

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะทั่วไปและลักษณะประจำพันธุ์ลิ้นจี่

ลิ้นจี่จัดอยู่ใน Order Sapindales, Family Sapindaceae (soap berry family) โดยมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ ดังนี้ *Litchi chinensis* Sonn. มีชื่อสามัญว่า lychee, litchi, lichi, lichee, leechee, laichi และ leet-jee, โดย 2 ชื่อแรกนิยมใช้กันมากที่สุด (รัตนาและนิธิยา, 2546)

พันธุ์ลิ้นจี่ที่ปลูกในประเทศไทยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ตามแหล่งปลูกดังนี้

1. กลุ่มพันธุ์ที่ปลูกทางภาคเหนือ เป็นพันธุ์ที่ต้องการความหนาวเย็นมากและยาวนานก่อนการออกดอก ได้แก่ สงฮวย จักรพรรดิ กิมเจง โอวเฮียะ กวางเจา บริวสเตอร์ และกิมจี เป็นต้น

ลักษณะประจำพันธุ์ลิ้นจี่ที่ปลูกทางภาคเหนือ

พันธุ์สงฮวย เป็นพันธุ์ที่ปลูกกันมากที่สุดทางภาคเหนือตอนบน โตเร็ว ทรงพุ่มใหญ่ ใบหนา สีเขียว ขอบใบเป็นคลื่นเล็กน้อย ยอดอ่อนสีเหลืองอ่อนปนเขียว จัดเป็นพันธุ์กลาง ออกดอกประมาณเดือนธันวาคมถึงมกราคม ผลแก่ เดือนพฤษภาคม ติดผลดีสม่ำเสมอ ผลดก ผลผลิตสูง ผลโตขนาดผลกว้าง 3.00 เซนติเมตร ยาว 3.5 เซนติเมตร ผลหนักประมาณ 20-30 กรัม ผลทรงกลมรีจนถึงรูปหัวใจ ใหญ่กว่าหนามห่าง เปลือกค่อนข้างบาง ผิวสีแดงอมชมพู เนื้อสีขาวขุ่น รสหวานอมเปรี้ยว กลิ่นหอม คุณภาพดี เมล็ดโต ความหวานประมาณร้อยละ 17

พันธุ์โอวเฮียะ ทรงพุ่มใหญ่แต่เล็กกว่าพันธุ์สงฮวย มีกิ่งก้านมากเกิดเป็นมุมแคบ ใบเล็กยาว สีเขียวเข้ม ยอดอ่อนสีแดง เป็นพันธุ์หนัก ออกดอกติดผลไม่สม่ำเสมอ ช่อผลมีขนาดเล็กกว่าพันธุ์สงฮวย ผลทรงรูปหัวใจป้อม ขนาดผลกว้าง 3.0 เซนติเมตร ยาว 3.2 เซนติเมตร ผลหนักประมาณ 18-25 กรัม ผิวผลสีแดงเข้มออกคล้ำ เปลือกบาง เนื้อหนา สีขาวขุ่น เนื้อนุ่ม คุณภาพดีกว่าพันธุ์สงฮวย กลิ่นหอมน้อยกว่าพันธุ์สงฮวย กิ่งลึกลง ออกดอกประมาณเดือนมกราคม ผลแก่ประมาณต้นมิถุนายน จัดเป็นพันธุ์หนักต้องการความหนาวเย็นมากและยาวนาน ความหวานร้อยละ 18.5

พันธุ์กิมเจง จัดเป็นพันธุ์หนักต้องการอากาศหนาวเย็นมากและยาวนาน ทรงพุ่มเล็ก ใบเล็ก สั้น ยอดอ่อนสีแดง โด่เช้า ทรงผลกลม ขนาดผลกว้าง 2.8 เซนติเมตร ผลหนักประมาณ 18-20 กรัม หนามใหญ่เกิดห่าง ผิวผลสีแดงอม ชมพู หรือสีออกแดง เนื้อผลสีขาวขุ่น เมล็ดลึบ ออกดอก ประมาณปลายเดือนมกราคมถึงกุมภาพันธ์ เก็บเกี่ยวผล กลางเดือนมิถุนายน พันธุ์กิมเจงอาจแบ่ง ออกได้เป็น "กิมเจงหนามแหลม" และ "กิมเจงหนามราบ" ความหวานประมาณร้อยละ 18

พันธุ์กวางเจา ต้นเป็นพุ่มกว้าง ใบเล็กยาวคล้ายพันธุ์โอเฮียะแต่ผลขนาดใหญ่กว่า เจริญเติบโตช้ากว่าพันธุ์สงฮวย ออกดอกเดือนกุมภาพันธ์ถึงมีนาคม ผลแก่ต้นเดือนมิถุนายน ผลทรง รูปหัวใจ หนามไม่แหลม สีของเปลือก เมื่อแก่จัดมีสีแดง ผลหนักประมาณ 35-40 กรัมต่อผล ความ หวานร้อยละ 18.5

พันธุ์จักรพรรดิ ผลโตมาก ออกดอกประมาณเดือนมกราคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ ผลแก่ ปลายเดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคม ขนาดผลกว้าง 4.4 เซนติเมตร ยาว 4.2 เซนติเมตร ผลหนัก 40-50 กรัม หนามไม่แหลม เปลือกหนา เมื่อแก่จัดสีชมพูแดง เนื้อผลหนา 1.1 เซนติเมตร เนื้อมีน้ำ ค่อนข้างมาก รสดีพอใช้ ความหวานประมาณร้อยละ 18

2. กลุ่มพันธุ์ที่ปลูกในภาคกลาง ส่วนใหญ่ต้องการความหนาวเย็นไม่มากและหนาวเย็นไม่ นานก็สามารถชักนำให้ออกดอกได้ ปลูกบริเวณที่ราบต่ำแถวอำเภออัมพวา และบางคนที่ จังหวัด สมุทรสงคราม ได้แก่ พันธุ์ค่อม (ค่อมลำเจียก) กะโหลกใบยาว สำเภาแก้ว กระโถนท้องพระโรง เขียวหวาน สาแหรกทอง จีน ไทยธรรมดา ไทยใหญ่ กะโหลกใบใหม่ กะโหลกในเตา ช่อระกำ และ พันธุ์ทิพย์ เป็นต้น

ลักษณะประจำพันธุ์ลินจี่ที่ปลูกทางภาคกลาง

พันธุ์กระโถนท้องพระโรง ผลโต ขนาดผลกว้าง 3.5 เซนติเมตร ยาว 3.8 เซนติเมตร ทรงผล รูปหัวใจฐานผลราบ ปลายผลมน หนามเล็กเกิดห่าง ผิวผลแดงคล้ำ ฐานหนามมีรอยสีน้ำตาลเป็น แฉกๆ เนื้อผลสีขาวขุ่น น้ำมาก รสหวาน อมเปรี้ยว ฝาดเล็กน้อย เมล็ดโต ความหวานประมาณ ร้อยละ 19

พันธุ์ค่อม ผลโตแต่เล็กกว่าพันธุ์กระโถนท้องพระโรง ผลรูปหัวใจ ใหญ่ข้างหนึ่งยกขึ้น หนามแหลมสั้น มีแฉกเห็น ชัด ระหว่างหนามมีร่องสีเขียวอมเหลือง ผิวสีแดงอมชมพูแก่ เนื้อผลน้ำ น้ำ รสหวานอมฝาด เมล็ดทรงยาว ขนาดผล กว้าง 3.3 เซนติเมตร ยาว 3.5 เซนติเมตร ความหวาน ประมาณร้อยละ 19.5

พันธุ์เขียวหวาน ผลทรงกลม ขนาดผลกว้าง 2.8 เซนติเมตร ยาว 2.8 เซนติเมตร จำนวนผล 1 กิโลกรัม มีประมาณ 60-70 ผล ผิวผลสีเขียวอมเหลือง ฐานฐานผล สีแดงอมชมพู หนามโต

เนื้อบาง สีขาวขุ่น รสหวานอมฝาด กรอบ มีกลิ่น หอม เมล็ดโต ความหวานประมาณ ร้อยละ 17.5 ในสภาพภาคเหนือ ผลแก่ก่อนสงขวยประมาณ 2 สัปดาห์

พันธุ์สาแทรกทอง ผลทรงกลมแบนเล็กน้อย ขนาดผลกว้าง 3.2 เซนติเมตร ยาว 3.20 เซนติเมตร ด้านบนของผล ขยายออก บางผลคล้ายรูปหัวใจ ใหล่ผลเล็กน้อย ปลายผลมน ผิวสี แดงอมชมพู ระหว่างหนาม สีขาวอมเขียว หนามเล็กสั้นเกิดถี่ปานกลาง เนื้อผลหนา สีขาวขุ่น น้ำ มาก รสหวาน กลิ่นหอม ความหวานประมาณร้อยละ 18.5

พันธุ์จิ้น ผลค่อนข้างกลม ขนาดผลกว้าง 3.1 เซนติเมตร ยาว 3.2 เซนติเมตร หนามโตปาน กลาง แหลม ผิวสีแดง เลือคนก ระหว่างหนามมีสีน้ำตาลแห้งๆ เนื้อหนา สีขาวขุ่น รสเปรี้ยว เมล็ดโต ปานกลาง ความหวานประมาณร้อยละ 18 (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

ซึ่งสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรได้ทำการเปรียบเทียบผลผลิตต่อเนื้อที่ให้ผลของจังหวัด ทางภาคเหนือ แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ลิ้นจี่ : ร้อยละและปริมาณการขายผลผลิตรายเดือน ปี 2553

ภาค/จังหวัด	รายการ	ร้อยละ และปริมาณการขายผลผลิตรายเดือน (1 เม.ย. - 31 ก.ค. 2553)				รวม ร้อยละ/ตัน
		เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	
4 จังหวัดภาคเหนือ	ร้อยละ	7.63	57.91	31.89	2.57	100.00
	ปริมาณ	4,757	36,118	19,886	1,605	62,366
เชียงราย	ร้อยละ	-	60.00	40.00	-	100.00
	ปริมาณ	-	9,503	6,336	-	15,839
พะเยา	ร้อยละ	24.00	76.00	-	-	100.00
	ปริมาณ	2,937	9,299	-	-	12,236
เชียงใหม่	ร้อยละ	4.00	45.00	45.00	6.00	100.00
	ปริมาณ	1,070	12,039	12,038	1,605	26,752
น่าน	ร้อยละ	9.95	70.00	20.05	-	100.00
	ปริมาณ	750	5,277	1,512	-	7,539

ที่มา : คณะทำงานย่อยสำรวจข้อมูลไม้ผลเศรษฐกิจภาคเหนือ ปี 2553 (16 ก.พ.53)

ส่วนประกอบทางเคมีของผลลิ้นจี่ (รัตนานิธิยา, 2546)

ส่วนประกอบทางเคมีของผลลิ้นจี่ผันแปรไปตามสายพันธุ์ ระยะเวลาแก่ -อ่อน พื้นที่เพาะปลูก และการดูแลระหว่างการเพาะปลูก สำหรับส่วนประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการของผลลิ้นจี่สดและลิ้นจี่อบแห้งในส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบและคุณค่าทางโภชนาการของผลลิ้นจี่สดและลิ้นจี่อบแห้งในส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม

ส่วนประกอบทางเคมี	ลิ้นจี่สด	ลิ้นจี่อบแห้ง
พลังงาน (แคลอรี)	63.00-64.00	277.00
ความชื้น (ร้อยละต่อ 100 กรัม)	81.90-84.83	17.90-22.30
โปรตีน (กรัม/100 กรัม)	0.68-1.00	2.90-3.80
ไขมัน (กรัม/100 กรัม)	0.30-0.58	0.20-1.20
คาร์โบไฮเดรต (กรัม/100 กรัม)	13.31-16.40	70.70-77.50
เส้นใยอาหาร (กรัม/100 กรัม)	0.23-0.40	1.40
เถ้า (กรัม/100 กรัม)	0.37-0.50	1.50-2.00
แคลเซียม (มิลลิกรัม/100 กรัม)	8.00-10.00	33.00
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม/100 กรัม)	30.00-42.00	-
เหล็ก (มิลลิกรัม/100 กรัม)	0.40	1.70
โซเดียม (มิลลิกรัม/100 กรัม)	3.00	3.00
โพแทสเซียม (มิลลิกรัม/100 กรัม)	170.00	1,100.00
วิตามินบี 1 (ไทอามิน) (ไมโครกรัม/100 กรัม)	28.00	-
วิตามินบี 2 (ไรโบฟลาวิน) (มิลลิกรัม/100 กรัม)	0.40	-
ไนอะซิน (กรดนิโคตินิก) (มิลลิกรัม/100 กรัม)	0.05	0.05
วิตามินซี (กรดแอสคอร์บิก) (มิลลิกรัม/100 กรัม)	24.00-60.00	42.00

ที่มา : Morton *et al.* (1987)

2.2 การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล

2.2.1 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ (enzymatic browning reaction)

การเกิดสีน้ำตาลที่เร่งจากปฏิกิริยาเอนไซม์ เป็นปัญหาสำคัญที่พบในผัก ผลไม้สดและน้ำผลไม้มากกว่าผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการแปรรูปด้วยความร้อน เนื่องจากความร้อนที่ใช้ในการแปรรูปจะทำให้ประสิทธิภาพของเอนไซม์เสียไปได้ ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เร่งจากเอนไซม์ในผักและผลไม้คือ ความเข้มข้นของเอนไซม์ และสารประกอบฟีนอลที่เป็นซับสเตรท ความเป็นกรด-ด่าง ออกซิเจน และอุณหภูมิ เป็นต้น (คิวาพร, 2546) เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ได้แก่ เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) พบมากที่สุดในเรื่องเนื้อเยื่อพืช เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสพบทั้งในพืช และสัตว์ และจุลินทรีย์บางชนิด เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชันได้เป็น *ออร์โท*-ไดฟีนอล (*o*-diphenol) สารนี้จะถูกออกซิไดส์ต่อไปเป็น *ออร์โท*-ควิโนน (*o*-quinone) ควิโนนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาที่เร่งด้วยเอนไซม์ PPO นี้ จะรวมตัวกันและเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดกับสารประกอบฟีนอลอื่นๆ หรือกับกรดอะมิโนได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำตาล ซับสเตรทที่ถูกออกซิไดส์ได้ด้วยเอนไซม์ PPO ได้แก่ สารประกอบฟีนอลที่มีอยู่ในพืชซึ่งเป็นสารฟลาโวนอยด์ (flavonoids) เช่น แอนโทไซยานิน ไดไฮดรอกซีแอนโทไซยานิน ฟลาโวนอล แคทีคอล กรดคาเฟอิก กรดคลอโรจีนิก แคทีชิน เอสเทอร์ของกรดซินนามิก (cinnamic acid ester) 3,4-ไดไฮดรอกซีฟีนิลอะลานีน (3,4-dihydroxyphenylalanine หรือ DOPA) และไทโรซีน ฟีเอนที่เหมาะสมสำหรับการทำงานเอนไซม์ PPO อยู่ในช่วงฟีเอน 5-7 เอนไซม์นี้ไม่ค่อยคงตัว ถูกทำลายได้ด้วยความร้อน และถูกยับยั้งได้ด้วยกรดแฮไลด์ (halides) กรดฟีนอล ซัลไฟต์ กิเลตติ้งเอเจนต์ (chelating agents) และรีดิวซิงเอเจนต์ เช่น กรดแอสคอร์บิก และซิสเตอีน เป็นต้น (นิธิยา, 2549)

1. โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase)

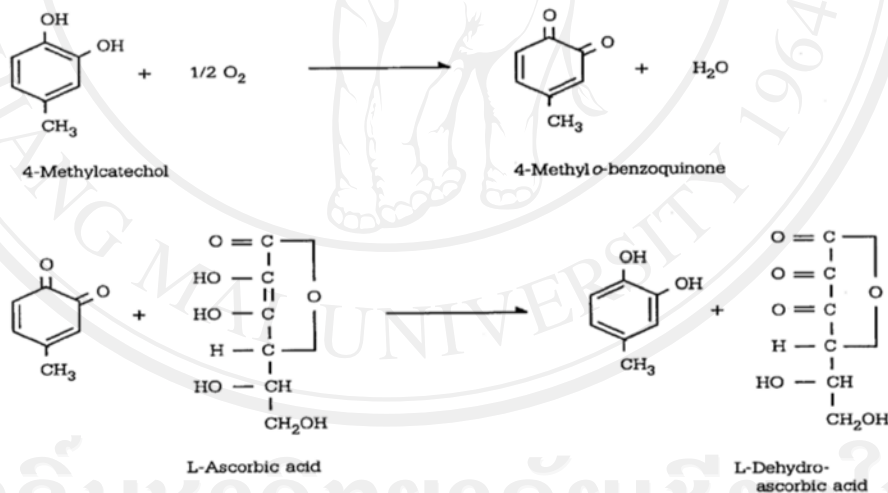
มีชื่อตามระบบคือ *o*-diphenol: oxidoreductase; EC 1.10.3.1 และมีชื่อสามัญต่าง ๆ กัน เช่น tyrosinase, polyphenolase, phenolase, catechol oxidase, cresolase และ catecholase ชื่อเหล่านี้เรียกตามซับสเตรท เช่น tyrosinase ได้ชื่อมาจากซับสเตรท tyrosine ต่อมาชื่อนี้จึงจำเพาะให้เรียกเอนไซม์จากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม และมีความจำเพาะกับ tyrosine dihydroxyphenylalanine ต่อมามีการพบเอนไซม์นี้ในสัตว์ชั้นสูงและกลุ่มรา ซึ่งสามารถเร่งการออกซิไดส์พวก monophenolic และ *o*-diphenolic การใช้ polyphenol oxidase มีลักษณะการใช้ตามเอกทิวติของเอนไซม์ กล่าวคือในปฏิกิริยาจะทำให้เกิดสารประกอบที่เกิดสี ดังนั้นจึงได้นำเอนไซม์นี้มาใช้ในการบ่มใบชา ใบกาแฟ

ใบยาสูบ เพื่อให้เกิดสีน้ำตาลแต่ไม่บ่อยนัก ตลอดทั้งใช้ในการพิจารณาคุณภาพของผัก และผลไม้ กล่าวคือ ถ้าผลไม้มีสีน้ำตาล แสดงว่ามีรอยชำเกิดขึ้น ทั้งนี้เพราะในธรรมชาติของเอนไซม์และ ไซบสเตรทจะพบรวมกันอยู่ในผัก และผลไม้ แต่อยู่ต่างระดับเนื้อเยื่อ ถ้าผลไม้ หรือผัก มีรอยชำ รอย บูดสลายแม้เพียงเล็กน้อยปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจะเกิดขึ้นทันที (ปราณี, 2547)

การเปลี่ยนแปลงเอกทิตวิตีของโพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO)

การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นได้ด้วยกระบวนการดังต่อไปนี้

1. การลด O_2 (molecular oxygen) หรือการกำจัดไซบสเตรท (substrate limitaton) จะไปลด ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลของผลไม้ที่สืบเนื่องมาจากโพลีฟีนอลออกซิเดส
2. การเติมสารรีดิวซ์ (reducing agents) ซึ่งจะช่วยป้องกันการสะสม (accumulation) หรือ สร้างพอลิเมอร์ (polymerization) ของ ออร์โท-เบนโซควิโนน (*o*-benzoquinone) ดังตัวอย่าง ปฏิกิริยา



รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาการเติมสารรีดิวซ์ (reducing agents)

ที่มา : ปราณี (2547)

ตัวอย่าง สารรีดิวซ์ ได้แก่ กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) จะรีดิวซ์ออร์โท-เบนโซควิโนน กลับไปเป็นออร์โท-ไดฟีโนล ทันทีที่ออร์โท-เบนโซควิโนนถูกสร้างขึ้น ดังนั้นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจะไม่เกิด ในบางครั้งจะสังเกตเห็นแม้ว่าสารฟีนอลิกในผลไม้มีมาก แต่อาจไม่ใช่ไซบสเตรทของ PPO แต่สีของผลไม้เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้ม ที่เป็นดังนี้เพราะสารเหล่านั้นทำปฏิกิริยาอย่าง

รวดเร็วกับออร์โท-เบนโทควิโนนที่เกิดขึ้น (เดิมที่ตำแหน่งที่ 4 และ 5) เกิดเป็นสารประกอบใหม่ที่มีค่าสัมประสิทธิ์โมลาร์ของการดูดแสง (molar extinction co-efficients) สูงกว่าออร์โท-เบนโทควิโนนมาก หรือบางครั้งสูงกว่าการเกิดพอลิเมอร์ของออร์โท-เบนโทควิโนนมาก ด้วยเหตุนี้จึงเห็นว่าผลผลิตจาก PPO ในผลไม้จะซับซ้อนมาก และมักจะให้สีเข้มด้วย

3. การเติมสารประกอบจับโลหะ (metal complexing agents) เช่น NaF, azide ซึ่งจะยับยั้งปฏิกิริยาเอนไซม์ โดยจับกับ essential copper ซึ่งเป็นหมู่โปรสเทติก (prosthetic group) ของเอนไซม์

4. การให้ความร้อน จะทำให้โปรตีนเอนไซม์เสียสภาพธรรมชาติ (ปราณี, 2547)

2. เปอร์ออกซิเดส (Peroxidase)

มีลักษณะปฏิกิริยา : ปฏิกิริยาเปอร์ออกซิเดติก (Peroxidatic reaction) ดังนี้



เปอร์ออกซิเดสเป็นเอนไซม์ที่อยู่ทั่วไปในพืชชั้นสูงทุกชนิด โดยเฉพาะ fig sap และ horseradish นอกจากนี้ยังพบในเนื้อเยื่อสัตว์บางชนิด และจุลินทรีย์

ชนิดของเปอร์ออกซิเดสแบ่งได้ ดังนี้

(1) เปอร์ออกซิเดสที่มีเหล็ก (Iron-containing peroxidases)

