บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1 ผลไม้ที่ใช้ในงานวิจัย

ผลไม้ที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ มะละกอ กล้วย และสับปะรด ซึ่งเป็นผลไม้ที่อุดมไปด้วยวิตามิน เกลือแร่ และใยอาหาร นอกจากนี้ยังเป็นผลไม้ที่ออกผลตลอดปี มีรสชาติดี และผู้บริโภคทั่วไปมีความคุ้นเคย รายละเอียดผลไม้แต่ละชนิด มีดังนี้

มะละกอ

มะละกอ (papaya) ชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Carica papaya* L. เป็นไม้ผลล้มลุกขนาดกลาง ความสูงประมาณ 5-20 ฟุต เป็นพืชโตเร็ว ออกผลตลอดปี น้ำหนักผลอยู่ระหว่าง 0.7- 2.5 กิโลกรัม มะละกอ 1 ต้น สามารถให้ผลผลิต 25-30 กิโลกรัม/ปี หรือประมาณ 2.5 ตัน/ไร่ พันธุ์ที่นิยมปลูก ได้แก่ แขกดำ สายน้ำผึ้ง โกโก้ สามารถปลูกได้ทั่วทุกภาคของประเทศ โดยปลูกมากที่จังหวัดราชบุรี นครปฐม นครราชสีมา ศรีษะเกษ จันทบุรี ชุมพร สมุทรสาคร และกาญจนบุรี (ทรงพล ทาเจริญ, 2552)

การเก็บเกี่ยวมะละกอในระยะเหมาะสมจะมีผลต่อคุณภาพของมะละกอ ดังนั้นเพื่อสร้างดัชนีบ่งชี้ความสุกของมะละกอ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2531) จึงศึกษาวิจัยการจัดระดับความสุกของมะละกอ โดยแบ่งเป็น 6 ระดับ ได้แก่

1) ระยะแก่จัดสีเขียว (mature green) เปลือกมะละกอมีสีเขียวเข้ม เนื้อผลแน่นแข็ง เนื้อภายในที่ติดกับช่องว่างภายในผล และส้นบริเวณปลายผลเริ่มเปลี่ยนเป็นสีชมพู แสดงให้เห็นว่าผลมะละกอเริ่มเข้าสู่ระยะสุก ไม่ควรเก็บเกี่ยวในขณะที่มีอุณหภูมิต่ำ เนื่องจากจะมีผลต่อกระบวนการสุกภายหลัง

2) ระยะเริ่มเปลี่ยนสี (breaking stage) เปลือกมะละกอที่มีสีเขียวเข้ม จะเริ่มปรากฏแต้มสีเขียวอ่อน หรือมีสีเหลืองบริเวณส้นทางด้านปลายผล เนื้อในผลยังคงแน่นและแข็ง โดยเปลี่ยนเป็นสีชมพูอมแดงตลอดทั้งผล ยกเว้นบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อกับผิวเปลือก ซึ่งยังคงเป็นสีเขียว ระยะนี้เหมาะสำหรับการเก็บมะละกอที่จะส่งไปต่างประเทศ

3) ระยะสุกหนึ่งในสี่ เปลือกมะละกอส่วนใหญ่มีสีเขียวเข้ม และเริ่มเปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองถึงสีส้มชัดเจนขึ้น โดยเฉพาะบริเวณส้นทางปลายผล เนื้อผลภายในที่ติดกับโพรงเริ่มอ่อน เนื้อเปลี่ยนเป็นสีชมพูอมแดงทั่วทั้งผล ยกเว้นด้านบนที่ติดกับก้านผล และบริเวณปลายผล ระยะนี้เหมาะสำหรับการเก็บเกี่ยวเพื่อบริโภคภายในประเทศ และเป็นระยะที่เหมาะกับการขนส่งเพื่อจำหน่ายปลีก

4) ระยะสุกหนึ่งในสอง เปลือกมะละกอประมาณครึ่งหนึ่งของผลเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ในขณะที่อีกครึ่งหนึ่งยังคงมีสีเขียว เนื้อผลแน่น เมื่อกดดูจะรู้สึกว่ายุบตัวลงเล็กน้อย เนื้อภายในผลมีสีแดงอมชมพู ตลอดทั้งผล ยกเว้นบริเวณด้านบนที่ติดกับก้านผล และบริเวณปลายผล ซึ่งยังคงแน่น แข็ง และมีสีชมพูอมเหลือง เหมาะสำหรับใช้แสดงเพื่อขายปลีก และเกือบรับประทานได้

5) ระยะสุกสามในสี่ เปลือกจะมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว เนื้อผลนิ่ม เมื่อใช้นิ้วกดจะยุบตัวลง เนื้อบริเวณขั้วผลเริ่มนิ่ม เนื้อผลมีสีแดงอมชมพูตลอดทั้งผล เป็นระยะที่รับประทานได้

6) ระยะสุกเต็มที่ เปลือกมะละกอจะมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว แต่แม้ว่าสุกเต็มที่แล้ว เปลือกผลยังคงมีสีเขียวปน เนื้อภายในผลนิ่ม และมีสีชมพูตลอดผล เป็นระยะที่เหมาะกับการรับประทาน

<u>ประโยชน์ของมะละกอ</u>

มะละกอเป็นผลไม้ที่สามารถรับประทานได้ตั้งแต่ผลดิบจนถึงผลสุก ผลดิบสามารถใช้รับประทานเป็นผักจิ้มน้ำพริก แกงส้ม ส้มตำ (ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย, 2539) ส่วนผลมะละกอสุกใช้รับประทานผลสด เนื้อมีสีส้นสวยงาม รสชาติหวานอร่อย มีคุณค่าทางอาหารดังแสดงในตารางที่ 2.1 และนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย เช่น แยมมะละกอ เยลลี่มะละกอ มะละกอในน้ำเชื่อม ข้าวเกรียบมะละกอ มะละกอแผ่นกรอบ และซอสมะละกอ (กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ, 2546) มะละกอมีเบตาแคโรทีนและไลโคพีนสูง โดยใน 1 ส่วนหรือประมาณ 6 ชิ้นพอคำ จะมีเบตาแคโรทีน และไลโคพีนเป็นองค์ประกอบถึง 612 และ 2,651 ไมโครกรัมตามลำดับ (ริญ เจริญศิริ และรัชนี คงคาฉุยฉาย, 2551) เนื่องจากเบตาแคโรทีนซึ่งเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ โดยเบตาแคโรทีน 12 ไมโครกรัมจะสามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอ 1 ไมโครกรัม และจากตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ว่ามะละกอเป็นแหล่งที่ดีของวิตามินซี เปรียบเทียบกับปริมาณวิตามินซีในข้อกำหนดสารอาหารที่ควรบริโภคประจำวันสำหรับคนไทย อายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป ที่มีความต้องการพลังงานวันละ 2,000 kcal (Thai RDI) คือ 60 มิลลิกรัม (กระทรวงสาธารณสุข, 2541) นอกจากนี้ยังเป็นผลไม้ที่ย่อยได้ง่าย คนทั่วไปนิยมรับประทาน ดังนั้นในทางอุตสาหกรรมอาหารจึงมีการแปรรูปมะละกอเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย เช่น soft drinks, shakes, แยม, ไอศกรีม และมะละกอบรรจุกระป๋อง (Pamplona-Roger, 2001)

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของมะละกอ ในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม

องค์ประกอบ	ปริมาณ	หน่วย
ความชื้น	94.8	กรัม
โปรตีน	0.2	กรัม
ไขมัน	0.8	กรัม
คาร์โบไฮเดรต	4.0	กรัม
ใยอาหาร	0.3	กรัม
เถ้า	0.2	กรัม
วิตามินเอ	33	ไมโครกรัม RE
วิตามินซี	58	มิลลิกรัม

ที่มา : กรมอนามัย (2544)

กล้วยหอม

กล้วยหอม มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Musa sapientum* Linn ปลูกได้ดีในทุกภาคของประเทศไทย ลักษณะผลตรงปลายมีจุกที่เห็นได้ชัดเจน เปลือกบาง เมื่อสุกเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทอง แต่ที่ปลายจุกจะยังมีสีเขียว แต่จะเปลี่ยนสีภายหลัง เนื้อสีเหลืองเข้ม กลิ่นหอม รสหวาน (เบญจมาศ ศิลาย้อย, 2545)

เนื่องจากกล้วยเป็นผลไม้ที่มีการใช้ประโยชน์จากผลมาก ดังนั้นจึงมีการจัดทำดัชนีความสุกของกล้วย เพื่อเป็นประโยชน์เมื่อต้องการเลือกกล้วยเพื่อใช้ในการแปรรูป (Chiquita Company, 2007) ดังนี้

ระยะที่ 1 ผลกล้วยทั้งหมดมีสีเขียว

ระยะที่ 2 เริ่มมีสีเหลืองเล็กน้อย

ระยะที่ 3 ผลมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว ผลกล้วยเริ่มกระบวนการสุกโดยมีการเพิ่มของน้ำตาลภายในผลกล้วย

ระยะที่ 4 ผลมีสีเหลืองทั่ว มีสีเขียวเล็กน้อยบริเวณขั้วผล และปลายผล ระยะนี้ปริมาณน้ำตาลเริ่มเพิ่มขึ้น

ระยะที่ 5 ผลมีสีเหลืองทั่ว มีสีเขียวเล็กน้อยบริเวณขั้วผล

หอสมุดกลาง สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ระยะที่ 6 ทั้งผลมีสีเหลือง สุกเต็มที่ เป็นระยะที่เหมาะกับการรับประทานมากที่สุด สามารถปลิดผลกล้วยออกจากขั้วได้ง่าย

