตสาหกรรม*. สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร, คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- มาลี ทองคำ (2541). *การพัฒนาคุกกี้ให้มีเส้นใยอาหารสูงและพลังงานต่ำ*. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร, บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- รมณี สงวนดีกุล. (2542). *ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์การอาหาร* (พิมพ์ครั้งที่ 2). นนทบุรี: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- รุ่งรัตน์ เหลืองนทีเทพ. (2540). *พืชเครื่องเทศและสมุนไพร*. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- รุจิรัมย์ มุลตรี. (2544). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้ลดไขมัน*. โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร, คณะเทคโนโลยีเกษตร, สถาบันราชภัฏอุบลราชธานี.
- เสียงชัย จตุรัส. (ม.ป.ป.). *แอลกอฮอล์*. ภาควิชานิติเวชศาสตร์, คณะแพทยศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- วทันยา ลิ้มปะยะยอม, ญัฐฐา เล่ากุลจิตต์, ภรณ์ทิพย์ ดุษฎีลาวัลย์ และเกษรา วามะศิริ. (2557). *องค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันหอมระเหยขิง. วารสารและพัฒนามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 37(3), 297-311.*
- วิจิตร อุดอ้าย, เจริญทอง สิงห์จามรงค์, กนกกานต์ วีระกุล และสัมฤทธิ์ โหม่พวง. (2553). *การสกัดและการใช้ประโยชน์ทางอาหารของใยอาหารและเซลลูโลสจากเปลือกกล้วย. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 42(3), 741-744.*
- วิชัย ตันไพจิตร. (2522). *มากินใยอาหารกันเถอะ. กล้วยหอม, 3, 75-78.*
- วิภา สุโรจนะเมธากุล, ตวิษา โลหะนะ, พะยอม อรรถวิบูลย์กุล และบุญมา นิยมวิทย์. (2542). *การใช้เซลลูโลสผงปั่นแหล่งของใยอาหารในผลิตภัณฑ์ชีฟพอนเค้กและคุกกี้. วารสารอาหาร, 29, 16-27.*
- วีระสิทธิ์ ธรรมวโร, สมบัติ ขอทวีวัฒนา, กมลวรรณ แจ้งชัด และดวงจันทร์ เฮงสวัสดิ์. (2556). *ผลของอุณหภูมิและเวลาในการสกัดต่อกระบวนการผลิตใยอาหารจากแกนสับปรดเพื่อใช้เสริมใยอาหารในซูปเฟือกหอม. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 51 (หน้า 338-345). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.*

- ศิวพร สุขความดี. (2553). *การสกัดและเตรียมใยอาหารชนิดละลายน้ำและไม่ละลายน้ำจากข้าวเพื่อการผลิตขนมปังใยอาหารสูง*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ศิริบุญ พูลสวัสดิ์. (2547). *มะตูม : พืชสารพัดประโยชน์*. โครงการวิทยาศาสตร์ชีวภาพ กรมวิทยาศาสตร์บริการ.
- สถาบันอาหารกระทรวงอุตสาหกรรม, (2557). *พฤติกรรมและทัศนคติของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพของไทย*. วันที่ค้นข้อมูล 25 สิงหาคม 2557, เข้าถึงได้จาก <http://fic.nfi.or.th/broadcast/TMK-Jan-2014-FIC-OIE.pdf>
- สหขวัญ โรจนคุณธรรม และอังคณา จันทรพลพันธ์. (2557). *คุณสมบัติทางเคมี และเคมีกายภาพของเส้นใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากมะม่วงสายพันธุ์แก้วเขียว (Mangifera Indica L.)*. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 333-341.
- สมจิตร สุรพัฒน์. (2544). *ไอศกรีมและผลิตภัณฑ์*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สันทนา อมรไชย. (2537). ใยอาหาร. *วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ*, 42(135), 27-33.
- สิขรินทร์ ก้อนในเมือง และปราณี อ่านเป็รื่อง. (2546). เส้นใยอาหารจากหัวกระเทียม. *วารสารอาหาร*, 33(4), 283-290.
- สิริลักษณ์ มลานิยม. (2545). น้ำมันหอมระเหย สารสกัดจากพืชสมุนไพรไทย. *สมอ สาร. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม*, 28(325), 3-6.
- สุชาดา นกเถื่อน. (2554). *การพัฒนาคุกกี้แป้งข้าวเจ้าที่ลดค่าดัชนีน้ำตาลด้วยสารทดแทนความหวานและเส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอ*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีการพัฒนารผลิตภัณฑ์, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สุชาดา นกเถื่อน และยุทธนา พิมลศิริผล. (2555). *การลดปริมาณไขมันและค่าดัชนีน้ำตาลของคุกกี้ปราศจากกลูเตนโดยใช้เส้นใยอาหารจากเปลือกชั้นในของผลส้มโอ*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุดารัตน์ หอมหวล. (2554). *มะตูม*. วันที่ค้นข้อมูล 30 ตุลาคม 2556, เข้าถึงได้จาก <http://www.thaicrudedrug.com/main.php?action=viewpage&pid=104>
- สุวรรณ แสนทวี, ดวงใจ จงตามกลาง, ทศน์วรรณ สมจันทร์ และปิติพงษ์ ไต่บันลือภพ. (2555). ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด ความสามารถในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของของสมุนไพรบางชนิด. *วารสารแก่นเกษตร*, 40(2), 480-483.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2549). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนมะตูมผงชนิดมี: มผช 169/2546*.
- หยาดฝน ทนงการกิจ. (2557). *การใช้ประโยชน์จากเศษผักผลไม้เหลือทิ้งเพื่อผลิตเป็นใยอาหารผง*. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม*, 9(1), 31-38.
- อดิศักดิ์ เอกโสวรรณ, จารุวรรณ จันทรรัตน์, เอกชัย จารุเนตรวิลาส และสุธาสินี น้อยสุวรรณ. (2541). การลดไขมันในผลิตภัณฑ์เค้กและคุกกี้ด้วยแป้งบุก. *วารสารอาหาร*, 28(2), 111-124.

- อมรรรัตน์ ตั้งสกุล, ณีฐา เลาหกุลจิตต์ และอรพิน เกิดชูชื่น. (2550). การสกัดและการวิเคราะห์สารให้กลิ่นรสของโอเรชินจากหอมหัวใหญ่ (*Allium cepa L.*). *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*. 38(6), 143-146.
- อมรรรัตน์ ถนนแก้ว, นุชรี นาวารัตน์, ยุพาพรรณ ก้อนเรือง, สมฤทัย จิตภักดิ์ดินทร์ และเอวียน บัวตุ่ม. (2551). การพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้เสริมเพคตินจากเปลือกมะนาว. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*, 11(2), 42-55.
- อังคณา คงชวรรณ, ตรี อินทรารัตน์ เวียร์ยันโตโร และอภิรักษ์ เพ็ชรมงคล. (2557). การสกัดเส้นใยอาหารจากเปลือกและแกนสับปะรด. *Graduate Research Conference GRC*, 891-895.
- AACC. (1986). *Approved methods of American Association of Cereal Chemist* (8th ed.). St.Paul., Minisota: American Association of Cereal Chemists.
- AOAC. (2000). *Official Methods of Analysis of A.O.A.C.* (17th ed.). Gaithersburg: The Association of official Analysis Chemists.
- Alakali, J. S., Irtwange, S. V., & Abu, J. O. (2009). Effect of processing methods and storage environment on moisture absorption characteristic of ginger (*zingiber officinale*). *Ajfund online*, 9(5), 1245-1257.
- Ang, J. F. (1991). Water retention capacity and viscosity effect of powdered cellulose. *Journal of Food Science*, 56(6), 1682-1684.
- Aravantinos-Zafirir, G., & Oreopoulou, V., (1992), The effect of nitric acid extraction variables on orange pectin. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 60, 127-129.
- Azeredo, V.B. & Trugo, N.M.F. (2008). Retinol, carotenoids, and tocopherols in the milk of lactating adolescents and relationships with plasma concentrations. *Nutrition*, 24(2), 133-139.
- Baghurst, P. A., Baghurst, K. I., & Record, S. J. (1996). Dietary Fiber, non-starch polysaccharides and resistant starch: A review. *Supplement to Journal Food Australia*, 48(3), S3-S35.
- Betancur-Ancona, D., Peraza-Mercado, G., Moguel-Ordon˜ez, Y., & Fuertes-Blanco, S. (2004). Physicochemical characterization of lima bean (*Phaseolus lunatus*) and Jack bean (*Canavalia ensiformis*) fibrous residues. *Food Chemistry*, 84, 287-295.
- Beuchat, L. R. (1977). Functional and electrophoretic characteristics of succinylated peanut flour properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 25, 258-261.
- Chung, H. J., Cho, A., & Lim, S. T. (2014). Utilization of germinated and heat-moisture treated brown rices in sugar-snap cookies. *LWT - Food Science and*

Technology, 57, 260-266.

