บทที่ 2

การทบทวนเอกสารงานวิจัย

การยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้โดยใช้สารเคลือบผิวที่บริโภคได้

ภายหลังการเก็บเกี่ยว ผลไม้จะมีการเปลี่ยนแปลงทางชีววิทยาและกระบวนการหายใจที่ทำให้เกิดการสูญเสียเนื้อเยื่อของผลไม้ในระหว่างการเก็บรักษา ทำให้ผลไม้มีการสูญเสียน้ำ เปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอก เนื้อสัมผัสและคุณภาพ ส่งผลให้มูลค่าทางเศรษฐกิจลดลง โดยทั่วไปการยืดอายุผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวได้สูงสุดขึ้นกับปัจจัย 3 ประการ คือ ลดการสูญเสียน้ำ ลดกระบวนการทางสรีรวิทยาที่ทำให้เกิดการสุก และลดการเกิดและอัตราการเจริญของจุลินทรีย์ วิธีการหนึ่งที่ได้รับการยอมรับว่าสามารถลดหรือแก้ปัญหาดังกล่าวทำได้โดย การเคลือบผิวผลไม้ เพื่อให้เกิดฟิล์มหรือสารเคลือบที่รับประทานได้สำหรับคงความสดของผลไม้ให้นานขึ้น

เป็นที่ทราบกันมานานแล้วว่าการใช้สารเคลือบผิวที่บริโภคได้จะช่วยปกป้องผลไม้ที่เน่าเสียได้ง่ายจากการเสื่อมสลายได้โดยการไปชลอการสูญเสียน้ำ ยับยั้งการหายใจ เพิ่มคุณภาพทางเนื้อสัมผัส ช่วยให้สารประกอบที่ระเหยง่ายคงอยู่ ลดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนะ และลดการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียของผลไม้ (Debeaufort et al., 1998; Xu et al., 2001) อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของการใช้สารเคลือบผิวที่บริโภคได้คลือบผิวผลไม้ขึ้นกับการเลือกใช้สารเคลือบผิวที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดองค์ประกอบของแก๊สภายใน (internal gas composition) ที่เป็นประโยชน์ต่อการยืดอายุของผลไม้ได้ดี

ในปัจจุบัน เนื่องจากผู้บริโภคต้องการอาหารที่มีคุณภาพสูง และไม่นิยมสารถนอมอาหารพวกสารเคมี ดังนั้นการใช้สารเคลือบผิวที่เป็นวัสดุจากธรรมชาติจึงนับว่าเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ได้รับความสนใจในการยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ (Romanozzi et al., 2002) เช่น การใช้สารเคลือบผิวไคโตซาน (chitosan) ซึ่งเป็นสารพอลิแซคคาไรด์พวกแคทไอออนิก (cationic polysaccharide) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ไคโตซานสามารถยับยั้ง phytopathogenic bacteria และ fungi (Allan and Hadwiger, 1979) ก่อให้เกิด phytoalexin formation (Reddy et al., 2000) และเหนี่ยวนำให้เกิดการสร้าง antifungal hydrolase ขึ้นด้วย จึงทำให้ไคโตซานจัดเป็นตัวเลือกที่สำคัญอย่างยิ่งในการควบคุมการเสื่อมสลาย (decay) ของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว โดยเฉพาะในสถานที่ที่ห้ามการใช้สารต้านเชื้อราสังเคราะห์ (synthetic fungicides)

นอกจากนั้นจากสมบัติของไคโตซานที่สามารถเกิดเป็น semi-permeable film ได้ดี การใช้ไคโตซานเคลือบผิวผลไม้จึงเหมือนกับเป็นการดัดแปลงบรรยากาศภายใน (modify the internal atmosphere) พร้อมกับการลดสูญเสียน้ำจากการระเหยของผลไม้ (Bai et al., 1988) และชลอการสุกของผลไม้ เนื่องจากการเคลือบผิวเป็นการจำกัดการแลกเปลี่ยนแก๊สภายในผลไม้ ทำให้มีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเกิดจากการหายใจมีมากขึ้น ในขณะที่มีปริมาณออกซิเจนลดลง มีผลไปยับยั้งการ

ทำงานของแก๊สเอทิลีน (Hume, 1971) ที่เป็นสารที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสุกของผลไม้ นอกจากนั้นยังช่วยป้องกันการเหี่ยวย่นของผลจากการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี รวมทั้งเพิ่มความมันวาว ทำให้ผลไม้มีลักษณะที่ดีเป็นที่พึงพอใจของผู้บริโภคเพิ่มขึ้น แต่บรรยากาศที่สร้างขึ้นโดยการเคลือบผิวจะเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นกับสภาวะของสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ โดยขึ้นกับผลของการหายใจของผลไม้และการแพร่ผ่านได้ของสารเคลือบผิว

