บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

ส้ม

ส้มเป็นพืชที่อยู่ในวงศ์ Rutaceae และสกุล Citrus เจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อนและเขตกึ่งร้อนกึ่งหนาว เป็นไม้ผลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ สามารถแบ่งเป็นกลุ่มต่างๆ ได้ดังนี้

1. กลุ่มของส้มเกลี้ยงและส้มตรา (Oranges group)
2. กลุ่มของส้มจีนและส้มเขียวหวาน (Mandarin group)
3. กลุ่มของส้มโอและเกรฟฟรุ้ท (Pomelos and Grapefruits group)
4. กลุ่มของมะนาว (Common Acid Members group)

กลุ่มของส้มจีนและส้มเขียวหวาน มีปลูกกันมานานแล้วด้วยการใช้เมล็ดขยายพันธุ์ ทำให้เกิดการกลายพันธุ์ได้พันธุ์ใหม่ๆ หลากหลาย ลักษณะของส้มกลุ่มนี้ลำต้นมีหนามขนาดเล็ก มีจำนวนน้อยมากถึงไม่มีเลย ขนาดผลเล็กถึงผลปานกลาง ทรงผลค่อนข้างกลมและแบน มักมีรอยบุ๋ม เปลือกผลบางปอกง่าย แกนกลวง กลีบแยกออกจากกันได้ง่าย รสชาติและกลิ่นดี มีความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับสภาพภูมิอากาศได้ดีกว่าส้มอื่นๆ แต่จะมีปฏิกิริยาต่อระยะเวลาเก็บเกี่ยวมากกว่าส้มชนิดอื่นๆ เช่น เมื่อเก็บเกี่ยวเลยเวลาแม้เพียง 2 – 3 สัปดาห์ เปลือกส้มจะฟูขึ้น ผลมักมีลักษณะฟ่าม ปริมาณกรดและน้ำตาลในผลจะลดลงอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามส้มกลุ่มนี้มีข้อดีคือหลังเก็บเกี่ยวผลแล้ว สามารถจะเก็บได้เป็นเวลานานในสภาพห้องเย็นที่ควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมโดยคุณภาพไม่เปลี่ยนแปลง (เอฟ. อี. ซิลลิค, 2541) ส้มในกลุ่มส้มจีนและส้มเขียวหวานที่นิยมปลูกกันมากในประเทศไทยปัจจุบัน ได้แก่ ส้มเขียวหวาน ส้มสายน้ำผึ้ง ส้มโชกุน และส้มฟรีมองต์

ผิวเปลือกส้มที่มีสีแตกต่างกัน ได้เป็นสิ่งบ่งชี้ถึงการจำแนกกลุ่มส้มเขียวหวานได้ เช่น ผิวเปลือกสีส้มแก่ (Tangerine) หรือผิวเปลือกสีเหลือง (Mandarin) (Mackinney, G., 1961 และ เอฟ. อี. ซิลลิค, 2541.)

กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณะสุข ได้วิเคราะห์สารอาหารจากส้มจำนวน 100 กรัม พบว่ามีสารอาหารต่างๆ ดังนี้ คาร์โบไฮเดรต, โปรตีน และ ไขมัน 9.๙, 0.6 และ 0.2 ตามลำดับ แคลเซี่ยม, เหล็ก และฟอสฟอรัส 31, 0.3 และ 18 มิลลิกรัม ตามลำดับ วิตามินเอ 4,000 หน่วยสากล วิตามินบี 1, วิตามินบี 2 และวิตามินซี 0.04, 0.05 และ 18 มิลลิกรัม ตามลำดับ เส้นใย 0.2 กรัม และ ความชื้น 88.7 กรัม (พานิชย์ ยศปัญญา, 2542)

ส้มเขียวหวาน

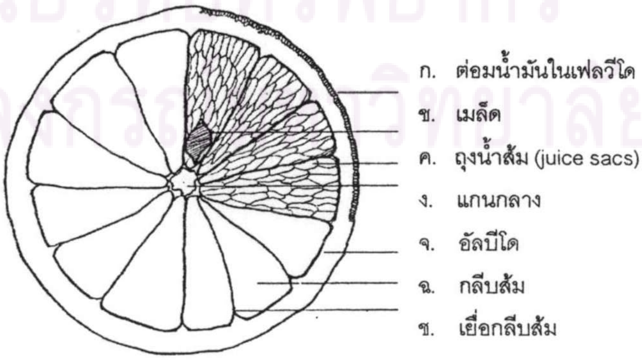
ส้มเขียวหวาน มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Citrus reticulata* Blanco ในต่างประเทศเรียกว่า Mandarin หรือ King orange ปลูกมากบริเวณทุ่งหลวงรังสิต และมีการขยายพื้นที่ปลูกเพิ่มขึ้นบริเวณภาคเหนือตอนบนโดยเฉพาะในเขตพื้นที่ อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่(ทวีศักดิ์ ชัยเรืองยศ 2542) ผลมีรูปร่างกลมแบน เปลือกบาง ผิวเปลือกเรียบมีสีเขียวอมเหลืองจนถึงแดงอมส้ม มีต่อมน้ำมันมาก รสหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย มีกลิ่นหอมแรง (เอฟ. อี. ซิลลิค, 2541)

ส้มเขียวหวานที่ปลูกอยู่ทั่วไปพบว่าเป็นชนิดเดียวกัน มีลักษณะที่เหมือนๆ กัน จนไม่สามารถที่จะแยกออกจากกันได้อย่างชัดเจน จะมีบางต้นที่ปลูกด้วยเมล็ดแล้วเกิดการกลายพันธุ์ ทำให้ลักษณะแตกต่างกันไปบ้างเล็กน้อย อีกประการหนึ่ง สภาพดินฟ้าอากาศที่แตกต่างกันแล้วลักษณะของส้มก็แตกต่างกันไป

ส้มฟรีมองต์

ส้มฟรีมองต์มีชื่อภาษาอังกฤษว่า Fremont เป็นลูกของส้มคลีเมนไทน์(Clementine) จัดอยู่ในกลุ่ม Mandarin ปลูกมากทางภาคเหนือ ได้แก่ที่จังหวัดเชียงใหม่ แพร่ และน่าน และภาคกลางแถวรังสิต ขนาดผลใกล้เคียงกับส้มเขียวหวาน เปลือกค่อนข้างหนาและเหนียว ปอกเปลือกยาก ผิวเปลือกมีลักษณะขรุขระมากกว่าส้มเขียวหวานและมีสีแดงมากกว่าด้วย เนื้อผลค่อนข้างแน่น รสหวานอมเปรี้ยวโดยออกเปรี้ยวมากกว่า และมีกลิ่นหอม(เอฟ. อี. ซิลลิค, 2541)

โครงสร้างและองค์ประกอบของส้ม



รูปที่ 2.1 ภาพตัดขวางของส้ม

ที่มา: Ting และ Rouseff (1986)

ส่วนต่างๆ ของผลส้มจากด้านนอกถึงด้านใน ประกอบด้วยส่วนสำคัญ ได้แก่ เปลือก เนื้อผลหรือกลีบส้ม เมล็ด และแกน ซึ่งแต่ละส่วนประกอบด้วยส่วนต่างๆ(Gene และ Carter, 1977) ดังนี้