(1.1) เปอร์ออกซิเดสที่มีหมู่เฟอร์ริโพรโทพอร์ไฟริน (Ferriprotoporphyrin peroxidases)

เอนไซม์บริสุทธิ์จะมีสีน้ำตาล มีเฟอร์ริโพรโทพอร์ไฟริน -III เป็นหมู่โปรสเทติก พบทั่วไปในสัตว์ชั้นสูง เช่น horseradish, turnip, Japanese radish, fig sap, พบในสัตว์ เช่น tryptophan pyrrolase, iodine peroxidase of thyroid พบในจุลินทรีย์เช่น cytochrome c-peroxidase ในยีสต์ เป็นต้น โปรสเทติกกรุป ถูกแยกออกจากส่วนของโปรตีนได้ด้วย อะซิโตนกรด (acidic acetone)

(1.2) Veroperoxidases

มีลักษณะที่แตกต่างไปจากกลุ่มที่ (1.1) คือ หมู่โปรสเทติกเป็นสารประกอบอื่นที่ไม่ใช่เฟอร์ริโพรโทพอร์ไฟริน -III และแยกออกมาจากส่วนของโปรตีนด้วยอะซิโตนกรด หรือซิลเวอร์ซัลเฟต (silver sulfate) ไม่ได้ และเอนไซม์บริสุทธิ์จะมีสีเขียว มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่

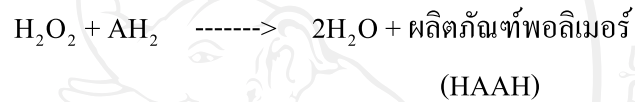
570-690 นาโนเมตร และ 403 นาโนเมตร ตัวอย่างได้แก่ เพอร์ออกซิเดสที่พบในไมเยโลไซทร์ (myelocytes) เรียกว่า myeloperoxidases และ lactoperoxidases ที่พบในนม

(2) Flavoprotein peroxidases

ได้แก่ เพอร์ออกซิเดสที่มีหมู่โพรสเทติก เป็น FAD (Flavin Adenine Dinucleotide) เช่น เพอร์ออกซิเดสที่สกัดจากรา *Streptococci* sp. (*Streptococcus faecalis*) และเนื้อเยื่อสัตว์หลายชนิด

ลักษณะปฏิกิริยาของเพอร์ออกซิเดส เร่งปฏิกิริยา 4 ลักษณะ ตามชนิดของซับสเตรตดังนี้

(1) ปฏิกิริยาเพอร์ออกซิเดติก Peroxidatic



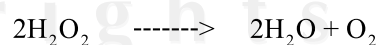
ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาหลักของ เพอร์ออกซิเดสใน in vitro ที่มีซับสเตรตเป็น สารประกอบฟีนอล เช่น พารา-ครีซอล (*p*-cresol), ไกวเอคอล (guaiacol), เรโซซินอล (resorcinol), อะนิลีน (aniline)

(2) ปฏิกิริยาออกซิเดติก (Oxidatic)

ปฏิกิริยาออกซิเดติกจะเกิดขึ้นเมื่อมีโมเลกุลออกซิเจน (O_2) และซับสเตรตเป็น สารประกอบพวกกรดไดไฮดรอกซีฟูมาริก (dihydroxyfumaric acid), กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) ไฮโดรควิโนน (hydroquinone) เป็นต้น

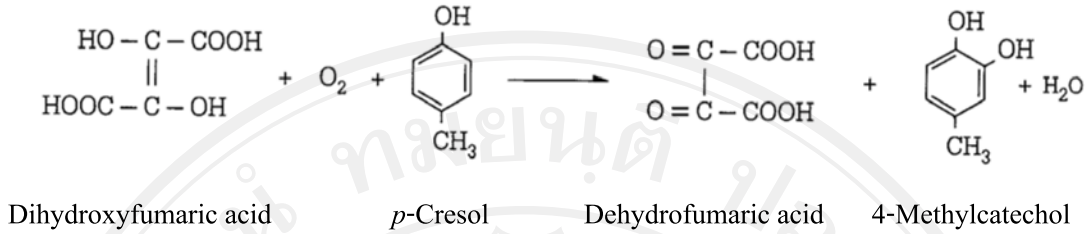
(3) ปฏิกิริยาแคทาเลติก (Catalatic)

ปฏิกิริยาเหมือนกรณีแคทาเลส



ปฏิกิริยาแคทาเลติกเกิดขึ้นได้ในกรณีที่ขาดตัวให้ไฮโดรเจน (AH_2) และเพอร์ออกซิเดส สามารถทำหน้าที่เหมือนแคทาเลส โดยเปลี่ยน H_2O_2 ไปเป็น H_2O และ O_2 ตามปฏิกิริยาได้บ้าง แต่ช้ากว่าแบบเพอร์ออกซิเดติกและออกซิเดติก อย่างน้อย 1,000 เท่า

(4) ปฏิกริยาเติมหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxylation)



รูปที่ 2.2 ปฏิกริยาเติมหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxylation)

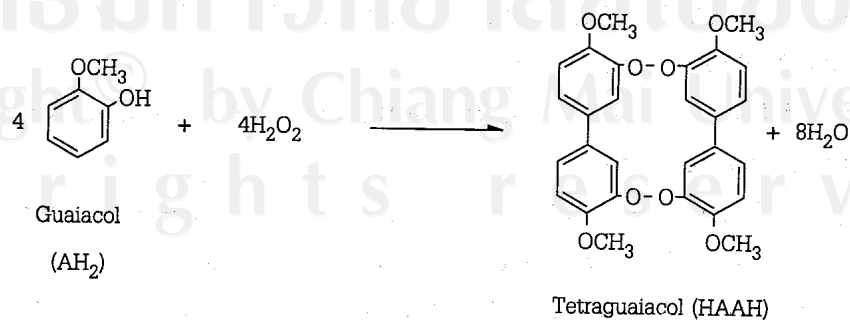
ที่มา : ปราณี (2547)

ในกรณีที่ปฏิกริยามีตัวให้ไฮโดรเจน เป็นกรดไดไฮดรอกซีฟูมาริก (dihydroxyfumaric acid) และโมเลกุลของออกซิเจน เปอร์ออกไซด์จะสามารถเติมหมู่ OH (hydroxylation) ให้กับสารอะโรมาติก (aromatic) หลายชนิด เช่น พารา-คริสซอล ไทโรซีน ฟีนีลอะลานีน กรดเบนโซอิก และ กรดซาลิไซลิก (salicylic acid) (ปราณี, 2547)

การวัดแอกติวิตีของเปอร์ออกไซด์

ปฏิกริยาหลักของเปอร์ออกไซด์เป็นแบบปฏิกริยา เปอร์ออกไซด์ตก ดังนั้นในการวัดแอกติวิตีของเปอร์ออกไซด์จะยึดตามปฏิกริยาหลัก โดยให้ตัวให้ไฮโดรเจน (AH₂) เป็น ไกวเอคอล (guaiacol) ไพโรกัลลอล (pyrogallol) เมซิดีน (mesidine) ไซโตโครม ซี (cytochrome c) กรดยูริก (uric acid) และไดไฮดรอกซีฟีนีลอะลานีน (dihydroxyphenylalanine)

ที่ใช้บ่อยในการวิเคราะห์คือ guaiacol assay เนื่องจากไม่ซับซ้อน เตรียมง่าย รวดเร็ว และวัดผลได้ด้วยสเปกโทรโฟโตเมทรี (spectrophotometry) ได้โดยตรงและต่อเนื่อง ดังปฏิกริยา



รูปที่ 2.3 ปฏิกริยาเปอร์ออกไซด์ตก

ที่มา : ปราณี (2547)

ในปฏิกิริยาสารละลายไกวเอคอล (guaiacol) และ H_2O_2 เดิมลงในบัฟเฟอร์ pH 7.0 ปฏิกิริยาเริ่มด้วยการเติม เปอร์ออกซิเดส ผลผลิตที่ได้คือ เตตราไกวเอคอล (tetraguaiacol) ซึ่งมีสีน้ำตาล มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ 470 นาโนเมตร และ $E_{cm}^M = 2.66 \times 10^4 M^{-1} cm^{-1}$ ที่ OD_{470} จากค่า OD_{470} ที่เปลี่ยนไปก็คำนวณปริมาณของ H_2O_2 ที่ใช้ได้ โดยที่เตตราไกวเอคอล 1 โมล มาจาก H_2O_2 4 โมล (ปราณี, 2547)

2.2.2 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีเอนไซม์ (nonenzymatic browning reaction)

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีเอนไซม์ หรือปฏิกิริยาเมลลาร์ด การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดของอาหารแต่ละชนิดเมื่อได้รับความร้อนจะทำให้มีสี กลิ่นและรสชาติเกิดขึ้นแตกต่างกัน และจะผันแปรตามระยะเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ เช่นเกิดขึ้นในระหว่างการคั่วเมล็ดกาแฟ ถั่วลิสง และโกโก้ การไหม้ของน้ำตาล การทอด การอบเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์ขนมอบ และการปรุงอาหารเป็นต้น อาหารบางชนิดเมื่อเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดแล้ว จะทำให้อาหารมีคุณภาพด้านสี กลิ่น และรสชาติดีขึ้น แต่มีอาหารบางชนิดก็ไม่พึงประสงค์จะทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดนี้ (นิธิยา, 2546)

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ สามารถจำแนกออกได้เป็น 2 แบบคือ

1. การเกิดคาราเมลไลเซชัน (caramelization)
2. การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด เป็นปฏิกิริยาระหว่างหมู่คาร์บอนิลจากโมเลกุลของน้ำตาลรีดิวซิงกับหมู่เอมีนที่อยู่ใน โมเลกุลของแอมโมเนีย กรดอะมิโน หรือ โปรตีน

