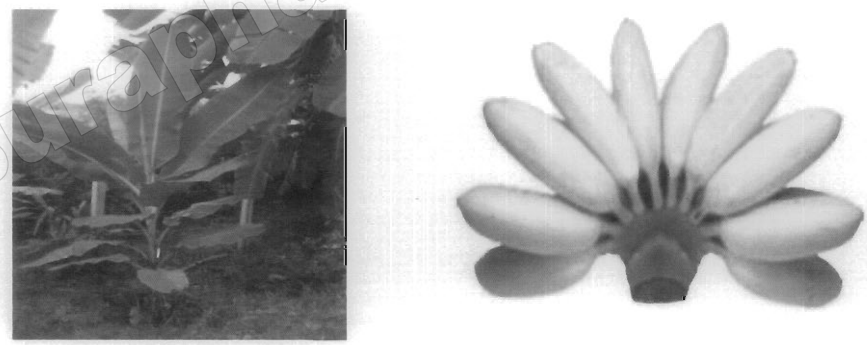
บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล้วยไข่

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

กล้วยเป็นไม้ผลเขตร้อน มีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จัดอยู่ในวงศ์ Musaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า (*Musa sapientum* L.) หรือ Kluai Khai ประเทศไทย เรียกว่า กล้วยไข่ หรือกล้วยกระ (เบญจมาศ ศิลาย้อย, 2545) กล้วยไข่เป็นพืชที่สามารถปลูกได้แทบทุกภาคของประเทศไทย นับว่าเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญชนิดหนึ่งที่สามารถทำรายได้ให้กับประเทศ พันธุ์ที่นิยมปลูกเป็นทางการการค้า คือ พันธุ์กำแพงเพชร และพันธุ์เกษตรศาสตร์ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551) ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ คือ มีลำต้นสูง 2.5-3 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 16-20 เซนติเมตร กาบลำต้นด้านนอกสีเขียวปนเหลือง ด้านในมีสีชมพูแดง กาบใบสีเขียวอมเหลือง ปลีรูปไข่ สำหรับผลเครือหนึ่งมี 6-7 หวี หวีหนึ่งมีประมาณ 14 ผล ผลค่อนข้างเล็ก ขนาดกว้าง 2.3 เซนติเมตร ยาว 8-10 เซนติเมตร ก้านผลสั้น เปลือกค่อนข้างบาง เมื่อสุกเปลือกมีสีเหลือง เนื้อมีสีครีมอมส้ม รสชาติหวาน (เบญจมาศ ศิลาย้อย, 2545) แสดงดังภาพที่ 2-1



(ก) (ข)

ภาพที่ 2-1 ลักษณะของต้นกล้วยไข่ (ก) และผลกล้วยไข่สุก (ข) ตามลำดับ
(กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551)

คุณค่าทางโภชนาการและสรรพคุณ

กล้วยเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางอาหารสูง จากรายงานการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลกล้วยไข่ที่รับประทานได้ จำนวน 100 กรัม มีปริมาณสารอาหารต่าง ๆ ดังนี้ พลังงาน 147.00 กิโลแคลอรี ความชื้นร้อยละ 62.80 ไขมัน 0.20 กรัม โปรตีน 1.50 กรัม คาร์โบไฮเดรต 34.80 กรัม เถ้า 0.70 กรัม ใยอาหาร 1.90 กรัม แคลเซียม 4.00 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 23.00 มิลลิกรัม เหล็ก 1.00 มิลลิกรัม เบต้าแคโรทีน 492.00 ไมโครกรัม และวิตามินซี 2.00 มิลลิกรัม (กองโภชนาการ, 2544) นอกจากนี้มีการศึกษาเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการของกล้วยชนิดต่าง ๆ ที่รับประทานกันเป็นประจำ คือ กล้วยไข่ กล้วยหอม และกล้วยน้ำว้า แสดงดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 คุณค่าทางโภชนาการของกล้วยไข่ กล้วยหอม และกล้วยน้ำว้าสุก ในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม

องค์ประกอบทางเคมี	กล้วยไข่	กล้วยหอม	กล้วยน้ำว้า
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	147.00	132.00	148.00
ความชื้น (ร้อยละ)	62.80	66.30	62.60
ไขมัน (กรัม)	0.20	0.20	0.20
โปรตีน (กรัม)	1.50	0.90	1.10
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	34.80	31.70	35.40
เถ้า (กรัม)	0.70	0.90	0.70
ใยอาหาร (กรัม)	1.90	1.90	2.30
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	4.00	26.00	7.00
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	23.00	46.00	43.00
เหล็ก (มิลลิกรัม)	1.00	0.80	0.80
เบต้าแคโรทีน (ไมโครกรัม)	492.00	99.00	54.00
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	2.00	27.00	11.00

ที่มา: กองโภชนาการ (2544)

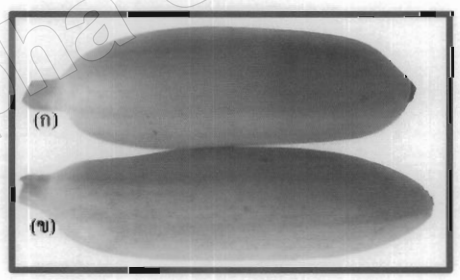
จากตารางที่ 2-1 จะเห็นได้ว่า กล้วยไข่เป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยให้พลังงานสูงและมีไขมันน้อยมาก จึงเหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการลดความอ้วน และเป็นอาหารที่แนะนำสำหรับผู้สูงอายุ เนื่องจากเป็นอาหารที่ย่อยง่าย ช่วยเพิ่มกากอาหารในลำไส้แก้อาการท้องผูกได้ดี

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

กล้วยไข่มีโพแทสเซียมสูง จึงช่วยลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคความดันโลหิตสูง ที่สำคัญกล้วยไข่มีปริมาณเบต้าแคโรทีนสูงมาก จึงช่วยในการต้านอนุมูลอิสระป้องกันและลดโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง นอกจากนี้กล้วยไข่สามารถรักษาโรคซึมเศร้าได้ เพราะมีกรดอะมิโนทริพโตเฟน (Tryptophan) ทำหน้าที่เป็นสารตั้งต้นของสารเซโรโทนิน (Serotonin) ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่ช่วยผ่อนคลายอารมณ์ให้ดีขึ้นได้ เป็นต้น นอกจากนี้มีนักวิจัยได้ศึกษาวิจัยฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของกล้วยไข่ พบว่า นอกจากสารต้านอนุมูลอิสระที่พบทั่วไปในผลไม้ ยังพบสารโดปามีนที่สามารถช่วยลดปริมาณไขมันไม่ดีในรูปของ Low Density Lipoprotein และ Very Low Density Lipoprotein และช่วยเพิ่มปริมาณไขมันดีในรูปของ High Density Lipoprotein ในเลือดได้ ทำให้ลดความเสี่ยงในการเกิดโรคต่าง ๆ เช่น โรคหัวใจ และเป็นผลไม้ที่มีดัชนีน้ำตาลต่ำ จึงเหมาะกับผู้เป็นโรคเบาหวาน (จิรภัทร ศรัทธาธรรมกุล, 2555)

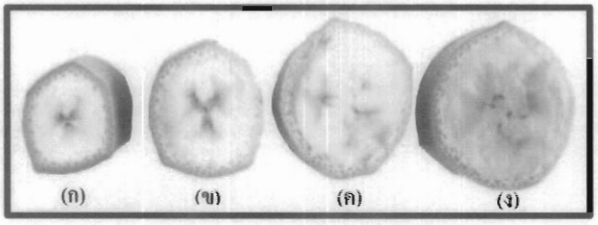
ดัชนีการเก็บเกี่ยว (เบญจมาส รัตนชินกร, 2549)

การเก็บเกี่ยวผลกล้วยขึ้นอยู่กับตลาดที่นำกล้วยไปจำหน่าย คือ ถ้าเป็นตลาดภายในประเทศการเก็บเกี่ยวจะเก็บเมื่อผลแก่เต็มที่ คือ ผลนั้นแทบจะมองไม่เห็นเหลี่ยม แต่ถ้าเป็นตลาดต่างประเทศจะรอให้ผลเจริญเติบโตจนเหลี่ยมลบไม่ได้ เพราะกล้วยอาจสุกในระหว่างการขนส่ง ดังนั้นกล้วยไข่เพื่อการส่งออกเก็บเกี่ยวเมื่อผลแก่ร้อยละ 75-80 คือ ผลยังมีเหลี่ยมเห็นได้ชัดเจน แสดงดังภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 ลักษณะของกล้วยไข่ที่แก่เกินร้อยละ 80 (ก) และผลของกล้วยไข่ที่แก่ประมาณร้อยละ 80 (ข) (เบญจมาส รัตนชินกร, 2549)

นอกจากใช้สายตาแล้ว วิธีตัดสินความแก่อ่อนของกล้วยไข่อีกวิธีหนึ่ง คือ การนับอายุตั้งแต่วันตัดปลี กล้วยไข่ที่เหมาะสมในการส่งออก คือ กล้วยที่มีอายุประมาณ 35-45 วัน และหลังตัดปลี 2-3 สัปดาห์ ซึ่งกล้วยยังมีเหลี่ยมและเนื้อในมีสีครีมอ่อน หากปล่อยไว้นานกว่านี้ผลกล้วยจะกลมและเนื้อเป็นสีเหลือง แสดงดังภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-3 สีของเนื้อกล้วยไข่ที่อายุได้ 25 วัน (ก) 35 วัน (ข) 45 วัน (ค) และเกิน 45 วัน (ง) หลังตัดปลี (เบญจมาส รัตนชินกร, 2549)

มาตรฐานคุณภาพของกล้วยไข่ (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2548)

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กำหนดมาตรฐานคุณภาพของกล้วยไข่สำหรับบริโภคสด ดังนี้ เป็นกล้วยครบทั้งผล มีความเนื้อแน่น มีลักษณะและคุณสมบัติตรงตามพันธุ์ ผลสด ไม่เน่าเสียซึ่งไม่เหมาะสมในการบริโภค สะอาด ปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้ ไม่มีรอยช้ำที่เด่นชัด ผลและขั้วผลมีรูปร่างปกติ ขั้วผลไม่เสียหายหรือมีเชื้อราและเหี่ยวแห้ง ไม่มีศัตรูพืชที่มีผลกระทบต่อรูปลักษณ์ทั่วไปของผลิตผล ไม่มีความเสียหายของผลิตผลเนื่องจากศัตรูพืช ยกเว้นความเสียหายนั้นไม่กระทบต่อคุณภาพการบริโภค ไม่มีเกสรแห้งติดอยู่ ไม่มีความเสียหายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำและหรือสูง ไม่มีความชื้นที่ผิดปกติจากภายนอกผล ทั้งนี้ไม่รวมหยดน้ำที่เกิดหลังจากนำออกจากห้องเย็นและจากการเก็บรักษาในสภาวะปรับบรรยากาศ ไม่มีกลิ่นและรสชาติแปลกปลอมหรืออย่างใดอย่างหนึ่ง

