

การตรวจเอกสาร

1. ข้อมูลทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับกล้วย

1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

กล้วยจัดอยู่ใน Order Scitamineae ใน family Musaceae จากจำนวนทั้งหมด 8 family สำหรับกล้วยกินได้จัดอยู่ใน Section Eumusa ซึ่งมีหลายกลุ่มตามจำนวนชุดโครโมโซม กล้วยหอมทองจัดอยู่ในกลุ่ม AAA (AAA group) แยกอยู่ในกลุ่มย่อยกรอสมิเชล ‘Gros Michel’ ชื่อวิทยาศาสตร์ [*Musa acuminata* (AAA group) ‘Gros Michel’] ชื่อสามัญ Hom Thong Banana ชื่ออื่นๆ กล้วยหอม ลำต้นของกล้วยหอมทองมีขนาดไม่สูงใหญ่ 2.5 – 3.5 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 15 เซนติเมตร กาบลำต้นด้านนอกมีประคำเล็กน้อย ด้านในสีเขียวอ่อนและมีเส้นสีชมพู ก้านใบมีร่องค่อนข้างกว้างและมีปีก เส้นกลางใบสีเขียว ก้านช่อดอกมีขน ใบประดับรูปไข่ค่อนข้างยาว ปลายแหลม ด้านบนสีแดงอมม่วง มีไข ด้านล่างสีแดงซีด เครือหนึ่งมี 4-6 หวี หวีหนึ่งมี 12-16 ผล ผลใหญ่กว้าง 3-4 เซนติเมตร ยาว 21-25 เซนติเมตร ปลายผลมีจุดเห็นชัด เปลือกบาง เมื่อสุกเป็นสีเหลืองทองแต่ที่ปลายจะเปลี่ยนสีภายหลัง เนื้อสีส้มอ่อนๆ กลิ่นหอม รสหวาน (เบญจมาศ, 2545)

1.2 การปลูกและการส่งออกกล้วยหอมทอง

กล้วยเป็นพืชที่มีปลูกทั่วโลกในแถบร้อนชื้น (Tropical) ซึ่งเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในประเทศที่กำลังพัฒนา โดยเป็นผลไม้สดที่มีปริมาณและมูลค่าการส่งออกสูงสุด อินเดียเป็นประเทศที่ผลิตกล้วยมากเป็นอันดับที่หนึ่ง มีผลผลิตประมาณ 1 ใน 4 ส่วน ของปริมาณผลผลิตทั่วโลก แต่โดยส่วนใหญ่จะใช้บริโภคภายในประเทศ (16.8 ล้านตัน) จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าผู้ผลิตอันดับถัดมาคือ บราซิล จีน เอกวาดอร์ (6.7 6.4 และ 5.9 ตามลำดับ) ประเทศไทยคิดอันดับ 1 ใน 10 มีปริมาณการผลิต 2.0 ล้านตัน โดยปริมาณกล้วยที่ผลิตจะส่งออกประมาณร้อยละ 10-15 สำหรับอันดับของประเทศผู้ส่งออก อันดับ 1 ถึง 4 ประกอบด้วย ประเทศเอกวาดอร์ ฟิลิปปินส์ คอสตาริกา และโคลัมเบีย โดยมีปริมาณการส่งออก 4.7 1.9 1.6 และ 1.5 ล้านตัน ตามลำดับ ซึ่งปริมาณกล้วยส่งออกจาก 4 ประเทศนี้ ประมาณเกือบ 3 ใน 4 ของปริมาณกล้วยส่งออกทั้งหมด โดยประเทศเอกวาดอร์มีปริมาณการส่งออกมากกว่า 1 ใน 3 ของปริมาณการส่งออกทั้งหมด ส่วนประเทศที่มีปริมาณการนำเข้าสูงสุดได้แก่ สหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น สาธารณรัฐรัสเซีย

ตารางที่ 1 ประเทศ ผู้ผลิต ผู้ส่งออกและนำเข้ากล้วยเรียงลำดับใน ปี 2005

ลำดับที่		ประเทศ	ปริมาณการผลิต (ล้านตัน)
ประเทศผู้ผลิต	1	อินเดีย	16.8
	2	บราซิล	6.7
	3	จีน	6.4
	4	เอกวาดอร์	5.9
	5	ฟิลิปปินส์	5.8
	6	อินโดนีเซีย	4.5
	7	คอสตาริกา	2.2
	8	เม็กซิโกและประเทศไทย	2.0 (แต่ละประเทศ)
	9	โคลัมเบียและบรูไน	1.6 (แต่ละประเทศ)
ประเทศผู้ส่งออก	1	เอกวาดอร์	4.7
	2	ฟิลิปปินส์	1.9
	3	คอสตาริกา	1.6
	4	โคลัมเบีย	1.5
	5	กัวเตมาลา	1.1
	6	ฮอนดูรัส	0.51
	7	ปานามา	0.36
	8	คาเมรูน	0.26
	9	บราซิล	0.21
	10	ไอวอรีโคท	0.21
ประเทศผู้นำเข้า	1	สหภาพยุโรป	3.63
	2	สหรัฐอเมริกา	3.42
	3	ญี่ปุ่น	1.02
	4	สาธารณรัฐรัสเซีย	0.98
	5	แคนาดา	0.43

ที่มา: คัดแปลงจาก FAO (2006)

และแคนาดา โดยมีปริมาณการนำเข้า 3.63 3.42 1.02 0.98 และ 0.43 ล้านตัน ตามลำดับ จากปริมาณการนำเข้าทั้งหมด 12.46 ล้านตัน (FAO, 2006)

กล้วยหอมทองปลูกในประเทศไทยเป็นเวลานานมาก เป็นกล้วยหอมสายพันธุ์กรอสมิเชลที่ต่างจากทั่วไปที่ต้นไม่สูงใหญ่ ให้ผลผลิตต่ำ มี 4-6 หวี ต้นไม่แข็งแรง แต่คุณภาพเนื้อเป็นที่ชอบของคนไทยทั่วไป กล้วยหอมทองส่วนใหญ่ปลูกในแถบภาคกลางโดยเฉพาะปทุมธานีและกรุงเทพฯ หรือจังหวัดใกล้เคียง กล้วยหอมทองปลูกเป็นสินค้าเพื่อการส่งออกมานาน และปริมาณการส่งออกได้ลดลงไปอย่างมาก (เบญจมาศ, 2545) แต่ตั้งแต่ปี 2536 ที่มีการส่งออกประเทศญี่ปุ่นซึ่งเน้นกล้วยปลอดสารพิษ ทำให้ตลาดกล้วยหอมของไทยในประเทศญี่ปุ่นมีปริมาณการส่งออกเพิ่มขึ้น ในรูปกล้วยดิบเนื่องจากมีบางประเทศที่มีมาตรการการนำเข้าที่เข้มงวดเช่น สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย นิวซีแลนด์ ได้ห้าม โดยการห้ามนำผลกล้วยสดเข้าประเทศเนื่องจากเป็นพืชอาศัยของแมลงวันทอง อย่างไรก็ตาม โอกาสที่จะเปิดตลาดกล้วยไปยังประเทศเหล่านี้ก็มีมากขึ้น โดยการเจรจาต่อรองในเรื่องความเสี่ยงของศัตรูพืชใช้ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ สนับสนุนว่ากล้วยดิบไม่ได้เป็นพืชอาศัยของแมลงวันทอง (พวงผกา, 2545) มีการปลูกกล้วยหอมทองที่ไม่ใช้สารเคมีที่จังหวัดเพชรบุรีและจังหวัดชุมพร เพื่อการส่งออกขายที่ประเทศญี่ปุ่นเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งนับเป็นประเทศที่มีการรับซื้อกล้วยหอมทองมากที่สุด ในปี 2543 ซื้อ 1,327 ตัน ส่วนปี 2545 ซื้อเพิ่มขึ้นเป็น 1,836 ตัน

ในการผลิตกล้วยเพื่อการส่งออกนั้น จะต้องควบคุมคุณภาพให้ได้ตามมาตรฐานการส่งออก ดังเช่นเงื่อนไขในการผลิตกล้วยหอมทองของสหกรณ์ผู้บริโภคริโกโตได้ประเทศญี่ปุ่น กำหนดกล้วยหอมทองที่ส่งออกจะต้องเป็นการผลิตที่ไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและไม่ฉีดพ่นสารเคมีโดยเด็ดขาด ขนาดของผลกล้วยหอมทองจะต้องมีน้ำหนักไม่ต่ำกว่า 100 กรัม สีผิวของกล้วยไม่ดำ กล้วยหอมทองที่ส่งออกต้องไม่สุกก่อนที่จะไปถึงประเทศญี่ปุ่น ถ้ากล้วยสุกจะถูกห้ามนำเข้าและต้องนำไปทิ้ง โดยกล้วยหอมต้องมีความแก่ประมาณร้อยละ 70 ต้องปราศจากศัตรูพืชโรคและแมลง (กรมส่งเสริมสหกรณ์, 2544)

1.3 กล้วยหอมทองที่ไม่ได้มาตรฐานการส่งออก

กล้วยหอมทองที่ไม่ได้มาตรฐานการส่งออก โดยทั่วไปจะมีปริมาณร้อยละ 10-20 ของปริมาณกล้วยส่งออก เมื่อการส่งออกเพิ่มขึ้น ปริมาณกล้วยตกเกรดจะมากขึ้นด้วย ซึ่งกล้วยที่ไม่ได้มาตรฐานการส่งออกที่ถูกคัดทิ้งนี้ บางครั้งคุณภาพของเนื้อยังดีอยู่เพียงแต่ผิวและรูปร่างไม่สวย ขนาด

เล็กน้อยไป ดังนั้นจึงควรนำกล้วยเหล่านี้มาแปรรูป ซึ่งการแปรรูปกล้วยหอมทองในประเทศไทยนั้น ไม่หลากหลายเนื่องจากส่วนใหญ่ใช้รับประทานสดและอาจรับประทานร่วมกับไอศกรีม ฟรุตสลัด และเป็นส่วนผสมในเค้ก (เบญจมาศ, 2545) ซึ่งกล้วยเหล่านี้หากรู้ปริมาณที่ชัดเจนแน่นอน จะสามารถกำหนดได้ว่าเพียงพอสำหรับการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการแปรรูปในระดับอุตสาหกรรมต่อไป ในหลายประเทศที่เป็นผู้ส่งออกกล้วยหอมจะนำกล้วยหอมทองที่ไม่ได้มาตรฐานมาแปรรูป เช่น ประเทศออสเตรเลีย ในปี 1978 มีปริมาณกล้วยตากเกรด 160,000 ตัน Viquez *et al.* (1981) จึงได้ใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อศึกษาวิธีการแปรรูปเป็นน้ำกล้วย เช่นเดียวกับ ประเทศไอวอรีโคสต์ (Ivory Coast) ที่มีปริมาณกล้วยตากเกรดมากกว่า 40,000 ตันต่อปี Koffi *et al.* (1991) จึงนำมาศึกษาวิธีการการผลิต น้ำกล้วยใส โดยลดความหนืดและป้องกันการเกิดสีน้ำตาล

1.4 องค์ประกอบทางเคมีของกล้วยหอมทอง

กล้วยดิบมีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่เป็นแป้ง เมื่อสุกจะถูกเปลี่ยนเป็น น้ำตาล ดังนั้นกล้วยจึงเป็นแหล่งพลังงานที่ดี จะเห็นได้ว่ากล้วยเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางอาหารสูง ใกล้เคียงกับมันฝรั่ง แต่มีไขมัน โคเลสเตอรอลและเกลือแร่ต่ำ จึงเหมาะสำหรับเป็นอาหารของผู้ที่ต้องการลดความอ้วน กล้วยมีเกลือโซเดียมเพียงเล็กน้อย แต่เป็นแหล่งที่สำคัญของโปแตสเซียม แมกนีเซียม และฟอสฟอรัส (358.2 27.02 และ 22.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ) ซึ่งสามารถช่วยลดความดันโลหิตได้ มีการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีกล้วยหอมทองผลสุก แสดงในตารางที่ 2 ส่วนใหญ่เป็น คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 18.42 นอกจากนั้นในกล้วยหอมยังจัดเป็นผลไม้ที่มีวิตามินสูง ได้แก่วิตามิน เอ บี และซี ดังแสดงในตารางที่ 3 ในกล้วยสุกยังพบว่ามี แคโรทีน (carotene) ร้อยละ 31 บีตา-แคโรทีนร้อยละ 28 และ ลูทีน (lutein) ร้อยละ 33 (เบญจมาศ, 2545)

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของกล้วยหอมต่อน้ำหนักสดผลสุก 100 กรัม

องค์ประกอบเคมี	ร้อยละ
ความชื้น (กรัม)	77.19
ไขมัน (กรัม)	0.73
โปรตีน (N x 6.25)	1.82
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	18.42
เถ้า (กรัม)	0.65
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	14.27
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	21.09
เหล็ก (มิลลิกรัม)	8.71
บีตา-คาโรทีน (มิลลิกรัม)	589.40
กรดแอสคอบิก (มิลลิกรัม)	11.06

ที่มา: เบญจมาศ (2545)

ตารางที่ 3 วิตามินที่พบในผลกล้วยหอมทอง (กรอสมิเชล) ที่สุก 100 กรัม

วิตามิน	ร้อยละ
วิตามิน เอ	3.8
วิตามิน ซี	13.3
วิตามิน บี	25.5
ไรโบฟลาวิน	3.3
ไนอาซิน	3.8
ไพริดอกซิน	4.3

ที่มา: เบญจมาศ (2545)