- Clark, C. (2004). *The sciences of ice cream*. London: The Royal Society of Chemistry.
- Crizel, T.M. Jablonski, Rios, A.O., Rech, R., & Flôres, S.H. (2013). Dietary fiber from orange byproducts as a potential fat replacer, *LWT - Food Science and Technology*, 53(1), 9-14.
- Cui, W., Eskin, N. A. M., & Biliaderis, C. G. (1993). Chemical and physical properties of Yellow Mustard (*Sinapis alba* L.) mucilage. *Food Chemistry*, 46, 169-176.
- Dabhade, R. S., & Khedkar, D. M. (1980), Studies on Drying and Dehydration of Raw Mangoes for Preparation of Mango Power (amchur), *Indian Food Packer*, 34(3), 3-59.
- Dervisoglu, M., & Yazici, F. (2006). Note. The Effect of Citrus Fiber on Physical, Chemical and Sensory Properties of Ice Cream, *Food Science and Technology International*, 12(2), 159-164.
- Dickinson, E. (1993). Towards more natural emulsifiers. *Trends in Food Science & Technol*, 4(10), 330.
- Durling, N. E., Catchpole, O. J., Grey, J. B., Webby, R. F., Mitchell, K. A., Foo, L. Y., & Perry, N. B. (2007). Extraction of Phenolics and Essential Oil from Dried Sage (*Salvia officinalis*) Using Ethanol-Water Mixture. *Food Chemistry*, 101(4), 1417-1424.
- Eastwood, M. (1997). *Principles of Human Nutrition*. London: Chapman & Hall.
- Elleuch M., Bedigian D., Roiseux O., Besbes S., Blecker C. & Attia H. (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chemistry*. 124(2): 411-412.
- FAO, (1998), *Carbohydrates in Human Nutrition*, Food and Agriculture Organization, Rome.
- Femenia, A., Lefebvre, A. C., Thebaudin, J. Y., Robertson, J. A., & Bourgeois, C. M. (1997). Physical and sensory properties of model foods supplemented with Cauliflower fibre. *Journal of Food Science*, 62(4), 635-639.
- Goni, I., & Martin-Carron, N. (1998). In vitro fermentation and hydration properties of commercial dietary fibre-Rich supplements. *Nutritional Research*, 18(6), 1072-1089.
- Grigelmo-Miguel, N., & Marti'n-Belloso, O. (1999). Comparison of dietary fibre from by-products of processing fruits and greens and from cereals. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 32, 503-508.

- Grigelmo-Miguel, N., & Martin-Belloso, O. (2000). The quality of peach jams stabilized with peach dietary fiber. *European Food Research and Technological*, 221, 336-341.
- Hernandez-Santos, B., Vivar-Vera, M. A., Rodriguez-Miranda, J., Herman-Lara, E., Torruco-Uco, J. G., Acevedo-Vendrell, O., & Martinez-Sanchez, C. E. (2015). Dietary fibre and antioxidant compounds in passion fruit (*Passiflora edulis* var *f. flavicarpa*) peel and depectinised peel waste. *International Journal of Food Science and Technology*, 50, 268-274.
- Hun, C. L., Chen, W., Weng, Y. M., & Tseng, C. Y. (2003). Chemical composition, physical properties, and antioxidant activities of yam flours as affected by different drying methods. *Food chemistry*, 83, 85-92.
- Jimenez-Escrig, A., & Sanchez-Machado, F. J. (2000). Dietary fiber from edible seaweeds: chemical structure, physicochemical properties and effects on cholesterol metabolism. *Nursing Research*, 20, 585-598.
- Jindal, M., Kumar, V., Rana, V., & Tiwary, A. K. (2013). Aegle marmelos fruit pectin for food and pharmaceuticals: Physico-chemical, rheological and functional performance. *Carbohydrate Polymers*, 93, 386-394.
- Karagozler, A. A., Erdag, B., Emer, Y. C., & Uygun, D. A. (2008). Antioxidant activities and proline content of leaf extracts from *Dorystoechas hastate*. *Food Chemistry*, 111, 400-407.
- Larrauri, J. A. (1999). New approaches in the preparation of high dietary fibre powder from fruit by-products. *Trends in Food Science and Technology*, 10, 3-8.
- Lario, Y., Sendra, E., García-Pérez, J., Fuentes, C., Sayas-Barberá, E., Fernández-López, J., & Pérez-Alvarez, J. A. (2004). Preparation of high dietary fiber powder from lemon juice by-products. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5, 113-117.
- Lertphatcharanon, S. (2007). *The extraction and application of dietary fiber from by-product of fresh ground turmeric (Curcuma longa Linn)*, Master's thesis, Faculty of graduate studies, Mahidol university.
- López-Vargas, J. H., Fernández-López, J., Pérez-Álvarez, J. A., & Viuda-Martos, M. (2013). Chemical, Physico-chemical, technological, antibacterial and antioxidant properties of dietary fiber powder obtained from yellow passion fruit (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*) co-products. *Food Research International*, 51, 756-763.
- Mancebo, C. M., Picón, J., & Gómez, M. (2015). Effect of flour properties on the quality characteristics of gluten free sugar-snap cookies. *LWT - Food Science*

and Technology, 64, 264-269.

- Marín, F.R., Soler-Rivas, C., Benavente-García, O., Castillo, J. and Perez-Alvarez, J.A. (2007). By-products from different citrus processes as a source of customized functional fibres. *Food Chemistry*, 100, 736–741.
- Marshall, R. T., & Arbuckle, W. S. (1996). *Ice cream* (5th ed.). New York: Chapman & Hall.
- Martínez-Cervera, S., Salvador, A., Muguerza, B., Moulay, L., & Fiszman S. M. (2011). Cocoa fibre and its application as a fat replacer in chocolate muffins. *LWT – Food Science and Technology*, 44, 729-736.
- McMahon, E. F., & Dawson, L. E. (1975). Effect of salt and phosphates on some foundational characteristics of hand and mechanically deboned turkey meat. *Poultry Science*, 55, 573-578.
- Moussa, A., Noureaine, D., Hammoudi, S. M., Saad, A., Bourabeh, A., & Houari, H. (2012). Additive potential of ginger starch on antitungal potency of honey against *Candida albicans*. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 2(4), 253-255.
- Nelson, A. I., Steinberg, M. P., & Wei, L. S. (1976). Illinois process for preparation of sotmilk. *Journal of Food Science*, 41, 57-61.
- Naowakul, B., Wirjantoro, T. I., & Phianmongkhol, A. (2013). Effects of speed and time of wet milling on properties of dietary fiber powder from pomelo's albedo. *Food and Applied Bioscience Journal*, 1(1), 34-48.
- Pagan, J., Ibarz, A., Llorca, M., & Coll, L., (1999), Quality of industrial pectin extracted from peach pomace at different pH and temperature. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79, 1038.
- Pareyt, B., Talhaoui, F., Kerckhofs, G., Brijs, K., Goesaert, H., Wevers, M. & Delcour, J. (2009). The role of sugar and fat in sugar-snap cookies: Structural and textural properties. *Journal of Food Engineering*. 90. 400-408.
- Peerajit, P., Chiewchan, N., & Devahastin, S. (2012). Effects of pretreatment methods on health-related functional properties of high dietary fiber powder from lime residues. *Food Chemistry*, 132, 1891-1898.
- Prakongpan, T., Nitithamyong, A., & Luangpituksa, P. (2002). Extraction and application of dietary fiber and cellulose from pineapple cores. *Journal of Food science*, 67, 1308-1313.
- Prosky, L., & Devries, J. W. (1992). *Controlling dietary fiber in food products*. New York: AVI Book.