การเปลี่ยนแปลงของกล้วยไข่ระหว่างการสุก

กล้วยเป็นผลไม้ที่มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นหลังการเก็บเกี่ยว (Climacteric Fruit) จึงทำให้เกิดการคายน้ำในระหว่างการสุก (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2547) และเป็นผลไม้ที่มีอัตราการผลิตเอทิลีนอยู่ในระดับต่ำ จนกระทั่งเข้าสู่กระบวนการสุก การผลิตเอทิลีนจะเพิ่มสูงขึ้น โดยอัตราการสร้างเอทิลีนสูงสุดเกิดก่อนการหายใจสูงสุด โดยผลิตเอทิลีนมีความสัมพันธ์กับอัตราการหายใจ จึงทำให้การเปลี่ยนแปลงทางเคมีภายและนำไปสู่การเสื่อมสภาพได้เร็วขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวย่อมต้องอาศัยพลังงานจากการหายใจมาใช้จำนวนมาก (Khalafalla & Palzkill, 1990)

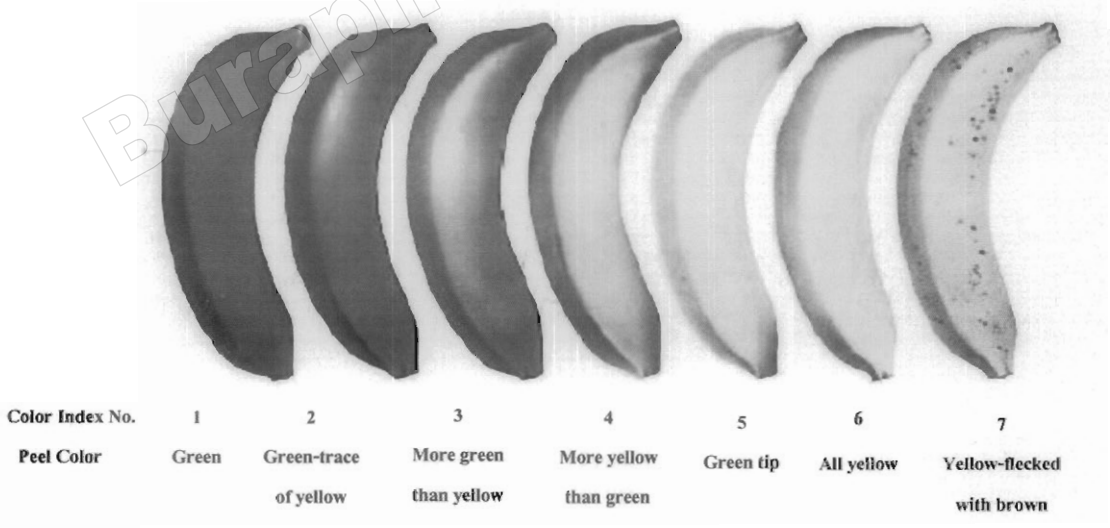
การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการสุกภายในผลกล้วย สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1) การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

1.1) การเปลี่ยนแปลงของสารสี

การเปลี่ยนแปลงของสารสีของเปลือกกล้วยจากสีเขียวเป็นสีเหลือง ซึ่งเกิดจากการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ จึงทำให้สีของคาโรทีนอยด์ที่มีอยู่แล้วปรากฏให้เห็นชัดขึ้น ชนิดของคาโรทีนอยด์ที่พบในกล้วย ได้แก่ แอลฟาแคโรทีน (α-Carotene) เบต้าแคโรทีน (β-carotene) และลูทีน (Lutein) ขั้นตอนการสุกของกล้วยทุกชนิดสามารถดูได้จากการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกตามเกณฑ์ดัชนีสีเปลือกกล้วย (Peel Color Index; PCI) แสดงดังภาพที่ 2-4 (เบญจมาศ ศิลาย้อย, 2545; Nelson, 2004)

ดัชนีสีเปลือกกล้วยระดับที่ 1 เปลือกเขียว ผลแข็ง ไม่มีการสุก
ดัชนีสีเปลือกกล้วยระดับที่ 2 เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองเล็กน้อย
ดัชนีสีเปลือกกล้วยระดับที่ 3 เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวเป็นเหลืองมากขึ้น แต่ยังมีสีเขียวมากกว่าสีเหลือง
ดัชนีสีเปลือกกล้วยระดับที่ 4 เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลือง และมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว
ดัชนีสีเปลือกกล้วยระดับที่ 5 เปลือกเป็นสีเหลือง แต่ปลายยังเป็นสีเขียว
ดัชนีสีเปลือกกล้วยระดับที่ 6 ทั้งผลมีสีเหลือง (ผลสุก)
ดัชนีสีเปลือกกล้วยระดับที่ 7 ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาล (สุกเต็มที่ มีกลิ่นหอม)



ภาพที่ 2-4 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกระหว่างการสุกของกล้วยตามดัชนีสีเปลือกกล้วย (Nelson, 2004)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2) การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี

ในระหว่างกระบวนการสุกกล้วยมีปริมาณแป้งลดลง โดยมีปริมาณน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น และยังมีการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆ ภายในผล ได้แก่

2.1) การเปลี่ยนแปลงคาร์โบไฮเดรต

กล้วยดิบมีแป้งเป็นส่วนประกอบประมาณร้อยละ 20-25 ของน้ำหนักสด แต่ในระหว่างการสุกแป้งจะถูกย่อยสลายอย่างรวดเร็วไปอยู่ในรูปน้ำตาล โดยเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ย่อยแป้ง ได้แก่ แอลฟ่าอะไมเลส (α-Amylase) เบต้าอะไมเลส (β-Amylase) แอลฟา-1,6-ไกลโคสิเดส (α-1,6-Glucosidase) (Coombe, 1976) และฟอสโฟรีเลส (Phosphorylase) น้ำตาลที่พบในกล้วยสุก ได้แก่ ซูโครส และฟรุคโตส สำหรับน้ำตาลที่พบในปริมาณมากที่สุด คือ น้ำตาลซูโครสประมาณร้อยละ 66 (Oscar, Harry, Beth, & Frenkel, 1981)

2.2) การเปลี่ยนแปลงกรดอินทรีย์และกรดอะมิโน

Marriott (1980) รายงานว่า ในระหว่างการสุกจะมีปริมาณกรดเพิ่มขึ้น ซึ่งกรดที่พบในกล้วย ได้แก่ กรดมาลิก กรดซิตริก และกรดออกซาลิก สำหรับเอนไซม์ในเมแทลิซึมของกรดอะมิโน ได้แก่ กลูตาเมต ออกซาโลอะซิเตต ทรานซามิเนส (Glutamate Oxaloacetate Transferase) และกลูตามเมต พรูเวท ทรานซามิเนส (Glutamate Pyruvate Decarboxylase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ในการสร้างแอสพาเตด (Aspartate) และอะลานิน (Alanine) พบสูงสุดในระยะการสุก สำหรับปริมาณโปรตีน พบว่า มีปริมาณค่อนข้างคงที่ในระหว่างการสุก (Oscar et al., 1981)

2.3) การเปลี่ยนแปลงสารประกอบฟีนอล

สารประกอบฟีนอลพบมากบริเวณเปลือกกล้วย คือ ไดไฮดรอกซีฟีนิลานีน (Dihydroxyphenylanine) โดยสารประกอบเหล่านี้ถูกออกซิไดซ์โดยโพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenoloxidase) ได้สารควินิน (Quinine) ซึ่งทำให้ผลไม้เกิดจุดสีน้ำตาล (Palmer, 1971)

2.4) การเปลี่ยนแปลงสารระเหย

โดยปกติเมื่อผลไม้สุกจะมีทั้งปริมาณและสารระเหยมากขึ้น ในกล้วยสุกหลาย ๆ พันธุ์ จะได้กลิ่นสารระเหยหอมออกมาซึ่งสารนั้น ได้แก่ อีเทอร์ แอกอฮอล์ คีโตน อัลดีไฮด์และฟีนอล ซึ่งจะพบเอสเทอร์ประมาณร้อยละ 70 ของสารระเหยทั้งหมด (Macku & Jennigs, 1987)

2.5) การเปลี่ยนแปลงไขมัน

Goldstein and Wick (1969) พบว่า ในระหว่างการสุกส่วนเนื้อกล้วยและเปลือกกล้วยมีปริมาณไขมันค่อนข้างคงที่ คือ ร้อยละ 1 และ 6.5 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ กรดปาลมิติก กรดโอเลอิก กรดลิโนเลอิก และกรดลิโนเลนิก

Burapha University

2.2 สถานการณ์การปลูกกล้วยไข่ในประเทศไทย

กล้วยไข่จัดเป็นพืชที่มีศักยภาพในการส่งออกอีกชนิดหนึ่ง มีปริมาณและมูลค่าการส่งออกเพิ่มขึ้นทุกปี โดยเฉพาะประเทศจีนและฮ่องกง (ธนากร เที่ยงน้อย, 2553) จากข้อมูลกระทรวงพาณิชย์ในปี 2554 รายงานว่า ประเทศไทยส่งออกกล้วยไข่ไปยังประเทศจีนและฮ่องกง 11,392.076 ตัน มูลค่า 835,435,671 บาท ซึ่งปรับตัวเพิ่มสูงขึ้นจากปี 2553 ที่มีการส่งออก 7,854.686 ตัน มูลค่า 60,998,197 บาท (กระทรวงพาณิชย์, 2554) สำหรับพื้นที่การปลูกกล้วยไข่ยังไม่ทราบแน่ชัด เพราะกล้วยไข่มีปลูกทั้งเป็นพืชเชิงเดี่ยวและปลูกแซมในสวนผลไม้ การปลูกกล้วยไข่ของประเทศไทยมีการปลูกมากที่จังหวัดกำแพงเพชร สุโขทัย ตาก นครสวรรค์ จันทบุรี ระยอง ราชบุรี กาญจนบุรี ประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรี และชุมพร จังหวัดที่ปลูกมากที่สุดในอดีต คือ กำแพงเพชร ซึ่งนิยมปลูกกันมากจนเป็นการค้าในจังหวัดกำแพงเพชร จนกระทั่งกล้วยไข่เป็นเหมือนสัญลักษณ์ของจังหวัด สำหรับพันธุ์กล้วยไข่ที่นิยมปลูกในประเทศไทย คือ พันธุ์กำแพงเพชร และพันธุ์เกษตรศาสตร์ เนื่องจากมีความแตกต่างจากพันธุ์ทั่วไป คือ ผลใหญ่ เปลือกหนา รสชาติหอมหวาน ไม่ช้ำง่าย และในแต่ละเครือจะมีจำนวนหวีมาก (สำนักงานเกษตรอำเภอมะขาม, 2553)

ปัจจุบันพื้นที่การปลูกมีการเปลี่ยนแปลงไปมาก แหล่งปลูกกล้วยไข่เชิงเดี่ยว เช่น จังหวัดกำแพงเพชร นครสวรรค์ ลดพื้นที่ปลูกลงเพราะปัญหาลมพายุทำให้ผลผลิตเสียหาย ขณะเดียวกันก็มีพืชอื่นที่มีราคาดี เช่น อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด จึงได้มีการนำมาปลูกแทน ทำให้พื้นที่ปลูกกล้วยไข่ลดลง ปัจจุบันมีการปลูกกล้วยไข่เพิ่มมากขึ้นที่ภาคตะวันออก โดยเฉพาะที่จังหวัดจันทบุรี เนื่องจากไม้ผลหลัก เช่น ทุเรียน มังคุด และเงาะ สามารถเก็บผลผลิตขายได้ปีละ 1 ครั้ง ชาวสวนจึงหันมาสนใจปลูกกล้วยไข่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเป็นพืชระยะสั้นสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้เร็ว โดยนิยมปลูกกล้วยไข่แซมทุเรียน มังคุด ทำให้ได้ร่มเงาของต้นทุเรียน ซึ่งสามารถป้องกันลมพัดใบกล้วยไข่แตก กล้วยไข่จึงเจริญได้ดี (กรกัญญา อักษรเนียม, 2552; อทิพัฒน์ บุญเพิ่มราศรี, 2554)

