บทที่ 2
เอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 ส้มเขียวหวาน

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ส้มเขียวหวาน มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Citrus reticulata* Blanco อยู่ในวงศ์ Rutaceae ส้มเขียวหวานมีชื่อสามัญว่า mandarin หรือ tangerine ส้มเขียวหวานเป็นไม้ผลในกลุ่มไม้ผลกึ่งร้อน มีลักษณะดังนี้ (จุฑามาศ, 2547; ธวัชชัย, 2542; สถาบันวิจัยพืชสวน, 2540)

ก) ลำต้น เป็นพุ่มสูง 4-6 เมตร ทรงพุ่มขนาดปานกลาง ลำต้นไม่มีหนาม กิ่งแก่มีสีเขียวเข้ม ไม่มีขน มีรอยแผลเป็นของใบและต่อมน้ำมันกระจายอยู่ทั่วไป

ข) ใบ เป็นใบเดี่ยว รูปไข่ค่อนข้างยาว ผิวหลังใบเป็นมันสีเขียวเข้ม ผิวท้องใบสีเขียวอมเหลือง ขอบใบเรียบ และมีต่อมน้ำมันกระจายอยู่เต็มทั้งใบ

ค) ดอก เป็นดอกสมบูรณ์เพศ มีขนาดเล็ก กลีบดอกมีสีขาวและมีต่อมน้ำมันกระจายอยู่

ง) ผล มีรูปร่างกลมแบน ผิวเปลือกสีเขียว เขียวอมเหลืองหรือส้มอมเหลืองจนถึงแดงอมส้ม ลักษณะของผิวเปลือกจะเรียบ มีต่อมน้ำมันขนาดเล็กกระจายอยู่ตามผิวเปลือกค่อนข้างถี่ เปลือกอ่อนบาง ล่อน ปอกง่าย ภายในหนึ่งผลประกอบด้วยกลีบผลจำนวน 10-15 กลีบ (ทวีศักดิ์, 2534) กลีบผลแยกออกจากกันได้ง่าย แต่ละกลีบมีผนังบาง เนื้อผลสีส้ม มีลักษณะนิ่มและฉ่ำน้ำ รสหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย ขนาดของผลแตกต่างกันตั้งแต่เส้นผ่านศูนย์กลาง 5-8 เซนติเมตร ยาว 4-7 เซนติเมตร ติดผลในลักษณะหัวห้อยลง

โครงสร้างภายในของผลส้มเขียวหวานแสดงดังภาพ 2.1 ซึ่งประกอบด้วย

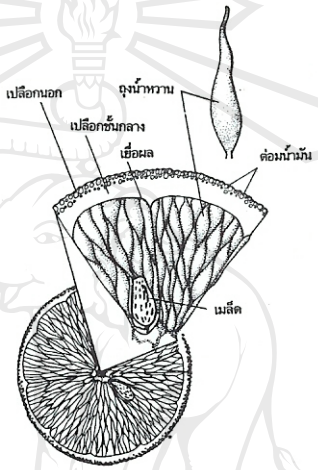
ก) เปลือกนอก (exocarp หรือ flavedo) เป็นชั้นของเนื้อเยื่อพาเรนไคมาซึ่งอุดมไปด้วยเม็ดคลอโรพลาสต์และต่อมน้ำมัน

ข) เปลือกชั้นกลาง (mesocarp หรือ albedo) เป็นส่วนที่อยู่ระหว่างเปลือกนอกกับเยื่อผล เป็นเนื้อเยื่อสีขาวลักษณะคล้ายฟองน้ำ ประกอบด้วยน้ำร้อยละ 75-80 มีองค์ประกอบหลักอื่น ๆ คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง คือ น้ำตาลร้อยละ 44 เซลลูโลสร้อยละ 33 และสารประกอบจำพวกเพคตินร้อยละ 20

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค) เยื่อผล (endocarp) เป็นส่วนที่อยู่ถัดจากเปลือกนอกและเปลือกชั้นกลาง ยึดติดกับผนังเปลือกด้วยส่วนที่ยื่นออกมาลักษณะคล้ายเส้นใย และห่อหุ้มเนื้อผลซึ่งประกอบด้วยถุงน้ำหวานจำนวนมาก

ง) เมล็ด รูปร่างแบบรูปไข่หัวกลับ เนื้อเยื่อส่วนสะสมอาหารมีสีเขียวอ่อนหรือสีเขียวอมเหลือง จำนวนเมล็ดมีมากน้อยแตกต่างกันในแต่ละกลีบ (Braverman, 1949; Reuthen *et al.*, 1968; จุฑามาศ, 2547)



ภาพ 2.1 ภาพตัดขวางของส้มเขียวหวาน (จุฑามาศ, 2547)

2.1.2 พันธุ์ส้มเขียวหวาน

พันธุ์ส้มเขียวหวานที่นิยมปลูกกันในพื้นที่ประเทศไทย

ก) ส้มเขียวหวานแหลมทอง ส้มเขียวหวานชนิดนี้มีลำต้นขนาดใหญ่ ออกดอกติดผลค่อนข้างยาก ผลมีขนาดปานกลาง มีรสชาติหวานจัด แม้ผลยังมีอายุไม่ถึงกำหนดการเก็บเกี่ยวก็มีรสชาติไม่เปรี้ยวมาก ปัจจุบันความนิยมปลูกส้มชนิดนี้ลดลงเนื่องจากปัญหาเรื่องการจัดการผลผลิตซึ่งทำได้ยากกว่า

ข) ส้มเขียวหวานชนิดผิวเรียบ ส้มพันธุ์นี้มีชื่อเรียกอีกอย่างว่าส้มบางล่าง หรือส้มบางมด เป็นชนิดที่นิยมปลูกกันมากที่สุดเนื่องจากเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตดก ผลมีขนาดปานกลาง ทรงผลค่อนข้างกลมถึงแป้นเล็กน้อย ก้นผลราบหรือเว้าเล็กน้อย เปลือกบาง ผิวสีเหลืองเข้มหรือเขียวอมเหลือง สีผิวสม่ำเสมอ เนื้อผลสีส้ม ฉ่ำน้ำ รสชาติหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ค) ส้มเขียวหวานชนิดเปลือกค่อนข้างหนา หรือที่เรียกกันว่าส้มบางบน ส้มชนิดนี้มีผลขนาดค่อนข้างใหญ่ ทรงผลค่อนข้างกลม ผลมีจุกนูนเล็กน้อย เปลือกค่อนข้างหนา ผิวมีสีเขียวหรือเขียวอมเหลือง เนื้อผลสีส้ม รสชาติหวานปานกลาง (เปรมปรี, 2544)

ง) ส้มฟรีมองต์ ส้มพันธุ์นี้มีผลค่อนข้างใหญ่ ทรงผลค่อนข้างแป้นเล็กน้อย มีเปลือกค่อนข้างหนาและเหนียว ผิวเปลือกขรุขระและมีสีส้มเข้มสะดุดตา เนื้อผลค่อนข้างแน่น รสชาติหวานอมเปรี้ยวโดยออกรสเปรี้ยวมากกว่าจึงตรงกับรสนิยมของผู้บริโภคชาวต่างประเทศ ส่วนตลาดในประเทศค่อนข้างจำกัดกว่า

จ) ส้มโชกุน หรือส้มสายน้ำผึ้ง หรือส้มเพชรยะลา เป็นพันธุ์ส้มเขียวหวานที่กำลังได้รับความนิยมและเป็นที่รู้จักกันมากขึ้นในปัจจุบัน ผลเมื่อแก่จัดจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองส้ม ยกเว้นส้มที่ปลูกในเขตภาคใต้จะมีสีผิวออกเขียวมาก เปลือกล่อน และมีกลิ่นหอม เนื้อแน่น ชานนิ่มมาก รสชาติหวานแหลมอมเปรี้ยวเล็กน้อย

2.1.3 สถานการณ์การปลูกส้มเขียวหวานในประเทศไทย

ส้มเขียวหวานจัดเป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญของโลกและของประเทศไทยด้วย พื้นที่ปลูกส้มเขียวหวานในประเทศไทยมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากเดิมที่เคยมีแหล่งปลูกสำคัญในภาคกลาง ปัจจุบันมีการขยายพื้นที่ปลูกไปในทุกภาคของประเทศ โดยเฉพาะภาคเหนือ (เปรมปรี, 2544) การปลูกส้มเขียวหวานของจังหวัดเชียงใหม่ ปี 2547/48 พบว่ามีพื้นที่ปลูกส้มเขียวหวานทั้งหมด 76,762 ไร่ เพิ่มขึ้นจากปีก่อนหน้านี้ 4,714 ไร่ ปัจจุบันมีพื้นที่ปลูกส้มเขียวหวานในจังหวัดเชียงใหม่ 18 อำเภอ อำเภอที่ปลูกมากได้แก่ ฝาง แม่อาย ไชยปราการและเชียงดาว พันธุ์ของส้มเขียวหวานที่นิยมปลูก ได้แก่ พันธุ์สายน้ำผึ้ง และพันธุ์ฟรีมองต์ โดยพันธุ์สายน้ำผึ้งเป็นพันธุ์ที่มีปริมาณการปลูกสูงสุด