- Raghavarao, K. S. M. S., Raghavendra, S. N., & Rastogi, N. K. (2008). Potential of coconut dietary fibre. *Indian Coconut Journal*, October, 2-8.
- Riaz, K. (1993). *Low-calorie food ingredients*. London: Blackie Academic & Professional.
- Saura-Calixto, F. (1998). Antioxidant dietary fiber product: A new concept and a potential food ingredient. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 4303-4306.
- Sciarini, L. S., Bockstaele, F. V., Nusantoro, B., Pérez, G. T., & Dewettinck, K. (2013). Properties of sugar-snap cookie as influenced by lauric-based shortenings. *Journal of Cereal Science*, 58, 234-240.
- Sittisuanjick, K., Chottanom, P., & Chinnawong, K. (2012). Effect of preparation methods on antioxidant capacity, total phenolic content and p of dietary fiber powder from sweet orange meal. *Journal of Agricultural Science*, 43, 233-236.
- Steertegem. B. V., Pareyt. B., Brijs. K., & Delcour. J. A. (2014). The role of gluten proteins in production and quality of a yeast leavened sugar and fat rich wheat based food model system. *Food Research International*, 62, 991-997.
- Thumthanarak, B. (1996). *Study on dietary fiber sources in Thailand and its applicant*. Unpublished master's thesis, Mahidol University.
- Umeh, S. O., Emelugo, B. N., Bassey, E. E., Nwobi, S. C., & Achufusi, J. N. (2013). Investigation of the anti-microbial and Analgesic Activities of crude Ethanolic Extract of Ginger (*Zingiber officinale*) Rhizome. *International Journal of Agriculture and Biosciences*, 2(3), 132-135.
- Wang, M., Vlieta, T., & Hamera, R. (2004). How gluten properties are affected by pentosans. *Journal of Cereal Science*, 39, 395-402.
- Wongmetinee, T. (2007). *Extraction of dietary fiber from lemon grass residue and its application in foods*. Master's thesis., Faculty of graduate studies, Mahidol university.
- Wuttipalakov, P., Srichumpuang, W., & Chiewchan, N. (2009). Effects of pretreatment and drying on composition and bitterness of high dietary fiber powder from lime residues, *Drying Technology*, 27, 133-142.
- Yalegama, L. L. W. C., Karunaratne, D. N., Sivakanesan, R., & Jayasekara, C. (2013). Chemical and functional properties of fibre concentrates obtained from by-products of coconut kernel. *Food Chemistry*, 141, 124-130.

Yanniotis, S., Petraki, A., & Soumpasi, E. (2007). Effect of pectin and wheat fibers on quality attributes of extruded cornstarch. *Journal of Food Engineering*, *80*, 594–599.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

ก-1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (AOAC, 2000)

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

อุปกรณ์

1. ภาชนะอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น
2. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)
3. โถดูดความชื้น (Desiccator)
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

การวิเคราะห์

1. อบภาชนะสำหรับหาความชื้นในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2-3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้นหลักจากนั้นชั่งน้ำหนัก
2. ทำเช่นเดียวกับข้อ 1 ชั่งจนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้ง 2 ครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
3. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนอย่างละเอียดประมาณ 1-2 กรัม ใส่ในภาชนะหาความชื้นที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว
4. นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 5-6 ชั่วโมง
5. นำออกจากตู้อบใส่โถดูดความชื้น หลังจากนั้นชั่งน้ำหนัก
6. อบซ้ำอีกครั้งประมาณ 30 นาทีและทำเช่นเดิมจนได้ผลต่างของน้ำหนักสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 กรัม
7. คำนวณหาปริมาณความชื้นจากสูตร

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น (\% ฐานเปียก)} = \frac{W_2 - W_3}{W_1} \times 100$$

เมื่อ W_1 = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

W_2 = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

W_3 = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

$$\text{ปริมาณความชื้น (\% ฐานแห้ง)} = \frac{W_2 - W_3}{W_1} \times 100$$

เมื่อ W_1 = น้ำหนักตัวอย่าง - น้ำหนักน้ำในตัวอย่าง (กรัม)

W_2 = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

W_4 = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์การย่อยโปรตีน ประกอบด้วยเตาเผาและเครื่องดักจับไอกรด
2. อุปกรณ์กลั่นโปรตีน
3. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร
4. ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
5. ปิเปต (แบบกระเปราะ) ขนาด 5 และ 10 มิลลิลิตร
6. บิวเรตขนาด 25 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. สารผสมระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟต ($\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) และโพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4)

อัตราส่วน 1:10

2. กรดซัลฟูริกเข้มข้น
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 40 %
4. กรดบอริกเข้มข้น 4 %
5. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 N
6. อินดิเคเตอร์เป็นสารผสมระหว่างเมทิลเรด เทรทีนบลู และโบรโมคีซอลกรีน

การวิเคราะห์

ขั้นตอนการย่อย

1. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอน 1-3 กรัมใส่ลงในหลอดย่อยโปรตีน
2. ใส่สารผสมระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟตและโพแทสเซียมซัลเฟต ปริมาณ 5 กรัมและเติมกรดซัลฟูริกปริมาณ 20 มิลลิลิตร
3. วางหลอดย่อยในตัวอย่างย่อยแล้วประกอบสายยางระหว่างฝาครอบ ขวดใส่ต่างและเครื่องดักจับไอกรดให้เรียบร้อย
4. เปิดสวิตซ์เครื่องดักจับไอกรดและเตาย่อยแล้วตั้งอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที จากนั้นปรับอุณหภูมิเป็น 400 องศาเซลเซียส ย่อยต่ออีก 60 นาที จนได้สารละลายใส
5. ปล่อยให้เย็น

ขั้นตอนการกลั่นและไตเตรท

1. จัดอุปกรณ์กลั่น แล้วเปิดสวิตซ์ให้ความร้อนและเปิดน้ำหล่อเย็นเครื่องควบแน่น
2. นำขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุกรดบอริก (เข้มข้น 4%) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร
3. เติมอินดิเคเตอร์แล้วไปรองรับของเหลวที่กลั่นได้ โดยให้ส่วนปลายของอุปกรณ์ควบแน่นจุ่มลงในสารละลายกรด
4. เติมน้ำกลั่นลงในหลอดย่อย 20 มิลลิลิตร จากนั้นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ทำปฏิกิริยาเกินพอสังเกตให้สารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลขุ่น
5. กลั่นให้ได้ของเหลวอยู่ในระดับ 125 มิลลิลิตร

6. ไตเตรทสารละลายที่กลั่นได้ด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.1 N จนสารละลายเป็นสีม่วง

7. คำนวณหาปริมาณโปรตีนจากสูตร

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณโปรตีน (\% ฐานเปียก)} = \frac{(A-B) \times N \times 1.4007 \times F}{W_1}$$

เมื่อ A คือ ปริมาณกรดที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B คือ ปริมาณกรดที่ใช้ไตเตรทกับ blank (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของกรด (N)

F คือ ค่าแฟคเตอร์ (5.70)

W_1 คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

$$\text{ปริมาณโปรตีน (\% ฐานเปียก)} = \frac{(A-B) \times N \times 1.4007 \times F}{W_1}$$

เมื่อ A คือ ปริมาณกรดที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B คือ ปริมาณกรดที่ใช้ไตเตรทกับ blank (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของกรด (N)

F คือ ค่าแฟคเตอร์ (5.70)

W_1 คือ น้ำหนักตัวอย่าง - น้ำหนักน้ำในตัวอย่าง (กรัม)

การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

อุปกรณ์

1. Soxhlet apparatus
2. หลอดใส่ตัวอย่าง
3. สำลี
4. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)
5. เครื่องชั่งไฟฟ้า
6. โถดูดความชื้น (Desiccator)

สารเคมี

ปิโตรเลียมอีเทอร์หรือเฮกเซน

การวิเคราะห์

1. ใส่ขวดกลมสำหรับการหาปริมาณไขมัน ซึ่งมีขนาดความจุ 250 มิลลิลิตร ในตู้อบลมร้อนทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนักที่แน่นอน (W_3)

2. ชั่งตัวอย่างบนกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนัก 3-5 กรัม ห่อให้มีดขีดใส่ลงในหลอดสำหรับใส่ตัวอย่าง

3. นำหลอดตัวอย่างใส่ลงใน Soxhlet เติมสารตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ ลงในขวดหาไขมันประมาณ 150 มิลลิลิตร แล้ววางบนเตา

4. ประกอบอุปกรณ์ชุดกลั่นไขมัน พร้อมทั้งเปิดน้ำหล่ออุปกรณ์ควบแน่นและเปิดสวิทช์ให้ความร้อน
5. ปรับความร้อนให้หยดของสารทำละลายกลั่นตัวจากอุปกรณ์ควบแน่นด้วยอัตรา 150 หยดต่อนาที
6. เมื่อครบ 6 ชั่วโมงแล้ว นำหลอดใส่ตัวอย่างออกจาก Soxhlet ทิ้งให้ตัวทำละลายไหลจาก Soxhlet ลงในขวดก้นกลมจนหมด
7. ระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยแบบสูญญากาศ
8. นำขวดหาไขมันไปอบที่ตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสจนแห้ง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น
9. ชั่งน้ำหนักแล้วอบซ้ำนาน 30 นาที จนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม (W_2)
10. คำนวณหาปริมาณไขมันจากสูตร

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไขมัน (\% ฐานเปียก)} = \frac{W_2 - W_3}{W_1} \times 100$$

- เมื่อ W_1 = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)
 W_2 = น้ำหนักปีกเกอร์ที่มีไขมัน (กรัม)
 W_3 = น้ำหนักปีกเกอร์ที่ล้างไขมันออกแล้ว (กรัม)

$$\text{ปริมาณไขมัน (\% ฐานแห้ง)} = \frac{W_2 - W_3}{W_1} \times 100$$

- เมื่อ W_1 = น้ำหนักตัวอย่าง - น้ำหนักน้ำในตัวอย่าง (กรัม)
 W_2 = น้ำหนักปีกเกอร์ที่มีไขมัน (กรัม)
 W_3 = น้ำหนักปีกเกอร์ที่ล้างไขมันออกแล้ว (กรัม)

การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า

เผาครุชชีเบล (Crucible) ที่อุณหภูมิประมาณ 550 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอนของครุชชีเบล จากนั้นชั่งตัวอย่างประมาณ 2-3 กรัมใส่ลงในครุชชีเบล เเผาไหม้ตัวอย่างโดยใช้ Hot plate จนไม่มีควันดำเสียก่อน แล้วจึงนำไปเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 550 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้เถ้าสีขาว นำไปทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่งหาน้ำหนักเถ้า คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของเถ้าทั้งหมด ดังนี้

$$\text{เถ้าทั้งหมด (\% ฐานเปียก)} = \frac{W_2}{W_1} \times 100$$

- เมื่อ W_1 = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)
 W_2 = น้ำหนักเถ้า (กรัม)

$$\text{เถ้าทั้งหมด (\% ฐานแห้ง)} = \frac{W_2}{W_1} \times 100$$

เมื่อ W_1 = น้ำหนักตัวอย่าง - น้ำหนักน้ำในตัวอย่าง (กรัม)

W_2 = น้ำหนักเถ้า (กรัม)

การวิเคราะห์ปริมาณกากใย (Crude fiber)

อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) Memmert รุ่น ULE 560 ประเทศเยอรมนี
2. เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดละเอียด 4 ตำแหน่ง (Checkweigher) Sartorius รุ่น AC 2115-00

ประเทศเยอรมนี

3. โถดูดความชื้น (Desiccator)
4. ปีกเกอร์สำหรับรีฟริกซ์ ขนาด 600 มิลลิลิตร
5. ตะแกรงสแตนเลส ขนาด 200 เมช (Stainless steel)
6. ถ้วยครุชีเบิล (Crucible)
7. เตาเผา (Muffle furnace) Carbolite รุ่น RWF 12/23 ประเทศอังกฤษ
8. เครื่องไฮโดรไลซิส
9. เครื่องสกัดไขมัน (Soxhthrem) Gerhardt รุ่น 306 SK ประเทศนอร์เวย์
10. กระดาษกรองปราศจากไขมัน

สารเคมี

1. สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.26 นอร์มัล (0.13 โมลาร์) (Sulfuric 96%) บริษัท Lab Scan ประเทศไทย เตรียมโดยตวงกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ปริมาตร 4.86 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรจน 100 มิลลิลิตร
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.3 นอร์มัล (Sodium Hydroxide) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี เตรียมโดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 12 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรจนได้ 100 มิลลิลิตร
3. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 1 เปอร์เซนต์ (ปริมาตรต่อปริมาตร) (Hydrochloric acid 37%) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี เตรียมโดยตวงกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นและปรับปริมาตรจน 100 มิลลิลิตร
4. แอลกอฮอล์ 95% (ปริมาตรต่อปริมาตร) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี

การวิเคราะห์

1. อบแห้งตัวอย่างด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น
2. นำตัวอย่างไปสกัดไขมันด้วยเครื่องสกัดไขมัน
3. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่ผ่านการสกัดแล้วประมาณ 2.7-3 กรัม ใส่ลงปีกเกอร์สำหรับรีฟริกซ์ขนาด 600 มิลลิลิตร

4. เติมน้ำสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.26 นอร์มัล (0.13 โมลาร์) จำนวน 200 มิลลิลิตรลงบีกเกอร์และนำไปรีฟร็อกซ์เป็นเวลา 30 นาที
5. กรองสารละลายขณะร้อน ด้วยตะแกรงขนาด 200 เมช และล้างส่วนที่เหลือด้วยน้ำกลั่นร้อนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส
6. เทตัวอย่างกลับสู่บีกเกอร์และเติมน้ำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.3 นอร์มัล (0.3 โมลาร์) จำนวน 200 มิลลิลิตร ลงบีกเกอร์และนำไปรีฟร็อกซ์ เวลา 30 นาที
7. ทำเช่นเดียวกับข้อ 3)
8. ล้างส่วนที่เหลือด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 1 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตรต่อปริมาตร) 50 มิลลิลิตร แล้วล้างด้วยน้ำร้อนผ่านตะแกรง
9. ล้างส่วนที่เหลือลงในถ้วยครุซีเบล (ที่ผ่านการอบและชั่งน้ำหนักแล้ว= W_2)
10. เทส่วนที่เหลือลงในถ้วยครุซีเบล (ที่ผ่านการอบและชั่งน้ำหนักแล้ว)
11. นำถ้วยครุซีเบลไปเผาด้วยเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง
12. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างหลังเผาหรือน้ำหนักแก้ว ($=W_3$)

การคำนวณ

$$\text{เส้นใยหยาบ (\% ฐานเปียก)} = \frac{(W_2 - W_3) \times 100}{W_1}$$

- เมื่อ W_1 = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)
 W_2 = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบแห้งจนน้ำหนักคงที่ (กรัม)
 W_3 = น้ำหนักตัวอย่างหลังเผาหรือน้ำหนักแก้ว (กรัม)

$$\text{เส้นใยหยาบ (\% ฐานแห้ง)} = \frac{(W_2 - W_3) \times 100}{W_1}$$

- เมื่อ W_1 = น้ำหนักตัวอย่าง - น้ำหนักน้ำในตัวอย่าง (กรัม)
 W_2 = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบแห้งจนน้ำหนักคงที่ (กรัม)
 W_3 = น้ำหนักตัวอย่างหลังเผาหรือน้ำหนักแก้ว (กรัม)

การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

โดยคำนวณจากการนำผลรวมขององค์ประกอบอื่นๆ หักออกจาก 100 จากสมการดังนี้

$$\text{คาร์โบไฮเดรต (\% ฐานเปียก)} = 100 - (\text{โปรตีน} + \text{ไขมัน} + \text{เถ้า} + \text{กากใย} + \text{ความชื้น}) \text{ (กรัม)}$$

หมายเหตุ: โปรตีน ไขมัน เถ้า และเส้นใยหยาบ คัดจาก % ฐานเปียก

$$\text{คาร์โบไฮเดรต (\% ฐานแห้ง)} = 100 - (\text{โปรตีน} + \text{ไขมัน} + \text{เถ้า} + \text{กากใย}) \text{ (กรัม)}$$

หมายเหตุ: โปรตีน ไขมัน เถ้า และเส้นใยหยาบ คัดจาก % ฐานแห้ง

ก-2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดโดยวิธี Lane and Eynon volumetric method (AOAC, 2000)

สารเคมี

1 สารละลาย Carrez I : ละลายซิงค์แอสซีเตตไดไฮเดรต จำนวน 21.9 กรัม ในน้ำกลั่นที่มีกรดแอสติกจำนวน 3 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร

2 สารละลาย Carrez II : ละลายโพแทสเซียมเฟอร์โรไซยาไนด์ จำนวน 10.6 กรัมด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร

3 สารละลาย Fehling solution A : ละลายคอปเปอร์ซัลเฟต จำนวน 69.278 กรัมด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาตรให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร

4 สารละลาย Fehling solution B : ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จำนวน 100 กรัมและโซเดียมโพแทสเซียมตาร์เทรต จำนวน 346 กรัม ด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาตรให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร

5 สารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้น 1% : ละลายเมทิลีนบลูจำนวน 1 กรัม ด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร

6 สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 6.34 N : ผสมกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 37% จำนวน 563 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาตรให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร

7 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5 N : ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จำนวน 400 กรัม ด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาตรให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร

การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

1 ชั่งตัวอย่าง (ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำตาลในอาหาร) ใส่บีกเกอร์ขนาด 50 ml. เติมน้ำกลั่นลงไปเล็กน้อย เพื่อบดตัวอย่างให้เป็นเนื้อเดียวกัน

2 เติม clearing agent (Carrez I, II ลงไปอย่างละ 5 ml.) เขย่าให้เข้ากัน ปรับปริมาตรให้ครบ 100 ml. (หรือ 250 ml.) ด้วยน้ำกลั่น ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนประมาณ 20-30 นาที

3 กรองสารละลายที่ได้ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนอินเวอร์ชัน

การหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนการทำอินเวอร์ชัน (Before inversion, D₁)

1 Preliminary titration

1.1) นำสารละลายที่กรองได้ใส่บิวเรตปลายงอ สำหรับหาน้ำตาลโดยวิธีนี้ ไล่ฟองอากาศโดยเฉพาะตรงบริเวณส่วนปลายแท่งแก้วให้หมด

1.2) ปิเปตสารละลายผสม Fehling's solution จำนวน 10 ml. (ใช้อย่างละ 5 ml.) หรือ 25 ml. ใส่ในฟลาสก์เติมลูกแก้วเล็กๆ (glass beads) ลงไป 8-10 เม็ด เพื่อกันการเดือดจนล้นออกมา

1.3) นำไปต้มจนเดือด แล้วจึงนำไปไตเตรตกับสารละลายน้ำตาลตัวอย่าง จนสีน้ำเงินจางลง ให้หยดเมทิลีนบลูลงไป 2-3 หยด ไตเตรตจนสีฟ้าหายไปเหลือแต่ตะกอนสีส้มแดงของ Cu₂O บันทึกปริมาตรของสารละลายตัวอย่างที่ใช้ ทำ 2 ซ้ำ หาค่าเฉลี่ย

2 Accurate titration

2.1) เมื่อได้ความเข้มข้นและปริมาตรสารละลายตัวอย่าง (15-25 ml.) ให้ทำซ้ำเหมือน Preliminary โดยเติมสารละลายน้ำตาลตัวอย่างจากบิวเรตลงในฟลาสก์ทันที (ให้น้อยกว่าปริมาตรที่จะใช้ไตเตรตในช่วง Preliminary ประมาณ 2-3 ml.)