เปลือกส้มประกอบด้วยอีพิเดอร์มิส (epidermis) ซึ่งเป็นชั้นของไข สารคิวติน primary cell wall และ epidermal cell ส่วนของเปลือกชั้นที่มีสีหรือเฟลวีโด(flavedo) ประกอบด้วยคลอโรพลาสต์ ซึ่งสามารถเปลี่ยนโครโมพลาสต์เมื่อผลส้มสุก ต่อมน้ำมัน ประกอบด้วย aromatic essencial oil อยู่ภายใน ส่วนอัลบีโด (albedo) เป็นชั้นที่มีโครงสร้างเรียงตัวกันหลวมๆ ลักษณะคล้ายฟองน้ำ มีสีขาว

เนื้อส้ม หรือ กลีบส้ม ประกอบด้วยเมล็ดและถุงน้ำส้ม (juice sac) ซึ่งมีน้ำ น้ำตาล และกรดอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ประกอบด้วย โปรตีน ไขมัน แคโรทีนอยด์ ลิโมนอยด์ และเอนไซม์เป็นต้น แกนกลาง ประกอบด้วย vascular bundle มีลักษณะคล้ายกับชั้นอัลบีโด

องค์ประกอบของส้มส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ น้ำตาล โพลิแซคคาไรด์ และกรดของน้ำตาล โดยในน้ำส้มมีน้ำตาล ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Ting, 1980) น้ำตาลชนิดหลักในน้ำส้มและเปลือกส้มเหมือนกัน คือ ซูโครส กลูโคส และฟรุกโตส (Ting และ Deszyck, 1961) โพลิแซคคาไรด์และโพลิยูโรนายด์ในส้มประกอบด้วย สารเพคติก เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนิน มีประมาณ 45 – 75 เปอร์เซ็นต์ ของของแข็งทั้งหมดในเปลือกและเนื้อเยื่อ (Ting, 1970) ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของโพลิแซคคาไรด์ในเปลือกและกากเป็นเซลลูโลส มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ในเปลือก และ 60 เปอร์เซ็นต์ในกากเป็นพวกเพคติก ส่วนที่เหลือเป็นเฮมิเซลลูโลส (Ting, 1980) ซึ่งโพลิแซคคาไรด์จากเปลือกและกากส้มจัดเป็นแหล่งที่ดีของใยอาหาร โดยทั่วไปจะไม่พบแป้งในเนื้อเยื่อของส้มยกเว้นอาจพบได้ในช่วงต้นของการออกผล

เพคตินที่พบในผลไม้จำพวกส้ม อยู่ในรูปของ เพคตินที่ละลายน้ำ แคลเซียมเพคเตตในผนังเซลล์ หรือเป็นพวกโปรโตเพคติน พบมากที่สุดในชั้นอัลบีโดและกระจายอยู่ในส่วนต่างๆ ของผล (Rouse, 1953) เอนไซม์เพคตินเอสเทอเรสซึ่งพบในผลส้ม สามารถ de-esterify เพคตินในน้ำส้มเป็นผลให้น้ำส้มใส เอนไซม์ชนิดนี้พบมากในท่อลำเลียงน้ำ (juice vesicles) และพบปริมาณต่างๆ กันในอัลบีโดและเฟลวีโด (Rouse และคณะ, 1957)

กรดซิตริกเป็นกรดที่มีมากที่สุดที่มีในน้ำส้ม ส่วนกรดมาลิก ออกซาลิก มาโลนิก และควินิกเป็นกรดที่สำคัญในเปลือกส้ม

สีในผลไม้สกุลส้ม

สารให้สีในผลไม้สกุลส้มสามารถจัดได้เป็น 4 กลุ่มตามสมบัติในการละลาย คือ พวกที่ละลายในตัวทำละลายไขมัน ได้แก่ คลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์ พวกที่ละลายในน้ำ ได้แก่ เฟลโวนอยด์ และแอนโทไซยานิน โดยทั่วไปผลส้มเมื่อยังไม่สุกจะมีเปลือกสีเขียวเนื่องจากสีของคลอโรฟิลล์บดบังสีของแคโรทีนอยด์ไว้ และจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหรือส้มเมื่อสุก(Mackinney, 1961)

เฟลโวนอยด์ในธรรมชาติอยู่ในรูปของไกลโคไซด์ สามารถละลายน้ำได้ มีอยู่มากทั้งในส่วนของเฟลวีโดและอัลบีโด ประกอบด้วยเฟลโวน(flavone) เฟลวาโนน(flavanone) และแอนโทไซยานิดิน (anthocyanidin) โดยเฟลโวนและเฟลวาโนนมีสีเหลืองเมื่ออยู่ในสารละลายด่าง แต่ไม่มีสีเมื่ออยู่ในสารละลายกรด (Horowitz, 1961)

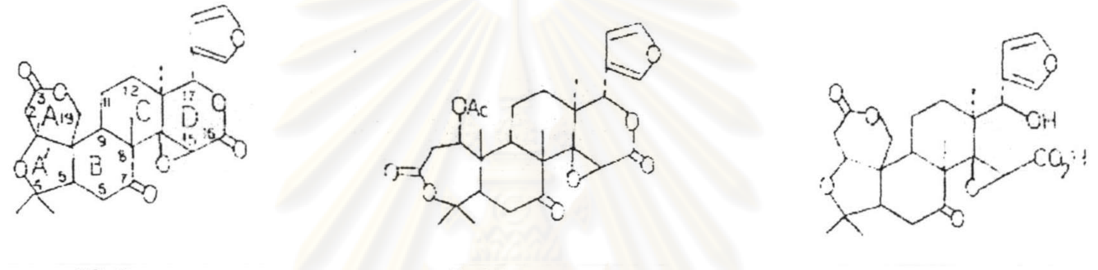
แคโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุที่สำคัญในส้ม พบมากบริเวณเฟลวีโด แคโรทีนอยด์แบ่งเป็นสองพวกคือ แคโรทีน และ oxigenated derivatives ของแคโรทีน มีสีแตกต่างกันไปตั้งแต่สีเหลืองจางถึงสีแดงเข้ม โดยสีของแคโรทีนอยด์ขึ้นกับสองปัจจัย คือ จำนวนพันธะคู่ใน conjugation และความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์ ในระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษาแคโรทีนอยด์เกิดการสูญเสียได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน เอนไซม์ ความร้อน และแสง (Gross, 1977) โดยแคโรทีนอยด์ที่สำคัญในเปลือก orange และ tangerine ได้แก่ β–citraurin, β-cryptoxanthin, Zeaxanthin, lutein, antheraxanthin, violaxanthin, β-carotene และ β–apo-8'-carotenal (Mackinney, 1961) monohydroxy และ dihydroxy-carotenoids ในเฟลวีโดของ orange และ tangerine ถูกทำลายได้ง่ายมากในระหว่างการทำแห้ง (Braddock, 1980)

ความขมในผลไม้สกุลส้ม

ความขมในส้มเป็นปัญหาที่สำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์จากส้ม ซึ่งสารที่ทำให้เกิดรสขมในผลไม้จำพวกส้มสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ ลิโมนอยด์ และ เฟลโวนอยด์ (Rouseff, 1982)