1.5 การเปลี่ยนแปลงในระหว่างการสุกของกล้วย

การสุกของผลไม้เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นได้หลังการเก็บเกี่ยวจากต้นและสามารถเร่งให้เกิดเร็วขึ้นได้ด้วยเอทิลีน ประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงหลายอย่างเกิดขึ้นพร้อมกันหรือไล่เลี่ยกัน การเปลี่ยนแปลงต่างๆที่เกิดขึ้นในระหว่างการสุกของกล้วยส่วนใหญ่มีดังนี้ (จริงแท้, 2538; Dadzie and Orchard, 1997)

- การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกและเนื้อกล้วย
- คลอโรฟิลล์เสื่อมสลาย
- แอนโทไซยานินและแคโรทีนอยด์ถูกสร้างขึ้น
- การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเนื้อต่อเปลือกกล้วย
- ตอบสนองต่อเอทิลีนได้ง่ายขึ้น
- องค์ประกอบของผนังเซลล์เช่นสารประกอบเพคตินเปลี่ยนไปทำให้เนื้อกล้วยอ่อนตัว
- โมเลกุลของคาร์โบไฮเดรตเปลี่ยนแปลงไป เช่น แป้งเปลี่ยนเป็นน้ำตาล หรือน้ำตาลชนิดหนึ่งเปลี่ยนไปเป็นอีกชนิดหนึ่ง
- การเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้
- โปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบต่างๆถูกสร้างขึ้น
- คาร์โบไฮเดรตและกรดอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบเปลี่ยนไป
- สารระเหยที่ให้กลิ่นและรสถูกสร้างขึ้นมา
- สารพวกแทนนินรวมตัวเป็นโมเลกุลใหญ่ (polymerization) ทำให้ความฝาดลดลง
- เกิดการสะสมของไขมันผิวของผลกล้วย
- การเปลี่ยนแปลงของความชื้นและน้ำหนักแห้ง
- การเปลี่ยนแปลงของอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีน
- เกิดการหลุดร่วง (abscission)

จะเห็นได้ว่าการสุกของกล้วยนี้มีการเปลี่ยนแปลงต่างๆ เกิดขึ้นมาก แม้เราจะทราบว่า การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้สามารถเร่งให้เกิดขึ้นได้ด้วยการใช้เอทิลีนหรือใช้ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการผลิตและการทำงานของเอทิลีน หรือควบคุมการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ได้ก็ตาม กลไกในการควบคุมการสุกและการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างการสุกของผลไม้ก็ยังไม่เป็นที่กระจ่างของนักวิทยาศาสตร์ ในปัจจุบัน สำหรับการสุกของกล้วยมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบต่างๆดังต่อไปนี้

คาร์โบไฮเดรตในกล้วยมีอยู่ทั้งในรูปอาหารสะสมและในโครงสร้างได้แก่ แป้งมีสะสมในกล้วยมากเช่นเดียวกับมะม่วงและทุเรียน ในกล้วยผลดิบมีแป้งประมาณร้อยละ 20-25 โดยเมื่อกล้วยสุก แป้งเกือบทั้งหมดจะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลจะเหลือแป้งประมาณร้อยละ 1-2 (Marriott *et al.*, 1981) น้ำตาล ในกล้วยประกอบด้วย ซูโครส กลูโคส และฟรุคโตส (ร้อยละ 6.58, 5.82 และ 3.78) ซึ่งน้ำตาลทั้ง 3 ชนิดจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปกันได้ ด้วยเอนไซม์หลายชนิด เช่น อินเวอร์เตส (invertase) ซึ่งจะเร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนน้ำตาลซูโครสเป็นกลูโคสและฟรุคโตส นอกจากแป้งและน้ำตาลที่มีความสำคัญด้านรสชาติแล้ว ยังมีคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่นที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ คือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพกติน ซึ่งมีส่วนสำคัญต่อเนื้อสัมผัส เซลลูโลสเป็นโพลีแซคคาไรด์ ประกอบ ด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคส เกาะกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกที่ตำแหน่ง C1,4 เป็นลูกโซ่ยาวประมาณ 2,000 โมเลกุลใน primary cell wall และอย่างน้อย 14,000 โมเลกุลใน secondary cell wall ทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงกับผนังเซลล์ของพืช สำหรับกล้วยจะมีปริมาณเพกตินมาก ซึ่งจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเมื่อสุก เพกตินเป็นโพลีเมอร์ของกรดแกแลกติกและอาจมีหมู่เมธิลมาเกาะอยู่ด้วย โมเลกุลของเพกตินจะแทรกอยู่ระหว่างเซลลูโลส ในทำนองเดียวกับเฮมิเซลลูโลส แต่ส่วนมากจะอยู่บริเวณ middle lamella เพกตินในรูปโปรโตเพกตินจะไม่ละลายน้ำเนื่องจากมีหมู่เมธิลอยู่มาก เมื่อกล้วยสุกจะเปลี่ยนเป็นรูปที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น

ในผักและผลไม้โดยทั่วไปถึงแม้ว่าจะมีปริมาณโปรตีนไม่มาก (ร้อยละ 1-2) ในระหว่างการสุกของกล้วยพบว่าปริมาณโปรตีนยังคงที่ประมาณร้อยละ 0.5-1.5 (Wade *et al.*, 1972) แต่คุณค่าทางโภชนาการสูง เนื่องจากมีกรดอะมิโนที่จำเป็นสำหรับมนุษย์ เมื่อไม่สามารถสังเคราะห์ได้เองจึงต้องอาศัยจากพืชและสัตว์ ได้แก่ ทริปโตเฟน ทรีโอนีน ไอโซลูซีน ลูซีน ไลซีน เมไทโอนีน เบนิลอลานีน ไทโรซีน วาลีน ซึ่งในกล้วยมีปริมาณ 8.98, 28, 28, 68, 49.8, 8.0, 49.8, 8.98 และ 47.1 มิลลิกรัม ตามลำดับ รวมทั้งยังมีกรดอะมิโนชนิดอื่นอีก ได้แก่ อาร์จินีน ฮิสติดีน อลานีน กรดแอสพาดิก กรดกลูตามิก ไกลซีน โพรลีน ซีรีน และไฮดรอกซีโพรลีน (47.1, 48.9, 76.9, 40, 124, 152, 38, 28 และ 40 มิลลิกรัม ตามลำดับ) แสดงในตารางที่ 4

ไขมันในผักและผลไม้มีปริมาณน้อยมากเช่นเดียวกับโปรตีน โดยทั่วไปมีปริมาณไม่เกินร้อยละ 1 ในเนื้อกล้วยจะมีไขมันร้อยละ 0.31 เป็นไขมันอิ่มตัวร้อยละ 0.13 ไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่หนึ่งพันธะ (Monounsaturated fat) ร้อยละ 0.04 และไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะอยู่มากกว่าหนึ่งพันธะ (Polyunsaturated fat) ร้อยละ 0.08 โดยกรดไขมันหลักของกล้วยได้แก่ กรดปาล์มมิก โอเลอิก ลิโนเลอิก และ ลิโนเลนิก

ตารางที่ 4 คุณค่าทางโภชนาการของกล้วยโดยทั่วไป (ปริมาณต่อ 100 กรัม)

	ปริมาณต่อ 100 กรัม	ร้อยละ DV
พลังงาน	889 kcal	4.4
จากคาร์โบไฮเดรต	82.7 kcal	
จากไขมัน	2.8 kcal	
จากโปรตีน	3.6 kcal	
คาร์โบไฮเดรต	22.84 กรัม	7.6
ใยอาหารที่ละลายน้ำ	2.6 กรัม	
แป้ง	5.4 กรัม	
น้ำตาล	12.2 กรัม	
ไขมัน	0.3 กรัม	0.4
โปรตีน	1.11 กรัม	2.2
ทริปโตเฟน	8.98 มก.	
ทรีโอนีน	8.97 มก.	
ไอโซลูซีน	28 มก.	
ลูซีน	68 มก.	
ไลซีน	49.78 มก.	
เมไทโอนีน	8 มก.	
ซีสตีน์	8.98 มก.	
เฟนิลอลานีน	48.89 มก.	
ไทโรซีน	8.98 มก.	
วาลีน	47.1 มก.	
อาร์จินีน	48.89 มก.	
ฮิสติดีน	76.89 มก.	
อลานีน	40 มก.	
กรดแอสพาทิก	124 มก.	
กรดกลูตามิก	152 มก.	
ไกลซีน	38 มก.	
โพรลีน	28 มก.	
ซีรีน	40 มก.	

ตารางที่ 4 (ต่อ)

วิตามิน		
	ปริมาณต่อ 100 กรัม	ร้อยละ DV
วิตามิน เอ	64 มก.	1.3
วิตามิน ซี	8.7 มก.	14.7
วิตามิน ดี	0.08 มก.	0.4
วิตามิน เค	0.48 มก.	0.4
ไนอาซีน	0.04 มก.	2.2
ไรโบฟลาวิน	0.08 มก.	4.4
ไนอาซิน	0.67 มก.	3.1
วิตามิน บี6	0.36 มก.	1.8
โพแทสเซียม	0.2 ไมโครกรัม	4.9
โคลีน	9.8 มก.	3.6
แร่ธาตุ		
	ปริมาณต่อ 100 กรัม	ร้อยละ DV
แคลเซียม	5.02 มก.	0.4
เหล็ก	0.27 มก.	1.3
แมกนีเซียม	27.02 มก.	6.7
ฟอสฟอรัส	22.0 มก.	2.2
โปแตสเซียม	358.2 มก.	10.2
โซเดียม	1.02 มก.	0
ซิงค์	0.13 มก.	0.9
ทองแดง	0.09 มก.	4
แมงกานีส	0.27 มก.	13.3
ซีลีเนียม	1.02 ไมโครกรัม	1.3
ฟลูออไรด์	2.2 ไมโครกรัม	

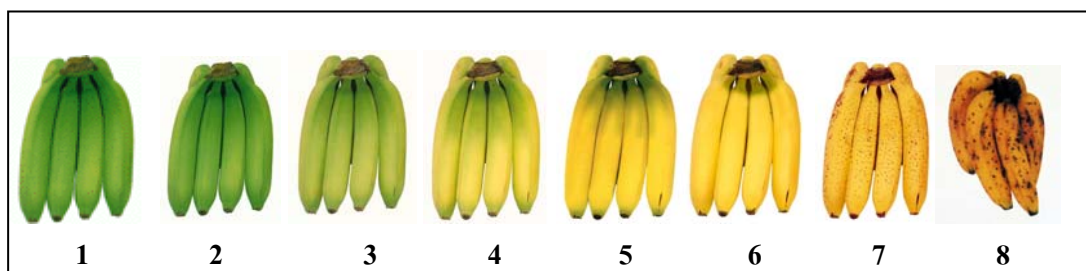
หมายเหตุ DV = daily value (ปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้ได้รับต่อวัน)

ที่มา: Anonymous (2007)

กรดอินทรีย์ เป็นผลผลิตที่ได้จากกระบวนการหายใจ ในผักและผลไม้จะพบกรดซิตริก และมาลิก โดยทั่วไปเมื่อผลไม้สุก ปริมาณกรดจะลดต่ำลง ทำให้เหมาะกับการบริโภค แต่ในกล้วยหอมปริมาณกรดไม่ลดลง กรดที่พบมากในกล้วยหอมคือกรดมาลิก (4 มิลลิโมล) (Ulrich, 1970) กล้วยดิบมีพีเอชประมาณ 5-5.6 เมื่อกล้วยสุกปริมาณกรดจะเพิ่มขึ้นทำให้พีเอชลดลงเหลือประมาณ 4.2-4.75

สีเปลือกกล้วย จะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในระหว่างการสุกเนื่องจากคลอโรฟิลล์ ซึ่งจะมีการสร้างขึ้นและสลายตัวอยู่ตลอดเวลา แต่ในระหว่างการชราภาพ (senescence) การสลายตัวจะเกิดมากกว่าและทำให้คลอโรฟิลล์หมดไปมากที่สุด กลไกการสลายตัวของคลอโรฟิลล์อาจเกิดจากสภาวะที่เป็นกรด และการทำงานของเอนไซม์ chlorophyllase ซึ่งพบในกล้วยหอมที่กำลังสุก ทำให้สูญเสียสีเขียวและปรากฏสีเหลืองและสีแดงซึ่งเป็นสารสีประเภทแคโรทีนอยด์เกิดขึ้นแทน จากรายงานของ Palmer (1971) พบว่าในเปลือกกล้วยดิบมีคลอโรฟิลล์ประมาณ 50-100 ไมโครกรัมต่อกรัมและมีแคโรทีนอยด์ประมาณ 8 ไมโครกรัมต่อกรัม (ประกอบด้วยแซนโทฟิลล์และแคโรทีนประมาณ 5-7 และ 1.5-3.5 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ) โดยจะมีปริมาณค่อนข้างคงที่ในกล้วยหอมและส้ม (Salunkhe and Deasi, 1984) จากการวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์ในเปลือกกล้วย โดย Gross *et al.* (1976) พบว่า มี อัลฟา- แคโรทีน บีตา- แคโรทีน และ ลูทีน ร้อยละ 7, 14 และ 33 ตามลำดับ ส่วนในเนื้อกล้วยมี อัลฟา- แคโรทีน บีตา- แคโรทีน และ ลูทีน ร้อยละ 31, 28 และ 56 ตามลำดับ ด้วยเหตุที่มีการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกกล้วยตามอัตราการสุก ดังนั้นจึงใช้ค่าดัชนีสีเปลือก (Peel color index) เป็นตัวกำหนดระยะสุกของกล้วย โดย CSIRO (1972) แบ่งระยะสุกของกล้วยหอมไว้แสดงในภาพที่ 1 ระบุการเปลี่ยนแปลงที่ระยะต่างๆดังนี้