ในปีการผลิต 2547/48 คาดว่าจังหวัดเชียงใหม่จะมีผลผลิตส้มเขียวหวานประมาณ 200,000 ตัน โดยที่ผลผลิตส้มเขียวหวานจะเริ่มเก็บเกี่ยวและออกสู่ตลาดตั้งแต่ประมาณปลายเดือนตุลาคมเป็นต้นไป ผลผลิตจะออกมากในช่วงปลายเดือนมกราคม และสิ้นสุดประมาณเดือนพฤษภาคม จะมีส้มเขียวหวานนอกฤดูบ้างเป็นบางส่วนที่บังคับให้ส้มออกดอกและติดผลได้ตลอดทั้งปี

ส้มเขียวหวานที่ผลิตได้ในแต่ละปีจะใช้บริโภคภายในประเทศและส่งออกจำหน่ายไปยังต่างประเทศ ผลผลิตส้มเขียวหวานใช้บริโภคสดร้อยละ 70 ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 30 จะนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ ตลาดส้มเขียวหวานส่วนใหญ่เป็นตลาดภายในประเทศ ส่วนที่เหลือส่งออก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ขายไปยังประเทศใกล้เคียง เช่น มาเลเซีย สิงคโปร์ ฮ่องกง บรูไน (สำนักงานเกษตรจังหวัดเชียงใหม่, 2548)

2.1.4 คุณค่าทางโภชนาการของส้มเขียวหวาน

ส้มเขียวหวานเป็นผลไม้ที่เป็นที่นิยมบริโภคกันทั่วไปทั้งในรูปผลสดและน้ำส้มคั้น ส้มเขียวหวานเป็นผลไม้ที่ให้คุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งแร่ธาตุและวิตามิน นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งของเส้นใยอาหารที่ดีด้วย คุณค่าทางโภชนาการของส้มเขียวหวานแสดงดังตาราง 2.1

ตาราง 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของส้มเขียวหวานต่อน้ำหนัก 100 กรัม

สารอาหาร	ปริมาณ
พลังงาน (หน่วยคาลอรี)	24
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	8.0
โปรตีน (กรัม)	0.4
ไขมัน (กรัม)	0.1
เส้นใย (กรัม)	0.2
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	33
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	17
เหล็ก (มิลลิกรัม)	0.2
วิตามินเอ (หน่วยสากล)	50
วิตามินบีหนึ่ง (มิลลิกรัม)	0.11
วิตามินบีสอง (มิลลิกรัม)	0.02
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	20
ไนอาซิน (มิลลิกรัม)	0.2

ที่มา กระยาทิพย์ (2537)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.5 องค์ประกอบทางเคมีของกากของพืชตระกูลส้ม

กากของพืชตระกูลส้มที่ได้จากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำส้มมีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ น้ำ น้ำตาล เส้นใยอาหาร กรดอินทรีย์ กรดอะมิโนและโปรตีน แร่ธาตุ ไขมัน ฟลาโวนอยด์และวิตามิน ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้จะพบในปริมาณแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของพืชตระกูลส้มและส่วนของพืชตระกูลส้ม (Fernández-Lopez *et al.*, 2004) Marin *et al.*(2005) ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของส่วนต่าง ๆ ของของเหลือจากพืชตระกูลส้ม พบว่าในแต่ละส่วนและชนิดของของเหลือจากพืชตระกูลส้มมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตาราง 2.2

ตาราง 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของของเหลือจากพืชตระกูลส้ม

ส่วนของพืชตระกูลส้ม (Citrus kind)	องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)					
	เถ้า (Ash)	น้ำตาล (Sugar)	ไขมัน (Fat)	โปรตีน (Protein)	ฟลาโวนอยด์ (Flavonoid)	เส้นใยอาหาร (Dietary fiber)
Grapefruit (whole)	8.09	8.02	0.52	12.51	3.04	52.25
Satsuma (peel)	5.05	10.07	1.59	7.50	5.09	53.16
Lemon (peel)	2.52	6.52	1.51	7.00	12.54	51.71
Lemon (pulp)	2.54	9.01	3.09	8.72	4.52	77.35
Sweet orange (peel)	2.56	9.57	4.00	9.06	4.50	78.66
Sweet orange (pulp)	2.55	6.04	1.52	6.55	11.00	51.67

ที่มา ดัดแปลงจาก Marin *et al.* (2005)

2.1.6 สารให้รสขมในส้มเขียวหวาน

สารให้รสขมในส้มเขียวหวานพบมากในส่วนของเปลือก (peel) กากไม่รวมเปลือก (rag) แกน (core) และเมล็ด (seed) มากกว่าในส่วนของน้ำส้ม และจะให้รสขมมากขึ้นเมื่อมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สารให้รสขมในส้มเขียวหวานมีหลายชนิด สารให้รสขมที่สำคัญมี 2 ชนิด คือ นารินจิน และลิโมนิน

ก) นารินจิน (naringin) เป็นสารให้รสขมซึ่งมีคุณสมบัติละลายได้เล็กน้อยในน้ำเย็น แต่ละลายได้ดีในน้ำอุ่น ให้รสขมอย่างรุนแรง นารินจินพบมากในส่วนเปลือกชั้นกลาง (albedo)

ข) ลิโมนิน (limonin) เป็นสารให้รสขมที่ละลายได้บ้างในน้ำ และละลายได้มากขึ้นในน้ำเดือด ลิโมนินมีความขมมากกว่านารินจินถึง 20 เท่า ลิโมนินพบมากในส่วนเมล็ด

วิธีการลดรสขมสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การสกัดด้วยน้ำ การใช้เอนไซม์นารินจิเนส (naringinase) และการกรองผ่านเรซิน (Nagy *et al.*, 1993)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2 เส้นใยอาหาร

2.2.1 ความหมายของเส้นใยอาหาร

เส้นใยอาหาร หมายถึง ส่วนของเซลล์พืชที่ไม่สามารถถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารและไม่ถูกดูดซึมในบริเวณลำไส้เล็กของมนุษย์ (Prosky and Devries, 1992; McCleary and Prosky, 2001) ในพืชแต่ละชนิดจะมีปริมาณและชนิดของเส้นใยอาหารแตกต่างกัน เส้นใยอาหารประกอบด้วยสารประกอบที่มีโครงสร้างเป็นคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่ไม่ใช่แป้ง (non-starch polysaccharides) ได้แก่ เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) กัม (gum) เพคติน (pectin) และมิวซิเลจส์ (mucilage) และส่วนประกอบที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต ได้แก่ ลิกนิน (lignin) (Baghurst *et al*., 1996; Eastwood, 1997; Spiller, 2001)

2.2.2 ประเภทของเส้นใยอาหาร

เส้นใยอาหารแบ่งตามความสามารถในการละลายน้ำได้เป็น 2 ชนิด คือ เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

2.2.2.1 เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ

เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (soluble dietary fiber) คือ เส้นใยอาหารส่วนที่มีคุณสมบัติในการละลายน้ำ เส้นใยอาหารชนิดนี้มักจะปนอยู่กับส่วนที่เป็นแป้งในพืช ได้แก่ กัม เพคติน และมิวซิเลจส์ เส้นใยอาหารชนิดนี้สามารถรวมตัวกับน้ำได้ในปริมาณมาก เกิดการกระจายโครงสร้างที่อัดแน่นทำให้สามารถดูดซับสารได้หลายอย่าง เช่น น้ำตาล คอเลสเตอรอล และเกลือแร่บางชนิด เป็นต้น (ดวงจันทร์, 2545) ดังนั้นจึงมีผลชะลอและลดการดูดซึมของสารอาหารดังกล่าวเข้าสู่ร่างกาย (สุรัตน์, 2534) ตัวอย่างของเส้นใยอาหารชนิดที่ละลายน้ำได้ มีดังนี้

ก) กัมและมิวซิเลจส์

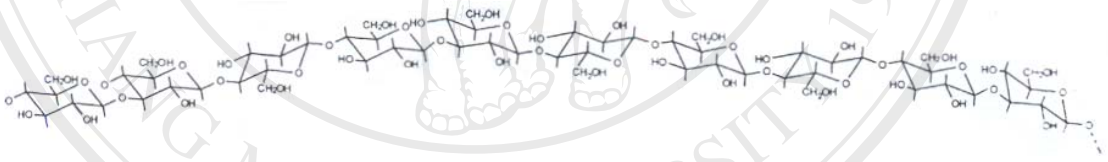
กัมและมิวซิเลจส์ ที่ใช้ในอาหารได้มาจากหลายแหล่งทั้งได้จากธรรมชาติ และเป็นสารสังเคราะห์ (Dziezak, 1991) กัมเป็นสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ที่เป็นพอลิเมอร์สายยาวและมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