2.2) ต้มให้เดือด หยดเมธิลีนบลูลงไป 2-3 หยด ไตเตรตต่อให้เสร็จภายใน 3 นาที ตั้งแต่เริ่มเดือดจนสารละลายเปลี่ยนจากสีฟ้าเป็นตะกอนสีส้มแดง

2.3) ทำ 2 ซ้ำ หาค่าเฉลี่ย นำปริมาตรของสารละลายน้ำตาลที่ได้ปหาปริมาณน้ำตาลในรูปของ invert sugar (mg/ 100 ml.) จากตารางมาตรฐาน ก-2 คำนวณหาปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำตาลรีดิวซ์ ก่อนอินเวอร์ชัน (before inversion, D_1)

$$\% \text{ reducing sugar } (D_1) = \frac{\text{sugar content (mg/ 100 mL)} \times V}{1000 \times W \times D}$$

V = volume made up (ml.)

W = sample weight (g)

D = dilution factor

* โดยเทียบค่าระหว่างปริมาตรของสารละลายน้ำตาลตัวอย่างที่ใช้ในการไตเตรต(ml.) กับปริมาณน้ำตาลในรูปของ invert sugar (mg/ 100 ml.) โดยวิธีการทำ Interpolate

การหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์หลังการทำอินเวอร์ชัน (After inversion, D_2)

1 นำสารละลายตัวอย่างที่เหลือจากการหาน้ำตาลก่อนอินเวอร์ชัน (หรืออาจเตรียมใหม่ก็ได้) ทำการตกตะกอนให้ใสโดยใช้ clearing agent ก่อน ปรับปริมาตรให้ครบ 100 ml.

2 นำสารละลายที่กรองได้มาประมาณ 10-20 ml. เติม HCl 6.34 N จำนวน 10 ml. นำไปอุ่นใน water bath 70 °C นาน 10 นาที ทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว ปรับให้เป็นกลางด้วย NaOH 5 N ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 100 ml. (หรือ 250 ml.)

3 นำไปไตเตรตกับสารละลาย Fehling ผสม (10 หรือ 25 ml.) จดปริมาตรของสารละลายตัวอย่างที่ใช้ ทำ 2 ซ้ำ หาค่าเฉลี่ย

4 นำค่าที่ได้ไปเทียบหาปริมาณน้ำตาล ในรูป invert sugar จากตาราง คำนวณหาปริมาณในรูปของน้ำตาลรีดิวซ์ภายหลังอินเวอร์ชัน (After inversion, D_2) ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่มีอยู่ในตัวอย่างอาหารรวมกับน้ำตาลอินเวอร์ส

5 นำค่าปริมาณน้ำตาลที่ได้ (ทั้งค่า D_1 และ D_2) มาคำนวณหาปริมาณน้ำตาล ดังนี้

$$\text{น้ำตาลซูโครส (S, \%)} = (D_2 - D_1) \times 0.95$$

$$\text{น้ำตาลทั้งหมด (\%)} = D_1 + S$$

เมื่อ D_1 = ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมดก่อนทำอินเวอร์ชัน (%)

D_2 = ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมดหลังทำอินเวอร์ชัน (%)

S = ปริมาณน้ำตาลซูโครส (%)

ตารางมาตรฐานเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลที่ใช้ในการไทเทรตกับสารละลาย Fehling solution

สารละลาย น้ำตาลที่ ใช้ไทเทรต (ml)	ปริมาณน้ำตาล (mg/100ml) ชนิดต่างๆ เมื่อใช้สารละลายเฟลลิงผสม 10 ml และ 25 ml									
	Dextrose		Invert Sugar		Fructose		Hydrate Lactose		Hydrate Maltose	
	10 ml	25 ml	10 ml	25 ml	10 ml	25 ml	10 ml	25 ml	10 ml	25 ml
15	327.0	801.0	336.0	824.0	348.0	849.0	455.0	1150.0	542.0	1388.0
16	307.0	751.0	316.0	772.0	327.0	796.0	426.0	1076.0	507.0	1298.0
17	829.0	707.0	298.0	727.0	308.0	750.0	401.0	1010.0	477.0	1220.0
18	274.0	668.0	282.0	687.0	291.0	708.0	378.0	952.0	450.0	1151.0
19	260.0	633.0	267.0	651.0	276.0	672.0	358.0	900.0	426.0	1088.0
20	27.44	601.5	254.5	619.0	262.5	638.0	340.0	854.4	404.0	1032.3
21	235.8	572.9	242.9	589.5	250.6	608.1	323.8	812.4	384.3	981.6
22	225.5	547.3	231.8	563.2	239.6	580.6	309.1	774.5	336.4	935.5
23	216.1	523.6	222.2	538.7	229.1	555.5	295.4	740.0	350.0	893.2
24	207.4	501.9	213.3	516.7	220.0	532.5	282.9	708.5	335.0	854.5
25	199.3	482.0	204.8	496.0	211.3	511.5	271.6	679.5	321.5	819.0
26	191.8	463.7	197.4	477.3	203.3	491.9	261.0	652.5	308.8	786.3
27	182.9	446.8	190.4	459.7	196.0	474.0	251.1	627.9	291.0	756.0
28	178.5	431.1	183.7	443.6	189.3	457.2	242.1	604.8	286.1	727.9
29	172.5	416.4	177.6	428.3	183.1	441.6	233.8	583.3	276.0	701.7
30	167.0	402.7	171.7	414.3	177.2	427.0	226.0	563.3	266.6	677.3
31	161.8	389.7	166.3	401.0	171.7	413.3	261.7	544.0	257.8	654.3
32	156.9	377.6	161.2	388.7	166.5	400.6	211.9	527.4	249.7	633.1
33	152.4	366.3	156.6	377.0	161.0	388.5	205.6	511.0	241.7	613.0
34	148.0	355.6	152.2	366.2	157.0	377.3	199.6	459.6	234.6	594.3
35	143.9	345.6	147.9	355.8	152.6	366.7	194.0	481.1	227.6	576.5
36	140.0	336.3	143.9	346.1	148.6	356.6	188.6	467.3	221.1	559.7
37	136.4	327.4	140.2	336.8	144.7	347.0	183.5	454.3	215.0	543.9
38	132.9	318.8	136.6	328.1	140.9	338.1	178.7	442.1	209.2	528.9
39	129.6	310.7	133.3	319.7	137.7	329.6	174.1	430.5	203.8	514.7

ก-3 การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงจากวิธี Hun et al., 2003)

อุปกรณ์

1. หลอดทดลอง
2. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
3. ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร
4. กรวยกรองพร้อมกระดาษกรองสาร No.2
5. ปิเปต ขนาด 10 มิลลิลิตร

6. ไมโครปิเปต
7. หลอด vival
8. เครื่องปั่นผสม (Vortex mixture Heidolph รุ่น REAX 2000 ประเทศเยอรมนี)
9. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectronic รุ่น Genesys 20 ประเทศอเมริกา)

สารเคมี

1. เอทานอล (Ethanol : $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) 95% บริษัท Lascan ประเทศไทย
2. โฟลีน ซีโอแคลทู รีเอเจนต์ (Folin-ciocalteu reagent)(Garlo ERBA) (Sigma; USA)
3. เมทานอล (methanol) AR grade 99.8 %
4. กรดแกลลิก (Gallic acid : $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_5$) 95% (Fluka, Switzerland)
5. โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate anhydrous : Na_2CO_3) (Ajax Finechem, Australia)

Australia)