ละมุดเป็นผลไม้ประเภท climacteric fruit ที่มีการสูญเสียผลิตผลจำนวนมากหลังการเก็บเกี่ยว ไม่มีรายงานโดยตรงว่ามีการสูญเสียผลผลิตละมุดมากน้อยเท่าไร แต่ประมาณการว่าจะมีการสูญเสียมากถึงร้อยละ 20-40 เช่นเดียวกับผลไม้ที่เน่าเสียได้ง่ายชนิดอื่น เนื่องจากมีการหายใจสูงและง่ายต่อการเน่าเสียจากจุลินทรีย์ (Diaz-Perez et al., 2000) โดยธรรมชาติแล้วผลละมุดจะมีสารประเภทไขเคลือบอยู่บริเวณผิวซึ่งมีหน้าที่สำคัญช่วยลดการสูญเสียน้ำ แต่หลังการเก็บเกี่ยวสารเคลือบผิวจะหลุดไปจากการล้าง หรือการขนย้าย การสูญเสียผลผลิตประเภทนี้สามารถป้องกันได้ถ้ามีการจัดการโดยใช้วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม

การเคลือบผิวจะช่วยลดการสูญเสียและยืดอายุการเก็บรักษาละมุดได้ แต่ทั้งชนิดและความเข้มข้นต้องเหมาะสมกับผลละมุด การเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวที่ความเข้มข้นต่ำเกินไป จะช่วยลดการคายน้ำและจำกัดการแลกเปลี่ยนแก๊สได้น้อย แต่ถ้าใช้ความเข้มข้นสูงเกินไป นอกจากจะเปลืองสารเคลือบผิวแล้ว ยังจำกัดการแลกเปลี่ยนแก๊สมากเกินไป อาจทำให้เนื้อเยื่อขาดแก๊สซิเจน เกิดกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic respiration) ทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติไป (Kader et al., 1985; Arthey, 1975) และการสะสมของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการหายใจมากเกินไป จะไปยับยั้งแอกติวิตีของเอ็นไซม์ succinic acid dehydrogenase ทำให้มีกรดซัคซินิค (succinic acid) สะสมอยู่มากจนเกิดเป็นพิษต่อเนื้อเยื่อได้ (Weichman, 1986) และยังอาจก่อให้เกิดความผิดปกติของปฏิกิริยาเคมีในวัฏจักรเครปส์ (Kreb's cycle) ด้วย (Voet and Voet, 1990)

อย่างไรก็ตาม มีข้อมูลจำกัดในการใช้สารเคลือบผิวที่บริโภคได้กับละมุด ทั้ง ๆ ที่มีรายงานการใช้ไคโตซานเพื่อช่วยในการเก็บรักษาผักและผลไม้มานานแล้วทั้งในและต่างประเทศ ตัวอย่างเช่น ไพรัตน์ โสภโณดร, สุทธวัฒน์ เบญจกุล และ วิศเนตร พระพุทธ (2536) ศึกษาการใช้ไคโตซานเป็นสารเคลือบผิวมะนาว ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.25 พบว่าสามารถยืดระยะเวลาการเปลี่ยนสีผิวของมะนาวเป็น 24 และ 56 วัน เมื่อเก็บรักษามะนาวที่อุณหภูมิ 28 และ 11 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แต่การเคลือบผิวด้วยไคโตซานไม่สามารถชะลอการสูญเสียวิตามินซีระหว่างการเก็บรักษา (สุทัศเทียม บุญทวี 2544)

วิเชียร เลี่ยมนาค (2541) พบว่าการเคลือบผิวผลมะม่วงด้วยไคโตซานความเข้มข้นตั้งแต่ร้อยละ 0.50 ขึ้นไปช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนักและการเปลี่ยนแปลงสีผิวของผลมะม่วงได้ แต่ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่เคลือบผลด้วยไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.75 และ 1.00 และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน ผลเกิดการสุกที่ผิดปกติ โดยสีผิวยังคงมีสีเขียว แต่เนื้อภายในมีสีเหลืองซีด นิ่ม และมีกลิ่นหมัก ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ชิม

ขัตติยา เสาวมาศ, เฉลิมชัย วงศ์อารี และ สิริชัย กัลยารัตน์ (2545) พบว่าการเคลือบผิวผลส้มสายน้ำผึ้งด้วยไคโตซานที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5-1 ไม่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนัก สี ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณกรด กรดแอสคอร์บิก และการยอมรับด้านรสชาติ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 42 วัน ในขณะที่ เสาวคนธ์ นุสติ และ ดนัย บุณยเกียรติ (2545) การเคลือบผิวผลสาลี่พันธุ์ Yokoyama Wase ด้วยไคโตซานร้อยละ 1.0 สามารถลดการสูญเสียน้ำหนัก และความแน่นเนื้อ ส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ วิตามินซี กรดที่ไทเทรตได้ และการยอมรับของผู้ทดสอบชิมไม่แตกต่างกับสาลี่ที่ไม่เคลือบผิว

นันท์นภัส เทพสำราญ และคณะ (2546) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างไคโตซานที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 ในการเคลือบผิวต่ออายุการเก็บรักษาของผลมะละกอพันธุ์ฮาวายและเบโนมิลร้อยละ 0.1 ต่ออายุการเก็บรักษาเฉลี่ยที่ 11.1 วัน และ 11.43 วัน ตามลำดับ แต่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับผลที่ไม่ได้เคลือบซึ่งมีอายุการเก็บรักษาเฉลี่ย 9.8 วัน นอกจากนั้นไคโตซานมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการงอกของสปอร์ของเชื้อรา *Colletrichum* sp. ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคแอนแทรคโนสบนผลมะละกอหลังการเก็บเกี่ยว โดยไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 1-2 (น้ำหนัก/ปริมาตร) และเบโนมิลร้อยละ 0.1 (น้ำหนัก/ปริมาตร)