ลิโมนอยด์ พบในผลไม้สกุล Citrus ทุกชนิด (Maier และคณะ, 1977) เป็นกลุ่มอนุพันธ์ของ triterpene ลิโมนอยด์ที่สำคัญที่สุด คือ ลิโมนิน (ภาพที่ 2.2.ก) เป็นสารที่ให้ความขมมากแม้จะมีความเข้มข้นต่ำ (6 ppm) เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้คุณภาพของน้ำส้มต่ำลง ลิโมนินเป็น highly oxygenated triterpene dilactone ซึ่งมีสูตรเคมีคือ $C_{26}H_{30}O_8$ น้ำหนักโมเลกุลประมาณ 470 ลิโมนิน

ละลายได้ในกรดอะซิติก อะซิโตไนไตรล์ และคลอโรฟอร์ม ละลายน้ำได้เล็กน้อย ความสามารถในการละลายน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อมีน้ำตาลและเพคติน ลิโมนินจะเกิดขึ้นในระหว่างการสกัดน้ำส้มโดย limonic acid A-ring lactone ซึ่งไม่ขม และละลายน้ำได้ จะเกิดเอสเทอริฟิเคชันโดยการเหนี่ยวนำด้วยเอนไซม์และถูกเร่งด้วยกรด แล้วเปลี่ยนรูปไปเป็นลิโมนินซึ่งมีรสขมในระหว่างการพาสเจอไรส์หรือการระเหยน้ำส้ม ความร้อนก็เร่งปฏิกิริยานี้เช่นกัน การเกิดลิโมนินจาก limonic acid A-ring lactone(ภาพที่ 2.2.ค) เรียกว่า delayed bitterness นอกจากลิโมนินแล้ว โนมิลิน (ภาพที่ 2.2.ข) ก็เป็นลิโมนอยด์อีกชนิดหนึ่งซึ่งมีรายงานว่าเกี่ยวข้องกับ delayed bitterness เช่นกัน แต่เนื่องจากโนมิลินในน้ำส้มมีความเข้มข้นต่ำมาก(น้อยกว่า 2 ppm) ดังนั้นจึงมีความสำคัญน้อยกว่าลิโมนิน (Rouseff, 1982)

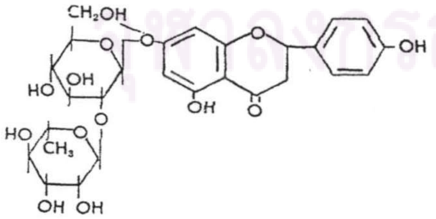


ลิโมนิน โนมิลิน limonic acid A-ring lactone

รูปที่ 2.2 สูตรโครงสร้างของลิโมนิน โนมิลิน และ limonic acid A-*ring lactone*

ที่มา : Maier และคณะ (1977)

เฟลโวนอยด์พบทั่วไปในพืชชั้นสูง โดยทั่วไปอยู่ในรูปของไกลโคไซด์ สามารถละลายน้ำได้ ซึ่งเฟลโวนอยด์ที่สำคัญในอุตสาหกรรมส้มมีสองชนิด คือ นารินจิน (*naringin*) และ เฮสเพอริดิน (hesperidin) นารินจินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 580 สูตรเคมีคือ $C_{27}H_{32}O_{14}$ (ภาพที่ 2.3) นารินจินละลายน้ำได้เล็กน้อย ละลายได้ในอะซิโตน แอลกอฮอล์ และ กรดอะซิติก (Rouseff, 1980)



รูปที่ 2.3 สูตรโครงสร้างของนารินจิน

ที่มา : Rouseff (1980)

ความขมใน sweet oranges เกิดจากลิโมนิน ในขณะที่ในเกรฟฟรุตเกิดจาก นารินจิน(Zoller, 1918) ลิโมนิน (Maier และ Dreyer, 1965) และโนมิลิน (Rouseff, 1982) Kesterson และ Hendrickson (1953) พบว่า มีนารินจินอยู่มากที่สุดในชั้นอัลบีโด ส่วนในใยส้ม(rag) หรือเยื่อกลีบส้มและน้ำส้ม มีอยู่น้อยกว่า Scott (1970) พบว่า ระหว่างใยส้ม อัลบีโด เฟลวีโด น้ำส้ม และเยื่อกลีบส้มนั้นในเยื่อกลีบส้มมีความเข้มข้นของลิโมนินอยู่มากที่สุด

ใยอาหาร

คำจำกัดความของใยอาหาร

ใยอาหาร (dietary fiber) ไม่ได้ประกอบด้วยกลุ่มของสารเคมีที่ชัดเจน แต่เป็นคำเรียกโดยรวมของ heterogenous substances เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพคติน ลิกนิน กัม มิวซิเลจ และโพลิแซคคาไรด์จากสาหร่ายหรือแบคทีเรีย บางคนรวมresistance starch ไว้ด้วย มีการเสนอคำจำกัดความของใยอาหารไว้มากมาย แต่ที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดคือคำจำกัดความทางสรีรวิทยาซึ่งกล่าวว่า ใยอาหาร หมายถึง ส่วนของพืชที่ไม่สามารถย่อยได้โดยน้ำย่อยในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ ส่วนคำจำกัดความทางเคมี อธิบายได้ว่า ใยอาหารเป็นโพลิแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้งในพืช และลิกนิน (Thebaudin และคณะ,1997)

กาก (crude fiber) และใยอาหาร มีความหมายเดียวกันในด้านการขับถ่ายของเสียออกจากร่างกาย คือ หมายถึงสิ่งที่ร่างกายขับถ่ายออกมาเป็นอุจจาระ แต่สำหรับนักเคมีวิเคราะห์หรือนักวิเคราะห์อาหาร กากและใยอาหารต่างกัน เนื่องจากมีส่วนประกอบทางเคมีที่ต่างกัน อีกทั้งวิธีวิเคราะห์ก็ไม่เหมือนกันด้วย ความหมายในด้านเคมีวิเคราะห์ กาก หมายถึง ส่วนของพืชที่ประกอบด้วยเซลลูโลสเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนั้นยังมีเฮมิเซลลูโลส และลิกนิน วิเคราะห์หาปริมาณกากได้โดยการย่อยด้วยสารละลายกรดและด่าง สิ่งที่เหลือจากการย่อย และถูกเผาไหม้ได้ภายใต้สภาวะที่กำหนด คือปริมาณกาก ซึ่งกรรมวิธีดังกล่าวในห้องปฏิบัติการทางเคมี เป็นการย่อยที่แรงกว่าระบบการย่อยในร่างกายมนุษย์ (ประทุม พุทธิวนิช และ พิมพาภรณ์ ไตรณรงค์สกุล, 2540)

ชนิดและองค์ประกอบทางเคมีของใยอาหาร

ใยอาหารมีส่วนประกอบและองค์ประกอบทางเคมี (Schneeman, 1986; ประทุม พุทธิวนิช และ พิมพาภรณ์ ไตรณรงค์สกุล, 2540; วันเพ็ญ มีสมญา, 2541) ดังนี้

1. เซลลูโลส (cellulose) เป็นโพลิแซคคาไรด์ที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของผนังเซลล์พืช ประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคสจำนวนมากเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกที่ตำแหน่ง β -1,4 ไม่ละลายน้ำ ด่าง และตัวทำละลายเป็นส่วนใหญ่ (Deveries และ Reinhold, 1992) จากการศึกษาโดยใช้รังสีเอกซ์ พบว่าบางส่วนของเส้นใยจับตัวหนาทึบเป็นเส้นใยหยาบ ประกอบด้วยเซลลูโลสแต่ละเส้นที่มีโมเลกุลเรียงตัวกันเป็นระเบียบไปทางเดียวกัน ต่อกับเส้นใยข้างเคียงซึ่งมีโมเลกุลเรียงตัวกันในทิศตรงข้ามด้วยพันธะไฮโดรเจน ทำให้พืชมีความแข็งแรง และมีบางตอนที่โมเลกุลเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ (amorphous cellulose) จับกันไม่แน่น ส่วนนี้สามารถดูดซับ (absorb) โมเลกุลของน้ำได้ มีผลทำให้เกิดการพองตัว (swell)

2. เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เป็นโพลิแซคคาไรด์ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลเชิงเดี่ยว (monosaccharides) ชนิดต่างๆ ตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปเป็นจำนวนร้อยๆ โมเลกุล ที่มีสมบัติในการละลายเหมือนกัน คือละลายได้ในสารละลายด่าง ซึ่งมีทั้งน้ำตาลที่มี C_5 (pentose sugars) และ C_6 (hexose sugars) และอาจมี methylated sugars (มี methyl group จับที่โมเลกุลน้ำตาล) และ acid sugars (uronic acid) ซึ่งส่วนใหญ่คือกรดกลูคูโรนิค เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลด้วย น้ำตาลส่วนใหญ่มีการจับตัวกันเป็นโพลิเมอร์แบบมีกิ่งก้าน ซึ่งอัตราส่วนของน้ำตาลต่างๆ ไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับชนิดของพืช เฮมิเซลลูโลสแทรกและยึดตัวอยู่ระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสในผนังเซลล์ จึงมีส่วนช่วยให้ความแข็งแรงกับผนังเซลล์ ไม่มีการจับตัวเป็นเส้นใย

3. สารเพคติก (pectic substances) เป็นโพลิแซคคาไรด์ที่เป็นโพลิเมอร์ของกรดกาแลคทูโรนิค ได้แก่ โมเลกุลของกาแลคโตสซึ่ง C_6 อยู่ในรูปของ carboxilic group และอาจมี methyl group มาเกาะอยู่ด้วย (methylation) ซึ่งมีผลต่อสมบัติของสารเพคติก เพคตินละลายได้ในน้ำร้อนและสามารถเกิดเจลได้ สารเพคติกจะแทรกอยู่ระหว่างเซลลูโลสเช่นเดียวกับเฮมิเซลลูโลส แต่ส่วนมากจะอยู่ในบริเวณระหว่างเซลล์สองเซลล์ที่เรียกว่า middle lamella ทำหน้าที่ประสานโมเลกุลต่างๆ ในผนังเซลล์เข้าด้วยกันและเชื่อมเซลล์ที่อยู่ข้างเคียงกันด้วย (cement like substance) ไม่ได้จับตัวเรียงกันเป็นเส้นใย แต่จับกันอย่างไม่เป็นระเบียบ

4. ลิกนิน (lignin) เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชซึ่งไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต แต่เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของ aromatic alcohols คือ phenyl propane ทำให้ผนังเซลล์มีความคงทนและแข็งแรง ลิกนินไม่ละลายน้ำและทนต่อปฏิกิริยาของกรดและด่าง จะถูกสร้างมากขึ้นเมื่อพืชมีอายุมากขึ้น โดยจะเข้าแทรกและครอบคลุมในชั้นของเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส

5. กัม (gum) มิวซิเลจ (mucilages) และโพลิแซคคาไรด์อื่นๆ ไม่ได้เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์พืช มักถูกเติมลงไปในอาหารด้วยวัตถุประสงค์ต่างๆ กันตามคุณสมบัติการนำไปใช้ จัดเป็นส่วนหนึ่งของใยอาหารเนื่องจากมีสมบัติทางชีวเคมีคล้ายเพคติน

กัม เป็นโพลิแซคคาไรด์ที่พืชหลั่งออกมาเมื่อมีบาดแผล เมื่อผสมกับน้ำจะมีลักษณะเหนียว ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาล และกรดยูโรนิค ไม่มีโครงสร้างทางเคมีที่แน่นอน

มิวซิเลจ เป็นโพลิแซคคาไรด์ที่ได้จากเมล็ดพืช ถูกหลั่งในเอนโดสเปิร์มของเซลล์พืชเพื่อทำหน้าที่ป้องกันการเสียน้ำมากเกินไป ใช้ในปริมาณน้อยในอุตสาหกรรมอาหาร

ตารางที่ 2.1 ชนิดและองค์ประกอบทางเคมีของใยอาหาร

Fiber	Chemical components	
	Main chain	Side chain
Polysaccharides		
Cellulose	Glucose	None
Noncellulose		
Hemicellulose	Xylose	Arabinose
	Mannose	Galactose
	Galactose	Glucuronic acid
	Glucose	
Pectic substances	Galacturonic acid	Rhamnose
		Arabinose
		Xylose
Gums	Galactose	Xylose
	Glucuronic acid-mannose	Fucose
	Galacturonic acid-rhamnose	Galactose
Mucilages	Galactose-mannose	Galactose
	Glucose-mannose	
	Arabinose-xylose	
	Galacturonic acid-rhamnose	
Ncnpolysaccharide		
Lignin	Sinapyl alcohol	3-dimensional structure
	Coniferyl alcohol	
	p-Coumaryl alcohol	

ที่มา : *Schneeman (1986)*

ประเภทของใยอาหาร

จากชนิดและองค์ประกอบทางเคมีของใยอาหารข้างต้นนั้น สามารถจำแนกประเภทของใยอาหารตามหน้าที่ในพืช (Hughes, 1991; Schneeman, 1986) ได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. Structural dietary fibers โดยพวกที่เป็นโพลิแซคคาไรด์ ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และสารเพคติก และที่ไม่ใช่โพลิแซคคาไรด์ ได้แก่ ลิกนิน โดยใยอาหารเหล่านี้เป็นองค์ประกอบสำคัญของผนังเซลล์พืช ซึ่งแยกออกจากองค์ประกอบอื่นๆของเซลล์ได้ยาก

2. Nonstructural dietary fibers ได้แก่ กัมและมิวซิเลจ ซึ่งเป็นโพลิแซคคาไรด์ที่พบอยู่ระหว่างเซลล์หรือหลั่งออกจากเซลล์ สามารถแยกออกจากส่วนประกอบอื่นๆ ได้ง่าย

และสามารถจำแนกใยอาหารตามสมบัติในการละลาย (Huges, 1991; ประทุม พุทธิวนิช และ พิมพาภรณ์ ไตรณรงค์สกุล, 2540) ได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. ใยอาหารที่ละลายน้ำ (soluble dietary fibers) ได้แก่ เพคติน เฮมิเซลลูโลสบางส่วน และโพลิแซคคาไรด์อื่นๆ

2. ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble dietary fibers) ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสส่วนใหญ่และลิกนิน

สมบัติและบทบาทของใยอาหาร

สมบัติทางสรีรวิทยา(physiological properties) ของใยอาหาร

การจะเข้าใจบทบาทของใยอาหารในร่างกายได้ จำเป็นต้องทราบสมบัติของแต่ละองค์ประกอบของใยอาหาร ใยอาหารที่มาจากพืชต่างชนิดกัน จะมีองค์ประกอบแตกต่างกัน ซึ่งมีผลทำให้สมบัติโดยรวมของใยอาหารและบทบาทในร่างกายแตกต่างกัน สมบัติที่สำคัญของใยอาหาร(Schneeman, 1986) มีดังนี้