การเตรียมสารเคมี

1. เตรียมโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 20% โดยชั่งโซเดียมคาร์บอเนต 20 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น จากนั้นปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร
2. เตรียมสารโฟลีน ซีโอแคลทู โดยปิเปตโฟลีน ซีโอแคลทู 2 มิลลิลิตร ผสมน้ำ 20 มิลลิลิตร จากนั้นเก็บในขวดสีชา

การเตรียมตัวอย่างเส้นใย

เตรียมตัวอย่างเส้นใยให้ได้ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยชั่งตัวอย่างเส้นใยผง 5 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมเมทานอล 80 มิลลิลิตร เก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด กรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง No.2 จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยเมทานอล

การเตรียมตัวอย่างสารสกัดอาหาร

กรณีไอศกรีม นำไอศกรีมปริมาณ 40 กรัม มาให้ความร้อนด้วยเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 95 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที เพื่อลดปริมาณความชื้นออกจากไอศกรีม ได้เป็นไอศกรีมเหลวเข้มข้น (สารเหนียว) นำสารเหนียวมาเตรียมให้ได้ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยชั่งตัวอย่างสารเหนียว 5 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมเมทานอล AR grade 80 มิลลิลิตร เก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด กรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง No.2 จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยเมทานอล

กรณีคุกกี้ นำมาบดละเอียดแล้วโดยเครื่องบด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช ชั่งตัวอย่างคุกกี้บดละเอียด 5 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมเมทานอล 80 มิลลิลิตร เก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบตามกำหนด กรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง NO.1 จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยเมทานอล

การทำกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

1. เตรียมกรดแกลลิก 100 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร โดยชั่งกรดแกลลิก 0.01 กรัม ละลายด้วยเอทานอล (ใส่เอทานอลแค่ละลายกรดให้หมด) เติมน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร
2. เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกโดยผสมกรดแกลลิกและน้ำกลั่นให้มีความ

เข้มข้นแตกต่างกัน 8 ระดับ 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 และ 35 ไมโครกรัม/มิลลิลิตรโดยเตรียมจากสารละลายกรดแกลลิกในข้อ 1) ซึ่งเจือจางโดยใช้สูตร $C_1V_1 = C_2V_2$ เตรียม 25 มิลลิลิตร

3. ปิเปตตัวอย่างสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก แต่ละความเข้มข้นมา 1 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 7 มิลลิลิตร เติม โพลิน ซีโอแคลทู 0.5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที

4. เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 20% ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นผสม และตั้งทิ้งไว้อีก 2 ชั่วโมง โดยสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน

5. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

6. พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของกรดแกลลิก(แกน X) และค่าการดูดกลืนแสง (แกน Y) ค่าความเข้มข้นของกรดแกลลิก

การวิเคราะห์

1. ปิเปตตัวอย่างที่เตรียมไว้มา 1 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 7 มิลลิลิตร เติม โพลิน ซีโอแคลทู 0.5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที

2. เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 20% ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นผสม และตั้งทิ้งไว้อีก 2 ชั่วโมง โดยสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน

3. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

4. คำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากการแทนค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการวัดตัวอย่าง (ค่า Y) ในสมการเส้นตรงที่ได้ จะได้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในรูปกรดแกลลิก (ค่า X) จากนั้นนำมาคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

ก-4 การวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (ดัดแปลงจากวิธีของ Karagozler et al., 2008 และวิธีของ Hun et al, 2003)

อุปกรณ์

- 1.ปิเปต ชนิด Measuring ขนาด 1 มิลลิลิตร
- 2.ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร
- 3.หลอดทดลอง
- 4.เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (SPECTRONIC GENESYSTH 5, USA)

สารเคมี

1. ดีพีพีเอช (2-diphenyl-1-picrylhydrazyl: $C_{18}H_{12}N_5O_6$) 90% บริษัท Sigma ประเทศเยอรมัน
2. เอทานอล (Ethanol: CH_3CH_2OH) บริษัท Labscan ประเทศไทย

การเตรียมสารเคมี

เตรียมสารละลาย DPPH ทันทีก่อนใช้ให้มีความเข้มข้น 0.1 mM ปริมาตร 50 มิลลิลิตร โดยชั่ง DPPH 0.004 กรัม ละลายในเอทานอล 95 % แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร ด้วยเอทานอล เก็บในภาชนะปิดสนิทป้องกันแสงจนกว่าจะนำมาวิเคราะห์

การวิเคราะห์

1. เตรียมสารสกัดเส้นใยเหมือนกับที่วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยนำซังตัวอย่างสารสกัดเส้นใยจากขิงผง 5 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมนีแทนอล AR grade 80 มิลลิลิตร เก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด กรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง NO.2 จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วย AR grade

2. ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 3 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมล 1 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ในที่มืดประมาณ 30 นาที สำหรับตัวอย่าง blank โดยทำเช่นเดียวกัน แต่ใช้เนแทนอล 95 % แทนสารละลายตัวอย่าง

3. นำหลอดทดลองที่เป็นสารละลายตัวอย่างและ blank ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

การคำนวณ

$$\% \text{ Inhibition} = [(A_0 - A_1) / A_0] \times 100$$

กำหนดให้ A_0 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของ blank

A_1 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

ก-5 การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (AOAC, 2000)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่งไฟฟ้าสำหรับงานวิเคราะห์ (Electronic analytical balance)
2. เครื่องวัดค่าความเป็นกรดต่าง (pH-meter)
3. โถดูดความชื้น
4. เต้าเผาไฟฟ้า
5. ตู้บลมร้อนไฟฟ้า
6. อ่างน้ำแบบควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า
7. ชุดกรอง suction flask
8. เทอร์โมมิเตอร์
9. ปีกเกอร์ ขนาด 250 และ 1000 ml.
10. แท่งแก้วคนสาร
11. ซ้อนตักสาร
12. กรวยแยก
13. อลูมิเนียมฟอยด์
14. Hot plate
15. เครื่องกวนสารละลาย (Magnetic Stirrer)
16. แท่งแม่เหล็กกวนสาร (Magnetic Bar)
17. Moisture can
18. ไมโครปิเปต

19. ซ้อนตักสาร
20. ปีเปต
21. กระจกชลิตมัส
22. กระจกกรองเบอร์ 1

สารเคมีและเอนไซม์

1. สารละลายเอทานอลความเข้มข้น 95%
2. อะซีโตน
3. สารละลายทริสบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.05 M pH 8.2
4. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.561 M
5. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 M
6. สารละลาย Tris (hydroxymethyl) aminomethane ความเข้มข้น 0.1 M
7. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 5%
8. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5%
9. เอนไซม์อัลฟาอะมัยเลส (Megazyme International Ireland)
10. เอนไซม์โปรตีเอส (Megazyme International Ireland)
11. เอนไซม์อะมัยโลกูโคซิเดส

การเตรียมกระจกกรอง

นำกระจกกรองมาเก็บในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 5 นาที และชั่งน้ำหนัก

การเตรียมสารละลาย

การเตรียมสารละลายสารละลายทริสไฮโดรคลอไรด์บัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.05 M pH 8.2 โดยผสม 500 มิลลิลิตร ของ 0.1 M Tris กับ 220.9 มิลลิลิตรของ 0.1 M HCl แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร ตรวจวัดพีเอชด้วยเครื่องวัดความเป็นกรดต่าง

วิธีวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

1. ชั่งตัวอย่างเส้นใยอาหารผง 1 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ โดยน้ำหนักตัวอย่างของแต่ละบีกเกอร์ควรต่างกันไม่เกิน 20 มิลลิกรัม (ในการวิเคราะห์ให้ทำ blank ควบคู่กับการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วย)

2. เติมสารละลายทริสไฮโดรคลอไรด์บัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.06 M pH 8.2 จำนวน 40 มิลลิลิตร ลงในแต่ละบีกเกอร์ใส่แท่งแม่เหล็กกวนสาร และคนให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนสารละลาย จนละลาย

3. เติมเอนไซม์อัลฟาอะมัยเลสจำนวน 50 ไมโครลิตร ด้วยไมโครปีเปต ลงในแต่ละบีกเกอร์ ปิดบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยด์ แล้วนำไปต้มในอ่างน้ำแบบควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 98-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยเขย่าบีกเกอร์เบาๆตลอดเวลา จากนั้นทำให้สารละลายเย็นจนถึงอุณหภูมิ 60°C ขูดตัวอย่างที่ติดตามขอบบีกเกอร์ด้วยซ้อนตักสาร แล้วล้างน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร

4. เติมเอนไซม์โปรตีเอส จำนวน 100 มิลลิลิตร ด้วยไมโครปีเปต ลงในแต่ละบีกเกอร์ ปิดบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยด์ แล้วนำไปต้มในอ่างน้ำแบบควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 60 องศา

เซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยเขย่าปิกเกอร์เบาๆตลอดเวลา แล้ววัดและปรับพีเอชด้วยกระดาษลิตมัสให้ได้ 4.5 โดยเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.561 M จำนวน 5 มิลลิลิตร ปรับพีเอชต่อด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 5% และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5% จนได้พีเอช 4.5 หรือประมาณ 4.1-4.8

5. เติมเอนไซม์อะมัยโลกลูโคซิเดส จำนวน 200 ไมโครลิตร ด้วยไมโครปิเปต ลงในแต่ละปิกเกอร์ ปิดปิกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยด์ แล้วนำไปต้มในอ่างน้ำแบบควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยเขย่าปิกเกอร์เบาๆตลอดเวลา

6. นำสารละลายในปิกเกอร์มากรองด้วยกระดาษกรองโดยชุดกรอง suction flask จากนั้นล้าง residue ด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 2 ครั้ง ครั้งละ 10 มิลลิลิตร จากนั้นเก็บส่วนของเหลวใน suction flask ไว้เพื่อนำมาวิเคราะห์เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำต่อ

7. ล้างส่วนของ residue ต่อด้วยสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 95% จำนวน 2 ครั้ง ครั้งละ 10 มิลลิลิตร และล้างด้วยอะซิโตน จำนวน 2 ครั้ง ครั้งละ 10 มิลลิลิตร

8. นำกระดาษกรองที่มี residue ไปอบในตู้อบลมร้อนไฟฟ้าอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนัก residue

9. ชูต residue จากกระดาษกรองเพื่อนำไปหาปริมาณโปรตีน และปริมาณเถ้า

วิธีคำนวณ

$$\%IDF = [(weight\ residue_{IDF} - P_{IDF} - A_{IDF}) / weight\ sample] \times 100$$

เมื่อ	IDF	=	เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ
	weight residue _{IDF}	=	น้ำหนักตะกอนเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ
	weight sample	=	น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น
	A _{IDF}	=	ปริมาณเถ้าในตะกอนเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ
	P _{IDF}	=	ปริมาณโปรตีนในตะกอนเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

* กรณีการรายงานโดยเทียบกับน้ำหนักฐานแห้ง โดยคิด

$$weight\ sample = \text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักของน้ำในตัวอย่าง}$$

วิธีวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ

- ทำตามวิธีวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำในขั้นตอนที่ 1-6
- นำส่วนของเหลวที่อยู่ใน suction flask เทใส่ปิกเกอร์ แล้วเติมสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 95% อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ปริมาณในอัตราส่วน 4:1 ของปริมาณของเหลวที่ได้ จากนั้นทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- นำสารละลายในปิกเกอร์มากรองด้วยกระดาษกรองโดยชุดกรอง suction flask
- นำกระดาษกรองที่มี residue ไปอบในตู้อบลมร้อนไฟฟ้าอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนัก residue
- นำ residue จากกระดาษกรองเพื่อนำไปหาปริมาณโปรตีน และปริมาณเถ้า

วิธีคำนวณ

$$\%SDF = [(weight\ residue_{SDF} - P_{SDF} - A_{SDF}) / weight\ sample] \times 100$$

เมื่อ	SDF	= เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ
	weight residue _{SDF}	= น้ำหนักตะกอนเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ
	weight sample	= น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น
	A _{SDF}	= ปริมาณเถ้าในตะกอนเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ
	P _{SDF}	= ปริมาณโปรตีนในตะกอนเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ

* กรณีการรายงานโดยเทียบกับน้ำหนักฐานแห้ง โดยคิด

$$\text{weight sample} = \text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักของน้ำในตัวอย่าง}$$

วิธีวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด

การหาปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดหาได้จากผลรวมระหว่างปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ

$$\%TDF = \%IDF + \%SDF$$

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

ข-1 การวิเคราะห์ค่าสี

วิเคราะห์ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) Hunter LAB รุ่น Minican XP Plus โดยทำการทดลองตามขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าสีดังนี้

วิธีวิเคราะห์

1. ก่อนทำการวัดสีทุกครั้ง ต้องทำการปรับมาตรฐานของเครื่อง (Calibration) โดยการวางหัววัดทาบบนแผ่นสำหรับ Calibrate สีขาวแล้วกดปุ่ม Measure ซึ่งเครื่องวัดสีจะบันทึกข้อมูลค่าสีขาวของแผ่นสำหรับ Calibrate

2. นำตัวอย่างใส่ภาชนะสำหรับวัดค่าสีโดยใส่ให้เต็มภาชนะไม่ให้มีช่องที่แสงผ่านได้ขณะวัดตัวอย่างให้ใช้แผ่นสีดำปิดตัวอย่าง

3. ทำการวัดสีของตัวอย่างด้วยระบบ CIE ซึ่งวัดค่า L^* a^* และ b^* ซึ่งบอกค่าดังนี้

L^* คือ ความสว่าง โดยสีดำมีค่าเท่ากับ 0 และสีขาวมีค่าเท่ากับ 100

a^* คือ ค่าความเป็นสีแดงและสีเขียว โดยค่าบวกแสดงความเป็นสีแดง และค่าลบแสดงความเป็นสีเขียว

b^* คือ ค่าความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน โดยค่าบวกแสดงความเป็นสีเหลือง และค่าลบแสดงความเป็นสีน้ำเงิน

การคำนวณค่า ΔE

ค่า ΔE หมายถึง ค่าความแตกต่างของค่าสี งานวิจัยนี้เป็นค่าความแตกต่างของสีของเส้นใยผงที่ผ่านการสกัดเปรียบเทียบกับเส้นใยอาหารผงที่ไม่ผ่านการสกัดคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

$$\text{เมื่อ } \Delta L^* = L^*_{\text{sample}} - L^*_{\text{standard}}$$

$$\Delta a^* = a^*_{\text{sample}} - a^*_{\text{standard}}$$

$$\Delta b^* = b^*_{\text{sample}} - b^*_{\text{standard}}$$

ข-2 การวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity)

(Mcmahon and Dawson, 1975)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 0.5 กรัมใส่ในหลอดสำหรับนำไปปั่นเหวี่ยงขนาด 50 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำ 50 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำสารละลายไปวางบนเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 350 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 30 นาที
3. นำสารละลายมาให้ความร้อนในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที
4. นำสารละลายไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 3500 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

5. หลังการปั่นเหวี่ยงจะเกิดการแยกส่วนของเหลวใสด้านบนกับตะกอนตัวอย่าง ให้รินส่วนของเหลวใสทิ้งไป และเอียงหลอดเพื่อให้เกิดการแยกส่วนชัดเจนขึ้น ใช้หลอดหยดดูดของเหลวออก ชั่งน้ำหนักที่เหลือในหลอด

การคำนวณ

$$\text{ความสามารถในการอุ้มน้ำ (g water/g sample)} = \frac{\text{น้ำหนักตะกอน(g)} - \text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (g)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (g)}}$$

ข-3 การวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (Oil Binding Capacity) (Beuchat, 1977)

การวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 0.5 กรัม ใส่ในหลอดสำหรับนำไปปั่นเหวี่ยงขนาด 50 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำมันถั่วเหลือง 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน แล้วนำสารละลายไปวางบนเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 350 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. นำสารละลายไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 10000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
4. หลังการปั่นเหวี่ยงจะเกิดการแยกส่วนของเหลวใสด้านบนกับตะกอนตัวอย่าง ให้รินส่วนของเหลวใสทิ้งไป และเอียงหลอดเพื่อให้เกิดการแยกส่วนชัดเจนขึ้น ใช้หลอดหยดดูดของเหลวออก
5. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่เหลือในหลอด คำนวณหาความสามารถในการอุ้มน้ำมัน

การคำนวณ

$$\text{ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (g water/g sample)} = \frac{\text{น้ำหนักตะกอน (g)} - \text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (g)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (g)}}$$

ข-4 การวิเคราะห์ความสามารถในการพองตัว (Swelling Capacity) (ดุซฎี สุริยพรรณพงศ์ และคณะ, 2545)

การวิเคราะห์

โดยชั่งตัวอย่าง 1 กรัม เติมน้ำกลั่น 15 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที หลังจากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที แยกของเหลวออกและชั่งน้ำหนักตัวอย่าง

การคำนวณ

$$\text{ความสามารถในการพองตัว (g water/g sample)} = \frac{\text{น้ำหนักตะกอน(g)} - \text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (g)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (g)}}$$

ข-5 การวิเคราะห์ความสามารถในการการเกิดอิมัลชัน (Emulsion capacity)

(ดัดแปลงจากวิธีของ Cui et al, 1993)