ปัจจุบันจังหวัดจันทบุรีมีหน่วยงานราชการ เช่น สำนักงานเกษตรจังหวัดจันทบุรีให้ความสำคัญและส่งเสริมให้ปลูกกล้วยไข่แซมพืชผลไม้หลัก เช่น ทุเรียน มังคุด เงาะ อย่างต่อเนื่อง นับตั้งแต่ปี 2532 เป็นต้นมา จากการรวบรวมข้อมูลในด้านสถิติของกล้วยไข่จากทางสำนักงานเกษตรจังหวัดจันทบุรีในปี 2555 พบว่า มีพื้นที่การปลูก 21,190 ไร่ พื้นที่เก็บเกี่ยว 17,668 ไร่ ปริมาณผลผลิตเฉลี่ย 1,681 กิโลกรัมต่อไร่ ปริมาณผลผลิตรวม 28,700 ตัน จำนวนเกษตรที่ปลูก 5,376 ราย (ศริญญา ผ่องถาร, สัมภาษณ์, 30 พฤษภาคม 2555) พันธุ์ที่ปลูก คือ พันธุ์กำแพงเพชร และพันธุ์เกษตรศาสตร์ (สมชาย ผ่องสวัสดิ์, สัมภาษณ์, 24 พฤษภาคม 2555) แหล่งที่มีการปลูกกล้วยไข่มากที่สุดอยู่ในเขตอำเภอท่าใหม่ อำเภอมะขาม ตามลำดับ สำหรับ อำเภอท่าใหม่ มีล้งรับซื้อกล้วยไข่

เพื่อการส่งออกเป็นจำนวนมาก (สำนักงานเกษตรอำเภอมะขาม, 2553) ราคาของกล้วยไข่ส่งออกจะปรับสูงตามความต้องการของตลาด โดยราคากล้วยไข่สูงสุดอยู่ที่ 65 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นช่วงที่ตลาดจีนต้องการมากที่สุด ส่วนราคาต่ำสุดนั้นยังไม่เคยต่ำกว่า 30 บาทต่อกิโลกรัม (อทิพัฒน์ บุญเพิ่มราศรี, 2554) สำหรับการคัดเกรดกล้วยไข่ที่อำเภอท่าใหม่นั้น แบ่งออกเป็น 2 เกรด คือ สินค้าลงกล่อง และสินค้าตกเกรด ซึ่งเป็นกล้วยไข่ที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานสำหรับการจำหน่ายผลสดไปต่างประเทศ โดยเป็นกล้วยไข่ที่ยังดิบ มีลักษณะลูกเล็ก ผิวลายตกกระ มีตำหนิ ซึ่งจะนำมาขายภายในประเทศ บ้างก็มีการมารับซื้อเพื่อแปรรูป ประมาณกิโลกรัมละ 4 บาท โดยปริมาณสินค้าตกเกรดทั่วไปมีประมาณร้อยละ 30 ของปริมาณผลผลิตทั้งหมด เฉลี่ยแล้วคิดเป็น 50-100 กิโลกรัมต่อ 1 ตัน (ศริญญา ผ่องการ, สัมภาษณ์, 30 พฤษภาคม 2555)

2.3 สารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย

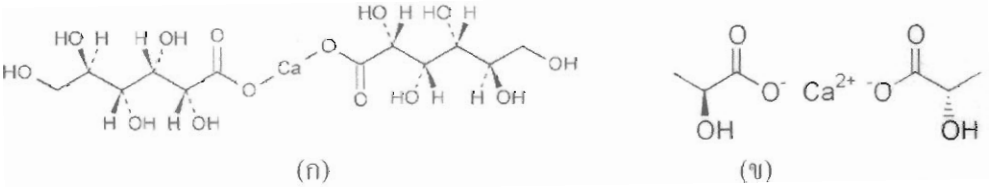
สารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย (Physiologically Active Compounds; PAC) หรือ Functional Ingredients เป็นสารประกอบในอาหารที่มีอยู่ตามธรรมชาติหรืออาจแต่งเติมสารอาหารนั้นให้มีมากขึ้น ทำหน้าที่ในการป้องกัน บำบัด ลดอาการการเกิดโรค เช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจ โรคเบาหวาน เป็นต้น หรือปรับปรุงภูมิคุ้มกันของร่างกาย สาร PAC พบได้ตามธรรมชาติทั้งในพืชและสัตว์ ซึ่งความเข้มข้นของสารออกฤทธิ์ (Active Compounds) ขึ้นอยู่กับ ชนิด พันธุ์ นอกจากนี้สภาวะแวดล้อม เช่น การเก็บรักษา แสง กระบวนการแปรรูปมีผลต่อคุณภาพของสารออกฤทธิ์ รวมถึงคุณภาพทางเคมี กิจกรรมทางชีวภาพ (Bioactivity) ชีวปริมาณออกฤทธิ์ (Bioavailability) ของสาร PAC ต่าง ๆ ในอาหาร (Hering & Albrechtt, 2005; Thomas & Earl, 1994) Fito et al. (2001) กล่าวว่า PAC สามารถพบได้ในอาหารตามธรรมชาติ และทางเลือกที่ดีทางหนึ่งในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร คือ การเติม PAC ลงไปในอาหาร เช่น ผักผลไม้ ให้เป็นอาหารสุขภาพได้ ตัวอย่างสาร PAC ได้แก่ โพรไบโอติก พรีไบโอติก วิตามิน แร่ธาตุ และเส้นใยที่ละลายน้ำได้ ตัวอย่างสาร PAC ที่สำคัญที่มีบทบาทสำคัญในอาหารสุขภาพ ดังนี้

1. แร่ธาตุ (mineral)

แร่ธาตุเป็นสารอาหารประเภทหนึ่งที่ร่างกายต้องการและขาดไม่ได้ แร่ธาตุบางชนิดเป็นส่วนประกอบของอวัยวะและกล้ามเนื้อ บางชนิดเป็นส่วนประกอบของสารต่าง ๆ เช่น ฮอร์โมน เฮโมโกลบิน เอนไซม์ เป็นต้น ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตในร่างกาย นอกจากนี้แร่ธาตุยังช่วยในการควบคุมการทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกายให้ทำหน้าที่ปกติ (สำนักงานพัฒนาระบบข้อมูลข่าวสารสุขภาพ, 2554) จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่า แร่ธาตุมีความสำคัญต่อร่างกาย แม้ว่าจะต้องการในปริมาณน้อย หากขาดแร่ธาตุหรือได้รับแร่ธาตุไม่เพียงพอจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ

ร่างกายอย่างช้า ๆ จนถึงระดับวิกฤตจึงจะปรากฏอาการ (วันทนีย์ เกรียงสินยศ, 2549) ส่วนมากในประเทศที่พัฒนาแล้วมักจะไม่ค่อยพบการขาดแร่ธาตุ ยกเว้นคนบางกลุ่มที่มีโรคประจำตัว เช่น โรคความผิดปกติของเมตาบอลิซึม โรคตับเรื้อรัง เป็นต้น ส่วนในประเทศที่กำลังพัฒนาหรือด้อยพัฒนา พบว่า มีคนเป็นโรคขาดโปรตีนและพลังงาน ขาดวิตามินและแร่ธาตุต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก (ประสงค์ เทียนบุญ, 2549) โดยแร่ธาตุที่สำคัญที่มักมีการเติมลงไปในผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่

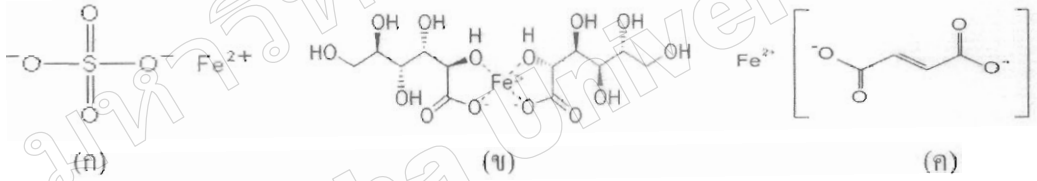
แคลเซียม จัดเป็นแร่ธาตุประเภท Macro Elements คือ ร่ายการต้องการในปริมาณมากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อวัน และเป็นแร่ธาตุที่พบมากที่สุดในร่างกาย ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของกระดูก และกล้ามเนื้อ ทำหน้าที่ในการเมตาบอลิซึมของร่างกาย ช่วยในการหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อ เป็นต้น แคลเซียมพบมากในนม ผักใบเขียว หอย และปลาตัวเล็ก (สำนักงานพัฒนาระบบข้อมูลข่าวสารสุขภาพ, 2554) อย่างไรก็ตามในร่างกายเกิดการสูญเสียแคลเซียมทางอุจจาระ ปัสสาวะและทางเหงื่อ อาจทำให้ร่างกายมีปริมาณแคลเซียมไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย (สุมนทิพย์ คงตัน, 2549) มีรายงานว่า แคลเซียมมีความเชื่อมโยงกับสุขภาพของกระดูกในเกือบทุกกลุ่มอายุ การได้รับแคลเซียมจากอาหารในปริมาณที่พอเพียงในวัยเด็กและวัยรุ่น ช่วยให้มีความหนาแน่นของกระดูกที่ดีขึ้น นอกจากนี้พบว่า ร้อยละ 50 ของผู้หญิงอายุ 45 ปีขึ้นไป เสี่ยงต่อการเกิดโรคกระดูกพรุน (ประสงค์ เทียนบุญ, 2549) และมีการรายงานแนะนำให้คนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป บริโภคแคลเซียม 800 มิลลิกรัมต่อวัน (FDA, 1999; FAO, 2001) และจากการรวบรวมข้อมูลพบว่า ปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์อาหารที่มีการเสริมแคลเซียมที่จำหน่ายในเชิงพาณิชย์ เช่น เครื่องดื่มเสริมแคลเซียม และนมจากแป้งข้าวเจ้าเสริมแคลเซียม เป็นต้น (พิภพ จิรภิญโญ, 2553; ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์, 2549) โดยแคลเซียมที่เติมลงไปในผลิตภัณฑ์อาหารมักอยู่ในรูปของแคลเซียมกลูโคเนตและแคลเซียมแลคเตทซึ่งมีสูตรโครงสร้าง แสดงดังภาพที่ 2-5



(ก) (ข)

ภาพที่ 2-5 ลักษณะโครงสร้างของ (ก) แคลเซียมกลูโคเนต และ (ข) แคลเซียมแลคเตท (Wikipedia, 2012)