ระยะที่ 7 ทั้งผลมีสีเหลือง และมีจุดสีน้ำตาล เริ่มงอม เป็นระยะที่มีน้ำตาลมากที่สุด เนื้อกล้วยอ่อนนุ่มมากเหมาะสำหรับการบด และปั่น

ประโยชน์ของกล้วยหอม

กล้วยหอมมีรสชาติดี กลิ่นหอม มีรสหวานจัด โดยมีปริมาณน้ำตาลถึง 20.3 กรัม/ส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม (ริญ เจริญศิริ และรัชนี คงคาฉุยฉาย, 2551)เป็นผลไม้ที่ผู้บริโภครู้จัก และบริโภคกันทั่วไป จึงมีการนำกล้วยหอมมาแปรรูปในอุตสาหกรรมอาหารมานาน ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์จากกล้วยหอม เช่น กล้วยตีปนบรรจุกระป๋องแบบปลอดเชื้อ สามารถใช้เป็นอาหารเด็กอ่อน ผลิตเนคทาร์กล้วย ใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เบเกอรี ไอศกรีม นอกจากนี้ยังใช้กล้วยหอมในการผลิต tropical fruit cocktail (เบญจพร เพ็งอ้น, 2541) กล้วยหอมมีคุณค่าทางอาหารสูง เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการของกล้วยหอมกับ Thai RDI ในตาราง ฉ. 1 ภาคผนวก ฉ พบว่ากล้วยหอมมีวิตามินซีถึง 45% ของ Thai RDI จึงจัดว่าเป็นแหล่งที่ดีของวิตามินซี

ตารางที่ 2.2 คุณค่าทางโภชนาการของกล้วยหอม ในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม

องค์ประกอบ	ปริมาณ	หน่วย
ความชื้น	66.3	กรัม
โปรตีน	0.9	กรัม
ไขมัน	0.2	กรัม
คาร์โบไฮเดรต	31.7	กรัม
ใยอาหาร	1.9	กรัม
เถ้า	0.9	กรัม
แคลเซียม	26	มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	46	มิลลิกรัม
เบตาแคโรทีน	99	ไมโครกรัม
วิตามินเอ	17	ไมโครกรัม RE
วิตามินซี	27	มิลลิกรัม

ที่มา : กรมอนามัย (2544)

สับปะรด

สับปะรด (Pineapple) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ananas comosus* (L.) Merr. อยู่ในวงศ์ Bromeliaceae แหล่งปลูกสับปะรดที่สำคัญของไทยอยู่ในบริเวณพื้นที่ที่อยู่ใกล้ทะเลได้แก่ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรี ชลบุรี ระยอง ฉะเชิงเทรา จันทบุรี ตราด และจังหวัดต่าง ๆ ในภาคใต้ เช่น ภูเก็ต พังงา ชุมพร (จินดารัฐ วีระวุฒิ, 2542) สับปะรดที่ปลูกในประเทศไทยแบ่งออกเป็น 5 พันธุ์ (ม.ล.จารุพันธุ์ ทองแถม, 2526) ได้แก่

1) **พันธุ์ปัตตาเวีย** รู้จักแพร่หลายในชื่อ "สับปะรดศรีราชา" และชื่ออื่นๆ เช่น "ปราณบุรี", "สามร้อยยอด" แหล่งปลูกที่สำคัญ คือ จังหวัดชลบุรี เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ลำปาง เป็นสับปะรดที่มีรสชาติดี และหวานฉ่ำน้ำมาก ผลมีขนาดและรูปทรงต่างกันไป มีน้ำหนักปกติทั่วไป ประมาณ 2.5 กิโลกรัม เปลือกผลเมื่อดิบสีเขียวคล้ำ เมื่อแก่จัดจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอมส้มทางด้านล่างของผลประมาณครึ่งผล ก้านผลสั้นมีไส้ใหญ่ เนื้อเหลืองอ่อนแต่จะเปลี่ยนเป็นสีเข้มในฤดูร้อน สับปะรดพันธุ์นี้เป็นพันธุ์เดียวที่มีผู้ปลูก เพื่อส่งขายโรงงานอุตสาหกรรมสับปะรดกระป๋อง

2) **พันธุ์อินทรชิต** เป็นพันธุ์พื้นเมืองที่เก่าแก่ที่สุดในประเทศไทย ปลูกกระจัดกระจายทั่วไป แหล่งปลูกที่สำคัญได้แก่จังหวัดฉะเชิงเทรา ผลมีขนาดเล็กกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย รสหวานอ่อน มีตะเกียงติดอยู่ที่ก้านผล เปลือกผลเหนียวแน่นทนทานต่อการขนส่ง เหมาะสำหรับบริโภคสด

3) **พันธุ์ขาว** เป็นพันธุ์พื้นเมือง เกษตรกรนิยมปลูกพันธุ์นี้ร่วมกับพันธุ์อินทรชิต เข้าใจว่าอาจกลายพันธุ์มาจากพันธุ์อินทรชิต แหล่งปลูกที่สำคัญคือ ฉะเชิงเทรา รสหวานอ่อน ผลมักมีหลายจุก คุณภาพของเนื้อไม่ค่อยดีนัก ผลมีขนาดปานกลาง น้ำหนักเฉลี่ย 0.85 กิโลกรัม มีลักษณะเป็นทรงกระบอก มีตาลึก ทำให้ผลฟ่ามง่าย

4) **พันธุ์ภูเก็ต หรือสวี** ปลูกกันมากในสวนยางจังหวัดภูเก็ต ชุมพร นครศรีธรรมราช และตราด มีชื่ออื่น ๆ อีก เช่น พันธุ์ชุมพร พันธุ์สวี พันธุ์ตราดสีทอง ผลมีขนาดเล็กกว่าทุกพันธุ์ที่ กล่าวมา มีตาลึก เปลือกหนา เนื้อหวานกรอบสีเหลืองเข้ม มีใยน้อย กลิ่นหอม เหมาะสำหรับบริโภคสด

5) **พันธุ์นางแลหรือน้ำผึ้ง** ปลูกมากในจังหวัดเชียงราย คล้ายพันธุ์ปัตตาเวีย แต่มีรูปร่างของผลทรงกลมกว่า เปลือกบางกว่า และรสหวานจัดกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย ผลแก่มีเนื้อสีเหลืองเข้ม มีใยน้อย เหมาะสำหรับบริโภคสด

เนื่องจากสับปะรดเป็นพืชอุตสาหกรรม จึงมีการกำหนดดัชนีตรวจสอบระดับความสุกของสับปะรด สำหรับการเก็บเกี่ยวสับปะรด (ม.ล.จารุพันธ์ ทองแถม, 2526) ดังนี้

ระยะที่ 0 ตาทุกตาสีเขียว

ระยะที่ 1 ตาสีเหลืองไม่เกิน 20%

ระยะที่ 2 ตาสีเหลืองไม่น้อยกว่า 20% แต่ไม่เกิน 40%

ระยะที่ 3 ตาสีเหลืองไม่น้อยกว่า 40% แต่ไม่เกิน 55%

ระยะที่ 4 ตาสีเหลืองไม่น้อยกว่า 55% แต่ไม่เกิน 90%

ระยะที่ 5 ตาสีเหลืองไม่น้อยกว่า 90% แต่ไม่เกินกว่า 20% ของตาจะมีสีส้ม

ระยะที่ 6 20-100% ของตามีสีน้ำตาลอมแดง

ระยะที่ 7 เปลือกสีน้ำตาลอมแดงและแสดงอาการเน่า

สำหรับดัชนีตรวจสอบความสุกของสับปะรดอีกวิธีหนึ่ง เป็นการประเมินความสุกของสับปะรดอย่างคร่าวๆ (วิจิตร วังใน ,2545) แบ่งระดับความสุกออกเป็น 3 ระยะ ดังนี้

ระยะที่ 1 ผลแก่ ผิวสีเขียวทั้งหมด

ระยะที่ 2 สุกครึ่งผล ผิวสีเหลืองประมาณ ¼

ระยะที่ 3 สุก ผิวมีสีเหลือง ½ ถึง ¾

<u>ประโยชน์ของสับปะรด</u>

สับปะรดเป็นผลไม้ที่มีประโยชน์ทางโภชนาการ กลิ่นหอม นิยมรับประทานสด รสหวานปานกลาง คือ มีน้ำตาล 10.9 กรัม/ส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม (ริญ เจริญศิริ และรัชนี คงคาอุยฉาย, 2551) คุณค่าทางโภชนาการดังแสดงในตารางที่ 2.3 จัดเป็นผลไม้เศรษฐกิจชนิดหนึ่งเพราะมีการส่งออกมาก สับปะรดที่ใช้ในการค้าระหว่างประเทศส่วนใหญ่เป็นสินค้าแปรรูป เช่น สับปะรดแช่เย็น สับปะรดแช่แข็ง สับปะรดแห้ง สับปะรดกวน สับปะรดกระป๋อง และ น้ำสับปะรดเข้มข้น (กรมการค้าต่างประเทศ, 2552)

ตารางที่ 2.3 คุณค่าทางโภชนาการของสับปะรด ในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม

องค์ประกอบ	ปริมาณ	หน่วย
ความชื้น	84.90	กรัม
โปรตีน	0.40	กรัม
ไขมัน	0.30	กรัม
คาร์โบไฮเดรต	14.0	กรัม
ใยอาหาร	0.50	กรัม
แคลเซียม	22.0	มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	8.0	มิลลิกรัม
วิตามินเอ	15.0	ไมโครกรัม RE
วิตามินซี	17.0	มิลลิกรัม

ที่มา : กรมอนามัย (2544)

2.2 ใยอาหาร (dietary fiber)