ธวัช หะหมาน และ สมศิริ แสงโชติ (2546) พบว่าการใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 800 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ที่ pH 4.5 สามารถยับยั้งการงอกของสปอร์ได้อย่างสมบูรณ์ ในทำนองเดียวกัน อัจยา กังสุวรรณ (2546) พบว่าไคโตซานสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลมังคุดจาก 10 วัน เป็น 30 วัน โดยสามารถป้องกันการเจริญของเชื้อราได้หลายชนิด ป้องกันการระเหยของน้ำทำให้ผลมังคุดยังคงความชุ่มชื้น และป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจึงสามารถช่วยรักษาสีของมังคุดไม่ให้ซีดจางไป

Ghaouth et al. (1992) ศึกษาการใช้ไคโตซานเคลือบผิวมะเขือเทศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 95 พบว่าการเคลือบผิวมะเขือเทศด้วย ไคโตซานที่มีความเข้มข้นร้อยละ 2 จะให้ผลในการยืดอายุการเก็บรักษาดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่เคลือบด้วยความเข้มข้นร้อยละ 1 และผลที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว และสามารถลดการเกิดโรคจาก *Botrytis cinere* ซึ่งเป็นเชื้อหลักที่ทำให้เกิดโรคในมะเขือเทศ และการใช้ไคโตซานที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 และ 1.5 เคลือบบนผลสตรอเบอรี สามารถยับยั้งโรคจากราเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียสได้ไม่แตกต่างจากสารยับยั้งเชื้อรา Rovral ในช่วง 21 วันแรก แต่หลังจากนั้นไคโตซานจะยับยั้งการเกิดโรคได้ดีกว่า Rovral อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Ghaouth et al.,1991)

Du et al. (1997) พบว่าการเคลือบผิวสามารถลดการผลิตก๊าซเอทิลี มีปริมาณก๊าซ CO_2 ภายในผลเพิ่มขึ้น ในขณะที่มีปริมาณก๊าซ O_2 ของผลแพร์พันธุ์ Shinko ลดลง และไคโตซานยังให้ผลยับยั้งการเจริญของ *Botrytis cinere* และราที่ทำให้ผลแพร์พันธุ์ Housui เกิดการเน่าเสียได้ ในทำนองเดียวกัน Zhang and Quantick (1998) พบว่าการเคลือบผิวด้วยไคโตซานสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Botrytis cinerea* และ *Rhizopus* sp. ที่เป็นสาเหตุของการเน่าเสียของผลสตรอเบอรีและผลราสเบอรีได้

Yueming and Yuebiao (2000) พบว่าการเคลือบผิวด้วยไคโตซานที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5-2.0 มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ โดยสามารถลดอัตราการหายใจ การสูญเสียน้ำหนัก ลดการเกิดเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส การเปลี่ยนสี คุณภาพการบริโภค และยับยั้งการเน่าเสียของลำไยระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียสได้บางส่วน ในขณะที่ Pen and Jiang (2003) พบว่าการเคลือบผิว fresh-cut Chinese water chestnut (CWC) ด้วยไคโตซานที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5-2.0 มีผลต่อคุณภาพการบริโภค และการเจริญของจุลินทรีย์ โดยสามารถชะลอการเปลี่ยนสี ซึ่งสัมพันธ์กับเอนไซม์ฟีนิลอะลานิล แอมโมเนียไลเอส (phenylalanine ammonia lyase), เอนไซม์ โพลีฟีนอล ออกซิเดส (polyphenol oxidase) และเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส (peroxidase) รวมทั้งปริมาณฟีนอลทั้งหมด (total phenolic content) ลดต่ำลง และยังสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ด้วย

นอกจากสารเคลือบผิวไคโตซานแล้ว เกลือของสารประกอบคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนต ซึ่งเป็นสารประกอบประเภทไอออนิก (ionic compounds) มีคุณสมบัติเป็นวัตถุกันเสีย (food preservative) ที่มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค (GRAS ; generally recognized as safe) และมีผลยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหาร เช่น แบคทีเรีย และยีสต์ ก็เป็นที่นิยมใช้มากในอุตสาหกรรมอาหารในระดับความเข้มข้นร้อยละ 2

Gamagae et al. (2003) พบว่าการใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 2 สามารถควบคุมโรค anthracnose ในมะละกอได้ และยังสามารถลดการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Rhizopus stolonfer*, *Alternaria alternate* และ *Fusarium* spp. ที่เป็นเชื้อจุลินทรีย์หลักที่ทำให้เกิดการเน่าเสียระหว่างการเก็บรักษาของแตงโมพันธุ์ Galia และ Ein-Dor และ *A. alternat* ที่เป็นสาเหตุหลักทำให้เกิดการเน่าเสียต่อ sweet bell paper (*Capsicum annuum*) ด้วย (Aharoni et al., 1997)

ในทำนองเดียวกัน Corral (1987) พบว่าการใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต และโพแทสเซียมไบคาร์บอเนต ความเข้มข้น 0.06 โมล สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียและยีสต์ เช่น *Escherichia coli*, *Lactobacillus plantalum*, *Strephylococus aureus* และ *Pseudomonas aeruginosa* และ Homma et al. (1981) พบว่าแอมโมเนียมไบคาร์บอเนตสามารถยับยั้งการสร้างคอร์นิเดีย และการงอกของเชื้อราที่เป็นสาเหตุโรคราแป้ง โดยมีคุณสมบัติเป็น fungicide หรือสามารถฆ่าเชื้อราได้ และสามารถควบคุมโรคภายหลังการเก็บเกี่ยวได้ (Spotts et al., 1998; Lurie et al., 1995; Similanick et al., 1993; Wilson et al., 1987; Pusey and Wilson, 1984)

ดังนั้นการใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตร่วมกับไคโตซานจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ดีในการควบคุมจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคในผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น หากผนวกการใช้สารเคลือบผิวไคโตซานกับโซเดียมไบคาร์บอเนตสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลละมุดได้นานขึ้น อาจเพิ่มโอกาสในการขยายตลาดได้กว้างขวางขึ้น เพราะสามารถส่งขายไปยังตลาดต่างประเทศได้ และเพิ่มโอกาสในการแข่งขันกับผลไม้ชนิดอื่น ทั้งนี้เนื่องจากโดยทั่วไปแล้วราคาขายของละมุดขึ้นอยู่กับผลไม้ชนิดอื่นที่ออกสู่ตลาดในช่วงดังกล่าว ทำให้ราคาละมุดอาจตกต่ำลงถึง 2-3 บาทต่อกิโลกรัม การทดลองนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การยืดอายุการเก็บรักษาผลละมุดหลัง

การเก็บเกี่ยวโดยการเคลือบด้วยไคโตซาน และไคโตซานร่วมกับโซเดียมไบคาร์บอเนต โดยศึกษาประสิทธิภาพการชลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ ได้แก่ การสูญเสียน้ำหนักและความแน่นเนื้อ และและการยืดอายุการเก็บรักษาผลละมุดที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส โดยการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสีย เป็นต้น

กระบวนการแปรรูปผลไม้โดยการทำให้แห้ง

ละมุดจัดเป็นผลไม้ชนิดหนึ่งที่มีการสูญเสียผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวสูง เนื่องจากเป็นผลไม้ที่เน่าเปื่อยได้ง่าย (perishable) และไม่สามารถเก็บรักษาได้โดยการแช่แข็ง (freezing) ดังนั้นวิธีการถนอมผลผลิตของละมุดส่วนหนึ่งที่ไม่สามารถบริโภคได้หมด จึงอาจทำได้โดยการนำมาแปรรูปโดยอาศัยวิธีการทำให้แห้ง ซึ่งเป็นวิธีการถนอมอาหารแต่ดั้งเดิม สามารถยืดอายุการเก็บรักษา ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเบาลงง่ายต่อการขนส่ง ใช้พื้นที่เก็บน้อยลง และให้ผลิตภัณฑ์แปรรูปที่ตอบสนองต่อความต้องการที่แตกต่างของผู้บริโภค

กระบวนการทำให้แห้งเป็นกระบวนการที่ต้องใช้พลังงาน และความเข้าใจในกระบวนการทำให้แห้งมีความสำคัญถ้าต้องการให้การทำให้แห้งมีประสิทธิภาพสูงในขณะที่ยังคงรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้งไว้ได้ ทั้งนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ได้จะมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และชีววิทยามากมายในระหว่างกระบวนการทำให้แห้ง โดยทั่วไปการทำให้แห้งโดยการใช้ความร้อนจะต้องใช้พลังงานมาก ดังนั้นการลดการใช้พลังงานที่ต้องใช้ต่อหน่วยของความชื้นของผลิตภัณฑ์จึงมีความจำเป็นเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องมือที่ใช้อบแห้ง และลดเวลาที่ต้องใช้ในการอบแห้งลง (Chua et al., 2001)

โดยทั่วไป การใช้เวลาในการอบแห้งด้วยความร้อนนานเกินไปจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำเนื่องจากเกิดปฏิกิริยา caramelisation, Millard reaction, enzymatic reaction, pigment degradation และ L-ascorbic acid oxidation (Homer, 1993; Lee and Kim, 1989) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงสูญเสียคุณค่าทางโภชนะ และคุณลักษณะที่ดีทางประสาทสัมผัส (sensorial values) (Lenart, 1996) ดังนั้นการกำจัดน้ำออกด้วยเทคนิคลมร้อน (hot air dehydration) จึงมักมีข้อเสียและข้อจำกัดหลายประการ อุณหภูมิที่ใช้มักอยู่ในช่วง 60-90 องศาเซลเซียสหรือมากกว่า และอาจใช้เวลาตั้งแต่ไม่กี่ชั่วโมงจนถึง 15 ชั่วโมงหรือมากกว่า ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้และขนาดของตัวอย่าง จึงมักก่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีหรือปฏิกิริยาที่ใช้เอ็นไซม์ที่ทำให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนะ เช่น วิตามินซี เกิดการย่อยสลายสารประกอบที่ให้กลิ่นรส (flavor compounds) และมีการเปลี่ยนแปลงของสีและกลิ่นของผลิตภัณฑ์ (Lin et al., 1998; 1999; Drouzas and Schubert, 1996) ทั้งนี้เนื่องจากที่อุณหภูมิดังกล่าว จะเกิดการระเหยของสารประกอบที่ระเหยได้ง่าย (volatile compounds) (Yousif et al., 1999)