เหล็ก จัดเป็นแร่ธาตุประเภท Micro Elements คือ ร่ายการต้องการในปริมาณน้อยกว่า 100 มิลลิกรัมต่อวัน แต่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากมีบทบาทสำคัญในปฏิกิริยาเคมีของร่างกาย และเป็นส่วนประกอบของฮีโมโกลบิน และเกี่ยวข้องกับการสร้างสารพันธุกรรม ดังนั้นเหล็กจึงมีความสำคัญที่ทำให้ร่างกายสามารถทำงานได้อย่างปกติ (อัชนีย์ อุทัยพัฒนาชีพ, 2527) จากการสำรวจข้อมูล พบว่า ประมาณร้อยละ 25 ของประชากรโลก มักขาดเหล็กที่ทำให้เสี่ยงต่อการเกิดโรคโลหิตจาง (Wolfgang & Harold, 2006) กลุ่มคนที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดภาวะโลหิตจาง ได้แก่ สตรีมีครรภ์ สตรีหลังคลอด สตรีมีประจำเดือน และเด็กในวัยเจริญเติบโต เหล็กพบมากในผักใบเขียว เครื่องในสัตว์ และอาหารทะเล (กมลมาลย์ วิรัตน์เศรษฐสิน, 2546; กองโภชนาการ, 2549) มีการรายงานแนะนำให้คนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป บริโภคอาหารที่มีเหล็ก 15 มิลลิกรัมต่อวัน (FDA, 1999) สำหรับปัจจุบันมีการเสริมเหล็กในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ เช่น ข้าวหอมมะลิ แป้งสาลี ที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ เป็นต้น (Hurrell, 2002) โดยมักอยู่ในรูปของเฟอรัสซัลเฟต เฟอรัสกลูโคเนตหรือไอรอนกลูโคเนต และเฟอรัสฟูมาเรต มีสูตรโครงสร้าง แสดงดังภาพที่ 2-6



ภาพที่ 2-6 ลักษณะโครงสร้างของ (ก) เฟอรัสซัลเฟต (ข) เฟอรัสกลูโคเนตหรือไอรอนกลูโคเนต และ (ค) เฟอรัสฟูมาเรต (Hurrell, 2002)

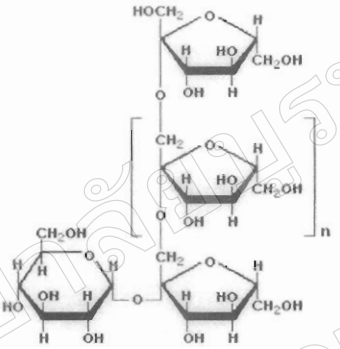
2. พรีไบโอติก (Prebiotic)

พรีไบโอติก คือ สารหรือองค์ประกอบที่ไม่ถูกย่อยในระบบทางเดินอาหารของสิ่งมีชีวิต และมีฤทธิ์กระตุ้นการเจริญของจุลินทรีย์หรือกิจกรรมของจุลินทรีย์โพรไบโอติก เช่น *Bifidobacteria* และ *Lactobacilli* พรีไบโอติกส์มีลักษณะสำคัญ คือ ไม่ถูกดูดซึมในกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก มีความจำเพาะกับแบคทีเรียที่เป็นประโยชน์ในลำไส้ และมีการกระตุ้นที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย (Gibson, 2004)

โอลิโกฟรุคโตส เป็นสารประกอบโพลีแซคคาไรด์ในกลุ่มของฟรุคแทน (Fructan) ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลฟรุคโตสเชื่อมต่อกัน 2-4 หน่วย มีโครงสร้างดังภาพที่ 2-7 พบมากใน ชิโครี แก่นตะวัน กระเทียม กล้วยหอม และข้าวบาร์เลย์ เป็นต้น (ฤดี สุราฤทธิ, 2549) เมื่อรับประทานโอลิโกฟรุคโตสซึ่งเป็นอาหารโพรไบโอติกของจุลินทรีย์ จึงช่วยส่งเสริมให้มีการเพิ่มจำนวนของ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

จุลินทรีย์สุขภาพ มีคุณสมบัติเป็นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ จึงทำให้มีปริมาณกากอาหารเพิ่มมากขึ้น ระบบขับถ่ายจึงดี ปัจจุบันนิยมนำโอลิโกแซคคาไรด์มาใช้เป็นสารเสริมในผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น น้ำผลไม้ กาแฟ นม และอาหารธัญพืช เป็นต้น เพื่อให้เป็นอาหารสุขภาพ เนื่องจากมีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ ซึ่งเหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนักและควบคุมระดับน้ำตาลในผู้ป่วยโรคเบาหวาน มีความหวานน้อยกว่าซูโครสร้อยละ 30-50 (Wada, Terada, Ohguchi, & Miwa, 2005)



ภาพที่ 2-7 ลักษณะโครงสร้างของโอลิโกฟรุคโตส (Gibson, 2004)

2.3 อาหารกึ่งแห้ง

อาหารโดยทั่วไปจะประกอบด้วยความชื้นประมาณร้อยละ 20-50 โดยน้ำหนัก และมีค่าวอเตอร์แอคติวิตี (Water Activity; a_w) หรือปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในช่วง 0.95-1.00 อาหารที่ลดค่า a_w ลงจนอยู่ในช่วง 0.65-0.85 และมีความชื้นประมาณร้อยละ 10-14 เรียกว่า อาหารกึ่งแห้ง (Intermediate Moisture Food; IMF) (ชมพู่ ยิ้มโต, 2550; ไพโรจน์ วิริยะจารี, 2539)

ปรียา วิบูลย์เศรษฐ์ (2528) และ Smith and Norvell (1975) กล่าวว่า ผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง คือ มีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.65-0.90 และมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 15-40 มีแนวโน้มพอเพียงต่อการถนอมอาหารและสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น

ชมพู่ ยิ้มโต (2550) กล่าวว่า อาหารกึ่งแห้ง หมายถึง อาหารที่สามารถบริโภคได้ โดยไม่ต้องนำไปคืนตัว มีความคงตัวโดยไม่ต้องนำไปเก็บที่อุณหภูมิต่ำ หรือฆ่าเชื้อด้วยความร้อน ซึ่งอาหารกึ่งแห้งยังคงมีปริมาณน้ำจำนวนหนึ่ง จึงทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารยังคงเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ไพโรจน์ วิริยะจารี (2539) กล่าวว่า อาหารกึ่งแห้ง หมายถึง อาหารที่มีปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ในระดับปานกลาง ซึ่งเป็นระดับที่แบคทีเรียส่วนใหญ่ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ แต่อาจจะมีปัญหาเรื่องของเชื้อราและยีสต์ที่อาจจะเจริญเติบโตได้ และเกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมี ส่วนใหญ่การผลิตผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้งมีวัตถุประสงค์ เพื่อต้องการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้ยาวนานมากที่สุดเท่าที่สามารถจะทำได้ โดยเน้นในด้านความคงทนต่อจุลินทรีย์ คงทนต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านสีและการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ ซึ่งสามารถจัดกลุ่มอาหารตามค่า a_w ได้ดังนี้

- อาหารที่มีความชื้นสูง (High Moisture Food; HMF) เป็นอาหารที่มีความชื้นมากกว่าร้อยละ 50 หรือ มี a_w มากกว่าหรือเท่ากับ 0.95 เช่น อาหารสดทุกชนิด

- อาหารที่มีความชื้นปานกลาง (Intermediate Moisture Food; IMF) เป็นอาหารที่มีความชื้นร้อยละ 15-50 หรือมีค่า a_w ระหว่าง 0.65-0.85 เช่น ปลาหมึกแห้งมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 28

- อาหารที่มีความชื้นต่ำ (Low Moisture Foods; LMF) เป็นอาหารที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 10-40 หรือมีค่า a_w ระหว่าง 0.60-0.09 ซึ่งเป็นช่วงที่จุลินทรีย์ใช้น้ำในการทำปฏิกิริยาทางเคมีและใช้ในการเจริญเติบโตได้เพียงเล็กน้อย

โดยทั่วไปแบคทีเรียจะถูกยับยั้ง ถ้าอาหารมีค่า a_w ต่ำกว่า 0.90 แต่ถ้า $a_w < 0.80$ จะมีจุลินทรีย์พวก Xerophilic Moulds Halophilic Bacterias และ Osmophilic Yeasts เจริญได้

2.4 การดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส

หลักการ

การดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส (Osmotic Dehydration) หมายถึง การกำจัดน้ำออกด้วยการแช่ผลไม้ในน้ำเชื่อมหรือน้ำเกลือที่มีความเข้มข้นสูงซึ่งมีค่า a_w ต่ำ จะทำให้เกิดกระบวนการออสโมซิสในอาหาร การถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นในกระบวนการออสโมซิสจะมีลักษณะสวนทางกัน กล่าวคือ น้ำตาลหรือเกลือจะแพร่เข้าไปในอาหาร ทำให้ปริมาณน้ำหรือความชื้นในชิ้นอาหารลดลงร้อยละ 50 ของปริมาณน้ำหรือความชื้นเริ่มต้น ซึ่งการออสโมซิสมีประโยชน์ในด้านช่วยรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตอาหารเพื่อทำให้กระบวนการผลิตสมบูรณ์ยิ่งขึ้น นอกจากนี้อาจกล่าวได้ว่า การดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสเป็นการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของน้ำจากสารละลายเจือจางไปยังสารละลายที่เข้มข้นกว่า (Torreggiani, 1993) ดังนั้นในการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสจึงอาศัยหลักความแตกต่างของอัตราเร็วในการแพร่ระหว่างน้ำตาลกับน้ำ เพื่อใช้ในการควบคุมปริมาณของน้ำที่ต้องการจะดึงออกและปริมาณของของแข็งที่เพิ่มขึ้น การแลกเปลี่ยนมวลสารที่เกิดขึ้นจะดำเนินไปจนกระทั่งสารละลายมีค่า a_w เข้าสู่

สภาวะสมดุล ส่วนมากนิยมประยุกต์ใช้กับการทำแห้งโดยใช้ความร้อนด้วยเครื่องทำแห้งแบบต่าง ๆ จนได้ความชื้นที่ต้องการ (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2532)

การถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิส

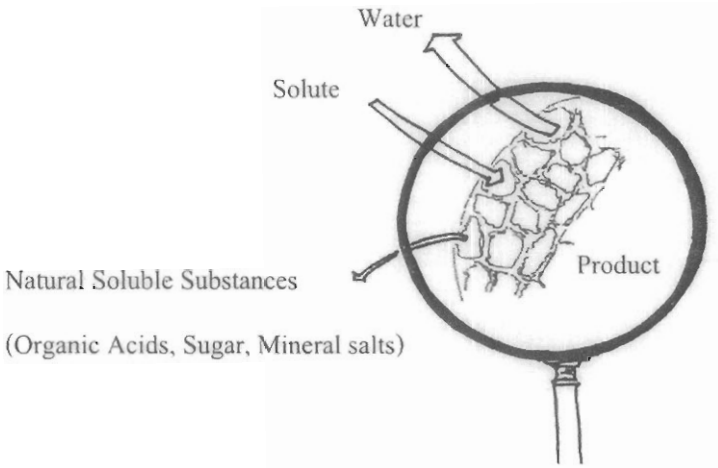
การออสโมซิสเป็นการถ่ายเทมวลสารแบบสวนทางกัน (Counter-Current Mass Transfer) (Pointing, 1973) โดยน้ำที่อยู่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นมากจะแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ ที่เรียกว่าเยื่อเลือกผ่าน (Semi-Permeable Membrane) จึงทำให้เกิดแรงขับเคลื่อนน้ำให้ออกจากชิ้นอาหาร เนื่องจากแรงดันออสโมติก จนเข้าสู่สมดุลของสารละลายทั้งสอง นอกจากนี้สารบางอย่างที่มีอยู่ภายในเซลล์โดยธรรมชาติ เช่น น้ำตาล กรดอินทรีย์และเกลือแร่ เป็นต้น จะแพร่ออกนอกเซลล์ด้วย (Torreeggiani, 1993) การถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นนี้อธิบายได้ ดังนี้ (อ่อนรวี รัตนาพันธ์, 2533)