ใยอาหาร หมายถึง ส่วนประกอบของพืชที่รับประทานได้ หรือคาร์โบไฮเดรตชนิด analogous ที่เอนไซม์ในลำไส้เล็กของมนุษย์ไม่สามารถย่อยได้ แต่เมื่อผ่านไปยังลำไส้ใหญ่จะเกิดการหมัก (ferment) ทั้งหมด หรือบางส่วน โดยมีองค์ประกอบหลักเป็นโพลิแซคคาไรด์ โอลิโกแซคคาไรด์ ลิกนิน และสารบางชนิดในพืช (associated plants substances) แม้ใยอาหารจะไม่ให้พลังงานกับร่างกาย แต่มีบทบาทสำคัญต่อการทำหน้าที่ของระบบต่างๆในร่างกาย เช่น ควบคุมการทำงานของระบบย่อย ระบบดูดซึมของร่างกาย ระบบทางเดินอาหาร ควบคุมระดับและปริมาณคอเลสเตอรอลในกระแสเลือด รวมทั้งระดับน้ำตาลกลูโคสในกระแสเลือดด้วย (AACC International, 2001; Davidson and McDonald, 1998) เนื่องจากใยอาหารมีประโยชน์ต่อร่างกายหลายด้าน กระทรวงสาธารณสุขของไทยจึงได้แนะนำให้คนไทยอายุที่มีตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป ที่มีความต้องการพลังงานวันละ 2,000 kcal บริโภคใยอาหาร 25 กรัมต่อวัน (กระทรวงสาธารณสุข, 2541) แหล่งที่ดีของใยอาหารคือ ผักและผลไม้ ซึ่งผลไม้ไทยหลายชนิดเป็นแหล่งของใยอาหาร (มีใยอาหารไม่น้อยกว่า 3 กรัมต่ออาหาร 100 กรัม) ดังแสดงตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ปริมาณใยอาหารในผลไม้ ไทยบางชนิด

ชนิดของผลไม้	ปริมาณใยอาหาร (กรัม/ส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม)
กล้วยหอม	1.9
กล้วยน้ำว้า	0.3
กล้วยไข่	1.9
ขนุน	1.0
เงาะโรงเรียน	1.6
ชมพู่มะเหมี่ยว	1.3
ชมพู่นาค	0.3
ชมพู่เมืองเพชร	1.1
ชมพู่สาแหรก	1.1
แตงไทย, สุก	0.3
แตงโม, สุก	0.3
ทุเรียนหมอนทอง	1.4
ทุเรียนก้านยาว	1.7
ทุเรียนชะนี	2.4
น้อยหน่า	2.7
ฝรั่งพันธุ์กลมสาลี่	2.9
พุทราไทย	1.0
มะขามเทศ	3.4
มะขามป้อม	2.1
มะขามหวาน	4.7
มะปรางสุก	1.5
มะเฟือง	0.9
มะไฟ	0.9
มะม่วงแก้ว, ดิบ	2.4
มะม่วงแก้ว, สุก	1.6
มะละกอสุก	0.5

ชนิดของผลไม้	ปริมาณเส้นใยอาหาร (กรัม/ส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม)
มังคุด	1.7
ระกำ	0.7
ละมุด	5.6
ลางสาด	0.3
ลำไย	0.4
ลิ้นจี่	0.1
สละ	0.3
สับปะรด	1.2
ส้มเขียวหวาน	1.3

ที่มา : กรมอนามัย (2544)

2.2.1 **สมบัติทางกายภาพของใยอาหาร** (Cho and Dreher, 2001)

การละลาย (solubility)

ใยอาหารสามารถแบ่งตามคุณสมบัติการละลาย ได้เป็น 2 กลุ่ม ดังนี้ (Davidson and McDonald, 1998)

1) ใยอาหารที่ละลายน้ำ (soluble dietary fiber) ประกอบด้วยโพลีแซคคาไรด์หลายชนิดซึ่งมีส่วนประกอบ และน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน เมื่อละลายน้ำจะเกิดเจลที่มีลักษณะข้นหนืด (viscous gel) สามารถชะลอการเดินทางของอาหารในระบบทางเดินอาหารได้ เพิ่มเวลาในการเคลื่อนที่ของอาหารในระบบย่อยทำให้กระเพาะว่างช้าลง และช่วยชะลอการดูดซึมของกลูโคส เส้นใยอาหารประเภทนี้ ได้แก่ เพคติน กัม มิวซิเลจ สตาร์ช แหล่งของใยอาหารประเภทนี้ เช่น ผลไม้ประเภทส้ม อะโวคาโด ถั่วฝัก ข้าวโอ๊ต ข้าวบาร์เลย์ และข้าวไรย์

2) ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble dietary fiber) ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืช ใยอาหารกลุ่มนี้จะไม่เกิดสารละลายที่มีลักษณะเป็นเจล แต่มีความสามารถในการเพิ่มมวลให้อุจจาระ ทำให้อุจจาระมีลักษณะอ่อนนุ่ม ส่วนใหญ่มีแหล่งจากธัญพืช (whole grain cereal) เช่น ข้าวสาลี ข้าวโพด รำข้าว ผัก และถั่วชนิดต่างๆ

ความหนืด (viscosity)

สารละลายที่ได้จากเส้นใยอาหารเมื่อละลายน้ำมีลักษณะข้นหนืด ซึ่งเกิดจาก physical interaction ระหว่างโมเลกุลของโพลีแซคคาไรด์ ที่ความเข้มข้นต่ำโมเลกุลจะแยกจากกัน และเคลื่อนที่แบบอิสระ แต่เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นถึงจุด critical concentration โมเลกุลจะเกิดการเบียดกันและเริ่มรวมตัวกัน สารละลายจึงมีความหนืดเพิ่มขึ้น โดยความหนืดของสารละลายโพลีแซคคาไรด์ขึ้นกับความเข้มข้นและอัตราของแรงเฉือน (rate of shear)

2.2.2 **สมบัติทางเคมีของใยอาหาร** (Cho and Dreher, 2001)

ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water-holding capacity)

โมเลกุลของโพลีแซคคาไรด์มีสมบัติ hydrophilic เนื่องจากมี free hydroxyl group เป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ เมื่อละลายน้ำจะทำให้เกิดเจล โดยปกติหากเกิดลักษณะเช่นนี้ในลำไส้เล็ก หรือลำไส้ใหญ่ จะส่งผลให้อาหารที่อยู่ในลำไส้เกิดความหนืด และลำไส้ดูดซึมสารอาหารได้ช้าลง เนื่องจากการเกิดสภาพของ gel matrix จากคุณสมบัตินี้ทำให้อาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตถูกดูดซึมได้ช้าลง ทำให้น้ำตาลที่ถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดเพิ่มขึ้นช้าๆ ซึ่งอาจช่วยป้องกันการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของอินซูลินในเลือด

ความสามารถในการดูดซับโมเลกุลขนาดเล็ก และประจุ (adsorption of small molecules and ions)

เมื่อโพลีแซคคาไรด์ละลายน้ำจะมีความสามารถจับกับโมเลกุลที่มีขั้วและไอออน ดังนั้นเมื่อรับประทานใยอาหารปริมาณมากเกินไป โดยเกินปริมาณที่แนะนำใน Thai RDI คือ 25 กรัมต่อวันไปมาก จะทำให้ได้รับจากแร่ธาตุจากอาหารลดลง เนื่องจากคุณสมบัติของใยอาหารในการดูดซับโดยอิเลคโตรไลต์นี้จะจับไอออนของเกลือแร่ที่จำเป็นต่อร่างกาย เช่น แคลเซียม และแมกนีเซียม ทำให้ร่างกายดูดซึมเกลือแร่ได้น้อยลง จึงมีผลกระทบต่อการเจริญของกระดูก และคุณสมบัตินี้ยังมีผลทำให้ร่างกายดูดซึมสังกะสีได้ลดลง ทำให้มีผลต่อการเจริญของร่างกายด้วย แต่ข้อดีของสมบัตินี้คือเมื่อใยอาหารจับกับน้ำดี จะทำให้น้ำดีสูญเสียไปกับระบบขับถ่าย จึงทำให้คอเลสเตอรอลลดลง เพราะน้ำดีซึ่งมีคอเลสเตอรอลเป็นส่วนประกอบลดลง ทำให้ช่วยลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดภาวะไขมันในเลือดสูง รวมทั้งโรคหัวใจและหลอดเลือดได้ โดยปัจจัยหลักที่มีผลต่อความสามารถของโพลีแซคคาไรด์ในการจับกับ metal ions คือจำนวนของหมู่คาร์บอกซิลอิสระ และปริมาณของกรด uronic (sugar acid มีองค์ประกอบเป็น carboxylic acid)

2.2.3 การใช้ใยอาหารในอุตสาหกรรมอาหาร

ปัจจุบันผู้บริโภคต่างตื่นตัวกับกระแสอาหารเพื่อสุขภาพ ดังนั้นอุตสาหกรรมอาหารจึงตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคโดยพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์เสริมใยอาหารมีการพัฒนาขึ้นมาก ดังนี้

ผลิตภัณฑ์เบเกอรี (bakery product)

รุจิเรจ นันทิศักดิ์ (2541) ทดลองผลิตขนมอบเสริมใยอาหารจากกากถั่วเหลือง และกากถั่วเหลืองพร่องไขมันซึ่งมีใยอาหารประมาณ 38.3% และ 42.8% ของน้ำหนัก สามารถใช้ทดแทนแป้งสาลีได้ 30%,30% และ 20% ในคุกกี้ บราวนี่ และเค้กตามลำดับ พบว่าผลิตภัณฑ์เสริมใยอาหารจากกากถั่วเหลืองมีใยอาหารเพิ่มขึ้น 2.0-4.6 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม และในผลิตภัณฑ์เสริม ใยอาหารจากกากถั่วเหลืองพร่องไขมันมีใยอาหารเพิ่มขึ้น 2.2-4.6 เท่า ผลิตภัณฑ์ทั้งหมดเมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนชอบเล็กน้อย