คาราเมลไลเซชัน

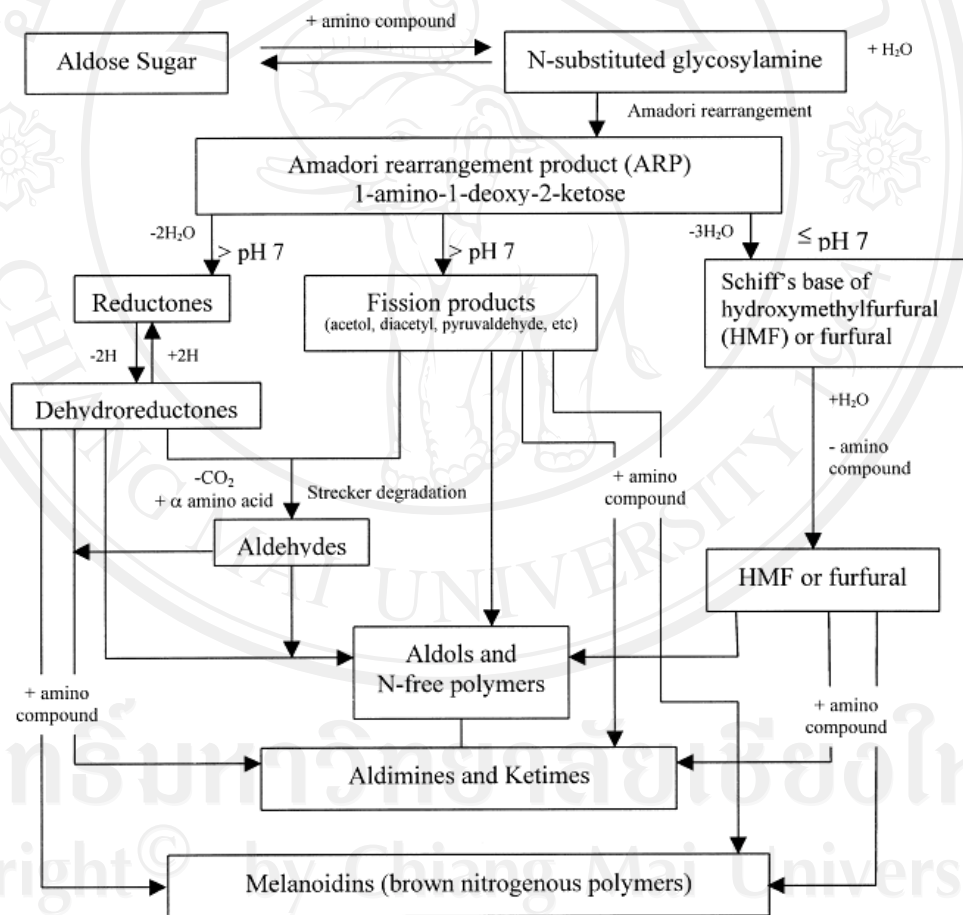
คาราเมลไลเซชัน เป็นการให้ความร้อนสูงสลายโมเลกุลของน้ำตาลให้แยกออก (thermolysis) แล้วเกิดโพลีเมอร์เซชันของสารประกอบคาร์บอนได้เป็นสารสีน้ำตาล ปฏิกิริยานี้สารเริ่มต้นจะเป็นน้ำตาลเท่านั้น เช่น การเผาน้ำตาลซูโครสที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส น้ำจะถูกกำจัดออกไปจากโมเลกุลของน้ำตาลซูโครสโดยปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน สารประกอบที่เกิดขึ้นใหม่จะมีพันธะคู่ และเป็นวงแหวน (anhydro ring) มีความข้นหนืด มีรสขม และมีสีเข้มขึ้น ซึ่งจะผันแปรตามระยะเวลาและระดับอุณหภูมิที่ใช้ สารประกอบที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำตาลได้รับความร้อนสูง (นิธิยา, 2546)

ปฏิกิริยาเมลลาร์ด

เมื่อน้ำตาลแอลโดสหรือดีโตส ซึ่งเป็นน้ำตาลรีดิวซิงได้รับความร้อนในภาวะที่มีน้ำ ($a_w > 0.2$) กับเอมีนจะทำให้เกิดสารประกอบต่างๆ มากมายหลายชนิด ซึ่งมีผลต่อสี กลิ่น

และรสชาติของอาหาร และอาจเป็นสิ่งที่พึงประสงค์หรือไม่พึงประสงค์ก็ได้ ปฏิกริยาเหล่านี้จะเกิดขึ้นขณะทอด อบ ปิ้ง ย่าง หรือระหว่างเก็บรักษาอาหาร น้ำตาลรีดิวซิงจะทำปฏิกริยากับหมู่อะมิโนในโมเลกุลของแอมโมเนีย กรดอะมิโน และโปรตีน ได้เป็นไกลโคซิลเอมีน (N-substituted glycosylamine) และจะเกิดปฏิกริยาต่อเนื่องจนได้สารสีน้ำตาลเรียกว่า ปฏิกริยามเมลลาร์ด (นิธิยา, 2546)

ขั้นตอนของปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ สรุปได้ดังแผนภูมิในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แผนภูมิแสดงขั้นตอนปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์

ที่มา : Martins *et al.* (2001)

การควบคุมปฏิกิริยาเมลลาร์ด

ปฏิกิริยาเมลลาร์ดสามารถยับยั้งได้โดยวิธีการต่างๆ ดังนี้

1. การควบคุมปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่ดีที่สุด คือ การกำจัดสารเริ่มต้นที่เป็นซับสเตรทของปฏิกิริยา ซึ่งน้ำตาลกลูโคสเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ค่อนข้างเร็วกว่าน้ำตาลฟรุกโทส และสามารถกำจัดน้ำตาลกลูโคสได้โดยการออกซิไดส์ให้เป็นกรดกลูโคนิกด้วยเอนไซม์กลูโคสออกซิเดส
2. การล้างเป็นวิธีการที่ช่วยลดปริมาณน้ำตาลและกรดอะมิโนออกไปจากผิวนอกได้ เพราะสารเหล่านี้ละลายได้ดีในน้ำ
3. ในการแปรรูปอาหารควรใช้อุณหภูมิต่ำที่สุด เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดน้อยที่สุด
4. ควบคุมปริมาณน้ำในอาหารให้ลดน้อยลง หรือเพิ่มปริมาณน้ำให้มากขึ้นจนทำให้ซับสเตรทเจือจางลง
5. การลดพีเอชก็ช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ และอาจเพิ่มพีเอชของผลิตภัณฑ์อาหารให้สูงขึ้นตามที่ต้องการในภายหลัง
6. ใช้กำมะถันไดออกไซด์ ซึ่งจะไปทำปฏิกิริยากับ degradation product ของอะมิโนซูลเฟอร์ ป้องกันการเกิดการรวมตัวกันเกิดโพลีเมอร์ไรซ์เป็นเมลานอยดิน
7. การใช้สารเคมีช่วยยับยั้งการทำหน้าที่ของหมู่คาร์บอนิลอิสระ หรือสารประกอบคาร์บอนิลอื่นๆ ก็ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้
8. หากสารประกอบคาร์บอนิลเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด การยับยั้งอาจทำได้โดยใช้สารออกซิเดชัน (นิธิยา, 2546)

2.3 สารประกอบซัลไฟด์

สารประกอบซัลไฟด์ เป็นสารยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่มีประสิทธิภาพดีมาก ตัวอย่างสารประกอบซัลไฟด์ที่มีการใช้มากได้แก่ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โซเดียมซัลไฟต์ โซเดียมซัลไฟต์ โซเดียมไบซัลไฟต์ โซเดียมซัลไฟต์ โซเดียมซัลไฟต์ โซเดียมซัลไฟต์ และโซเดียมซัลไฟต์ เป็นต้น สารประกอบซัลไฟด์เป็นวัตถุเจือปนอาหารที่มีความสำคัญต่อวงการอุตสาหกรรมอาหารมาก นอกจากใช้เป็นวัตถุกันเสียหรือฟอกสีน้ำตาลหรือใช้ปรับปรุงคุณภาพแป้งแล้ว ยังใช้ในการถนอมหรือยืดอายุการเก็บอาหาร ใช้ในการช่วยยับยั้งการเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย ยีสต์และรา และมีการใช้สารประกอบซัลไฟด์เป็นสารเพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในอาหาร ทั้งชนิดที่มีเอนไซม์และไม่มีเอนไซม์มาเกี่ยวข้อง (ศิวาพร, 2546)

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นวัตถุเจือปนอาหารหรือสารเจือปนอาหารชนิดหนึ่ง มีคุณลักษณะคือ เป็นก๊าซไม่มีสี ไม่ติดไฟ มีกลิ่นฉุนรุนแรงทำให้หายใจไม่ออก ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จัดอยู่ในสารกลุ่มซัลไฟต์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ซึ่งเติมในรูปของก๊าซโดยตรงหรือใช้ เป็นสารในกลุ่มซัลไฟต์ดังกล่าว ซึ่งสารกลุ่มนี้นิยมใช้เป็นสารฟอกขาวและยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลไกการยับยั้งจุลินทรีย์ในอาหารของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ อาศัยคุณสมบัติการเป็นสารรีดิวซ์ของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ที่จะไปลดค่าแรงดึงของออกซิเจนในเนื้อเยื่ออาหารหรือในเครื่องดื่มลงในระดับที่ต่ำสุดที่จุลินทรีย์ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโต หรือเมื่อซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับน้ำ เกิดเป็นกรดซัลฟูริกและแตกตัวต่อไปให้อิออนต่างๆ กรดจะซึมผ่านผนังเซลล์ของจุลินทรีย์เข้าไปรบกวนการทำงานของเซลล์ดังกล่าว อาหารที่นิยมใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ได้แก่

1. ผลิตภัณฑ์จากผักและผลไม้ เช่น ผักผลไม้แห้ง ผักผลไม้ดอง ผักและผลไม้กระป๋อง ผักและผลไม้แช่อิ่ม ผลไม้กวน แยม
2. ผลิตภัณฑ์ประเภทน้ำตาล เช่น น้ำตาลทราย น้ำตาลปีบ น้ำเชื่อม
3. ผลิตภัณฑ์แป้ง เช่น เส้นหมี่และก๋วยเตี๋ยว วุ้นเส้น แป้ง
4. อาหารแช่แข็ง
5. เจลาติน และอื่นๆ

2.3.1 ผลเสียของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อร่างกาย

ถ้าหากบริโภคไม่มากร่างกายสามารถขับออกทางปัสสาวะได้ แต่ถ้ามากเกินไปจะมีผลไปลดประสิทธิภาพการใช้โปรตีนและไขมันในร่างกายและมีฤทธิ์ทำลาย วิตามินบี1 (ไรอามิน) ถ้าสะสมในร่างกายมากๆ อาจทำให้หายใจติดขัด ปวดท้อง ท้องร่วง เวียนศีรษะ อาเจียนหมดสติในผู้ที่แพ้มากหรือเป็นหอบหืดอาจตายได้ (สวารินทร์, 2551)

2.3.2 มาตรฐานการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอาหาร

การใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอาหารมีกำหนดมาตรฐานให้ใช้ได้ในระดับหนึ่งเท่านั้น ตัวอย่างค่ากำหนดที่อนุญาตให้ใช้ตามเกณฑ์ต่างๆ เช่น มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไวน์ มอก.2089-2544 ได้กำหนดให้มีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ไม่เกิน 300 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 214 (พ.ศ.2543) กำหนดให้มีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเครื่องดื่มในภาชนะปิดสนิทได้ไม่เกิน 70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (U.S. FDA) มีข้อกำหนดคือห้ามใช้กับเนื้อสัตว์และ

ผลิตภัณฑ์อาหารที่เป็นแหล่งวิตามินบี 1 หรือผลไม้สด ผักสด อนุญาตให้ใช้กับน้ำผลไม้ใสหรือเข้มข้น ผลไม้แห้ง และผักแห้ง องค์การอนามัยโลก (WHO) กำหนดค่าความปลอดภัยไว้ คือ ปริมาณที่ได้รับไม่เกิน 0.7 มิลลิกรัมต่อคนต่อวัน (สวรินทร์, 2551)