1) น้ำภายในเซลล์ของผักและผลไม้ จะแพร่กระจายออกจากเซลล์สู่สารละลายภายนอก

2) ขณะเดียวกันตัวถูกละลายที่อยู่ภายนอก เช่น น้ำตาลหรือเกลือจะแพร่เข้าสู่ภายในเซลล์ของผักผลไม้

3) สารบางอย่างที่มีอยู่ภายในเซลล์ตามธรรมชาติ (Natural Soluble Substance) เช่น กรดอินทรีย์ น้ำตาล และเกลือแร่ เป็นต้น จะแพร่กระจายออกนอกเซลล์สู่สารละลายภายนอก

เซลล์ของผักและผลไม้ที่ทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน จะยอมให้น้ำแพร่ผ่านมากกว่าตัวถูกละลาย เนื่องจากตัวถูกละลายมีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าโมเลกุลของน้ำ น้ำจึงแพร่ออกจากเซลล์ผักผลไม้ได้มากกว่าการแพร่ของตัวถูกละลายภายนอกเข้าไปในเนื้อผักผลไม้ การถ่ายเทมวลสารระหว่างน้ำและตัวถูกละลายนี้จะดำเนินไปจนกระทั่งถึงจุดสมดุลของมวลสารระหว่างน้ำและตัวถูกละลายในชิ้นผักผลไม้ อัตราการถ่ายเทมวลน้ำและตัวถูกละลายจะมีค่าคงที่ มีผลทำให้ปริมาณน้ำและตัวถูกละลายในชิ้นผักผลไม้และสารละลายภายนอกมีค่าคงที่ด้วย แสดงดังภาพที่ 2-8



ภาพที่ 2-8 การถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส (Torreggiani, 1993)

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส

1) วิธีการเตรียมขั้นต้น

การเตรียมวัตถุดิบก่อนการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การลวก การใช้สภาวะสุญญากาศ การใช้สนามไฟฟ้าแรงสูงแบบจังหวะ การใช้คลื่นอัลตราโซนิก เป็นต้น ส่งผลให้เนื้อเยื่อของผักผลไม้เปลี่ยนแปลงไปจากธรรมชาติและมีผลทำให้อัตราการถ่ายเทมวลสารและการทำแห้งเร็วขึ้น เนื่องจากการเตรียมขั้นต้นทำให้เยื่อหุ้มเซลล์อ่อนตัวลง ทำให้อัตราการถ่ายเทมวลสารของน้ำในชิ้นอาหารและตัวถูกละลายในสารละลายภายนอกสูงขึ้น (ศิริลักษณ์ สินธวาลัย, 2522)

2) ชนิดของสารละลายออสโมติก

ส่วนใหญ่นิยมสารละลายซูโครส โซเดียมคลอไรด์ เป็นต้น การเลือกใช้สารละลายออสโมติกควรพิจารณาดังนี้ คือ ต้องไม่ทำให้คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป และสารละลายออสโมติกที่ควรใช้ควรมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เพราะถ้ามีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะมีแรงดันออสโมติกสูง นอกจากนี้การเลือกใช้สารละลายออสโมติกควรคำนึงค่าคุณภาพของสารละลายออสโมติก ได้แก่ อัตราการกำจัดน้ำและปริมาณน้ำสุดท้ายที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ (ศิริลักษณ์ สินธวาลัย, 2522)

3) ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก

ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกมีส่วนสำคัญที่ช่วยในการดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ ถ้าสารละลายออสโมติกความเข้มข้นมาก มีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารสูง ซึ่งมีผลให้อัตราการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสสูงขึ้น (วันวิสาข์ กระแสร์คุปต์, 2535)

4) อุณหภูมิในการแช่วัตถุดิบ

เมื่ออุณหภูมิที่ใช้สูงขึ้นจะทำให้โครงสร้างบางส่วนของอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพ จึงทำให้เกิดการแพร่ผ่านของน้ำและตัวถูกละลายไปได้ง่าย และทำให้ความหนืดของน้ำเชื่อมลดลง ทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำและน้ำตาลสะดวกขึ้น (วันวิสาข์ กระแสร์คุปต์, 2535)

5) การคนหรือการกวนสารละลายออสโมติก

ในขณะที่เกิดกระบวนการออสโมซิส ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก บริเวณรอบ ๆ ชิ้นอาหารจะลดลง เนื่องจากน้ำภายในชิ้นอาหารซึมผ่านออกมา ทำให้ประสิทธิภาพการออสโมซิสต่ำลงไปด้วย ดังนั้นการคนหรือการกวนจะช่วยทำให้เกิดการกระจายความเข้มข้น ทำให้อัตราการดึงน้ำออกสูงขึ้นด้วย (Ponting, 1973)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

6) รูปร่างและขนาดของชิ้นอาหาร

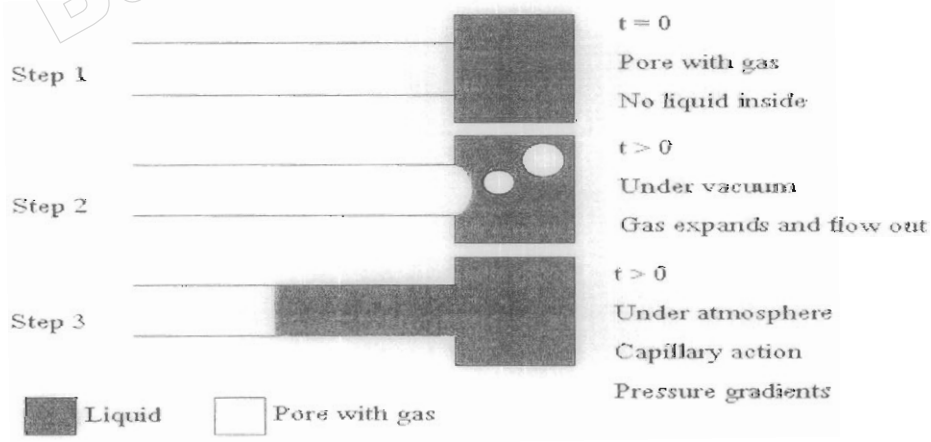
รูปร่างและขนาดมีผลต่ออัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตร ถ้าอัตราส่วนนี้สูง น้ำจะซึมออกได้เร็วขึ้น เนื่องจากตัวถูกละลายสามารถสัมผัสกับพื้นที่ผิวของอาหารได้มากขึ้น หรือถ้ารูปร่างกลม น้ำจะซึมออกได้น้อย เนื่องจากพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมีค่าน้อย (Ponting, 1973)

7) ชนิด พันธุ์ และความสุก

ผลไม้บางชนิดสามารถเกิดการออสโมซิสได้เร็วหรือช้า ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างของผนังเซลล์ นอกจากนี้ผลไม้ที่สุกจะดึงน้ำออกได้เร็วกว่าผลไม้ดิบ แต่ถ้าสุกเกินไปผลไม้จะเละและไม่น่ารับประทาน (Ponting, 1973)

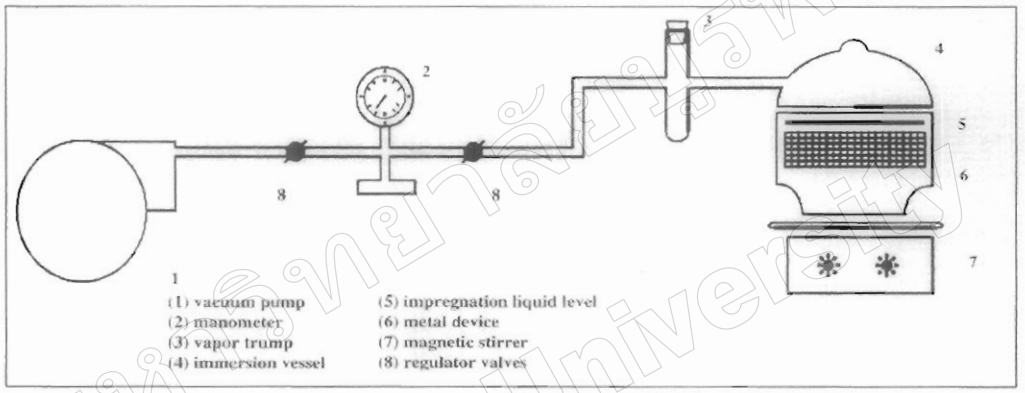
2.5 การเสริมสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายโดยการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ

การแช่ในสภาวะสุญญากาศ (Vacuum Impregnation; VI) เป็นการแช่ชิ้นอาหารหรือชิ้นผักผลไม้ในสารละลายในสภาวะสุญญากาศ ทำให้เกิดการแพร่ของสารละลายเข้าไปในเนื้อเยื่อของผักผลไม้ (Fito et al., 2001) โดยเทคนิค VI จะทำให้ก๊าซและของเหลวตามธรรมชาติในช่องว่างระหว่างเซลล์ของเนื้อเยื่อของผักและผลไม้ถูกขับออกมาในระหว่างการดูดอากาศ และหลังจากนั้นแช่ต่อที่สภาวะบรรยากาศ สารละลายภายนอกจะซึมผ่านเข้าไปแทนที่อากาศที่ถูกขับออกจากช่องระหว่างเซลล์นั้น ด้วยแรงคาพิลลารี (Capillary Action) และการเปลี่ยนแปลงความดันบรรยากาศ (Pressure Gradients) ซึ่งเรียกกลไกนี้ว่า Hydrodynamic Mechanism (HDM) (Betoret et al., 2003) ดังภาพที่ 2-9



ภาพที่ 2-9 การเคลื่อนที่ของสารละลายในช่องว่างระหว่างเซลล์โดยกลไก Hydrodynamic Mechanism (Fito, Andres, Pastor, & Chiralt, 1996)

จากภาพที่ 2-9 ในขั้นตอนที่ 1 เมื่อเริ่มแช่ชิ้นผักผลไม้ (t=0) ที่สภาวะบรรยากาศ สารละลายภายนอกยังไม่มีการเคลื่อนที่เข้ามาภายในช่องว่างระหว่างเซลล์ ขั้นตอนที่ 2 เมื่อแช่ผักผลไม้ที่สภาวะสุญญากาศ (t>0) ก๊าซที่อยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์จะถูกดูดออกมาพร้อมกับการดูดอากาศและขั้นตอนที่ 3 เมื่อหยุดการใช้สภาวะสุญญากาศและแช่ชิ้นผลไม้ต่อที่สภาวะบรรยากาศเป็นระยะเวลาหนึ่ง (t>0) สารละลายแพร่ผ่านเข้ามาในช่องว่างระหว่างเซลล์ โดยเข้ามาแทนที่ก๊าซที่ถูกดูดออกไปด้วยแรงคาพิลลารีและการเปลี่ยนแปลงความดันบรรยากาศ (Betoret et al., 2003) โมเดลของอุปกรณ์ที่ใช้ในการแช่สภาวะสุญญากาศ แสดงดังภาพที่ 2-10