การเสริมใยอาหารในผลิตภัณฑ์ขนมปัง ต้องพิจารณาผลของใยอาหารต่อคุณสมบัติทาง rheology ของโด (dough) หรือแบตเตอร์ (batter) ด้วย เนื่องจากใยอาหารส่วนใหญ่จะมีสมบัติในการจับน้ำสูง จึงมีผลต่อคุณสมบัติด้านความหนืด (viscosity) และความเหนียวหนืด (stickiness) ซึ่งสมบัติเหล่านี้มีผลต่อปริมาตรของก้อนขนมปัง ดังการวิจัยของ Peressini and Sensidoni (2009) ซึ่งทดลองใช้อินูลิน 3 ชนิดเสริมในขนมปัง พบว่าอินูลินจะทำให้โดมี water absorbtion ลดลง โดยจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของการเกิดโด และขนมปังต่างกัน

พาสต้า และบะหมี่ (pasta and noodle)

เปลือกถั่วเหลืองซึ่งเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมถั่วเหลือง มีปริมาณใยอาหารสูง และมีปริมาณของสารต่อต้านการดูดซึมของแร่ธาตุในปริมาณต่ำ ปิยอนงค์ ไพรระหง(2545) จึงใช้เปลือกถั่วเหลืองบดเพื่อทดแทนบางส่วนของแป้งบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป พบว่าปริมาณกากถั่วเหลืองที่สามารถทดแทนแป้งได้มากที่สุด คือ 15% แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสีเข้มขึ้น และมีเนื้อสัมผัสสากกว่าสูตรควบคุม มีใยอาหารปริมาณ 20 % ของ Thai RDI เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมพบว่าบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป เสริมใยอาหารจากเปลือกถั่วเหลืองมีใยอาหารเพิ่มขึ้นถึง 4.3 เท่า

วรานุช กาญจนเวนิช (2541) ศึกษาการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมใยอาหารจากผงงาขาวสกัดไขมันโดยแปรปริมาณร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ของน้ำหนักแป้ง ผลการวิจัยพบว่า การเสริมใยอาหารในเส้นก๋วยเตี๋ยวโดยใช้ผงงาขาวสกัดไขมัน ร้อยละ 10 ได้รับการยอมรับที่สูงสุด และเมื่อวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการเปรียบเทียบกับเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าล้วน พบว่า ก๋วยเตี๋ยวที่เสริมใยอาหารจากผงงาขาว 100 กรัม(น้ำหนักแห้ง) มีใยอาหารเพิ่มขึ้น 2.84 กรัม โปรตีนเพิ่มขึ้น 2.51 กรัม ไขมันเพิ่มขึ้น 2.63 กรัม เถ้าเพิ่มขึ้น 0.44 กรัม และความชื้นลดลง 1.81 กรัม

เครื่องดื่ม (beverage)

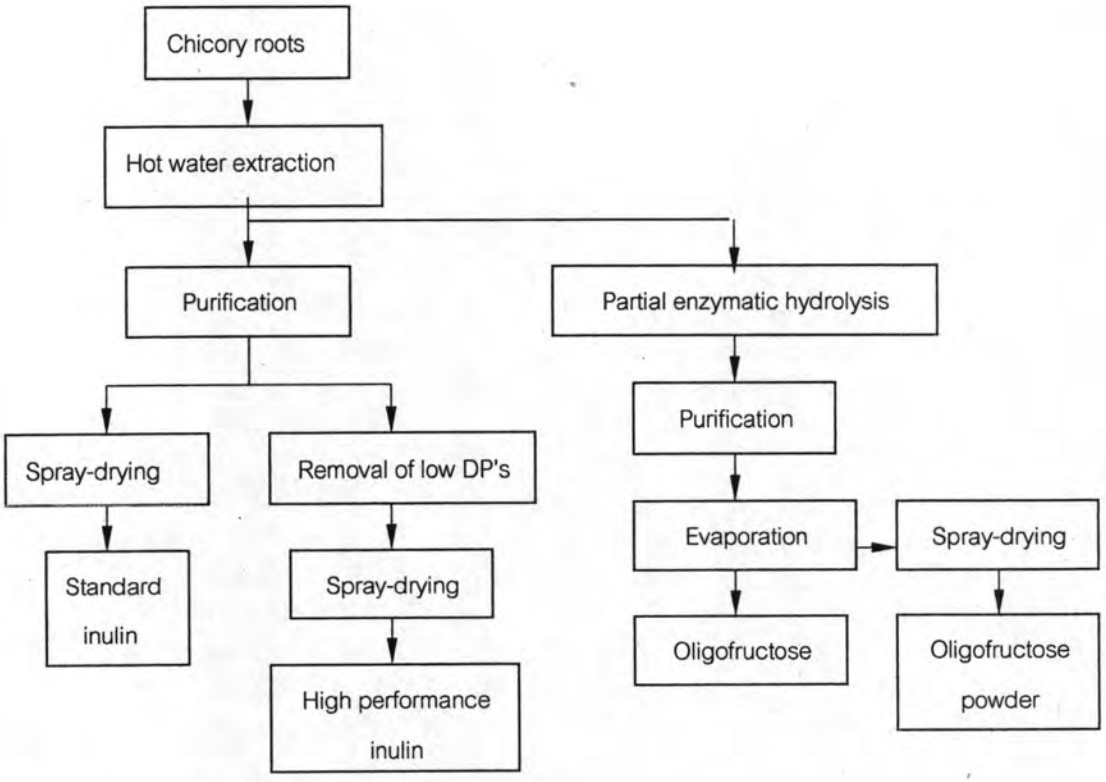
สวามินี นวลแขกุล (2546) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวโพดเสริมเส้นใยอาหารที่สกัดจากกากข้าวโพด มีส่วนผสมของโปรตีนถั่วเหลือง (ร้อยละ 0.5-3) เส้นใยอาหารจากข้าวโพด (ร้อยละ 10-20) และคาราจีแนน (ร้อยละ 0.02-0.07) ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวโพดที่พัฒนาได้ประกอบด้วย น้ำข้าวโพด ร้อยละ 79.43, น้ำตาล ร้อยละ 8, โปรตีนถั่วเหลือง ร้อยละ 0.8, เส้นใยอาหารข้าวโพด ร้อยละ 11.73, และ คาราจีแนน ร้อยละ 0.04 เมื่อพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 63 °C เป็นเวลา 30 นาที สามารถเก็บไว้ได้ 16 วัน ที่อุณหภูมิ 0-4 °C ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 125 คน พบว่าผู้ทดสอบให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ 124 คน คิดเป็นร้อยละ 99.2 โดยให้คะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ในระดับชอบปานกลาง

2.3 พรีไบโอติก (Prebiotics)

พรีไบโอติก หมายถึง ส่วนผสมของอาหารที่ไม่สามารถย่อยได้เพราะมีองค์ประกอบเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ทนต่อการไฮโดรไลซ์จากกรดในกระเพาะอาหาร และเอนไซม์ที่ใช้ย่อยอาหารในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ เมื่อเข้าสู่ลำไส้ใหญ่จะเกิดกระบวนการหมักโดยจุลินทรีย์ในกลุ่มโพรไบโอติก (จุลินทรีย์ที่มีชีวิตที่เสริมในอาหาร เมื่อบริโภคในปริมาณที่เหมาะสมจะให้ประโยชน์ต่อร่างกายผู้บริโภค (FAO and WHO, 2006)) ที่อยู่ประจำที่ในลำไส้ เช่น Bifidobacteria และ Lactobacillus ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ทำให้เพิ่มจำนวนขึ้น ในขณะที่จุลินทรีย์ที่ก่อโรคลดปริมาณลง จากกระบวนการหมักจะได้กรดแลกติก และกรดไขมันสายสั้นๆที่สามารถดูดซึมได้ (Gibson et al.,1995) ตัวอย่างของพรีไบโอติกที่มีจำหน่ายในท้องตลาดในปัจจุบัน ได้แก่ Fructooligosaccharides เช่น Inulin, Galactooligosaccharides, Isomaltooligosaccharide, Lactulose, Soybean oligosaccharide, Lactosucrose, Xylooligosaccharide และ Gentiooligosaccharide (Gibson and Rastall, 2006)

2.4 อินูลิน และโอลิโกฟรุกโตส (Inulin and oligofructose)

อินูลินพบในพืชประมาณ 36,000 ชนิด เช่น กระเทียม (leeks) หอม(onions) อาร์ทิโชค (artichokes) คุณสมบัติที่แตกต่างกันของอินูลินขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่น ชนิดของพืช แหล่งปลูก และสภาวะในการปลูก ในปัจจุบันทางการค้าผลิตอินูลินโดยสกัดจากรากของชิโครี (chicory roots) แต่สำหรับโอลิโกฟรุกโตสจะมีวิธีผลิต 2 วิธี วิธีแรกคือการไฮโดรไลซ์อินูลินบางส่วนด้วยเอนไซม์ endo-inulinase แล้วผ่านเข้าเครื่องสเปรย์ดราย (spray dryer) หรืออาจสังเคราะห์จากซูโครสโดยเอนไซม์ fructosyl-transferase ดังแสดงในรูปที่ 2.1 อินูลิน และโอลิโกฟรุกโตสที่จำหน่ายในทางการค้ามีหลายรูปแบบ เช่น ผง แบบเม็ดละลายง่าย (granulated instant) เจล ซึ่งมีปริมาณกลูโคส/ ฟรุกโตส/ ซูโครส 8.14% และแบบ low sugar มีกลูโคส/ ฟรุกโตส/ ซูโครส ต่ำกว่า 4% (Franck , 2002)