1. การย่อยสลายโดยแบคทีเรีย (bacterial degradation) จะเกิดขึ้นที่ลำไส้ใหญ่ โดยแบคทีเรียจะไปย่อยสลายใยอาหารเฉพาะส่วนที่เป็นโพลิแซคคาไรด์ ซึ่งการย่อยจะเกิดขึ้นได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ ชนิดและองค์ประกอบของใยอาหาร โครงสร้างทางกายภาพของใยอาหาร ชนิดของแบคทีเรียในลำไส้และระยะเวลาที่อาหารอยู่ในลำไส้ใหญ่ เมื่อใยอาหารถูกย่อยโดยแบคทีเรียจะทำให้

เกิด short chain fatty acid และก๊าซต่างๆ แบคทีเรียเพิ่มจำนวนขึ้น จึงเพิ่มน้ำหนักและปริมาณอุจจาระ

2. ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) เกิดขึ้นในส่วนของใยอาหารที่เป็นโพลิแซคคาไรด์ มีผลต่อบทบาทของใยอาหารในลำไส้เล็กและลำไส้ใหญ่ ซึ่งการจับกับน้ำของใยอาหารเกิดได้ 2 แบบ คือ

การเกิดเจล (gel formation) พวกเพคติน และเฮมิเซลลูโลส(ส่วนน้อย) มีความชอบจับกับน้ำสูงเพราะมี sugar residues ที่มี free polar group เมื่ออยู่ในน้ำจะมีลักษณะเหมือนแป้งเมื่อถูกความร้อน คือ พองตัวและเกิดเป็นเจลขึ้นได้ การเกิดเจลในลำไส้เล็กมีผลทำให้สิ่งที่อยู่ในลำไส้เล็กมีความหนืดสูง มีผลให้สารอาหารถูกดูดซึมได้ช้าลง เนื่องจากมีการละลายตัวของสารอาหารที่ละลายน้ำได้เข้าไปใน gel matrix ของใยอาหาร

การดูดซับน้ำ(water adsorption) เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง สามารถดูดซับน้ำไว้บนโมเลกุลได้โดยบริเวณที่มีพันธะไฮโดรเจนเป็น intermolecular bond และส่วนของ amorphous region การที่เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสมีสมบัติในการอุ้มน้ำทำให้อุจจาระอ่อนไม่แข็ง และลดเวลาในการกำจัดกากอาหาร เป็นการเพิ่มน้ำหนักและปริมาณอุจจาระ

3. การดูดซับสารอินทรีย์ (absorption of organic materials) ได้แก่ กรดน้ำดี และสารประกอบที่เป็นพิษ โดยการศึกษา *in vitro* พบว่า ลิกนินสามารถจับกับกรดน้ำดีได้ดี เพคตินซึ่งมีกรดกลูคูโรนิคและกรดกาแลคทูโรนิคในโมเลกุล และ acidic polysaccharides อย่างอื่นสามารถจับกับกรดน้ำดีได้ ส่วนเซลลูโลสจับกับกรดน้ำดีได้น้อยมาก

4. ความสามารถในการจับอิออนบวก (cation binding capacity) เป็นคุณสมบัติในทางลบของการรับประทานใยอาหารสูง โดยใยอาหารที่เป็น acidic sugar โดยเฉพาะกรดยูนิกซึ่งเป็นองค์ประกอบของสารเพคติกและเฮมิเซลลูโลส สามารถจับกับอิออนบวก แล้วขับออกไปกับอุจจาระ ทำให้การดูดซึมเกลือแร่เข้าสู่ร่างกายลดลง แต่ทั้งนี้การที่รับประทานผักผลไม้แล้วมีผลไปลดการดูดซึมเกลือแร่นั้นอาจเป็นผลมาจากกรดไฟติกที่มีอยู่ในผลไม้ด้วย

จากสมบัติของใยอาหารดังกล่าวข้างต้น การรับประทานใยอาหารจึงมีบทบาทสำคัญต่อระบบสรีรวิทยาของร่างกาย มีการศึกษาอย่างกว้างขวางเกี่ยวกับความสำคัญและบทบาทของใยอาหารต่อสุขภาพ ซึ่งประโยชน์โดยตรง คือ ช่วยเสริมระบบขับถ่าย เพราะเส้นใยอาหารจะไปช่วยเพิ่มปริมาณ

ทำให้อุจจาระอ่อนตัว และเร่งเวลาการขับถ่าย ผลเกี่ยวเนื่องที่ตามมาคือ ช่วยป้องกันมะเร็งลำไส้ใหญ่ เพราะปริมาณอุจจาระที่เพิ่มขึ้นจะช่วยเจือจางสารก่อมะเร็งที่ปะปนมา และการเร่งการขับถ่ายก็ช่วยลดเวลาที่สารก่อมะเร็งมีโอกาสสัมผัสกับลำไส้ด้วย นอกจากนี้เส้นใยบางชนิดที่เกิดเป็นเจลได้จะช่วยจับสารพิษและขับถ่ายออก เส้นใยอาหารยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตาลในเลือด ทำให้การดูดซึมช้าลงเป็นประโยชน์ต่อผู้ป่วยโรคเบาหวาน และช่วยให้ระดับคอเลสเตอรอลในเลือดลดลง (เนตร นารี, 2539) Wisker และคณะ (1994) พบว่าเส้นใยเข้มข้นจากผลไม้ตระกูลส้มสามารถลดระดับของคอเลสเตอรอลทั้งหมดและซีรัมคอเลสเตอรอลชนิด HDL ถ้ารับประทานเส้นใยทั้งหมด 24 กรัม/วัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์

Hongu และ Phillips(1990) กล่าวว่าควรบริโภคใยอาหาร 20 – 35 กรัมต่อวัน หรือ 10 – 13 กรัมต่อ 1000 กิโลแคลอรีของอาหารที่บริโภค โดยสองในสามของปริมาณใยอาหารที่บริโภคควรเป็นใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำ (Anderson และ Siesel, 1990) แต่ทั้งนี้ยังไม่มีการศึกษาใดที่จะบอกได้ถึงปริมาณที่แน่ชัดของใยอาหารที่ควรได้รับในแต่ละวัน เพราะแต่ละคนมีปฏิกิริยาตอบสนองของร่างกายต่อการได้รับใยอาหารแตกต่างกันค่อนข้างมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณขององค์ประกอบของใยอาหารด้วยเนื่องจากองค์ประกอบแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน (วิฐิดา จันทราพรชัย และเพ็ญขวัญ ชมปรีดา, 2538)

สมบัติทางเทคโนโลยี (Technological properties) ของใยอาหาร

สมบัติที่สำคัญของใยอาหาร ซึ่งเกี่ยวข้องกับนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อเป็น functional ingredient ซึ่งได้แก่ hydration properties และความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (Thebaudin และคณะ, 1997) ดังกล่าวแล้วว่าใยอาหารส่วนที่เป็นโพลิแซคคาไรด์สามารถจับกับน้ำได้โดยกลไก 2 แบบ คือ การเกิดเจลและการดูดซับน้ำ ซึ่งพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดสมบัติในการจับกับน้ำ (hydration properties) ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ(water holding capacity) ความสามารถในการจับน้ำ (water binding capacity) และการพองตัว(swelling) การที่ใยอาหารมีสมบัติในการจับกับน้ำและน้ำมัน การเติมใยอาหารลงในผลิตภัณฑ์อาหารปริมาณที่เหมาะสมจึงส่งผลต่อเนื้อสัมผัสและเสถียรภาพของอาหารนั้น เช่น ในผลิตภัณฑ์เนื้อ ทำให้เนื้อดูสดและนุ่ม ในผลิตภัณฑ์ขนมอบช่วยป้องกันการเกิด staling และ ในน้ำสลัดช่วยคงลักษณะของอิมัลชั่น (ลูกจันทร์ ภัครัชพันธุ์, 2537)

ตารางที่ 2.2 ผลิตภัณฑ์ใยอาหารผงทางการค้า

ผลิตภัณฑ์	ชื่อทางการค้า	ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (%)	คุณสมบัติ
Powder cellulose	Keycel	90	สีขาว ไม่มีกลิ่น
	Solka-Floc®	>99	ไม่มีกลิ่นรส
Barley Fiber	Hi-Bran	>50	สีแทน
Bran Flour	Barley 's Best™	70	ไม่มีกรดไฟติก
Stabilized Rice Bran	Protex™ 20S	35-40	กลิ่นรสหวาน (sweet flavor)
Malied Grain Fiber	MGF-200	>40	กลิ่นรสมอล์ท (malt flavor)
Roasted Cocoa Fiber/ Bran			สีน้ำตาล กลิ่นรสช็อคโกแลต
Roasted Oat Fiber/ Bran			สีแทน ไม่มีกลิ่นรส
Apple Fiber		70.7	ไม่มีกรดไฟติก
Pear Fiber		70	ไม่มีกรดไฟติก
Apple cellular Fiber		75	สีน้ำตาลอ่อน ไม่มีกลิ่นรส
Dried Citrus Pulp Sacs		45	สีครีม ไม่มีกลิ่นรส

ที่มา : ดัดแปลงจาก Annonymous (1986) และ Andres (1981)

การผลิตใยอาหารผงและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มีการผลิตใยอาหารผงจากวัตถุดิบต่างๆ กัน เช่น ข้าวสาลี ข้าว ผลไม้จำพวกส้ม เป็นต้น โดยลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ทางการค้าเหล่านี้ คือ มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณไขมันต่ำ มีค่าพลังงานต่ำ (ต่ำกว่า8.36 กิโลจูลต่อกรัม) และมีกลิ่นรสและรสชาติเป็นกลาง

โดยทั่วไปมีการใช้ใยอาหารจากธัญพืชมากกว่าจากผลไม้ แต่อย่างไรก็ตามผลไม้ใยอาหารจากผลไม้ถือว่ามีคุณภาพดีกว่าเนื่องจากมีปริมาณใยอาหารทั้งหมดและใยอาหารที่ละลายน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำและน้ำมัน ความสามารถในการถูกย่อยในลำไส้สูงกว่า นอกจากนี้ยังมีปริมาณกรดไฟติกและแคลอรีต่ำด้วย(Larrauri, 1999) มีรายงานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาการผลิตและสมบัติของใยอาหารผงจากวัตถุดิบต่างๆ ดังนี้

Yoshida และ Ueda (1984) เตรียมเส้นใยผงส้ม โดยนำเนื้อส้มมาสกัดน้ำและแยกเมล็ดออก ล้างด้วยน้ำอุ่นพร้อมคนตลอดเวลา 10 – 15 นาที กรองและล้างซ้ำ 15 – 20 ครั้ง ใส่ในภาชนะโดยแผ่เป็นแผ่นบางๆ ปิดด้วยฟิล์มพลาสติกชนิดใส นำไปตากแดดเป็นเวลา 8 ชั่วโมง อุณหภูมิ 34-40 องศาเซลเซียส ความชื้นมากกว่าร้อยละ 80 เพื่อให้กากส้มมีสีขาว จากนั้นแยกน้ำออกโดยวิธีการเหวี่ยงแยก ทำให้แห้งในตู้อบธรรมดาอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส หรือในตู้อบชนิดสุญญากาศอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส แล้วบดเป็นผงขนาด 60 ถึง 120 เมช

Altomare (1985) ผลิตสารเพิ่มเนื้อ(bulking agent) จากอัลบีโดของผลไม้สกุลส้ม โดยแยกส่วนของอัลบีโดออกจากเฟลวีโด ลดขนาดและล้างด้วยน้ำและแอลกอฮอล์ เพื่อกำจัดสีและความขม หลังจากนั้นแยกน้ำและแอลกอฮอล์ออก ทำแห้ง บดเป็นผง ซึ่งสารเพิ่มเนื้อดังกล่าวมีความสามารถในการจับกับน้ำ 10 –20 กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่าง

Grigelmo-Miguel และ Martin-Belloso (1999) ศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของใยอาหารเข้มข้นชนิดผงจากส้ม (*C.sinensis*) 3 พันธุ์ คือ พันธุ์ Navel, Salustiana และ Valencia Late โดยนำกากส้มที่ได้จากการสกัดน้ำส้มด้วยเครื่องสกัด (291-B model, FMC Corporation) มาล้าง ทำให้แห้ง และบดให้มีขนาด 30 เมช พบว่ามีใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 35.4 – 36.9 โดยน้ำหนักแห้ง มีเพคติน (ร้อยละ15.7 – 16.3) ใกล้เคียงกับเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส (ร้อยละ 16.6 – 18.1) และมีลิกนินเป็นส่วนน้อย (ร้อยละ 2.2 – 3.0) ผลิตภัณฑ์มีความสามารถในการอุ้มน้าสูง (7.3 – 10.3 กรัม/กรัมเส้นใย) ความสามารถในการดูดซับน้ำมันสูง (0.9 – 1.3 กรัม/กรัมเส้นใย) ปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้าต่ำ (ร้อยละ 8.1 – 10.1, 1.5 – 3.0 และ 2.6 – 3.1 ตามลำดับ) มีค่าพลังงานต่ำ (351 - 375 แคลอรี/กรัม) และมีสีตั้งแต่สีเหลืองถึงส้มอ่อน

จากงานวิจัยข้างต้นสามารถสรุปขั้นตอนหลักในการผลิตใยอาหารผงได้ดังนี้

วัตถุดิบ
↓
การบดเปียก (wet milling) หรือการลดขนาดของวัตถุดิบ
↓
การล้าง (washing)
↓
การทำแห้ง (drying)
↓
การบดแห้ง (dry milling)

รูปที่ 2.4 ขั้นตอนหลักในการผลิตใยอาหารผง

การบดเปียกหรือการลดขนาดของวัตถุดิบ

ขนาดอนุภาคของวัตถุดิบมีความสำคัญต่อการผลิตใยอาหารผง โดยอนุภาคที่เล็กเกินไปจะทำให้วัตถุดิบอุ้มน้ำไว้มากระหว่างขั้นตอนการล้าง ให้ร้อยละของผลผลิตต่ำเนื่องจากเกิดการสูญเสียในระหว่างการแยกน้ำออก ในทางตรงข้ามอนุภาคที่ใหญ่เกินไปก็ไม่เหมาะสมเพราะกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ต้องการ เช่น น้ำตาล ในขั้นตอนการล้างได้ยาก และต้องใช้เวลาในการทำแห้งนาน (Larrauri, 1999)