ภาพที่ 2-10 โมเดลของอุปกรณ์ที่ใช้ในการแช่ในสภาวะสุญญากาศ (Fito et al., 1994)

จากภาพที่ 2-10 อธิบายได้ว่า เมื่อเปิดปั๊มสุญญากาศ ปั๊มจะดูดอากาศออกจากภาชนะซึ่งอยู่ในระบบปิด เป็นผลให้อากาศในช่องว่างเซลล์ของผักหรือผลไม้จะถูกขับออกมาด้วย และเมื่อปิดปั๊มหรือแช่ต่อที่สภาวะความดันบรรยากาศ สารละลายจะแพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อของผักผลไม้ได้มาก ซึ่งสามารถการเกิดกระบวนการออสโมซิสได้อย่างรวดเร็ว (Fito et al., 1994)

ปัจจุบันนิยมนำเทคนิค VI มาใช้ในการเตรียมขั้นต้นก่อนการออสโมซิสร่วมกับการแปรรูปผักผลไม้ เช่น การทำแห้ง การแช่แข็ง เป็นต้น (Chiralt et al., 1999) สำหรับเทคนิค VI มีลักษณะเด่น คือ สามารถปรับปรุงและรักษาคุณภาพทางโภชนาการ คุณภาพด้านสีและกลิ่นรส ของผักผลไม้ได้ โดยมีกระบวนการไม่ซับซ้อน ใช้เครื่องมือที่ราคาไม่แพง และสามารถกำจัดน้ำบางส่วนออกจากชิ้นอาหาร โดยการทำให้โครงสร้างของอาหารมีความเป็นรูพรุนมากขึ้น โดยไม่ใช้ความร้อนที่จะทำลายเนื้อเยื่อของผักผลไม้ (Escriche, Chiralt, Noreno, & Serra, 2000) และช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลของชิ้นผลไม้จากเอนไซม์ โดยไม่ใช่สารแอนตีออกซิแดนท์ (Antioxidant) ในการกำจัดออกซิเจนจากรูพรุนผลไม้ (Alzamora et al., 2005; Fito et al., 1994)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

จากการตรวจเอกสารพบว่า มีการนำหลักการของการแช่ในสภาวะสุญญากาศ (Vacuum Impregnation; VI) มาประยุกต์ใช้ร่วมกับหลักการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส (Osmotic Dehydration; OD) เรียกเทคนิคนี้ว่า การดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ (Vacuum Osmotic Dehydration; VOD) เป็นการแช่ผักผลไม้ในสารละลายในสภาวะสุญญากาศเป็นเวลาสั้น ๆ ก่อนการออสโมซิส เพื่อทำให้เนื้อเยื่อของผักผลไม้มีความเป็นรูพรุนมากขึ้น ทำให้สารละลายแพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อของผักผลไม้ได้ดี จึงสามารถเกิดกระบวนการออสโมซิสได้อย่างรวดเร็ว โดยความรุนแรงของการใช้สภาวะสุญญากาศขึ้นอยู่กับระดับความดันและเวลาที่ใช้ในการทำให้เป็นสุญญากาศ ควรกำหนดความรุนแรงที่ใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของผักผลไม้ หากใช้สภาวะที่รุนแรงมากเกินไป ทำให้เกิดการสูญเสียโครงสร้างมาก (Fito et al., 2001; Occhino, Hernando, Llorca, Neri, & Pittia, 2011) หรือหากใช้สภาวะที่รุนแรงน้อยเกินไปที่ทำให้เกิดรูพรุนหรือช่องว่างที่เยื่อหุ้มเซลล์น้อย ซึ่งอาจไม่ช่วยกระตุ้นให้เกิดการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสเพิ่มขึ้น (Betoret et al., 2003) จากการรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับใช้สภาวะสุญญากาศในการเตรียมขั้นต้นก่อนการออสโมซิสในผักผลไม้ พบว่า มีการใช้สภาวะสุญญากาศโดยกำหนดความดันและเวลาในการให้สุญญากาศระดับต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 การใช้สภาวะสุญญากาศในการเตรียมขั้นต้นก่อนการออสโมซิสในผักผลไม้

วัตถุดิบ	สภาวะสุญญากาศ		เอกสารอ้างอิง
	ความดัน (มิลลิบาร์)	เวลา (นาที)	
สตรอเบอร์รี่	50 และ 100	10 และ 15	ทิพย์สุดา อาสาสรรพกิจ, นิพรพรรณ์ มุทุมล และสุทัศน์ สุระวัง (2550)
ฝรั่ง	100	10 และ 15	Correa, Pereira, Vieira, and Hubinger (2010)
องุ่น	50	10	Moraga, Moraga, Fito, and Martinez-Navarrete (2009)
แอปเปิล	50	5	Atares, Chiralt, and Gonzalez-Martinez (2008)
แอปเปิล	740	5	Matusek, Czukor, and Meresz (2008 b)
มะม่วง	50	10	Torres, Talens, Escriche, and Chiralt (2006)
แอปเปิล	50	10	Barrera et al. (2004)
มะละกอ พีช กล้วย เมลอน	135-674	3-45	Mujica-Paz, Valdez-Fragoso, Lopez-Malo, Palou, and Welti-Chanes (2003)
มะเขือยาว	50	10	Gras et al. (2003)

นอกจากนี้มีรายงานว่า วิธี VOD เป็นวิธีที่สามารถนำสารสำคัญที่มีคุณสมบัติเฉพาะในการป้องกัน บำบัด ลดอาการการเกิดโรค รักษาโรคเรื้อรัง เช่น แร่ธาตุ วิตามิน สารพฤกษเคมี เป็นต้น สารที่ทำหน้าที่ดังกล่าวว่า เรียกว่า สารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย (PAC) เข้าสู่ชิ้นอาหาร เพื่อให้ได้อาหารเพื่อสุขภาพ (Fito et al., 1994; Garcia, Diaz, Martinez, & Casariego, 2010)

VOD เป็นการแช่ผักผลไม้ในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงและอาจมี PAC เป็นส่วนประกอบในสภาวะสุญญากาศ โดยมีวัตถุประสงค์หลัก คือ การลดปริมาณน้ำและเสริม PAC ในผักผลไม้ ทำได้โดยลดความดันอากาศลง จนทำให้เกิดสภาวะความดันสุญญากาศในภาชนะปิดที่มีการแช่ชิ้นผักหรือผลไม้ในสารละลายความเข้มข้นสูง (Brennan, 1994) และอาจมีการเติม PAC เป็นส่วนประกอบในสารละลายออสโมติกเป็นระยะเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นจะปล่อยให้กลับคืนสู่ความดันบรรยากาศ

การใช้สภาวะสุญญากาศทำได้ 2 แนวทาง คือ การใช้สุญญากาศเป็นเวลาสั้นในช่วงแรกของการออสโมซิส (Vacuum Osmotic Dehydration; VOD) เช่น ใช้สภาวะสุญญากาศ 20 นาที แล้วออสโมซิสต่อที่สภาวะบรรยากาศ ส่วนอีกแนวทางหนึ่งคือการใช้สุญญากาศแบบเป็นจังหวะ (Pulse Vacuum Osmotic Dehydration; PVOD) เป็นการใช้สภาวะสุญญากาศเป็นเวลาสั้นในช่วงแรก แล้วกลับสู่สภาวะบรรยากาศเวลาสั้น แล้วใช้สภาวะสุญญากาศเป็นเวลาสั้นอีกครั้งก่อนออสโมซิสต่อที่สภาวะบรรยากาศ เช่น ใช้สภาวะสุญญากาศ 10 นาที แล้วกลับสู่สภาวะบรรยากาศ 10 นาที และให้สภาวะสุญญากาศอีกครั้งนาน 10 นาที แล้วจึงออสโมซิสต่อที่สภาวะบรรยากาศ (Welti-Chanes, Vlez-Ruiz, & Barbosa-Canovas, 2002) การใช้สภาวะสุญญากาศมีแนวโน้มช่วยเพิ่มการถ่ายเทมวลสารและช่วยรักษาคุณภาพบางประการได้ โดยเป็นการเพิ่มแรงขับเคลื่อนในการแพร่ของน้ำจากเนื้อเยื่อของชิ้นผักผลไม้ไปสู่สารละลายออสโมติกโดยเกิดกลไก HDM Garcia et al. (2010) เปรียบเทียบการออสโมซิสที่สภาวะบรรยากาศกับสภาวะสุญญากาศ VOD ที่ความดัน 211 มิลลิบาร์ พบว่า สภาวะ VOD สามารถช่วยลดปริมาณความชื้นของมะละกอได้เร็วกว่าการใช้สภาวะบรรยากาศและได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสและกลิ่นรสดีใกล้เคียงกับวัตถุดิบเริ่มต้น Chafer, Gonzalez-Martinez, Fernandez, Perez, and Chiralt (2003) พบว่า ลูกแพร์มีอัตราการถ่ายเทมวลสารเพิ่มขึ้น เมื่อใช้วิธีการเตรียมขั้นต้น PVOD ความดัน 50 มิลลิบาร์ 5 นาที โดยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีน้อยกว่าตัวอย่างที่ผ่านการลวก

ปัจจุบันผู้บริโภคใส่ใจสุขภาพมากขึ้น อีกทั้งต้องการผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านกระบวนการแปรรูปน้อยและมีคุณภาพใกล้เคียงกับวัตถุดิบสด จึงมีงานวิจัยพยายามศึกษาการใช้เทคนิคการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศมาใช้พัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพหลายรูปแบบ แสดงดังตารางที่ 2-3

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

ตารางที่ 2-3 การเสริมสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย (PAC) โดยการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ

ชนิดสาร PAC	สารละลายออสโมติก	ตัวอย่างอาหาร	เอกสารอ้างอิง
ฟีนอลิกจากเมล็ดองุ่น	ซูโครส โซเดียมคลอไรด์	แอปเปิล	Rozek, Achaerandio, Guell, Lopez, and Ferrando (2009)
เคอร์คูมิน	ซูโครส	มะพร้าว	Bellary, Sowbhagya, and Rastogi (2011)
โอลิโกฟรุคโตส	โอลิโกฟรุคโตส	แอปเปิล	Matusek, Czukor and Meresz (2008 a)
แคลเซียมแลคเตท	โซเดียมคลอไรด์	มะเขือม่วง	Alzamora et al. (2005)
แคลเซียมแลคเตท	ซูโครส	เห็ดนางฟ้า แครอท มะเขือยาว	Gras et al. (2003)
แคลเซียมแลคเตท	ซูโครส	องุ่น	Moraga et al. (2009)
แคลเซียมแลคเตท	ซูโครส	มะม่วง	Torres et al. (2006)
แคลเซียมแลคเตท เฟอร์รัสกลูโคเนต	ซูโครส	แอปเปิล	Barrera et al. (2004)
แคลเซียมกลูโคเนต ไอรอนกลูโคเนต	ซูโครส	มะเขือยาว เปลือกส้ม	Fito et al. (2001)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออสโมซิสผักผลไม้

Atares, Sousa Gallagher, and Oliveira (2011) ศึกษาสภาวะการออสโมซิสของกล้วยป่า (*Musa acuminata* species) ใช้กล้วยความสุกระดับที่ 5 โดยสไลด์กล้วยหนา 5 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 23 มิลลิเมตร แปรปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ (30 40 และ 50 องศาเซลเซียส) และความเข้มข้นของสารละลายซูโครส (ร้อยละ 45 55 และ 65) ออสโมซิสเป็นเวลา 240 นาที พบว่าอุณหภูมิและความเข้มข้นของสารละลายซูโครสมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียน้ำ รวมถึงมีผลต่อค่าสี ($p \leq 0.05$) การเพิ่มอุณหภูมิในการออสโมซิสและความเข้มข้นของสารละลายซูโครส มีผลทำให้มีค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาตรและรูปร่างมาก การออสโมซิสที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ดี แต่อัตราการออสโมซิสจะดำเนินไปอย่างช้า ๆ แต่หากใช้ความเข้มข้น

337487

ของสารละลายซูโครสร้อยละ 65 ร่วมด้วย จะทำให้อัตราการออสโมซิสสูงขึ้นและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพผลิตภัณฑ์เพียงเล็กน้อย

Fernandes, Rodriguesi, Gaspareto, and Oliveira (2006) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับลดระยะเวลาในการทำแห้งกล้วย โดยใช้กระบวนการออสโมซิส หั่นกล้วยเป็นชิ้นทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.02 เมตร สูง 0.01 เมตร แล้วแช่ในสารละลายซูโครส 50 และ 70 องศาบริกซ์ ให้ความร้อนสารละลายออสโมติกในระหว่างการออสโมซิสอุณหภูมิ 50 และ 70 องศาเซลเซียส 4 ชั่วโมง และทำแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส 8 ชั่วโมง พบว่า การใช้สารละลายซูโครส 70 องศาบริกซ์ ทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์ของน้ำและน้ำตาลเพิ่มขึ้น ดังนั้นหากต้องการลดระยะเวลาในกระบวนการออสโมซิสร่วมกับการทำแห้งด้วยลมร้อน การใช้สารละลายซูโครสความเข้มข้นสูงเป็นทางเลือกที่ดี ซึ่งช่วยลดระยะเวลาในการทำแห้งได้ โดยอาจไม่จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิในการออสโมซิสที่สูง ที่ทำให้คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายเปลี่ยนแปลงไป

Telis, Murari, and Yamashita (2004) ศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ ซูโครส และโซเดียมคลอไรด์ในระหว่างการออสโมซิสมะเขือเทศ หั่นมะเขือเทศเป็นสี่ส่วน แช่ในสารละลายซูโครสร้อยละ 30 และ 40 โซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 5 และ 10 ออสโมซิสที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า การใช้ซูโครสร้อยละ 30 ร่วมกับโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 10 ทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) การใช้ซูโครสร้อยละ 30 ร่วมกับโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 5 ทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของซูโครสสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) และการใช้ซูโครสร้อยละ 30 ร่วมกับโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 10 ทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของโซเดียมคลอไรด์สูงที่สุด ($p \leq 0.05$) โดยค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของซูโครสและโซเดียมคลอไรด์มีความสัมพันธ์กัน เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ทำให้มีปริมาณการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น ในขณะที่การใช้ซูโครสความเข้มข้นสูงมีผลทำให้ปริมาณการสูญเสียน้ำลดลง

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออสโมซิสผักผลไม้ในสภาวะสุญญากาศ

ทิพย์สุดา อาสาสรรพกิจ และคณะ (2550) ศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศก่อนการออสโมซิสผลสตรอเบอร์รี นำสตรอเบอร์รีมาเจาะรูด้วยเข็ม แล้วแช่ในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 65 องศาบริกซ์ แล้วให้สภาวะสุญญากาศที่ 50 และ 100 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 10 และ 15 นาที แล้วออสโมซิสต่อที่สภาวะบรรยากาศ พบว่า การใช้ความดันสุญญากาศ 100 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 10 นาที และความดันสุญญากาศ 100 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 15 นาที ทำให้ผลสตรอเบอร์รีมีปริมาณของแข็งที่สะลายได้ทั้งหมดสูงสุด (43 องศาบริกซ์) และใช้เวลาน้อยที่สุด (12 ชั่วโมง) ($p \geq 0.05$) แต่การใช้ความดันสุญญากาศ 100 มิลลิบาร์ 10 นาที สามารถลดระยะเวลาใน

กระบวนการใช้สภาวะสุญญากาศมากกว่า ในขณะที่ตัวอย่างที่ไม่ใช้สุญญากาศในช่วงแรกของการออสโมซิสจะใช้เวลามากกว่า 36 ชั่วโมง เพื่อให้ได้ปริมาณของแข็งมากกว่า 40 องศาบริกซ์ ดังนั้นการใช้สภาวะสุญญากาศเป็นเวลาสั้น ๆ ในช่วงแรกก่อนการออสโมซิสมีผลทำให้เพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลสารของเนื้อเยื่อสตรอเบอร์รีได้

Tapia, Lopez-Malo, Consuegra, Corte, and Welti-Chanes (1999) ศึกษาผลของการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศเปรียบเทียบกับการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศ โดยหั่นมะละกอเป็นชิ้นทรงกระบอกสูงขนาด 1 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร วัดค่า a_w ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.99 จากนั้นนำตัวอย่างมาออสโมซิสในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 60 องศาบริกซ์ ในสภาวะดังนี้ คือ (1) การออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยกวนสารละลายออสโมติกตลอดเวลาเป็นเวลา 240 นาที (2) การออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศความดันสุญญากาศ 60 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 5 10 15 20 25 และ 30 นาที และ (3) การออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศความดันสุญญากาศ 60 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 5 10 15 20 25 และ 30 นาที แล้วนำมาออสโมซิสต่อที่สภาวะบรรยากาศเป็นเวลา 240 นาที พบว่า การออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศทำให้มะละกอมีปริมาณน้ำที่สูญเสียเพิ่มขึ้นกว่าการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศเพียงอย่างเดียว ซึ่งสอดคล้องกับค่า a_w ที่พบว่า มะละกอหลังการออสโมซิสที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นในสภาวะสุญญากาศมีค่า a_w ลดลง

Shi, Fito, and Chiralt (1995) ศึกษาผลของการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศต่อค่าการถ่ายเทมวลสารของแอปริคอท สตรอเบอร์รี และสับปะรด ดำเนินการโดยหั่นชิ้นแอปริคอท สตรอเบอร์รี และสับปะรด เป็นสี่เหลี่ยมลูกเต๋าขนาด 15 ลูกบาศก์เมตร นำตัวอย่างทั้งหมดมาออสโมซิสในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 65 องศาบริกซ์ ที่สภาวะความดันแตกต่างกัน 3 สภาวะ คือ (1) การออสโมซิสที่สภาวะบรรยากาศ (2) การออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศความดัน 100 มิลลิบาร์ 5 นาที และ (3) การออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศความดัน 100 มิลลิบาร์ 5 นาที และแช่ในสภาวะบรรยากาศนาน 25 นาที และนำตัวอย่างไปแช่ในสภาวะเดิมอีกครั้ง จากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดมาออสโมซิสต่อที่สภาวะบรรยากาศอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส 240 นาที พบว่าการใช้ความดันแบบสุญญากาศแบบต่อเนื่องและแบบจังหวะ ทำให้มีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียและค่าปริมาณน้ำหนักที่ลดลงเพิ่มขึ้นมากกว่าการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศ ทั้งนี้หากพิจารณาชนิดของผลไม้ต่อค่าการถ่ายเทมวลสาร พบว่า สับปะรดมีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียและมีค่าปริมาณน้ำหนักที่ลดลงมากกว่าแอปริคอทและสตรอเบอรี ทั้งนี้สอดคล้องกับผลของค่าสัมประสิทธิ์ความพรุนที่พบว่า สับปะรดมีค่าสัมประสิทธิ์ความพรุนสูงกว่าแอปริคอทและสตรอเบอร์รี โดยความพรุนมีผล

ต่อค่าการถ่ายเทมวลสาร เนื่องจากก๊าซและของเหลวตามธรรมชาติในช่องว่างระหว่างเซลล์ของเนื้อเยื่อของผลไม้ถูกขับออกมาในระหว่างการดูดอากาศ

Correa et al. (2010) ศึกษาผลของวิธีการออสโมซิสต่อค่าการถ่ายเทมวลสารของฝรั่งแดง โดยหั่นฝรั่งเป็นชิ้นขนาด 0.050 x 0.025 x 0.005 เมตร แล้วแช่ในสารละลายซูโครส 40 50 และ 60 องศาบริกซ์ 300 นาที และนำชิ้นฝรั่งมาเตรียมขั้นต้นที่สภาวะสุญญากาศความดัน 100 มิลลิบาร์ 10 และ 15 นาที แล้วนำไปออสโมซิสต่อที่สภาวะบรรยากาศจนครบกำหนดเวลา พบว่า การออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศที่ 100 มิลลิบาร์ 15 นาที ทำให้มีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียและปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้น และมีค่า a_w ลดลงมากที่สุด นอกจากนี้การใช้สารละลายออสโมติก 60 องศาบริกซ์ ทำให้มีค่าการถ่ายเทมวลสารสูงกว่าการใช้สารละลายออสโมติก 40 และ 50 องศาบริกซ์ จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า การใช้สารละลายออสโมติกความเข้มข้นสูงร่วมกับการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศมีผลทำให้ปริมาณน้ำที่สูญเสียเพิ่มขึ้นกว่าการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศ

Matusek et al. (2008 a) ศึกษาผลของปริมาณความชื้นในระหว่างการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ ทำได้โดยหั่นแอปเปิลเป็นชิ้นขนาด 10 x 10 x 10 มิลลิเมตร นำมาลวกในสารละลายฟรุคโตโอลิโกแซคคาร์ไรด์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 5 นาที จากนั้นแบ่งตัวอย่างแอปเปิลออกเป็น 2 กลุ่ม คือ (1) การออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศโดยแช่ในสารละลายโอลิโกฟรุคโตสความเข้มข้นร้อยละ 60 ที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที (2) ทำการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศที่ 740 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 0 และ 5 นาที จากนั้นออสโมซิสต่อในสภาวะบรรยากาศที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส จนกระทั่งครบ 60 นาที พบว่า การออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศสามารถลดปริมาณความชื้นเริ่มต้นได้ประมาณร้อยละ 10 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ ส่งผลให้ตัวอย่างมีปริมาณความชื้นสุดท้ายหลังการออสโมซิสต่ำกว่าตัวอย่างที่ออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศ

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเสริมแร่ธาตุผักผลไม้ด้วยวิธีออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ

Moraga et al. (2009) ได้แบ่งการทดลองเป็น 2 ตอน คือ ศึกษาผลของการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศและศึกษาผลของการแช่ในสภาวะสุญญากาศที่เติมและไม่เติมแคลเซียมในสารละลายซูโครส (1) การออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ ทำได้โดยเติมแคลเซียมแลคเตทความเข้มข้นร้อยละ 2 ในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 50 องศาบริกซ์ จากนั้นแช่องุ่นในสารละลายซูโครส แล้วให้ความดันสุญญากาศที่ 50 มิลลิบาร์ 10 นาที และออสโมซิสต่อที่สภาวะบรรยากาศ 10 ชั่วโมง (2) สำหรับการแช่ในสภาวะสุญญากาศ ทำได้โดยเติมแคลเซียมแลคเตท

ร้อยละ 2 ลงในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 18 องศาบริกซ์ แล้วให้ความดันสุญญากาศที่ 50 มิลลิบาร์ 10 นาที พบว่า การออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศที่มีการเติมแคลเซียมแลคเตททำให้มีค่าเศษส่วนมวลของน้ำน้อยกว่าการแช่ในสภาวะสุญญากาศ การออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศที่มีการเติมแคลเซียมแลคเตททำให้มีค่าเศษส่วนของของแข็งที่ละลายน้ำและมีปริมาณแคลเซียมในชิ้นองุ่นมากกว่าการแช่ในสภาวะสุญญากาศ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศมีผลทำให้ช่วยเพิ่มการถ่ายเทมวลสารได้มากกว่าการแช่ในสุญญากาศในระยะเวลาสั้น ๆ จึงทำให้สารละลายและแคลเซียมแลคเตทแพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อขององุ่นได้มากกว่า

Torres et al. (2006) ศึกษาผลการเติมแคลเซียมความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 2 ในสารละลายซูโครส 45 และ 65 องศาบริกซ์ ร่วมกับการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศและหรือการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศ 50 มิลลิบาร์ 10 นาที โดยหั่นมะม่วงเป็นชิ้นทรงกระบอกสูง 1.5 เซนติเมตร แล้วแช่ชิ้นมะม่วงจนกระทั่งชิ้นมะม่วงมีความเข้มข้นของสารละลาย 30 องศาบริกซ์ พบว่า การออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศร่วมกับการใช้สารละลายซูโครสความเข้มข้น 65 องศาบริกซ์ ทำให้ใช้เวลาในกระบวนการออสโมซิสน้อยที่สุด การการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศร่วมกับการใช้สารละลายออสโมติกความเข้มข้นสูง 65 องศาบริกซ์ ที่มีการเติมแคลเซียมร้อยละ 2 ทำให้ชิ้นมะม่วงมีปริมาณแคลเซียมสูงที่สุด และการเติมแคลเซียมร้อยละ 1 ร่วมกับการออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศในสารละลายออสโมติกความเข้มข้น 45 องศาบริกซ์ ทำให้มะม่วงมีปริมาณแคลเซียมสูงที่สุด ซึ่งจะเห็นได้ว่า การออสโมซิสในสภาวะสุญญากาศสามารถทำให้แคลเซียมเข้าสู่ชิ้นมะม่วงได้มากกว่าการออสโมซิสในสภาวะบรรยากาศ

Barrera et al. (2004) ศึกษาผลของการเติมแคลเซียมและเหล็กในสารละลายออสโมติก ทำได้โดยหั่นแอปเปิลหนา 10 มิลลิเมตร แล้วนำไปแช่ในสารละลาย ดังนี้ (1) ซูโครส 112.297 กรัมต่อลิตร ร่วมกับการเติมแคลเซียมแลคเตท 44.229 กรัมต่อลิตร (2) ซูโครส 146.702 กรัมต่อลิตร ร่วมกับการเติมเฟอรัสกลูโคเนต 1.135 กรัมต่อลิตร (3) ใช้ซูโครส 211.220 กรัมต่อลิตร ให้ความดันสุญญากาศที่ 50 มิลลิบาร์ 10 นาที จากนั้นออสโมซิสต่อที่สภาวะบรรยากาศในสารละลายซูโครส 55 องศาบริกซ์ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่า การแช่ในสภาวะสุญญากาศ ทำให้มีปริมาณน้ำที่สูญเสียและมีปริมาณน้ำหนักที่ลดลงมากกว่าการไม่แช่ในสภาวะสุญญากาศ การเติมแคลเซียมในสารละลายออสโมติกในสภาวะสุญญากาศ ทำให้ชิ้นแอปเปิลมีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียและมีปริมาณน้ำหนักที่ลดลงมากกว่าการเติมเหล็กในสารละลายออสโมติกในสภาวะสุญญากาศ

Gras et al. (2003) ศึกษาสมบัติโครงสร้างทางจุลภาคของมะเขือยาว แครอท และเห็ดนางฟ้า โดยเติมแคลเซียมแลคเตทในสารละลายซูโครสร่วมกับการใช้เทคนิคการแช่ในสภาวะสุญญากาศความดัน 50 มิลลิบาร์ 10 นาที แล้วนำตัวอย่างมาวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค พบว่า

แคลเซียมมีผลต่อสมบัติโครงสร้างทางจุลภาคของมะเขือยาวและแครอท แต่ไม่มีผลกับเห็ดนางฟ้า อาจเนื่องจากเห็ดนางฟ้าไม่มีเพคตินเป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้พบว่า มีปริมาณแคลเซียมในส่วนของช่องว่างระหว่างเซลล์ หรือในส่วนของ Interhyphae ของเนื้อเยื่อมะเขือยาวมากกว่าของเนื้อเยื่อแครอท กรณีเห็ดนางฟ้า พบว่า มีปริมาณแคลเซียมในส่วนของช่องว่างระหว่าง Hyphae ของเซลล์

Fito et al. (2001) ศึกษาการใช้เทคนิคการแช่ในสภาวะสุญญากาศในการเสริมแคลเซียมและธาตุเหล็กในมะเขือยาวและเปลือกส้ม ทำได้หั่นมะเขือยาวเป็นทรงกระบอก หนา 22 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร เจาะรูแกนกลางออก แล้วสไลด์เป็นแผ่นหนา 25 มิลลิเมตร ส่วนเปลือกส้มหั่นเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมจัตุรัส 20 x 20 มิลลิเมตร จากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดชั่งน้ำหนัก แล้วแช่ในสารละลายซูโครส ไอรอนกลูโคเนต และแคลเซียมกลูโคเนต โดยให้ความดันสุญญากาศ 50 มิลลิบาร์ 15 นาที หลังจากนั้นออสโมซิสต่อในสภาวะบรรยากาศ 15 นาที พบว่า การเสริมแคลเซียมและเหล็กในมะเขือยาวและเปลือกส้ม เป็นทางเลือกที่ดีทางหนึ่งในการพัฒนาอาหารเพื่อสุขภาพ เนื่องจากการแช่ในสภาวะสุญญากาศสามารถทำให้แร่ธาตุเกิดการแพร่เข้าไปในรูพรุนของผักผลไม้ได้ และวิธีการแช่ในสภาวะสุญญากาศนี้สามารถลดค่า a_w หรือค่า pH ของผักผลไม้

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำแห้งผักผลไม้ด้วยลมร้อนและการทำแห้งแบบสุญญากาศ

นฤมล พงษ์พิริยะเดชะ (2539) ศึกษาผลของวิธีการทำแห้งมังคุดที่ผ่านการออสโมซิสต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยนำเนื้อมังคุดที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสารละลายซูโครสร่วมกับฟรุคโตส 68 องศาบริกซ์ มาอบแห้งโดยใช้วิธีการทำแห้ง 2 วิธี คือ การทำแห้งแบบลมร้อนอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส และการทำแห้งแบบสุญญากาศที่ความดัน 25 ตารางนิ้วปรอท อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จนกระทั่งผลิตภัณฑ์มีความชื้นร้อยละ 15 พบว่า การทำแห้งแบบสุญญากาศใช้เวลาในการทำแห้งนานกว่าการอบแห้งแบบลมร้อน แต่เมื่อนำผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งมาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 10 คน ประเมินคุณภาพด้านลักษณะปรากฏ (สี ความเหี่ยวย่น) กลิ่นและรสชาติ (รสหวาน รสเปรี้ยว กลิ่นรสผิดปกติ) เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม เพื่อหาสภาวะการทำแห้งที่ดีและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค พบว่า วิธีการทำแห้งมีผลต่อคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งทุกด้าน ยกเว้นด้านกลิ่นและรสชาติ ($p \geq 0.05$) ในด้านลักษณะปรากฏ พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งแบบลมร้อนมีสีค่อนไปทางขุ่นขาวและมีลักษณะเหี่ยวย่นมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำแห้งแบบสุญญากาศ ซึ่งส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและคะแนนการยอมรับโดยรวม จึงทำให้ผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์มังคุดกึ่งแห้งที่ผ่านการทำแห้งแบบสุญญากาศมากกว่าการทำแห้งแบบลมร้อน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

Thuwapanichayanan, Prachayawarakorn, Kunwisawa, and Soponronnarit (2011) ศึกษาอุณหภูมิในการทำแห้งต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์กล้วยอบ ทำได้โดยใช้กล้วยความสุกระดับที่ 5 หั่นกล้วยหนา 3 มิลลิเมตร จุ่มในสารละลายกรดแอสคอรบิกความเข้มข้น 0.1 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร 1 นาที แล้วนำกล้วยมาอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.3 เมตรต่อวินาที อบแห้งจนกระทั่งผลิตภัณฑ์มีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 0.04 กิโลกรัมต่อกิโลกรัม พบว่า การใช้อุณหภูมิสูงในการทำแห้งมีผลทำให้ความหนาของชิ้นกล้วยเปลี่ยนแปลงมากกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชิ้นกล้วยเกิดการหดตัว เหี่ยวย่น เมื่อพิจารณาลักษณะเนื้อสัมผัสและโครงสร้างทางจุลภาค พบว่า อุณหภูมิในการทำแห้งมีผลทำให้ค่าความกรอบของชิ้นกล้วยไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) การทำแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ทำให้ชิ้นกล้วยมีค่าความแข็งต่ำกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ทั้งนี้สอดคล้องกับผลของโครงสร้างทางจุลภาค ซึ่งพบว่า การใช้อุณหภูมิสูง ๆ ในการทำแห้ง ทำให้ลักษณะโครงสร้างของชิ้นกล้วยเปลี่ยนแปลงไป คือ มีขนาดรูพรุนภายในชิ้นกล้วยที่ใหญ่กว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำ

Swasdisevi, Devahastin, Sa-Adchom, and Soponronnarit (2009) ศึกษาการทำแห้งแบบสุญญากาศของกล้วยน้ำว้า ใช้กล้วยความสุกระดับที่ 5 สไลด์กล้วยเป็นแผ่นหนา 2 3 และ 4 เซนติเมตร นำมาอบแห้งแบบสุญญากาศที่ความดันสมบูรณ์ 5 10 และ 15 กิโลปาสคา อุณหภูมิ 50 55 และ 60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งกล้วยมีน้ำหนักคงที่ พบว่า การใช้ความดัน 5 กิโลปาสคา ทำให้อัตราการลดลงของปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความร้อนในผลิตภัณฑ์และความร้อนบริเวณรอบข้าง จึงทำให้การแพร่ของความชื้นเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส พบว่าความดันสุญญากาศมีผลต่อการทำแห้งชิ้นกล้วย โดยอัตราความชื้นจะลดลงเพิ่มขึ้น เมื่อลดปริมาณความดันสุญญากาศ ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ความดันต่ำทำให้น้ำเดือดและระเหยได้เร็วที่อุณหภูมิต่ำ