

บทที่ 2

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1 ลิ้นจี่

ลิ้นจี่เป็นไม้ผลกึ่งเมืองร้อน (subtropical fruit) มีชื่อสามัญหลายชื่อ เช่น Litchi, Lychee, Litchee, Lici, Laichi และ Leechee เป็นต้น จัดอยู่ใน Order Sapindales, Family Sapindaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Litchi chinensis* Sonn. ลิ้นจี่จัดเป็นผลไม้กลุ่ม nonclimacteric fruit คือ กลุ่มของผลไม้ที่มีอัตราการหายใจค่อนข้างคงที่ขณะที่ผลสุก (Holcroft and Mitcham, 1996; คณีย์และนิธิยา, 2548) นอกจากนี้ ผลลิ้นจี่ยังเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทยและเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของภาคเหนือ โดยเฉพาะภาคเหนือตอนบน ซึ่งแหล่งที่ปลูกลิ้นจี่มากที่สุดคือ อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ เนื่องจากสภาพภูมิอากาศเหมาะสมมาก อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันมีการปลูกลิ้นจี่กันมากขึ้นเกือบทุกภาคของประเทศ แต่แหล่งผลิตลิ้นจี่ที่สำคัญ ได้แก่ จังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ พะเยาลำพูน และสมุทรสงคราม (อนันต์, 2547)

ผลผลิตลิ้นจี่สามารถส่งออกไปจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศทั้งในรูปของผลสดและแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ นำรายได้เข้าประเทศปีละหลายล้านบาท โดยตลาดต่างประเทศที่สำคัญ ได้แก่ มาเลเซีย สิงคโปร์ ฮองกง ญี่ปุ่น ญูเวต แคนาดา ออสเตรเลีย สหรัฐอเมริกา ชาติอู่อาระเบีย อังกฤษ เยอรมัน เดนมาร์ก ฝรั่งเศส ไต้หวัน เนเธอร์แลนด์ เบลเยียม สวีเดน เป็นต้น ผลลิ้นจี่จะออกสู่ตลาดในช่วงกลางเดือนมิถุนายนจนถึงเดือนกรกฎาคม (อนันต์, 2547)

พันธุ์ลิ้นจี่ที่ปลูกในประเทศไทยแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม ตามแหล่งปลูกดังนี้ (อนันต์, 2547)

1. กลุ่มพันธุ์ลิ้นจี่ที่ปลูกในภาคกลางหรือที่ลุ่ม เป็นพันธุ์ลิ้นจี่ที่สามารถออกดอกได้โดยไม่ต้องอาศัยอากาศเย็นมากระตุ้น หรือไม่ต้องอาศัยอากาศเย็นติดต่อกันเป็นเวลานานมากระตุ้นการออกดอก สามารถปลูกในที่ราบต่ำแถวอำเภออัมพวา และอำเภอบางคนที จังหวัดสมุทรสงคราม ได้แก่ พันธุ์ค่อม (ค่อมลำเจียก) กะโหลกใบยาว ลำเภาแก้ว กระโถนทองพระโรง เขียวหวาน สาแหรกทอง จีน ไทยธรรมดา ไทยใหญ่ กะโหลกใบใหม่ กะโหลกในเตา ช่อระกำ และพันธุ์ทิพย์ เป็นต้น

2. กลุ่มพันธุ์ลิ้นจี่ที่ปลูกทางภาคเหนือหรือที่ดอน เป็นกลุ่มพันธุ์ลิ้นจี่ที่คาดว่ามีการนำเข้ามาปลูกในประเทศไทยหลังกลุ่มพันธุ์ที่ลุ่ม โดยลิ้นจี่พันธุ์นี้ต้องการความหนาวเย็นต่ำและยาวนานมากระตุ้นก่อนการออกดอกมากกว่าพันธุ์ที่ปลูกทางภาคกลาง นิยมปลูกเป็นการค้ากันแพร่หลายในภาคเหนือบริเวณจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย และจังหวัดใกล้เคียง พันธุ์ลิ้นจี่ที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ ได้แก่ พันธุ์กิมจี กิมเจ็ง กวางเจา ไกวมะ จักรพรรดิ จีนเกรียงศักดิ์ จีนเล็ก จีนใหญ่ จีนหอม นครพนม 1

นายสะอาด บรวิสเตอร์ ผ่าง 46 ผ่าง 80 พันธุ์ทิพย์ ลูกกลาย โอวเฮียะ ฮงฮวย ชมพู ผ่าง 1 ผ่าง 13 ผ่าง 21 ผ่าง 48 แม่จัน โอวเฮียะ โอวเฮียะใบคำ ฮาวาย ฮองกง ไทโซ ไทว่มพิงค์ เป็นต้น (อนันต์, 2547)

ลักษณะของลิ้นจี่พันธุ์จักรพรรดิ

ลิ้นจี่พันธุ์จักรพรรดิเป็นพันธุ์ที่ปลูกกันมากในจังหวัดทางภาคเหนือ โดยเฉพาะที่อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ และจังหวัดอื่นๆ เป็นพันธุ์ลิ้นจี่ที่มีทรงพุ่มใหญ่ เป็นพันธุ์หนัก ลักษณะทรงพุ่มเป็นแบบครึ่งวงกลม เปลือกลำต้นเรียบและมีสีเทาแกมเขียว ใบมีขนาดใหญ่ โคนใบกว้าง แล้วค่อยๆ เรียวไปด้านปลายใบ ใบอ่อนมีสีเหลืองปนเขียว ใบแก่มีสีเขียวเข้มเป็นมัน ลักษณะแผ่นใบคล้ายแผ่นหนัง มีใบย่อยจำนวน 3 คู่ ออกดอกเป็นช่อ ออกดอกเป็นกลุ่มๆ เปรอร์เซ็นต์การออกดอกปานกลาง คือ 25-50 เปรอร์เซ็นต์ ขนาดของช่อดอกยาว 21.7 เซนติเมตร ดอกบานพร้อมกับพันธุ์ฮงฮวย ช่อผลมีขนาดใหญ่ ติดผลเป็นกระจุก ต้องปลิดผลออกอย่างน้อย 2 ครั้งจึงจะให้ผลใหญ่ตามความต้องการของตลาด รูปทรงของผลเป็นรูปหัวใจ ขนาดของผลภายในช่อไม่ค่อยสม่ำเสมอ ผลขนาดใหญ่มีน้ำหนัก 40-50 กรัม โดยผลกว้าง 4.5 เซนติเมตร ยาว 4.3 เซนติเมตร ปลายผลป้าน ใหญ่ผลยกขึ้นทั้งสองข้าง ใหญ่กว้าง ผิวเปลือกขรุขระมีตุ่มหนามฐานตุ่มหนามกว้าง ปลายแหลมสั้น เปลือกหนา ผิวเปลือกสีแดงเข้ม เนื้อมีสีขาวขุ่นหนาประมาณ 1.2 เซนติเมตร เนื้อนุ่ม ฉ่ำน้ำ รสหวาน มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ 18 เปรอร์เซ็นต์ เมล็ดมีขนาดโต สีน้ำตาลเข้ม เมล็ดเป็นรูปรี ลิ้นจี่พันธุ์จักรพรรดิเป็นพันธุ์ที่ต้องการอากาศเย็นจัด ออกดอกประมาณเดือนมกราคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ และผลเริ่มสุกเก็บเกี่ยวได้ประมาณปลายเดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคม (นพดลและคณะ, 2543; อนันต์, 2547)

2.2 การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาผลลิ้นจี่

2.2.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

ผลลิ้นจี่เมื่อถึงระยะการเก็บเกี่ยวผลจะเปลี่ยนเป็นสีแดงเข้มหรือแดงอมชมพู ที่ผิวเปลือกด้านในมีสีชมพูหรือแดงเรื่อๆ ร่องระหว่างหนามจะแยก ความแหลมของหนามจะลดลง ใช้นิ้วมือลูบผิวของผลจะทราบถึงความแตกต่างระหว่างผลอ่อนและผลแก่ (สายชล, 2528) โดยส่วนประกอบทางเคมีและลักษณะทางสรีรวิทยาที่สำคัญบางลักษณะของผลลิ้นจี่สุกแสดงในตารางที่ 2.1 ปัญหาที่มักพบภายหลังการเก็บเกี่ยว คือ เปลือกผลลิ้นจี่จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลภายใน 1-2 วัน หลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง ถึงแม้การเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของเปลือกผลลิ้นจี่ไม่มีผลต่อรสชาติ แต่ลดมูลค่าทางการค้าของผลลิ้นจี่ (Underhill and Critchley, 1993; Fuchs *et al.*, 1993)

การเก็บรักษาผลลีนจี่ที่อุณหภูมิต่ำที่สุดที่ไม่เกิดอันตราย หรือก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอื่นๆ คือ ที่อุณหภูมิ 1.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95% ผลลีนจี่จะมีอายุการเก็บรักษา 3-5 สัปดาห์ (จริงแท้, 2544) การเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลมักมีสาเหตุมาจากการแห้งของเปลือก โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส และควบคุมบรรยากาศที่ O₂ 3-5% และ CO₂ 3-5% ความชื้นสัมพัทธ์ 90% สามารถควบคุมการเกิดสีน้ำตาลและคุณภาพของผลลีนจี่ไว้ได้ดี (Jiang and Fu, 1999) ผลลีนจี่พันธุ์ซงฮวย จักรพรรดิ และกิมเจง ยังสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ได้เป็นเวลา 7 สัปดาห์ ภายในถุง polyethylene 2 ชนิด คือ PD900 และ PD961 ซึ่งระหว่างการเก็บรักษาในสัปดาห์แรกปริมาณ O₂ ลดลง และปริมาณ CO₂ เพิ่มขึ้นภายในถุงอย่างรวดเร็ว โดย PD900 มี %CO₂ เพิ่มขึ้นถึง 11.47% ใน 2 สัปดาห์แรกของการเก็บรักษา และลดลงเป็น 6.25% ในสัปดาห์ที่ 7 ของการเก็บรักษา ส่วนค่า L*, a* และ b* ระหว่างการเก็บรักษาในถุง polyethylene ทั้ง 2 ชนิด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละพันธุ์ คือ พันธุ์ซงฮวย จักรพรรดิ และกิมเจง (Rattanapanone and Boonyakiat, 2005)

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบทางเคมีและลักษณะทางสรีรวิทยาที่สำคัญบางอย่างของผลลีนจี่สุก

องค์ประกอบ/ลักษณะทางสรีรวิทยา	ความเข้มข้น
คลอโรฟิลล์ที่ผิวเปลือก	
คลอโรฟิลล์ เอ	25 ไมโครกรัม/ 100 มิลลิกรัม
คลอโรฟิลล์ บี	14 ไมโครกรัม/ 100 มิลลิกรัม
น้ำตาลในเนื้อ	
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้	13-20 %
ฟรักโทส	1.6-3.1 กรัม/100 กรัมน้ำหนักสด
กลูโคส	5.0 กรัม/100 กรัมน้ำหนักสด
ซูโครส	8.5 กรัม/100 กรัมน้ำหนักสด
การสร้างเอทิลีน (C ₂ H ₄)	1-5 $\mu\text{l.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส
อัตราการหายใจ (CO ₂)	20 $\mu\text{l.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

(ที่มา : นพค และคณะ, 2543)

ผลการศึกษาของ Kaewchana และคณะ (2005) โดยได้ศึกษาเกี่ยวกับการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวยที่เก็บรักษาที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50, 70, 80 และ 90% ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบว่าที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50% เปลือกผลลิ้นจี่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเร็วที่สุด ส่วนที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90% เปลือกผลลิ้นจี่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลช้าที่สุด โดยค่า hue angle เพิ่มขึ้นขณะที่ค่า a^* ลดลง ส่วนการเก็บรักษาผลลิ้นจี่พันธุ์ Huaizhi ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75-85% บรรจุในถุงโพลีเอทิลีน (หนา 0.03 มิลลิเมตร) พบว่า ค่า L^* และ C^* ลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนค่า hue angle มีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากเก็บรักษาไปแล้วเป็นเวลา 6 วัน และมีอัตราการหายใจลดลงในขณะที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (Wu *et al.*, 2005) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า การแตกของเปลือกหลังการเก็บเกี่ยวทำให้เกิดการสูญเสียความชื้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เปลือกผลลิ้นจี่เกิดการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลด้วยเช่นกัน (Underhill and Critchley, 1993)

2.2.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีและชีวเคมี

การเก็บรักษาผลไม้ประเภท nonclimacteric ไว้ที่อุณหภูมิต่ำจะชะลอการเสื่อมเสีย ทำให้กระบวนการต่างๆ ทางเคมีและชีววิทยาช้าลง และยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ได้ (สายชล, 2528) โดยส่วนประกอบและคุณค่าทางโภชนาการของผลลิ้นจี่แสดงในตารางที่ 2.2 ซึ่งเนื้อผลลิ้นจี่สุกจะมีปริมาณน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุกโทสเพิ่มขึ้น ขณะที่ปริมาณกรดอินทรีย์ โดยเฉพาะกรดมาลิก มีปริมาณลดลง ส่วนเปลือกผลลิ้นจี่ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงหลังจากผลลิ้นจี่เริ่มสุก พร้อมกับมีการสังเคราะห์สารฟลาโวนอยด์เพิ่มมากขึ้น นั่นคือ มีปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้น ทำให้เปลือกเปลี่ยนเป็นสีแดง (Holcroft and Mitcham, 1996) ภายหลังจากเก็บเกี่ยวเปลือกผลลิ้นจี่เกิดการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอย่างรวดเร็ว สาเหตุหนึ่งมาจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์เร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอล โดยเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสและ/หรือเปอร์ออกซิเดส (Jiang *et al.*, 2004)

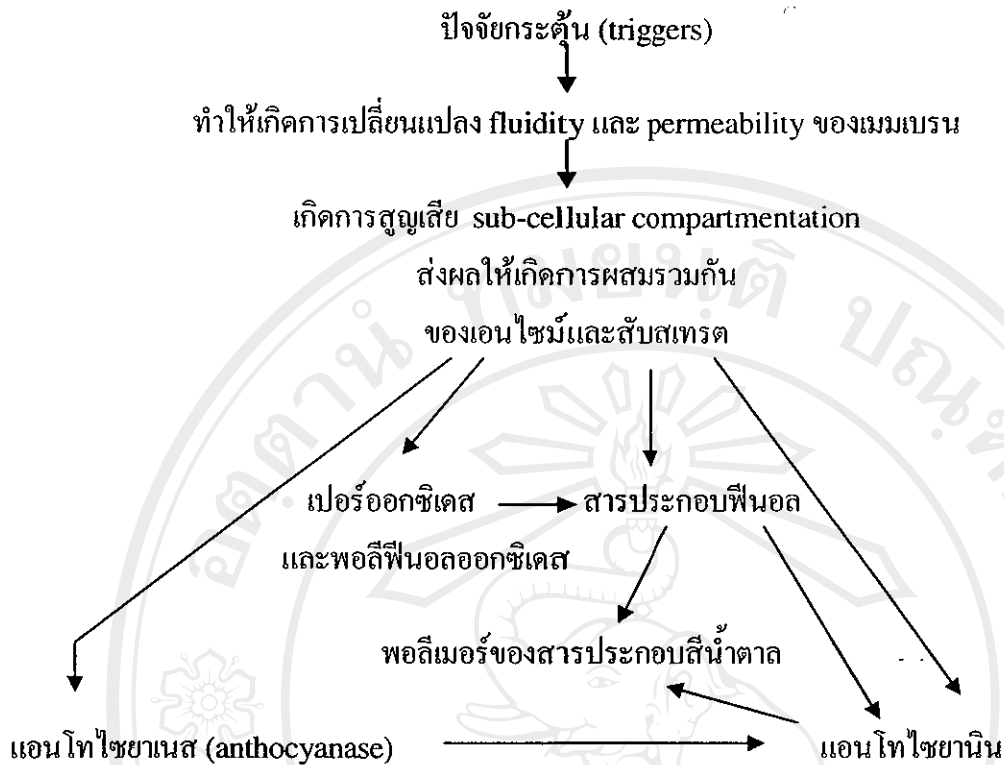
2.3 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลิ้นจี่

การเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลิ้นจี่มีหลายสาเหตุ คือ การแห้งของเปลือก ความร้อน การสะท้อนหนาว และศัตรูพืชหรือโรคพืช โดยพบว่าเซลล์ผนังชั้นกลาง (mesocarp) จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลลำดับแรก ตามด้วยเซลล์ผนังชั้นนอก (epicarp) และผนังชั้นนอก (endocarp) การเกิดสีน้ำตาลจะเกิดที่บริเวณหนามก่อนแล้วขยายไปจนทั่วทั้งเปลือกผลลิ้นจี่ โดยเฉพาะบริเวณผนังชั้นนอกและด้านบนของผนังชั้นกลาง นอกจากนั้นการเกิดสีน้ำตาลยังมีสาเหตุมาจากการสลายตัวของแอนโทไซยานิน กิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสและเปอร์ออกซิเดส และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิก (Holcroft and Mitcham, 1996) ดังรูปที่ 2.1

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบและคุณค่าทางโภชนาการของผลลิ้นจี่สด ในส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม

ส่วนประกอบทางเคมี	ปริมาณ
พลังงาน (แคลอรี)	63.00-64.00
ความชื้น (เปอร์เซ็นต์/100 กรัม)	81.90-84.83
โปรตีน (กรัม/100 กรัม)	0.68-1.00
ไขมัน (กรัม/100 กรัม)	0.30-0.58
คาร์โบไฮเดรต (กรัม/100 กรัม)	13.31-16.40
เส้นใยอาหาร (กรัม/100 กรัม)	0.23-0.40
เถ้า (กรัม/100 กรัม)	0.37-0.50
แคลเซียม (มิลลิกรัม/100 กรัม)	8.00-10.00
เหล็ก (มิลลิกรัม/100 กรัม)	0.40
โซเดียม (มิลลิกรัม/100 กรัม)	3.00
โพแทสเซียม (มิลลิกรัม/100 กรัม)	170.00
วิตามินบี 1 (ไทอามิน) (ไมโครกรัม/100 กรัม)	28.00
วิตามินบี 2 (ไรโบฟลาวิน) (มิลลิกรัม/100 กรัม)	0.40
ไนอะซิน (กรดนิโคตินิก) (มิลลิกรัม/100 กรัม)	0.05
วิตามินซี (กรดแอสคอร์บิก) (มิลลิกรัม/100 กรัม)	24.00-60.00

(ที่มา : รัตนา และนิธิยา, 2546)



รูปที่ 2.1 กลไกการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ในเปลือกผลลิ้นจี่ (Jiang *et al.*, 2004)

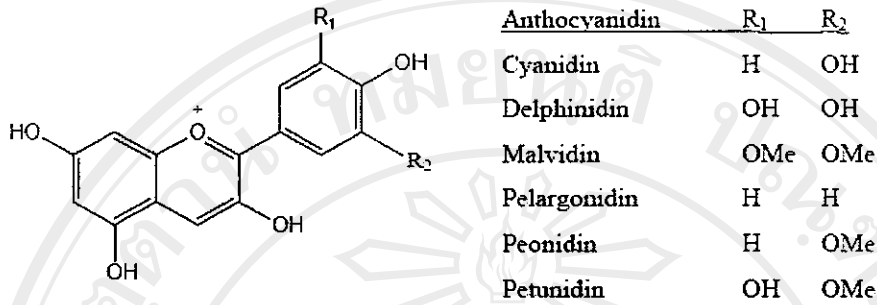
แอนโทไซยานิน (anthocyanin)

แอนโทไซยานิน เป็นสารสีที่พบอยู่ในเซลล์แซป (cell sap) ของพืช อยู่ในรูปของไกลโคไซด์ ให้สีแดง ม่วง และน้ำเงิน มีโครงสร้างพื้นฐานของโมเลกุลดังรูปที่ 2.2 โดยในเปลือกผลลิ้นจี่พบแอนโทไซยานินอยู่ในแวคิวโอ (vacuole) ของด้านบนของผนังชั้นกลาง (upper mesocarp) และพบเล็กน้อยในผนังชั้นนอก แอนโทไซยานินที่สกัดได้จากเปลือกผลลิ้นจี่ คือ cyanidin-3-rutinoside ซึ่งเป็นแอนโทไซยานินหลัก และพบไกลโคไซด์ชนิดอื่นๆ ได้แก่ cyanidin-3-glucoside, cyanidin-3-galactoside, malvidin-3-acetylglucoside, pelargonidin-3-glycosides และ pelargonidin-3,5-diglucoside (Lee and Wicker, 1991; Holcroft and Mitcham, 1996)

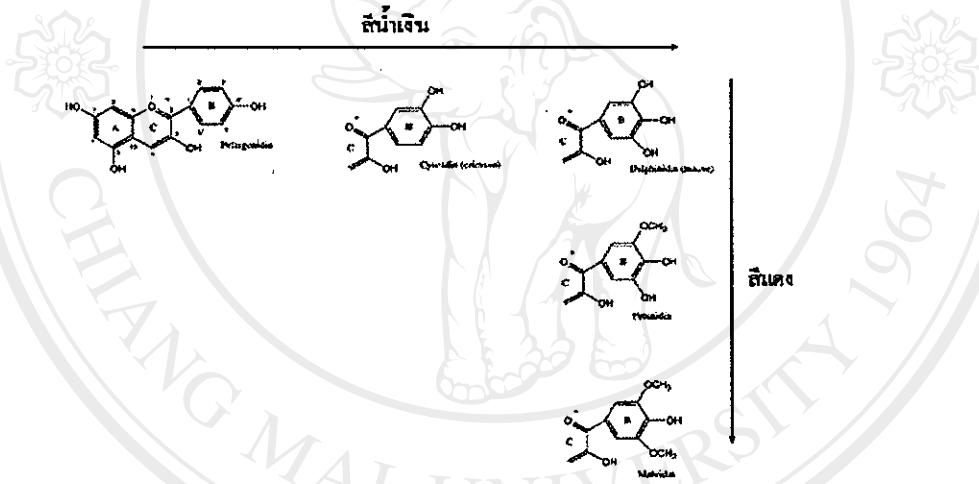
แอนโทไซยานินในเซลล์พืชหรือในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากพืชไม่ค่อยเสถียร การเปลี่ยนแปลงสีของแอนโทไซยานินถูกควบคุมด้วยปัจจัยที่สำคัญ คือ

1. โครงสร้างโมเลกุล หากในโครงสร้างวงแหวนฟีนอลมีจำนวนหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) หรือหมู่เมทอกซิล (-OCH₃) เพิ่มขึ้น จะมีผลต่อสีแอนโทไซยานิน เช่น การเพิ่มของหมู่ไฮดรอกซิลให้มาก

ขึ้นจะทำให้มีสีเข้มขึ้น และสีจะเปลี่ยนเป็นน้ำเงินมากขึ้นด้วย และการเพิ่มหมู่เมทอกซิลแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง 3' และ 5' จะทำให้มีสีแดงเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 2.3

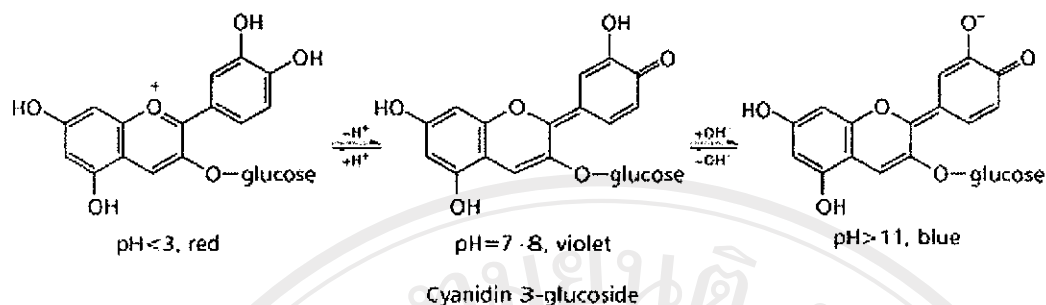


รูปที่ 2.2 โครงสร้างพื้นฐานใน โมเลกุลของแอนโทไซยานิน (Nutrient data laboratory, 2006)



รูปที่ 2.3 สีของแอนโทไซยานินเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง โครงสร้าง โมเลกุล (นิธิยา, 2545)

2. สภาพความเป็นกรดเป็นด่างหรือค่าพีเอช ค่าพีเอชของสารละลายที่แอนโทไซยานินละลายอยู่ มีผลต่ออัตราการสลายตัวของแอนโทไซยานิน ทำให้สีเปลี่ยนไปได้ ในสภาพที่เป็นกรดแอนโทไซยานินจะมีสีค่อนข้างแดง แต่เมื่อพีเอชเพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับที่เป็นกลางแอนโทไซยานินจะมีสีม่วง และหากค่าพีเอชมากกว่า 11 แอนโทไซยานินจะมีสีน้ำเงิน โดยโครงสร้างของโมเลกุลมีการเปลี่ยนแปลง (จริงแท้, 2544; นธิยา, 2545) ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโทไซยานินเมื่อค่าพีเอชเปลี่ยนแปลงไป (Chembytes e-zine, 2001)

3. **ปฏิกิริยาออกซิเดชัน** แอนโทไซยานินอาจจะถูกออกซิไดซ์ด้วยเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส ที่มีอยู่มากในเซลล์พืช โดยเฉพาะเมื่อพืชถูกกระทบกระเทือน ทำให้ผลิตภัณฑ์เปลี่ยนสีไปได้ โดยเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสจะไปเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอนโทไซยานิน ทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้น

4. **ปัจจัยอื่นๆ** ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของแอนโทไซยานิน ได้แก่ แสง ความร้อน เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส วิตามินซี ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไอออนของโลหะ โมเลกุลของน้ำตาล สารประกอบฟีนอล และสารสีอื่นๆ (จริงแท้, 2544)

การเก็บรักษาผลลึ้นจีสุกสีแดงที่อุณหภูมิ 3 ระดับ พบว่าการเปลี่ยนสีของเปลือกผลลึ้นจีเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิสูง ระดับของการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกมีความสัมพันธ์กับอัตราการแห้งของเปลือก ถึงแม้มีการสลายของแอนโทไซยานินในเนื้อเยื่อที่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ผลของค่าสีแดงและการมองเห็นสีด้วยตาเปล่าจะไม่สัมพันธ์กับปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ค่าสีแดงมีความสัมพันธ์กับค่าพีเอชของเปลือกอย่างมีนัยสำคัญ โดยสีของเปลือกจะเปลี่ยนแปลงเมื่อพีเอชของเปลือกด้านนอกเปลี่ยนไป สภาพความเป็นกรดทำให้ผลลึ้นจีมีสีแดงเพิ่มขึ้น ส่วนความเป็นด่างทำให้สีแดงเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน (discolorisation) (Underhill and Critchley, 1994)

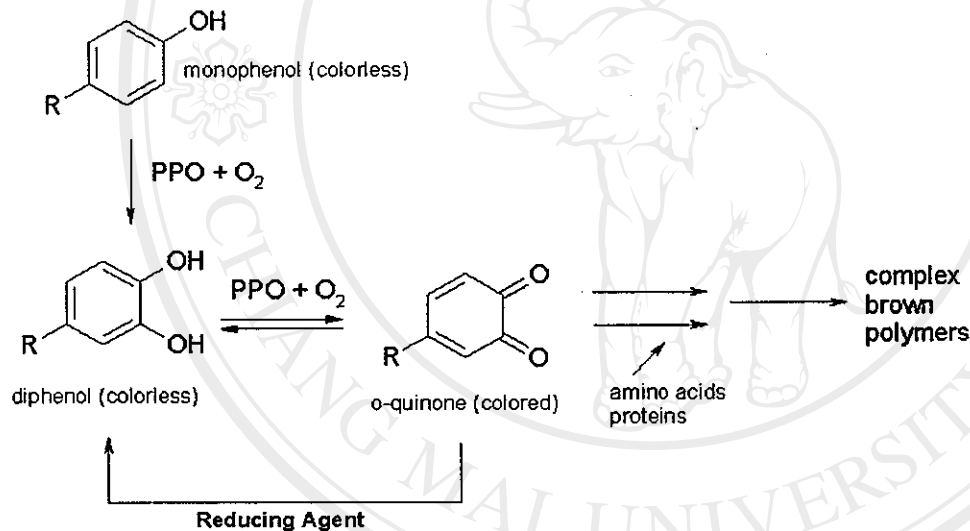
Zhang และคณะ (2001) รายงานว่าระหว่างการเก็บรักษาผลลึ้นจีพันธุ์ Huaizhi เปลือกผลลึ้นจีมีสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น ปริมาณแอนโทไซยานินลดลง และพบผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการสลายของแอนโทไซยานิน (anthocyanidin) และมีโครงสร้างเหมือนกับแคทีคอล (catechol) ซึ่งเป็นสับสเตรตของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส จึงเร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ และการศึกษานี้ยังพบเอนไซม์แอนโทไซยานเนส (anthocyanase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีกิจกรรมสูงบริเวณเปลือกผลลึ้นจี นอกจากนั้นยังมีการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของแอนโทไซยานินและการสร้างแอนโทไซยานินในเปลือกผลลึ้นจี ซึ่งสนับสนุนว่าเอนไซม์แอนโทไซยานเนส ส่งเสริมให้เกิดสีน้ำตาลใน

เปลือกผลลิ้นจี่ และเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาของแอนโทไซยานส-แอนโทไซยานิน-พอลิฟีนอลออกซิเดส (anthocyanase-anthocyanin-PPO)

เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase; PPO)

เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (1,2-benzenediol oxygen oxidoreductase, EC 1.10.3.1) หรืออาจเรียกว่า ไทโรซิเนส พอลิฟีนอลเลส ฟีนอลเลส แคทีคอลออกซิเดส ครีซอลเลส หรือ แคทีคอลเลส ขึ้นอยู่กับสับสเตรตที่ใช้ เอนไซม์จะทำปฏิกิริยากับสับสเตรต โดยเกิดไฮดรอกซีเลชันของสารประกอบโมโนฟีนอลไปเป็น ออร์โท-ไดฟีนอล (*o*-diphenol) ซึ่งจะถูกรีดออกซิไดส์ต่อไปเป็น ออร์โท-ควิโนน (*o*-quinone) และจะทำปฏิกิริยาแบบไม่มีเอนไซม์เกี่ยวข้องกับสารประกอบต่างๆ รวมทั้งสารประกอบฟีนอลและกรดอะมิโน ทำให้เกิดรงควัตถุต่างๆ (นิธิยา, 2545; สีวาพร, 2546)

ดังรูปที่ 2.5

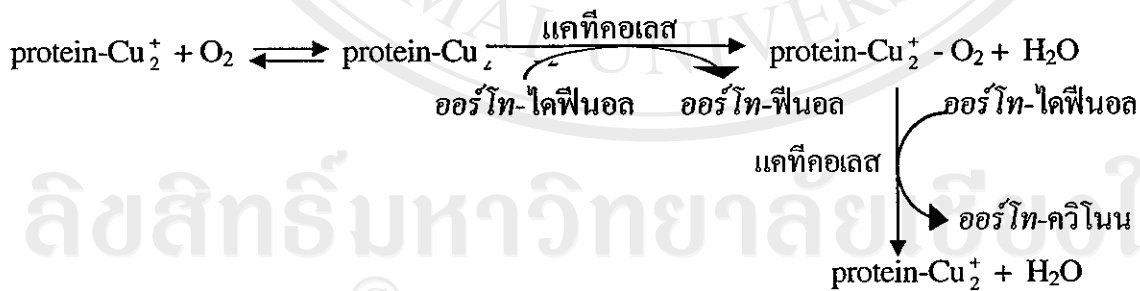


รูปที่ 2.5 การเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากปฏิกิริยาของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (Marshall *et al.*, 2000)

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ในผักและผลไม้ คือ ความเข้มข้นของเอนไซม์ และสารประกอบฟีนอลที่เป็นสับสเตรต ความเป็นกรด-ด่าง ออกซิเจน และ อุณหภูมิ เป็นต้น สับสเตรตที่ถูกออกซิไดส์ซึ่งเกิดจากการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส ได้แก่ สารประกอบฟีนอลที่มีอยู่ในพืช ซึ่งเป็นสารฟลาโวนอยด์ (flavonoids) เช่น แอนโทไซยานิน ลูโคแอนโทไซยานิน ฟลาโวนอล แคทีคอล กรดคาเฟอิก กรดคลอโรจีนิก แคทีชิน เอสเทอร์ของกรดซินนามิก (cinnamic acid ester) 3,4-ไดไฮดรอกซีฟีนิลอะลานีน (3,4-dihydroxy phenylalanine หรือ DOPA) และไทโรซีน โดยค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อกิจกรรมของเอนไซม์

พอลิฟีนอลออกซิเดส อยู่ในช่วงพีเอช 5-7 ซึ่งประสิทธิภาพของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส สามารถถูกยับยั้งได้โดยความร้อน กรดเฮไลด์ (halides) กรดฟีนอล สารประกอบซัลไฟด์ สารจับโลหะ ริควิริงเอเจนต์ เช่น กรดแอสคอร์บิก สารที่ทำปฏิกิริยากับควิโนน เช่น ซีสมตอิน และสารที่ไปทำปฏิกิริยากับสับสเตรต เช่น พอลิไวนิลพอลิไพโรลลิโดน (polyvinylpolypyrrolidone, PVPP) และเบต้า-ไซโคลเด็กทรีน (β -cyclodextrin) เป็นต้น ซึ่งปฏิกิริยาในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของสารต่างๆ ที่กล่าวมานั้น สารบางชนิดจะทำปฏิกิริยากับเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสโดยตรง แต่บางชนิดจะไปทำปฏิกิริยากับสับสเตรต ทำให้ปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่จะเกิดขึ้นหยุดลงได้ การเกิดสีน้ำตาลตามรอยชำหรือรอยตัดของเนื้อเยื่อผักและผลไม้เกิดขึ้นได้เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของ ออร์โท-ควิโนน และพอลิเมอไรเซชันของสารที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (นิธิยา, 2545; ศิวาพร, 2546)

เอนไซม์ฟีนอลเลสค้นพบครั้งแรกโดย G. Bertrand ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนเป็นสีดำเกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไทโรซีน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่มีหมู่ฟีนอล ต่อมา F. Kubowitz ได้สกัดเอนไซม์ฟีนอลเลสออกมาจากมันฝรั่งและทำให้บริสุทธิ์ได้ และพบว่ามีทองแดงเป็นแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของเอนไซม์ จึงทำให้ทราบถึงหน้าที่ของทองแดงในเนื้อเยื่อพืชและสัตว์ การทำงานของเอนไซม์มี 3 ขั้นตอน คือ เอนไซม์ซึ่งเป็นโปรตีนต่ออยู่กับคิวพรัส 2 อะตอม (protein-Cu_2^+) ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน 1 อะตอม ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อน $\text{protein copper-oxygen}$ หลังจากนั้นจะไปทำปฏิกิริยากับโมโนฟีนอล ได้เป็น ออร์โท-ควิโนน ส่วนเอนไซม์แคทีคอลเลสจะออกซิไดซ์ ออร์โท-ไดฟีนอล 2 โมเลกุล เป็น ออร์โท-ฟีนอล 2 โมเลกุล และได้น้ำ 2 โมเลกุลออกมาด้วย ดังสมการ (นิธิยา, 2545)



Jiang และคณะ (1997) รายงานว่าในเปลือกผลลิ้นจี่พันธุ์ Mauritius ค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส คือ พีเอช 7.0 และอุณหภูมิที่เอนไซม์ทำงานได้ดีที่สุดคือ 70 องศาเซลเซียส แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 90 และ 100 องศาเซลเซียส กิจกรรมของเอนไซม์มีค่าต่ำลงอย่างรวดเร็วมากกว่า 50% ในเวลา 8.6 และ 7.6 นาที ตามลำดับ ในเปลือกผลลิ้นจี่มีสับสเตรตที่เหมาะสมต่อเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส คือ ไพโรแกลลอล (pyrogallol), แคทีคอล

และ 4-เมทิลแคทีคอล (4-methylcatechol) แต่จะไม่เกิดกิจกรรมของเอนไซม์กับกรดคลอโรจินิก (chlorogenic acid), พารา-ครีซอล (*p*-cresol), รีซอร์ซินอล (resorcinol) หรือไทโรซีน ส่วนกลูตาไทโอนในรูปรีดิวซ์ (reduced glutathione), แอล-ซิสเตอีน (L-cysteine), โทรโพลอน (tropolone), ไทโอยูเรีย (thiourea), เฟอร์รัสซัลเฟต (FeSO₄) และทิน (II) คลอไรด์ (SnCl₂) สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส ได้ ขณะที่แมงกานีส (II) ซัลเฟต (MnSO₄) และแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂) ส่งเสริมกิจกรรมของเอนไซม์

การเกิดสีน้ำตาลในเปลือกผลลึ้นจึ้นนั้นส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส โดยกิจกรรมของเอนไซม์จะลดลงอย่างรวดเร็วภายใน 24 ชั่วโมงแรกภายหลังการเก็บเกี่ยว (Underhill and Critchley., 1993) เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสจะเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอล กิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในการเก็บรักษาผลลึ้นจึ้นลดลง (Jiang and Fu, 1999)

เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (Peroxidase; POD)

เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (donor: hydrogen-peroxide oxidoreductase; EC 1.11.1.7) เป็นเอนไซม์ที่พบได้ทั่วไปในพืชชั้นสูง นอกจากนี้ยังพบในสัตว์และจุลินทรีย์ เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส เป็นเอนไซม์ที่ทนต่อความร้อนได้ดี เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสเร่งปฏิกิริยาได้ 4 ลักษณะ ตามชนิดสับสเตรต (ปราณี, 2543) คือ

1. **Peroxidation** : ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาหลักของเปอร์ออกซิเดสในหลอดทดลอง (*in vitro*) ที่มีสับสเตรตเป็นสารประกอบฟีนอล (phenolic substrate) เช่น พารา-ครีซอล, กัวอะคอล (guaiacol), รีซอร์ซินอล, อะนิลีน



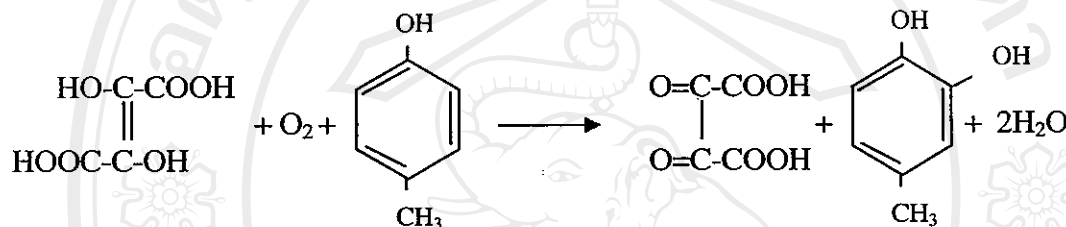
2. **Oxidation** : ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นเมื่อมีโมเลกุลของออกซิเจน (O₂) และสับสเตรตเป็นสารประกอบพวกกรดไดไฮดรอกซีฟูมาริก (dihydroxyfumaric acid), กรดแอสคอร์บิกและกรดไฮโครควิโนน เป็นต้น



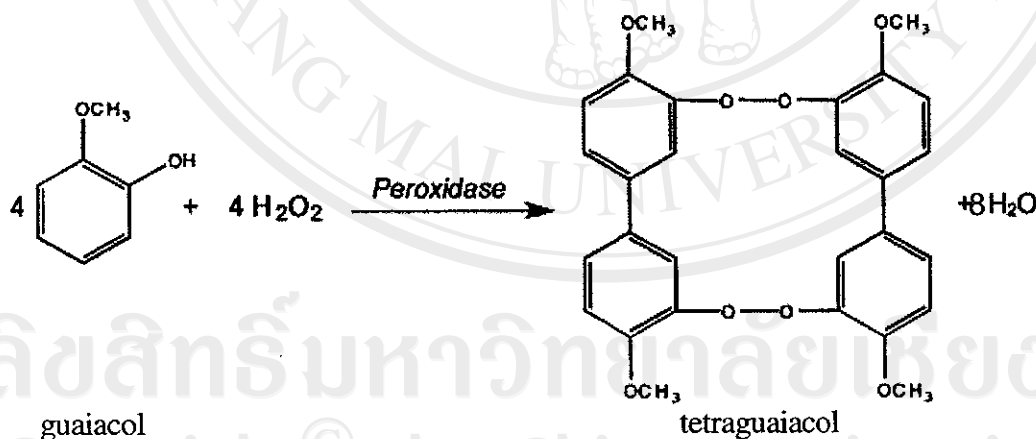
3. **Catalysis** : ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นในกรณีที่มีสาร hydrogen donor (AH_2) และเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส สามารถทำหน้าที่เหมือนเอนไซม์แคทาเลส โดยเปลี่ยน H_2O_2 ไปเป็น H_2O และ O_2 แต่ช้ากว่าปฏิกิริยาแบบ peroxidation และ oxidation อย่างน้อย 1,000 เท่า



4. **Hydroxylation** : เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกรณีที่มี hydrogen donor เช่น กรดไดไฮดรอกซีฟูมาริกและออกซิเจน (O_2) เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสสามารถเร่งปฏิกิริยาการเติมหมู่ OH (hydroxylation) ให้กับสาร aromatic หลายชนิด เช่น พารา-ทรีซอล, ไทโรซีน, ฟีนิลอะลานีน (phenylalanine), กรดเบนโซอิก และกรดซาลิไซลิก



ตัวอย่างของปฏิกิริยาการออกซิเดชันของสารกัวอะคอล ซึ่งเป็นสารให้ไฮโดรเจน ในขณะที่ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เมื่อมีเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสเร่งปฏิกิริยา จะได้ผลิตภัณฑ์คือเตตระกัวอะคอล (tetraguaiacol) ซึ่งมีสีน้ำตาล ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ปฏิกิริยาการออกซิเดชันของสารกัวอะคอลกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เร่งปฏิกิริยาด้วยเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (ปราณี, 2543)

ในเปลือกผลลิ้นจี่กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายหลังการเก็บเกี่ยว โดยกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสเพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วง 15 วันของการเก็บรักษา ขณะที่

กิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส จะลดลงต่ำขณะเก็บรักษาจนกระทั่งวันที่ 29 ของการเก็บรักษา (Holcroft and Mitcham, 1996)

Zhang และคณะ (2005) รายงานว่า กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในเปลือกผลลิ้นจี่เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลที่ผิวของผลลิ้นจี่ขณะเก็บรักษา แต่ไม่สัมพันธ์กับปริมาณแอนโทไซยานิน ผลการทดลองในหลอดทดลอง พบว่าเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสไม่สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอนโทไซยานินในเปลือกผลลิ้นจี่ที่มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ได้โดยตรง แต่ปริมาณแอนโทไซยานินลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากการเติมสารละลายท้าวอะคอล นั่นคือการสลายตัวของแอนโทไซยานินโดยเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส เกิดควบคู่กับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากนั้นแอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของแอนโทไซยานินบริสุทธิ์ สามารถเกิดปฏิกิริยาเป็นสับสเตรตของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสได้ ดังนั้นการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลิ้นจี่ที่มีสาเหตุจากเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสนั้นอาจเกี่ยวข้องกับการปฏิกิริยาร่วมกันของแอนโทไซยานิน-แอนโทไซยานิน-สารประกอบฟีนอล-ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (anthocyanase-anthocyanin-phenolic- H_2O_2)

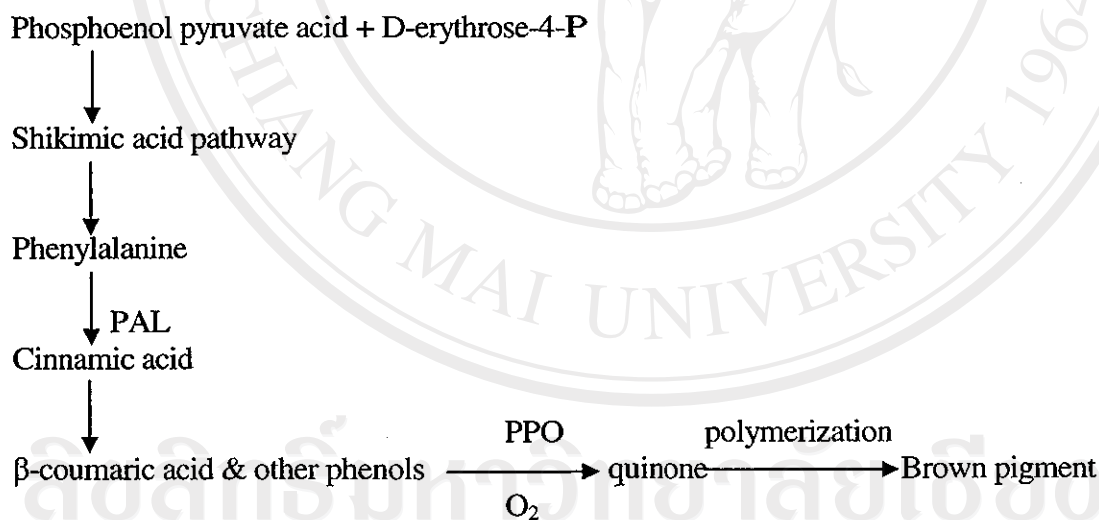
ผลการศึกษาของ Underhill and Critchley (1995) พบว่าบริเวณที่เกิดการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในเปลือกผลลิ้นจี่นั้นมีความเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสและเปอร์ออกซิเดสอย่างมีนัยสำคัญ โดยเปลือกผลลิ้นจี่ที่เกิดการเปลี่ยนสีน้ำตาลบริเวณแรกคือ บริเวณยอดของหนามและค่อๆ ขยายออกไปบนผิวเปลือก นั่นคือเกิดการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลที่ผนังชั้นนอกและด้านบนของผนังชั้นกลาง โดยกิจกรรมของเอนไซม์ทั้ง 2 ชนิดจะเกิดสูงสุดที่บริเวณผนังชั้นนอก และเกิดน้อยลงเป็นลำดับในผนังชั้นกลางและผนังชั้นใน ซึ่งเนื้อเยื่อในบริเวณผนังชั้นนอก มีกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสสูง ส่วนกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสแม้ว่าในช่วงแรกจะพบเฉพาะที่ผนังชั้นกลาง เนื้อเยื่อลำเลียง (vascular tissue) และพบที่ผนังชั้นนอกและด้านบนของผนังชั้นกลางด้วย ขณะที่กิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสและเปอร์ออกซิเดส ในเนื้อเยื่อและบริเวณที่เกิดสีน้ำตาลมีกิจกรรมของเอนไซม์มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณที่ไม่เกิดสีน้ำตาล แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสและเปอร์ออกซิเดสมีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกลิ้นจี่

สารประกอบฟีนอล (Phenolic compounds)

สารประกอบฟีนอล ได้แก่ สารประกอบที่มีหมู่ฟีนอลเป็นองค์ประกอบสำคัญในโมเลกุล และอาจมีหมู่เคมีอื่นๆ เข้ามาเกาะที่ตำแหน่งต่างๆ เช่น กรดซินนามิก (cinnamic acid) กรดคาฟเฟอิก (caffeic acid) กรดคลอโรจินิก แอนโทไซยานินและแทนนิน นอกจากนั้น กรดอะมิโนไทโรซีน และฟีนิลอะลานิน ก็จัดเป็นสารประกอบฟีนอลเช่นเดียวกัน และมีขั้นตอนการสังเคราะห์สารดังกล่าว

เริ่มต้นจากกรดชิคิมิก (shikimic acid) เช่นเดียวกับสารประกอบฟีนอลอื่นๆ โดยได้จากการรวมตัวกันของโมเลกุลฟอสโฟอินอลไพรูเวต (phosphoenol pyruvate) จากไกลโคไลซิส (glycolysis) และอีรีโทรส-4-ฟอสเฟต (erythrose-4-phosphate) จากวัฏจักรแคลวิน (Calvin cycle หรือ pentose phosphate pathway) แต่มักจะจัดอยู่ในกลุ่มของกรดอะมิโนฟีนิลอะลานินเองก็เป็นโมเลกุลต้นแบบ (precursor) ของสารประกอบฟีนอลอื่นๆ โดยการทำงานของเอนไซม์ฟีนิลอะลานินแอมโมเนียไลเอส (phenylalanine ammoniolyase; PAL) ดึงเอาหมู่อะมิโนออกจากฟีนิลอะลานินได้เป็นกรดชินนามิก สารประกอบฟีนอลมักถูกมองว่าเป็นสารประกอบที่เป็นผลพลอยได้จากการเมแทบอลิซึมของเซลล์

ความสำคัญของสารประกอบฟีนอลอาจแยกออกได้เป็น 3 ประการด้วยกัน คือ การต้านทานโรค รสฝาด และให้สี โดยแอนโทไซยานินซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลอย่างหนึ่งที่ให้สีกับผักและผลไม้ ส่วนสารประกอบฟีนอลอื่นๆ ซึ่งปกติไม่ให้สี แต่อาจทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นได้เมื่อเซลล์ผักหรือผลไม้ถูกทำลาย สีน้ำตาลที่เกิดขึ้นเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสไปเร่งปฏิกิริยา ซึ่งสารประกอบฟีนอลจะถูกออกซิไดซ์ไปเป็นควิโนน แล้วรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่ (polymerization) และมีสีน้ำตาล ดังรูปที่ 2.6 (จริงแท้, 2544)



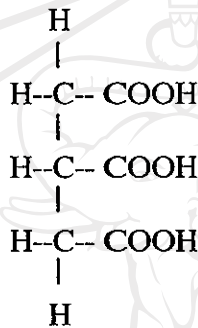
รูปที่ 2.7 ขั้นตอนการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลและการเกิดสีน้ำตาล (จริงแท้, 2544)

ผลการศึกษาของ Zhang และคณะ (2000) ที่ศึกษาในผลล้นจี่พันธุ์ Huaizhi เกี่ยวกับสารประกอบฟีนอล โดยทำการแยกให้บริสุทธิ์ จำแนกชนิดและการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลในเปลือกผลล้นจี่ระหว่างการเก็บรักษา โดยทำการทดลองเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (20-25 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 7 วัน และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 35 วัน พบว่าใน

เปลือกผลลื่นจีประกอบด้วย flavan-3-ol monomers และ dimers เช่น (+)-catechin, (+)-gallocatechin, (-)-epicatechin, (-)-epicatechin 3-gallate, procyanidin B1, procyanidin B2 และ procyanidin B4 ซึ่งพบถึง 87.0% ของสารประกอบฟีนอลทั้งหมด และพบ cyanidin-3-glucoside ซึ่งเป็นแอนโทไซยานินหลัก โดยพบถึง 91.9% ของแอนโทไซยานินทั้งหมด นอกจากนี้ยังพบ malvidin-3-glucoside อีกเล็กน้อย ดังนั้น สับสเทรตหลักที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์คือ flavan-3-ol monomers และ dimers รวมถึง cyanidin-3-glucoside

2.4 สารละลายกรด

2.4.1 กรดซิตริก (Citric acid)



กรดซิตริกเป็นกรดอินทรีย์ ที่พบมากตามธรรมชาติทั้งในพืชและสัตว์ โดยในพืชจะพบกรดซิตริกมากในผลไม้ตระกูลส้ม สับปะรด สตรอเบอรี่ และมะม่วง เป็นต้น กรดซิตริกมีคุณสมบัติที่ดีกว่ากรดชนิดอื่นๆ คือละลายน้ำได้ดี มีกลิ่นรสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เป็นสารจับโลหะที่มีประสิทธิภาพสูง (chelating agent) โดยสามารถจับกับทองแดงที่ active site ของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส จึงสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ได้ (Marshall *et al.*, 2000)

ในอุตสาหกรรมอาหารนิยมใช้กรดซิตริกและเกลือของกรดซิตริก เช่น ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม ทั้งน้ำผลไม้ น้ำหวานชนิดต่างๆ ทั้งที่อัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และไม่อัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ หรือเครื่องดื่มประเภทที่มีแอลกอฮอล์ จะใช้กรดซิตริกและเกลือของกรดซิตริกช่วยปรับให้มีกลิ่นรสและความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม เป็นวัตถุดิบเสี่ยช่วยยืดอายุการเก็บรักษา ช่วยทำให้สีกลิ่นและรสของเครื่องดื่มมีความคงตัวดีขึ้น ในอุตสาหกรรมผักและผลไม้กระป๋องใช้กรดซิตริกช่วยในการปรับความเป็นกรด-ด่างให้ต่ำลง ทำให้สามารถช่วยลดอุณหภูมิและเวลาที่จะต้องใช้ในการฆ่าเชื้อให้น้อยลง

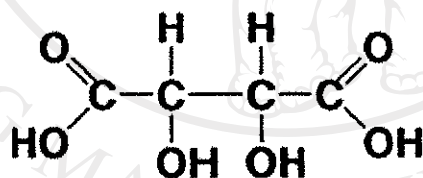
ในผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้เยือกแข็ง กรดซิตริกนอกจากไปช่วยปรับความเป็นกรด-ด่างแล้วยังไปรวมตัวกับโลหะที่อาจปนเปื้อนมา ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน ทำให้กรดแอสคอร์บิกที่มีอยู่ตามธรรมชาติในผักหรือผลไม้ นั้นคงตัวดีขึ้น ซึ่งจะมีผลต่อเนื่องไปถึงความคงตัวของสีและกลิ่นรส

ของผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้เพราะกรดแอสคอร์บิกจัดเป็นวัตถุกันหืนธรรมชาติ และกรดซิตริกที่เติมลงไปนี้ ยังไปช่วยทำปฏิกิริยากับต่างที่อาจหลงเหลือมาในช่วงการปอกเปลือกด้วยด่าง ซึ่งต่างจะเป็นสาเหตุให้ กรดแอสคอร์บิกในผักและผลไม้สลายตัวได้ ส่วนการชะลอการเกิดสีน้ำตาลที่จะเกิดขึ้นในกล้วยหรือ แอปเปิ้ลเหล่านั้น สามารถทำได้โดยการจุ่มผลกล้วยหรือแอปเปิ้ลในสารละลายผสมระหว่างกรดซิตริก และกรดอีริทอร์บิก (erythorbic acid) (ศิวาพร, 2546)

Jiang and Fu (1997) รายงานว่า การใช้สารละลายกลูทาไทโอนความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ และสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ สามารถควบคุมการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลิ้นจี่พันธุ์ Huaizhi และสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสได้ 80-85% เมื่อเก็บรักษาไว้นาน 6 วัน

Terdbaramee และคณะ (2002) ได้จุ่มผลลิ้นจี่พันธุ์ Khom ในสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 M เป็นเวลา 10 และ 30 นาที เก็บรักษาผลลิ้นจี่ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95% เก็บรักษาเป็นเวลา 42 วัน พบว่าการจุ่มผลลิ้นจี่ในสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 1.0 M เป็นเวลา 10 นาทีสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลิ้นจี่ได้ดีที่สุด และพบว่าการใช้กรดซิตริกมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกธรรมชาติเล็กน้อย โดยเปลี่ยนเป็นสีชมพู-แดง

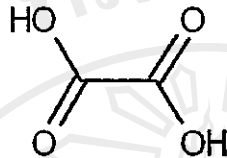
2.4.2 กรดทาร์ทริก (Tartaric acid)



กรดทาร์ทริกหรือกรดมะขาม เป็นกรดไดไฮดรอกซีไดคาร์บอกซิลิก (dihydroxy dicarboxylic acid) มีรสเปรี้ยวแหลม พบมากในมะขามและองุ่น มีลักษณะเป็นผลึกไม่มีสี หรือเป็นผงสีขาว ละลายน้ำได้ดี นิยมใช้ในอาหารเพื่อช่วยเพิ่มความเป็นกรด ช่วยควบคุมความเป็นกรด-ด่าง ช่วยเพิ่มกลิ่นรส ช่วยเพิ่มความคงตัว ช่วยลดความชื้นและเป็นสารจับโลหะ กรดทาร์ทริกเกลือ โซเดียมโพแทสเซียมทาร์เตรต และ โคลีนไบทาร์เตรต (choline bitartrate) ได้รับอนุญาตให้ใช้ในอาหารได้ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 84 ในปริมาณที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังพบว่าในการผลิตกระดาษดอกอบแห้งมีการใช้กรดทาร์ทริก มีผลทำให้สูญเสียกรดแอสคอร์บิกลดลง (ศิวาพร, 2546)

สำหรับเปลือกผลลิ้นจี่ที่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล มีการใช้สารละลายกรดทาร์ทาริกที่พีเอช 0.5 โดยจุ่มผลลิ้นจี่หลังการเก็บเกี่ยวในสารละลายกรดทาร์ทาริกก่อนการส่งออก สามารถคงสภาพสีแดงของเปลือกผลลิ้นจี่ระหว่างการส่งออกได้ (Kruger *et al.*, 1999)

2.4.3 กรดออกซาลิก (Oxalic acid)



กรดออกซาลิกเป็นกรดอินทรีย์ที่พบในพืชหลายชนิด เช่น ผักโขม มะเขือเทศ หน่อไม้ฝรั่ง แครอท กระเทียม และหอมหัวใหญ่ เป็นต้น กรดออกซาลิกสามารถทำให้สารละลายมีความเป็นกรดสูงขึ้น เป็นสารที่มีประสิทธิภาพสูงในการจับกับโลหะ คือ ทองแดงและเหล็ก ซึ่งเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสและเปอร์ออกซิเดส ตามลำดับ และกรดออกซาลิกมีคุณสมบัติที่สามารถแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออนสูง (acidulant) (ศิวาพร, 2546)

ในการศึกษาผลของสารเคมีบางชนิดต่อการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกผลลิ้นจี่พันธุ์ฮวงฮวยหลังการเก็บเกี่ยว โดยการแช่ผลลิ้นจี่ในน้ำร้อน (98 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 30 วินาที ก่อนการแช่ผลลิ้นจี่ในสารละลายกรดซิตริก กรดแอสคอร์บิก และกรดออกซาลิก ที่ระดับความเข้มข้น 0, 2.5, 5, 10 และ 15% เป็นเวลา 15 นาที แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 74% เป็นเวลา 5 วัน พบว่าสารละลายกรดออกซาลิกความเข้มข้น 10% เป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่ดีที่สุด และยังพบว่า การแช่ผลลิ้นจี่ในน้ำร้อนมีผลเพิ่มประสิทธิภาพของสารละลายกรดเหล่านี้ ซึ่งการแช่ผลลิ้นจี่ในน้ำร้อนตามด้วยการแช่ในสารละลายกรดออกซาลิกมีผลรักษาสีแดงและยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลิ้นจี่ได้ดีที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยลดกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสและเปอร์ออกซิเดสให้ต่ำลงและรักษาสารประกอบฟีนอลและแอนโทไซยานินทั้งหมดให้มีปริมาณสูง (กัญญารัตน์, 2548)

การเคลือบผิวผลลิ้นจี่พันธุ์ Huaizhi ด้วยสารละลายกรดออกซาลิก ความเข้มข้น 2 และ 4 โมลาร์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-90% สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลิ้นจี่ได้ โดยยับยั้งการสลายตัวของแอนโทไซยานินและลดการเกิดกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส จึงส่งผลชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ในระหว่างการเก็บรักษาได้ (Zheng and Tian, 2006)