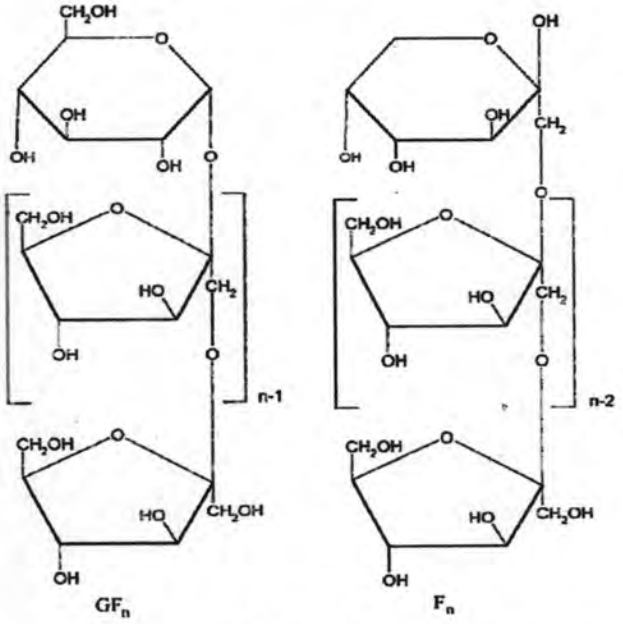
หมายเหตุ DP หมายถึง degree of polymerization

รูปที่ 2.1 ผังแสดงการผลิตอินูลินและโอลิโกฟรุกโตสในระดับอุตสาหกรรม (Franck ,2002)

2.4.1 โครงสร้างและสมบัติทางกายภาพของอินูลินและโอลิโกฟรุกโตส

อินูลินมีโครงสร้างเป็นโพลิแซคคาไรด์ (polysaccharides) ประกอบด้วย linear chains ของฟรุกโตสหลายหน่วยที่เชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่ง β (2-1) มีปลายสายเป็นหน่วยของกลูโคส ดังในรูปที่ 2.2 เนื่องจากโครงสร้างอินูลินมีโพลิเมอร์ของฟรุกโตสเป็นองค์ประกอบ จึงจัดอยู่ในพวกฟรุกแทน อินูลินมีหน่วยของฟรุกโตสถึง 3-60 หน่วย แต่สำหรับโอลิโกฟรุกโตสผลิตได้จากการไฮโดรไลซ์อินูลินบางส่วนด้วยเอนไซม์อินูลิเนส (inulinase) (เอนไซม์ที่ผลิตได้จากจุลินทรีย์หลายชนิด ทั้งแบคทีเรีย ยีสต์ และรา แบ่งตามรูปแบบของการไฮโดรไลซ์ออกได้เป็น 2 ชนิด คือ เอนโดอินูลิเนส (endoinulinase) และเอกโซอินูลิเนส (exoinulinase) โดยเอนโดอินูลิเนสสามารถไฮโดรไลซ์อินูลินบางส่วนได้โอลิโกฟรุกโตส ในขณะที่เอกโซอินูลิเนสจะไฮโดรไลซ์ อินูลินได้ฟรุกโตส (Catana et al., 2007))โอลิโกฟรุกโตสมีมวลโมเลกุลต่ำกว่าอินูลิน และมีหน่วยของฟรุกโตสเพียง 2-7 หน่วยเท่านั้น (Mitchell, 2006; Gibson and Rastall, 2006)

เช่น โยเกิร์ต เนยแข็ง และไอศกรีม (El-Nagar et al., 2002; Hennelly et al., 2005) แต่หากใส่อินูลิน หรือโอลิโกฟรุกโตสในอาหารที่มี pH น้อยกว่า 4 พร้อมกับให้อุณหภูมิสูง และเวลานาน อินูลิน หรือโอลิโกฟรุกโตส จะไฮโดรไลซ์ไปเป็นฟรุกโตส และกลูโคส ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหากใช้ในผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นกรดสูง และเก็บไว้นาน อาจเกิดการไฮโดรไลซ์ได้ (Kim, Faqih and Wang, 2001)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของโอลิโกฟรุกโตส (ซ้าย) และ อินูลิน (ขวา) (Ronkart et al.,2001)

2.4.2 คุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของอินูลินและโอลิโกฟรุกโตส

อินูลินมีรสหวานเล็กน้อย ไม่มี after taste และ off-flavor ส่วนโอลิโกฟรุกโตสจะมีความหวานประมาณ 30-65% ของน้ำตาลซูโครส โดยระดับความหวานขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์อาหาร หากเติมในผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลธรรมชาติเช่น น้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส ในปริมาณสูง จะทำให้ความหวานของโอลิโกฟรุกโตสเพิ่มขึ้น จากคุณสมบัติดังกล่าวทำให้สามารถใช้โอลิโกฟรุกโตสแทนน้ำตาลซูโครส และกลูโคสไซรัปได้ในผลิตภัณฑ์หลากหลายชนิด แต่คุณสมบัติในการละลายของโอลิโกฟรุกโตสดีกว่าซูโครส เพราะเป็นผง ละลายได้ง่าย มีคุณสมบัติในการ reduce ปานกลางจึงเกิดสีน้ำตาลเล็กน้อยระหว่างการอบ นอกจากนี้โอลิโกฟรุกโตสยังมีผลต่อกลิ่นบางตัว เช่น กลิ่นผลไม้จะเด่นชัดขึ้นกว่าการผสมกับน้ำตาลซูโครส และยังเกิดผลร่วมกับสารให้ความหวานแทนน้ำตาล (intense sweetener) เช่น aspartame acesulfame K ได้ผลิตภัณฑ์คล้ายน้ำตาลธรรมชาติ จึงนิยมใช้ร่วมกัน (Franck , 2002)

2.4.3 คุณประโยชน์ของอินูลินและโอลิโกฟรุกโตส

พรีไบโอติก

อินูลิน และโอลิโกฟรุกโตสมีสมบัติเป็นเส้นใยอาหารพรีไบโอติก ดังนั้นเมื่อเข้าสู่ลำไส้ใหญ่จะเกิดกระบวนการหมักโดยจุลินทรีย์ในกลุ่มโพรไบโอติก (probiotics) ที่อยู่ประจำถิ่นที่ในลำไส้ และทำให้จุลินทรีย์เหล่านี้เพิ่มจำนวนขึ้น ในขณะที่จุลินทรีย์ที่ก่อโรคลดปริมาณลง (Gibson et al., 1995)

การป้องกันฟันผุ

สาเหตุของฟันผุ เกิดจากจุลินทรีย์ที่มีชื่อว่า *Streptococcus mutans* ซึ่งอาศัยอยู่ในช่องปาก สร้างกรดทำลายเนื้อฟัน แต่เนื่องจากจุลินทรีย์ชนิดนี้ไม่สามารถใช้อินูลิน และโอลิโกฟรุกโตสเป็นแหล่งอาหารได้ การรับประทานอาหารที่มีส่วนผสมของสารเหล่านี้จึงไม่ทำให้ฟันผุ จึงนิยมใช้โอลิโกฟรุกโตส ที่มีรสหวานแทนน้ำตาลซูโครสเพื่อให้ความหวานแทนน้ำตาล (Boeckner, Schnepf and Tungland, 2001)

ค่าพลังงานต่ำ

อินูลินไม่ถูกย่อยในระบบทางเดินอาหารส่วนบน แต่เมื่อเดินทางไปถึงลำไส้ใหญ่จะเกิดการหมักโดยจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ ได้เป็นกรดคาร์บอกซิลิก(carboxylic acids) สายสั้นๆ, แลกเตท (lactate), แก๊ส รวมทั้งพลังงานเล็กน้อยเพียง 1.0 - 2.0 kcal/g. ดังนั้นเมื่อใช้อินูลิน หรือโอลิโกฟรุกโตสเสริมในอาหาร จะสามารถโฆษณาได้ว่าเป็นอาหารที่ให้พลังงานต่ำ (Gibson and William, 2000)

ผลต่อการใช้อินซูลิน

อินูลินและโอลิโกฟรุกโตส ไม่ถูกย่อยในระบบทางเดินอาหาร ดังนั้นจึงไม่ถูกดูดซึมเข้ากระแสเลือด จึงไม่มีผลต่อน้ำตาลในเลือด และฮอร์โมนอินซูลิน ดังนั้นจึงสามารถใช้เป็นสารให้ความหวานในอาหารสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวานได้ (Boeckner et al., 2001)

2.4.4 การใช้อินูลิน และโอลิโกฟรุกโตสในอุตสาหกรรมอาหาร

อินูลิน และโอลิโกฟรุกโตสมีความยาวของโมเลกุลแตกต่างกัน อินูลินที่มีความยาวมากกว่าจึงมีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อยกว่าโอลิโกฟรุกโตสที่มีสายสั้นกว่า อินูลินยังมีความสามารถในการเกิด microcrystal เมื่อผสมลงในน้ำ และนม ซึ่ง crystal เหล่านี้จะไม่ทำให้รู้สึกระคายเมื่ออยู่ในปาก แต่จะเกิดเนื้อสัมผัสที่มีลักษณะเป็นครีมที่เนียนมี mouth feel คล้ายกับไขมัน (Franck, 2002) ดังนั้นจึงทำให้อินูลินมีความสามารถที่ใช้ทดแทนไขมันได้เป็นอย่างดีในผลิตภัณฑ์ table spreads ขนมอบ filling ผลิตภัณฑ์อาหารนม frozen desserts และ dressing ในขณะที่ไม่ทำให้ฟันผุ เพราะเป็นฟรุกแทนซึ่งจุลินทรีย์ที่ทำให้ฟันผุไม่สามารถใช้เพื่อเปลี่ยนเป็นกรดได้ ส่วนโอลิโกฟรุกโตสที่มีสายสั้นกว่า และมีคุณสมบัติคล้ายกับน้ำตาล หรือกลูโคสไซรัป แต่สามารถละลายน้ำได้ดีกว่าน้ำตาลทราย และให้ความ

หวาน 30-50% ของน้ำตาลทราย โอลิโกฟรุกโตสสร้าง body ให้กับผลิตภัณฑ์นม และเป็นสารช่วยดูดความชื้นในขนมอบ ลดอุณหภูมิของจุดเยือกแข็ง ให้ความกรอบแก่คุกกี้ไขมันต่ำ และทำหน้าที่เหมือนกับ binder ใน granola bars โดยใช้เหมือนกับน้ำตาล แต่ให้พลังงานต่ำกว่า ดังนั้นจึงมีการใช้โอลิโกฟรุกโตสเหมือน additives เสริมในเครื่องดื่มผลิตภัณฑ์อาหารนมเพื่อสุขภาพ หรือใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อผู้ป่วยโรคเบาหวาน (Kaur and Gupta, 2002)

ผลิตภัณฑ์นม (dairy product)

จุฑารัตน์ โกวิทยา (2549) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมซึ่งลดปริมาณไขมันและศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพไอศกรีม โดยทดลองใช้อินูลินร้อยละ 0, 3, 6 และ 9 (โดยน้ำหนัก) ทดแทนไขมัน พบว่าความเข้มข้น และ Degree of polymerization (DP) ของอินูลินทำให้คุณสมบัติทางกายภาพ และประสาทสัมผัสของไอศกรีมลดไขมันแตกต่างกัน เช่น อินูลินสายสั้น (DP< 10) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นจะทำให้ไอศกรีมมิกซ์หนืดขึ้น การขึ้นฟู และความแข็งเพิ่มขึ้น ส่วนอินูลินสายยาว (DP> 23) จะทำให้ไอศกรีมมิกซ์หนืดกว่า ความแข็งมากกว่า การขึ้นฟูต่ำกว่า และละลายช้ากว่าอินูลินสายสั้น และเมื่อใช้ อินูลินสายสั้นผสมกับอินูลินสายยาวในอัตราส่วน 1:1 จะทำให้คุณภาพของไอศกรีมดีที่สุด ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพตลอดจนให้ลักษณะทางประสาทสัมผัส และผู้บริโภคให้การยอมรับไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม

ผลิตภัณฑ์เบเกอรี (bakery product)

Filipovic, Popov, Filipovic (2008) ศึกษาการเสริมใยอาหารอินูลิน 3 ชนิด ซึ่งผลิตจากเจรูซาเล็มอาร์ทิโชค (Jerusalem artichoke) ชื่อทางการค้าคือ Inulin GR กับ Inulin HPX และผลิตจากหัวบีท (sugar beet) คือ Fibrex ใช้ในปริมาณ 0% และ 5% ในแป้งเพื่อผลิตโดขนมปัง แล้วเก็บสภาพแช่เยือกแข็ง พบว่าใยอาหารที่เสริมมีผลต่อการเกิดกลูเตน ซึ่งจะลดคุณภาพของโด และขนมปัง แต่ผลที่เกิดขึ้นจะมีความสัมพันธ์กับชนิดของใยอาหารที่เสริม

โอลิโกฟรุกโตสมีคุณสมบัติคล้ายกับน้ำตาลซูโครส จึงสามารถใช้แทนน้ำตาลซูโครสในผลิตภัณฑ์ขนมอบได้ ดังการทดลองของ Ronda et al. (2005) ที่ผลิต sugar free sponge cake โดยใช้โอลิโกฟรุกโตสเป็นสารให้ความหวานแทนน้ำตาลซูโครส ในปริมาณเท่ากัน ผลิตภัณฑ์ที่ได้เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างควบคุมที่ใช้น้ำตาลซูโครส พบว่าสีของผิวด้านนอกของเค้กที่ใช้โอลิโกฟรุกโตสมีสีเข้มกว่าจาก Maillard reaction ที่ส่วนผิว ในขณะที่เนื้อด้านในมีสีเข้มกว่าตัวอย่างควบคุมเล็กน้อย เมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัส ผลิตภัณฑ์ได้รับการยอมรับน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม เพราะมีความหวานน้อย เนื่องจากโอลิโกฟรุกโตสมีความหวานเพียง 30-50% ของน้ำตาลทราย ในปัจจุบันจึงนิยมใช้ร่วมกับ intense sweetener เช่น acesulfame K เพื่อปรับความหวานให้เท่ากับน้ำตาลซูโครส (Bondt, 2006)

ผลิตภัณฑ์เนื้อ (meat product)

อินูลินมีความสามารถที่ใช้ทดแทนไขมันได้จึงนิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการลดไขมันเพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น การทดลองของ Archer et al. (2004) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ sausage patty ที่มีไขมันต่ำ โดยเลือกใช้อินูลินเพื่อทดแทนไขมัน จากผลการทดลองพบว่าปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์ที่เสริมอินูลินลดต่ำลง โดยเหลือเพียง 6.3 กรัม/ตัวอย่าง 100 กรัม แตกต่างกับสูตรต้นแบบที่มีไขมันถึง 14.2 กรัม/ตัวอย่าง 100 กรัม ทำให้พลังงานที่ได้จากการรับประทาน sausage patty ที่เสริมอินูลินต่ำกว่าตัวอย่างสูตรต้นแบบถึง 200 KJ/ ตัวอย่าง 100 กรัม แต่ผลทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าการยอมรับไม่แตกต่างกันระหว่างสูตรปกติ กับสูตรที่ใช้อินูลิน

เครื่องดื่ม (beverage)

ในปัจจุบันเสริมมีการใยอาหารทั้งอินูลิน และโอลิโกฟรุกโตสในเครื่องดื่มหลายชนิด เช่น น้ำผลไม้ เครื่องดื่มเสริมใยอาหาร การทดลองของ Dahl et al.(2005) ได้ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ thickened beverages เสริมอินูลินแทนการใช้ modified starch เป็นตัวที่ทำให้อาหารเกิดความข้น โดยใช้น้ำผลไม้ 3 ชนิดคือ น้ำส้ม แอปเปิ้ล และแครนเบอรี่ โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ใช้ modified starch จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าผู้ทดสอบไม่สามารถบอกได้ถึงความแตกต่างระหว่างการใช้ อินูลิน และ modified starch โดยน้ำผลไม้ที่เสริมอินูลินนอกจากจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ต้องการแล้ว ยังมีคุณค่าทางอาหารเพิ่มด้วย

2.5 **ฟรุกโตส** (fructose)

น้ำตาลฟรุกโตส หรือลีวูโลส (levulose) เป็นน้ำตาลคีโตสชนิดเดียวที่มีความสำคัญมากในอาหาร ในธรรมชาติพบได้ในผัก ผลไม้ ธัญพืช น้ำผึ้ง และผลิตจากการไฮโดรไลซ์น้ำตาลซูโครส และอินูลิน (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) น้ำตาลฟรุกโตสให้ความหวานมากกว่าน้ำตาลทราย เป็น reducing sugar ซึ่งสามารถเกิด Maillard reaction กับกรดอะมิโน ให้สารสีน้ำตาล นอกจากนี้ยังนิยมใช้น้ำตาลฟรุกโตสเป็นแหล่งอาหารของยีสต์ในกระบวนการหมัก ผลิตภัณฑ์ corn sweetener ที่มีทั้งน้ำตาลฟรุกโตสและกลูโคส จะมีความดันออสโมติกสูง จึงช่วยควบคุมการเน่าเสียที่เกิดจากจุลินทรีย์ได้

High fructose corn syrup (HFCS) มีคุณสมบัติช่วยลดจุดเยือกแข็งให้ต่ำลงได้ เพราะมีส่วนประกอบเป็นกลูโคส และฟรุกโตสอยู่ในปริมาณมาก จะทำให้ระบบอาหารมีจุดเยือกแข็งต่ำลง และมีจุดเดือดสูงขึ้นมากกว่าระบบที่มีแต่น้ำตาลซูโครสเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ HFCS ยังช่วยยับยั้งปฏิกิริยา oxidation ในอาหาร ซึ่งจะช่วยรักษาสีของสตรอว์เบอร์รีกวน หรือผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่มีสีสันสดใส เพราะช่วยลดการซึมผ่านของออกซิเจนได้ และช่วยกระตุ้นกลิ่นรส เพราะการใช้ HFCS แทนน้ำตาลซูโครสจะช่วยเพิ่มกลิ่นรสเปรี้ยว (citrus flavor) ในผลิตภัณฑ์จำพวกผลไม้ (กล้าณรงค์ ศรีรอต, 2542)

2.6 เอนไซม์อินูลิเนส (Inulinase)

เอนไซม์อินูลิเนส (Inulinase) เป็นเอนไซม์ที่สามารถไฮโดรไลซ์อินูลินได้ ผลิตได้จากจุลินทรีย์หลายชนิด ทั้งแบคทีเรีย ยีสต์ และรา แบ่งตามรูปแบบของการไฮโดรไลซ์ออกได้เป็น 2 ชนิด คือ เอนโดอินูลิเนส (endoinulinase) และเอกโซอินูลิเนส (exoinulinase) โดยเอนโดอินูลิเนสสามารถไฮโดรไลซ์อินูลินบางส่วนได้โอลิโกฟรุกโตส ในขณะที่เอกโซอินูลิเนสจะไฮโดรไลซ์ อินูลินได้ฟรุกโตส (Catana et al., 2007)

2.7 ผลิตภัณฑ์ผลไม้ตีป่น (fruit purée)

ผลิตภัณฑ์ผลไม้ตีป่น คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำส่วนที่รับประทานได้ของผลไม้มาผ่านกระบวน การบด หรือตีป่น และกรองผ่านตะแกรง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่มีชิ้นผลไม้เหลืออยู่ (Gould, 1990) ในทางการค้าผลิตภัณฑ์ผลไม้ตีป่นผลิตจากผลไม้หลายชนิด นิยมบรรจุในภาชนะที่หยิบใช้ได้สะดวก เก็บรักษาง่าย และขนส่งได้สะดวก ผลิตภัณฑ์นี้จึงเป็นสินค้าที่มีตลาดค่อนข้างกว้าง เนื่องจากสามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้หลายชนิด เช่น เนคทาร์ แยม (Hui et al., 2006)

ขั้นตอนการผลิตผลไม้ตีป่นทั่วๆ ไปเริ่มจาก การล้างทำความสะอาดผลไม้ หากมีเปลือกต้องเอาเปลือกออก ในผลไม้บางประเภทอาจต้องนึ่งด้วยไอน้ำ (blanching) จากนั้นผ่านเครื่องหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ บดให้เนียนละเอียด กรองผ่านตะแกรง และผ่านการโฮโมจิไนซ์ ในปัจจุบันนิยมใช้วิธี aseptic technique เพื่อถนอมรักษาผลไม้ตีป่น ซึ่งให้ผลดีกว่าวิธีการใช้สารเคมี และยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ จากนั้นบรรจุลงในภาชนะ (Hui et al., 2006)

กล้วยตีป่นเป็นผลิตภัณฑ์ผลไม้ตีป่นชนิดหนึ่งที่นิยมผลิตมาก เนื่องจากเป็นผลไม้ที่มีรสชาติอร่อย มีคุณค่าทางอาหารสูง เหมาะกับเป็นอาหารเด็กอ่อน ผลิตมากในประเทศแถบอเมริกาใต้ มาตรฐานคุณภาพของกล้วยตีป่นดังในตาราง 2.5 ผลิตภัณฑ์กล้วยตีป่นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น เป็นอาหารเด็กอ่อน ส่วนผสมของไอศกรีม และโยเกิร์ต วัตถุดิบในการผลิตเครื่องดื่มประเภทเนคทาร์ และขนมอบ (เบญจมาศ ศิลาย้อย ,2545) เบญจพร เพ็งอ้น (2541) ได้ศึกษาสภาวะของกรรมวิธีการผลิต และผลของการเก็บรักษาต่อคุณภาพของกล้วยตีป่น 3 ชนิด คือ กล้วยหอมทอง กล้วยไข่ และกล้วยน้ำว้า ขั้นตอนการผลิตจะผ่านการนึ่งกล้วยด้วยไอน้ำจนอุณหภูมิกึ่งกลางผลเป็น 87 °C เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ polyphenol oxidase ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยา enzymatic browning จากนั้นแช่กล้วยที่ปอกเปลือกแล้วในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ความเข้มข้น 0.25% สำหรับกล้วยหอมและกล้วยไข่ และความเข้มข้น 0.75% สำหรับกล้วยน้ำว้า แล้วบดกล้วยพร้อมปรับ pH เป็น 4.2 แล้วบรรจุกระป๋องขนาด 300 X 407 ก่อนต้มฆ่าเชื้อในน้ำเดือด 30 นาที แล้วทำให้เย็น ก่อนเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน 2 ระดับ ที่ 30 และ 45 °C พบว่าหลังเก็บไว้นาน 4 เดือนที่อุณหภูมิ 45°C ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาล

มากขึ้น แต่เมื่อเก็บกล้วย ตีป่นทั้ง 3 ชนิดที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 313, 390 และ 324 วัน คุณภาพยังเป็นที่ยอมรับได้

ตารางที่ 2.5 มาตรฐานคุณภาพของกล้วยตีป่นของบริษัทผู้ผลิตบางราย

คุณลักษณะ	**บริษัท** Chiquita **จำกัด**	**บริษัท** Gerber Ingredients Products Company **จำกัด**
สี (color)	สีเหลืองธรรมชาติของกล้วย	สีเหลืองครีม ค่า L value > 60 (Hunter colormeter)
% Soluble Solids (Brix)	21-25	23 ± 2
pH	4.3-4.5	4.2-4.5
Bostwick consistency ที่ 25 °C	2.5-7.5	2.5-7.5
Total Plate Count (CFU/g)	<10	Commercially sterile
Coliform (CFU/g)	<10	
Yeast & Mold (CFU/g)	<10	
E. *coli* (CFU/g)	Negative	
Staphylococcus (CFU/g)	Negative	
Salmonella (CFU/25 g)	Negative	

ที่มา : Chiquita Company (2007); Gerber Ingredients Products Company (2009)

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลไม้ตีป่น

ในกระบวนการผลิตผลไม้ตีป่น มีปัจจัยหลายอย่างที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทั้งในด้านสี รสชาติ เนื้อสัมผัส กลิ่น ซึ่งมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค และอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ ปัจจัยเหล่านี้ได้แก่

หอสมุดกลาง สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ผลไม้ตีป่นส่วนใหญ่จะมีสภาวะเป็นกรดเล็กน้อยถึงมาก ในผลไม้ตีป่นบางชนิด เช่น มะละกอ นิยมปรับ pH ให้เป็นกรด เนื่องจากในกระบวนการผลิตมะละกอตีป่นมีปัญหาในเรื่องการเกิดเจลในผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์ pectinesterase โดยสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์นี้ได้ด้วยการใช้ pH ต่ำ ประมาณ 3.4-3.6 (Jagtiani, Chan and Sakai, 1987) นอกจากนี้ ในสภาวะที่เป็นกรดยังช่วยลดระยะเวลาการให้ความร้อนในระหว่างการแปรรูปผลไม้ตีป่นลง จึงทำให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีขึ้น เนื่องจากไม่ถูกทำลายจากความร้อน (Yen and Lin, 1996)

การเกิดสีน้ำตาล (browning reaction)

การเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ผลไม้ตีป่นเกิดจากการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ (enzymatic reaction) และไม่ใช่เอนไซม์ (nonenzymatic reaction) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

การเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์ มีสาเหตุมาจากเอนไซม์ polyphenol oxidase เป็นส่วนใหญ่ ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล เริ่มจากการที่เอนไซม์จะออกซิไดซ์สารประกอบพวก monophenol ในสภาพที่มีออกซิเจน ทำให้เกิดเป็นสาร o-diphenol ซึ่งถูกออกซิไดซ์ไปเป็น o-quinones สารที่เกิดขึ้นนี้มีสีเล็กน้อย และเป็นสารอินเตอร์มีเดียต (สารตัวกลาง)ที่มีความไวต่อปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลมาก โดยจะทำปฏิกิริยาต่อไปกับสารประกอบพวก phenol , amino acid และสารอื่นๆ โดยไม่ใช้เอนไซม์ แล้วเกิดเป็นสารมีสีซึ่งมีโครงสร้างซับซ้อน การเกิดสีน้ำตาลนี้จะเกิดในระหว่างขั้นตอนการปอกเปลือกและตัดแต่งผลไม้ก่อนนำไปแปรรูป (Cano, Martin and Fuster, 1990)

การป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในผลไม้ตีป่นสามารถทำได้โดยวิธีทางกายภาพและการใช้สารเคมี หรือใช้สองวิธีร่วมกัน ดังนี้

การใช้ความร้อนยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ เนื่องจากเอนไซม์เป็นโปรตีน ดังนั้นเมื่อถูกความร้อนจึงเกิดการ denature ซึ่งสามารถใช้วิธีการยับยั้งได้หลายวิธี การลวก (blanching) เป็นวิธีทางกายภาพวิธีหนึ่งที่สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้ แต่การใช้อุณหภูมิในการลวกที่สูงเป็นเวลานานจะส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ Palou et al. (1997) ได้ศึกษาผลของการลวก (blanching) และการใช้ความดันสูง (high hydrostatic pressure) ต่อการทำงานของเอนไซม์ polyphenol oxidase ในกล้วยตีป่น (*Musa sapientum*) วิธีการทดลองจะเปรียบเทียบกล้วยตีป่นที่ลวกด้วยไอน้ำ ไม่ลวก และลวกร่วมกับการใช้ความดันสูง (ปอกเปลือกกล้วยและหั่นตามขวางหนา 1 ซม. ก่อนลวก) หลังผ่านกระบวนการ กล้วยตีป่นที่ได้ส่วนหนึ่งจะนำมาวิเคราะห์การทำงานของเอนไซม์ อีกส่วนจะเก็บที่อุณหภูมิ 25 $\pm$ 0.5 °C เวลา 15 วัน วิเคราะห์สี และจุลินทรีย์ทุกวัน พบว่าตัวอย่างกล้วยตีป่น