การล้าง

การล้างมีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ต้องการซึ่งปะปนอยู่กับใยอาหาร และกำจัดจุลินทรีย์บางส่วน อาจมีการสูญเสียใยอาหารที่ละลายน้ำได้บางส่วนซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของใยอาหาร ในขั้นตอนนี้น้ำตาลซึ่งมีอยู่มากในวัตถุดิบจะถูกกำจัดออกไปทำให้ไม่เกิดสีเข้มในระหว่างการทำแห้ง และได้ใยอาหารผงที่มีแคลอรีต่ำ(Larrauri, 1999) มีการศึกษาผลของการล้างต่อคุณภาพของใยอาหารผงบางชนิด ดังนี้

Larrauri (1997) ศึกษาผลของขนาดชิ้นของเปลือกส้มและวิธีการล้างต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของใยอาหารผงจากเปลือกส้ม โดยแปรขนาดชิ้นเปลือกส้มเป็น 5 และ 15 มิลลิเมตร และวิธีการล้าง คือ ไม่ล้าง ล้างโดยการใช้น้ำไหลผ่าน ล้างด้วยน้ำร้อน พบว่าใยอาหารผงจากเปลือกส้มที่ไม่

ล้างมีปริมาณน้ำตาลอิสระสูงที่สุดและมีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำที่สุด ใยอาหารผงที่ผ่านการล้างด้วยน้ำร้อนมีปริมาณน้ำตาลต่ำกว่าวิธีอื่นๆ โดยความสามารถในการอุ้มน้ำของใยอาหารผงที่เตรียมจากเปลือกส้มขนาด 5 มิลลิเมตรต่ำกว่าที่เตรียมจากเปลือกส้มขนาด15 มิลลิเมตร ซึ่งอาจเป็นผลมาจากชิ้นเปลือกส้มขนาดเล็กกว่าจึงสูญเสียใยอาหารที่ละลายน้ำไปมาก

Larrauri และคณะ (1996) ศึกษาผลของขนาดชิ้นของเปลือกมะม่วงและเวลาในการล้างต่อองค์ประกอบทางเคมีของใยอาหารผงจากเปลือกมะม่วง โดยแปรขนาดชิ้นเปลือกมะม่วงเป็น 8 และ 15 มิลลิเมตร เวลาในการล้าง 5 และ 10 นาที พบว่า ขนาดชิ้นเปลือก 15 มิลลิเมตรและล้าง 5 นาที ให้ใยอาหารผงที่มีโพลิฟีนอลและใยอาหารที่ละลายน้ำเหลืออยู่มากที่สุด ขนาดของชิ้นตัวอย่างที่เล็กกว่าจะสูญเสียสารประกอบที่ต้องการบางชนิด เช่น โพลิฟีนอล ได้มากกว่าตัวอย่างชิ้นใหญ่

การทำแห้ง

การทำแห้งเป็นขั้นตอนหลักและมีราคาแพงที่สุดในกระบวนการผลิตใยอาหารผง การทำแห้งช่วยปรับปรุงอายุการเก็บของใยอาหารได้โดยไม่จำเป็นต้องเติมสารเคมี ช่วยลดขนาดของบรรจุภัณฑ์และต้นทุนค่าขนส่ง (Larrauri, 1999) การทำแห้งมีผลต่อเนื้อสัมผัส กลิ่นรส กลิ่น สี และการดูดน้ำกลับของอาหาร โดยทั่วไปอัตราการทำแห้งที่เร็วและอุณหภูมิในการทำแห้งสูง เป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากกว่าการใช้อัตราการทำแห้งปานกลางและอุณหภูมิในการทำแห้งต่ำ(Fellows, 1990) งานรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำแห้งเปลือกส้มมีดังนี้

Braddock และ Kesterson (1973) ศึกษาเสถียรภาพของเม็ดสีของเฟลวีโดจากorange และ tangerine พบว่า แคโรทีน monohydroxy และ dihydroxy-carotenoids ถูกทำลายได้ง่ายในระหว่างการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งที่ใช้ในการผลิตอาหารสัตว์ การสูญเสียเม็ดสีจะเพิ่มขึ้นมากเมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งเพิ่มขึ้น ตัวอย่างที่ทำแห้งที่อุณหภูมิ 210 และ 230 องศาฟาเรนไฮซ์ มีการสูญเสียรงควัตถุระหว่างทำแห้งน้อยที่สุด ในขณะที่อุณหภูมิ 290 องศาฟาเรนไฮนซ์ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใช้กับการทำแห้งอาหารสัตว์ทางการค้ามีการสูญเสียมากที่สุด

Braddock และ Kesterson (1974) พบว่าการเก็บเฟลวีโดจากผลไม้จำพวกส้มที่อุณหภูมิต่ำ(-10 องศาฟาเรนไฮต์) มีประสิทธิภาพในการรักษาแคโรทีนอยด์มากกว่าการเติมแอนติออกซิแดนท์ เฟลวีโดที่ทำแห้งภายใต้ภาวะเดียวกันกับการทำแห้งกากส้มในการผลิตอาหารสัตว์ทางการค้า ทำให้

เกิดการสูญเสียรงควัตถุที่มีอยู่ในเฟลวีโดสด 30-90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการสูญเสียรงควัตถุเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งเพิ่มขึ้น (210 225 290 องศาฟาเรนไฮซ์) การเติมแอนติออกซิแดนซ์ก่อนการทำแห้งจะช่วยลดการสูญเสียรงควัตถุระหว่างการแปรรูปได้ แต่แอนติออกซิแดนท์โดยทั่วไปไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอในการป้องกันการสูญเสียรงควัตถุในระหว่างการเก็บรักษา

Larrauri (1997) ศึกษาผลของอัตราการทำแห้งเปลือกส้มใน cabinet dryer พบอิทธิพลร่วมของปริมาณเปลือกส้ม (load) ต่อถาดและอุณหภูมิในการทำแห้ง ต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใย โดยตัวอย่างที่มีอัตราการทำแห้งสูงกว่าจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำกว่า ซึ่งได้อธิบายว่าอาจเป็นผลจาก *partial degradation* ขององค์ประกอบของใยอาหารที่ละลายน้ำบางชนิด

การบดแห้ง

ใยอาหารที่ได้หลังการทำแห้งจะนำมาบดเป็นผงเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ทั้งนี้การบดอาจกระทบต่อลักษณะการไฮเดรชันและเนื้อสัมผัสของใยอาหาร โดยทั่วไปใยอาหารผงทางการค้ามีขนาดอนุภาคระหว่าง 0.43-0.15 มิลลิเมตร (Larrauri, 1999) มีรายงานวิจัยที่ศึกษาผลของขนาดอนุภาคของใยอาหารผงต่อความสามารถในการอุ้มน้ำมีดังนี้

Cadden (1987) ศึกษาผลของการลดขนาดอนุภาคต่อโครงสร้างทางกายภาพและสมบัติในการจับกับน้ำของรำข้าวสาลีและข้าวโอ๊ตเปรียบเทียบกับ microcrystalline cellulose และกัวกัม พบว่า การลดขนาดอนุภาคมีผลต่อโครงสร้างทางกายภาพของเส้นใยต่างชนิดกันแตกต่างกัน โดยการลดขนาดอนุภาคของรำข้าวสาลีทำให้อนุภาคเล็กลงและเกิดความเสียหายกับโครงสร้างที่เป็น matrix ทำให้มีความพรุนลดลง จึงมีความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง แต่การลดขนาดอนุภาคมีผลให้รำข้าวสาลีและ *microcrystalline cellulose* ซึ่งไม่มีโครงสร้างเป็น *matrix* มีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นจึงสามารถอุ้มน้ำได้เพิ่มขึ้น ทั้งนี้การลดขนาดอนุภาคไม่มีผลต่อกัวกัม