นอกจากซัลเฟอร์ไดออกไซด์แล้ว อนุญาตให้ใช้กรดซัลฟิวรัส หรือโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ หรือโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ หรือโซเดียมไบซัลไฟต์ หรือโปแตสเซียมไบซัลไฟต์ หรือซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยคำนวณเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยอนุญาตให้ใช้ในปริมาณที่กำหนด

ตารางที่ 2.3 ปริมาณสารประกอบซัลไฟต์ที่มีการอนุญาตให้ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่างๆ ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 84

ชนิดอาหาร	ในปริมาณสูงสุดไม่เกินมิลลิกรัม/กิโลกรัม
ผลไม้แห้งและผักแห้ง	2,500
ในอาหารชนิดอื่นเว้นแต่เนื้อสัตว์และน้ำตาลทรายดิบ (Centrifugal raw sugar)	500
น้ำตาลทรายชนิดผงหรือป่น (Powdered or icing sugar)	20
เด็กโทรสโมโนไฮเดรต (Dextrose monohydrate)	20
น้ำเชื่อมกลูโคสแห้ง (Dried glucose syrup)	40
น้ำเชื่อมกลูโคส (Glucose syrup)	40
น้ำตาลทรายขาว (white sugar)	70
น้ำตาลทรายบริสุทธิ์ (Refined sugar)	20

ที่มา : ศิวาพร (2546)

2.4 สารใช้ทดแทนสารประกอบซัลไฟต์ในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาล

การใช้สารยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในอาหารมีข้อจำกัดคือต้องไม่เป็นพิษ ไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และไม่ส่งผลกระทบต่อรสชาติ กลิ่นรส เนื้อสัมผัส ให้เกิดความเสียหาย สารยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลมีหลายชนิด ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 6 ชนิดที่ใช้ในการยับยั้งเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Marshall *et al*, 2000) ได้แก่

ตารางที่ 2.4 ชนิดของสารที่ใช้ในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล

ชนิด	สาร
1. Reducing agents	sulphiting agents ascorbic acid and analogs cysteine glutathione
2. Chelating agents	phosphates EDTA organic acids
3. Acidulants	citric acid phosphoric acid
4. Enzyme inhibitors	aromatic carboxylic acids aliphatic alcohol anions peptides substituted resorcinols
5. Enzyme treatments	oxygenases o-methyl transferase proteases
6. Complexing agents	cyclodextrins

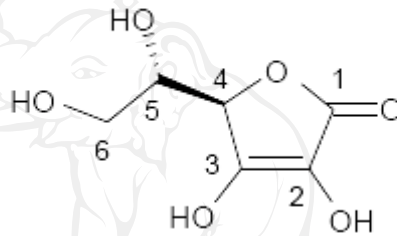
ที่มา : McEvily et al. (1992)

ศิวาพร (2546) ตัวอย่างของสารที่ได้มีการทดลองนำมาใช้แทนสารประกอบซัลไฟต์ ได้แก่

2.4.1 กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid)

กรดแอสคอร์บิกได้ถูกนำมาใช้เป็นสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในอาหารตั้งแต่สมัยโบราณ และในปัจจุบันก็ยังมีการใช้อยู่ กรดแอสคอร์บิกและอีริทอร์เบตมีประสิทธิภาพเป็นสารยับยั้ง

ปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้คล้ายกัน เพียงแต่เอริทอร์เบตไม่มีคุณสมบัติเป็นวิตามินซีเท่านั้น การใช้กรดแอสคอร์บิกหรือเอริทอร์เบตในอาหารนั้นบางครั้งจะมีการใช้กรดอินทรีย์ เช่น กรดซิตริกและวัตถุที่ช่วยให้คงตัว เช่น แคลเซียมคลอไรด์ร่วมด้วย ทั้งนี้เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ดีขึ้น และยังช่วยกำจัดออกซิเจนรวมทั้งมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีด้วย การที่กรดแอสคอร์บิกสามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ เนื่องจากกรดแอสคอร์บิกสามารถรีดิวส์ควิโนน (quinones) ซึ่งเป็นสารที่ได้จากการออกซิเดชันของพอลิฟีนอลที่มีเอนไซม์ โพลีฟีนอลออกซิเดสเป็นตัวเร่งกลับไปเป็นไดไฮดรอกซีพอลิฟีนอล ถ้าไม่มีการสะสมของควิโนน ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลก็จะไม่เกิดขึ้น แต่เมื่อปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่มีอยู่ลดน้อยลง การสะสมของควิโนนก็จะเกิดขึ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลขึ้นได้



รูปที่ 2.5 สูตร โครงสร้างทางเคมีของกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid)

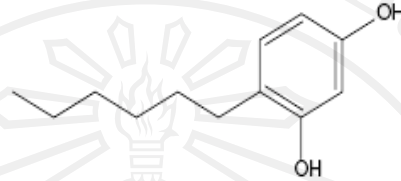
ที่มา : Liu *et al.* (2006)

2.4.2 กรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ (sulfur-containing amino acids)

กรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ สามารถช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในผักผลไม้สดได้ดีมาก โดยเฉพาะซีสเทอีน จะยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ มากกว่ากรดอะมิโนชนิดอื่นๆ ซีสเทอีนสามารถทำปฏิกิริยากับควิโนน ซึ่งเป็นสารตัวกลางที่เกิดจากการออกซิเดชันของพอลิฟีนอล โดยมีพอลิฟีนอลออกซิเดสเป็นตัวเร่ง ทำให้ได้สารประกอบที่คงตัวและไม่มีสี เนื่องจากภายในโครงสร้างของซีสเทอีนมีอะตอมของซัลเฟอร์อยู่ โดยหมู่ซัลไฮดริล (-SH) ในโครงสร้างจะสามารถจับกับหมู่คาร์บอนิลไม่ถูกเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล การใช้กรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบในปริมาณที่สูงเกินไป จะทำให้เกิดกลิ่น ไม่ดีในผักและผลไม้ได้

2.4.3 4-เฮกซิลเรซอร์ซินอล (4-hexylresorcinol)

4-เฮกซิลเรซอร์ซินอล เป็นสารที่ใช้ในการยับยั้งพอลิฟีนอลออกซิเดสอย่างแพร่หลาย เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงสีของกุ้งที่ยังไม่ได้ปอกเปลือก และการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้บางชนิด

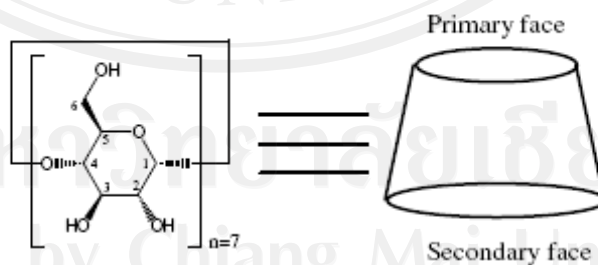


รูปที่ 2.6 สูตร โครงสร้างทางเคมีของ 4-เฮกซิลเรซอร์ซินอล (4-hexylresorcinol)

ที่มา : Alvarez-Parrilla *et al.* (2007)

2.4.4 เบตา-ไซโคลเด็กซ์ตริน (β -cyclodextrin)

เบตา-ไซโคลเด็กซ์ตริน เป็นสารอีกชนิดหนึ่ง ที่มีการนำมาใช้ในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้แทนสารประกอบซัลเฟอร์ ซึ่งสามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในผักและผลไม้ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ร่วมกับฟอสฟาเทส (phosphatase) พบว่าจะทำให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น



รูปที่ 2.7 สูตร โครงสร้างทางเคมีของเบตา-ไซโคลเด็กซ์ตริน(β -cyclodextrin)

ที่มา : Alvarez-Parrilla *et al.* (2007)

2.4.5 สารจับโลหะ (chelating agents)

เนื่องจากทองแดงเป็น โลหะที่ช่วยเร่งปฏิกิริยาของพอลิฟีนอลออกซิเดส การจับ โลหะที่ปนเปื้อนมาจึงเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในผักและผลไม้ได้ EDTA (ethylene diamine tetraacetic acid) เป็นสารจับโลหะที่ใช้อย่างแพร่หลาย

2.4.6 สารประกอบโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide compounds)

สารประกอบโพลีแซคคาไรด์ชนิดต่างๆ รวมถึงคาร์ราจีแนน อะมิโลสซัลเฟต และไซเลน - ซัลเฟต เป็นต้น สารดังกล่าวสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในผักและผลไม้ได้ เนื่องจากสารดังกล่าวจะไปเคลือบผักและผลไม้ ทำให้มีการไปสัมผัสกับออกซิเจนลดลง จึงมีการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิกลดลง

2.5 การทำแห้ง (dehydration)

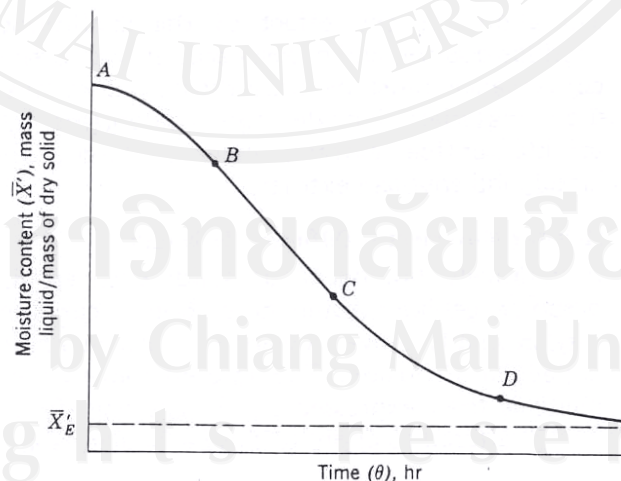
การทำแห้ง เป็นวิธีที่เก่าแก่ที่สุดในการถนอมอาหารมาตั้งแต่สมัยโบราณการ เพื่อเก็บรักษาเนื้อ ปลา ผักและผลไม้โดยใช้วิธีการทำแห้งโดยใช้แสงแดด (Brennan, 1994) การทำแห้ง (dehydration) เป็นกระบวนการแปรรูปอาหารเพื่อการเก็บรักษาโดยลดปริมาณน้ำในอาหารลงให้เหลือในระดับต่ำ เหลือความชื้นประมาณร้อยละ 20 หรือต่ำกว่า การลดปริมาณน้ำจากอาหารอาจทำได้โดยการระเหย การระเหิด การสกัดน้ำออกโดยตัวทำละลายที่เหมาะสม หรือใช้กระบวนการออสโมติก ด้วยน้ำตาลหรือเกลือ นอกจากนี้จะยึดอายุการเก็บรักษาแล้ว การทำแห้งยังช่วยลดน้ำหนักและปริมาตร ทำให้ ไม่เปลืองเนื้อที่การเก็บ นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ผัก ผลไม้ ธัญพืช ขนมขบเคี้ยว เป็นต้น (พัศกร, 2551) การทำแห้งที่อุณหภูมิสูง โดยอาศัยอากาศร้อน เมื่ออากาศร้อนสัมผัสกับอาหาร ความร้อนจากอากาศจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของชิ้นอาหารและทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะเป็นไอ ไอนี้ จะแพร่ผ่านชั้นของอากาศรอบๆ ชิ้นอาหารและถูกพาไปพร้อมกับการเคลื่อนที่ของอากาศร้อน ทำให้ความดัน ไอของอากาศที่ผิวของอาหารลดลงเกิดความแตกต่างของความดัน ไอนี้ของอากาศในอาหารกับอากาศร้อน ความแตกต่างนี้จะเป็แรงผลักดันให้น้ำในอาหารระเหยออกมา กลไกการเคลื่อนที่ของน้ำออกจากอาหาร คือ น้ำที่เป็นของเหลวจะเคลื่อนที่ด้วยแรงเคปิลารี (capillary force) จะเคลื่อนที่โดยการแพร่ เนื่องจากในแต่ละส่วนของชิ้นอาหารมีความเข้มข้นของตัวทำละลายต่างกัน การแพร่ของของเหลวซึ่งถูกดูดซับที่ผิวขององค์ประกอบที่เป็นของแข็งในอาหาร ซึ่งการแพร่ของไอในโพรงอากาศในชิ้นอาหารเนื่องจากความแตกต่างของความดัน ไอ (พัศกร, 2551)

วิธีการทำแห้งมีดังนี้

1. วิธีการทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์ (sun drying) เป็นการที่ใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นวิธีที่เก่าแก่ที่สุดและใช้กันมาเป็นเวลานาน
2. วิธีการทำแห้งด้วยลมร้อน (hot air-drying) เป็นวิธีที่ถูกปรับปรุงขึ้นเพื่อให้มีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้แสงอาทิตย์ โดยการใช้อุปกรณ์ช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งตามต้องการและมีความชื้นสม่ำเสมอ วิธีนี้จะมีความสะอาดและลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ได้ดีกว่าการทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์
3. การทำแห้งด้วยการใช้ความเย็น (freeze drying) เป็นการทำแห้งที่ใช้หลักการระเหิดของน้ำโดยการแช่แข็งผลิตภัณฑ์ก่อน จากนั้นทำให้แห้งโดยดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ในสภาวะที่เป็นสุญญากาศ (อุมาพร, 2552)

2.5.1 การระบุค่าความชื้นของวัสดุอบ (วัฒนา, 2551)

การระบุค่าความชื้นอาจแบ่งออกเป็น wet basis กับ dry basis คือการใช้ฐานในการเปรียบเทียบแตกต่างกัน wet basis หมายถึงการเทียบปริมาณความชื้นกับน้ำหนักรวมของของแข็งและความชื้น dry basis เป็นการเทียบปริมาณความชื้นกับของแข็งเท่านั้น เช่น ถ้าบอกว่าวัสดุมีค่าความชื้นร้อยละ 20 wet basis หมายความว่า มีน้ำ 20 กรัมต่อของแข็ง 80 กรัม แต่ถ้าเป็นร้อยละ 20 dry basis หมายถึงมีน้ำ 20 กรัมต่อของแข็ง 100 กรัม โดยปกติการบอกค่าความชื้นโดยใช้ dry basis จะทำให้คำนวณง่ายกว่า

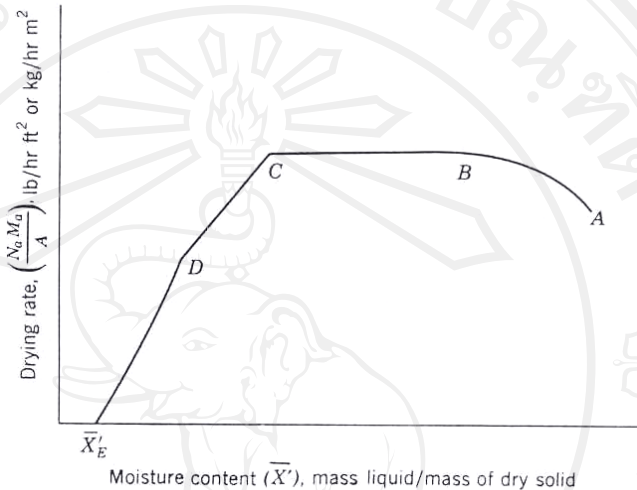


รูปที่ 2.8 พฤติกรรมของวัสดุขณะอบ

ที่มา : วัฒนา (2551)

2.5.2 Critical moisture content

ค่าความชื้นวิกฤต คือค่าความชื้นที่มีอยู่ในวัสดุ ณ เวลาที่อัตราเร็วในการอบแห้งเริ่มลด นับเป็นจุดสุดท้ายของ constant rate drying period การอบแห้งต่อจากนี้ไป จะมีอัตราการระเหยต่ำลงเรื่อยๆ ดังรูป



รูปที่ 2.9 Drying Rate

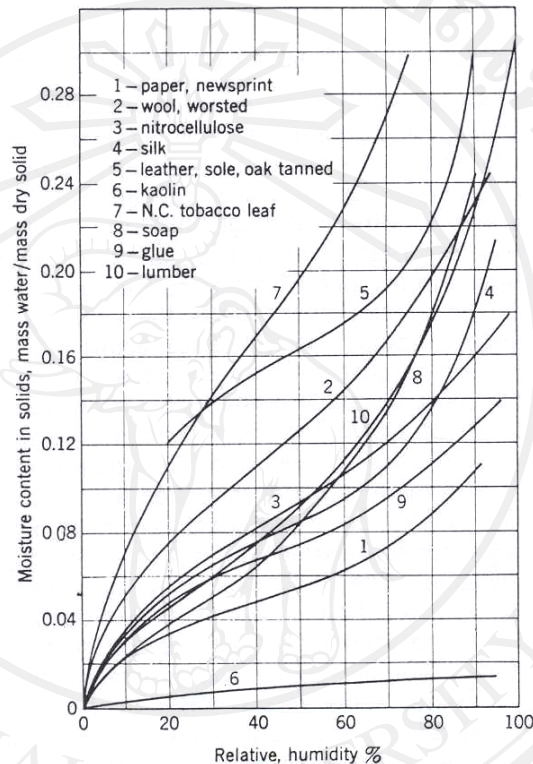
ที่มา : วัฒนา (2551)

2.5.3 ค่า bound moisture และ unbound moisture

bound moisture คือค่าความชื้นที่มีอยู่ในวัสดุขณะที่ความชื้นนี้ทำให้เกิดความดันของไอน้ำต่ำกว่าค่าความดันไอที่อุณหภูมินั้น ค่า bound moisture มีอยู่ได้หลายสภาพ อาจอยู่ในช่วง Capillary ระหว่างอนุภาควัสดุ เช่น ในแผ่นไม้ เมื่อดูเทียบกับกราฟระหว่างความชื้นสมดุล และความชื้นสัมพัทธ์ ค่าความชื้นในวัสดุที่สอดคล้องกับจุดตัดเส้น ร้อยละ 100 ความชื้นสัมพัทธ์ คือค่าความชื้นสูงสุดในข่ายของ bound moisture ถ้าความชื้นมากกว่านี้ เรียก unbound moisture หรือคิดอีกนัยหนึ่งเนื่องจากปริมาณนอกเหนือจากค่า bound moisture มิได้ถูกยึดอย่างแน่นเหนียวด้วยโครงสร้างของวัสดุ จึงระเหยง่าย unbound moisture จะให้ค่าความชื้นในก๊าซเฟสเท่ากับค่าความดันไอของอากาศ อุณหภูมิเปียก และแม้จะมีความชื้นมากกว่านี้ก็ไม่มีผลให้ความดันไอสูงขึ้นอีก ทั้งนี้เพราะค่าความดัน ไอขึ้นกับอุณหภูมิ และเป็นค่าความดันที่สมดุล ณ อุณหภูมินั้น

2.5.4 ค่าความชื้นสมดุล

คือความชื้นที่จะยังคงเหลืออยู่ในเนื้อวัสดุในสมดุลกับอากาศที่ใช้ออบความชื้น จะไม่ลดต่ำกว่านี้อีกแม้ว่าจะใช้เวลาานเท่าใดก็ตาม ถ้าต้องการได้วัสดุที่มีค่าความชื้น สมดุลต่ำกว่าค่านี้ จะต้องเปลี่ยนสถานะของอากาศอบให้มีค่าความชื้นต่ำลง



รูปที่ 2.10 Equilibrium Moisture Content

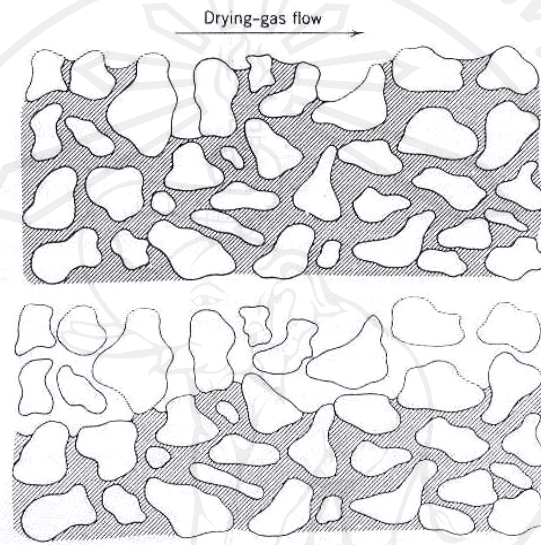
ที่มา : วัฒนา (2551)

2.5.5 Constant Rate Drying (Rc)

อัตราการอบ (R) หมายถึง ค่าความชื้นที่ระเหยออกไปได้ต่อหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยเวลา หน่วยอาจเป็นปอนด์น้ำต่อตารางฟุตต่อชั่วโมง หรือกิโลกรัมน้ำต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง Constant Rate Drying (Rc) คืออัตราการอบแห้งในช่วงการอบที่มีค่าอัตราการระเหยน้ำต่อพื้นที่และเวลาคงที่ เป็นการอบที่มีความชื้นในวัสดุเหลือเฟือ จึงเดินทางมาสู่ผิวหน้าได้ทันเวลากับความร้อนที่ถ่ายจากลมร้อนมาที่ผิวเป็นปริมาณความร้อนที่อยู่ในประเภท unbound moisture ที่สำคัญคือ การอบในช่วงนี้เกิดโดยที่อุณหภูมิวัสดุคงที่

2.5.6 Falling Rate Drying (Rf)

คือ การอบในช่วงที่ปริมาณน้ำที่ผิววัสดุแห้งลง เมื่อน้ำระเหยมาที่ผิวไม่ทัน อัตราการระเหยต่อหน่วยพื้นที่และเวลาที่จะลด ในช่วงนี้อุณหภูมิที่ผิวอาจค่อย ๆ เพิ่มขึ้น และค่า Rf อาจจะไม่แปรผันตรงกับค่าความชื้นที่เหลืออยู่ กราฟ falling rate เป็นเส้นตรง ถ้า Rf แปรผันตรงกับค่าความชื้นที่เหลืออยู่กราฟของ falling rate จะเป็นเส้นโค้ง วัสดุอบบางประเภทอาจมีแต่ falling rate ตลอด

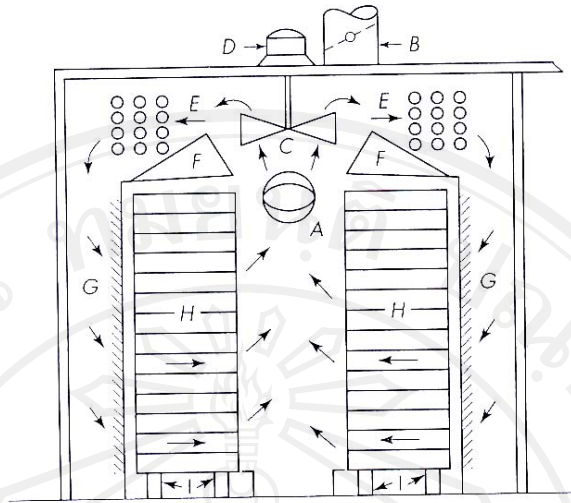


รูปที่ 2.11 Moisture receding in falling rate drying period

ที่มา : วัฒนา (2551)

2.5.7 เครื่องอบแบบถาด (tray dryer)

เครื่องอบประกอบด้วยกล่องโลหะข้างในมีชั้นวางสองชั้น ซึ่งรองรับตะแกรง H ตะแกรงเป็นที่วางถาดอบขนาดต่าง ๆ ซึ่งใช้บรรจุวัสดุที่จะอบอากาศร้อนถูกบังคับให้หมุนวนด้วยความเร็วประมาณ 2 ถึง 5 เมตรต่อวินาที ระหว่างถาดด้วยพัดลมแผ่นครีป G ช่วยบังคับลมให้พัดขนานกับผิวอบในถาด อากาศขึ้นบางส่วนถูกปล่อยออกที่ปล่อง B และอากาศ make up เข้าที่ทางจุด A ชั้นวางตั้งอยู่บนลูกกลิ้งซึ่งทำให้สามารถเข็นออกจากตู้อบได้เมื่อจบการอบ



รูปที่ 2.12 เครื่องอบแบบถาด (tray dryer)

ที่มา : วัฒนา (2551)

เครื่องอบแบบถาดนี้สามารถทำงานภายใต้ระบบสุญญากาศได้ บ่อยครั้งการให้ความร้อนเป็นแบบทางอ้อม ซึ่งทำโดยถาดอบจะวางไว้บนกล่องโลหะกลวง ภายในมีไอน้ำ หรือน้ำร้อนหล่อลื่นอยู่ ในการนี้ไอน้ำจากการระเหยความชื้นจะต้องดูดออกโดยใช้ปั๊ม

2.5.8 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการทำแห้ง

ขึ้นอยู่กับ ลักษณะธรรมชาติของอาหาร ขนาดและรูปร่างของอาหาร ปริมาณอาหาร ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม และความดัน

2.5.9 ผลของการทำแห้งต่ออาหาร

(1) จุลินทรีย์ การทำแห้งยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บางชนิดได้ เนื้อสัตว์ที่อบแห้งแล้วมีความชื้นประมาณไม่เกินร้อยละ 10 ในขณะที่ราเจริญเติบโตได้ในอาหารที่มีน้ำร้อยละ 12 แบคทีเรียและยีสต์ปกติต้องการความชื้นกว่าร้อยละ 30 อย่างไรก็ตาม ราบางชนิดอาจเจริญได้ในอาหารที่มีความชื้นต่ำถึงร้อยละ 2 และแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคทางเดินอาหารและทำให้เกิดอาหารเป็นพิษบางชนิด ก็สามารถเจริญได้ในอาหารแห้ง

(2) เอนไซม์ การทำแห้งทำให้ปฏิกิริยาของเอนไซม์ลดลง ปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่ลดลงจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณน้ำที่ลดลง และเมื่อความชื้นลดลงเหลือน้อยกว่าร้อยละ 1

ปฏิกิริยาของเอนไซม์แทบจะไม่มี ความร้อนเปียกจะทำลายเอนไซม์อย่างรวดเร็ว เช่น การใช้น้ำเดือดเอนไซม์จะถูกทำลายภายใน 1 นาที แต่ถ้าใช้ความร้อนในการอบแห้งอาหาร แม้จะใช้อุณหภูมิสูงถึง 204.44 องศาเซลเซียส ก็มีผลต่อเอนไซม์น้อยมาก ดังนั้น ก่อนที่จะทำให้อาหารแห้งควรทำลายเอนไซม์เสียก่อน

(3) **คุณค่าทางโภชนาการ** หากเป็นการตากแห้งที่ใช้ความร้อน วิตามินที่ไม่คงตัวต่อความร้อนอาจสูญเสียได้ง่าย เช่น วิตามินบี 1 ในเนื้อสัตว์ จะเกิดการสูญเสียตลอดเวลาของการทำแห้ง วิตามินบี 2 ก็อาจสูญเสียมากหากทำแห้งด้วยการตากแดด เพราะวิตามินบี 2 ถูกทำลายได้ด้วยแสง การตากแห้งหรืออบแห้งที่ใช้ความร้อนเป็นเวลานาน ทำให้โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติ ทำให้อยาก ร่างกายจึงใช้ประโยชน์ได้น้อยลง การทำแห้งอาจทำให้ไขมันในอาหารเกิดการเหม็นหืน ที่เกิดจากการเติมออกซิเจน ซึ่งมักเกิดที่อุณหภูมิสูงได้มากกว่าอุณหภูมิต่ำ อาจป้องกันได้โดยการเติมสารกันหืน (อุมาพร, 2552)

2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วัฒนา (2545) ศึกษาเนื้อลิ้นจี่แช่อบแห้ง โดยวิธีแช่อบแบบช้าและวิธีออสโมติกดีไฮเดรชัน น้ำเชื่อมมีความหวาน 45 องศาบริกซ์ ที่มีกรดซิตริกร้อยละ 0.7 โซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ ร้อยละ 0.2 และแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.7 ผสมอยู่ ผลการศึกษาการอบแห้ง 2 วิธี พบว่าวิธีการอบแห้งเนื้อลิ้นจี่แช่อบที่เหมาะสมคือ ใช้เวลาอบทั้งหมด 14 ชั่วโมง โดยการทำแห้งอย่างต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ลดระดับลงมาที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และลดระดับลงมาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และศึกษาวิธีการทำออสโมติกดีไฮเดรชันเนื้อลิ้นจี่ พบว่าการแช่เนื้อลิ้นจี่ในสารละลายซูโครสร้อยละ 70 ที่มีโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ร้อยละ 0.4 โดยใช้อัตราส่วนเนื้อลิ้นจี่ต่อสารละลาย 1 ต่อ 1.5 ระยะเวลาแช่ 4 ชั่วโมง เป็นวิธีที่เหมาะสม

Santerre *et al.* (1991) ใช้สารทดแทนไบซัลไฟด์ ในการแปรรูปมันฝรั่ง Russet Burbank พบว่ามันฝรั่งที่จุ่มลงในสารละลายผสมที่ประกอบด้วย erythorbic acid ร้อยละ 3 และ sodium chloride ร้อยละ 2 และ sodium acid pyrophosphate (SAPP) ($\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$) ร้อยละ 0.25 เป็นเวลา 2 นาที นำมาซับให้แห้ง แล้วบรรจุลงในถุง Cryovac B540 ที่ประกอบด้วย sorbic acid (potassium salt) ร้อยละ 0.2 และ citric acid ร้อยละ 0.2 ปิดผนึกถุง และนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 3.8 องศาเซลเซียส หลังจากเก็บไว้เป็นเวลา 6 วัน พบว่าจะทำให้จุลินทรีย์ลดจำนวนลง เมื่อเปรียบเทียบกับมันฝรั่งที่ผ่านการแช่ใน 2,000 ppm bisulfite solution (sodium metabisulfite) เป็นเวลา 1.5 นาที

หรือน้ำ และ สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ในระดับที่เป็นที่ยอมรับได้ และทำให้มันฝรั่งมีค่า Lightness เพิ่มสูงขึ้น หลังจากเก็บไว้เป็นเวลา 18 วัน

Ponting *et al.* (1972) ศึกษาผลของการใช้สาร ascorbic acid , calcium และ sulfite ในแอปเปิ้ลตัดแต่งแช่เย็นพันธุ์ Golden Delicious และ Newtown Pippin โดยนำมาจุ่มลงในสารละลายผสมระหว่าง ascorbic acid ความเข้มข้นร้อยละ 0 , 0.5 และ 1.0 กับ calcium chloride ความเข้มข้นร้อยละ 0 , 0.05 และ 0.1 และ sulfur dioxide (sodium bisulfite หรือ sodium sulfite) ความเข้มข้นร้อยละ 0 , 0.01 , 0.03 , 0.05 และ 0.1 นาน 3 นาที ชับน้ำให้แห้งแล้วบรรจุลงใน polyester bags เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ถึง 2 สัปดาห์ พบว่าการใช้ ascorbic acid ร้อยละ 1 ร่วมกับ calcium chloride ร้อยละ 0.1 และการใช้สาร sulfur dioxide ร้อยละ 0.03 ร่วมกับ calcium chloride ร้อยละ 0.1 จะมีประสิทธิภาพในการรักษาสีของแอปเปิ้ลทั้ง 2 พันธุ์ โดยมีกลิ่น สี และเนื้อสัมผัสที่ดีที่สุด และสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้

Tong and Hicks (1991) ศึกษาการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในน้ำแอปเปิ้ลสดพันธุ์ Granny Smith โดยการใช้ carrageenan ร้อยละ 0.25 เพียงสารเดียว หรือการใช้ร่วมกันระหว่าง carrageenan ร้อยละ 0.05 และ citric acid ร้อยละ 0.5 พบว่าสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ร้อยละ 100 ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และการใช้ร่วมกันระหว่าง amylose sulfate ร้อยละ 0.025 หรือ xylan sulfate ร้อยละ 0.025 กับ citric acid ร้อยละ 0.5 จะสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ และการใช้ citric acid เพียงชนิดเดียวสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ประมาณร้อยละ 34 และการใช้ carrageenan ร้อยละ 0.1 ร่วมกับ citric acid ร้อยละ 0.5 จะสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ในน้ำแอปเปิ้ลที่ยังไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ที่ประกอบด้วย sodium benzoate ร้อยละ 0.1 ได้นาน 3 เดือน ที่อุณหภูมิเก็บรักษา 3 องศาเซลเซียส และการใช้ร่วมกันระหว่าง carrageenan ร้อยละ 0.5 และ citric acid ร้อยละ 0.5 สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในแอปเปิ้ลที่หั่นเป็นรูปลูกเต๋าเล็กๆ พันธุ์ Granny Smith และ Red Dilicious ได้

Gonzalez *et al.* (1993) ศึกษาการใช้สารร่วมกันระหว่าง 4-hexylresorcinol กับ ascorbic acid ที่ความเข้มข้นต่ำๆ ในแอปเปิ้ลตัดแต่งพันธุ์ Red delicious คือ 4-hexylresorcinol ร้อยละ 0.02 ร่วมกับ ascorbic acid ร้อยละ 0.25 จากนั้นเติมสารละลายน้ำตาลที่ประกอบด้วย citric acid ร้อยละ 0.2 (w/v), sorbic acid ร้อยละ 0.15 (w/v) และน้ำตาลซูโครส ปรับให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 52 บริกซ์ นำแอปเปิ้ลมาแช่ในสารละลายเป็นเวลา 10 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นำมาบรรจุในถุง plastic pouch เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่ามีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลเช่นเดียวกับการใช้ sodium sulfite ถึง 5 เท่า โดย ascorbic acid-2-phosphate จะชะลอไม่ให้

สารตั้งต้นเปลี่ยนเป็น quinones ทำให้เกิดการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลได้ช้าลง ส่วน 4-hexylresorcinol จะมีคุณสมบัติเฉพาะในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ polyphenoloxidase ได้

Shah and Nath (2008) ศึกษาผลของสาร antibrowning ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพการแปรรูปเนื้อลิ้นจี่ต่อผลของสาร antibrowning โดยวิธีการทำแห้งแบบ osmo vacuum และเก็บรักษาแบบ vacuum โดยนำเนื้อลิ้นจี่ไปแช่กับสาร cysteine 4.9 g/kg, ascorbic acid 20 g/kg และ 4-hexylresorcinol 0.134 g/kg ร่วมกับ วิธีการทำแห้งแบบ osmovacuum เป็นเวลา 10 นาที ที่ 570 มิลลิปรอท กลับสู่สภาวะความดันบรรยากาศปกติ 10 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 2 เซลเซียส พบว่ามีผลป้องกันการเปลี่ยนแปลงสี การเปลี่ยนแปลงทางเคมี และจุลินทรีย์

Gras *et al.* (2002) ศึกษาผลของการแช่ภายใต้สภาวะสุญญากาศของผักชนิดต่างๆ ได้แก่ มะเขือยาวม่วง บีทรูท ชัคชินี แครอท และเห็ดนางรม พบว่าขณะที่ทำการแช่ภายใต้สภาวะสุญญากาศจะเกิดปรากฏการณ์ hydrodynamic mechanism (HDM) ซึ่งการแช่ภายใต้สภาวะสุญญากาศขึ้นอยู่กับ ช่องว่างภายในผักและผลไม้ ความหนาแน่น อัตราส่วนปริมาตรของของเหลวในการแช่ ซึ่งการแช่ภายใต้สภาวะสุญญากาศทำให้ของเหลวภายนอกเข้าไปในช่องว่างภายในเซลล์ข้างในของผัก โดยการ แทนที่แก๊สหรือของเหลวตามธรรมชาติ พบว่ามะเขือยาวม่วงมีช่องว่างภายในมาก ทำให้สารที่ใช้ในการแช่ภายใต้สภาวะสุญญากาศเข้าไปได้สูง ส่วนแครอทและชัคชินีมีช่องว่างภายในน้อย ทำให้สารที่ใช้ในการแช่ภายใต้สภาวะสุญญากาศเข้าไปได้ต่ำ

Guillemin *et al.* (2006) ทำการศึกษาการแทรกผ่านของ *Aspergillus niger* pectinmethylesterase (PME) โดยแช่ภายใต้สภาวะสุญญากาศในแอปเปิ้ลหั่นเต๋า 1.5 เซนติเมตร เปรียบเทียบกัน 3 วิธีคือ แช่ในสภาวะปกติ 15 นาที แช่ในสภาวะปกติ 1 ชั่วโมง และแช่ภายใต้สภาวะสุญญากาศ 0.05 บาร์ เป็นระยะเวลา 2 นาที พบว่าแอปเปิ้ลหั่นเต๋าที่ใช้วิธีการแช่ภายใต้สภาวะสุญญากาศ สามารถทำให้ PME แทรกเข้าไปในเนื้อเยื่อของชิ้นแอปเปิ้ลได้อย่างรวดเร็วและมากกว่าการแพร่ของเอนไซม์ในแอปเปิ้ลหั่นเต๋าโดยวิธีการแช่ในสภาวะปกติ

Mujica-Paz *et al.* (2002) ศึกษาผลของระยะเวลาที่ใช้ในสภาวะสุญญากาศ (3-45 นาที) ต่อปริมาณสารละลายที่แทรกผ่านเข้าไปในเนื้อผลไม้หั่นบาง ได้แก่ มะม่วง แอปเปิ้ล มะละกอ กัลฉวยพีช และเมลอน พบว่า ความเข้มข้นของสารละลายขึ้นอยู่กับขั้นตอนการแปรรูป ถ้าเป็นการแปรรูปขั้นต่ำใช้ความเข้มข้นของสารละลาย 20-50 ริกซ์ ถ้าเป็นการทำแห้งใช้ความเข้มข้นของสารละลาย 50-75 ริกซ์ อุณหภูมิของสารละลายอยู่ในช่วง 20-50 องศาเซลเซียส ระดับสุญญากาศถ้าเป็นการแปรรูปขั้นต่ำใช้ 5-50 มิลลิบาร์ ถ้าเป็นการทำแห้งใช้ 50-200 มิลลิบาร์ ระยะเวลาที่ใช้ในสุญญากาศอยู่ในช่วง 10-30 นาที ระยะเวลาที่กลับสู่สภาวะบรรยากาศปกติ การแปรรูปขั้นต่ำ 10-20 นาที สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ทำแห้งใช้ระยะเวลาจนถึงชั่วโมง

Kotwaliwale *et al.* (2007) ได้ทำการศึกษการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสและคุณสมบัติของเห็ดนางรมระหว่างการอบแห้งโดยใช้ลมร้อน โดยทดสอบคุณสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัส ความแข็ง (hardness/firmness) ความสามารถในการรวมเป็นเนื้อเดียวกัน (cohesiveness) ความเป็นสปริง (springiness) และ ความคงทนต่อการเคี้ยว (chewiness) ของเห็ดเปลี่ยนแปลงระหว่างการอบแห้งพบว่า ความแข็ง และการรวมเป็นเนื้อเดียวกัน ของเห็ดจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ในขณะที่ ความคงทนต่อการเคี้ยว และความเป็นสปริง จะเพิ่มขึ้นในระยะแรกของการอบแห้งและลดลงในภายหลังของการอบแห้ง การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงความแข็งจะเพิ่มขึ้นและความคงทนต่อการเคี้ยวจะลดลงเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้น

Sagar and Khurdiya (1999) ได้ศึกษาผลของการเก็บรักษาเนื้อมะม่วงอบแห้งในภาชนะบรรจุ 3 ชนิด คือ Low density polyethylene (LDPE) ที่มีความหนา 200, 400 มิลลิเมตร และ Aluminium foil (ALPE) ที่มีความหนา 260 มิลลิเมตร ในสภาวะการเก็บ 3 สภาวะ คือ ในสภาวะบรรยากาศปกติ ในสภาวะสุญญากาศ และในสภาวะที่มีการอัดก๊าซไนโตรเจน พบว่าการเก็บรักษาเนื้อมะม่วงอบแห้งในถุง Aluminium foil (ALPE) ในสภาวะที่มีการอัดก๊าซไนโตรเจน จะให้สีและคุณภาพของมะม่วงอบแห้งดีที่สุด

Azeredo *et al.* (2006) ทำการศึกษการอบแห้งมะม่วงแผ่นเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพต่อระยะเวลาในการเก็บรักษา เป็นระยะเวลา ในการศึกษาระยะเวลาที่ต้องการในการอบแห้ง โดยใช้อุณหภูมิ 60 ถึง 80 องศาเซลเซียส พบว่าใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 120 นาที อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มะม่วงแผ่นได้รับการยอมรับในการทดสอบทางประสาทสัมผัสมากในส่วนของรสชาติ โดยที่มะม่วงแผ่นจะถูกบรรจุในถุงโพลีโพรพิลีน อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา คือ 25 องศาเซลเซียส วอเตอร์แอกติวิตี้เท่ากับ 0.62 พีเอชเท่ากับ 3.8 จุลินทรีย์ไม่เกินมาตรฐานในการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน โดยที่ไม่ได้ใส่สารกันเสีย

Mahayothee *et al.* (2009) ได้ทำการศึกษาผลของการใช้ร่วมกันระหว่างออกซิเจนไดออกไซด์ก่อนอบแห้งและสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาน้ำตาล ได้แก่ กรด กลีเซอรอล และทรีฮาโลส เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของสีของเนื้อลิ้นจี่อบแห้ง เป็นระยะเวลา 5 เดือน เปรียบเทียบกับเนื้อลิ้นจี่อบแห้งที่ไม่ได้ผ่านการแช่ในสารละลาย พบว่าสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โพลิฟีนอลออกซิเดสได้ดีกว่าชุดควบคุม ตัวอย่างที่แช่ในกลีเซอรอลก่อนอบแห้ง สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาน้ำตาลได้ช้าที่สุด รองลงมาได้แก่การใช้ กลีเซอรอลร่วมกับทรีฮาโลส

Karathanos *et al.* (1995) ได้ทำการศึกษการเกิดปฏิกิริยาน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ในการอบแห้งลูกเกดด้วยลมร้อน โดยใช้การวัดค่าสี L^* ของลูกเกดอบแห้ง พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งลูกเกดที่ 90 องศาเซลเซียส เมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ค่าสี L^* ลดลง และเมื่อ

นำมาเปรียบเทียบกับการอบแห้งลูกเกดด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส พบว่าค่าสี L^* ลดลงมากกว่าการอบแห้งลูกเกดด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ส่วนการเปลี่ยนแปลงของค่าสี a^* และ b^* ที่อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งลูกเกดที่ 90 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งลูกเกดเพิ่มขึ้น ค่าสี a^* มีค่าเพิ่มขึ้น และค่าสี b^* มีค่าลดลง จากเริ่มต้น

Maskan (2001) ได้ทำการศึกษาจลศาสตร์การเปลี่ยนสีของกีวอบแห้งโดยใช้ลมร้อนอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟ และใช้ลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของสีกีวอบแห้ง พบว่าในระหว่างการอบแห้งค่าสี L^* และ b^* มีค่าลดลง และ a^* มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบวิธีการอบแห้งทั้ง 3 วิธี พบว่าการอบแห้งโดยใช้ลมร้อนมีค่าสีไม่แตกต่างกับการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟ และใช้ลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ

Funebo and Ohlsson (1998) ได้ทำการศึกษาการอบแห้งแอปเปิ้ลโดยใช้ลมร้อนและใช้ไมโครเวฟในการอบแห้ง พบว่าการอบแห้งโดยใช้ลมร้อนมีค่าสี L^* , a^* , และ b^* มีค่าใกล้เคียงกับการใช้ไมโครเวฟในการอบแห้ง ซึ่งการใช้ไมโครเวฟในการอบแห้งแอปเปิ้ลจะเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลมากกว่าการใช้ลมร้อนในการอบแห้ง ซึ่งใช้ค่าสี a^* เป็นตัวบ่งชี้การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของแอปเปิ้ลอบแห้ง