นอกจากนั้น การอบแห้งด้วยลมร้อนยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างในอาหาร ทำให้เนื้อเยื่อของอาหารแข็งและเกิด collapse ซึ่งมีผลให้เนื้อสัมผัสแห้งและยับยั้งการเกิดการดูดกลับคืนน้ำ (Karel, 1975) ตัวอย่างเช่น Sigge et al. (1999) เสนอว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับอบแห้งพริกหวานสี

เชียวคือที่อุณหภูมิ 55 และ 60 องศาเซลเซียส (15-40%RH) ให้ผลิตภัณฑ์อบแห้งที่มีสีที่ดีและมีปริมาณกรดแอสคอร์บิกคงอยู่สูงกว่าเมื่อใช้การอบที่อุณหภูมิสูงกว่านี้

กระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน เป็นเทคนิคดั้งเดิมที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในการถนอม (preserve) ผลไม้ (Ponting, 1973; Bolin and Huxsoll, 1993; Giangiacomo et al., 1994; Alvarez et al., 1995; Lenart, 1996; Sankat et al., 1996; Simal et al., 1997; Mavaroudis et al., 1998; Nieto et al., 1998; Ramaswamy and Nsonzi, 1998; Venkatachalapathy and Raghavan, 1998; Reppa et al., 1999; Prothon et al., 2001) เนื่องจากให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางโภชนะและรสชาติเป็นที่พึงพอใจแก่ผู้บริโภค (Ponting et al., 1966) อย่างไรก็ตาม การใช้เทคนิคออสโมติกดีไฮเดรชันไม่สามารถให้ผลิตภัณฑ์ที่เสถียร จำเป็นต้องใช้ร่วมกับเทคนิคอื่น เช่น การทำให้แห้งโดยใช้ความร้อน การแช่แข็ง พลาสเตอไรเซชัน (plasterization) หรือเติมสารถนอมอาหารประเภทอื่น เพื่อให้แน่ใจว่าสามารถเก็บรักษาผักและผลไม้ได้ในระยะเวลาที่เหมาะสม

เทคนิคออสโมติกดีไฮเดรชันเป็นกระบวนการที่กำจัดน้ำบางส่วนออกจากเซลของผักและผลไม้โดยแช่ผักและผลไม้ในสารละลายออสโมติก (osmotic solution) ซึ่งจะเกิดแรงขับเคลื่อน (driving force) ให้น้ำเคลื่อนที่ออกจากเซล เนื่องจากความแตกต่างของความดันออสโมติก (osmotic pressure) ระหว่างอาหารและสารละลายที่ล้อมรอบมันอยู่ โครงสร้างของเซลที่ซับซ้อนของอาหารจะทำหน้าที่เหมือนกับเมมเบรนที่สารสามารถผ่านเข้าออกได้บ้าง (semi-permeable membrane) แต่เนื่องจากเมมเบรนที่รับผิดชอบต่อการถ่ายโอนออสโมติก (osmotic transport) ไม่เฉพาะเจาะจงอย่างสมบูรณ์ ดังนั้นตัวถูกละลายอื่นที่อยู่ในเซลจึงสามารถหลุดออกมาสู่สารละลายออสโมติกได้เช่นกัน (Dixon and Jen, 1977; Lerici et al., 1985; Giangiacomo et al.,1987)

โดยทั่วไป อัตราการการแพร่ผ่าน (diffusion) ของน้ำออกจากเนื้อเยื่อของเซลขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น อุณหภูมิ และความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก ขนาดและจีโอเมตรี (geometry) ของสาร อัตราส่วนของมวลสารและสารละลาย (the solution to material mass ratio) การคนหรือกวน (level of agitation) ของสารละลาย เวลาที่ใช้ในการแช่ตัวอย่างในสารละลายออสโมติก และการจัดการเบื้องต้นกับผลิตภัณฑ์ (Azuara et al., 1992; Rastogi et al., 1997; Del Valle et al., 1998; Corzo and Gomes, 2004; Fito, 1994; Pokharkar, Prasad and Das, 1997; Raoult et al., 1989; Raoult-Wack, 1994, Rastogi et al., 1999; Rastogi and Niranjan, 1998; Rastogi and Raghavarao, 1997; Simal et al., 1998; Torreggiani, 1993) อย่างไรก็ตามถึงแม้อัตราการถ่ายโอนมวลจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่มักพบว่าอุณหภูมิสูงจะไปเหนี่ยวนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นที่ต้องการ

มีรายงานจำนวนมากที่อธิบายถึงอิทธิพลของตัวแปร (variable) มากมายที่เกี่ยวข้องการกับอัตราการถ่ายโอนมวล (mass transfer rate) ระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน (Raoult-Wack, Lenart and Guilbert 1992; Fito, 1994; Torreggiani, 1993; Raout-Wack, 1994; Rastogi and Raghavaro, 1994, 1995, 1996, 1997a, 1997b; Rastogi and Niranjan, 1998; Rastogi,

Raghavarao and Niranjan, 1997, 1999; Ade-Omowaye et al., 2002) การถ่ายโอนมวลระหว่างการจัดการด้วยออสโมติก (osmotic treatment) ผ่านเซลเมมเบรนของสารทางชีววิทยา (biological material) อาจมีการเปลี่ยนแปลงการแพร่ผ่านได้จากบางส่วนเป็นอย่างสมบูรณ์ ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญของโครงสร้างของเนื้อเยื่อ (tissue architecture) โดยในระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน น้ำที่อยู่ที่พื้นผิวส่วนหน้าของอาหารที่สัมผัสกับสารละลายออสโมติกที่ล้อมรอบอยู่จะถูกดึงออกก่อนภายใน ทำให้เกิด disintegration ของเซลเนื่องจากความเครียดจากออสโมติก (osmotic stress) ความเสียหายของเซลที่มักเกิดขึ้นบ่อย ๆ มาจากการลดขนาดของสารเนื่องจากการสูญเสียน้ำในระหว่างการจัดการออสโมติก ซึ่งก่อให้เกิดการสูญเสียการสัมผัสระหว่างเซลเมมเบรนและผนังเซล (Rastogi et al., 2000)

สารออสโมติก (osmotic agent) ที่นิยมใช้ เช่น ซูโครส กลูโคส ฟรุกโตส คอร์นไซรัป (corn syrup) โซเดียมคลอไรด์ และสารผสมระหว่างสารเหล่านี้ โดยทั่วไปมักนิยมใช้ซูโครสกับผลไม้ และใช้โซเดียมคลอไรด์กับผัก โดยสารละลายซูโครสที่ใช้มักอยู่ในช่วงความเข้มข้น 50-70 องศาบริกซ์ (°Brix) (Lerici et al., 1985) นอกจากนั้นการเติมโซเดียมคลอไรด์เพียงเล็กน้อยลงในสารละลายออสโมติกจะช่วยเพิ่มแรงขับเคลื่อนของกระบวนการทำให้แห้งและก่อให้เกิด synergistic effect ระหว่างซูโครสกับโซเดียมคลอไรด์ (Lerici et al., 1985)

การจัดการเบื้องต้นและสภาวะที่ใช้ในกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันมีอิทธิพลต่อธรรมชาติของเนื้อเยื่อของผักและผลไม้ ซึ่งมีผลอย่างมากต่อการแลกเปลี่ยนมวล การทำลาย (disruption) ตัวกีดกันของโครงสร้าง (structural barrier) จะช่วยเพิ่มการแพร่ผ่าน (diffusion) ของน้ำและตัวถูกละลาย ทำให้เกิดสมดุลเร็วขึ้น และให้ตัวถูกละลายผ่านเข้าไปในผลิตภัณฑ์มากขึ้น (Ade-Omoway et al., 2002) ดังนั้นการทำบลานชิง (blanching) การแช่แข็ง/ทำให้ละลาย (freezing/thawing) การใช้สารเคมีพวกซัลเฟต (sulphating) การทำให้มีสภาพเป็นกรด (acidification) และกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิสูง รวมทั้งการใช้เทคนิคออสโมติกดีไฮเดรชันต่างก็ช่วยให้ตัวถูกละลายแพร่ผ่านเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ได้ดีขึ้น (Lazarides et al., 1999)

นอกจากนั้นเทคนิคออสโมติกดีไฮเดรชันยังสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล (enzymatic browning) ทำให้สีตามธรรมชาติคงอยู่ได้โดยไม่ต้องเติมซัลไฟต์ และทำให้สารประกอบที่ระเหยได้ง่ายคงอยู่ในระหว่างการทำให้แห้งในขั้นตอนถัดไป ทั้งนี้เนื่องจากในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อบแห้ง เมื่อกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันสิ้นสุดลง จำเป็นต้องผ่านกระบวนการทำให้แห้งโดยวิธีอื่น ทั้งนี้เนื่องจากเทคนิคออสโมติกดีไฮเดรชันจะกำจัดน้ำจากผลไม้ได้ถึงระดับหนึ่งที่แน่นอน แต่ยังมีค่าสูงเกินกว่าจะเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เป็นเวลานานได้ จึงจำเป็นต้องตามด้วยกระบวนการอื่นที่สามารถลดปริมาณน้ำในผลไม้ได้มากขึ้น เช่น การใช้ลมร้อน (Lenart, 1996; Simal et al., 1997; Nieto et al., 1998; Reppa et al., 1999; Bolin and Huxsoll, 1993; sankat et al., 1996; Alvarez et al., 1995; Ramaswamy and Nsonzy, 1998; Gianggiacoma et al., 1994) เพื่อทำให้เกิดการเสถียรของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา (shelf stable)

การประยุกต์ใช้เทคนิคออสโมติกดีไฮเดรชันร่วมกับการอบแห้งด้วยลมร้อน (Farkas and Lazar, 1969) พบว่าให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางโภชนะและการประเมินทางประสาทสัมผัสดีขึ้นกว่าเมื่อใช้กระบวนการทำให้แห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว (Vijayanand et al., 1995) โดยช่วยลดการใช้พลังงาน และช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้งให้ดีขึ้น (Jayaraman and Das Gupta, 1995; Karathanos, Kostaropoulos, and Saravacos,1995; Sereno, Moreira and Martinez, 2001; Torreggiani, 1993; El-Aouar, Azoubel and Murr, 2003)

Ehabe, Eyabi Eyabi and Numfor (2005) ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำตาลและเกลือในการถนอมกล้วย (sweet banana figs) โดยการจุ่มกล้วยลงในสารละลายดังกล่าวก่อนนำไปอบต่อด้วยลมร้อน นอกจากจะทำให้มีองค์ประกอบทางเคมี รสชาติเป็นที่ยอมรับมากขึ้นแล้ว ยังมีคุณภาพในการเก็บรักษาของกล้วยเพิ่มขึ้นด้วย โดยไปชลอหรือยับยั้งการเจริญของราที่พื้นผิวของกล้วย ในทำนองเดียวกัน Ade-Omowaye et al. (2002) ศึกษาการทำให้แห้งของพริกปาปริกา (paprika dehydration) โดยใช้การจัดการเบื้องต้นก่อนด้วยกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันและตามด้วยการอบแห้งด้วยลมร้อน พบว่าสามารถลดการเสียหายจากความร้อน (heat damage) ของเนื้อสัมผัส (texture) สี และกลิ่นรสของอาหารลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การแปรรูปโดยวิธีการทำให้แห้งโดยใช้เทคนิคไมโครเวฟ เป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในปัจจุบันเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดจากกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อน เนื่องจากวิธีนี้มีการถ่ายเทความร้อนได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นความชื้นในอาหารจึงถูกทำให้ระเหยอย่างรวดเร็วโดยไม่ก่อให้เกิดอุณหภูมิสูงเกินไป และไม่ทำให้พื้นผิวด้านนอกของอาหารถูกทำให้แห้งเกินไป จึงให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี พลังงานไมโครเวฟถูกนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารได้ดี เช่น การพลาสเจอไรซ์อาหาร การที่ไมโครเวฟมี high thermal efficiency ที่ปริมาณความชื้นต่ำทำให้สามารถลดพลังงานที่ต้องใช้เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ลมร้อนในการอบแห้งแบบดั้งเดิม (Nijhuis et al., 1996) ซึ่งสามารถสรุปข้อดีได้ดังนี้

1. ให้ประสิทธิภาพการทำให้แห้งมากกว่าในช่วงที่อัตราการทำให้แห้งเริ่มลดลง จึงมีผลลดระยะเวลาที่ต้องใช้ในการทำให้แห้ง
2. มีการกระจายของพลังงานทั่วทั้งวัตถุอย่างรวดเร็ว และให้ความร้องแบบเดียวกันทั่วทั้งอาหาร
3. สามารถผสมการใช้งานกับกระบวนการทำให้แห้งวิธีอื่นได้ง่าย
4. selective heating of center with suitable product properties
5. หลีกเลี่ยงการเกิดผลิตภัณฑ์ที่แห้งเกินไป (overdrying) โดยป้องกันไม่ให้ที่บริเวณพื้นผิวมีอุณหภูมิสูงเกินไป
6. possibility for puffing the material
7. สามารถลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ได้โดยการใช้ควบคู่กับการจัดการด้วยสุญญากาศ (vacuum treatment)
8. มีการเคลื่อนย้ายขององค์ประกอบที่ละลายน้ำไม่มากนัก

9. สามารถประหยัดพลังงานได้

มีรายงานการประยุกต์ใช้เทคนิคไมโครเวฟในกระบวนการทำให้แห้งของอาหารหลายชนิด (Giese, 1992) เช่น กล้วย (Drouzas and Schubert; 1996) มันฝรั่ง และแอปเปิ้ล (Huxsoll and Morgan, 1968) พบว่าให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีขึ้น ทั้งรส กลิ่นและลักษณะทางกายภาพ ทำให้เกิดกระบวนการรีไฮเดรชันได้เร็วและดีขึ้น ประหยัดพลังงาน และใช้เวลาในการทำให้แห้งสั้นลงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้การอบด้วยลมร้อน (Rosenberg and Boegl, 1987; Decareau, 1985; Diaz et al., 2003) ปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการกำหนดประสิทธิภาพของการทำให้แห้งด้วยไมโครเวฟคือ กำลังไฟไมโครเวฟที่ใช้ พบว่าการทำให้แห้งโดยใช้ความหนาแน่นของกำลังไฟไมโครเวฟสูง (higher microwave power density) จะใช้เวลาในการทำให้แห้งสั้นลง ลดการหดตัว (reduced shrinkage) มีความพรุน (higher open-pore porosity) มากขึ้น และปรับปรุงให้มีสมบัติดูดกลับคืนน้ำดีขึ้นกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้การทำให้แห้งด้วยลมร้อนแบบดั้งเดิม

Venkatachalapathy and Raghavan (1998) รายงานการใช้เทคนิคไมโคเวฟหลังกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันในการแปรรูปผลบลูเบอรี่ว่า ให้อัตราการทำให้แห้ง (drying rate) และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีกว่าเมื่อทำให้แห้งโดยการใช้ลมร้อนหลังจากกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน เนื่องจากไมโครเวฟมีประสิทธิภาพการให้ความร้อนสูง (high thermal efficiency) จึงใช้เวลาในการอบสั้นกว่า และอาจช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ด้วย (Garcia, Leal and Rolz,1988; Prabhanjan, Ramaswamy and Raghavan, 1995; Torringa, Van Dijik and Bartels, 1996)

อย่างไรก็ตามปัญหาที่มักพบเมื่อใช้เทคนิคการอบแห้งด้วยไมโครเวฟคือ non-uniformity in heating ซึ่งอาจทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณน้ำตาลสูงเกิดไหม้เกรียม (scorch) ได้ จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์เพื่อให้ได้รับคลื่นไมโครเวฟอย่างสม่ำเสมอ หรืออาจแก้ปัญหาด้วยการใช้เทคนิคไมโครเวฟสุญญากาศ (vacuum microwave technique) แต่มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง จึงมักนิยมใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการคุณภาพสูงมากเท่านั้น (Drouzas and Schubert, 1996)

ในบางกรณีจะใช้เทคนิคไมโครเวฟควบคู่กับวิธีการทำให้แห้งด้วยลมร้อน พบว่าไมโครเวฟจะเพิ่มอัตราการทำให้แห้งด้วยอากาศ (air-drying rate) (Kostaropoulos and Saravacos, 1995; Al-Duri and McIntyre,1991; Jolly,1986)) ซึ่งจะมีผลให้โครงสร้างของอาหารมีความพรุน (porous) ทำให้การถ่ายเท (transport) ของน้ำเกิดได้ง่ายขึ้น (Marousis, Karathanos and Saravacos, 1991) ส่งผลให้การอบแห้งด้วยลมร้อนมีประสิทธิภาพสูงขึ้นและให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีกว่าเมื่ออบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว หรือด้วยไมโครเวฟเพียงอย่างเดียว

มีรายงานการใช้เทคนิคไมโครเวฟ-ลมร้อนในการอบแห้งผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น องุ่น (Tulasidas et al., 1993) แครอท (Prabhanjan, Ramaswamy, and Ranghavan, 1995) แอปเปิ้ลและเห็ด (Funebo and Ohlsson, 1998) และกระเทียม (Sharma and Prasad, 2001) เป็นต้น เนื่องจากการอบด้วยลมร้อนจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำอิสระ (free water) ที่บริเวณพื้นผิว (surface) หรือ

มน TX 612 .F7 ว4835 2548

สำนักหอสมุด
- 9 ม.ค. 2549
4910370

บริเวณใกล้เคียง ในขณะที่ไมโครเวฟจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำอิสระที่อยู่ภายใน (internal free water) (Schiffmann, 1995) จึงช่วยลดการเกิดสีน้ำตาล ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพทางกายภาพดีขึ้น

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาการทำให้แห้งของละมุดโดยใช้เทคนิคออสโมติกในการจัดการเบื้องต้น (pre-treatment) ก่อนแล้วจึงตามด้วยกระบวนการทำให้แห้งด้วยไมโครเวฟ-ลมร้อน โดยมุ่งหวังว่า

1. จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะแบบเดียวกัน (unique products) ที่มีรสชาติที่ดีขึ้น
2. ปรับปรุง flavor characteristics และ/หรือ เพิ่มคุณค่าทางโภชนะ
3. ป้องกันการเกิดออกซิเดชันของผลิตภัณฑ์และทำให้สีของผลิตภัณฑ์มีความเสถียร
4. ปรับปรุงเนื้อสัมผัส (texture) ของผลิตภัณฑ์ เช่น ให้ปริมาตรสุดท้ายมากกว่า (higher final bulk volume) เมื่อเปรียบเทียบกับการทำให้แห้งโดยการให้อากาศร้อน หรือการใช้ไมโครเวฟเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีการจัดการก่อนเบื้องต้นด้วยเทคนิคออสโมติก

ดังนั้นหากการใช้เทคนิคผสมออสโมติก-ไมโครเวฟ-ลมร้อนในการแปรรูละมุดโดยการทำให้แห้งสามารถให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงในระยะเวลาที่สั้นลง จะส่งผลให้มีความเป็นไปได้ในการพัฒนาสู่การผลิตในกระบวนการทางอุตสาหกรรมได้มากขึ้น รวมทั้งสามารถควบคุมการผลิตให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีมาตรฐานตามกำหนดได้ง่ายขึ้น เหมาะกับการขยายตลาดเพื่อการส่งออกต่างประเทศต่อไป