- ระยะที่ 1 เปลือกเขียว(ร้อยละ100) ผลแข็ง ไม่มีการสุก
- ระยะที่ 2 เปลือกเขียว (ร้อยละ 95) เริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลือง (ร้อยละ 5)
- ระยะที่ 3 เปลือกเขียว (ร้อยละ 70) เริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองมากขึ้น (ร้อยละ 30)
- ระยะที่ 4 เปลือกเขียว (ร้อยละ 30) เปลี่ยนเป็นสีเหลืองมากขึ้น (ร้อยละ 70)
- ระยะที่ 5 เปลือกเหลือง (ร้อยละ 95) ปลายยังเป็นสีเขียว (ร้อยละ 5)
- ระยะที่ 6 ทั้งผลมีสีเหลือง (ร้อยละ 100)
- ระยะที่ 7 ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาล (สุกเต็มที่มักกลิ่นหอม)
- ระยะที่ 8 ผิวสีเหลืองและมีจุดสีน้ำตาลมากขึ้น (สุกมากเกินไป เนื้อเริ่มอ่อนและมีกลิ่นแรง)



ภาพที่ 1 ระยะการสุกของกล้วยหอมที่แสดงไว้ 7 ระยะตามมาตรฐาน CSIRO

ที่มา: ดัดแปลงจาก CSIRO (1972) และ Anonymous (2007)

สารประกอบฟีนอล เป็นสารประกอบที่มีวงแหวนฟีนอลเป็นองค์ประกอบสำคัญและอาจมีหมู่เคมีอื่น เข้ามาเกาะที่ตำแหน่งต่างๆ เช่น cinnamic acid, caffeic acid, anthocyanins และ tannin สารประกอบฟีนอลที่พบมากในกล้วย ซึ่งสารประกอบ tannin จะพบมากในเปลือกกล้วย กล้วยดิบมีรสฝาดเนื่องจากสารสำคัญได้แก่ Leuco- anthocyanidin, Leuco-delphanidin และ Leuco- cyanidin (Palmer, 1971)

สารระเหย ทำให้ผักและผลไม้มีกลิ่นเฉพาะ โดยปกติเมื่อผลไม้สุก จะมีทั้งชนิดและปริมาณของสารระเหยมากขึ้น แต่สารที่ทำให้เกิดกลิ่นเฉพาะของผลไม้ นั้นมีเพียงไม่กี่ชนิดในกล้วยหอม มีจำนวนสารระเหยมากกว่า 300 ชนิด แต่สารที่ทำให้เกิดกลิ่นที่สำคัญ ได้แก่ 2-hexenol ในกล้วยที่งอม (Nursten, 1970)

1.5 ผลิตภัณฑ์กล้วยแปรรูป

กล้วยได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางเนื่องจาก กลิ่นรส (flavor) และกลิ่น (aroma) ของไอโซเอมิลอะซิเตท (isoamylacetate) ไม่ว่าจะเป็นน้ำกล้วยหรือที่ผสมกับน้ำผลไม้อื่นๆ อย่างไรก็ตาม น้ำกล้วยจะมีกากมาก และมีความหนืดมากเกินไป น่าจะผลิตเป็นเครื่องดื่มได้ง่าย Barette *et al.* (2005) ได้รวบรวมชนิดผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูปกล้วยที่จำหน่าย ในตลาดการค้าระหว่างประเทศ ประกอบด้วย

- กกล้วยบด (banana puree) เป็นผลิตภัณฑ์กล้วยแปรรูปที่สำคัญที่สุด ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปที่ทำให้เข้มข้นขึ้น (concentrated banana puree) ร้อยละ 42 ของปริมาณของแข็งทั้งหมด ซึ่งทั้งสองผลิตภัณฑ์นี้จะมีการจำหน่ายในรูปผลิตภัณฑ์แช่แข็ง (frozen banana product)

- ผลิตภัณฑ์กล้วยแช่แข็ง ซึ่งมีหลายผลิตภัณฑ์ที่จำหน่ายในรูปแช่แข็ง เช่น กกล้วยบดแช่แข็ง กกล้วยบดเข้มข้นแช่แข็ง กกล้วยทั้งลูกแช่แข็ง กกล้วยหั่นเป็นชิ้นแช่แข็ง เป็นต้น

- ผลิตภัณฑ์กล้วยที่ทำให้แห้ง ที่จำหน่ายเป็นสินค้าระหว่างประเทศ เช่น กกล้วยแผ่น (banana flakes) โดยนำกล้วยบดมาทำให้แห้งโดยใช้ลูกกลิ้ง กกล้วยตาก (banana figs) ใช้กล้วยสุกนำมาตากแห้ง กกล้วยผง (banana powder) ได้จากการนำกล้วยแผ่นมาบดหรือกล้วยแผ่นที่แตกหักหรือกล้วยที่นำไปทำแห้งโดยวิธีพ่นฝอย (spray dried) กกล้วยอัดเม็ด (freeze-dried granulated) นำกล้วยผงที่ผสมไซรัปข้าวโพดหรือส่วนผสมอื่น เพื่อช่วยให้แห้ง กกล้วยชิ้นทำแห้ง (Freeze Dried Granulated) มีลักษณะปรากฏที่ดีแต่ใช้เวลานานในการคืนสภาพและได้กล้วยที่ละไม่น่ารับประทาน แต่ผลิตภัณฑ์นี้เหมาะสำหรับเป็นอาหารยังชีพหรือการเดินทาง แป้งกล้วย (banana flour) ทำจากกล้วยดิบทำให้แห้งและบด สามารถใช้แทนกลูเตน (gluten) จากข้าวสาลีเหมาะสำหรับผู้แพ้กลูเตน กล้วยแผ่นทำจากกล้วยแผ่นและส่วนผสมอื่นๆทำให้รวมตัวกันเป็นก้อนโป่งๆ ใช้เป็นส่วนผสมในอาหารธัญพืชสำเร็จรูป

- น้ำกล้วยเข้มข้นชนิดใส (concentrated clarified banana juice) วิธีสกัดน้ำกล้วยในยุโรปใช้แคลเซียมออกไซด์และกรดซัลฟูริก มีการนำไปใช้ผลิตเบียร์ แต่ปัจจุบันนิยมใช้เอนไซม์ย่อยเพคตินในสกัดน้ำกล้วยมากขึ้นทำให้ได้น้ำกล้วยใสขึ้น มีการผลิตจำหน่ายในประเทศอิสราเอล คอส ตาริกา และเปรู แต่ยังมีปริมาณการจำหน่ายน้อย ปัญหาที่คือว่ามีข้อกำหนดให้สำนักงานอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา กำหนดให้น้ำกล้วยจากธรรมชาติจะต้องมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ร้อยละ 22 ซึ่งมีค่าสูง โดยเมื่อเปรียบเทียบกับ น้ำกล้วย น้ำแอปเปิ้ล และ น้ำสับปะรด ที่ความเข้มข้นระดับเดียวกันคือร้อยละ 65 ของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้จะมีราคา 1,500 860 1,200 ดอลลาร์สหรัฐ/เมตริกตัน ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าน้ำกล้วยมีราคาสูงทำให้แข่งขันในตลาดยากกว่า

นอกจากนี้ยังมีผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆอีกที่จำหน่ายเป็นสินค้าจำหน่ายระหว่างประเทศได้แก่ กกล้วยแผ่นทอดกรอบ (banana chips) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ระบุจากธรรมชาติและเพื่อสุขภาพ ในตลาดสหรัฐอเมริกา สามารถแข่งขันกับมันฝรั่งทอดกรอบและขนมขบเคี้ยว กกล้วยชิ้นในน้ำเชื่อม (Sliced

banana in syrup) ผลิตภัณฑ์ของบริษัทชิวิตา (Chiquita) มี 2 ชนิด คือ ชั่นกล้วยในน้ำเชื่อมและ ในน้ำตาลฟรุกโตสเข้มข้นจากข้าวโพดและแป้งกล้วย (banana starch) เป็นต้น รวมทั้งมีการนำผลิตภัณฑ์จากกล้วยแปรรูปเป็นส่วนผสมในอาหารชนิดต่างๆ ที่ได้รับความนิยมพบได้ในห้างสรรพสินค้าต่างๆ ได้แก่

- อาหารเด็กอ่อน (baby food) เช่น ผลิตภัณฑ์ของ บริษัทเนสท์เล่ บริษัทเกอร์เบอร์ มีกล้วยเป็นส่วนผสมร่วมกับธัญพืชและโปรตีน

- น้ำผลไม้และน้ำหวานต่างๆ (juice and nectars) ผลิตภัณฑ์ของบริษัทโดล (Dole) ชิวิตา (Chiquita) ทropicana และยี่ห้ออื่นๆที่มีการแข่งขันในตลาดผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้แช่เย็นในสหรัฐอเมริกาเป็นทางเลือกใหม่ นอกจากน้ำส้มที่ใช้เป็นเครื่องดื่มสำหรับอาหารเช้า ผลิตภัณฑ์แรกที่นำเสนอโดยบริษัทชิวิตาคือ น้ำส้มผสมน้ำกล้วย โดยจะมีอัตราเพิ่มขึ้นเพื่อเป็นเครื่องดื่มในทุกโอกาส (any time drink) ในตลาดเดียวกับน้ำอัดลมแต่น้อยกว่าน้ำผลไม้ร้อยเปอร์เซ็นต์

- ผลิตภัณฑ์จากนม (dairy product) โดยนำน้ำกล้วย เนื้อมากและส่วนผสมอื่นๆ เช่น กลิ่นรสผลไม้และถั่วชนิดต่างๆ ผสมในไอศกรีมหรือใส่ในโยเกิร์ตหรือโยเกิร์ตแช่แข็ง หลายประเทศทางยุโรปจะผสมเนื้อมากในนม จำหน่ายในรูปแบบที่ปรุงแต่งรส

- ผลิตภัณฑ์ขนมอบ (bakery product) พบได้มากในตลาดสหรัฐอเมริกา เช่น เค้ก มัฟฟิน และผลิตภัณฑ์ใกล้เคียง ประเทศในยุโรปจะไม่ค่อยใช้กล้วยในผลิตภัณฑ์ขนมอบแต่ถ้าใช้จะใช้พวรีกล้วยใส่เป็นไส้ของขนมอบ ผลิตภัณฑ์อื่นๆเช่น ซอสกล้วย ลูกอมกล้วย (banana candies) เครื่องดื่มแอลกอฮอล์จากกล้วย (banana liqueur)

2. การผลิตไซรัปจากผลไม้

ไซรัปผลไม้ (fruit syrup) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูปผลไม้ มีลักษณะเป็นน้ำตาลเหลวมีความข้นและหนืด อาจมีสีน้ำตาลอ่อนหรือเข้ม มีกลิ่นรสผลไม้หอมหวาน ผลิตโดยการนำน้ำผลไม้ที่ผลิตจากผลไม้สดมาทำให้เข้มข้นขึ้น (Fellows, 1997) จึงสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานเนื่องจากมีความเข้มข้นของน้ำตาลสูง มีความเสถียรทางเคมี และเป็นการลดค่าออกเดอร่อกติวิตีของน้ำผลไม้ลง ทำให้เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถที่จะเจริญได้ทำให้เก็บไว้ได้นานขึ้น การที่ไซรัปมีความ

เข้มข้นสูงทำให้มีปริมาณลดลง ช่วยประหยัดค่าขนส่ง (Belitz and Grosch, 1999) ผู้บริโภคซื้อผลิตภัณฑ์ได้ในราคาที่ไมแพงจนเกินไป ชนิดของไซรัปจากผลไม้และผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงรวมทั้งกระบวนการต่างๆที่เกี่ยวข้องในการผลิตไซรัปผลไม้ประกอบด้วย

2.1 ผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงไซรัปจากผลไม้

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่นั้นจำเป็นต้องศึกษาผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะใกล้เคียงซึ่งพบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะใกล้เคียงไซรัปจากกล้วยหอมได้แก่

ก. ไซรัปจากผลไม้ชนิดต่างๆ เช่น แบลคเคอแรนไซรัป (blackcurrant syrup) (Blom and Skrede, 1984) น้ำแอปเปิ้ลเข้มข้นชนิดใส (Beveridge *et al.*, 1986) ไซรัปจากอินทผลัม (Date syrup) (Al-Hooti *et al.*, 2002) และ ไซรัปพื้ว (black plum syrup) (Egbekum *et al.*, 1996) เป็นต้น นอกจากนั้นยังมีผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะใกล้เคียงอื่นๆ เช่น

ข. เมเปิ้ลไซรัป เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำน้ำเลี้ยง (Sap) จากต้นเมเปิ้ล (Maple Tree) ได้น้ำตาลเมเปิ้ล (maple sugar) นำมาทำให้เข้มข้นขึ้น องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลซูโครส (ร้อยละ 88-99 ของปริมาณของแข็งทั้งหมด) กลิ่นรสและสีของเมเปิ้ลไซรัปมีลักษณะเฉพาะ (Koelling and Heiligmann, 1996)

ค. น้ำผึ้ง เป็นผลผลิตของน้ำหวานจากดอกไม้และแหล่งน้ำหวานอื่นๆ ที่ผึ้งไปเก็บมาผ่านการเปลี่ยนทางเคมีโดยเอนไซม์จากต่อมน้ำลายของผึ้ง แล้วเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตสให้เป็นน้ำตาลแปรรูป ซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ได้แก่ เลวูโลสร้อยละ 38.19 และเด็คซ์โตรส ร้อยละ 31.19 นอกจากนั้นเป็นน้ำตาลเชิงคู่และเชิงซ้อนอีกประมาณร้อยละ 10 นอกจากนั้นยังมีแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ เช่น โพแทสเซียม แคลเซียม โซเดียม ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ เหล็ก แมงกานีส รวมทั้งยังมีน้ำย่อย เช่น เอนไซม์กลูโคสออกซิเดส ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยน น้ำตาลกลูโคสเป็นกรดกลูโคนิก และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นี้มีคุณสมบัติยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ รวมทั้งมีวิตามินต่างๆ เช่น ซี บี บี1 บี2 บี6 กรดแพนโทนิค กรดนิโคตินิก ในปริมาณต่างๆ กัน ขึ้นอยู่กับชนิดของดอกไม้ องค์ประกอบสุดท้ายที่มีในน้ำผึ้ง คือ น้ำ โดยน้ำผึ้งที่ถูกบ่มสมบูรณ์จะมีน้ำอยู่ ร้อยละ 17-20 (Belitz and Grosch, 1999)

2.2 เอนไซม์ในกระบวนการผลิตน้ำผลไม้

ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำผลไม้มีปัญหามีปัญหาเกี่ยวข้องกับวัตถุดิบหลายประการ เนื่องจากความแปรปรวนขององค์ประกอบซึ่งขึ้นกับ สายพันธุ์ ฤดูกาลในการปลูกและระยะของการสุก วัตถุประสงค์หลักในอุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้ต้องการแปรรูปโดยใช้ปริมาณผลไม้มากที่สุด มีค่าใช้จ่ายต่ำสุดและจะต้องรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายทั้งในด้านรสชาติและการเก็บรักษาสำหรับผลไม้ที่มีเพคตินสูงจะทำให้เกิดปัญหาในการผลิตเนื่องจากมีความหนืดสูงและเกิดเจลดังนั้นจึงเริ่มมีการประยุกต์ใช้เอนไซม์เพคตินในการผลิตน้ำแอปเปิ้ลชนิดใสในปี 1930 ซึ่งจะช่วยให้ขนาดของเพคตินลดลง ความหนืดและระยะเวลาในการผลิตลดลง ช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำแอปเปิ้ลในระดับอุตสาหกรรม ต่อมาจึงได้มีการนำมาใช้ในผลไม้ชนิดอื่นๆ เช่น แอปเปิ้ล แบล็คเคอร์แรน ราสเบอร์รี่ สตรอเบอร์รี่ เชอร์รี่ แครนเบอร์รี่ และองุ่น เป็นต้น และยังพบว่าการใช้เอนไซม์จะช่วยให้สีของน้ำผลไม้ที่สกัดได้ดีขึ้นด้วย ต่อมามีการใช้เอนไซม์เพคตินเนสร่วมกับอัมัยเลส (amylase) เพื่อช่วยย่อยแป้งของแอปเปิ้ลระหว่างขั้นตอนการทำให้ใสโดยใช้ความร้อน ซึ่งจะช่วยยับยั้งการเกิด ความขุ่นทั้งในขั้นต้นและหลังการเก็บรักษา การใช้เอนไซม์เพคตินเนสร่วมกับเฮมิเซลลูเลส (Hemicellulase) ช่วยลดความหนืดของเนื้อแอปเปิ้ลจึงใช้แรงน้อยลงในการบีบอัดเพื่อแยกน้ำและทำให้ผลผลิตสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ การใช้เพคตินเนสร่วมกับอรابينเนส (arabinase) ช่วยทำให้ความขุ่นของน้ำผลไม้เข้มข้นที่มีสาเหตุจาก arabans ลดลง (Francis, 2000) การแยกอะลาบีแนน ออกไปจากน้ำแอปเปิ้ลจะช่วยให้เกิดความใสและความคงตัวของน้ำแอปเปิ้ลและน้ำแอปเปิ้ลเข้มข้น นอกจากนั้นยังมีการเติมเซลลูเลสร่วมกับเพคตินเนสเพื่อย่อยผนังเซลล์ของผลไม้ ทำให้การสกัดน้ำผลไม้ง่ายขึ้น แต่น้ำผลไม้ที่ได้จะมีความขุ่นเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีปริมาณโพลีแซคคาไรด์ละลายออก มาได้มากขึ้น (Mehrlander *et al.*, 2002) ซึ่งมีผลต่อกระบวนการผลิตและคุณภาพของน้ำผลไม้ จึงได้มีการศึกษาผลกระทบของการใช้เอนไซม์เพคตินเนสและเซลลูโลสและเฮมิเซลลูเลสยี่ห้อต่างๆ ที่ใช้ในเชิงการค้า ส่วนต่างๆ กันในการย่อยผนังเซลล์ของแอปเปิ้ลโดยศึกษาองค์ประกอบต่างๆ ในน้ำแอปเปิ้ลที่ได้ ได้แก่ เพคตินเนส โยอาหาร ความสามารถในการอุ้มน้ำรวมถึงขนาดโมเลกุลของน้ำตาลชนิดต่างๆ การย่อยผนังเซลล์ทำให้มีปริมาณโยอาหาร พวกลิโกลูโคสและโพลิเมอร์เพิ่มขึ้น (Oligomeric และ polymeric dietary fiber) (Donqowski and Sembries, 2001)

2.3 การเกิดสีน้ำตาลในอาหาร

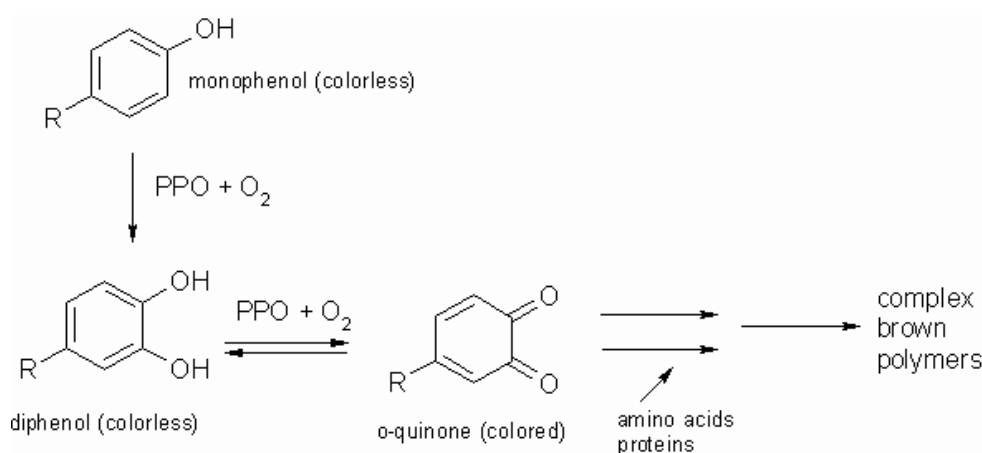
การเกิดสีน้ำตาล (Browning) เป็นปัญหาในการผลิตน้ำผลไม้ที่สำคัญอย่างหนึ่ง ซึ่งมีอิทธิพลต่อผู้บริโภคมาก เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างหมู่อะมิโนของกรดอะมิโนหรือโปรตีนกับคาร์โบไฮเดรตหรือลิปิดที่ถูกออกซิไดซ์หรือสารประกอบฟีนอลที่ถูกออกซิไดซ์ ทำให้อาหารเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาและระหว่างกระบวนการผลิต ทำให้สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ ความปลอดภัยในการบริโภค โดยการทำลายโครงสร้างของกรดอะมิโนจำเป็น ลดความสามารถในการย่อยเนื่องจากการยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ย่อยโปรตีน (Proteolytic activity) ลดการทำงานของออรอนของโลหะและเกิดเป็นสารพิษรวมทั้งสารก่อมะเร็ง (Friedman, 1996) การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแยกได้เป็นกลุ่มสองใหญ่ๆ คือ

ก. การเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ (Enzymatic browning)

เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอล โดยปฏิกิริยาของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenoloxidase, PPO) หรือชื่อตามระบบ 1,2-benzenediol: oxygen oxidoreductase; EC 1.10.3.1) มักถูกเรียกว่า tyrosinase, polyphenolase, phenolase, catechol oxidase, cresolase, หรือ catecholase ขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่ใช้เป็นสับสเตรตในการวัดแอกติวิตีหรือเมื่อตรวจพบว่ามีแอกติวิตีสูงในพืชที่แยกเอนไซม์ได้ พบในพืชหรือสัตว์และในจุลินทรีย์บางชนิดโดยเฉพาะเชื้อรา เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสจะเร่งปฏิกิริยาสองปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน ดังภาพที่ 2 โดยปฏิกิริยาที่ 1 เป็นการเติมหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxylation) ของโมโนฟีนอลได้ไคฟีนอล โดยสารที่มีคุณสมบัติในการรีดิวซ์หรือสารไคฟีนอล ส่วนปฏิกิริยาที่ 2 เป็นการแยกไฮโดรเจนจากไคฟีนอลได้เป็นควิโนน (o-quinone)

ควิโนนเป็นสารที่ไม่เสถียรจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (Nonenzymatic browning) ต่อเนื่องไปโดยใช้ออกซิเจนเร่งปฏิกิริยาการออกซิเดชันและเกิดการรวมตัวเป็นโมเลกุลใหญ่ (Polymerization) ได้เป็น melanins ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดสีน้ำตาล ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของผักและผลไม้ชนิดต่างๆ เช่น ถั่วฝักยาว แอปเปิ้ล พืช มันฝรั่ง เห็ด รวมทั้งในกุ้งและคน (จุดสีน้ำตาลที่ผิวหนัง) ประมาณร้อยละ 50 ของผลไม้เมื่อร้อนจะสูญเสียคุณภาพเนื่องจากการเกิดสีน้ำตาลโดยปฏิกิริยาของเอนไซม์ ซึ่งจะเปลี่ยนสีในน้ำผลไม้และผักสด เช่น ผักกาด หอม

ทำให้รสชาติและคุณค่าทางโภชนาการเสียไปด้วย ดังนั้นการพัฒนาวีธีการเพื่อควบคุมปฏิกิริยาของ PPO จึงมีความสำคัญ (Fenamma, 1996)



ภาพที่ 2 การเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ในการเติมหมู่ไฮดรอกซิลของสาร โมโนฟีนอลได้สารไดฟีนอลและแยกไฮโดรเจนจากไดฟีนอลได้เป็นสารควิโนน

ที่มา: Marshall *et al.* (2000)

ข. การเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (Nonenzymatic browning, NEB)

การเกิดสีน้ำตาลในอาหารเมื่อให้ความร้อนหรือเมื่อเก็บรักษา เกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง น้ำตาลรีดิวซ์ เช่น กลูโคสกับหมู่อะมิโนของกรดอะมิโนอิสระหรือโปรตีน เรียกว่า ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction หรือ Maillard condensation) บางทีเรียกว่าเป็นการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ การเกิดปฏิกิริยาเริ่มจากน้ำตาลรีดิวซ์ชนิดอัลโดสหรือคีโตสและหมู่อะมิโนหนึ่งหมู่เกิด ปฏิกิริยาได้สารประกอบที่ไม่เสถียรจึงเกิดเป็นปฏิกิริยาต่อเนื่องได้ N-Substituted Glucosamine หลังจากนั้นจะเกิดการจัดเรียงตัวของโมเลกุล (Amadori rearrangement) ได้เป็น 1-amino-1-deoxy-D-fructose หรือสารประกอบ Amadori ดังภาพที่ 3 จากตรงนี้สามารถเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องต่อไปได้ 3 แนวทาง ได้แก่

แนวทางที่ 1 เกิดการแยกน้ำออกไปอย่างรุนแรง (strong dehydration) ซึ่งสำคัญที่สุดใน 3 แนวทาง ผลของปฏิกิริยาจะได้สารประกอบ furfural และอนุพันธ์ของ dehydrofurfural คือ

5-hydroxymethyl furfural (HMF) จะมีกลิ่นที่เกิดจากน้ำตาลที่เสียสภาพเมื่อได้รับความร้อน แต่ไม่ใช่กลิ่นจำเพาะของปฏิกิริยานี้

แนวทางที่ 2 การแตกตัวของโมเลกุลได้เป็นสารประกอบคาร์บอนิล โดยบางโมเลกุลจะไม่มีในโตรเจน เช่น acetyl deacetyl pyruvaldehyde จะมีกลิ่นแต่ไม่จำเพาะต่อปฏิกิริยาเช่นกัน

แนวทางที่ 3 เป็นปฏิกิริยาแยกน้ำที่ไม่รุนแรง (moderate dehydration) ได้สารประกอบที่มีคุณสมบัติในการรีดิวซ์เป็นส่วนผสมของ reductones และ dehydroreductones ซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่อไปกับกรดอะมิโน เกิดปฏิกิริยา decarboxylation และให้ aldehydes ตามชนิดของกรดอะมิโน นั้นๆ แอมโมเนีย และคาร์บอนไดออกไซด์ เรียกว่าปฏิกิริยา Strecker degradation โดย aldehydes ที่ได้จะให้กลิ่นที่เป็นคุณสมบัติเฉพาะของปฏิกิริยาเมลลาร์ด แสดงในภาพที่ 3

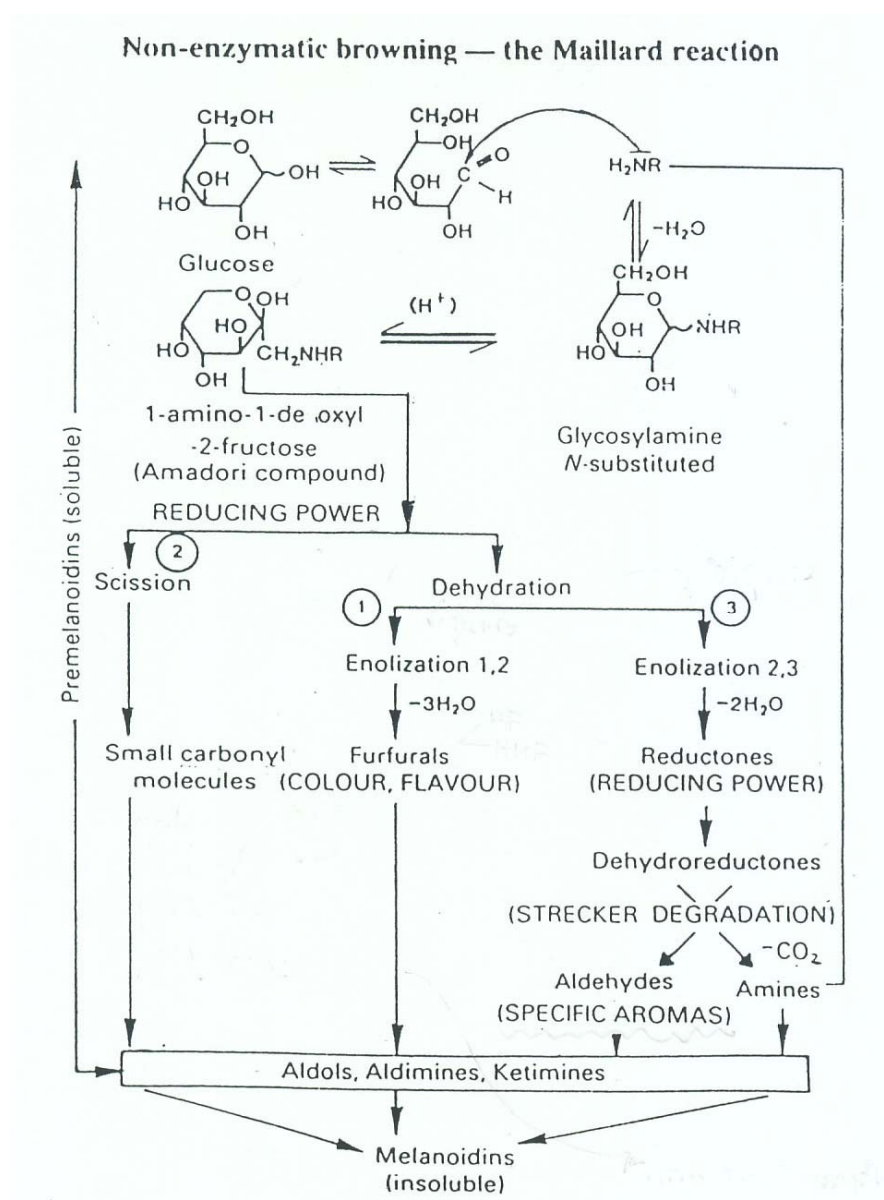
อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำตาลรีดิวซ์ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญมากกว่ากรดอะมิโน โดยน้ำตาลเพนโตสเกิดเร็วกว่าเฮกโซสมาก เรียงลำดับการเกิดปฏิกิริยาจากเร็วไปช้าตามชนิดของน้ำตาลคือ ไรโบส ไชโรส อราบิโนส แมนโนส ฟรุคโตส และกลูโคส ตามลำดับ โดยน้ำตาลสองโมเลกุล เช่น แลคโตสและมอลโตส จะเกิดปฏิกิริยาช้ากว่าน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว นอกจากนั้นยังมีปัจจัยอื่นๆที่กระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาได้แก่ พีเอชที่สูงขึ้น โดยอยู่ในช่วงระหว่าง 6-8.2 นอกจากนี้น้ำจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดช้าลงเนื่องจากเกิดการเจือจางระบบและไปยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา ความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยามีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 30-70 รวมทั้งไอออนประจุบวก เช่น Mn^{2+} Sn^{3+} จะยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา แต่ Cu^{2+} และ Fe^{3+} จะช่วยเร่งในปฏิกิริยาเมลลาร์ด

2.4 ผลกระทบของปฏิกิริยาน้ำตาลที่พบในเทคโนโลยีการอาหาร

ก. การเกิดสี

สารตั้งต้นในการเกิดสี คือ 1-amino-1-deoxy-2-ketoses (Amadori compound) ซึ่งเป็นสารไม่มีสี เมื่อเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะมีการรวมตัวของสารต่างๆ (Polymerization) ทำให้ได้เป็นสารโมเลกุลใหญ่ เกิดเป็นจุดสีดำไม่ละลายน้ำเรียกว่า Melanoidins เป็นองค์ประกอบในขั้นตอนสุดท้ายของปฏิกิริยาเมลลาร์ด สารที่ละลายน้ำได้ทุกโมเลกุลที่เกิดระหว่างปฏิกิริยาเมลลาร์ดถูกเรียกรวมๆกันว่า “pre-melanoidins” นอกจากนั้นความร้อนอาจทำลายโครงสร้างของน้ำตาลเกิดปฏิกิริยา

คาราเมล (Caramelization) ทำให้เกิดสีน้ำตาลเกิดขึ้นพร้อมกับปฏิกิริยาเมลลาร์ด ได้ผลิตภัณฑ์ต่างๆ ดังภาพที่ 3 ได้เช่นกัน ดังนั้นการเกิดสีน้ำตาลอาจมีผลร่วมจากปฏิกิริยาอื่นร่วมด้วย



ภาพที่ 3 แผนภาพการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด

ที่มา: Alais and Lindon (1991)

ข. กลิ่นและรสชาติ

ปฏิกิริยาเมลลาร์ดกระตุ้นให้เกิดการสร้างสารประกอบที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวน 2 ชนิด คือ furfurals และ reductones รวมทั้งอัลดีไฮด์ที่ได้จากการย่อยสลายกรดอะมิโน โดยปฏิกิริยา Strecker degradation ซึ่งปฏิกิริยานี้จำเพาะต่อการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์

ค. ความสามารถในการรีดิวซ์ (reducing power) ของ pre-melanoidins

ความสามารถในการรีดิวซ์จากปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะเกิดขึ้นก่อนการเกิดสีที่ระดับความเข้มข้นต่ำ โดยเกิดจากสารประกอบ Amadori ปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะผลิตกรดที่สำคัญหลายชนิด จึงทำให้ พีเอช ลดต่ำลง

2.5 การควบคุมการเกิดสีน้ำตาล

ก. การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โดยใช้ความร้อน

การใช้ความร้อนจะทำให้ PPO สูญเสียคุณสมบัติในการเร่งปฏิกิริยา โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมจะแตกต่างกันไปในพืชแต่ละชนิด ซึ่งต้องศึกษาเนื่องจากการให้อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานเกินไปจะเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ได้ รวมทั้งยังทำให้โครงสร้างของพืชเสียหายด้วย (Toribio and Lazono, 1986)

ข. การใช้สารเคมี

สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล เป็นสารประกอบที่ทำปฏิกิริยากับเอนไซม์หรือสับสเตรต หรือผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยายับยั้งการเกิดสีในการเกิดจากปฏิกิริยา Melanosis การคัดเลือกสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล มีข้อจำกัดที่ต้องพิจารณาดังนี้คือ ไม่เป็นพิษ และได้รับอนุญาตให้ใช้ในอาหาร เป็นสารธรรมชาติ ราคาถูก ใช้ง่าย ไม่มีผลเสียต่อรสชาติของอาหารแต่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล (Williams, 2001)

2.6 การทำให้น้ำผลไม้เข้มข้น

การทำให้น้ำผลไม้เข้มข้นเป็นหน่วยปฏิบัติการสำคัญหน่วยหนึ่ง ในการแปรรูปผลไม้ เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่สามารถบ่งชี้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย ประโยชน์ของการทำให้น้ำผลไม้เข้มข้นคือ ช่วยถนอมอาหาร โดยสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ และ ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการบรรจุ การขนส่ง และการกระจายสินค้า เนื่องจากปริมาตรลดลง สำหรับวิธีการทำให้น้ำผลไม้เข้มข้น

การระเหยภายใต้ระบบสุญญากาศ (Vacuum evaporation) การระเหยเป็นวิธีการที่เก่าแก่ที่สุดและยังคงมีการใช้อยู่ โดยมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง มีการใช้อย่างกว้างขวาง หลักการคือแยกน้ำออกไปโดยใช้ความร้อนเพื่อระเหยน้ำ ซึ่งต้องใช้ความร้อนสูงเป็นเวลานาน จึงอาจทำให้อาหารสูญเสียคุณภาพ ดังนั้นจึงได้ลดอุณหภูมิลงภายใต้ความดันต่ำ โดยต่อกับปั๊มสุญญากาศ เรียกวิธีการนี้ว่า การระเหยภายใต้ระบบสุญญากาศ น้ำจะถูกแยกออกไปที่อุณหภูมิต่ำพอที่จะไม่ทำให้อาหารสูญเสียคุณภาพ อาจใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 21 ถึง 50 องศาเซลเซียส (Potter and Hotchkiss, 1997) แม้ว่าจะมีวิธีการใหม่ๆ ในการทำให้น้ำผลไม้เข้มข้นขึ้นมากมาย แต่วิธีการนี้ยังคงใช้กันอย่างกว้างขวางเนื่องจากมีหลายแบบให้เลือก โดยจะต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับชนิดของผลไม้ ซึ่งมีข้อจำกัดแตกต่างกัน เช่น การไม่ทนต่ออุณหภูมิสูง การมีสิ่งเจือปนทำให้เกิดการอุดตันและความหนืดสูง เป็นต้น อย่างไรก็ตามการทำให้น้ำผลไม้เข้มข้นโดยวิธีการระเหยน้ำภายใต้สุญญากาศ ยังคงเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดในปัจจุบัน (Ramteke *et al.*, 1993)

3. การทดสอบทางประสาทสัมผัส

คุณภาพของผลิตภัณฑ์ ในสมัยก่อนนั้น ขึ้นอยู่กับความปลอดภัยและคุณค่าทางโภชนาการ แต่ปัจจุบันมีการแข่งขันทางการตลาดสูงขึ้น ดังนั้นการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารจึงต้องตอบสนองความต้องการและความคาดหวังของผู้บริโภคซึ่งมีความรู้มากขึ้น ความเข้าใจในเรื่องพฤติกรรมผู้บริโภค การรับรส และการตอบสนองทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค มีความจำเป็นต่อความสำเร็จของผลิตภัณฑ์ใหม่ และช่วยลดความเสี่ยงในการออกตัวผลิตภัณฑ์ใหม่ ดังนั้นจึงมีแนวการโน้มในการนำการทดสอบทางประสาทสัมผัสและการทดสอบผู้บริโภคมาใช้มากขึ้น

การทดสอบทางประสาทสัมผัสและการทดสอบผู้บริโภคเป็นเทคนิคทางวิทยาศาสตร์ ที่พัฒนาอย่างต่อเนื่อง เป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ การประกันคุณภาพผลิตภัณฑ์ และการควบคุมคุณภาพ ทำให้บริษัทผู้ผลิตอาหารทั่วโลกประสบความสำเร็จ Stone and Sidel (1993) ได้นิยามความหมายของ การทดสอบทางประสาทสัมผัสเป็นการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ ในการวัดค่า การวิเคราะห์ และ ประเมิน การตอบสนองต่อผลิตภัณฑ์ ในการรับรู้รสทางด้าน การมองเห็น การได้กลิ่น รสชาติ สัมผัส และการได้ยิน Engel *et al.* (1997) นิยามการทดสอบผู้บริโภค ว่าเป็นศึกษาในกระบวนการเพื่อคัดเลือกบุคคลหรือกลุ่มคน ในการซื้อ การใช้ หรือการสัมผัส ผลิตภัณฑ์ การใช้บริการ แนวความคิดและประสบการณ์ เพื่อตอบสนองความต้องการและความพอใจ สำหรับวิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัส สามารถแบ่งเป็นได้เป็น 3 วิธีการ ได้แก่

3.1 การทดสอบความแตกต่าง (Discrimination หรือ Different test) เป็นการตรวจสอบความแตกต่างระหว่างผลิตภัณฑ์ ในคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส มีหลายวิธีการ เช่น Triangle test Duo-trio test Paired comparison test (Stone and Sidel, 1993 และ Lawless and Heymann, 1999) เป็นการศึกษาผลของกระบวนการ การเปลี่ยนแปลงสูตร บรรจุภัณฑ์และสถานะในการเก็บรักษา การคัดเลือกผู้ทดสอบ และจำนวนที่ใช้ ขึ้นกับวิธีการ และ ความละเอียดของการผลทดสอบที่ต้องการ แต่โดยทั่วไปเชื่อว่า ถ้าผู้ทดสอบที่ได้รับการฝึกฝนยังไม่สามารถบอกความแตกต่างได้ ผู้บริโภคก็อาจจะไม่พบความแตกต่าง ยกเว้นผู้บริโภคที่คุ้นเคยกับผลิตภัณฑ์นั้นๆ ทำให้สามารถสังเกตความเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยที่เกิดขึ้นได้

3.2 การทดสอบเชิงพรรณนา (Descriptive test) เป็นวิธีการเพื่อหาคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์และสามารถบอกค่าความแตกต่างระหว่างผลิตภัณฑ์ โดยจะต้องคัดเลือกผู้ทดสอบ และฝึกฝน จะได้ข้อเท็จจริงคุณภาพและเชิงปริมาณ ซึ่งมีหลายวิธี เช่น Quantitative Descriptive Analysis, Flavour Profile และ Sensory Spectrum® ข้อเด่น ของ Descriptive analysis คือ สามารถหาความสัมพันธ์กับการใช้เครื่องมือ และข้อมูลผู้บริโภคที่ให้คะแนนความเข้ม (Hedonic Scale) เพื่อหาความแปรปรวนที่เกิดจาก องค์ประกอบหรือกระบวนการ รวมทั้งสามารถหาคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ที่เป็นปัจจัยในการยอมรับในผลิตภัณฑ์ นอกจากนั้นยังใช้หารายละเอียดในลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เช่นการติดตามการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ในการเก็บรักษา

3.3 การทดสอบความชอบหรือการยอมรับ (Affective test หรือ Acceptance test) เป็นการทดสอบเพื่อประเมินความรู้สึกของผู้ทดสอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์ในแง่ความชอบหรือการยอมรับ เช่น การเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ต้นแบบกับผลิตภัณฑ์อื่น มีวิธีการ ได้แก่ Paired preference test, Ranking for Preference และ Hedonic Rating

4. การทดสอบผู้บริโภค

การทดสอบผู้บริโภคเป็นขั้นตอนสำคัญในการวัดการยอมรับในผลิตภัณฑ์นั้นๆ โดยผู้ทดสอบจำเป็นต้องรู้ล่วงหน้าว่า ผู้ใช้ผลิตภัณฑ์คือใคร และการที่ผลิตภัณฑ์จะอยู่ในตลาดนานแค่ไหนจะวัดได้จากตอบสนองในทางบวกของผู้บริโภค (เพ็ญขวัญ, 2549) เนื่องจากความแตกต่างของผู้บริโภคแต่ละคนและสภาพแวดล้อมมีผลต่อพฤติกรรม การซื้อ การเตรียม และการรับประทาน ทำให้มีผลต่อความหลากหลายในชนิดของอาหารและอัตราการยอมรับในอาหารแต่ละชนิด ผู้บริโภคจึงมีส่วนสำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ (Earle *et al.*, 2001) การทดสอบผู้บริโภคจะทำให้ได้ข้อมูลประกอบด้วย (Chamber IV *et al.*, 2003; เพ็ญขวัญ, 2549)

- ก. ข้อมูลเกี่ยวกับผู้บริโภค รู้ว่าคือใคร ชอบหรือต้องการและไม่ต้องการอะไรในผลิตภัณฑ์ที่ทำให้เกิดความพอใจ ทราบความถี่ของการใช้หรือซื้อ ทำให้รู้ปริมาณที่ต้องการ
- ข. รู้ชนิดและรายละเอียดของผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคชอบหรือไม่ชอบ รวมทั้งผลิตภัณฑ์ใกล้เคียง เป็นประโยชน์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อื่นๆ
- ค. ใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างผู้บริโภคและผลิตภัณฑ์
- ง. ช่วยแนะนำผลิตภัณฑ์ในตลาด สามารถลดต้นทุนการส่งเสริมการขาย
- จ. รู้ผลการยอมรับเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์คู่แข่ง เป็นประโยชน์ต่อการควบคุมคุณภาพแผนการตลาดและโรงงานผลิต

5. การคาดคะเนอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

โดยทั่วไปการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวกับเอนไซม์ จะมีผลต่อการปรับปรุงคุณภาพที่สำคัญของอาหารในระหว่างการเก็บรักษา ทำให้เป็นข้อจำกัดในการเก็บรักษา (Buera *et al.*, 1987) นอกจากนั้นการเกิดสีน้ำตาลยังเป็นปัญหาสำคัญต่อน้ำผลไม้เข้มข้นชนิดต่างๆ (Toribio and Lozano, 1984) ทำให้สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการและเกิดสารที่ไม่พึงประสงค์ เช่น HMF (Buedo *et al.*, 2001) Robertson and Samanicgo (1986) รายงานว่า ปริมาณ HMF จะเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เกิดขึ้น

การศึกษาอายุการเก็บรักษาอาหารที่มีอายุการเก็บนานเป็นปีนั้นสามารถที่จะย่นระยะเวลาในการศึกษาโดยการเร่งปฏิกิริยาให้เร็วขึ้นโดยใช้อุณหภูมิสูงเป็นปัจจัยในการเร่ง แล้วนำผลที่ได้ไปทำนายอายุการเก็บที่อุณหภูมิต่างๆ Labuza and Schmild (1985) รายงานว่าการทดสอบอายุการเก็บโดยวิธีการเร่งอายุการเก็บ (accelerated shelf-life testing) เป็นวิธีการเร่งการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ให้เร็วขึ้น เพื่อใช้ในการคาดคะเนอายุของผลิตภัณฑ์โดยลดระยะเวลาลง โดยการเพิ่มอุณหภูมิหรือความชื้นสัมพัทธ์ การกำหนดเวลาสิ้นสุดของการเร่งอายุการเก็บจะใช้การทดสอบทางประสาทสัมผัส หรือการวัดค่าปัจจัยทางคุณภาพเช่น การวัดปฏิกิริยาทางเคมี การวัดค่าทางกายภาพเป็นต้น การคาดคะเนอายุการเก็บแบบเร่งอายุการเก็บทำได้จาก Arrhenius model หรือ Q_{10} model ซึ่งหาได้จากอัตราเร็วของปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงต่างกัน 10 องศาเซลเซียส ดังสมการที่ 1 หรือหาได้จากอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่างกัน 10 องศาเซลเซียส ดังสมการที่ 2

$$Q_{10} = \frac{\text{อัตราเร็วของปฏิกิริยาที่ } (T+10) \text{ องศาเซลเซียส}}{\text{อัตราเร็วของปฏิกิริยาที่ } T \text{ องศาเซลเซียส}} \quad (1)$$

$$Q_{10} = \frac{\text{อายุการเก็บที่ } T \text{ องศาเซลเซียส}}{\text{อายุการเก็บที่ } (T+10) \text{ องศาเซลเซียส}} \quad (2)$$

ค่า Q_{10} อาจคำนวณได้โดยไม่ต้องวัดอัตราเร็วของปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่างกันถึง 10 องศาเซลเซียสได้ โดยใช้สูตรคำนวณดังนี้

$$Q_{10}^{\Delta/10} = \frac{\text{อัตราเร็วของปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงกว่า (T2)}}{\text{อัตราเร็วของปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่ำกว่า (T1)}} \quad (3)$$

เมื่อทราบค่า Q_{10} ของผลิตภัณฑ์แล้วสามารถใช้ค่านี้ในการคาดคะเนอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิอื่นๆ ได้โดยแทนค่าในสมการที่ (3) จะได้สมการที่ (4) ดังนี้

$$Q_{10}^{\Delta/10} = \frac{\text{อายุการเก็บที่ T1 องศาเซลเซียส}}{\text{อายุการเก็บที่ T2 องศาเซลเซียส}} = \frac{\theta(T1)}{\theta(T2)} \quad (4)$$

Δ = ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ T2 และ T1 ($T2-T1$)

$\theta(T1)$ = อายุการเก็บที่อุณหภูมิอื่นๆ ที่ผลต่างไม่เท่ากับ 10 พบอุณหภูมิที่ต้องการทราบ

$\theta(T2)$ = อายุการเก็บของอุณหภูมิที่ทราบการเก็บ

ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการทราบอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่ 20 องศาเซลเซียส โดยผลิตภัณฑ์นี้มีค่า Q_{10} เท่ากับ 3 มีอายุการเก็บที่ 35 องศาเซลเซียสนาน 6 เดือน ดังนั้นอายุการเก็บที่ 20 องศาเซลเซียส คำนวณได้จาก

$$\begin{aligned} \theta_2 &= \theta_{35} \times Q_{10}^{\Delta/10} \\ &= 6 \times 3^{15/10} \\ &= 31.2 \text{ เดือน} \end{aligned}$$

6. การประกันคุณภาพ

การประกันคุณภาพหรือที่เรียกโดยย่อว่า “QA” ย่อมาจาก “Quality Assurance” จัดเป็นระบบที่มีความจำเป็นในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากเป็นระบบที่ก่อให้เกิดความเชื่อมั่นของผู้บริโภคว่าผลิตภัณฑ์มีคุณภาพ สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคต้องรับประทานจึงมักเสริมด้านความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ด้วย ดังนั้นคำว่า “คุณภาพ” ในผลิตภัณฑ์อาหารมักต้องเพิ่มคำว่า “คุณภาพและความปลอดภัย” ซึ่งการประกันคุณภาพเป็นกิจกรรมที่มุ่งเน้นให้กระบวนการ

การผลิตผลิตภัณฑ์อาหารสามารถดำเนินได้อย่างมีประสิทธิภาพ จนทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีคุณภาพตามมาตรฐานหรือข้อกำหนดที่ระบุไว้ (วราวุฒิ, 2547)

ในการผลิตอาหารให้ปลอดภัยนั้นจำเป็นต้องมีการจัดการของหลักเกณฑ์วิธีการที่ดีในการผลิต (Good Manufacturing Practices; GMP) และการป้องกันมิให้อันตรายของอาหารปนเปื้อนไปสู่ผู้บริโภค โดยใช้ระบบวิเคราะห์อันตรายและจุดวิกฤตที่ต้องควบคุม (Hazard Analysis and Critical Control Point; HACCP) โดย GMP จะเน้นในเรื่องการจัดการด้านสุขลักษณะทั่วไป มีข้อกำหนดหลัก 6 ข้อ เพื่อให้ผู้ผลิตผลิตภัณฑ์อาหารได้จัดทำ (สุวิมล, 2545) ประกอบด้วย

1. สถานที่ตั้ง และอาคารผลิต
2. เครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์การผลิต
2. การควบคุมกระบวนการผลิต
3. การสุขาภิบาล
4. การบำรุงรักษา และการทำความสะอาด
5. บุคลากรและสุขลักษณะ

สำหรับระบบ HACCP เป็นแนวคิดของการควบคุมการผลิตที่ประกอบด้วยการวินิจฉัยและประเมินอันตรายของอาหารที่อาจเกิดขึ้นกับผู้บริโภค ตั้งแต่วัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่ง จนถึงมือผู้บริโภค ประกอบด้วยหลักสำคัญ 7 ประการ คือ

ก. การวิเคราะห์อันตรายการวิเคราะห์ห้ำห้ำย การประเมินโอกาสของการเกิดอันตราย และต้องระบุหรือค้ำนึ่งถึง มาตรการการควบคุมอันตรายเหล่านั้นด้วย

ข. กำหนดจุดวิกฤตที่ต้องควบคุม เป็นการกำหนดขั้นตอนการปฏิบัติงานจึงสามารถควบคุมหรือกำจัดอันตรายหรือลดโอกาสการเกิดอันตราย จุดวิกฤตที่ต้องควบคุมหรือจุด CCP นี้ถ้าหากพลาดการควบคุมอาจก่อให้เกิดอันตรายถึงผู้บริโภคได้

ค. การกำหนดค่าวิกฤต (Critical limit) เป็นการกำหนดขอบเขตหรือเกณฑ์ที่ใช้ในการควบคุมเพื่อทำให้เกิดความมั่นใจว่าจุด CCP อยู่ภายใต้การควบคุม

ง. การกำหนดระบบตรวจติดตามเพื่อควบคุมจุดวิกฤต เป็นการกำหนดระบบ หรือแผนในการตรวจติดตามเพื่อเฝ้าระวังว่า จุด CCP อยู่ในขอบเขตหรือเกณฑ์ที่ใช้ในการควบคุม

จ. กำหนดวิธีแก้ไข เป็นการกำหนดแผนในการปฏิบัติ เมื่อตรวจพบว่า จุด CCP ไม่อยู่ในขอบเขตหรือเกณฑ์ที่ใช้ในการควบคุม

ฉ. การกำหนดวิธีการทวนสอบ เป็นการยืนยันประสิทธิภาพของการดำเนินงานของระบบ HACCP

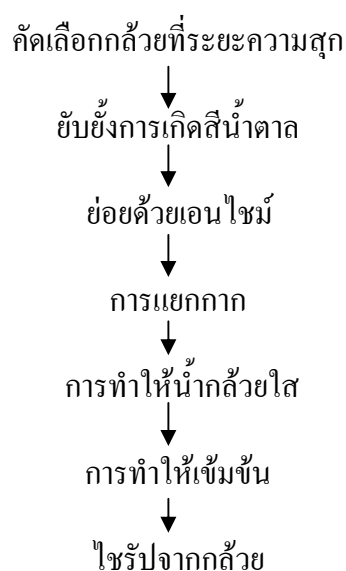
ช. การกำหนดวิธีการจัดการ และการเก็บบันทึกข้อมูล

ประโยชน์ของการจัดทำโปรแกรมพื้นฐานและระบบการวิเคราะห์อันตรายและจุดวิกฤตที่ต้องควบคุม (HACCP) วราวุฒิ (2547) ได้อธิบายว่า โปรแกรมพื้นฐานและระบบ HACCP เป็นระบบการจัดการเพื่อผลิตอาหารปลอดภัยต่อผู้บริโภคโดยเน้นการป้องกันและการลดความสำคัญของการตรวจสอบผลิตภัณฑ์สุดท้าย ระบบนี้มีประโยชน์ต่อโรงงานหลายประการ คือ

- เป็นหลักประกันความปลอดภัยของผู้บริโภค
- ทำให้การปฏิบัติงานเป็นระบบมากขึ้น สามารถตอบสนองต่อปัญหาด้านความปลอดภัยของอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- ยกระดับมาตรฐานการผลิตให้กับโรงงาน
- มีการวิเคราะห์ข้อมูล ทำให้ช่วยลดปริมาณของเสีย สามารถใช้ทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- ผู้ปฏิบัติงานเกิดความเข้าใจในงานที่ปฏิบัติอยู่อย่างถ่องแท้ นำมาซึ่งความเข้าใจซึ่งกันและกัน เกิดความสามัคคีในหน่วยงาน
- เกิดการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง
- พนักงานเกิดความภาคภูมิใจ
- สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับหน่วยงานในเครือข่ายได้โดยง่าย
- ช่วยส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศและได้เปรียบคู่แข่ง

7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการผลิตไช้รับเข้มข้นจากกล้วยหอมประกอบด้วย ขั้นตอนต่างๆ แสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการผลิตไช้รับจากกล้วย

ที่มา: คัดแปลงจาก Viquez *et al.* (1981)