น้ำหนักโมเลกุลสูง (นิธิยา, 2545) เมื่อจับกับน้ำจะอุ้มน้ำและเกิดความข้นหนืด ได้สารที่คล้ายวุ้น (ปาริชาติ, 2540) ให้คุณสมบัติทางกายภาพเฉพาะเพื่อเป็นการปรับปรุงคุณภาพในการบริโภคของอาหาร นอกจากนั้นยังใช้เพิ่มปริมาณเส้นใยอาหาร ดังนั้นจึงนิยมใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารในอุตสาหกรรมอาหาร (Prosky and Devries, 1992)

ข) เบต้ากลูแคน

เบต้ากลูแคน เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส โครงสร้างทางเคมีของเบต้ากลูแคนแสดงดังภาพ 2.2 ซึ่งน้ำตาลกลูโคสมีการเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β-(1->3) และ β-(1->4) ทำให้ทนต่อการถูกไฮโดรไลซ์ (Prosky and Devries, 1992) การที่มีส่วนที่เชื่อมด้วยพันธะ β-(1->4) มากส่งผลให้มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่การที่มีส่วนที่เชื่อมด้วยพันธะ β-(1->3) และเบต้ากลูแคนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ๆ ส่งผลให้ละลายน้ำได้ดี (Kamel and Stauffer, 1993) เบต้ากลูแคนพบมากในพวกธัญพืช ข้าวบาเลย์ และข้าวโอ๊ต (Riaz, 1993)



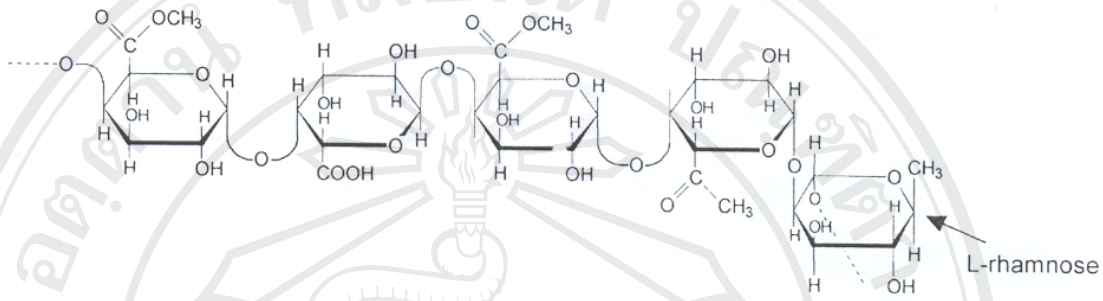
ภาพ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของเบต้ากลูแคน (Coultate, 1984)

ค) เพคติน

เพคติน พบใน middle lamellae ของผนังเซลล์พืชโดยรวมตัวอยู่กับเซลลูโลส ทำหน้าที่ยึดเกาะผนังเซลล์ให้ติดกัน โครงสร้างทางเคมีของเพคตินแสดงดังภาพ 2.3 เพคตินเป็นพอลิเมอร์สายยาวของกรดกาแล็กทูโรนิก (D-galacturonic acid) ต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่ง β-(1->4) สารประกอบเพคตินที่สกัดได้จากธรรมชาติยังมีน้ำตาลชนิดอื่นปนอยู่ด้วย เช่น น้ำตาลไซโลส กาแล็กโทส อะราบิโนส และแรมโนส โดยโมเลกุลของน้ำตาลจะเกาะอยู่เป็นสายแขนง เพคตินละลายน้ำได้ ความสามารถในการละลายขึ้นอยู่กับ degree of esterification ของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

กรดกาแล็กทูโรนิก เพคตินมีความสามารถในการเกิดเจลและมีความสามารถในการเพิ่มความหนืด ทำให้มีการนำเพคตินไปใช้กันมากในอุตสาหกรรมอาหาร เพคตินพบมากในผลไม้ตระกูลส้มและแอปเปิ้ล (Prosky and Devries, 1992)



ภาพ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของเพคติน (Coultate, 1984)

2.2.2.2 เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

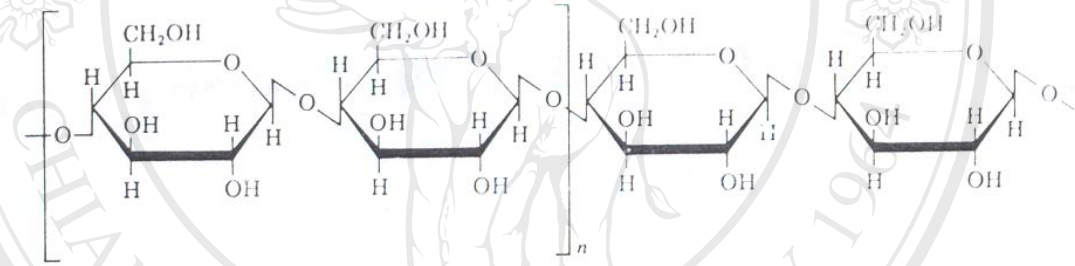
เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble dietary fiber) เป็นพวกคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่ย่อยสลายได้ยาก ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งมีความสามารถดูดซับสารต่าง ๆ ได้น้อย แต่จะจับกับน้ำแล้วเกิดการพองตัวในน้ำ ลักษณะคล้ายฟองน้ำ ดังนั้นเมื่อบริโภคเข้าไปแล้วขับถ่ายจะทำให้มีมวลอุจจาระเพิ่มขึ้น เนื้ออุจจาระนิ่ม ส่งผลให้ขับถ่ายได้สะดวก (สุรัตน์, 2534) ตัวอย่างของเส้นใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้ำ มีดังนี้

ก) เซลลูโลส

เซลลูโลส เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีมากที่สุดในโลกเพราะเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบอยู่ในผนังเซลล์ของพืช โดยรวมตัวอยู่กับพวกไซแลนและลิกนิน เซลลูโลสไม่ละลายน้ำ ทนต่อปฏิกิริยาของเอนไซม์ กรดและด่างที่เจือจาง ถูกย่อยได้ด้วยเอนไซม์เซลลูเลส โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลสแสดงดังภาพ 2.4 โมเลกุลของเซลลูโลสประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสมาต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่ง β-D-(1->4) เป็นสายยาวไม่มีสายแขนง สายยาวจะมาเกาะกันตามแนวราบด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลน้ำตาลกลูโคส ซึ่งทำให้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลสเป็นพอลิคริสตัลไลน์ (polycrystalline) ที่แข็งแรง ยึดเกาะกันเป็นเส้นใย และเนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลสในแต่ละหน่วยย่อยของน้ำตาลกลูโคสยังมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระเหลืออยู่ ซึ่งจะเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายของพอลิเมอร์ ทำให้บางส่วนของโครงสร้างเป็นผลึก ส่วนที่เกิดผลึกนี้จะมีความหนาแน่นมากกว่า จึงทนทานต่อการถูกไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์และสารเคมีมากกว่าส่วนที่ไม่เป็นผลึก(noncrystalline หรือ amorphous) นอกจากนี้ส่วนที่เป็นผลึกยังดูดน้ำได้น้อยกว่าด้วย ทำให้ไม่สามารถละลายน้ำได้ สำหรับส่วนโมเลกุลเซลลูโลสที่ไม่เป็นผลึกหรือไม่มีรูปร่าง โมเลกุลจะเรียงตัวกันไม่เป็นระเบียบและจับตัวกันอย่างหลวม ๆ ทำให้สามารถดูดซับน้ำไว้ได้มากและเกิดการพองตัวออกมีผลทำให้กากอาหารมีลักษณะนิ่ม เซลลูโลสส่วนใหญ่เป็นของเหลือทิ้งจากการเกษตร เช่น ฟางข้าว ใบไม้ ลำต้นพืช แกลบ เปลือกผลไม้ และเปลือกต้นไม้ เป็นต้น