ที่ผ่านการลวกร่วมกับความดันสูงจะสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และราลง โดยเหลือน้อยกว่า 10 CFU/g ตลอดอายุการเก็บ เมื่อพิจารณาถึงการทำงานของเอนไซม์ที่เหลืออยู่หลังผ่านกระบวนการพบว่าการลวกช่วยลดการทำงานของเอนไซม์ลงได้ และการใช้วิธีการลวกร่วมกับความดันสูงจะมีประสิทธิภาพลดการทำงานของเอนไซม์ที่เหลืออยู่ลงได้มากที่สุด โดยการลวกที่ 7 นาที ร่วมกับความดันที่ 517 และ 689 MPa จะมีประสิทธิภาพดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบสีของกล้วยตีป่นที่วัดได้ พบว่าดัชนีสีน้ำตาล (browning index) ในตัวอย่างที่ผ่านการลวก 7 นาทีร่วมกับใช้ความดัน 517 และ 689 MPa จะมีค่าลดลงมากที่สุด และอัตราเกิดสีน้ำตาลในตัวอย่างที่ผ่านการลวก 7 นาที และใช้ความดันสูง 689 MPa จะมีอัตราการเกิดสีน้ำตาลต่ำที่สุด จากการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่า การใช้ความดันสูงแม้สามารถควบคุมการทำงานของเอนไซม์ polyphenol oxidase ได้ แต่จะเพิ่มประสิทธิภาพขึ้น เมื่อนำมาใช้ร่วมกับการควบคุมปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ เช่น การลวก

Premakumar and Khurdiya (2002) ได้ศึกษาคุณค่าทางอาหารของกล้วยตีป่นที่ลวกโดยใช้ไมโครเวฟ เปรียบเทียบกับการลวกในน้ำเดือด โดยใช้กล้วยพันธุ์ Dwarf Cavendish (Basrai) สุกเต็มที่ นำมาปอกเปลือกก่อนลวก พบว่าการลวกกล้วย 2-3 ผลด้วยไมโครเวฟโดยใช้เป็นเวลา 3 นาที ที่ระดับ High (1200 W, 2450 MHz, BPL model) เมื่อเปรียบเทียบกับการลวกในน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 8 นาที ใช้อัตราส่วนของกล้วยต่อน้ำที่ลวกเท่ากับ 1:5 (โดยน้ำหนัก) ก่อนนำมาผลิตกล้วยตีป่น เมื่อพิจารณาในตารางที่ 2.6 จะเห็นได้ว่าคุณค่าทางอาหารของกล้วยตีป่นที่ผ่านการลวกด้วยไมโครเวฟจะสูงกว่าที่ลวกด้วยใช้น้ำเดือด และสารอาหารที่สำคัญ โดยเฉพาะกรดแอสคอร์บิกจะเหลืออยู่ในปริมาณที่มากกว่าการลวกด้วยน้ำ เนื่องจากไม่มีการละลายของกรดในน้ำ และใช้เวลาที่น้อยกว่าจึงทำให้สารอาหารถูกทำลายด้วยความร้อนน้อยกว่า

ตารางที่ 2.6 ผลของการลวกต่อคุณค่าทางโภชนาการของกล้วยตีบ่น

Treatments	Moisture (%)	TSS (°Brix)	Acidity (%)	pH	Tannins (%)	Total Sugar,%	Ascorbic acid (mg/100 g)
Fresh banana pulp (control)	78.2	20.13	0.35	4.48	0.051	15.35	8.4
Purée from microwave blanched banana fruits (3 นาที)	77.3	18.30	0.29	4.64	0.045	14.70	6.3
Puree from water blanched banana fruits (100 °C , 8 นาที)	79.8	15.50	0.19	4.98	0.036	11.50	4.2
SEm ±	0.069	0.034	0.006	0.08	0.062	0.039	0.027
CD at 5%	0.198	0.099	0.017	0.022	0.002	0.111	0.070

SEm = Standard Error Mean (การกระจายของ mean ของ จากหลายกลุ่มตัวอย่าง (distribution))

CD = Correlation Degree

ที่มา : Premakumar and Khurdiya (2002)

การใช้ reducing agent เช่น กรดแอสคอร์บิก ซึ่งจะไปลดการเกิด o-quinone โดยกรดแอสคอร์บิกจะไป reduce ให้ออร์โท-เบนโซควิโนน กลับไปเป็น ออร์โธ-ไดฟีนอล ทันทีที่ออร์โท-เบนโซควิโนนถูกสร้างขึ้น (Lee and John, 1995)

การลด pH ของผลิตภัณฑ์ร่วมกับการใช้ความดันสูงหรือความร้อนก็สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้ โดย McEvily, Iyengar and Otwell (1992) พบว่าการใช้ความดันที่ 900 MPa สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้ และเมื่อใช้ร่วมกับการลด pH และเติมสารต้านการเกิดสีน้ำตาล (antibrowning agent) จะช่วยยับยั้งหรือทำลายการทำงานของเอนไซม์ และจุลินทรีย์ โดยสารต้านการเกิดสีน้ำตาล เช่น reducing agent (ตัวอย่างเช่น กรดแอสคอร์บิก และซีสเตอีน) จะช่วยลด o-quinones ซึ่งทำให้เกิด polymerization ต่อเนื่องแล้วเกิด เม็ดสีน้ำตาล (melanins)

การกำจัดออกซิเจน ออกซิเจนเป็นสารตั้งต้นตัวหนึ่งในปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ซึ่งวิธีนี้มักใช้ร่วมกับวิธีอื่นๆ เช่น การใช้ภาชนะบรรจุที่อากาศผ่านเข้าไม่ได้ หรือลดความดันของบรรยากาศให้ต่ำกว่า 380 Torr (1 Torr มีค่าประมาณ 1 mmHg) หรือเก็บรักษาในบรรยากาศที่มีออกซิเจนต่ำมากๆ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549)

การใช้ตัวยับยั้ง (Inhibitor) ได้แก่ โซเดียมซัลไฟต์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะเกิดออกซิเดชั่นกับ o-quinones จึงไม่มี substrates สำหรับการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาล (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549)

การปรับ pH ปรับให้อยู่ในช่วงที่เหมาะต่อการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ polyphenol oxidase ซึ่งช่วง pH ที่ต่ำกว่า 3 สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้ (Hui et al., 2006)

การเกิดสีน้ำตาลที่ไม่ได้มาจากเอนไซม์

ตัวอย่างของการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่ได้เกิดจากเอนไซม์ที่พบบ่อยในผลิตภัณฑ์ผลไม้ ตัวอย่างเช่นปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) เกิดเนื่องจากการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดอะมิโนที่เป็นอิสระและหมู่คาร์บอนิลของน้ำตาลรีดิวส์ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เมลานอยดิน (melanoidin) ซึ่งมีสีน้ำตาล มีผลต่อสี และรสชาติของอาหาร การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ยังมีผลทำให้คุณค่าทางโภชนาการลดลง เช่น กรดอะมิโนที่จำเป็น เป็นต้น (Fennema,1985)

ความร้อนที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ

การให้ความร้อนเป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านลักษณะของสี และกลิ่นรสของผลไม้ตีป่น ทำให้การยอมรับทางประสาทสัมผัสต่ำลง ในผลไม้ตีป่นจึงนิยมใช้วิธีพาสเจอไรซ์ เนื่องจากอุณหภูมิไม่สูงมาก ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น แต่ในผลไม้บางชนิดแม้จะใช้วิธีพาสเจอไรซ์ก็ยังไม่สามารถรักษาคุณภาพไว้ได้ ดังนั้นจึงมีการพัฒนาวิธีใหม่ๆในการฆ่าเชื้อขึ้น มีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพดีขึ้น ซึ่งการใช้ความดันสูงเพื่อฆ่าเชื้อและยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ร่วมกับใช้ความร้อนต่ำ สามารถรักษาคุณภาพด้านสีและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ (Farkas, 1986) การผลิตฝรั่งตีป่น เมื่อผ่านกระบวนการพาสเจอไรซ์จะเกิด off-flavor และลดคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ แต่เมื่อใช้ความดันสูง 600 MPa ที่ 25 °C เวลา 15 วินาที ภายหลังผ่านกระบวนการพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงในด้านสี เพคติน ความข่น และปริมาณของกรดแอสคอร์บิก เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างฝรั่งสดที่ตีป่น และในการศึกษาอายุการเก็บที่ 4 °C เป็นเวลา 40 วัน พบว่าตัวอย่างที่ผ่านความดันยังคงมีคุณภาพที่ดี (Yen and Lin, 1996)

สภาวะในการเก็บรักษา

การเก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกันจะส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยการเก็บที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ดี เช่น การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ soursop purée ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่ 79 °C เวลา 69 วินาที ใน laminated aluminum foil ที่อุณหภูมิ 4 °C จะมีคุณภาพด้านสี ความคงตัว (consistency) และกลิ่นรสที่ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่เก็บที่อุณหภูมิสูงกว่า (Umme et al., 2001) นอกจากนี้การใช้อุณหภูมิต่ำในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์พีชตีป่น

(Guerrero–Beltran, Swanson and Barbosa-Canovas, 2005) ยังช่วยลดอัตราการทำงานของเอนไซม์ polyphenol oxidase ด้วย ทำให้การเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นช้าลง

จุลินทรีย์

ผลไม้ตีป่นส่วนใหญ่จะมีสภาวะเป็นกรด จุลินทรีย์ที่เจริญได้จึงเป็นประเภทที่ทนกรด เช่น ยีสต์ รา และแบคทีเรียบางชนิด เช่น acetic acid bacteria และ lactic acid bacteria การเจริญของจุลินทรีย์จะทำให้ผลไม้ตีป่นเกิดการเสื่อมเสีย โดยมีการเปลี่ยนแปลงด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่น และรสชาติ ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค วิธีการป้องกันการเน่าเสียของผลไม้ตีป่นที่ได้ผลดีมากที่สุดคือการป้องกันการเจริญ และทำลายจุลินทรีย์ ปัจจุบันมีการใช้ high pressure treatment ร่วมกับ heat treatment เพื่อทำลายจุลินทรีย์ ซึ่งความร้อนที่ใช้ในวิธีนี้จะน้อยลง ทำให้สารที่จำเป็นต่างๆ ในอาหารไม่สูญเสียไประหว่างการให้ความร้อน (Patras et al., 2009)