Borroto และคณะ (1995) ศึกษาผลของขนาดอนุภาคต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของใยอาหารผงจากเปลือก Valencia orange (*Citrus sinensis*), Eureka lemons (*Citrus limon*), March grapfruit (*Citrus paradisi*) และ Espanola Roja pineapples (*Ananas comosus*) โดยแปรขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคเป็น 0.11-1.0 มิลลิเมตร อบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสข้ามคืน ชั่งน้ำหนัก นำตัวอย่างมา 1 กรัม แช่น้ำ 50 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง

นำไปหมุนเหวี่ยงที่ 2000 รอบต่อนาที นาน 30 นาที และชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณน้ำที่ถูกจับไว้ พบว่าความสามารถในการอุ้มน้ำของใยอาหารผงจากส้มทุกชนิดเพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้นและมีนัยสำคัญกับขนาดอนุภาคที่เพิ่มขึ้น (r = 0.92, 0.90 และ 0.94 สำหรับ lemon, grapefruit และ orange ตามลำดับ) ในขณะที่ความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยจาก pineapple ลดลงเป็นเชิงเส้นและมีนัยสำคัญกับขนาดอนุภาคที่เพิ่มขึ้น (r = 0.92)

นอกจากขั้นตอนการผลิตดังกล่าวแล้ว การผลิตใยอาหารผงอาจมีขั้นตอนอื่นๆเพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบที่นำมาใช้ และลักษณะเฉพาะที่ต้องการในผลิตภัณฑ์นั้น เช่น การลวกเพื่อยับยั้งเอนไซม์ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของใยอาหาร การลดความขมในผลไม้สกุลส้ม

การลวก

ในผักและผลไม้มีเอนไซม์หลายชนิด ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการเสื่อมเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์จากผักและผลไม้ในระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษา ซึ่งในการทำแห้งผักและผลไม้อุณหภูมิในการทำแห้งไม่สูงพอที่จะทำลายเอนไซม์เหล่านี้ได้ การลวกจึงมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์และลดจำนวนจุลินทรีย์ที่มีอยู่ นอกจากนี้ยังช่วยกำจัดแกสออกจากเนื้อเยื่อ ช่วยทำความสะอาดและช่วยรักษาสีด้วย(Barrett และ Theerakulkait, 1995) เอนไซม์ที่ทนความร้อนซึ่งพบในผักและผลไม้ส่วนมาก คือ เอนไซม์คะตะเลสและเปอร์ออกซิเดส ซึ่งเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสทนความร้อนสูงกว่าดังนั้นจึงใช้เป็นดัชนีในการลวก โดยเมื่อทำการลวกแล้วไม่มีกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสเหลืออยู่ แสดงว่าเอนไซม์อื่นๆ ซึ่งทนความร้อนน้อยกว่าได้ถูกทำลายไปแล้ว (Fellows, 1990)

ตารางที่ 2.3 เอนไซม์ที่เป็นสาเหตุให้เกิดการเสื่อมเสียเชิงคุณภาพในผักที่ไม่ผ่านการลวก

การเสื่อมเสีย	เอนไซม์
เกิด off-flavor	ไลปอกซิจีเนส
	ไลเปส
	โปรติเอส
เนื้อสัมผัสเปลี่ยน	เพคติกเอนไซม์
	เซลลูเลส
สีเปลี่ยน	โพลิฟีนอล ออกซิเดส
	คลอโรฟิลเลส
	เปอร์ออกซิเดส
	ไลปอกซิจีเนส
สารอาหารเปลี่ยน	แอสคอบิค เอซิด ออกซิเดส
	ไทอามิเนส

ที่มา: Barrett และ Theerakulkait (1995)

การกำจัดความขม

เนื่องจากในส้มมีสารประกอบที่ให้รสขม ดังนั้นผลิตภัณฑ์จากส้มจึงมีปัญหาเรื่องความขมทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค ดังนั้นในการผลิตใยอาหารผงจากส้มจึงต้องมีการกำจัดสารให้รสขมต่างๆออกไป ซึ่งมีงานวิจัยดังนี้

Swisher (1958) ศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลง pH ต่อความขมในน้ำส้มนาเวิล พบว่า การเกิดลิโมนิน และสารรสขมอื่นๆ และการเพิ่มขึ้นของความขมในน้ำส้มนาเวิลเป็นปฏิกิริยาแบบย้อนกลับกับการเปลี่ยนแปลง pH และเวลา โดยน้ำส้มสดที่มีการปรับ pH เป็น 7 ด้วยโซเดียมคาร์บอเนต จะไม่เกิดรสขมขึ้นแม้ตั้งทิ้งไว้ ในขณะที่ตัวอย่างควบคุม จะค่อยๆ ขมขึ้น แต่เมื่อปรับ pH ของตัวอย่างควบคุมเป็น 7 ความขมจะค่อยๆลดลง และเมื่อปรับ pHเป็น 3.7 อีกครั้งจะเกิดความขมขึ้นอีกเมื่อตั้งทิ้งไว้ และจากการศึกษาผลของระดับ pH ต่อความขมในน้ำส้ม โดยการปรับ pH ของน้ำส้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น แปร pH ของน้ำส้มเป็น 3.57 – 7.03 เก็บไว้ 3 วัน ที่อุณหภูมิ 35 องศาฟาเรนไฮซ์ นำมาให้ความร้อน 70 นาทีที่ 140 องศาฟาเรนไฮซ์ ทำให้เย็นอย่างรวดเร็ว และเก็บที่ 35 องศาฟาเรนไฮซ์ 39 วัน ปรับ pH ของน้ำส้มเป็น 4 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และกรด

ซิตริกก่อนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความขม พบว่าระดับ pH มีผลต่อความขมของน้ำส้ม โดยความขมลดลงเมื่อระดับ pH เพิ่มขึ้น ที่ pH 6.53 มีความขมน้อยมาก และ pH 7.03 ไม่มีความขมเลย การใช้ด่างในการปรับ pH ของน้ำผลไม้ให้เพียงพอ จะทำให้ D-ring lactone หรือ lactone ring ทั้งคู่ของลิโมนินถูกไฮโดรไลซ์และเปลี่ยนรูปไปเป็น hydroxy-acid form ซึ่งไม่มีรสขม สารละลายด่างที่ใช้ในการปรับ pH อาจใช้แคลเซียมออกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนต แคลเซียมคาร์บอเนต และ โซเดียมไบคาร์บอเนต เป็นต้น

Altomare (1985) กำจัดสีและความขมในอัลบีโดของผลไม้สกุลส้มเพื่อผลิตสารเพิ่มเนื้อ (bulking agent) โดยการล้างด้วยน้ำและการสกัดด้วยแอลกอฮอล์ (ไอโซโพรพานอล) หลังจากนั้นแยกน้ำและแอลกอฮอล์ออก ทำแห้ง บดเป็นผง