การคัดเลือกระยะสุกที่เหมาะสมของกล้วยเพื่อผลิตไช้รับมีความจำเป็นเนื่องจากจะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ กล้วยจัดเป็นผลไม้ประเภท climacteric คือเมื่อผลสุกจะมีการหายใจเพิ่มขึ้น และต้องการเอทิลีนมาช่วยกระตุ้นให้เกิดการสุก (เบญจมาศ, 2545) การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบภายหลังการเก็บเกี่ยวจึงเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพในการผลิต Dupaigne and Dalnic (1965) แสดงให้เห็นว่าการใช้กล้วยระยะสุกเต็มที่ จะมีระดับของกลีโคไซด์ที่พัฒนาเต็มที่ และมีปริมาณน้ำตาลสูงสุดด้วย เช่นเดียวกับที่ Prabha and Bhayalakhmi (1998) รายงานว่า กล้วยที่สุกจะมีปริมาณน้ำตาล กลูโคส ฟรุคโตส และซูโครส สูง นอกจากนั้นคุณค่าทางโภชนาการของกล้วยสุกก็สูงกว่ากล้วยดิบด้วย ได้แก่ ปริมาณเกลือแร่ที่จำเป็น เช่น แคลเซียม และ ฟอสฟอรัส รวมทั้งปริมาณวิตามินซี (วิไลลักษณ์ และคณะ, 2532; Jaleel *et al.*, 1979)

Viquez *et al.* (1981) ที่ได้เปรียบเทียบผลการสกัดน้ำกล้วยที่ระยะสุก 3 ระดับ คือ ระยะ 6 (เปลือกสีเหลืองทั้งผล) ระยะ 7 (เปลือกสีเหลืองปนจุดน้ำตาลเล็กน้อย) และระยะ 8 (เปลือกสีเหลืองปนจุดน้ำตาลมาก) ได้ผลผลิตร้อยละ 5, 21 และ 28 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า กล้วยสุกมากขึ้นจะให้

ผลผลิตสูงขึ้น เนื่องจากกล้วยที่สุกเกินไป (ระยะ 8) จะมีการปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์ได้มากซึ่งต้องตัดแยกออกไปทำให้ผลผลิตลดลง จึงแนะนำให้ใช้ระยะ 7 ซึ่ง Koffi *et al.* (1991) ก็ใช้กล้วยที่ระยะที่ 7 เพราะมีเชื้อในปริมาณมากที่สุด พชรินทร์ (2541) ได้เปรียบเทียบชนิดเอนไซม์ในการสกัดน้ำกล้วย เช่นเดียวกับ อรุณี และปราณี (2536) โดยเลือกกล้วยหอมที่ระยะสุกระดับ 7-8 ซึ่งมีเปลือกสีเหลืองปนจุดน้ำตาลถึงสีเหลืองปนจุดน้ำตาลมาก นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำกล้วยมณฑาทิพย์และคณะ (2538) ใช้กล้วยหอมทองที่สุกเปลือกสีเหลืองมีจุดสีน้ำตาลเล็กน้อย(ระยะ 7) โดยให้เหตุผลว่าถ้าใช้กล้วยที่มีเปลือกสีเหลืองปนเขียวจะมีผลผลิตต่ำ

การนำกล้วยมาแปรรูปจะต้องยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์เพื่อรักษาคุณภาพกล้วยการใช้ความร้อน (blanching) ในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์เป็นวิธีการที่นิยมใช้กันเป็นส่วนใหญ่ โดย Koffi *et al.* (1991) ลวกกล้วยทั้งผลพร้อมเปลือกด้วยไอน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียส (Steam blancher belt) ใช้เวลา 11 นาที ทำให้อุณหภูมิภายในผลกล้วยเท่ากับ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ถึง 2 นาทีซึ่งสามารถยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสได้ พชรินทร์ (2541) ลวกกล้วยทั้งผลพร้อม เปลือกด้วยไอน้ำเดือดเป็นเวลา 14 นาที ซึ่งทำให้อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางผลเท่ากับ 90 องศาเซลเซียส จากนั้นจะแช่น้ำทันทีเป็นเวลา 5 นาที ส่วนอรุณีและปราณี (2536) ลวกกล้วยทั้งผลพร้อมเปลือกจะใช้เวลาในการลวก 5 นาที มณฑาทิพย์และคณะ (2538) และ Sims *et al.* (1995) จะใช้วิธีการลวกเนื้อมากด้วยไอน้ำเดือดจนมีอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ส่วน Jaleel *et al.* (1979) จะลวกเนื้อมากด้วยไอน้ำเดือด 65-70 องศาเซลเซียส แล้วทำให้เย็นลงทันทีที่ 40 องศาเซลเซียส

ขั้นตอนสำคัญที่สุดในการผลิตไซรัปกล้วยหอมทองคือการสกัดน้ำกล้วยเนื่องจากกล้วยเป็นผลไม้ที่มีกากมากน้ำน้อยประกอบด้วย เพคติน ทำให้ความหนืดสูง การสกัดน้ำกล้วยจึงยากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับส้มหรือแอปเปิ้ล วิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสูงและเป็นที่ยอมรับในปัจจุบันคือการใช้เทคโนโลยีเอนไซม์ ซึ่งเอนไซม์เพคตินเนสเป็นเอนไซม์ที่ใช้สำหรับย่อยเพคตินทำให้ความหนืดลดลง น้ำในเซลล์ถูกแยกออกมาได้มากและเร็วขึ้น รวมทั้งยังรักษาคุณค่าทางโภชนาการ สีและกลิ่นรสของน้ำกล้วยที่สกัดได้ด้วย (Jaleel *et al.*, 1979) Viquez *et al.* (1981) เปรียบเทียบการใช้เอนไซม์ทางการค้า 6 ยี่ห้อ เพื่อย่อยเนื้อมาก เปรียบเทียบปริมาณผลผลิตน้ำกล้วย ผลการลดความหนืดและการทำให้น้ำกล้วยใส โดยพบว่าเอนไซม์ Ultrazyme 100 และ Ultrazyme 100 special (Ciba Geigy Ltd.) ความเข้มข้นร้อยละ 0.01 โดยน้ำหนักเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ได้เติมเอนไซม์จะได้ผลผลิตน้อยกว่าร้อยละ 5 ภายใต้สภาวะเดียวกัน ที่ 45 องศาเซลเซียส เป็น

เวลา 1 ชั่วโมง พีเอช 3.8 ได้ผลิตน้ำกล้วยร้อยละ 55 และ 60 ตามลำดับ ส่วนอรุณีและปราณี (2536) ใช้เอนไซม์เพคตินเอสร้อยละ 0.05 ร่วมกับ เอนไซม์เซลลูเลสร้อยละ 0.06 สามารถส่งเสริมการย่อยเซลล์พืชได้มีประสิทธิภาพกว่าการใช้เอนไซม์อย่างใดอย่างหนึ่ง ที่สภาวะเดียวกันในการย่อยกล้วยหอม ได้ผลิต 73 ร้อยละ ของน้ำหนักเนื้อกล้วยและพบว่าเอนไซม์อะมัยเลส ไม่มีผลต่อการเพิ่มผลผลิตของน้ำกล้วยหอม เช่นเดียวกับมณฑาทิพย์ และคณะ(2538) ย่อยกล้วยหอมทองและกล้วยหอมแกรนด์แนน ด้วยเอนไซม์เพคตินเอสร้อยละ 0.03 ร่วมกับ เอนไซม์อะมิโลไกลูโคซิเดสร้อยละ 0.02 ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หยุดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ให้ผลิตร้อยละ 80 ของน้ำหนักเนื้อกล้วย สำหรับ Shahadan and Abdullah (1995) ได้ใช้เอนไซม์เพคตินเอส (Pectinex Ultra SP-L, Novozymes A/S, Denmark) ปริมาณร้อยละ 0.04 ที่อุณหภูมิต่ำสุดที่ 30 องศาเซลเซียส พีเอชสูงสุด 3.4 ในการสกัดน้ำกล้วยได้ผลิตน้ำกล้วยสูงสุดร้อยละ 68

ในการสกัดน้ำผลไม้ด้วยเอนไซมนั้นขั้นตอนสำคัญที่จะต้องศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยด้วยเอนไซม์ได้แก่ อุณหภูมิ เวลา และความเข้มข้นของเอนไซม์เพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุดและมีคุณสมบัติความต้องการ ซึ่งมีเทคนิคที่จะช่วยให้การหาสภาวะที่เหมาะสมในกรณีที่มีหลายปัจจัยที่ต้องศึกษารวมทั้งความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย (interaction) ได้แก่ การใช้เทคนิคพื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodology (RSM) โดยเทคนิคนี้จะช่วยทำให้จำนวนสิ่งทดลองลดลง มีผลให้เวลาและค่าใช้จ่ายลดลง (Hu, 1999) มีการนำ RSM มาใช้ในการหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอาหารอย่างกว้างขวาง (Shahaden and Abdullah, 1995) โดยจะนำมาใช้ร่วมกับแผนการทดลองต่างๆ เช่น Central rotatable composite design (CCRD) เพื่อหาสมการขั้นที่หนึ่งและสองเพื่อใช้อธิบายปัจจัยที่มีผลต่อค่าที่วัดได้ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ต้องการ รวมทั้งหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยโดยใช้กราฟพื้นผิว (Contour plot) และการซ้อนภาพเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการย่อยด้วยเอนไซม์การใช้เอนไซม์ช่วยย่อยผลไม้ที่มีเนื้อนุ่มนวลเช่นกล้วย จะช่วยให้การสกัดง่ายขึ้นและผลผลิตเพิ่มขึ้น ในการสกัดน้ำผลไม้หลายชนิดที่ใช้เทคนิคดังกล่าว ได้แก่

Abdullah *et al.* (2007) ใช้ RSM ในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำให้น้ำมะเฟืองใส โดยการแปรผันปริมาณเอนไซม์เพคตินเอส (Pectinex Ultra SP-L, Novozymes Switzerland) ร้อยละ 0.01-0.1 โดยปริมาตร ระยะเวลา 20-100 นาที อุณหภูมิ 30-50 องศาเซลเซียส โดยสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตาม ซึ่งประกอบด้วย ความขุ่น ความใส ความหนืด และสี มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) > 0.7 โดยพบว่าเอนไซม์เป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณลักษณะของน้ำมะเฟือง ได้สภาวะที่เหมาะสมในการทำให้น้ำมะเฟืองใส คือใช้เอนไซม์ร้อยละ 0.1 ที่ 30

องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที Rai *et al.* (2004) ศึกษาการสกัดน้ำ Mosambi (Sweet orange; *Citrus sinensis*) ด้วยเอนไซม์เพคตินเนส จากเชื้อ *Aspergillus niger* (SRL research chemicals, India) โดยแปรผันเวลา 40-141 นาที อุณหภูมิ 32-49 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ร้อยละ 0.0004-0.0014 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เพื่อทดสอบผลของเอนไซม์ที่มีต่อ ค่าความหนืด ความใส และปริมาณของแข็งที่ละลายในแอลกอฮอล์ (alcohol – insoluble solids: AIS) ใช้แผนการทดลองแบบ CCRD โดยพบว่า การใช้เอนไซม์ทำให้ความหนืดและปริมาณ AIS ลดลง 1.11 mPas และร้อยละ 0.24 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ตามลำดับ แต่ทำให้ความใสเพิ่มขึ้น มีค่าร้อยละ 83.97 ที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ร้อยละ 0.004 เวลา 99.27 นาที อุณหภูมิ 41.89 องศาเซลเซียส Rastogi and Rashmi (1999) ศึกษาวิธีการสกัดน้ำมะม่วง (*Mangifera indica* L.) สายพันธุ์ Neelam โดยใช้ RSM ศึกษาผลของปริมาณเอนไซม์ Pectinase (Bicon, Bangalore, India) ระยะเวลาและความสัมพันธ์ระหว่างสองปัจจัยที่มีต่อ ผลผลิตน้ำมะม่วง ความใส ปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ (alcohol- insoluble solids, AIS) และความหนืดของเนื้อมะม่วง โดยใช้แผนการทดลอง แบบ CCRD ได้สภาวะที่เหมาะสม ในการใช้เอนไซม์ ร้อยละ 0.14 เป็นเวลา 46.67 นาที ได้ผลผลิตร้อยละ 64 ความใสร้อยละ 71 AIS ร้อยละ 2.0 และความหนืด 1850 cP ในการทดลองของ Shahadan and Abdullah (1995) ซึ่งศึกษาการสกัดน้ำกล้วย (*Musa sapientum* cv. Berangan) โดยใช้เทคนิค RSM แปรผันอุณหภูมิ 20-50 องศาเซลเซียส ปริมาณร้อยละ 0.13-0.47 ใช้เวลา 4 ชั่วโมง โดยวัดปริมาณ น้ำกล้วยที่ได้ นำสมการขั้นที่สองที่ใช้ทำนายผลผลิตจากค่าตัวแปร สร้างกราฟพื้นผิวหาสภาวะที่เหมาะสมประกอบด้วยเอนไซม์ร้อยละ 0.42 ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส พีเอช 3.4 ได้ปริมาณน้ำกล้วยร้อยละ 70 น้ำกล้วยที่ได้มีความใสร้อยละ 94.7 ค่าสีในระบบ CIE L* 33.92 a* -0.13 b* 2.33 พีเอช 3.41 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ 26.1 องศาบริกซ์ ความหนืด 14.2 เซนติพอยด์ ส่วน Lee *et al.* (2006) ได้หาสภาวะที่เหมาะสมในการทำให้น้ำกล้วยใส โดยใช้เอนไซม์เพคตินเนส (Pectinex Ultra SP-L, Novo Nordisk Ferment Switzerland) ด้วยเทคนิค RSM โดยการแปรผันปริมาณ เอนไซม์ร้อยละ 0.01-0.1 อุณหภูมิ 30-50 องศาเซลเซียส และเวลา 30-120 นาที โดยการวัดค่าความสามารถในการกรอง ความใส และความหนืด โดยใช้แผนการทดลองแบบ CCD ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.9 พบว่า ค่าปัจจัยทั้งหมดที่ใช้วัดความสัมพันธ์กัน โดยความเข้มข้นของเอนไซม์มีความสำคัญต่อคุณสมบัติของน้ำกล้วยมากที่สุด ($p \leq 0.01$) โดยการเพิ่มเวลา และ/หรือ ความเข้มข้นจะทำให้ค่าการกรองและความใสสูงขึ้น ความขุ่นและความหนืดลดลง จากผลการใช้ RSM ได้สภาวะที่เหมาะสมคือ เอนไซม์ร้อยละ 0.084 อุณหภูมิ 43.2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 80 นาที โดยมีค่าความสามารถในการกรอง 0.073 ต่อวินาที ความใส (A_{660}) 0.006 ความขุ่น 0.92 NTU ความหนืด 1.89 เซนติพอยด์

โดยทั่วไปหลังจากการย่อยผลไม้แล้วจะแยกกากออกไปโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง เช่น การผลิตน้ำบลูเบอร์รี่ (Lee *et al.*, 2002) การผลิตน้ำพีชเข้มข้น (Buedo *et al.*, 2001) และอีกวิธีการหนึ่งคือ การใช้วิธีการกรองด้วยเครื่องคั้น ในการผลิตน้ำบ๊วย (Plum Juice) (Chang *et al.*, 1994) และไซรัปจากเบิ้ลคเคอร์แรนต์ (Blom and Skrede, 1984) สำหรับการแยกกากกล้วยของ Koffi *et al.* (1991) ใช้เครื่องคั้นระบบไฮดรอลิก ส่วน Jaleel *et al.* (1979) ศึกษาวิธีการแยกกากในการผลิตน้ำกล้วยหอมในระดับโรงงานต้นแบบ โดยเปรียบเทียบการใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง การใช้ถุงกรองโดยการคั้นด้วยมือ และการกรองด้วย Plate and Flame Filter Press ผลที่ได้พบว่าเครื่องหมุนเหวี่ยงมีอัตราเร็วไม่เพียงพอที่จะทำให้กากตกตะกอน การคั้นด้วยมือแม้จะให้ผลผลิตสูง (ร้อยละ 80) แต่น้ำกล้วยที่ได้ขุ่นจึงไม่ได้รับการยอมรับ จึงแนะนำให้ใช้วิธีการกรองโดยใช้สารช่วยกรอง (Hyflo Supercel) ซึ่งสามารถแยกกากกล้วยออกไปได้ดี หากปรับปรุงสถานะการกรองให้เหมาะสมยิ่งขึ้น อาจทำให้ได้ผลผลิตเท่ากับการคั้นด้วยมือ ในการผลิตน้ำกล้วยหอมในระดับโรงงานต้นแบบโดยมหาวิทยาลัยพะเยาและคณะ (2538) ใช้วิธีการแยกกากกล้วยโดยเครื่องหมุนเหวี่ยงแบบตะกร้า (Kokusanki basket centrifuge) แล้วกรองด้วย Plate and Flame Filter Press เปรียบเทียบกับ วิธีการกรองด้วยเครื่องคั้นระบบไฮดรอลิกแบบมือหมุน ซึ่งต้องกรองอีกครั้ง โดยพบว่า การใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง ที่มีถุงผ้ากรองขนาดพอดีกับเครื่องและเนื้อผ้ากรองมีความเหมาะสมเมื่อใช้ร่วมกับชุดแผ่นกรอง จะได้ผลผลิตสูงกว่าการใช้เครื่องคั้นระบบไฮดรอลิกแบบมือหมุน (ร้อยละ 87.14 และ 85.62 ตามลำดับ) Viquez *et al.* (1981) เปรียบเทียบวิธีการแยกกากทั้งสองวิธีเช่นเดียวกัน ซึ่งให้ผลการทดลองใกล้เคียงกัน ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณน้ำตาลรวมและลักษณะปรากฏไม่แตกต่าง แต่การใช้เครื่องคั้นมีข้อได้เปรียบที่มีค่าใช้จ่ายต่ำกว่า ซึ่งต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับ ขนาดและความซับซ้อนของการผลิต

การศึกษาเพื่อทำให้น้ำผลไม้เข้มข้นขึ้น เป็นวิธีการที่นิยมใช้กัน โดยทั่วไปคือการระเหยน้ำออกไปด้วยเครื่องระเหยน้ำแบบสุญญากาศ (rotary vacuum evaporator) โดยการควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส เช่นการทำน้ำแอปเปิ้ลเข้มข้น (Beveridge *et al.*, 1986) น้ำกีวีเข้มข้น (Wong and Stanton, 1989) Buedo *et al.* (2001) เตรียมน้ำพีชเข้มข้นด้วยวิธีเดียวกันนี้ แต่ใช้อุณหภูมิต่ำลงเป็น 29 องศาเซลเซียส เพื่อลดการเกิดสีน้ำตาลให้น้อยลง Al-Farsi (2003) ศึกษาการใช้อินทผลัมคุณภาพต่ำเพื่อผลิตไซรัป โดยนำน้ำอินทผลัมที่สกัดได้มาทำให้เข้มข้นด้วยเครื่องระเหยน้ำแบบสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

การเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์น้ำตาลไม่เข้มข้นเมื่อเก็บรักษาพบว่า ปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (Nonenzymatic browning, NEB) จะเกิดในอาหารเมื่อให้ความร้อนหรือเมื่อเก็บรักษา โดยทั้งวิธีการให้ความร้อนและสภาวะการเก็บรักษาจะมีผลสนับสนุนกันในการเกิด NEB ยิ่งเก็บนานก็จะมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น (Toribio and Lozano, 1986) โดยจะมีผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพที่สำคัญ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาและทำให้มีข้อจำกัดในเรื่องอายุการเก็บรักษา การเกิดสีน้ำตาลจึงเป็นปัญหาสำคัญเกี่ยวกับคุณภาพของน้ำตาลไม่เข้มข้น จะมีผลต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของอาหารที่ผ่านขบวนการทำให้มีกลิ่น รส และสีเปลี่ยนแปลง (Gazzari *et al.*, 1987) และยังทำให้คุณค่าทางอาหารสูญเสียไป โดยเกิดสารประกอบที่ไม่ต้องการ เช่น Furfural และ HMF (Buedo *et al.*, 2001)

Koca *et al.* (2003) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลไม่ในกลุ่มส้ม (Citrus) ได้แก่ ส้ม (orange) ส้มเขียวหวาน (tangerine) เลมอน (lemon) และ เกรฟฟรุต (grapefruit) ที่เก็บไว้เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 28 37 และ 45 องศาเซลเซียส โดยวัดความเข้มของสีน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นด้วยค่าการดูดแสงที่ 420 นาโนเมตร (A_{420}) และวัดค่าสีในระบบ CIE-Lab โดยค่า A_{420} จะเพิ่มขึ้นตามอัตราการเกิดสีน้ำตาล เป็นปฏิกริยาขั้นที่ศูนย์ ของการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ ส่วนการเปลี่ยนแปลงค่า L^* และ b^* เป็นปฏิกริยาขั้นที่หนึ่ง โดยค่าพลังงานกระตุ้นของการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ จากค่า A_{420} มีค่าระหว่าง 17.6- 35.27 kcal mol⁻¹ ส่วนค่า L^* และ b^* มีค่าระหว่าง 6.67- 28.99 และ 15.38- 34.2 kcal mol⁻¹ ตามลำดับ

Wang *et al.* (2005) ศึกษาผลของอุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ในการเก็บน้ำแครอทเข้มข้น ที่มีผลต่อ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณน้ำตาลซูโครส กลูโคส ฟรุคโตส ปริมาณกรดอมิโนทั้งหมด ค่าพีเอช ปริมาณ HMF และค่าสีน้ำตาล (browning degree, A_{420}) พบว่าที่อุณหภูมิ 0 และ -18 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงน้อย โดยที่อุณหภูมิ 25 และ 37 องศาเซลเซียส มีผลต่อปริมาณ HMF และค่าสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยมีการเปลี่ยนแปลงค่า ที่สัมพันธ์กับเวลาในลักษณะของปฏิกริยาขั้นที่หนึ่ง โดยสามารถคำนวณหา ปริมาณ HMF จากสมการความสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และค่าสีน้ำตาลของน้ำแครอทเข้มข้น

Carabasa-Giribet and Ibarz-bibos (2000) ศึกษาการเกิดสีน้ำตาลในแบบจำลองที่มีน้ำตาลฟรุกโตส และ กรดอะมิโน แอสพาร์ กลูตามิก หรือ แอสพาราจีน ที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่างกัน 3 ระดับ (150, 300 และ 450 กรัม ต่อ กิโลกรัม) โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85, 90, 95 และ 100 องศาเซลเซียส ติดตามปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่เกิดขึ้น โดยการวัดค่าการดูดแสงที่ความยาวคลื่น 280 และ 420 นาโนเมตร (A_{280} และ A_{420}) และวัดค่าสีในระบบ CIE $L^*a^*b^*\Delta E^*$ ค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมด และ ปริมาณกรดอะมิโนทั้งหมด (formol index) โดยพบว่าอัตราเร็วคงที่ ของค่า A_{280} จะเพิ่มขึ้นเมื่อให้อุณหภูมิสูงขึ้น โดยกรดกลูตามิกจะเปลี่ยนแปลงเร็วที่สุด ส่วนแอสพาราจีนจะเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด ส่วนค่าสีน้ำตาลจากการวัดค่า A_{420} และ ค่า ΔE^* พบว่า กรดกลูตามิกจะเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

กล้วยหอมทอง [*Musa acuminata* (AAA Group) ‘Gros Michel’] เป็นกล้วยที่ไม่ได้มาตรฐานการส่งออกจากกลุ่มเกษตรกรทำสวนทุ่งคาวัด ตำบลทุ่งคาวัด อำเภอละเมอ จังหวัดชุมพร

2. อุปกรณ์และเครื่องมือในการผลิตไซรัป

2.1 เครื่องปั่นผสมอาหาร Vita Mix® ประเทศไทย

2.2 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) รุ่น AT 110 ยี่ห้อ Heto Lab Equipment ประเทศเดนมาร์ก

2.3 เครื่องปั่นผสมแบบมีใบพัด (Stirring moter) รุ่น R17 ของ CAT ประเทศเยอรมัน

2.4 เครื่องหมุนเหวี่ยงควบคุมอุณหภูมิต่ำ (Refriguated centrifuge) ยี่ห้อ Tomy รุ่น GRX-200 ประเทศญี่ปุ่น

2.5 เครื่องระเหยแห้งแบบสุญญากาศ (Rotary vacuum evaporator) รุ่น Rotavapor R-114 ของ Buchi ประเทศสวิสเซอร์แลนด์

2.6 ตู้แช่แข็ง -20 องศาเซลเซียส

2.7 อุปกรณ์เครื่องครัว ได้แก่ มีด กระดาษ ลังถึง ฯลฯ

3. อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพ

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวัดคุณภาพทางกายภาพ

3.1.1 เครื่องวัดค่าสี Spectrophotometer รุ่น CM 3500d ของ Minalta ประเทศญี่ปุ่น และ Tintometer รุ่น PFX 195 ของ Lovibond สหราชอาณาจักร

3.1.2 เครื่องวัดความหนืด Brookfield viscometer รุ่น RV-II ประเทศออสเตรเลีย

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวัดค่าคุณภาพเคมี

3.2.1 เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (pH meter) รุ่น Cyberscan 500 ของ Euthec ประเทศสิงคโปร์

3.2.2 เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Hand refract meter) 0-32 องศาบริกซ์ รุ่น N-3E ของ Atago และ 58-90 องศาบริกซ์ รุ่น MNL-1125 ของ Shilac

3.2.3 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-VIS Spectrophotometer) รุ่น V-530 ของ JASCO ประเทศญี่ปุ่น

3.2.4 เครื่องลิควิดโครมาโตกราฟี ประสิทธิภาพสูง (High performance liquid chromatography; HPLC) รุ่น LC 10A ของ Shimazu ประเทศญี่ปุ่น

3.2.5 อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ได้แก่ ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ตู้อบสุญญากาศ (Vacuum oven) เตาเผาเต้า ชุดย่อย – กลั่นไนโตรเจน ชุตสกัดไขมัน โถวัดความชื้น

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือในการวัดคุณภาพทางจุลินทรีย์

3.3.1 ตู้ถ่ายเชื้อ (Laminar flow) รุ่น MDH Class II ของ Microflow ประเทศอังกฤษ

3.3.2 หม้อนึ่งความดันไอน้ำ (Autoclave) รุ่น SD-320 ของ Tomy ประเทศญี่ปุ่น

3.3.3 ตู้บ่มเชื้อ (Incubator) รุ่น KBP 6151 ของ Termaks ประเทศนอร์เวย์

3.4 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

3.4.1 อุปกรณ์ทดสอบประเมินค่าทางประสาทสัมผัส

3.4.2 แบบสอบถาม

3.5 อุปกรณ์ในการศึกษาอายุการเก็บรักษา

3.5.1 ตู้แช่แข็ง (-20 องศาเซลเซียส) ยี่ห้อซัมโซ ประเทศไทย

3.5.2 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส รุ่น KBP 6151 ยี่ห้อ Termaks ประเทศนอร์เวย์ และ ยี่ห้อ Memmert ประเทศเยอรมัน

3.5.3 ขวดแก้วขนาดบรรจุ 120 มิลลิลิตร ฝาเกลียว

3.5.4 ถังอะลูมิเนียมฟอยล์ขนาด 15 x 10 เซนติเมตร

4. อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ข้อมูลและรายงานผล

4.1 โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ

4.2 เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์สำหรับการประมวลผล