การวิเคราะห์

ปีเปตสารละลายเส้นใยอาหารผงจากกากชিংความเข้มข้น 2 % ปริมาณ 9 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติมน้ำมันข้าวโพด 1 มิลลิลิตร วางบนเครื่องผสม เป็นเวลา 5 นาที วัดความสูงของชั้นในหลอดทดลอง คำนวณการเกิดอิมัลชันตามสมการ

การคำนวณ

$$\text{Emulsion capacity (\%)} = \frac{\text{ความสูงของอิมัลชัน}}{\text{ความสูงของชั้นของเหลวทั้งหมด}} \times 100$$

ข-6 การขึ้นฟู (Over run) (Marshall and Arbuckle, 1996)

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างไอศกรีมเหลวหลังผ่านการบ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่บรรจุเต็มด้วยถ้วยพลาสติกขนาด 3 ออนซ์ บันทึกน้ำหนักไอศกรีมเหลว นำไอศกรีมเหลวทั้งหมดไปปั่นด้วยเครื่องปั่นไอศกรีมจนกระทั่งไอศกรีมขึ้นฟู ชั่งน้ำหนักไอศกรีมที่บรรจุพอดีด้วยไอศกรีมใบเติม พยายามอย่าให้เกิดช่องว่างและห้ามกดอัด บันทึกน้ำหนัก นำข้อมูลไปคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟูดังสมการ

การคำนวณ

$$\text{การขึ้นฟู (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักไอศกรีมเหลว} - \text{น้ำหนักไอศกรีม}}{\text{น้ำหนักไอศกรีม}} \times 100$$

ข-7 การวัดอัตราการแผ่ขยายของคุกกี้ (AACC, 1986)

การวิเคราะห์

1. เตรียมคุกกี้ที่ได้จากสูตรที่ใช้ในการทดลอง แล้วทิ้งให้คุกกี้เย็นที่อุณหภูมิห้อง (30) นาที
2. วัดความกว้างของคุกกี้ โดยวางเรียงต่อกัน 8 ชิ้น
3. วัดความกว้างจากการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของคุกกี้ทั้ง 8 ชิ้น (w) แล้วหมุนคุกกี้ทำมุม 90 องศา โดยการหมุนทั้ง 8 ชิ้น จากนั้นทำการวัดซ้ำ โดยการหมุนและวัดซ้ำแล้วบันทึกข้อมูลทั้ง 4 ครั้ง
4. วัดความสูงของคุกกี้โดย วางคุกกี้เรียงซ้อนกันสูง 8 ชิ้น
5. วัดความสูงของคุกกี้ทั้ง 8 ชิ้น (T) แล้วสลับตำแหน่งคุกกี้ทั้ง 8 ชิ้น จากนั้นวัดซ้ำทั้ง 4 ครั้ง
6. คำนวณอัตราการแผ่ขยายจากสูตร

การคำนวณ

$$\text{อัตราการแผ่ขยาย (Spread ratio)} = \frac{\text{ความกว้าง (W) cm}}{\text{ความสูง (T) cm}}$$

ข-8 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสคุกกี้

วิเคราะห์ค่าสี ด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) Stable Micro System รุ่น TA- XT2 วางขึ้นคุกกี้เหนือแท่นวัดระยะระยะให้หัววัดเคลื่อนลงมาสัมผัสบริเวณกึ่งกลางของคุกกี้ โดยใช้หัววัดชนิด THREE POINT BEND RIG (HPD23PB) ตั้งพารามิเตอร์ดังนี้

Pre Test Speed	2.0 mm/s
Test Speed	0.5
Post Test Speed	10.0
Distance	5.0
Trigger Type	Auto – 20 g
Data Acquisition rate	400 pps
Accessory	3-Point Bending Rig (HDP3PB) using 25 Kg cell

ภาคผนวก ค

การประเมินทางประสาทสัมผัส

ค-1 การประเมินทางประสาทสัมผัสวิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA) การเตรียมตัวอย่างเส้นใยอาหารผง

นำเส้นใยอาหารผงจากกากขิงบรรจุในภาชนะสำหรับเสนอตัวอย่างให้ผู้ทดสอบ กำหนดปริมาณเส้นใยอาหารผงที่ผู้ทดสอบดำเนินการชิมประมาณ 0.5 กรัม โดยให้ใช้ช้อนคนกาแฟเป็นอุปกรณ์การตัก (ขนาดช้อนกว้างประมาณ 1 เซนติเมตร ยาวประมาณ 13 เซนติเมตร และลึกประมาณ 0.3 เซนติเมตร) โดยตักเส้นใยอาหารผงแห้งให้พอดีกับช้อนคนกาแฟดังกล่าว

การเตรียมตัวอย่างสารละลายของเส้นใยอาหาร

นำเส้นใยอาหารผงมาชงในน้ำร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส กำหนดอัตราส่วนเส้นใยอาหารผงแห้ง: น้ำร้อน เท่ากับ 1 : 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (w/v) เทผสมและกวนให้เข้ากันเป็นเวลา 1 นาที บรรจุในภาชนะสำหรับเสนอตัวอย่างให้ผู้ทดสอบ กำหนดปริมาณสารละลายที่เสนอประมาณ 10 มิลลิลิตร

แบบประเมินผลทางประสาทสัมผัสวิธี QDA

วันที่ทดสอบผลิตภัณฑ์ คุณก็ชูการ์สแนป

คำแนะนำ กรุณาทดสอบตัวอย่างจากซ้ายไปขวาและขีดเครื่องหมายลงบนเส้นของแต่ละคุณลักษณะตามความรู้สึกที่ท่านรู้สึกได้จากการทดสอบตัวอย่าง

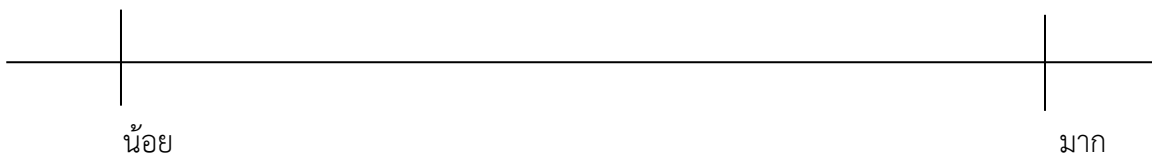
สีเหลืองอมน้ำตาล



กลิ่นขิง



กลิ่นรสขิง



รสขม



ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

ค-2 แบบประเมินผลทางประสาทสัมผัส วิธี 9-point hedonic scale

วันที่ทดสอบ.....ผลิตภัณฑ์ ไอศกรีม

คำชี้แจง กรุณาทดสอบไอศกรีมจากซ้ายไปขวาและให้คะแนนในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ตามเกณฑ์คะแนนดังนี้ (บ้วนปากก่อนชิมและระหว่างตัวอย่าง)

- กำหนดให้
- 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด
 - 2 หมายถึง ไม่ชอบมาก
 - 3 หมายถึง ไม่ชอบปานกลาง
 - 4 หมายถึง ไม่ชอบเล็กน้อย
 - 5 หมายถึง เฉยๆ
 - 6 หมายถึง ชอบเล็กน้อย
 - 7 หมายถึง ชอบปานกลาง
 - 8 หมายถึง ชอบมาก
 - 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด

ลักษณะปรากฏ	.....	.....	.....	.....
สี	.....	.....	.....	.....
กลิ่นรส	.....	.....	.....	.....
รสชาติ	.....	.....	.....	.....
เนื้อสัมผัส	.....	.....	.....	.....
ความรู้สึกตกค้าง	.....	.....	.....	.....
ความชอบโดยรวม	.....	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

วันที่ทดสอบ.....ผลิตภัณฑ์ คุณก็ชูการ์สแนป

คำชี้แจง กรุณาทดสอบคุณก็ชูการ์สแนปจากซ้ายไปขวา และให้คะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สีที่ผิวคุกกี้ สีเนื้อในคุกกี้ กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัสในปาก และความชอบ โดยรวม ตามเกณฑ์คะแนนดังนี้ (บ้วนปากก่อนชิมและระหว่างตัวอย่าง)

- กำหนดให้
- 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด
 - 2 หมายถึง ไม่ชอบมาก
 - 3 หมายถึง ไม่ชอบปานกลาง
 - 4 หมายถึง ไม่ชอบเล็กน้อย
 - 5 หมายถึง เฉยๆ
 - 6 หมายถึง ชอบเล็กน้อย
 - 7 หมายถึง ชอบปานกลาง
 - 8 หมายถึง ชอบมาก
 - 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด

ลักษณะปรากฏ	.....	.....	.....	.....
สีที่ผิวคุกกี้	.....	.....	.....	.....
สีเนื้อในคุกกี้	.....	.....	.....	.....
กลิ่น	.....	.....	.....	.....
กลิ่นรส	.....	.....	.....	.....
รสชาติ	.....	.....	.....	.....
เนื้อสัมผัสในปาก	.....	.....	.....	.....
ความชอบโดยรวม	.....	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....