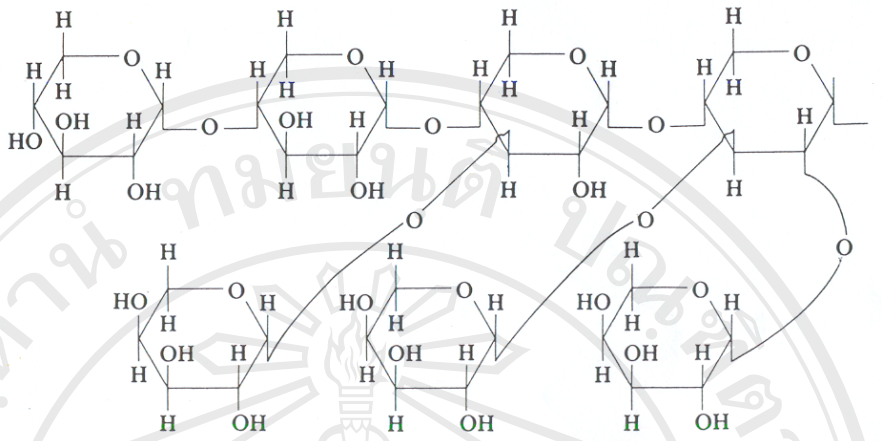


ภาพ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส (Meyer, 1960)

ข) เฮมิเซลลูโลส

เฮมิเซลลูโลส เป็นกลุ่มของเฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์ ในโมเลกุลประกอบด้วยน้ำตาลตั้งแต่ 2-4 ชนิดขึ้นไป มีทั้งน้ำตาลเฮกโซสและเพนโทส น้ำตาลที่พบมาก คือ น้ำตาลไซโลสและอะราบิโนส นอกจากนั้นยังพบน้ำตาลแมนโนส กาแล็กโทส และกรดกลูคูโรนิกอีกด้วย (Prosky and Devries, 1992) โครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลสแสดงดังภาพ 2.5 เฮมิเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของผนังเซลล์พืช โดยรวมอยู่กับลิกนินและเซลลูโลส มีสมบัติไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ในสารละลายด่าง (นิธิยา, 2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

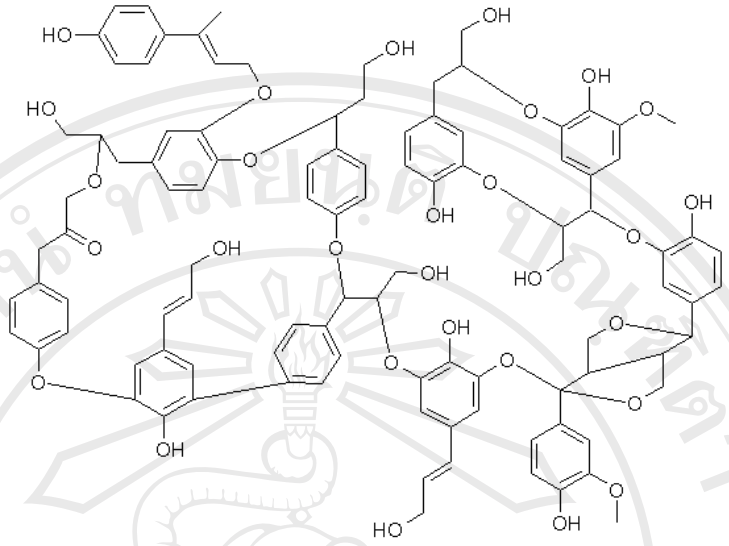


ภาพ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส (Meyer, 1960)

ค) ลิกนิน

ลิกนิน ประกอบด้วยสารประกอบเชิงซ้อนของแอลกอฮอล์ โครงสร้างทางเคมีของลิกนินแสดงดังภาพ 2.6 พืชจะผลิตเมื่อมีอายุมาก (Southgate *et al.*, 1990) ลิกนินทนต่อการทำลาย และต้องการสภาวะที่เหมาะสมในการทำลายลิกนิน ลิกนินจะเคลือบผนังเซลล์พืชให้มีความแข็งแรง ทำให้เอนไซม์เข้าไปย่อยเซลลูโลสได้ยากขึ้นและแบคทีเรียในลำไส้ไม่สามารถย่อยลิกนินได้ ประกอบกับลิกนินมีคุณสมบัติที่ไม่ละลายน้ำ ไม่ละลายในกรดและในด่าง จึงไม่สามารถย่อยและดูดซึมได้ในร่างกายมนุษย์ ลิกนินพบมากในพืชค่อนข้างแก่ และผลไม้สุกมีลิกนินมากกว่าผลไม้ดิบ (Southgate and Englyst, 1976)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.6 โครงสร้างทางเคมีของลิกนิน (Coultate, 1984)

ง) องค์ประกอบอื่น ๆ

องค์ประกอบอื่น ๆ ที่จัดว่าเป็นเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่ คิวตินและไข พบรวมกับส่วนที่เป็นโครงสร้างของพืชหรืออยู่บนผิวนอกของพืช โดยมีองค์ประกอบของไขมันที่ไม่รวมกับน้ำ ปกติจะพบในปริมาณที่น้อย (Prosky and Devries, 1992)

2.2.3 แหล่งของเส้นใยอาหาร

เส้นใยอาหารสามารถพบในอาหารจากพืชเท่านั้น ซึ่งพืชแต่ละชนิดจะมีปริมาณเส้นใยอาหารที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถแบ่งแหล่งของเส้นใยอาหารได้ดังนี้

1. ธัญพืช (cereal) เช่น ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต ข้าวโพด และข้าว เป็นต้น ซึ่งธัญพืชจัดเป็นแหล่งที่ดีของเส้นใยอาหาร โดยเฉพาะธัญพืชที่ไม่ผ่านการขัดสีจะมีปริมาณเส้นใยอาหารมากกว่าธัญพืชที่ผ่านการขัดสี ปริมาณเส้นใยอาหารของธัญพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับกระบวนการแปรรูป

2. พืชตระกูลถั่ว (legumes) เช่น ถั่วเขียว ถั่วแดง ถั่วดำ และถั่วเหลือง เป็นต้น พืชตระกูลถั่วทั้งหลายจัดเป็นแหล่งของอาหารที่มีปริมาณเส้นใยอาหารสูง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ผัก (vegetables) ผักเป็นแหล่งที่ดีของเส้นใยอาหาร นอกจากผักต่างชนิดกันจะมีปริมาณเส้นใยอาหารแตกต่างกันแล้วยังพบว่าปริมาณเส้นใยอาหารในผักยังขึ้นกับส่วนต่าง ๆ ของผัก พันธุ์ ฤดูกาล ความแก่อ่อน ปริมาณน้ำในผัก และการแปรรูป

4. ผลไม้ (fruits) ปกติผลไม้มักจะมีปริมาณน้ำและน้ำตาลสูงส่งผลให้มีปริมาณเส้นใยอาหารต่ำ สามารถเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารในผลไม้ได้โดยใช้กระบวนการกำจัดน้ำ ส่วนต่าง ๆ ของผลไม้ เช่น เปลือก แกน เมล็ด ฯลฯ เป็นส่วนที่มีปริมาณเส้นใยอาหารสูงและมักเป็นของเหลือจากอุตสาหกรรมซึ่งถือเป็นแหล่งเส้นใยอาหารที่มีศักยภาพ (ปาริชาติ, 2540)

2.2.4 เส้นใยอาหารจากกากของพืชตระกูลส้ม

ปริมาณของเส้นใยอาหารของพืชตระกูลส้มจะพบมากในส่วนของเปลือกมากกว่าส่วนของผลที่ปอกเปลือก (Fernández-Ginés *et al.*, 2004) เส้นใยอาหารจากกากของพืชตระกูลส้มมีข้อดีเหนือกว่าเส้นใยอาหารจากแหล่งอื่น ๆ เช่น ธัญพืช เนื่องจากเส้นใยอาหารจากกากของพืชตระกูลส้มมีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำสูงกว่าเส้นใยอาหารจากธัญพืช Grigelmo-Miguel and Martin-Belloso (1999a) พบว่าของเหลือจากส้มมีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำร้อยละ 13.6 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งสูงกว่ารำข้าวสาลีและรำข้าวโอ๊ตที่มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำเพียงร้อยละ 2.9 และ 3.6 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

ชนิดของเส้นใยอาหารที่เป็นองค์ประกอบหลักของกากของพืชตระกูลส้ม ได้แก่ ลิกนิน เซลลูโลส เพคติน และเฮมิเซลลูโลส Marin *et al.* (2003) ศึกษาองค์ประกอบเส้นใยอาหารของของเหลือจากพืชตระกูลส้มชนิดต่าง ๆ คือ มะนาว ส้ม และเกรปฟรุ้ท พบว่ามีองค์ประกอบคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักแห้งในปริมาณที่แตกต่างกัน คือ เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 11.0, 6.50, 8.50 เซลลูโลสร้อยละ 36.25, 20.75, 26.50 เพคตินร้อยละ 7.50, 6.50, 8.50 และลิกนินร้อยละ 22.50, 14.75, 11.50 ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.5 ประโยชน์ของเส้นใยอาหาร

2.2.5.1 ประโยชน์ทางด้านการแพทย์

เนื่องจากโครงสร้างของเส้นใยอาหารมีลักษณะคล้ายฟองน้ำและมีประจุไฟฟ้าอยู่ด้วย จึงสามารถยึดจับกับสารอาหาร กรดน้ำดี สารพิษ และสารก่อมะเร็งต่าง ๆ ได้ดี โดยสามารถยึดเกาะ

ได้ในขณะที่เส้นใยอาหารนี้เคลื่อนตัวไปตามระบบทางเดินอาหาร ระบบดูดซึมและย่อยอาหารของร่างกาย โดยเฉพาะในส่วนของระบบลำไส้ คุณประโยชน์ของเส้นใยอาหารที่มีต่อสุขภาพร่างกายมนุษย์ เช่น (Prosky and DeVries, 1992; ไพโรจน์ และเบญจวรรณ, 2539)

- สร้างเสริมและปรับปรุงระบบการทำงานของลำไส้ในการย่อย ดูดซึม และขับถ่าย
- ป้องกันและบำบัดรักษาอาการโรคท้องผูก
- ปรับสภาพการทำงานของระบบลำไส้ เพื่อเหมาะแก่การเจริญและการดำรงสภาพของจุลินทรีย์ในลำไส้
- ยับยั้งและดูดซึมความเป็นพิษของสารพิษในระบบการย่อยและดูดซึมอาหาร
- ป้องกันการเกิดมะเร็งในลำไส้ใหญ่
- ส่งเสริมระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย
- ควบคุมระดับของน้ำตาลในกระแสเลือด
- ป้องกันการเกิดโรคเบาหวาน
- ควบคุมระดับของไขมันในกระแสเลือด
- ป้องกันการเกิดโรคอ้วนและภาวะโภชนาการผิดปกติ

2.2.5.2 ประโยชน์ทางด้านอาหารและโภชนาการ

การนำเส้นใยอาหารไปใช้ประโยชน์ทางด้านอาหารและโภชนาการ ขึ้นอยู่กับประเภทและชนิดของอาหาร จุดประสงค์ในการใช้ประโยชน์จากเส้นใยอาหาร และคุณสมบัติทางเคมีของเส้นใยอาหารที่นำไปใช้ (ไพโรจน์ และเบญจวรรณ, 2539) นอกจากนั้นยังควรใช้ในระดับที่ผู้บริโภคยอมรับด้วย เนื่องจากการเติมเส้นใยอาหารถึงแม้จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้น แต่อาจมีผลกระทบทำให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้อยลง อาจมีการเปลี่ยนแปลงในด้านขนาด รูปร่าง สี กลิ่น รสชาติ หรือลักษณะเนื้อสัมผัส จนอาจทำให้การยอมรับของผู้บริโภคลดลง (Sehneeman, 1987) จากการศึกษาของเพลินใจและคณะ (2538) พบว่าการเติมวัตถุดิบที่เป็นแหล่งของเส้นใยอาหาร ได้แก่ ถั่วแดงหลวง รำข้าวเจ้า กากถั่วเหลือง งาขาว กากมะพร้าว เห็ดหูหนู จมูกข้าวสาลี และเมล็ดทานตะวัน ลงในส่วนผสมของขนมปัง จะมีผลต่อปริมาตรของขนมปัง วัตถุดิบบางชนิดทำให้ขนมปังมีปริมาตรลดลง ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังสูตรปกติ เนื้อสัมผัสมีความแข็งเพิ่มขึ้น ส่วนคุกกี้ที่ได้จะมีความหนาแน่นลดลง การขยายตัวของคุกกี้จะเพิ่มขึ้นมากกว่าสูตรปกติ และผลิตภัณฑ์จะมีปริมาณใยอาหารสูงกว่าสูตรปกติ Garcia *et al.* (2002) พบว่าการเติมเส้นใยอาหารที่ได้จากข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต แอปเปิ้ล พีชและส้ม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณสูงจะทำให้ไส้กรอกแห้งหมักลดไขมันมีเนื้อสัมผัสที่แข็ง และคุณภาพทางประสาทสัมผัสไม่ดี โดยปริมาณที่เหมาะสมของเส้นใยอาหาร คือ ร้อยละ 1.5 และการใช้เส้นใยอาหารจากผลไม้ทำให้ไส้กรอกมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสดีกว่าการใช้เส้นใยอาหารจากธัญพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้เส้นใยอาหารจากส้มซึ่งทำให้ได้ไส้กรอกที่มีคุณภาพทางประสาทสัมผัสใกล้เคียงกับไส้กรอกสูตรปกติมากที่สุด

นอกเหนือจากการบริโภคธัญพืช ผักและผลไม้โดยตรงแล้ว ร่างกายยังได้รับเส้นใยอาหารจากการบริโภคผลิตภัณฑ์อาหารที่มีการเติมเส้นใยอาหารเพิ่มลงไปด้วย (Thebaudin *et al.*, 1997) เส้นใยอาหารเป็นวัตถุดิบอีกชนิดหนึ่งซึ่งมีบทบาทในการพัฒนา และเพิ่มคุณค่าให้กับผลิตภัณฑ์อาหาร ทั้งนี้เพราะว่าเส้นใยอาหารมีความสำคัญและให้ประโยชน์ต่อสุขภาพ จึงทำให้มีการนำเส้นใยอาหารมาเติมลงในผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งจุดมุ่งหมายโดยทั่วไปของการเติมเส้นใยอาหารในผลิตภัณฑ์อาหาร คือ ใช้เป็น functional ingredients เพื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารในผลิตภัณฑ์อาหาร (Southgate *et al.*, 1990) นอกจากนั้นยังใช้ทดแทนส่วนผสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ Morin *et al.* (2002) ศึกษาการใช้เบต้ากลูแคนจากข้าวบาเลย์เพื่อใช้เป็นสารทดแทนไขมันปริมาณต่าง ๆ เพื่อผลิตไส้กรอกลดไขมัน ซึ่งพบว่าไส้กรอกลดไขมันที่เติมเบต้ากลูแคนจากข้าวบาเลย์ปริมาณร้อยละ 0.3 มีเนื้อสัมผัสและกลิ่นรสไม่แตกต่างกับไส้กรอกลดไขมันที่มีขายตามท้องตลาด นอกจากนั้น Lin and Huang (2003) ยังศึกษาการใช้เจลผสมระหว่างแป้งบุกและเจลแลนกัมเพื่อผลิตไส้กรอกแฟรงค์เฟอร์เตอร์ลดไขมัน พบว่าการแทนที่ไขมันบางส่วนด้วยเจลผสมระหว่างแป้งบุกและเจลแลนกัม (gellan gum) ทำให้ได้ไส้กรอกที่มีคุณภาพดีเทียบเท่ากับไส้กรอกที่ไม่มีการลดไขมัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งความสามารถในการอุ้มน้ำและการยอมรับทางประสาทสัมผัส

เส้นใยอาหารที่ใช้เติมในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ แบ่งเป็นเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำซึ่งมักใช้เติมในอาหารว่าง อาหารเช้าจากธัญพืช ขนมขบเคี้ยวและผลิตภัณฑ์ขนมอบ เช่น ขนมปัง คุกกี้ พิซซ่า เป็นต้น แหล่งของเส้นใยอาหารที่นิยมใช้ในวงการอุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่ รำข้าวสาลี รำข้าวโอ๊ต รำข้าวโพด รำถั่วเหลือง เป็นต้น ส่วนเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำมักใช้เติมในอาหารที่มีลักษณะเหลว เช่น เครื่องดื่ม น้ำสลัด ไอศกรีม เป็นต้น แหล่งของเส้นใยอาหารประเภทนี้ ได้แก่ เพคติน กัม คาราจีแนน

แหล่งของเส้นใยอาหารส่วนใหญ่เป็นวัตถุดิบที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ อาจทำให้ผลิตภัณฑ์เสริมเส้นใยอาหารที่ได้มีราคาแพง ซึ่งอาจไม่เหมาะสมกับรสนิยมการบริโภคของคนไทย ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารในพืชที่เป็นผลิตผลทางการเกษตรในประเทศไทยประเภทผักผลไม้ ธัญพืช และถั่วเมล็ดแห้ง และมีการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งจาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

อุตสาหกรรมอาหารที่มีศักยภาพเหมาะสมมาใช้เป็นแหล่งของเส้นใยอาหาร โดยการแทนที่หรือทดแทนบางส่วนของส่วนผสมหลักชนิดใดชนิดหนึ่งลงในสูตรอาหารมาตรฐาน (สันทนา, 2537) อาทิเช่น Prakongpan *et al.* (2002) นำเส้นใยอาหารผงที่ผลิตได้จากแกนสับปะรดไปใช้ในการผลิตโดนัทเค้ก เลเยอร์เค้ก และเบอร์เกอร์เนื้อ Aleson-Carbonell *et al.*(2003) นำเยื่อมะนาวมาใช้ในการผลิตไส้กรอกแห้งเพื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหาร Fernández-Ginés *et al.* (2004) ใช้เยื่อมะนาวในการผลิตไส้กรอกโบโลนา และพบว่าการเติมเยื่อมะนาวช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางโภชนาการของไส้กรอกให้ดีขึ้น และช่วยลดปริมาณไนไตรท์ตกค้างในไส้กรอกลง โดยผลิตภัณฑ์ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสเทียบเท่ากับไส้กรอกโบโลนาที่มีขายทั่วไปเมื่อเติมเยื่อมะนาวลงไส้กรอกในปริมาณร้อยละ 2.5 และร้อยละ 5

2.2.6 ปริมาณเส้นใยอาหารที่ควรบริโภคต่อวัน

เนื่องจากเส้นใยอาหารมีบทบาทที่สำคัญต่อสุขภาพ ดังนั้นหน่วยงานต่าง ๆ จึงได้แนะนำและกำหนดปริมาณเส้นใยอาหารที่ควรบริโภค ดังนี้ (Prosky and Devries, 1992)

1. The National Research Council ได้แนะนำให้บริโภคเส้นใยอาหารทั้งชนิดละลายน้ำและไม่ละลายน้ำในปริมาณ 20-35 กรัมต่อวัน

2. The Nordisk Ministerrad Standing Nordic Committee on Food แนะนำปริมาณการบริโภคเส้นใยอาหารในคนปกติ ควรบริโภคในอัตราส่วนวันละ 12 กรัมต่อพลังงานจากอาหารที่บริโภค 1,000 กิโลแคลอรี

3. The Federation of American Societies for Experimental Biology แนะนำให้บริโภคเส้นใยอาหารวันละ 10-13 กรัมต่อพลังงานจากอาหารที่บริโภค 1,000 กิโลแคลอรี

4. The British National Advisory Committee on Nutrition Education (NACNE) แนะนำให้คนทั่วไปบริโภคเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้น โดยปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดที่ควรได้รับ คือ 30 กรัมต่อวัน

5. The HCF Diabetes Foundation กำหนดปริมาณเส้นใยอาหารที่ควรบริโภคในรูปของปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด 20-35 กรัมต่อวันสำหรับคนปกติ (10-13 กรัมต่อพลังงานจากอาหารที่บริโภค 1,000 กิโลแคลอรี) และ 35-50 กรัมต่อวันสำหรับผู้ที่อยู่ในความควบคุมของแพทย์ (20-25 กรัมต่อพลังงานจากอาหารที่บริโภค 1,000 กิโลแคลอรี)

6. The American Diabetes Association แนะนำให้บริโภคเส้นใยอาหารวันละ 25 กรัมต่อพลังงานจากอาหารที่บริโภค 1,000 กิโลแคลอรี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

7. The National Cancer Institute แนะนำให้บริโภคเส้นใยอาหารวันละ 20-30 กรัม โดยเน้นให้บริโภคอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนจากผลไม้ ผัก และธัญพืชที่ไม่ขัดสี

สำหรับประเทศไทย ปริมาณเส้นใยอาหารที่แนะนำให้บริโภคยังไม่มีข้อกำหนดที่แน่นอนถึงปริมาณและชนิดของเส้นใยอาหารที่จะทำให้ร่างกายมีสุขภาพที่ดี ถึงแม้จะทราบว่าเส้นใยอาหารสามารถป้องกันและรักษาโรคต่าง ๆ ได้ก็ตาม ทั้งนี้อาจเนื่องจากอาหารประจำวันโดยทั่วไปของคนไทยมักประกอบด้วยผักและผลไม้หลายชนิดอยู่แล้ว จึงทำให้การบริโภคเส้นใยอาหารของคนไทยในแต่ละวันอยู่ในปริมาณที่เพียงพอ แต่อย่างไรก็ตามพฤติกรรมการบริโภคอาหารของคนไทยได้เปลี่ยนแปลงไปตามภาวะเศรษฐกิจ สังคม และปัจจัยรอบด้าน เช่น ภาวะความเร่งรีบ การรับวัฒนธรรมการบริโภคอาหารแบบตะวันตกทำให้การบริโภคอาหารจานด่วนเพิ่มมากขึ้น อาหารเหล่านี้มีปริมาณเส้นใยอาหารต่ำ จึงมีแนวโน้มที่คนไทยจะได้รับเส้นใยอาหารน้อยลง

แม้ว่าการบริโภคเส้นใยอาหารจะมีผลดีต่อสุขภาพ แต่การบริโภคมากเกินไปก็อาจก่อให้เกิดผลข้างเคียงได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาจทำให้ร่างกายขาดวิตามินและเกลือแร่ที่จำเป็นต่อร่างกาย โดยเส้นใยอาหารจะมีผลไปขัดขวางการดูดซึมเกลือแร่ เช่น สังกะสี แคลเซียม เหล็ก และแมกนีเซียม (Eastwood, 1997) นอกจากนั้นยังอาจทำให้เกิดกรดและก๊าซในลำไส้ ทำให้อึดอัดไม่สบายท้อง (สมใจ, 2540)

2.2.7 คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหาร

เนื่องจากมีการใช้เส้นใยอาหารเป็นส่วนประกอบของอาหารเพื่อทำหน้าที่ต่าง ๆ เช่น สารเพิ่มความหนืด (thickener) สารเสริมความคงตัว (stabilizer) และอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) เป็นต้น ดังนั้นการศึกษาถึงคุณสมบัติของเส้นใยอาหารจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อเพิ่มการนำเส้นใยอาหารไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารมากขึ้น (Sangnark and Noomhorm, 2003) ซึ่งเส้นใยอาหารมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ในอาหารที่สำคัญ ดังนี้

2.2.7.1 ความหนืด

ความหนืด (viscosity) เป็นการวัดแรงต้านการไหลของของไหล ความหนืดเป็นอัตราส่วนระหว่าง shearing stress ต่อ shear rate พอลิแซ็กคาไรด์เป็นสารที่มีความเหมาะสมในการใช้เพื่อเพิ่มความหนืดให้แก่อาหาร เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลิตภัณฑ์อาหาร เพื่อควบคุมลักษณะรีโอโลยี (rheology) ด้านการละลายและการกระจายตัว เนื่องจากเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้นั้นมีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีพันธะที่ซับซ้อนและสามารถเกิดอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างพอลิเมอร์กับตัวทำละลายได้

2.2.7.2 การก่อเจล

การเกิดเจลของพอลิแซ็กคาไรด์จะเกี่ยวข้องกับส่วนของเส้นพอลิเมอร์ที่บริเวณ junction zones ในการเกิดเจลนั้นเส้นพอลิเมอร์ต้องมีโครงสร้างที่เป็นระเบียบและสภาวะการก่อเจลต้องเหมาะสม เช่น ในกรณีของเพคติน การเกิดตาข่ายพอลิเมอร์ 3 มิติที่บริเวณ junction zones จะถูกเหนี่ยวนำและทำให้คงตัวโดยแคลเซียมอิออน ซึ่งจะก่อพันธะไฮโดรเจนระหว่างเส้นพอลิเมอร์ เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้พวกเพคติน กัม มิวซิเลจส์และเฮมิเซลลูโลสบางชนิดมีความสามารถจับกับน้ำได้ ทำให้พองตัว เกิดความหนืดและเกิดเจล ในขณะที่เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสส่วนใหญ่ไม่เกิดเจล

2.2.7.3 การอุ้มน้ำ

คุณสมบัติในการอุ้มน้ำ (water-holding capacity) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ ปริมาณน้ำที่มีในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์จะส่งผลต่อความนุ่มเนื้อและความฉ่ำน้ำ (Riaz, 1993) เส้นใยอาหารมีองค์ประกอบเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ ซึ่งพอลิแซ็กคาไรด์เป็นโมเลกุลที่ชอบน้ำ เนื่องจากมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระเป็นจำนวนมากซึ่งสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ ดังนั้นเส้นใยอาหารทั้งชนิดที่ละลายและไม่ละลายน้ำจึงสามารถอุ้มน้ำได้ (Spiller, 2001) ในการวัดความสามารถในการดูดซับน้ำไว้ในโครงสร้างของเส้นใยอาหารพบว่าเส้นใยอาหารทั้งชนิดที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำสามารถดูดซับน้ำได้เป็นปริมาณมาก Sosulski and Cadden (1982) พบว่าเส้นใยอาหารที่มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้สูง ซึ่งได้แก่ เพคตินและมิวซิเลจ จะมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำสูง แต่เส้นใยอาหารที่มีองค์ประกอบที่เป็นสตาร์ชสูงจะมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ

เส้นใยอาหารชนิดที่ละลายน้ำนั้นเมื่อดูดซับน้ำจะทำให้สารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้นและบางครั้งอาจก่อเจลได้ด้วยถ้าสภาวะเหมาะสม ในขณะที่เส้นใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้ำถึงแม้จะไม่สามารถก่อเจลได้แต่ก็สามารถดูดซับน้ำไว้ในโครงสร้างได้เป็นปริมาณมาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ความสามารถในการดูดซับน้ำของเส้นใยอาหารนั้นขึ้นกับองค์ประกอบทางเคมี โครงสร้าง และขนาดอนุภาคของเส้นใยอาหาร Parrott and Thrall (1978) พบว่าเส้นใยอาหารผงที่ผลิตเป็นการค้ายี่ห้อ Solka-Floc ที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ (เกรด SW40) จะมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ 12.3-12.8 มิลลิลิตรน้ำต่อกรัมเส้นใยอาหาร ซึ่งสูงกว่าเส้นใยอาหารผงที่ผลิตเป็นการค้ายี่ห้อ Solka-Floc ที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า (เกรด BW100) ที่มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำเพียง 3.2-4.8 มิลลิลิตรน้ำต่อกรัมเส้นใยอาหาร Cadden (1987) ศึกษาเปรียบเทียบผลของการลดขนาดอนุภาคต่อโครงสร้างทางกายภาพ และคุณสมบัติการจับกับน้ำของเส้นใยอาหารจากพืช พบว่าการลดขนาดเส้นใยอาหารของรำข้าวสาลีและเซลลูโลสผงโดยการบดส่งผลให้เส้นใยอาหารดูดน้ำได้น้อยลง ดังนั้นจึงส่งผลให้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำลดลงเนื่องจากโครงสร้างที่มีรูพรุนถูกทำลาย นอกจากนั้น Ang (1991b) ยังพบว่าค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเซลลูโลสผงขึ้นกับขนาดความยาวของอนุภาคเซลลูโลสผง โดยเมื่อเพิ่มขนาดความยาวของเซลลูโลสผงจาก 11 ไมครอน เป็น 290 ไมครอน ทำให้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้นจากประมาณ 4 เท่า เป็น 10 เท่า

2.2.7.4 ความคงตัวของอิมัลชั่น

สารพวกพอลิแซ็กคาไรด์มีความสามารถในการเพิ่มความคงตัวของอิมัลชั่น (stabilization of emulsions) ดังนั้นจึงมีการใช้พอลิแซ็กคาไรด์ในการเพิ่มความคงตัวให้กับอาหารประเภทอิมัลชั่น ตัวอย่างของพอลิแซ็กคาไรด์เหล่านี้ เช่น อัลจิเนต กัวร์กัม และเพคติน เป็นต้น (Riaz, 1993)

2.3 การผลิตเส้นใยอาหารผง

2.3.1 วัตถุดิบสำหรับใช้ในการผลิตเส้นใยอาหารผง

ปัจจุบันมีการนำวัตถุดิบหลายชนิดมาใช้สำหรับผลิตเส้นใยอาหาร ซึ่งในการผลิตเส้นใยอาหารในเชิงอุตสาหกรรม สามารถแบ่งแหล่งวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเส้นใยอาหารได้เป็น 4 กลุ่ม คือ (McCleary and Prosky, 2001)

1. กลุ่มผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตอาหารซึ่งบริโภคได้ (edible co-product of food processing) ซึ่งอาจได้จากของเหลือจากกระบวนการผลิตน้ำผักและผลไม้ หรือผลพลอยได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการแยกสตาร์ช น้ำตาล น้ำมันและโปรตีน ตัวอย่างของวัตถุดิบในกลุ่มนี้ เช่น กากผัก กาก ผลไม้ และรำจากธัญพืชต่าง ๆ เป็นต้น

2. กลุ่มของเหลือจากกระบวนการผลิตอาหารซึ่งปกติไม่นำมาบริโภค (non-edible residue of food production) เป็นส่วนที่ถูกแยกหรือส่วนของเนื้อเยื่อของพืชซึ่งโดยทั่วไปคนไม่นำมาบริโภค เช่น ชานอ้อย (Sangnark and Noomhorm, 2003) เป็นต้น

3. กลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ถูกย่อยแต่ถูกสะสมหรือส่วนที่เป็นโครงสร้าง (indigestible storage or skeleton carbohydrate) เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่สตาร์ช แต่ถูกสะสมไว้ภายในเอนโดสเปิร์ม เป็นโครงสร้างของพืชน้ำ หรือเป็นหัวพืชที่อยู่ใต้ดินซึ่งอุดมด้วย Polyfructan เช่น หัวบุก สาหร่ายสีแดง และสาหร่ายสีน้ำตาล เป็นต้น

4. กลุ่มยางพืช (exudates) เช่น กัมอะราบิกจากต้นอะคาเซีย เป็นต้น

กลุ่มผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตอาหารเป็นกลุ่มวัตถุดิบที่น่าสนใจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมที่ใช้ผลไม้เป็นวัตถุดิบ เนื่องจากมีความต้องการในการบริโภคเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีปริมาณของเหลือจากการผลิตเพิ่มมากขึ้น เช่น เปลือก กาก เมล็ด เป็นต้น ถึงแม้บางโรงงานจะกำจัดของเหลือบางส่วนโดยการนำไปเป็นอาหารสัตว์และทำปุ๋ย แต่ในฤดูกาลที่มีการผลิตสูง ของเหลือเหล่านี้ก็จะมีปริมาณมาก ซึ่งเป็นปัญหาในการกำจัดและกลายเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมด้วย ในเชิงอุตสาหกรรมจะคำนึงถึงต้นทุนการผลิตและการใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบให้คุ้มค่าที่สุด การนำของเหลือจากกระบวนการผลิตเหล่านี้มาใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ (Lowe and Buckmaster, 1995) ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาค้นคว้า และวิจัยการนำของเหลือจากกระบวนการผลิตเหล่านี้มาใช้ เช่น ของเหลือจากการคั้นน้ำส้ม เปลือกส้ม กากแอปเปิ้ล กากเชอร์รี่ กากองุ่น เมล็ดพืช เปลือกมะม่วง เป็นต้น (Grigelmo-Miguel and Martin-Belloso, 1999a; Schieber *et al.*, 2001; Espachs-Barroso *et al.*, 2005; Nawirska and Kwasniewska, 2005)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.2 ขั้นตอนหลักในการผลิตเส้นใยอาหารผง

ขั้นตอนหลักในการผลิตเส้นใยอาหารผงมี 4 ขั้นตอน ดังนี้ Larrauri (1999)

ก) การบดเปียก

การบดเปียก (wet milling) เป็นขั้นตอนในการผลิตที่มีความสำคัญเนื่องจากถ้าขนาดอนุภาคของวัตถุดิบที่ถูกบดไม่เหมาะสมในขั้นตอนนี้ จะส่งผลต่อกระบวนการผลิตในขั้นถัดไป โดยถ้าขนาดอนุภาควัตถุดิบที่ถูกบดเล็กเกินไป จะทำให้วัตถุดิบดูดน้ำไว้มากในขั้นตอนการล้าง ส่งผลให้ต้องทำแห้งนานขึ้นและทำให้ได้ปริมาณผลผลิต (yield) ต่ำ นอกจากนั้นยังสูญเสียองค์ประกอบที่ต้องการ เช่น เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ เป็นต้น แต่ถ้าขนาดอนุภาควัตถุดิบที่ถูกบดใหญ่เกินไป จะทำให้ไม่สะดวกในการกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ต้องการในขั้นตอนการล้างได้ ซึ่ง Larrauri *et al.* (1996) พบว่าขนาดในการบดเปียกเปลือกมะม่วงเพื่อเตรียมเส้นใยอาหารส่งผลต่อปริมาณเส้นใยอาหารผงที่ผลิตได้ โดยถ้าขนาดในการบดเปียกใหญ่จะให้ผลผลิตเส้นใยอาหารสูงกว่าและสูญเสียเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำและเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำน้อยกว่าการใช้ขนาดการบดเปียกเล็ก นอกจากนั้น Larrauri *et al.* (1997) ยังทำการศึกษาการเตรียมเส้นใยอาหารจากเปลือกส้ม และพบว่าเส้นใยอาหารผงที่ได้จากการบดเปียกเปลือกส้มที่เล็ก คือ 5 มิลลิเมตร ทำให้ได้เส้นใยอาหารผงที่มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำกว่าเส้นใยอาหารผงที่ได้จากขนาดการบดเปียกขนาดใหญ่ คือ 15 มิลลิเมตร ทั้งนี้เนื่องจากการสูญเสียองค์ประกอบของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้มากกว่า ขนาดในการบดเปียกวัตถุดิบนั้น จะใช้ประมาณ 0.6-2.0 ซม. ทั้งนี้ขึ้นกับกระบวนการผลิตที่ใช้และชนิดของวัตถุดิบ (Larrauri, 1999)

ข) การล้าง

การล้าง (washing) จุดประสงค์หลักของขั้นตอนนี้คือ เพื่อกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ต้องการ เช่น น้ำตาล เป็นต้น และกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ออกจากวัตถุดิบ ซึ่ง Larrauri *et al.* (1996) พบว่าการล้างเปลือกมะม่วงด้วยน้ำร้อนเพื่อผลิตเส้นใยอาหารผงสามารถช่วยลดปริมาณน้ำตาลที่ละลายได้ในวัตถุดิบ โดยสามารถลดได้ถึงร้อยละ 87 ของปริมาณน้ำตาลที่ละลายได้เริ่มต้นในเปลือกมะม่วง การล้างวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเส้นใยอาหารอาจส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเส้นใยอาหารได้ เช่น ความสามารถในการอุ้มน้ำ และปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

น้ำได้ เป็นต้น (Larrauri, 1999) ซึ่ง Larrauri *et al.* (1997) พบว่าในการเตรียมเส้นใยอาหารจากเปลือกส้มนั้น การล้างเปลือกส้มด้วยน้ำร้อนสามารถกำจัดน้ำตาลออกจากเปลือกส้มได้มากกว่าการใช้น้ำอุณหภูมิปกติล้าง ส่วนเปลือกส้มที่ไม่ผ่านการล้างจะทำให้เส้นใยอาหารที่ได้มีปริมาณน้ำตาลเหลืออยู่สูง ส่งผลให้เส้นใยอาหารที่ได้มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ นอกจากนั้น Lario *et al.* (2004) ยังได้ทำการศึกษาการเตรียมเส้นใยอาหารผงจากของเหลือจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำมะนาว (พันธุ์ *Citrus limon* Fino CV.) โดยศึกษาเปรียบเทียบเส้นใยอาหารผงที่ได้จากการล้างและไม่ล้างวัตถุดิบ พบว่าเส้นใยอาหารผงที่ได้จากการล้างวัตถุดิบก่อนการทำแห้งมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ 12.6 กรัมน้ำต่อกรัมเส้นใยอาหารผง ซึ่งสูงกว่าเส้นใยอาหารผงที่ได้จากการไม่ล้างวัตถุดิบ คือ 7 กรัมน้ำต่อกรัมเส้นใยอาหารผง การล้างวัตถุดิบยังทำให้ได้เส้นใยอาหารผงที่มีค่าวอเตอร์แอคติวิตีเปลี่ยน และยังป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของเส้นใยอาหารผงซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดในระหว่างการทำแห้งด้วย ทั้งนี้อาจเนื่องจากการกำจัดน้ำตาลในวัตถุดิบออก

หลักการในการผลิตเส้นใยอาหาร คือ การกำจัดเอาส่วนประกอบอื่น ๆ ออกจากวัตถุดิบให้เหลือแค่เส้นใยอาหาร ส่วนประกอบที่ต้องกำจัดออก ได้แก่ สารสี ไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต การกำจัดไขมันนิยมทำโดยการกลั่นด้วยไอน้ำและการสกัดด้วยตัวทำละลายพวกอีเทอร์และแอลกอฮอล์ เช่น Raghavendra *et al.* (2006) ทำการกำจัดไขมันออกจากกากมะพร้าวหลังคั้นน้ำกะทิโดยการสกัดด้วยเฮกเซนเป็นเวลา 9 ชั่วโมง โดยใช้อัตราส่วน 1 : 5 ของกากต่อเฮกเซน เป็นต้น คาร์โบไฮเดรตถ้าไม่ทำการกำจัดออกจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสัดส่วนของเส้นใยอาหารต่ำ และมีผลต่อคุณสมบัติของเส้นใยอาหาร การกำจัดออกทำได้หลายวิธี เช่น การล้างน้ำตาลอิสระออกด้วยน้ำหรือแอลกอฮอล์ เป็นต้น ซึ่งสิขรินทร์และปราณี (2546) ได้ทำการศึกษาการผลิตเส้นใยอาหารผงจากหัวกระเทียม และพบว่าการกำจัดไขมันโดยการแช่กระเทียมบดในสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ในอัตราส่วน 1 : 3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และล้างน้ำตาลออกด้วยสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 90 และ 80 ตามลำดับ ทำให้ได้เส้นใยอาหารจากหัวกระเทียมที่มีปริมาณสูง ทั้งปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้และเส้นใยอาหารทั้งหมด คือ ในปริมาณร้อยละ 28.32 และ 85.77 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

ส่วนสารสีซึ่งมีในวัตถุดิบสามารถกำจัดได้โดยใช้วิธีการสกัดด้วยแอลกอฮอล์ (Espachs-Barroso *et al.*, 2005) หรือการล้างวัตถุดิบด้วยน้ำซึ่ง Lario *et al.* (2004) พบว่าการล้างวัตถุดิบก่อนการทำแห้งเพื่อผลิตเส้นใยอาหารผงจากของเหลือจากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมะนาว จะช่วยลดองค์ประกอบที่มีสีเขียวและสีเหลืองในวัตถุดิบลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ค) การทำแห้ง

การทำแห้ง (drying) หลังขั้นตอนการล้าง ต้องมีการกำจัดน้ำบางส่วนก่อนการทำแห้ง ซึ่งอาจทำโดยการสะเด็ดน้ำ การบีบ หรือใช้กระบวนการอื่น ๆ (Larrauri, 1999) เช่น จุ่มในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์เพื่อลดปริมาณน้ำก่อนการทำแห้ง (Braddock and Crandall, 1981; Bates *et al*, 2001) ขั้นตอนการทำแห้งเป็นขั้นตอนหลักและเป็นขั้นตอนที่เสียค่าใช้จ่ายสูงสุดในการผลิตเส้นใยอาหารผง การทำแห้งจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาเส้นใยอาหารโดยไม่ต้องเติมสารเคมีกันเสีย นอกจากนั้นยังช่วยลดต้นทุนค่าบรรจุภัณฑ์และค่าขนส่งอีกด้วย โดยทั่วไปในการทำแห้งถ้าใช้อุณหภูมิในการทำแห้งสูงจะทำให้คุณภาพของเส้นใยอาหารถูกทำลายได้และยังทำให้ความสามารถในการละลายเปลี่ยนแปลงไปด้วย (Irving and Walton, 1980)

ง) การบดแห้ง

การบดแห้ง (dry milling) ขั้นตอนนี้มีจุดประสงค์เพื่อลดขนาดของเส้นใยอาหารให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร (Larrauri, 1999) การบดอาจส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับน้ำของเส้นใยอาหารซึ่งจะส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของอาหารที่เติมเส้นใยอาหารนั้นลงไป (Riaz, 1993) โดยทั่วไปนิยมบดให้มีขนาด 0.15-0.43 มิลลิเมตร (Larrauri, 1999)

2.3.3 คุณสมบัติของเส้นใยอาหารผง

ในการผลิตเส้นใยอาหารผงนั้น เส้นใยอาหารที่ผลิตได้ควรมีคุณสมบัติดังนี้ (Pomeranz, 1991)

- ไม่มีองค์ประกอบที่มีวัตถุประสงค์เพื่อให้สารอาหาร
- มีความเข้มข้นสูง สามารถใช้ปริมาณเพียงเล็กน้อยแต่ให้ผลทางสรีรวิทยาอย่างมาก
- ไม่มีสี กลิ่น รส และเนื้อสัมผัส
- มีส่วนประกอบที่สมดุล (ทั้งส่วนที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ) และมีปริมาณของสาร bioactive ที่เกี่ยวข้องเพียงพอ
- มีอายุการเก็บรักษานาน และไม่ส่งผลเสียต่ออาหารที่เติมลงไป
- มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในกระบวนการผลิตอาหาร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

- มีภาพพจน์ทางบวกในสายตาของผู้บริโภค ทั้งในแง่ของแหล่งของเส้นใยอาหาร และแง่สุขภาพ
- มีผลทางสรีรวิทยาตามที่คาดหมาย
- ราคาสมเหตุผล

โดยทั่วไปในการผลิตเส้นใยอาหารผงในทางการค้า คุณสมบัติหลักของเส้นใยอาหารผงที่ผลิตได้ควรมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดมากกว่าร้อยละ 50 มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 9 มีปริมาณไขมันต่ำ ให้พลังงานต่ำ (ต่ำกว่า 8.36 กิโลแคลอรีต่อกรัม) และมีกลิ่นรสที่เป็นกลาง (Larrauri, 1999)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved