บทที่ 2
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1 ลิ้นจี่

ลิ้นจี่เป็นผลไม้ประเภท non-climacteric ที่หลังการเก็บเกี่ยวไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีมาก และเอทธิลีนไม่มีผลต่อการสุก หรือเป็นผลไม้ที่ไม่สามารถบ่มให้สุกได้ ดังนั้นการเก็บเกี่ยวลิ้นจี่จึงควรเก็บในระยะที่ผลแก่เต็มที่เพื่อให้ผลผลิตมีคุณภาพดี โดยทั่วไปการเก็บเกี่ยวลิ้นจี่จะดูการเปลี่ยนของสีเปลือกลิ้นจี่เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจ สังเกตได้จากสีของเปลือกลิ้นจี่เปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเขียวอมชมพู สีชมพูหรือสีแดง ซึ่งเกณฑ์การเปลี่ยนสีจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ สภาพแวดล้อม และการดูแลรักษา เกณฑ์อีกลักษณะหนึ่งที่ใช้ในการประกอบการตัดสินใจ คือ การดูหนามของผลลิ้นจี่ ซึ่งลิ้นจี่ที่มีผลแก่หนามบนเปลือกผิวจะห่างกัน

2.2 ส่วนประกอบทางเคมีของผลลิ้นจี่

ลิ้นจี่แต่ละพันธุ์มีส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อแตกต่างกัน อันเนื่องจากภูมิประเทศ ฤดูกาล การจัดการระหว่างการปลูก และระยะความแก่อ่อนหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งส่วนประกอบทางเคมีในผลลิ้นจี่มีดังนี้ (นิธิยา และ ดนัย, 2533)

2.2.1 ความชื้นหรือปริมาณน้ำ ผลลิ้นจี่มีน้ำ 77 - 87 % ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์

2.2.2 โปรตีน ผลลิ้นจี่มีโปรตีนเล็กน้อยคือ 0.8 – 0.9 % และปริมาณสูงสุดที่เคยมีรายงานไว้ประมาณ 1.5 % โปรตีนที่พบมักอยู่ในรูปเอนไซม์มากกว่ารูปอื่น ๆ

2.2.3 ไขมัน ลิ้นจี่มีไขมันน้อยกว่า 1 % ไขมันส่วนใหญ่เป็นส่วนประกอบในเยื่อหุ้มเซลล์และไขเคลือบผิว

2.2.4 ปริมาณน้ำตาล 20 - 60 % โดยอยู่ในรูปของน้ำตาลซูโครส และน้ำตาลรีดิวส์ คาร์โบไฮเดรตในผลลิ้นจี่ ประกอบด้วยน้ำตาลทั้งหมด 15.3 % เป็นน้ำตาลรีดิวส์ 81.7 % และน้ำตาลซูโครส 18.3 % ของปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ลิ้นจี่ที่ปลูกในไต้หวันจำนวน 23 สายพันธุ์ Somogyi *et al.* (1996) รายงานว่า มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 14.0 – 20.3 ^{o}Brix และลิ้นจี่สาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

พันธุ์ Brewster มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 16.8 % ประกอบด้วยซูโครส 51.1 % กลูโคส 30.1 % และฟรุคโตส 18.8 %

ตาราง 2.1 องค์ประกอบและลักษณะทางสรีระวิทยาของลิ้นจี่สุก

องค์ประกอบ/ลักษณะทางสรีระวิทยา	ความเข้มข้น/ปฏิกิริยา
คลอโรฟิลล์ที่ผิวเปลือก	
คลอโรฟิลล์เอ	25 μg. 100 mg^{-1}
คลอโรฟิลล์บี	14 μg. 100 mg^{-1}
น้ำตาลในเนื้อ	
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้	13 – 20 ^{o}Brix
ฟรุคโตส	1.6 – 3.1 g. 100 g^{-1} น้ำหนักสด
กลูโคส	5.0 g. 100 g^{-1} น้ำหนักสด
ซูโครส	8.5 g. 100 g^{-1} น้ำหนักสด
กรดแอสคอร์บิค	40 – 50 mg. 100 g^{-1} น้ำหนักสด
การสร้างเอทธิลีน (C_2H_4)	1 – 5 μl.kg^{-1}.h^{-1} ที่ 25 ^{o}C
อัตราการหายใจ (CO_2)	25 μl.kg^{-1}.h^{-1} ที่ 25 ^{o}C

ที่มา : นพดล และคณะ (2543)

2.2.5 กรด ชนิดของกรดที่พบมากในลิ้นจี่คือ กรดมาลิก รองลงมาคือ กรดซิตริก กรดซัคซินิก กรดฟอสฟอริก กรดกลูตามิก กรดมาโลนิก และกรดแลคติก ปริมาณกรดในผลลิ้นจี่จะแปรผันไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ภูมิประเทศและอุณหภูมิ ปริมาณกรดในผลลิ้นจี่จะลดลงเมื่อผลลิ้นจี่สุก และระยะเวลาการเก็บรักษา Somogyi *et al.* (1996) รายงานว่าลิ้นจี่สายพันธุ์ Brewster มีปริมาณกรดทั้งหมด 0.52 % โดยมีกรดมาลิกมากถึง 80.0 % นอกจากนี้ยังพบปริมาณกรดอินทรีย์ที่ระเหยไม่ได้ ซึ่งประกอบด้วยกรดซิตริก 10.0 % และกรดแอสคอร์บิค 5.0 %

2.2.6 วิตามินและเกลือแร่ วิตามินที่พบมากในเนื้อลิ้นจี่คือ กรดแอสคอร์บิค มีปริมาณ 40 – 90 mg/100g และปริมาณกรดแอสคอร์บิคจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น (Kadam and Salunkhe, 1995) ปริมาณแร่ธาตุในผลลิ้นจี่ พบว่ามีโพแทสเซียมมากสุด ส่วนแคลเซียม แมกนีเซียม และฟอสฟอรัสมีปริมาณไม่แตกต่างกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.2 ส่วนประกอบและคุณค่าทางโภชนาการของลิ้นจี่สด ลิ้นจี่อบแห้ง และลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋องในส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม

ส่วนประกอบ	ลิ้นจี่สด	ลิ้นจี่อบแห้ง	ลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรรจุกระป๋อง	
			น้ำและเนื้อ	เนื้อ
พลังงาน (แคลอรี่)	65.0	233.0	63.0	67.0
ความชื้น (g/100g)	82.9	35.9	82.5	81.4
ไขมัน (g/100g)	0.4	1.9	0.2	0.3
คาร์โบไฮเดรต (g/100g)	16.3	57.6	16.7	17.5
โปรตีน (g/100g)	0.8	3.0	0.3	0.4
เส้นใยอาหาร (g/100g)	0.2	1.0	0.2	0.4
เถ้า (g/100g)	0.4	1.6	0.2	0.2
แคลเซียม (mg/100g)	10.0	25.0	5.0	7.0
ฟอสฟอรัส (mg/100g)	29.0	58.0	8.0	8.0
เหล็ก (mg/100g)	0.3	404	0.3	0.7
โซเดียม (mg/100g)	3.0	49.0	34.0	35.0
โพแทสเซียม (mg/100g)	170.0	568.0	46.0	68.0
วิตามินบี1 (mg/100g)	0.05	0.01	tr.	tr.
วิตามินบี 2 (mg/100g)	0.06	0.57	0.04	0.08
ไนอะซิน (mg/100g)	0.6	3.1	0.1	0.1
กรดแอสคอร์บิค (mg/100g)	50	183	63	68

หมายเหตุ tr. มีเล็กน้อย (trace)

ที่มา : U.S. Department of Health, Education and Welfare (1978)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 สีกลุ่มฟลาโวนอยด์ (สรศักดิ์, 2548)

ฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) เป็นสารประกอบเคมีกลุ่มใหญ่ที่ได้จากพืช ส่วนมากจะเป็นพวก Phenolic compounds ซึ่งเป็นพิษต่อเซลล์ ฉะนั้นจึงพบอยู่ในรูป Protected form พบมากในรูปของ Glycosides ซึ่งละลายน้ำได้ดี จึงพบอยู่ในแวคิวโอ หากอยู่ในสภาพ Methylation ก็จะไม่ละลายน้ำจึงมักพบอยู่ในไซโทพลาสของเซลล์ Flavonoid glycosides ในธรรมชาติจะเป็นชนิด O - glycosides อาจมีบ้างที่เป็น C - glycosides

โครงสร้างทางเคมีของฟลาโวนอยด์จะเป็นอนุกรมของคาร์บอน โดยมีโครงสร้างของ Pyran ring เชื่อมต่อกับ Benzene ring เกิดเป็นโครงสร้างที่เรียกว่า 2-phenylbenzopyran nucleus หรือ Benzo-γ-pyrone ฟลาโวนอยด์มีความแตกต่างกันมากขึ้นอยู่กับส่วนของน้ำตาลและตำแหน่งการเกาะของน้ำตาล น้ำตาลที่พบมีทั้งชนิด Monosaccharides Disaccharides Trisaccharides และ Acylated sugar การเกาะของน้ำตาลจะเป็นแบบ β - type อาจมี α - type บ้าง เช่นพวก Rhamnosides และ Arabinosides เป็นต้น

ฟลาโวนอยด์มีการจำแนกประเภทดังนี้

2.3.1 True flavonoids

(1) Flavones คือ ฟลาโวนอยด์ที่พบมากที่สุดในพืช ให้สีเหลืองไปจนถึงสีเหลืองแก่ ในโครงสร้างจะประกอบด้วยนิวเคลียสของ Benzo-γ-pyrone ในโมเลกุลมีพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 และ 3 มี Substitution patterns จะแตกต่างกันไปเป็นหมู่ – OH หรือ $–CH_3$ และมีมากที่สุดถึง 7 หมู่ ตัวอย่างเช่น Apigenin, Luteolin, Luteolin-7-glucoside และ Vitexin

(2) Flavonols คือ ฟลาโวนอยด์ที่คล้ายกับ Flavones เกิดจากการที่สารประกอบ Flavones มีการแทนที่ของหมู่ – OH ที่คาร์บอนตำแหน่ง 3 ให้สีเหลืองไปจนถึงสีเหลืองแก่ มักเกิดร่วมกับพวกแอนโทไซยานิน (Anthocyanins) ในดอกไม้ จึงเป็นสารพวก Co-pigment ตัวอย่างเช่น Kaempferol, Quercetin, Myricetin, Rutin, Astragalin และ Galangin

(3) Flavanones คือ ฟลาโวนอยด์ที่พบน้อยมากเมื่อเทียบกับพวกฟลาโวนอยด์อื่น ๆ ไม่มีสี หรือมีสีเหลืองซีด มีสูตรโครงสร้างคล้าย Flavones แต่พันธะระหว่างคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 และ 3 เป็นพันธะเดี่ยว ได้จากการทำ Reduction ของ Flavones หรือ Flavonols ในทางกลับกันหาก Flavanones เกิดการ Dehydrogenation ก็จะเปลี่ยนกลับไปเป็น ฟลาโวนอยด์ชนิดอื่น ๆ ได้อีกมาก ตัวอย่างเช่น Hesperetin, Naringenin, Eriodictyol, Butin, Hesperidin และ Naringin

(4) Anthocyanidins เป็นรงควัตถุที่พบในพืชจะให้สีที่แตกต่างกัน เช่น น้ำเงิน ม่วงอมน้ำเงิน ม่วง แดงอมส้ม และสีแดง พบมากในส่วนของ ดอก ใบ และผล Anthocyanidins ที่พบในธรรมชาติจะอยู่ในรูปของ Flavylium ion ซึ่งเป็น cation จะมีสีแดง ในสภาพแวดล้อมที่ pH เป็นกลางจะไม่มีสี เรียกว่า Pseudobases แต่ในสภาวะที่เป็นเบสจะเกิดเป็นสีน้ำเงินเนื่องจากอยู่ในรูปของ Anhydrobases ตัวอย่างของ anthocyanidins เช่น Pelargonidin, Cyanidin, Peonidin และ Malvidin เมื่อ Anthocyanidins มีโมเลกุลของน้ำตาลมาเชื่อมอยู่กับ aglycone จะทำให้อยู่ในรูปของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

glycosides ซึ่งเรียกว่า Anthocyanins ตัวอย่างเช่น Petunidin 3-rhamnoside-5-glucoside และ Cyanidin 3-galactoside

(5) Leucoanthocyanidins เป็น Proanthocyanidins ซึ่งหมายถึงสารที่ให้พวก Anthocyanidins ออกมาเมื่อต้มกับกรด โดยทั่วไปแล้ว Monomericflavan 3,4-diols จัดเป็น Classical leucoanthocyanidin โดยทั่วไปพบในสภาพ glycosides น้อยมาก ถ้าหากพบในสภาพนี้จะเรียกว่า Leucoanthocyanins ซึ่ง Leucoanthocyanidins จะเป็นสารตั้งต้นของแทนนินชนิด Condensed tannins ตัวอย่างเช่น Melacacidin, Leucodelphinidin, Leucocyanidin และ Leucopelargonidin

(6) Catechins เป็นฟลาโวนอยด์ที่คล้ายกับ Leucoanthocyanidins คือจะไม่มีสีพบได้ในพืชทั่วไป โดยเฉพาะไม้ยืนต้น เป็นสารตั้งต้นของแทนนินชนิด Condensed tannins โครงสร้างทางเคมีจะเกิดจากคาร์บอนที่ตำแหน่งที่ 4 ถูกรีดิวส์ไปเป็น H-atom จึงเรียกชื่อว่า Flavan-3-ol ซึ่ง Catechins ที่พบในธรรมชาติจะอยู่ในสภาพ Diastereoisomeric pair ซึ่งได้แก่ (+)-Catechins และ (-)-Epicatechins

2.3.2 Related compounds

(1) Aurones เป็นฟลาโวนอยด์ที่ให้สีเหลืองของดอกไม้เกือบทุกชนิด จะเรียกชื่อว่า Anthochlor pigments เช่นเดียวกับ Chalcones เมื่อ Aurones สัมผัสกับเบสจะให้สีแดงอมส้ม มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นชนิด benzalcoumaranone ring system หรือเรียกว่า 2-benzylidine-coumaranone หรือ 2-benzylidine-3(2H)-benzofuranone ตัวอย่างเช่น Aureusidin 4-O-glucoside, Sulphuretin 6-O- glucoside, Bracteatin 6-O-glucoside และ Leptosidin 6-O-glucoside

(2) Chalcones เป็นฟลาโวนอยด์ที่ให้สีเหลืองเรียกชื่อว่า Anthochlor pigments มีโครงสร้างที่เกิดจากการเปิดวง Pyran ring ตัวอย่างเช่น Coreopsin, Salipurposide, Carthamin และ Marein

(3) Isoflavones เป็นฟลาโวนอยด์ที่มีโครงสร้างผันแปรไป ไม่มีสีแต่จะให้สีกับพวกโลหะ เป็นไอโซเมอร์กับ Flavones จะต่างกันตรงตำแหน่งการเกาะของ Aryl-B-ring กับ Pyran ring โดย Aryl-B-ring ของ Isoflavones จะเกาะกับ α - carbon atom แทนที่จะเกาะกับ β - carbon atom ของ Carbonyl group ตัวอย่างเช่น Daidzein, Genistin, Sissotrin และ Ononin

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

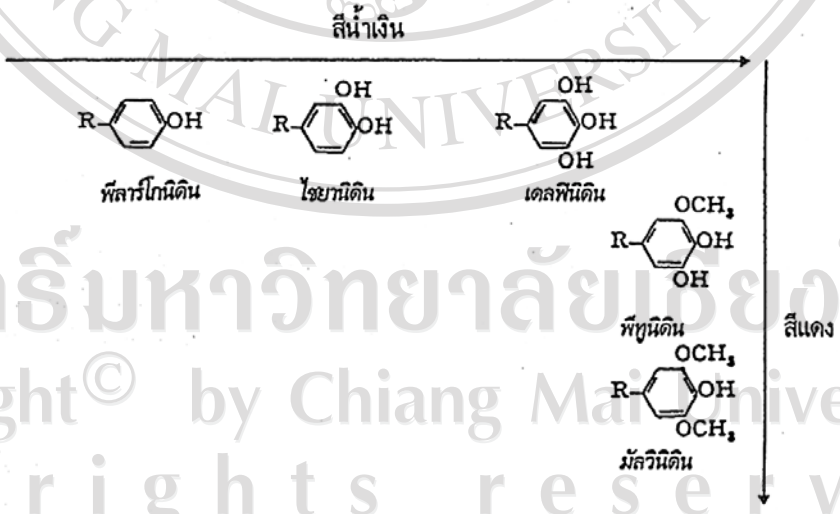
ปัจจัยที่มีผลต่อสีของแอนโทไซยานิน

1. โครงสร้าง

หากในโครงสร้างวงแหวนฟีนีลมีจำนวนหมู่ไฮดรอกซิล หรือหมู่เมธอกซิลเพิ่มขึ้นจะมีผลต่อสีแอนโทไซยานิน เช่น การเพิ่มหมู่ไฮดรอกซิลให้มากขึ้นจะทำให้สีเข้มขึ้น และสีจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินมากขึ้นด้วย และการเพิ่มหมู่เมธอกซิลแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง 3′ และ 5′ จะทำให้มีสีแดงเพิ่มขึ้น ดังรูป 2.1

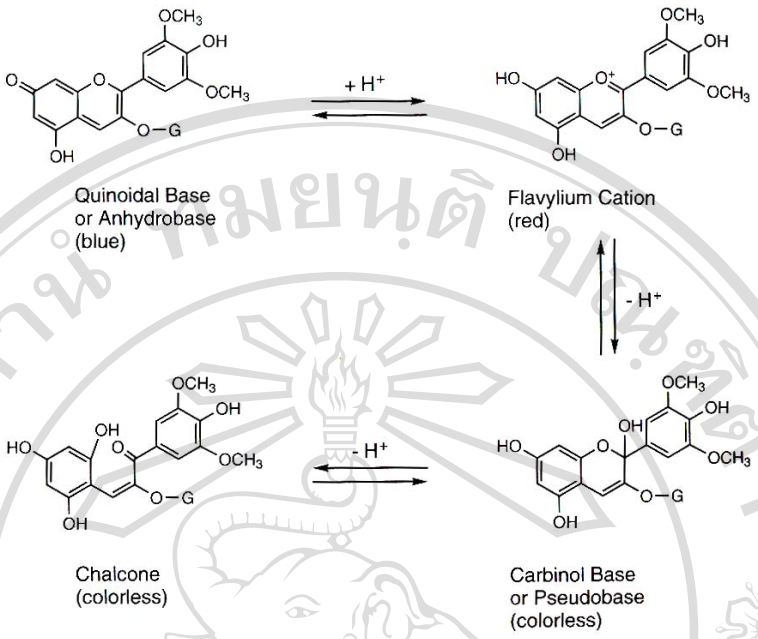
2. pH

พีเอชของสารละลายที่แอนโทไซยานินละลายอยู่ มีผลต่ออัตราการสลายตัวของแอนโทไซยานิน ทำให้สีเปลี่ยนไปได้ เช่น cyanin ซึ่งเป็นสีแดงของเชอรี่ และแครนเบอรี่ ซึ่งมี pH เป็น 3 จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน เมื่อปรับ pH เท่ากับ 11 และโครงสร้างของโมเลกุลมีการเปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนแปลงของ pH ยังอาจเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีระของผัก ผลไม้ เช่น ระหว่างการสุกของผลไม้จะมีการเปลี่ยนแปลง pH มีผลทำให้สีของผลไม้เปลี่ยนแปลงไป การเปลี่ยนสีเนื่องจากการเปลี่ยนแปลง pH ยังขึ้นอยู่กับเกลือของแอนโทไซยานินด้วยว่าเป็นโพแทสเซียมไอออน โซเดียมไอออน แคลเซียมไอออน หรือแอมโมเนียมไอออน



รูป 2.1 การเพิ่มหมู่เมธอกซิลแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง 3′ และ 5′ ทำให้มีสีแดงเพิ่มขึ้น
ที่มา : DeMAN (1990)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 2.2 การเปลี่ยนแปลง pH ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนโครงสร้างของโมเลกุลแอนโทไซยานิดิน
ที่มา : Timberlake (1980) and Wong (1989)

รงควัตถุแอนโทไซยานินที่อยู่ในผักและผลไม้จะถูกทำลายได้ง่ายในกระบวนการแปรรูปอาหาร เช่น การใช้อุณหภูมิสูง ความเข้มข้นของน้ำตาลสูง pH กรดอะมิโน กรดแอสคอร์บิค และสภาวะที่มีออกซิเจน จะมีผลต่อการเร่งอัตราเร็วของการสลายตัวของแอนโทไซยานินให้เกิดเร็วขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยา condensation ของแอนโทไซยานินกับสารประกอบเหล่านี้

แอนโทไซยานินสามารถรวมตัวกับโลหะได้เป็นสีม่วง หรือสีเทา ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อบรรจุอาหารในกระป๋องที่มีดีบุก นอกจากนี้สีของแอนโทไซยานินจะถูกฟอกสีให้จางลงเมื่อมีซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเนื่องจากมี anthocyanin carbonium ion (R^+) เกิดขึ้น และทำปฏิกิริยากับไบซัลไฟต์ทำให้เกิดเป็น chromen-2- sulfonic acid หรือ chromen-4- sulfonic acid ซึ่งไม่มีสี แต่มีโครงสร้างและสมบัติคล้าย anthocyanin carbinol base

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แอนโทไซยานินสลายตัวได้อย่างช้าๆ และเป็นไปอย่างต่อเนื่องในระหว่างกระบวนการเก็บรักษาผักและผลไม้ที่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อน ซึ่งกลไกบางอย่างยังไม่เป็นที่เข้าใจมากนัก แต่ปัจจัยที่มีผลต่อการสลายตัวของแอนโทไซยานิน คือ pH ออกซิเจน กรดแอสคอร์บิค และไอออนของโลหะ

2.4 การเกิดสีชมพูในผลไม้กระป๋อง

การเกิดสีชมพู (pink discoloration) ในผักและผลไม้กระป๋อง เป็นลักษณะการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์จากสีขาวหรือสีครีมเป็นสีชมพูเรื่อ ๆ ปัญหานี้พบในผัก ผลไม้ต่างๆ เช่น ลิ้นจี่ ลูกแพร์ กล้วย ฝรั่ง แอปเปิ้ล กะหล่ำปลีดอง และกูสเบอรี่ เป็นต้น ซึ่งเชื่อกันว่าเกิดจากลิวโคแอนโทไซยานิดิน (leucoanthocyanin) (Hulme, 1971)

ลิวโคแอนโทไซยานิดินเป็นสารประกอบที่ไม่มีสี และเป็นสารตั้งต้นของแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ซึ่งจะมีสีแดงถึงม่วงดำเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรด ผลที่ได้จากปฏิกิริยานี้ส่วนใหญ่คือ ไซยานิดิน (cyanidin) ซึ่งมีสีแดงและ เดลฟินิดิน (delphinidin) ซึ่งมี bluish-red สารทั้งสองตัวนี้อยู่ในรูปของไกลโคไซด์ (glycoside) ของ pseudobase มักเกิดที่บริเวณที่มีแทนนิน (tannin) ในเนื้อเยื่อของพืช จะเกิดในรูปแบบที่แตกต่างกันตั้งแต่แบบที่มีโครงสร้างอย่างง่าย จนถึงแบบที่มีโครงสร้างเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Mackinney and Little, 1962)

2.5 องค์ประกอบของรงควัตถุสีชมพูในลิ้นจี่กระป๋อง

Cheng *et al.* (1984) ได้วิเคราะห์องค์ประกอบของรงควัตถุสีชมพูในลิ้นจี่กระป๋อง โดยเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เป็นเวลา 18 เดือน เพื่อให้เกิดสีชมพูพอที่จะวิเคราะห์ได้ ซึ่งพบว่ารงควัตถุเชิงซ้อนสีแดงที่สกัดออกมาได้เป็นสารโมเลกุลใหญ่ น้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 200,000 ดาลตัน ซึ่งประกอบด้วยโปรตีนและเพคตินเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังมีโลหะเช่น เหล็ก และดีบุก นอกจากนี้ผลการตรวจสอบลิวโคแอนโทไซยานิดินยังเป็นบวกด้วย หลังจากแยกลิวโคแอนโทไซยานิดินออกไปแล้วจึงนำรงควัตถุไปไฮโดรไลส์ และวิเคราะห์ด้วยการใช้เทคนิค Paper chromatography และ High performance liquid chromatography พบว่ามีไซยานิดินซึ่งเป็นแอนโทไซยานินชนิดหนึ่งประกอบอยู่ด้วย

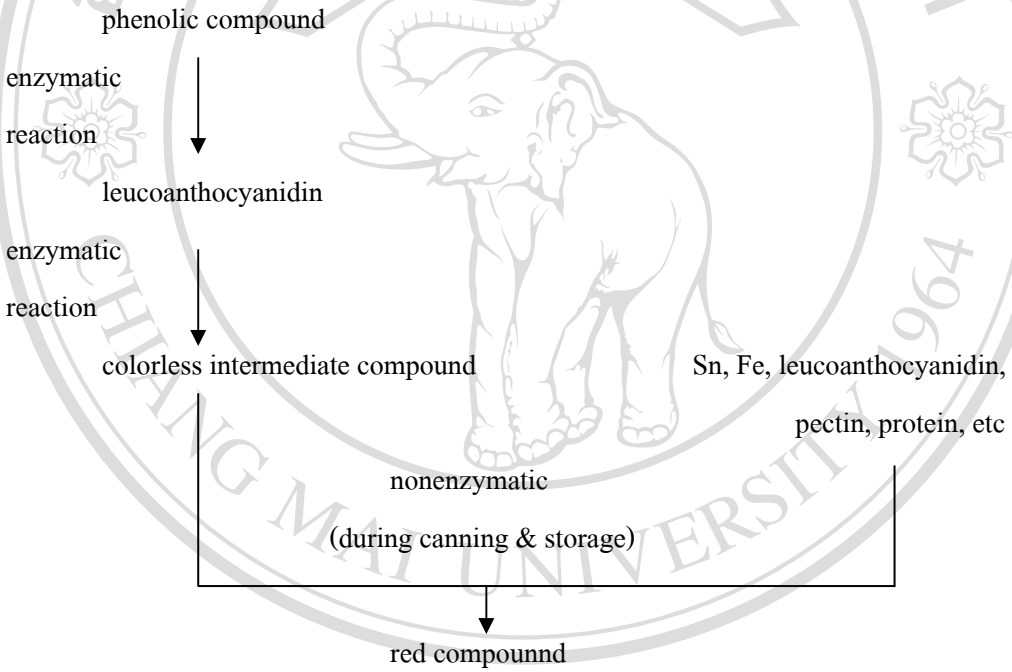
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6 ขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงของการเกิดสีชมพูในผลไม้กระป๋อง

Woodroof and Luh (1975) ได้อ้างรายงานของ Wu (1970) พบว่าการใช้ความร้อนที่มากเกินไปในกระบวนการผลิตลิ้นจี่อาจมีผลต่อการละลายของสารฟีนอล แอนโทไซยานิน และฟลาโวนอยด์ในน้ำเชื่อม ซึ่งเป็นสาเหตุการเปลี่ยนเป็นสีชมพูในผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่กระป๋อง ซึ่งระดับลิวโค

แอนโทไซยานิดินในลิ้นจี่กระป๋องอาจมีความสัมพันธ์กับการเกิดสีชมพู ดังนั้นในการผลิตควรหลีกเลี่ยงการใช้ความร้อนที่มากเกินไปและความล่าช้าในการหล่อเย็นผลิตภัณฑ์

Cheng and Hwang (1986) ได้เสนอขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงที่เป็นไปได้ของการสร้างสีชมพูในลิ้นจี่กระป๋องดังรูป 2.3 คือ ขั้นตอนแรก phenolic compounds ถูกเปลี่ยนไปเป็นลิวโคแอนโทไซยานิดินและถูกเปลี่ยนต่อเป็น intermediate compound ที่ไม่มีสีโดยปฏิกิริยาเอนไซม์ และสารนั้นจะรวมตัวกับโปรตีน เพคติน ดีบุก และเหล็ก เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนโมเลกุลใหญ่สีชมพูระหว่างกระบวนการผลิตและการเก็บรักษาในเวลาต่อมา



รูป 2.3 possible pathway ของการสร้างสีชมพูในลิ้นจี่
ที่มา : Cheng and Hwang (1986)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Somogyi *et al.* (1996) อ้างรายงานของ Wu (1970) พบว่าอุณหภูมิในการฆ่าเชื้อ และ pH มีผลต่อการเปลี่ยนเป็นสีชมพูในลิ้นจี่บรรจุกระป๋อง ซึ่งเป็นผลโดยตรงจากสารพวก condensed tannin ที่มีอยู่ในเนื้อลิ้นจี่ถูกไฮโดรไลส์เปลี่ยนเป็นแคเทชิน (catechin) และ ลิวโคแอนโทไซยานิดิน ซึ่งจะสลายตัวกลายเป็นแอนโทไซยานิน

Somogyi *et al.* (1996) ได้แยกเอนไซม์ในเนื้อลิ้นจี่เป็นผลสำเร็จ คือ เอนไซม์ flavanone-3-hydroxylase และ dihydroquercetin-4-reductase ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญในการสังเคราะห์ลิวโคแอนโทไซยานิดินในระหว่างกระบวนการผลิตลิ้นจี่กระป๋อง ผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนเป็นสีชมพูหลังจากปลอกเปลือกคว้านเมล็ดออก ฟลาวาโนน (flavanones) ในเนื้อลิ้นจี่สดจะเปลี่ยนเป็น eriodictyol และต่อมาถูกเอนไซม์ flavanone-3-hydroxylase ไฮโดรไลส์เป็นลิวโคแอนโทไซยานิดิน สารไม่มีสี และเปลี่ยนไปเป็นไซยานิดิน สารมีสี ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่กระป๋องจึงเกิดเป็นสีชมพู

Chandler and Clegg (1970) ได้อธิบายขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงของการเกิดสีชมพูในลูกแพร์กระป๋องว่า ลิวโคแอนโทไซยานิดินสลายตัวเป็น quinone methine โดยปฏิกิริยาของเอนไซม์หรือ atmospheric oxidation ของลิวโคแอนโทไซยานิดิน จากนั้นเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็น anhydrobase ก่อนที่จะเป็นไซยานิดิน และทำปฏิกิริยากับดีบุกเกิดเป็น tin-anthocyanin complex ถ้าไอออนของดีบุกมาทำปฏิกิริยากับ anhydrobase ส่วนใหญ่จะเปลี่ยนไปเป็นไซยานิดิน ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นสีออกแดงที่ pH ต่ำกว่า 3 เป็นสีม่วงที่ pH 8.5 และเป็นสีน้ำเงินที่ pH 11 แต่ว่าการอธิบายรายละเอียดของขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการนี้ยังไม่ชัดเจนจึงเป็นเพียงสมมติฐานเท่านั้น

Hulme (1971) รายงานว่าการเกิดสีชมพูพบได้ในผลไม้บรรจุกระป๋อง ได้แก่ แอปเปิ้ล ลูกพีช ลูกแพร์ กล้วย ฝรั่ง และกูสเบอรี่ เป็นต้น ซึ่งผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเกิดจากการเปลี่ยนของลิวโคแอนโทไซยานิดินเป็นแอนโทไซยานินเมื่อได้รับความร้อนภายใต้สภาวะเป็นกรด การเกิดสีชมพูในผลไม้แต่ละพันธุ์มีความแตกต่างกัน เช่น ลูกแพร์พันธุ์ Bartlett พบว่าสีชมพูเกิดไม่บ่อยนัก แต่พันธุ์ Packam และ Bon Chretien จะเกิดสีชมพูเป็นประจำ ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเกิดสีชมพูของผลิตภัณฑ์ได้แก่ ปัจจัยในกระบวนการผลิต เช่นการให้ความร้อนที่มากเกินไปและการหล่อเย็นที่ล่าช้า นอกจากนี้ยังมีปัจจัยการเพาะปลูก เช่น ภูมิประเทศ การรับแสงอาทิตย์ของรากพืช และการสุกเต็มที่ของผลไม้ เป็นต้น สำหรับสาเหตุที่สนับสนุนการเกิดสีชมพู คือผลิตภัณฑ์ที่มี pH ต่ำ ปริมาณความเข้มข้นของลิวโคแอนโทไซยานิดิน ปริมาณออกซิเจนในกระป๋อง และปริมาณดีบุกจากการกัดกร่อนภายในกระป๋อง

Woodroof and Luh (1975) อ้างรายงานของ Luh *et al.* (1960) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดสีชมพูในลูกแพร์กระป๋อง พบว่าลูกแพร์ที่มีความเป็นกรดและแทนนินสูง ทำให้ลูกแพร์เกิดสี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชมพูหลังกระบวนการผลิตโดยเฉพาะการใช้ความร้อนมากเกินไปและความล่าช้าในกระบวนการหล่อเย็น

Jethro *et al.* (1988) ได้ศึกษาผลิตภัณฑ์ฝรั่งบรรจุในภาชนะแก้ว และกระป๋องดีบุก ลักษณะชิ้นของฝรั่งและฝรั่งที่ปลอกเปลือกคว้านเมล็ดออก เกิดสีชมพูจากลิวโคไซยานิดินและลิวโคเดลฟินิดิน (leucodelphindin) ทั้งนี้พบว่าสาเหตุเกิดจาก polymerization ของลิวโคแอนโทไซยานิดิน ซึ่งเพิ่มขึ้นตามเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการผลิตและเก็บรักษา

Macrae *et al.* (1993) รายงานว่าในกระบวนการให้ความร้อนลิวโคแอนโทไซยานิดินจะถูกเปลี่ยนเป็นแอนโทไซยานิน ซึ่งสาเหตุของการเกิดสีชมพูเกิดจากลิวโคแอนโทไซยานิดินรวมตัวกับโลหะดีบุกและเหล็กจากกระป๋อง

2.7 วิธีป้องกันการเกิดสีชมพูในผลไม้กระป๋อง

Chakraborty *et al.* (1974) ได้ศึกษาการป้องกันการเกิดสีชมพูในลิ้นจี่กระป๋อง โดยเติมกรดซิตริก 0.1 – 0.15 % ในน้ำเชื่อมความเข้มข้น 30 ^{o}Brix (pH มีค่า 4.4 – 4.5) และใช้เวลาฆ่าเชื้อในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที และใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) 300 ppm สามารถป้องกันการเกิดสีชมพูในผลิตภัณฑ์ได้ แต่ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นกำมะถัน

Cheng *et al.* (1981) ได้ทดลองการเกิดสีชมพูในลิ้นจี่กระป๋องโดยทำการทดลอง 2 ชุด ชุดแรกลวกวัตถุดิบที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ก่อนบรรจุกระป๋อง แต่อีกชุดไม่ลวกวัตถุดิบ จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณลิวโคแอนโทไซยานิดิน, chlorogenic acid และ สารประกอบฟีนอล จากการทดลองพบว่า chlorogenic acid มีปริมาณน้อยมาก ดังนั้นสารนี้จึงไม่น่าเป็นสาเหตุของการเกิดสีชมพู และยังพบว่าตัวอย่างชุดที่ไม่ผ่านการลวกมีปริมาณลิวโคแอนโทไซยานิดินน้อยกว่าตัวอย่างที่ผ่านการลวก แสดงว่าปฏิกิริยานี้ถูกยับยั้งโดยการลวก แต่การสูญเสียของสารประกอบฟีนอลเกิดขึ้นก่อนเข้ากระบวนการบรรจุกระป๋องและสามารถยับยั้งได้โดยการลวกเช่นกัน

Somogyi *et al.* (1996) อ้างรายงานของ Cheng and Hwang (1986) พบว่าลิ้นจี่สดที่แช่ในสารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ (sodium bisulfite) ก่อนกระบวนการให้ความร้อนช่วยลดการเกิดสีชมพูในผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อรอนุช (2535) ได้ศึกษาแนวทางลดการเกิดสีชมพูในลิ้นจี่กระป๋อง โดยการใช้โซเดียมไบซัลไฟต์ ที่ระดับ100 และ 200 ppm ในน้ำเชื่อมร่วมกับการแปรผันระดับความร้อนที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ และการลวกลิ้นจี่ทั้งเปลือกที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที ก่อนการบรรจุกระป๋อง พบว่าการฆ่าเชื้อที่ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ช่วยลดการเกิดสีชมพูได้ ส่วนโซเดียมไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 100 และ 200 ppm สามารถป้องกันการเกิดสีชมพูได้ แต่ถ้าใช้ในปริมาณมากจะทำให้ลิ้นจี่มีสีขาวซีดผิดปกติ และมีกลิ่นรสที่แปลกปลอม

Wu and Fang (1993) พบว่าการเติมน้ำเชื่อมความเข้มข้น 30 °Brix และปรับความเป็นกรดด้วยซิตริกผสมโพลีฟอสเฟต (polyphosphate) 0.2 % สามารถเร่งการเกิดสีชมพูได้

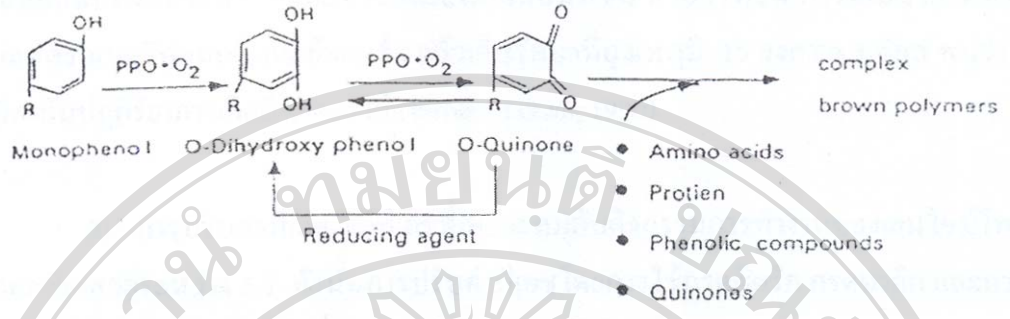
ดรุณี (2545) พบว่าการใช้สารละลายกรดซิตริกปรับ pH ของผลิตภัณฑ์เนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกและเนื้อลิ้นจี่ป่นบรรจุกระป๋อง ให้ได้ pH สุดท้ายไม่ต่ำกว่า 3.95 เป็นค่าที่เหมาะสมที่ไม่ทำให้เนื้อลิ้นจี่เกิดสีชมพู

ประไพ (2547) ได้ศึกษาผลของภาชนะบรรจุและแอนติออกซิแดนท์ต่อการเปลี่ยนสีของลิ้นจี่ ในภาชนะบรรจุ 3 ชนิด คือ ขวดแก้ว 16 ออนซ์ กระป๋องดีบุกและกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ และเติมแอนติออกซิแดนซ์ 3 ชนิด ปริมาณ 0.2 % ในน้ำเชื่อมได้แก่ กรดแอสคอร์บิค โซเดียมอิริทอร์เบท และ โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟส พบว่า การใช้กระป๋องดีบุกเป็นภาชนะบรรจุและการเติมโซเดียมอิริทอร์เบท ช่วยชะลอการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์ได้ดีที่สุด

2.8 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ (enzymatic browning)

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์เป็นปฏิกิริยาของสารประกอบโมโนฟีนอลที่อยู่ในพืชและอาหารทะเล เมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศและมีเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphonoloxidase ; PPO) จะเกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชัน ได้เป็นออร์โท-ไดฟีนอล (o-diphenol) สารนี้จะถูกออกซิไดส์ต่อให้เป็นออร์โท-ควิโนน (o-quinone) ซึ่งควิโนนที่เกิดขึ้นจากการเร่งด้วยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส จะรวมตัวกันและเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดกับสารประกอบฟีนอลอื่นๆ หรือกับกรดอะมิโนได้เป็นสารประกอบสีน้ำตาล ดังรูป 2.4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



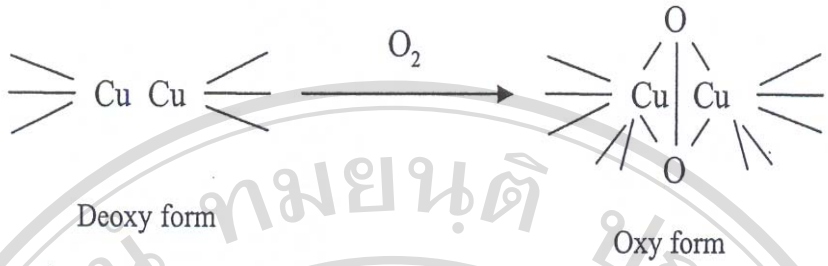
รูป 2.4 ปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลโดยมีเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสเร่งปฏิกิริยา
ที่มา : ปราณี (2543)

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์เป็นปัญหาที่สำคัญ ในการแปรรูปผักและผลไม้หลายชนิด ได้แก่ แอปเปิ้ล ท้อ สาลี กล้วย องุ่น มันฝรั่ง เห็ด มะเขือเทศ ผักสลัด ใบชา และเมล็ดกาแฟ รวมทั้งอาหารทะเลบางชนิด เช่น กุ้ง ปู และกุ้งมังกร เมื่ออาหารเกิดสีน้ำตาลจะทำให้อายุการวางจำหน่ายสั้นลง และปฏิกิริยานี้ยังทำให้เกิดปัญหากับผัก ผลไม้ที่ผ่านกระบวนการอบแห้งและแช่เยือกแข็งอีกด้วย(นิธิยา, 2543)

เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenoloxidase ; PPO)

เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสสามารถพบได้ทั่วไปในเนื้อเยื่อของผักและผลไม้ โดยมีชื่อตามระบบคือ monophenol dihydroxyphenylalanine : oxygen oxidoreductase และมีชื่อเรียกทั่วไปหลายชื่อ เช่น cresolase, catecholase, phenolase และ tyrosinase ต่อมาการตั้งชื่อของระบบเอนไซม์มีการเปลี่ยนแปลงชื่อไปจากเดิมเพื่อความจำเพาะปฏิกิริยายิ่งขึ้น เช่น monophenol monooxygenase เปลี่ยนเป็น cresolase (EC 1.14.18.1) และ diphenol oxidase เปลี่ยนเป็น catecholase (EC 1.10.3.1) เป็นต้น เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสมีทองแดงเป็นโคแฟคเตอร์ ซึ่งเป็นไอออนของโลหะร่วมอยู่ในโมเลกุลของเอนไซม์ โดยปกติเอนไซม์อยู่ในรูป deoxy form ซึ่งเมื่อเปลี่ยนรูปเป็น oxy form ดังรูป 2.5 จึงสามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิคได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 2.5 ปฏิกิริยาการเปลี่ยน deoxy form เป็น oxy form ของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส
ที่มา : Whitaker (1995)

การควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ในอาหาร

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ในอาหารทำให้อาหารมีสีเปลี่ยนไป และยังทำให้รสชาติของอาหารบางชนิดเปลี่ยนไปด้วย อาหารจึงมีคุณภาพลดลงไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค การควบคุมไม่ให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ทำได้หลายวิธี ซึ่งจะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของอาหาร เช่น

1. ใช้ความร้อนทำลายเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส เช่น การลวกผักด้วยไอน้ำ
2. ใช้สารเคมียับยั้งการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส
3. เติมสารรีดิวซิงเอเจนต์ เช่น กรดแอสคอร์บิค
4. กำจัดออกซิเจน
5. ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสับสเตรตที่มีอยู่ในธรรมชาติ

การยับยั้งเอนไซม์อาจใช้ 2 - 3 วิธีร่วมกันก็ได้ แต่การลวกผักด้วยไอน้ำใช้กับผลไม้ไม่ได้ เพราะจะทำให้ผลไม้บางชนิดมีกลิ่นผิดปกติ และทำให้เนื้อผลไม้นิ่มลง แต่ก็สามารถใช้ความร้อนยับยั้งเอนไซม์ในน้ำผลไม้และเนื้อผลไม้ตีป่น หรือเติมกรดแอสคอร์บิคลงไปทำปฏิกิริยากับออร์โท-ควิโนนให้เปลี่ยนกลับไปเป็นออร์โท-ไดฟีนอล

เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสจะถูกทำลายอย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียสขึ้นไป และภายหลังการลวกต้องทำให้ผักและผลไม้เย็นลงอย่างรวดเร็ว เพื่อรักษาคุณภาพของอาหารให้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดีที่สุด ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นสารเคมีที่ยับยั้งเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสได้ดีที่สุดและเป็นการยับยั้งแบบถาวร นิยมใช้กับผลไม้อบแห้ง เช่น ลูกเกด แต่มีข้อเสีย คือ ทำให้เกิดกลิ่น ถ้าใช้มากเกินไปจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพและทำให้ผู้บริโภคบางคนเกิดอาการแพ้ได้

2.9 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ (nonenzymatic browning)

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction) การเกิดสีน้ำตาลของกรดแอสคอร์บิค (ascorbic acid browning) และการเกิดคาราเมไลเซชัน (caramelization) จะเกิดขึ้นเมื่ออาหารได้รับความร้อน มีการสูญเสียน้ำ มีการสลายตัว และมีการรวมตัวกัน พัฒนาเป็นสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาลและน้ำตาลแดง มีกลิ่นและรสชาติเฉพาะ

2.9.1 ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction)

เมื่อน้ำตาลแอลโดสหรือคีโตสได้รับความร้อนในสภาวะที่มีน้ำ (Aw $>$ 0.2) กับเอมีนทำให้เกิดสารประกอบต่าง ๆ ซึ่งมีผลต่อสี กลิ่น และรสชาติของอาหาร ปฏิกิริยาเหล่านี้จะเกิดขึ้น ขณะทอด อบ ปิ้ง ย่าง หรือระหว่างเก็บรักษาอาหาร น้ำตาลรีดิวส์จะทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนในโมเลกุลของแอมโมเนีย กรดอะมิโนและโปรตีน ได้เป็นกลัยโคซิลเอมีน (N-substituted glycosylamine) และจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจนได้สีน้ำตาล เรียกว่า ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction)

ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดมีดังนี้

1. น้ำตาลรีดิวส์ทั้งคีโตสและแอลโดส จะรวมตัวกับหมู่อะมิโนได้เป็นกลัยโคเอมีน

2. เกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันได้เป็น imines หรือ Schiff base และมีการเรียงตัวใหม่เรียกว่า Amadori rearrangement ได้เป็น aldoseamine หรือ ketoseamine เรียกว่า Amadori product เช่น 1-amino-1-deoxy-ketose ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องได้ เมื่อมี pH $\leq$ 5

3. เกิดปฏิกิริยา ennolization ของ Amadori products ได้เป็น diketoseamine หรือ diaminosugar เช่น 3-deoxyhexosulose

4. เกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันต่อได้เป็นอนุพันธ์ของฟูเรน (furan) ถ้าเป็นน้ำตาลเฮกโซสอนุพันธ์ฟูแรน คือ 5-hydroxymethyl-2-furaldehyde หรือ HMF

5. อนุพันธ์วงแหวนฟูแรน เช่น HMF จะเกิด polymerization อย่างรวดเร็วได้เป็นสารสีน้ำตาลที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยและไม่ละลายน้ำ ซึ่งต่างจากการเกิดคาราเมไลเซชันที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มีน้ำตาลเพียงอย่างเดียว สารสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นเรียกว่า melanoidins ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาโมลต่อโมล

ดังนั้นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาเมลลาร์ดจึงมีทั้งพอลิเมอร์ที่ละลายและไม่ละลายน้ำ และพบได้ในอาหารที่มีน้ำตาลรีดิวส์ กรดอะมิโน โปรตีน และสารประกอบไนโตรเจนอื่น ๆ อยู่รวมกันและได้รับความร้อน เช่น การเกิดสีน้ำตาลของขนมอบ ปฏิกิริยานี้ยังมีความสำคัญต่อการทำคาราเมล ทอฟฟี่ และช็อกโกแลตนม

ข้อเสียของปฏิกิริยาเมลลาร์ด คือทำให้กรดอะมิโนไลซีนซึ่งเป็นกรดอะมิโนจำเป็น ทั้งที่อยู่ในรูปอิสระและที่เป็นองค์ประกอบของโมเลกุลโปรตีนลดน้อยลง ดังนั้นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบนี้จะทำให้คุณค่าทางโภชนาการของอาหารลดลง นอกจากนี้อาหารที่มีโปรตีนสูงเมื่อได้รับความร้อนสูง ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะเป็นสาร heterocyclic amine ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง

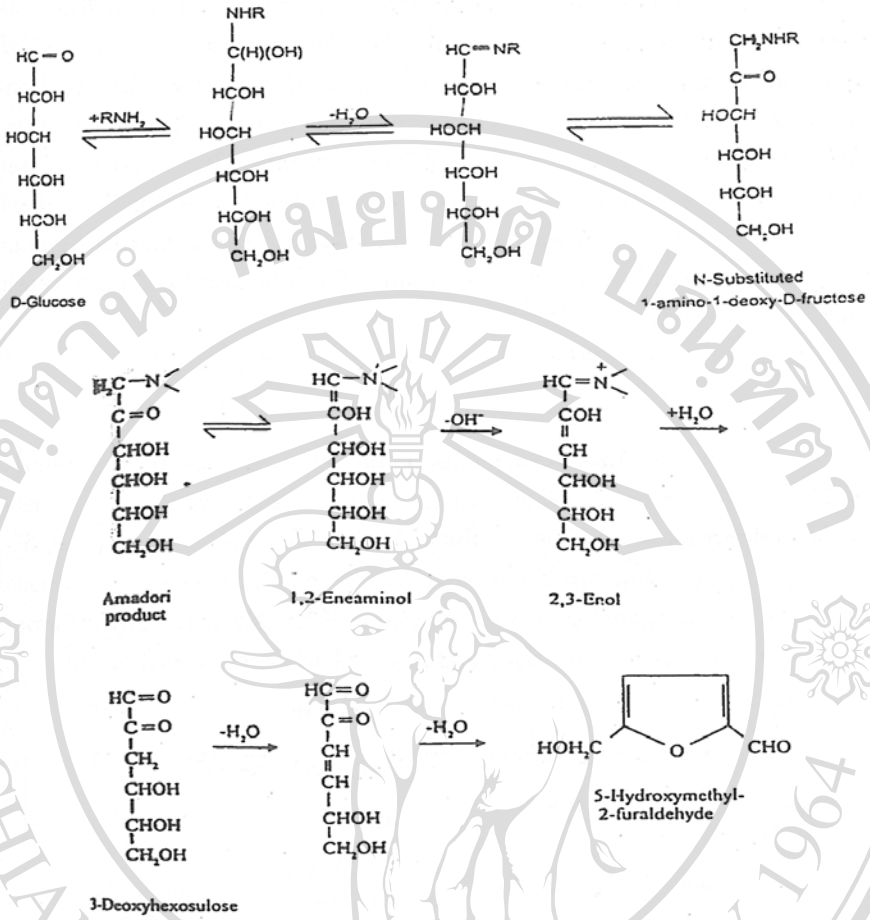
ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด

1. ชนิดของสารประกอบคาร์บอนิล

สารประกอบคาร์บอนิลที่มีความคงตัวต่ำและสลายตัวได้ง่าย จะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ที่อุณหภูมิห้อง เช่น ระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ อาหารที่มีน้ำตาลรีดิวส์สูงจะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้อย่างรวดเร็ว น้ำตาลเพนโตสจะเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าน้ำตาลเฮกโซส และน้ำตาลเฮกโซสเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าน้ำตาลรีดิวส์ที่เป็นไดแซคคาไรด์ สำหรับน้ำตาลนอนรีดิวส์ เช่น ซูโครสจะเกิดปฏิกิริยาได้ภายหลังถูกไฮโดรไลส์เป็นน้ำตาลรีดิวส์แล้ว สำหรับน้ำตาลรีดิวส์แต่ละชนิดน้ำตาลฟรุคโตสจะเกิดปฏิกิริยาได้ดีที่สุด ส่วนน้ำตาลแอลโดเฮกโซสมีการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ดังนี้ น้ำตาลแมนโนส > กาแลคโตส > กลูโคส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

น้ำตาลทรายหรือน้ำตาลซูโครสนิยมใช้ในการเตรียมน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง แม้ว่าน้ำตาลทรายจะเป็นไดแซคคาไรด์ ซึ่งมีประสิทธิภาพของการแทรกผ่านเนื้อเยื่อผลไม้ต่ำกว่ากลูโคสและฟรุคโตส แต่เมื่อผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนและประกอบกับกรดที่มีในผลไม้ จึงทำให้เกิดการสลายตัวของน้ำตาลทรายบางส่วนไปเป็นน้ำตาลกลูโคสและฟรุคโตส (สินธนา, 2542)



รูป 2.6 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด

ที่มา : Be Miller and Whistler (1996)

2. ชนิดของกรดอะมิโน

กรดอะมิโนชนิดแอลฟา (α-amino acid) กลัยซีนจะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้เร็วที่สุด เมื่อกรดอะมิโนมีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้นจะเกิดปฏิกิริยาช้าลง สำหรับกรดอะมิโนชนิดโอเมกา (ω-amino acid) จะเกิดปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น เมื่อความยาวในสายโมเลกุลเพิ่มขึ้น กรดอะมิโนไลซีนจะเกิดปฏิกิริยาได้เร็วที่สุด ส่วนกรดอะมิโนที่มีสมบัติเป็นด่าง เช่น ไลซีน และกรดอะมิโนที่เป็นอนุพันธ์ของเอไมด์ เช่น แอสปาราจีน และกลูตามีน จะเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่ากรดอะมิโนที่มีสมบัติเป็นกรดและเป็นกลาง

3. pH

ปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนิลกับเอมีนสามารถยับยั้งได้เมื่อลดค่า pH ให้ต่ำลง เช่น pH 3 น้ำตาลมีความคงตัวมากที่สุดในรูป pyranose hemiacetal ring เมื่อ pH สูงขึ้น น้ำตาลจะเปลี่ยนรูป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เป็น reactive acyclic aldehydo ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยาการรวมตัวกันระหว่างน้ำตาลกับเอมีนอย่างรวดเร็ว การที่ pH ลดลงจะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดช้าลง ดังนั้นการชะลอการสูญเสียกรดอะมิโนซึ่งมีสมบัติเป็นด่างในปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะเป็นการยับยั้งปฏิกิริยาด้วยตนเองได้

4. อุณหภูมิ

อัตราเร็วของปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดังนั้นสภาวะที่มีสารเข้มข้นสูงและมีอุณหภูมิสูงจะเกิดปฏิกิริยาเร็วที่สุด เนื่องจากเกิด autocatalytic อัตราเร็วของปฏิกิริยานี้จะเพิ่มขึ้นเป็น 2-3 เท่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุก 10 องศาเซลเซียส ถ้าในอาหารมีน้ำตาลฟรุคโตสจะมีอัตราเร็วเพิ่มขึ้นเป็น 5-10 เท่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุก 10 องศาเซลเซียส และเพิ่มเร็วขึ้นเมื่อมีปริมาณน้ำตาลมากขึ้น ความเข้มข้นของสีน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นการเก็บรักษาอาหารที่อุณหภูมิต่ำจะชะลอปฏิกิริยาเมลลาร์ดให้เกิดช้าลงได้

5. น้ำหรือ Aw

เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปฏิกิริยาเมลลาร์ด เช่น ในสภาวะแห้งน้ำตาลกลูโคสกับกรดอะมิโนกลัยซีนจะคงตัวและไม่เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด แม้จะมีอุณหภูมิสูงถึง 50 องศาเซลเซียส แต่เมื่อมีน้ำเพียงเล็กน้อยปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นทันที แต่ที่อุณหภูมิสูงการสูญเสียน้ำออกจากโมเลกุลของน้ำตาลจะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด เพราะทำให้มีน้ำเกิดขึ้น ปฏิกิริยาจะช้าลงอีกครั้งเมื่อมีปริมาณน้ำมากขึ้นจนทำให้สับสเตรตเจือจาง ซึ่งปริมาณน้ำสูงสุดสำหรับเกิด ปฏิกิริยานี้คือ 30 %

6. อื่นๆ

เช่น ออกซิเจนไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด นอกจากออกซิเจนจะช่วยออกซิไดส์สารอื่นให้เป็นรูปที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลนี้จึงเกิดได้ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ส่วนแร่ธาตุที่มีผลต่อปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้แก่ ไอออนทองแดง เหล็ก และสังกะสี

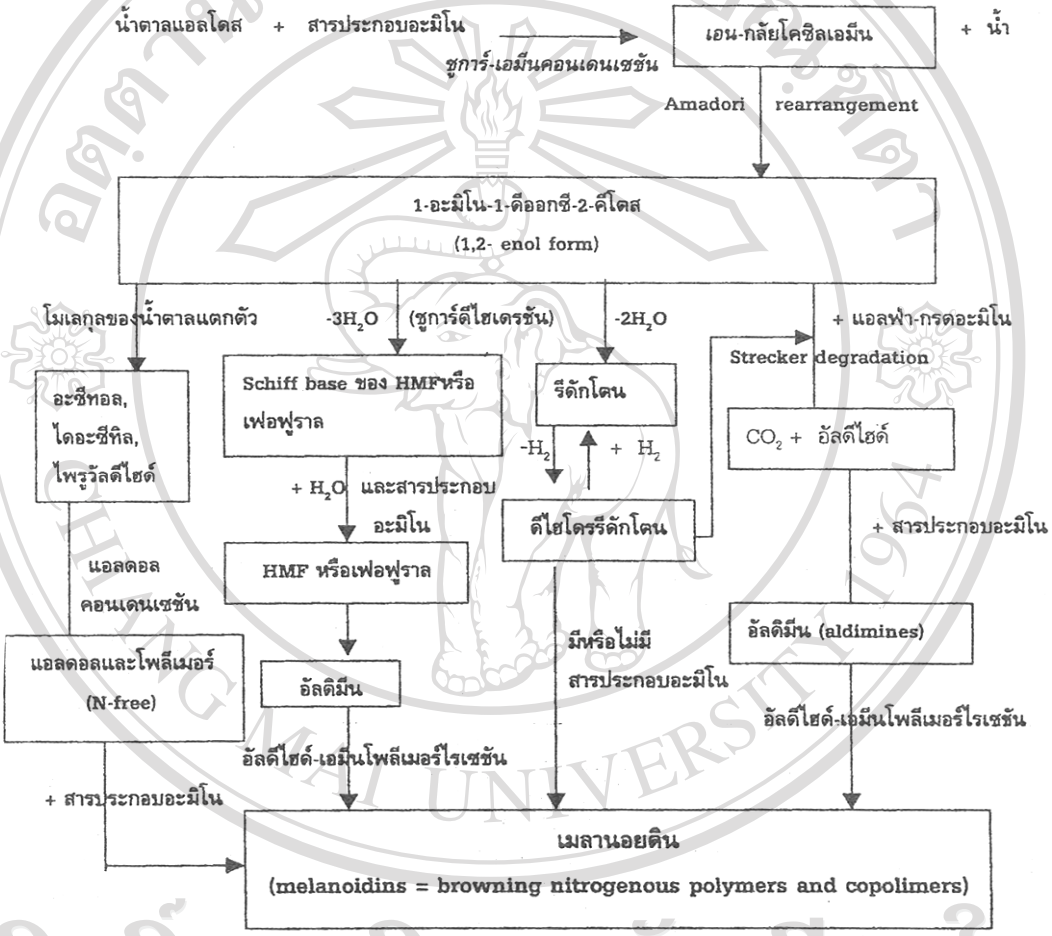
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การควบคุมปฏิกิริยาเมลลาร์ด

ปฏิกิริยาเมลลาร์ดสามารถยับยั้งได้โดยใช้วิธีการต่าง ๆ ดังนี้

1. การควบคุมปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ดีที่สุด คือ การกำจัดสารที่เป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยา น้ำตาลกลูโคสเกิดปฏิกิริยาได้ช้ากว่าน้ำตาลชนิดอื่น สามารถกำจัดน้ำตาลกลูโคสได้โดยออกซิไดส์ให้เป็นกรดกลูโคนิค ด้วยเอนไซม์กลูโคสออกซิเดส

2. การล้างเป็นวิธีการง่าย ๆ ที่ช่วยลดปริมาณน้ำตาลและกรดอะมิโนออกไปจากผิวนอกได้ เพราะสารเหล่านี้ละลายได้ดีในน้ำ สำหรับอาหารบางชนิดเช่น มันฝรั่ง การเก็บรักษาระยะเวลาหนึ่งจะทำให้น้ำตาลเปลี่ยนเป็นสตาร์ช จะช่วยลดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลให้ลดลงระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้



รูป 2.7 ขั้นตอนการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่อาศัยเอนไซม์
ที่มา : นิธิยา (2543)

3. ภาวะที่ใช้ในการแปรรูปอาหาร ควรใช้ที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดน้อยที่สุด

4. ควบคุมปริมาณน้ำในอาหารให้ลดน้อยลง หรือเพิ่มปริมาณน้ำในอาหารให้มากขึ้นจนทำให้สับสเตรตเจือจางลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5. การลด pH ช่วยป้องกันการเกิดเมลลาร์ดได้ และอาจเพิ่ม pH ของผลิตภัณฑ์ของอาหารให้สูงขึ้นภายหลังได้

6. ใช้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งจะไปทำปฏิกิริยากับ degradation product ของอะมิโนซูการ์ ป้องกันไม่ให้เกิดการรวมตัวกันเป็นเมลานอยดิน

7. การใช้สารเคมีช่วยยับยั้งการทำหน้าที่ของหมู่คาร์บอนิลอิสระ เช่น ใช้สารประกอบซัลไฟต์ คือ โซเดียมและโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ จะยับยั้งปฏิกิริยาการรวมตัวกันของสารประกอบที่มีหมู่คาร์บอนิลและเอมีน โดยหมู่ซัลไฟต์จะไปร่วมตัวกับหมู่คาร์บอนิลของน้ำตาลแอลโดส และทำให้เกิดสารประกอบซัลโฟเนตในขั้นตอนหลัง ๆของปฏิกิริยา

8. หากสารประกอบคาร์บอนิลเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด การยับยั้งทำได้โดยใช้สารต้านออกซิเดชัน สำหรับปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง อาจใช้กรดแอสคอร์บิคได้ แต่การใช้กรดแอสคอร์บิคในปริมาณสูง อาจทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้เร็วขึ้น เนื่องจากเกิด oxidative degradation ของกรดแอสคอร์บิค และทำปฏิกิริยาต่อกับสารประกอบคาร์บอนิล ผ่านเข้าทางแอลดอลคอนเดนเซชัน หรือทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนเกิดเป็นสารประกอบสีน้ำตาลได้

2.9.2 ปฏิกิริยาการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิค

ในกระบวนการผลิตอาหารและเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ มีผลต่อปริมาณของกรดแอสคอร์บิค เนื่องจากกรดแอสคอร์บิคเป็นสารรีดิวส์อย่างแรง มีความคงตัวน้อยที่สุด ถูกออกซิไดส์ได้ง่ายด้วยออกซิเจนในอากาศ เป็นผลให้เกิดการสูญเสียแอสคอร์บิคมาก การสูญเสียแอสคอร์บิคจากการทำลายของเอนไซม์ในกระบวนการผลิตอาหารเป็นไปได้น้อยที่สุด ส่วนใหญ่การสูญเสียกรดแอสคอร์บิคเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (Richardson and Finley, 1997) โดยปฏิกิริยาการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิคมีดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

1. การสลายตัวในสภาพที่มีออกซิเจน (oxidative degradation) ในกระบวนการผลิตอาหารมีการสูญเสียกรดแอสคอร์บิคได้ง่าย โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันมีออกซิเจนเป็นตัวออกซิไดส์ เมื่อกรดแอสคอร์บิคถูกออกซิไดส์จะเปลี่ยนเป็นกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิค (dehydroascrobic acid) และถูกออกซิไดส์ต่อไปเป็น 2,3 diketogulonic acid จะทำให้เกิดการสูญเสียกรดแอสคอร์บิค เนื่องจาก 2,3 diketogulonic acid ไม่มีสมบัติเป็นกรดแอสคอร์บิค ส่วนมากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิคมักเกิดภายใต้สภาวะที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ เอนไซม์ และโมเลกุลของโลหะหนักบางชนิด เอนไซม์ในผลไม้ที่สามารถออกซิไดส์กรดแอสคอร์บิค ได้แก่ ascorbic acid oxidase,

cytochrome oxidase และ peroxidase ในกรณีที่กรดแอสคอร์บิคละลายอยู่ในน้ำปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิคสามารถเกิดขึ้นได้โดยไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวเรียกว่า auto-oxidation โดยอัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับ pH ของสารละลายกรดแอสคอร์บิคที่ละลายอยู่ เมื่อสารละลายเป็นกรดจะเกิดปฏิกิริยาต่ำ และอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเร็วขึ้นเมื่ออยู่ในสารละลายด่าง

2. การสลายตัวในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน (non-oxidative degradation) ปฏิกิริยานี้จะเกิดช้า และสามารถเร่งให้เกิดเร็วขึ้น เมื่ออยู่ใน pH ต่ำ โดยเกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน และ ไฮโดรไลซีสต่อไปจนได้สาร furfural และคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งสาร furfural จะเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันจนได้สารสีเหลืองขึ้นมา การสลายตัวโดยไม่ใช้ออกซิเจนเกิดในสภาวะที่มีความเป็นกรดสูงและมีสารอื่น ๆ อยู่ด้วย เช่น น้ำตาลฟรุคโตส และอนุพันธ์ของกรดอะมิโน โดยกลไกนี้ก่อให้เกิดสารสีน้ำตาลและเกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ของอนุพันธ์ของสารพวกคาร์บอนิล

3. Strecker degradation เป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลของอาหารระหว่างกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิค และกรดอะมิโน ที่เข้าไปในกระบวนการเริ่มต้นของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล แต่การเกิดสีน้ำตาลในอาหารอาจเกิดจากกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิคเพียงอย่างเดียว โดยไม่มีสารประกอบของอะมิโนก็ได้ ปฏิกิริยาเริ่มต้นของ Strecker degradation เกิดจากผลิตภัณฑ์เริ่มต้น 2 ลักษณะ คือ เกิดจาก α-amino acid และ dehydro-L-ascorbic acid ให้ผลิตภัณฑ์ขั้นต้นเป็น intermediate compound เพื่อเปลี่ยนเป็นพอลิเมอร์ไลเซชันต่อไป และอีกลักษณะหนึ่งของปฏิกิริยาเริ่มต้นของ Strecker degradation เกิดจาก Schiff base ของ 5-hydroxymethyl-2-furfural หรือ HMF หรือ furfural ถูกไฮโดรไลส์ได้อัลดีไฮด์และกรดแอสคอร์บามิก (ascorbamic acid) ซึ่งจะเกิดกลิ่นและรสชาติที่ไม่ต้องการ อาหารที่เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะนี้ได้แก่ น้ำส้ม น้ำมะนาว และอาหารอบแห้ง (Dominic, 1989)

4. การสลายตัวเนื่องจากการเร่งด้วยโลหะหนักบางชนิด (Reaction with metal ions) กรดแอสคอร์บิคสามารถถูกออกซิไดส์ได้โดยโมเลกุลของโลหะหนักบางชนิด ได้แก่ Cu^{2+} เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดย Cu^{2+} จะเป็นตัวกลางในการเชื่อมโมเลกุลของกรดแอสคอร์บิคกับโมเลกุลของออกซิเจน จากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยอะตอมของไฮโดรเจนบริเวณที่จับกับ Cu^{2+} จะหลุดออกมาได้ dehydroascorbic acid, Cu^{2+} และ H_2O_2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจาก Cu^{2+} แล้วยังมีโมเลกุลของโลหะหนักอย่างอื่นอีก ได้แก่ Fe^{3+} และ Ag^{+} ที่สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิคได้ โดย Fe^{3+} จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนกรดแอสคอร์บิคเป็น dehydroascorbic acid

2.9.3 คาราเมไลเซชัน

คาราเมไลเซชัน เป็นการใช้ความร้อนในการสลายโมเลกุลให้แยกออก และเกิดพอลิเมอร์ไลเซชันของสารประกอบคาร์บอนได้เป็นสีน้ำตาล ปฏิกิริยานี้สารเริ่มต้นเป็นน้ำตาลเท่านั้น เช่น การเผาซูโครสที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส น้ำจะถูกกำจัดออกไปเกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน สารประกอบที่เกิดใหม่จะมีพันธะคู่และเป็นวงแหวน (anhydro ring) มีความข้นหนืดและมีสีเข้มผันแปรตามเวลาและระดับอุณหภูมิที่ใช้

เมื่อน้ำตาลได้รับความร้อนจะสูญเสียน้ำประมาณ 5.5 % โดยไม่เกิดการสลายตัวและได้สารประกอบใหม่ คือ ไอโซแซคโครแซน (isosacchrosan) ซึ่งมีสูตรเป็น $C_{12}H_{20}O_{10}$ เมื่อสารนี้ได้รับความร้อนนานขึ้นจะสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 9 % ซึ่งเป็นการสูญเสียน้ำออกจากโมเลกุลของน้ำตาลอีก 2 โมเลกุล และเกิดการรวมตัวของน้ำตาล 2 โมเลกุล เป็นดีไฮโดรซูการ์ (dehydrosugar) สารที่เกิดขึ้นใหม่มีสูตรเป็น $C_{24}H_{36}O_{18}$ เรียกว่า คาราเมแลน (caramelan) สารนี้ละลายได้ในน้ำและไดอะไลซ์ได้ เมื่อได้รับความร้อนนานขึ้นอีกจะสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 13.6 % และได้เป็นสารใหม่มีสูตรเป็น $C_{36}H_{50}O_{25}$ เรียกว่า คาราเมเลน (caramelen) ซึ่งเป็นการรวมตัวกันของน้ำตาลซูโครส 3 โมเลกุล และสูญเสียน้ำออกไป 8 โมเลกุล หากใช้ความร้อนต่อไปจะเกิดเป็นฮิวมิน (humin) ซึ่งเป็นสารสีดำซึ่งไม่ละลายน้ำและไม่แพร่กระจาย เรียกว่า คาราเมลิน (caramelin) สารสีที่เกิดจากปฏิกิริยาคาราเมไลเซชันของน้ำตาลเพียงอย่างเดียว จะประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เรียกว่า คาราเมล (caramel)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อน้ำตาลอยู่ในรูปสารละลายในน้ำ การเกิดปฏิกิริยาคาราเมไลเซชันจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของน้ำตาล pH และอุณหภูมิ เมื่อสารละลายมีความเข้มข้นสูง หรือสารละลายมี pH ต่ำ จะเริ่มต้นการเปลี่ยนแปลงโดยเกิดสารประกอบประเภทน้ำตาลแอนไฮดรายด์ (sugar anhydrides)

2.10 เทคนิคความดันสูงยิ่ง

กระบวนการความดันสูงยิ่งทำให้อาหารมีปริมาตรลดลงและยังส่งผลต่อพันธะที่ไม่ใช่พันธะโควาเลนท์ เช่น พันธะไฮโดรเจน พันธะไอออนิกและพันธะที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งความดันสูงยิ่งจะไม่มีผลต่อองค์ประกอบของอาหารที่มีมวลโมเลกุลต่ำ สารอาหารและลักษณะทางเนื้อสัมผัส ในขณะที่องค์ประกอบที่มีมวลโมเลกุลสูง เช่น โครงสร้างระดับสาม และพันธะนอนโควาเลนท์จะถูกเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากความดันสูงยิ่ง หลักการอื่นที่ใช้ร่วมกับความดันสูงยิ่งคือ หลักการเกี่ยวกับ isostatic ซึ่งคือการส่งผ่านความดันอย่างรวดเร็วและคงที่ ขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของอาหาร แต่ถ้ามีฟองอากาศภายในบรรจุภัณฑ์จะไม่สามารถส่งผ่านความดันได้

ผลของเทคนิคความดันสูงยิ่งในการแปรรูปอาหาร แสดงดังตาราง 2.3 จะเห็นว่าผลของความดันมีผลคล้ายคลึงกับความร้อน แต่ข้อดีคือ ความดันสูงจะไม่พบผลอื่นๆ ที่อาจเกิดขึ้นกับการใช้ความร้อน เช่น ปฏิกิริยาเมลลาร์ด การเกิดกลิ่นไหม้ เป็นต้น

ตาราง 2.3 ผลของเทคนิคความร้อนเปรียบเทียบกับเทคนิคความดันสูงยิ่งในการแปรรูปอาหาร

การแปรรูป	เทคนิคความร้อน	เทคนิคความดันสูงยิ่ง
โปรตีนเกิดการเสียสภาพ	+	+
การตกตะกอนของโปรตีน	+	+
แป้งเกิดเจลาติไนเซชัน	+	+
เอนไซม์สูญเสียกิจกรรม	+	-
การฆ่าเชื้อจุลินทรีย์	+	+
การฆ่าแมลงและพยาธิ	+	+

ที่มา : วิไล (2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กระบวนการใช้ความดันสูงยิ่งในการผลิตอาหาร อาหารจะถูกบรรจุในภาชนะที่มีความยืดหยุ่น เช่นถุงหรือขวดที่มีความทนทานต่อความดันสูงยิ่ง แล้วนำไปใส่ในช่องของเครื่องความดันสูงยิ่งที่มีของเหลวเป็นตัวส่งผ่านความดันบรรจุอยู่ ของเหลวที่ใช้เป็นตัวส่งผ่านความดันจะอยู่ในเครื่องที่ใช้เครื่องสูบ (pump) เป็นตัวอัดความดัน แล้วความดันถูกส่งผ่านไปยังอาหารอย่างสม่ำเสมอเท่าๆ กันในทุกทิศทาง ทำให้อาหารยังคงรูปเดิมของมันไว้ได้

เทคนิคความดันสูงยิ่งเป็นกระบวนการที่ไม่ใช้ความร้อนในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของอาหาร ซึ่งใช้ความดันสูงยิ่งประมาณ 300 – 600 MPa กระทำต่ออาหารซึ่งมีผลทำให้โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติ สตาร์ชเกิดเจลาติไนเซชัน กิจกรรมของเอนไซม์อาจถูกยับยั้งหรือเร่งให้เร็วขึ้น ซึ่งจะแปรผันขึ้นอยู่กับความดันที่ใช้ ซึ่งปัจจุบันวิธีการแปรรูปอาหารโดยใช้ความดันสูงยิ่งได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง เป็นที่ยอมรับว่า กระบวนการใช้ความดันสูงยิ่ง นอกจากจะช่วยถนอมสี กลิ่น และรสเดิมของอาหารแล้ว ยังรักษาคุณค่าทางอาหารและช่วยทำลายจุลินทรีย์ได้บางส่วน (Apichartsrangkoon *et al*., 1998) ความดันสูงยิ่งที่ใช้ทำลายจุลินทรีย์จะแปรผันขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์และสภาพแวดล้อม เช่น พีเอช อุณหภูมิ และความเข้มข้นของตัวถูกละลาย ตัวอย่างเช่นการใช้ความดันสูงยิ่งในช่วง 300 – 700 MPa เป็นเวลา 15 นาที สำหรับการถนอมอาหาร สามารถลดแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดอาหารเป็นพิษ เช่น Salmonella, Campylobacter และ Listeria ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ สภาวะดังกล่าวยังสามารถทำลายแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียได้ด้วย ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีอายุการเก็บรักษานานขึ้นที่อุณหภูมิแช่เย็น พบว่าการใช้ความดันสูงยิ่งร่วมกับการให้ความร้อนที่อุณหภูมิที่ไม่สูงมากนัก (ไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์ ได้ดี

การใช้ความดันสูงยิ่งกับเอนไซม์ที่อุณหภูมิห้องจะมีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์แบบผันกลับหรือไม่ผันกลับขึ้นกับชนิดของเอนไซม์ ความดัน อุณหภูมิ และระยะเวลาในการแปรรูป เช่น เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสทางการค้าที่สกัดจากเห็ด จะมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อใช้ความดันสูงยิ่ง 100 – 800 MPa เป็นเวลา 10 – 20 นาที มี pH 6.5 และเอนไซม์จะสูญเสียประสิทธิภาพเมื่อเพิ่มความดันสูงยิ่งเป็น 800 MPa ภายในเวลา 5 นาที (Gomes and Ledward, 1996) ส่วนการทำลายเอนไซม์ pectinmethylesterase ในน้ำผลไม้ตระกูลส้มต้องใช้ความดันสูงถึง 1000 MPa เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส หรือที่ความดันสูงยิ่ง 600 MPa เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 57 องศาเซลเซียส (Ogawa *et al*., 1990) เมื่อใช้ความดันสูงยิ่ง 600 MPa เป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิห้อง จะมีปฏิกิริยาเหลืออยู่ 20 – 80 % (Mertens, 1992) กระบวนการฆ่าเชื้อแบบพาสเจอร์ไรเซชันในน้ำผลไม้ ถ้าใช้ความดันสูงยิ่งในช่วง 300 – 400 MPa เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อาจต้องเพิ่มขั้นตอนการลวกก่อน เนื่องจากเอนไซม์ pectinmethylesterase ยังมีความคงตัวต่อความดันในสภาวะที่มีน้ำตาลสูง 50 – 60 ºBrix (Cheftel, 1992)

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (browning reaction) ของผลไม้บางชนิดหรือในสารสกัดจากผลไม้จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความดัน เช่นในการศึกษาของ Gomes and Ledward (1996) พบว่าการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ให้ความดันสูงยิ่งกับเห็ด มันฝรั่ง และแอปเปิ้ลในช่วง 200 – 600 MPa จะเกิดสีน้ำตาลมากกว่าพวกที่ไม่ให้ความดัน และการเกิดสีน้ำตาลนี้ จะยังคงเกิดต่อเนื่องในระหว่างการเก็บรักษา ทั้งนี้เนื่องจากความดันจะทำให้เกิดการฉีกขาดของเมมเบรนที่หุ้มเซลล์ เอนไซม์ภายในเซลล์จึงถูกปล่อยออกมาทำปฏิกิริยากับสับสเตรตได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved