บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พลับ (Persimmon)

พลับ เป็นผลไม้กึ่งร้อน (Sub-tropical fruit) ที่มีการผลัดใบอยู่ในสกุล Diospyros วงศ์ Ebenaceace (Ebony family) ความหมายของชื่อสกุล Diospyros มีความหมายถึงพืชที่มีคุณค่าทางอาหารเสริมเพื่อสุขภาพ (ปวิณ และคณะ, 2537)

พลับมีแหล่งกำเนิดในจีน แต่ได้รับการพัฒนาพันธุ์ปลูกจนเป็นไม้ผลประจำชาติญี่ปุ่น ปลูกมากในจีน เกาหลี และญี่ปุ่น นอกจากนี้ยังมีประเทศอื่นที่ปลูกเป็นการค้า ได้แก่ บราซิล อิตาลี สหรัฐอเมริกา อิสราเอล และออสเตรเลีย พืชในสกุลนี้มีประมาณ 400 ชนิด แต่ชนิดที่สำคัญและปลูกเป็นการค้ามีอยู่ 4 ชนิดคือ *D. kaki* L., *D. lotus* L., *D.virginiana* L., *D.oleifera* Cheng พลับชนิดที่เป็นที่ต้องการของตลาดคือ *D. kaki* (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2540)

สำหรับในประเทศไทยมีการปลูกพลับกันมาตั้งแต่ประมาณ พ.ศ. 2470 ในทางภาคเหนือ เช่น เชียงใหม่ เชียงราย แต่พื้นที่การปลูกไม่แพร่หลายออกไป (สังคม, 2532) พันธุ์ที่ปลูกได้ผลและขยายออกไปตามแหล่งต่าง ๆ จึงมีเพียง 5-6 พันธุ์ ไม่แพร่หลายเท่าไหร่นัก มักเรียกชื่อพันธุ์โดยพิจารณาจากลักษณะและรูปร่างของผล สำหรับพันธุ์ที่ขึ้นกระจายอยู่ในประเทศไทยมีหลายชนิดเป็นที่รู้จักมานาน ได้แก่ กล้วยฤาษี (*D. glandulosa*) ตะโกนา (*D. rhodocalyx*) ตะโกสวน (*D. malabarica*) จันเทศ (*D. dasyphylla*) และมะพลับดง (*D. schmidtii*) เป็นต้น (สุรินทร์, 2543)

การจำแนกพันธุ์พลับ

ในทางพืชสวนได้แบ่งพลับออกเป็น 2 ชนิด ตามรสชาติของผล คือ

1. พลับหวาน (Sweet หรือ Non-astringent persimmon) พลับพันธุ์เหล่านี้ เมื่อผลสุกจะมีรสหวาน กรอบ ไม่มีรสฝาด ซึ่งเมื่อเก็บมาจากต้นก็สามารถรับประทานได้เลย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. พลับฝาด (Astringent persimmon) เมื่อผลแก่ยังคงมีรสฝาดและความฝาดจะหายไปเมื่อผลสุกงอม สารที่ทำให้ผลพลับฝาดคือ แทนนินที่ละลายน้ำได้ (Soluble tannin) โดยปกติผลพลับฝาดจะมีแทนนินอยู่ร้อยละ 0.80-1.94 ของน้ำหนักผล (ปวิณ และคณะ, 2537)

พลับทั้ง 2 ชนิดนี้ยังสามารถแบ่งย่อยได้อีก 2 ชนิดคือ

1. ชนิดที่มีสีเนื้อคงที่ (Pollination constant) คือ พลับที่สีของเนื้อคงเดิมไม่เปลี่ยนสีไม่ว่าจะมีการผสมเกสรก็ตาม แต่อาจสังเกตเห็นจุดสีเข้มเป็นจุดเล็ก ๆ ในบางพันธุ์

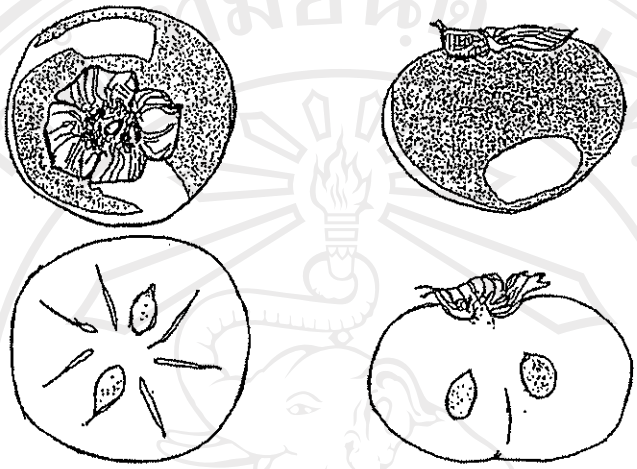
2. ชนิดที่มีสีเนื้อเปลี่ยนแปลง (Pollination variant) คือ ถ้าไม่มีการผสมเกสร สีของเนื้อจะเป็นสีเหลืองอ่อน แต่ถ้ามีการผสมเกสรเกิดขึ้นสีของเนื้อผลพลับจะเปลี่ยนจากสีเหลืองอ่อนเป็นสีน้ำตาลแดง หมายความว่าสีของเนื้อจะเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะของการผสมเกสรหรือการที่มีเมล็ดเป็นบางครั้ง เนื่องจากการผสมเกสรไม่ดีจึงมีเมล็ดเกิดขึ้นภายในผลน้อย หรือมีเพียงเมล็ดเดียวและปรากฏสีน้ำตาลแดงให้เห็นเฉพาะรอบ ๆ บริเวณเมล็ดเท่านั้น ผลด้านที่ไม่มีเมล็ด สีของเนื้อจะมีสีอ่อนตามปกติและมีจุดเข้มเล็ก ๆ และพลับหวานจะกลายเป็นพลับฝาดได้ถ้าไม่มีเมล็ด ลักษณะของพลับชนิดสีเนื้อคงที่และสีเนื้อเปลี่ยนแปลงแสดงดังภาพ 2.1

ภาพ 2.1 พลับชนิดสีเนื้อคงที่ (กลุ่มซ้ายมือ) และพลับชนิดสีเนื้อเปลี่ยนแปลง (กลุ่มขวามือ)
ที่มา : ปวิณ และคณะ (2537)

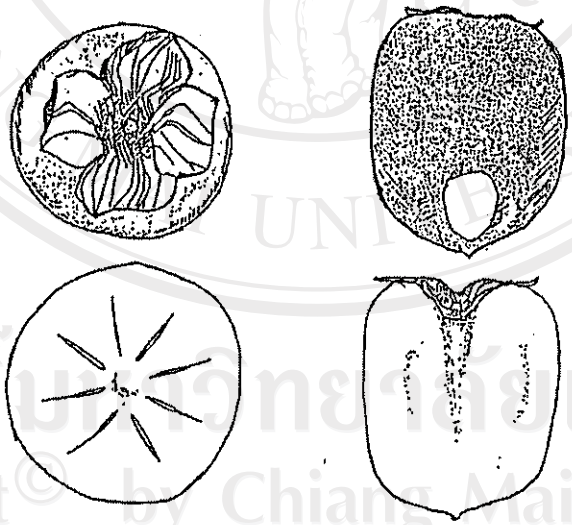
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พันธุ์และลักษณะที่สำคัญประจำพันธุ์

พันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทยมีทั้งชนิดสีเนื้อคงที่และสีเนื้อเปลี่ยนแปลง และมีทั้งชนิดพลับฝาดและพลับหวาน ซึ่งลักษณะของพลับแสดงดังภาพ 2.2 พันธุ์พลับที่สำคัญ มีดังนี้



พันธุ์ฟูยู (Fuyu)



พันธุ์ฮาชิยา (Hachiya)

ภาพ 2.2 ลักษณะรูปร่างของพลับพันธุ์ฟูยู (Fuyu) และพันธุ์ฮาชิยา (Hachiya)
ที่มา : ปวิณ และคณะ (2537)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. พันธุ์ฟูยู (Fuyu) เป็นพันธุ์ที่โครงการหลวงนำเข้ามาปลูก จัดอยู่ในชนิดสีเนื้อคงที่และเป็นพลับหวาน ปัจจุบันเป็นที่นิยมปลูกกันทั่วโลก พื้นที่ที่เหมาะสำหรับปลูกพันธุ์นี้จะต้องมีอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่านี้ได้เล็กน้อย ผลมีลักษณะกลมแบนเล็กน้อยมี 4 พู มีเมล็ด 2-4 เมล็ด เมื่อสุกผลมีสีส้ม หรือส้มปนแดง รสหวาน เนื้อกรอบ พันธุ์ฟูยูในประเทศไทยมีน้ำหนักผลเพียง 100-200 กรัม ในต่างประเทศหนักถึง 250 กรัม ขนาดผลกว้าง 7.0 เซนติเมตร สูง 5.5 เซนติเมตร พลับพันธุ์ฟูยู จะปลูกได้ดีในบริเวณพื้นที่ ๆ มีความสูงกว่าระดับน้ำทะเลตั้งแต่ 1,000 เมตรขึ้นไป เพราะต้องการอากาศหนาวเย็น

2. พันธุ์พี 1 (P1) เป็นพันธุ์ที่โครงการหลวงนำเข้ามาจากไต้หวัน เป็นกลุ่มพวกที่มีรสฝาดติดผลได้ดีมาก ดอกมีทั้งที่เป็นดอกตัวผู้ ดอกตัวเมีย และดอกกะเทยอยู่ในต้นเดียวกัน พลับพันธุ์นี้คุณภาพเพื่อการรับประทานสดไม่ดี บริเวณใต้ขั้วมักจะมีรอยแตก เมื่อผลสุกเต็มที่ขั้วผลจะหลุดออกได้ง่ายไม่เป็นที่นิยมของตลาด

3. พันธุ์ซือโจ หรือ ซิชู หรือ พี 2 (Xichu or P2) นำเข้ามาจากไต้หวัน พลับพันธุ์นี้เป็นพลับชนิดสีของเนื้อคงที่และเป็นพลับฝาด ผลมีลักษณะเป็นรูปกลมจนถึงเป็นเหลี่ยม บางครั้งอาจพบเป็นรูปสี่เหลี่ยมจนถึงแปดเหลี่ยม เนื้อผลสีเหลืองอ่อน น้ำหนักผล 100-150 กรัม เป็นพันธุ์ที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีและขจัดความฝาดได้ง่ายโดยการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

4. พันธุ์อั้งใส หรือ พี 3 (Ang Sai or P3) เป็นพลับฝาด ผลค่อนข้างเล็ก น้ำหนักเฉลี่ย 120 กรัม ติดผลดก ผลสุกสีแดงจัด เนื้อไม่มีการเปลี่ยนสี การติดผลดี คุณภาพปานกลาง

5. พันธุ์นูซิน หรือ พี 4 (Niu Scin or P4) ผลมีลักษณะคล้ายรูปหัวใจเช่นเดียวกับพันธุ์ไฮยาคัม แต่อาจจะยาวกว่าเล็กน้อย ขนาดค่อนข้างใหญ่ น้ำหนัก 152 กรัม เป็นพวกพลับฝาดประเภทเนื้อของผลไม่เปลี่ยนสี เนื้อมีสีเหลืองอ่อน ขจัดความฝาดโดยการใช้ก๊าซคาร์บอนได-ออกไซด์ (ปวิณ และคณะ, 2537; สถาบันวิจัยพืชสวน, 2540)

6. พันธุ์ไฮยาคัม (Hyakume) นำเข้ามาจากไต้หวัน ผลค่อนข้างยาวคล้ายรูปหัวใจขนาดค่อนข้างใหญ่ น้ำหนักเฉลี่ย 151 กรัม จัดเป็นพลับหวาน ชนิดสีเนื้อของผลเปลี่ยนสีเมื่อได้รับการผสมเกสรหรือติดเมล็ด บริเวณที่เนื้อมีสีน้ำตาลแดงจะไม่ฝาด ในขณะที่บริเวณที่ไม่มีเมล็ดเนื้อจะเป็นสีเหลืองอ่อนรสฝาดมาก ถ้าพิจารณาดูจากภายนอกทั่ว ๆ ไปแล้วจะไม่ทราบต้องผ่าดูเนื้อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภายในผล ซึ่งเป็นข้อเสียของการปลูกพันธุ์นี้ การช่วยผสมเกสรหรือการปลูกพันธุ์ที่มีเกสรตัวผู้จะช่วยให้การติดเมล็ดดีขึ้น เพื่อให้เกิดความแน่ใจควรขจัดความฝาดของพลับพันธุ์นี้เสียก่อนที่จะออกวางตลาด โดยการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

7. พันธุ์ฮาชิยา (Hachiya) เป็นพลับฝาดชนิดที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อ นิยมปลูกกันมากในสหรัฐอเมริกา เนื่องจากเมื่อผลสุกจะมีลักษณะนิ่มและหวาน ในอเมริกาไม่นิยมรับประทานพลับหวานกรอบแต่นิยมพลับที่สุกนิ่ม นำไปทำพลับแห้งหรือแปรรูปได้เป็นอย่างดี ผลมีขนาดใหญ่ไม่มีเมล็ด ผิวผลสีเหลืองอมแดงเวลาสุกเต็มที่จะมีสีเหลืองส้ม (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2540)

8. พันธุ์ไนติงเกล (Nightingle) คล้ายกับพันธุ์ฮาชิยามาก รูปร่างกรวยยาว มีขนาดใหญ่ เป็นพวกพลับฝาด เมื่อสุกเต็มที่จะมีรสหวาน สีผิวสีเหลืองอ่อนกว่าพันธุ์ฮาชิยาเล็กน้อย ส่วนปลายผลจะเรียวยาวกว่า นิยมใช้รับประทานสด สามารถขจัดความฝาดได้แม้ผลยังแข็งอยู่หรือปล่อยให้ผลสุกนิ่มความฝาดก็จะหายไปเช่นเดียวกัน นำไปแปรรูปทำเป็นพลับแห้งได้ดีแต่คุณภาพต่ำกว่าพันธุ์ฮาชิยาเล็กน้อย (ปวิณ และคณะ, 2537)

ส่วนประกอบเคมีที่สำคัญในผลพลับ

ส่วนประกอบหลักในผลพลับคือ น้ำ น้ำตาล เพคติน แทนนิน แคโรทีนอยด์ กรดแอสคอร์บิคและกรดอะมิโนโดยมีส่วนของใบทำหน้าที่สร้างอาหารแล้วส่งมาเก็บสะสมไว้ที่ผล (สุรินทร์, 2543)

องค์ประกอบทางเคมีของพลับพันธุ์ต่าง ๆ ทั้งที่มีความฝาดและไม่มีความฝาด แสดงดังตาราง 2.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.1 ค่าองค์ประกอบทางเคมีของพลับพันธุ์ต่าง ๆ

พันธุ์	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (ร้อยละ)	ความถ่วงจำเพาะ (20 °C)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°บริกซ์)	ความเป็นกรดเป็นด่าง	โปรตีน (ร้อยละ)	เยื่อใย (ร้อยละ)	เพคตินที่ละลายน้ำได้ (ร้อยละ)	แทนนินที่ละลายน้ำได้ (ร้อยละ)
พันธุ์ฝาด									
Aizumishirazu	243	79.00	1.074	18.0	5.5	0.46	0.38	0.74	0.92
Atago	178	79.10	1.075	18.6	5.5	0.47	0.33	0.51	0.80
Hagakushi	167	78.00	1.074	19.0	5.3	0.45	0.40	0.68	1.58
Hiratanenashi	288	80.40	1.072	19.0	5.3	0.47	0.33	0.63	1.47
Schakokushi	277	76.80	1.080	20.8	5.4	0.42	0.47	0.89	1.55
Yokono	282	80.00	1.074	19.6	5.4	0.37	0.39	0.55	1.51
Yotsumizo	125	79.20	1.078	20.3	5.3	0.36	0.28	0.80	1.68
เฉลี่ย	205	79.10	1.076	19.5	5.4	0.43	0.37	0.68	1.41
พันธุ์ไม่ฝาด									
Fuyu	249	82.40	1.066	16.2	5.5	0.58	0.49	0.68	0

ที่มา : Itoo (1986)

น้ำตาล : น้ำตาลในผลพลับสุก เป็นพวกฟรุคโตสและกลูโคสเป็นส่วนใหญ่ คือมีมากกว่าร้อยละ 90 ของปริมาณน้ำตาลทั้งหมด โดยฟรุคโตสมีมากกว่ากลูโคสเล็กน้อย ส่วนซูโครสมีปริมาณน้อย (Itoo, 1986) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของพลับหวานที่แก่แล้วจะมีประมาณ 14.8-17.9 องศาบริกซ์ ปริมาณน้ำตาลภายในเนื้อของผลพลับแสดงดังตาราง 2.2 (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2540)

ตาราง 2.2 ปริมาณน้ำตาลภายในเนื้อของผลพลับต่อน้ำหนักสด 100 กรัม

พันธุ์	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (°บริกซ์)	ปริมาณน้ำตาลรวม (กรัม)	น้ำตาลรีดิวซ์ (กรัม)	ซูโครส (กรัม)	กลูโคส (กรัม)	ฟรุคโตส (กรัม)	กลูโคส : ฟรุคโตส
Fuyu	14.8	14.34	13.90	0.42	6.87	7.03	1 : 1.02
Jiro	16.7	14.38	13.78	0.57	6.40	7.38	1 : 1.15
Suruga	17.9	17.14	15.40	1.65	7.34	8.06	1 : 1.10
Gosho	16.4	14.91	13.26	1.57	6.56	6.70	1 : 1.02
เฉลี่ย	16.4	15.19	14.09	1.05	6.79	7.29	1 : 1.07

ที่มา : Ito (1971)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เพคติน : ในผลแก่ของพลับหวาน 4 พันธุ์ (Fuyu, Jiro, Suruga และ Gosho) มีปริมาณเพคตินร้อยละ 0.52-1.07 ดังตาราง 2.3 ซึ่งปริมาณของเพคตินที่พบนี้ยังสามารถแบ่งได้ 3 กลุ่มตามความสามารถในการละลายได้ในตัวทำละลายในขั้นตอนของการสกัด ประกอบด้วยเพคตินที่ละลายได้ในน้ำร้อยละ 64-69 ละลายได้ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20-29 และละลายได้ในสารละลายโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟตร้อยละ 5-10 (Ito, 1971)

ตาราง 2.3 ปริมาณเพคตินของผลพลับต่อน้ำหนักสด 100 กรัม

พันธุ์	เพคตินที่ละลายในน้ำ (กรัม)	เพคตินที่ละลายใน Na-hexametaphosphate (กรัม)	เพคตินที่ละลายใน sodiumhydroxide (กรัม)	ปริมาณเพคตินรวม (กรัม)
Fuyu	0.360	0.050	0.108	0.518
Jiro	0.370	0.040	0.140	0.555
Suruga	0.640	0.046	0.288	0.974
Gosho	0.740	0.084	0.244	1.070

ที่มา : Ito (1971)

แทนนิน : แทนนินเป็นสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง แทนนินในพลับเรียกว่า Kaki-tannin ซึ่งมี 2 รูปคือ ชนิดละลายน้ำได้และละลายน้ำไม่ได้ แทนนินจากพลับมีสารประกอบ Phenolic hydroxyl groups ทำให้เกิดรสฝาดเพราะอยู่ในรูปละลายน้ำ ดังนั้นในขณะที่พลับยังไม่แก่จึงมีรสฝาด เนื่องจากสารแทนนินอยู่ในรูปชนิดที่ละลายน้ำได้ (Itoo, 1986) การสะสมปริมาณของแทนนินจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ และลดลงในระยะผลสุก (มานิตย์, 2525) แทนนินมีความสามารถในการจับโปรตีนและแสดงสีเมื่อทำปฏิกิริยากับ Ferric chloride เมื่อผลพลับสุก แทนนินชนิดละลายน้ำได้จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูป Polymerized tannin ทำให้ไม่เกิดรสฝาด เนื่องจากไม่ละลายน้ำ

แคโรทีนอยด์ : สีของพลับสุกเกิดจากเม็ดสีของแคโรทีนอยด์ (Carotenoid pigment) ซึ่งมีตั้งแต่สีแดงจนถึงสีเหลืองอมส้ม จากผลพลับ 40 พันธุ์ ซึ่งประกอบด้วย *D. kaki* 38 พันธุ์ และ *D. lotus* 2 พันธุ์ พบว่ามีปริมาณของ Cryptoxanthin ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักมีอยู่ถึงร้อยละ 30-40 ของปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด ส่วนสีแดงจะเป็นไลโคพีน (Lycopene) การเปลี่ยนสีในช่วงแก่สุกของพลับ เกิดจากการเพิ่มขึ้นของสารประกอบแคโรทีนอยด์อย่างรวดเร็ว ไลโคพีนมีปริมาณน้อยมากในช่วงผลอ่อน แต่เมื่อผลแก่จะมีปริมาณถึงร้อยละ 30-40 ของแคโรทีนอยด์ (Itoo, 1986) ส่วนเม็ดสีอื่น ๆ ที่พบได้แก่ Xanthophyll มีอยู่ ร้อยละ 10-20 ของปริมาณทั้งหมด (สุรินทร์, 2543) และปริมาณสารดังกล่าวจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อสุก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กรดแอสคอร์บิค : ผลพลับมีปริมาณของกรดแอสคอร์บิคสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผลที่ยังไม่แก่ และในส่วนเปลือกของผลแก่จะมีปริมาณของกรดแอสคอร์บิคมากกว่าในเนื้อผลของผลแก่ นอกจากนี้ยังพบว่าในส่วนของเนื้อผลจะมีความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิคสูงกว่าในส่วนแกนกลางของผล

กรดอะมิโน : กรดอะมิโนในผลพลับจะพบในเนื้อผล กลีบเลี้ยง และเมล็ดของพลับ กรดอะมิโนที่พบมี 19 ชนิดคือ alanine, arginine, aspartic acid, glutamic acid, glycine, histidine, leucine, isoleucine, lysine, methionine, phenylalanine, proline, serine, threonine, tryptophan, tyrosine, valine, cystine และ γ–amino butyric acid ซึ่งกรดอะมิโนที่พบนี้จะไม่มี asparagine รวมอยู่ด้วย (Ito, 1971)

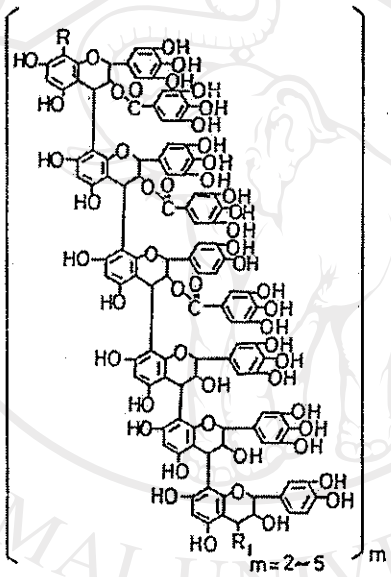
ความฝาดและกรรมวิธีในการลดความฝาดของพลับ

น้ำตาลรีดิวซิง (Reducing sugar) ที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสง จะถูกนำไปสะสมไว้ในผลในรูปของเพคตินและแทนนิน ซึ่งแทนนินเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความฝาด (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2540) ความฝาดของพลับเกิดจากสาร Leucodelphinidin-3-glucoside โดยในโมเลกุลนี้จะประกอบไปด้วย Gallic acid, Gallocatechin และ Gallocatechin gallate หรือมีชื่อสามัญว่า Diospyrin ซึ่งเป็นแทนนินที่ละลายน้ำได้ชนิดหนึ่งที่มีการจับตัวกับโปรตีน แทนนินชนิดนี้เป็นของเหลวที่แพร่กระจายได้ง่าย (Ito, 1971) สารแทนนินนี้ยังมีความเกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลโดยเอนไซม์แต่กลไกยังไม่ทราบแน่ชัด อย่างไรก็ตามคงมีความเกี่ยวข้องกับสารประกอบ Phenol ที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในโครงสร้างโมเลกุล (Francis, 1985) พลับพันธุ์ที่มีความฝาดจะมีปริมาณของเซลแทนนินที่ใหญ่และเกิดการกระจายอยู่ทั่วไปภายในเนื้อพลับที่มากกว่าพันธุ์ที่ไม่ฝาด (Ito, 1971) ลักษณะและโครงสร้างของสารแทนนินที่เป็นสาเหตุของความฝาดในเนื้อพลับแสดงในภาพ 2.3 และ 2.4 แทนนินจะมีปริมาณลดน้อยลงในขณะผลสุก จนถึงระยะที่ผลสุกเต็มที่ความฝาดจะหายไป จึงมีรสหวานและเนื้อนิ่ม ซึ่งเป็นที่นิยมบริโภคบ้างแต่ไม่เป็นที่นิยมมากนัก กรรมวิธีในการทำให้พลับหายฝาดไปในขณะที่เนื้อผลยังกรอบแข็งอยู่จึงเป็นวิธีที่สามารถทำให้ผู้บริโภคนิยมมากขึ้น การลดความฝาดมีหลายวิธีได้แก่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 2.3 ลักษณะเซลแทนนิน

ที่มา : Itoo (1986)



ภาพ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของ Kaki-tannin

ที่มา : Itoo (1986)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

1. การใช้น้ำปูนใส

น้ำปูนที่ใช้กินกับหมากมาละลายน้ำทิ้งไว้ 1 คืน จนน้ำปูนมีฝ้าคล้ายผลึกเหนือน้ำปูนใส รินเอาน้ำแต่ส่วนบน แช่ผลพลับในน้ำปูนใสประมาณ 5-7 วัน ผลพลับจะหายฝาดได้ ขณะที่ผลยังแน่นแข็งอยู่ ในขณะที่แช่อยู่ในน้ำปูนใสไม่ควรขยับภาชนะ ถ้าอากาศอบอุ่นจะใช้เวลาสั้นกว่าปกติ วิธีการนี้ผลพลับจะคงคุณภาพไว้ได้นาน 2-3 วันเท่านั้น และผลที่แช่น้ำปูนใสจะมีคราบปูนจับอยู่ทำให้ผิวไม่สวย (ปวิณ และคณะ, 2537 ; สถาบันวิจัยพืชสวน, 2540)

2. การใช้แอลกอฮอล์

นำพลับบรรจุในภาชนะปิดภายใต้สภาวะที่มีแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 35-40 โดยใช้สัดส่วนของแอลกอฮอล์ 10 มิลลิลิตรต่อภาชนะปิด 1 ลิตร เป็นเวลา 5-7 วัน ไอระเหยจากแอลกอฮอล์จะถูกดูดซับเข้าไปทำให้ความฝาดหายไปโดยที่ผลยังแน่นแข็งและมีคุณภาพดี ข้อควรระวังอย่าให้ผลพลับแช่อยู่ในแอลกอฮอล์เพราะจะทำให้สีผลและรสชาติเปลี่ยนไป ข้อเสียของวิธีนี้คือ ผลอาจมีกลิ่นแอลกอฮอล์ติดอยู่บ้าง และผลมักจะเสียภายใน 2-3 วัน หลังจากเอาออกจากภาชนะ ควรบริโภคทันที ไม่ควรทิ้งไว้นาน

3. การแช่ในน้ำร้อนหรือน้ำอุ่น

โดยการจุ่มผลพลับในน้ำที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส แช่ทิ้งไว้ประมาณ 15-24 ชั่วโมง วิธีนี้เป็นวิธีดั้งเดิมของชาวญี่ปุ่น เหมาะสำหรับรับประทานภายในครอบครัว วิธีนี้จะทำให้ผลพลับมีคุณภาพต่ำลง (เนื้อผลนิ่ม ขั้วผลหลุด)

4. การใช้อีเทรฟอน

โดยใช้สารอีเทรฟอน 2,000 ส่วนในล้านส่วน ในสัดส่วน 10 มิลลิลิตรต่อภาชนะปิดประมาณ 1 ลิตร จะเกิดก๊าซเอทธิลีน บ่มผลพลับนาน 5-7 วัน ผลสุกจะแดง วิธีนี้ช่วยให้ผลพลับสุกได้เร็วขึ้นและหายฝาดได้ แต่ระวังอย่าให้ผลพลับแช่ในอีเทรฟอน เพราะจะทำให้ผลฉ่ำน้ำเกินไป วิธีนี้เมื่อผลสุกแล้วค่อนข้างจะมีน้ำในผลมาก และรสชาติไม่ค่อยดี

5. การแช่เยือกแข็ง

เมื่อนำพลับมาแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ –25 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 10-90 วัน จะสามารถทำให้ความฝาดลดลงได้ แต่ปริมาณการลดน้อยลงไปของปริมาณแทนนินต้องขึ้นอยู่กับความแตกต่างของพันธุ์พลับด้วย และวิธีการนี้ไม่สามารถทำให้ความฝาดของพลับหายไปหมดได้ (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2540)

6. การฉายรังสีแกมม่า

การฉายรังสีพลับ กระทำโดยใช้รังสีแกมม่า ที่มีความเข้มของรังสีเป็น 0.15-0.25 Mrad จากแหล่งรังสีโคบอลต์ จะสามารถลดความฝาดของพลับได้ แต่อาจทำให้ผลพลับมีเนื้อสัมผัสที่นิ่มได้ (Itoo, 1986)

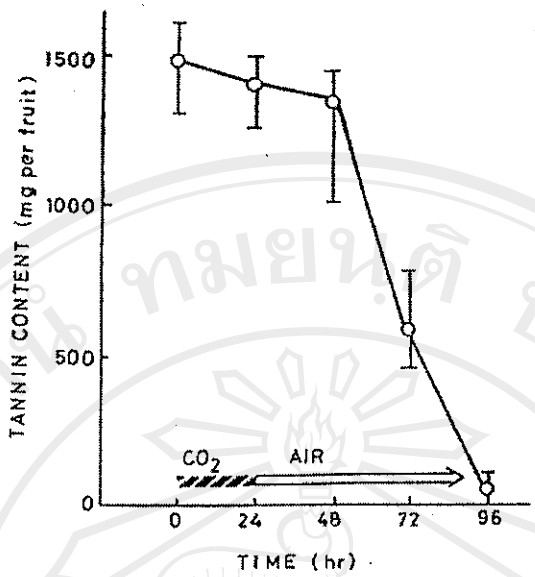
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

7. การใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เป็นวิธีที่ทำได้ง่ายและผลของพลับจะสะอาด ไม่มีคราบเหมือนการแช่น้ำปูนใส วิธีนี้เหมาะสำหรับผลผลิตพลับที่มีปริมาณมาก โดยการบรรจุผลพลับในถุงพลาสติกหนา 2.5 มิลลิเมตร ขนาด 18 x 24 นิ้ว ปิดปากถุงให้แน่น ดูดเอาอากาศออกจากถุงให้หมด แล้วเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปแทนจนเต็มถุง ทิ้งไว้ประมาณ 3-4 วัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ ภายใต้สภาพความดันบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส แต่ในทางปฏิบัติเก็บไว้ในสภาพอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 วัน จะสามารถขจัดความฝาดได้ หลังจากนั้นยังคงนำมาเก็บรักษาไว้ได้อีกนานถึง 1 เดือนที่ระดับอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2540)

วิธีการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คือ วิธี Constant Temperature Short Duration (CTSD) ซึ่งมีขั้นตอนในการปฏิบัติด้วยการนำพลับมาอัดด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในภาชนะปิดที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 18-24 ชั่วโมง แล้วตามด้วยการเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 3 วัน พลับจะลดความฝาดลงไปได้อย่างดีเยี่ยม และมีคุณภาพของผลพลับที่ดี กล่าวคือเนื้อยังแน่นแข็งและไม่นิ่มเละ ภาพ 2.5 แสดงการลดลงของปริมาณแทนนินในผลพลับเมื่อทำวิธีการลดความฝาดด้วย CTSD-CO_2 โดยจะเห็นได้ว่าพลับที่เก็บไว้ในสภาวะที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นาน 24 ชั่วโมง และนำพลับมาไว้ในอากาศปกติที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 24-48 ชั่วโมง ทำให้ปริมาณแทนนินที่เป็นสาเหตุของความฝาดในพลับมีปริมาณลดลงอย่างมาก ทั้งนี้อาจใช้ Dry ice (Solid-CO_2) ที่มากเพียงพอแทนการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใส่ลงในภาชนะที่ปิดสนิทเป็นเวลานาน 3-4 วัน ความฝาดในผลพลับจะลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแทนนินของพลับในการลดความฝาดโดยการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ที่มา : Itoo (1986)

กลไกการลดความฝาดของพลับ

การลดความฝาดของพลับมีหลายวิธีดังที่กล่าวมาแล้ว พื้นฐานของการลดความฝาดคือการจัดพลับให้อยู่ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (Anaerobic condition) หรือการให้อยู่ในสภาพมีการหายใจแบบไม่มีออกซิเจน (Anaerobic respiration) โดยการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) อะซิตัลดีไฮด์ (Acetaldehyde) หรือเอธานอล (Ethanol) (Pesis *et al.*, 1986) การลดความฝาดที่มีประสิทธิภาพทำได้โดยนำพลับไปเก็บรักษาไว้ในบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 80 เป็นเวลา 1-3 วัน ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ คือพันธุ์ อุณหภูมิ และสภาพความแก่อ่อน (Stage of maturity)

การลดความฝาดด้วยการจัดสภาพบรรยากาศนั้นมีความเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกในสภาพมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือในสภาพขาดออกซิเจนนี้ ทำให้เกิดการสร้างอะซิตัลดีไฮด์ ซึ่งเป็นผลให้เกิดปฏิกิริยาในขั้นที่สองด้วยการเปลี่ยนแทนนินที่ละลายน้ำไปเป็นแทนนินที่ไม่ละลายน้ำ โดยที่การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนั้นไม่อาจเปลี่ยนแทนนินที่ละลายน้ำเป็นแทนนินที่ไม่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Gazit and Adato, 1972)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

งานวิจัยของ Itoo and Matsou ในปี ค.ศ. 1982 ได้ชี้ให้เห็นถึงการใช้เอธานอล และอะซิตัลดีไฮด์ ต่อความสัมพันธ์ในการเปลี่ยนแทนนินที่ละลายน้ำที่เป็นสารที่ให้รสชาติฝาดอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ โดยการทำงานของอะซิตัลดีไฮด์ที่ไปจับกับสารแทนนินให้อยู่ในลักษณะเจล

กลไกในการลดความฝาดของพลับมีความเกี่ยวข้อง 2 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 : สภาพขาดออกซิเจน ทำให้เกิดสารอะซิตัลดีไฮด์ที่มีความเกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการลดลงของความฝาด เอนไซม์มีความเกี่ยวข้องในขั้นตอนของการลดความฝาดในสภาพขาดออกซิเจนต่อการเปลี่ยนแปลงกรดไพรูวิค ไปเป็นอะซิตัลดีไฮด์และเอธานอล ซึ่งการทำงานของเอนไซม์จะถูกยับยั้งได้ที่อุณหภูมิมากกว่า 60 องศาเซลเซียส โดยเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวคือเอนไซม์ Pyruvate Decarboxylase (PDC) และเอนไซม์ Alcohol dehydrogenase (ADH) เป็นเอนไซม์ที่เปลี่ยนเอธานอล ไปเป็นอะซิตัลดีไฮด์ โดยเอนไซม์ทั้งสองไม่สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (Gazit and Adato, 1972: Ben-Arie *et al.*, 1988 : ธารา, 2540)

ขั้นตอนที่ 2 : สภาพมีออกซิเจน ทำให้เกิด nonenzymatic reaction ระหว่างอะซิตัลดีไฮด์กับแทนนินที่ละลายน้ำ สามารถอธิบายได้ 2 กระบวนการ กระบวนการแรกคือ อะซิตัลดีไฮด์ที่ได้จากขั้นตอนที่หนึ่งจะเปลี่ยนแทนนินที่ละลายน้ำไปเป็นแทนนินที่ไม่ละลายน้ำ แต่จะไม่อาจเปลี่ยนแทนนินที่ละลายน้ำให้ไม่ละลายน้ำได้ทั้งหมด จึงมีกระบวนการที่สองคือ อะซิตัลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นจะไปเร่งกระบวนการสุกของพลับทำให้เกิดเพคตินที่ละลายน้ำ จากนั้นจะเกิดการรวมตัวกันเป็นสารประกอบระหว่างเพคตินที่ละลายน้ำกับแทนนินที่เหลือจากกระบวนแรก ทำให้การกำจัดความฝาดเป็นไปอย่างสมบูรณ์ (Taira *et al.*, 1997 : พิทยา, 2542)

การแปรรูป

การทำพลับแห้งโดยการอบ

การทำแห้งพลับโดยวิธีการอบนั้น พลับแห้งที่ได้จะมีคุณภาพดีสม่ำเสมอและมีการเน่าเสียน้อย ขั้นตอนในการอบพลับมีดังนี้

1. เก็บผลพลับที่สุกเต็มที่แต่ผลยังแข็งอยู่ มาผึ่งในร่มประมาณ 2 วัน เพื่อให้ความชื้นที่ติดมากับผลระเหยออกไป ผลพลับที่สุกเต็มที่เมื่อนำมาอบแห้งแล้ว ผลจะเป็นสีน้ำตาลแดง จัดว่าเป็นคุณภาพที่ดีที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. ปอกเปลือกโดยใช้มีด แล้วนำผลพลับไปทำการอบผิวด้วยกำมะถัน (Sulfur) วัตถุประสงค์ของการอบด้วยกำมะถันก็เพื่อป้องกันการเปลี่ยนสีเนื้อ และป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อรา สำหรับตู้อบกำมะถันนั้นควรเป็นตู้อบทึบและเป็นคนละตู้กับตู้อบแห้ง เพื่อป้องกันไม่ให้ผลพลับแห้งแล้วมีกลิ่นกำมะถันติด ลักษณะภายในของตู้อบควรทำเป็นชั้น ๆ แต่ละชั้นมีถาดซึ่งทำด้วยลวดตาข่ายโปร่งดึงเข้าออกได้ เพื่อสะดวกในการจัดเรียงผลพลับ และสามารถบรรจุผลพลับได้ปริมาณมาก สำหรับปริมาณของกำมะถันนั้นใช้อัตรา 10 กรัมต่อปริมาณตู้ 1 ลูกบาศก์เมตร การรมควันทำได้โดยใช้ก้อนกำมะถันวางลงบนเตาไฟขนาดเล็ก แล้วนำไปวางในชั้นล่างสุดของตู้ เมื่อกำมะถันถูกความร้อนจะเกิดเป็นควันฟุ้งกระจายอยู่ในตู้ รีบปิดฝาตู้ ใช้เวลาอบประมาณ 30 นาที แล้วจึงเปิดฝาตู้ ดึงถาดที่วางผลพลับออกมา

3. นำผลพลับไปอบในตู้อบแห้งโดยเริ่มต้นด้วยอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ผิวของพลับจะเริ่มแห้งและเหนียว จากนั้นลดอุณหภูมิลงเหลือประมาณ 40-45 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 4-5 วัน ในระหว่างการอบควรตรวจดูผลพลับหากผิวของพลับแห้งเกินไป ควรลดอุณหภูมิลงเหลือ 40 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นจึงนำผลพลับออกมานวด การนวดนั้นควรใช้มือนวดคลึงเพียงเบา ๆ อย่าให้ผลพลับแตก ควรทำด้วยความนุ่มนวลพิถีพิถันและทำอย่างช้าๆ วัตถุประสงค์ของการนวดก็เพื่อไล่น้ำและความชื้นที่อยู่ภายในผลพลับซึมกระจายออกมาที่ส่วนผิวของผลพลับ จะทำให้ผลพลับแห้งเร็วขึ้น และแห้งสม่ำเสมอกันดี หลังจากนวดครั้งแรกแล้วนำผลพลับไปอบต่อ ซึ่งจะใช้เวลาอีก 4-5 วัน โดยใช้อุณหภูมิ 35-40 องศาเซลเซียส และในระหว่างนี้ควรทำการนวดผลพลับทุกวัน (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2540)

อาหารกึ่งแห้ง

ความหมายของอาหารกึ่งแห้ง

อาหารที่ลดค่าปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ลงจนอยู่ในช่วง 0.65-0.85 หรือมีค่าความชื้นสัมพันธ์ (Relative humidity) ร้อยละ 65-85 และมีความชื้นประมาณร้อยละ 15-30 จะเรียกอาหารประเภทนี้ว่าอาหารกึ่งแห้ง หรือ Intermediate moisture food เช่น กุนเชียง เนยแข็งบ่ม แฮมแห้ง ฟรุตเค็ก แยม ผลไม้แห้ง ลูกกวาด รวมทั้งอาหารสัตว์เลี้ยง เป็นต้น (ไพโรจน์, 2539)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์

ปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ (a_w) ของอาหารเป็นปริมาณน้ำซึ่งจุลินทรีย์ เอนไซม์ หรือปฏิกิริยาทางเคมีนำไปใช้ได้หรือหมายถึงน้ำอิสระ

ถ้าอาหารมีค่า a_w สูง อาหารมีแนวโน้มที่จะเสื่อมเสียโดยแบคทีเรีย เนื่องจากแบคทีเรียสามารถเจริญได้ดีกว่ายีสต์และเชื้อรา ถ้าควบคุมให้อาหารมีค่า a_w ลดต่ำลง เชื้อราหรือยีสต์จะเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรีย

ผลของน้ำต่อปฏิกิริยาทางเคมีจะยิ่งซับซ้อนกว่าผลของน้ำต่อการเจริญของจุลินทรีย์ a_w เป็นปัจจัยหนึ่งในการกำหนดขีดจำกัดในการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี น้ำมีบทบาทเป็นตัวทำละลายสำหรับสารที่มีปฏิกิริยาทางเคมี (Reactants) และผลิตภัณฑ์ เป็นสารที่มีปฏิกิริยาทางเคมี เช่น ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เป็นผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยา เช่น ปฏิกิริยาคอนเดนเซชันในปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ และเป็นตัวยับยั้งปฏิกิริยา เช่น น้ำจะไปยับยั้งการทำงานของคะตะลิสต์โลหะในปฏิกิริยาเปอร์ออกซิเดชันไขมัน (วิไล, 2545)

อาหารประเภทที่มีความชื้นปานกลาง (Intermediate-moisture food, IMF) จะเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีปริมาณความชื้นมากพอจนทำให้สับสเตรตของปฏิกิริยาละลายได้ทั้งหมด แต่ถ้าความชื้นเพิ่มมากขึ้นหรือค่า a_w เพิ่มสูงขึ้น อัตราเร็วของปฏิกิริยาอาจจะลดลงได้ เนื่องจากปริมาณน้ำที่เพิ่มมากขึ้นทำให้สารละลายสับสเตรตเจือจางลง

การจำแนกประเภทของอาหารโดยใช้ค่าปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์เป็นเครื่องวัด สามารถแบ่งได้ 3 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้

1. อาหารที่มีปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์มาก หรือ High Moisture Foods (HMF) เป็นอาหารที่มีค่าปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์อยู่ในช่วง 0.85-1.00 แบคทีเรียส่วนใหญ่เจริญได้

2. อาหารที่มีปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ปานกลางหรือ Intermediate Moisture Foods (IMF) เป็นอาหารที่มีค่าปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์อยู่ในช่วง 0.65-0.85 ยีสต์และราเจริญได้

3. อาหารที่มีปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ต่ำ หรือ Low Moisture Foods (LMF) เป็นอาหารที่มีค่าปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์อยู่ในช่วง 0.01-0.65 จุลินทรีย์ส่วนใหญ่ไม่สามารถเจริญได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

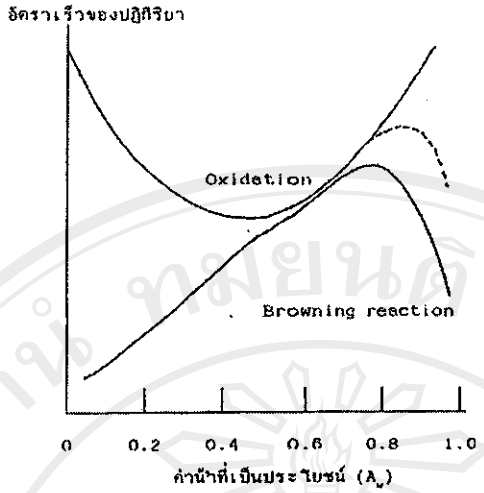
ตาราง 2.4 ความสำคัญของปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ต่ออาหาร

a_w	ปรากฏการณ์
0.95	ยับยั้งการเจริญของ *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Clostridium perfringens* และยีสต์บางชนิด
0.90	ขีดจำกัดต่ำสุดสำหรับการเจริญของแบคทีเรียทั่วไป เช่น *Salmonella*, *Vibrio paraheamolyticus*, *Clostridium botulinum*, *Lactobacillus* รวมทั้งยีสต์และราบางชนิด
0.85	ยีสต์ส่วนใหญ่ถูกยับยั้งการเจริญเติบโต
0.80	ขีดจำกัดต่ำสุดสำหรับกิจกรรมของเอนไซม์ส่วนใหญ่และการเจริญของเชื้อราส่วนใหญ่ *Staphylococcus aureus* ถูกยับยั้งการเจริญเติบโต
0.75	ขีดจำกัดต่ำสุดสำหรับแบคทีเรียฮาโลไฟต์
0.70	ขีดจำกัดต่ำสุดสำหรับเชื้อรา Xerophile ส่วนใหญ่
0.65	อัตราเร็วสูงสุดในการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด
0.60	ขีดจำกัดต่ำสุดสำหรับการเจริญของยีสต์และราประเภท Osmophile หรือ Xerophile
0.55	เกิดความผิดปกติกับกรดดีออกซีไรโบนิวคลีอิก (ขีดจำกัดต่ำสุดสำหรับสิ่งมีชีวิต)
0.40	อัตราเร็วต่ำสุดในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน
0.25	ความต้านทานสูงสุดของสปอร์แบคทีเรีย

ที่มา : วิไล (2545)

อาหารกึ่งแห้ง เป็นอาหารที่มีปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ในระดับปานกลาง ซึ่งเป็นระดับที่จุลินทรีย์ประเภทแบคทีเรียส่วนใหญ่ไม่สามารถเจริญเติบโตได้แต่อาจจะมีปัญหาเรื่องของเชื้อราและยีสต์ที่อาจจะเจริญเติบโตได้ การเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมีส่วนใหญ่ที่อาจเกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ในระหว่างการเก็บรักษาคือ การเกิดออกซิเดชั่นของน้ำมันและไขมัน (Lipid oxidation) การเกิดสีน้ำตาลเนื่องมาจากปฏิกิริยาที่ไม่ใช่เอนไซม์ (Non-enzymic browning reaction) ตลอดจนอาจเกิดการสูญเสียวิตามินที่ละลายน้ำได้ (ไพโรจน์, 2539)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.6 อัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและการเกิดสีน้ำตาลที่ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ในระดับต่าง ๆ

ที่มา : ไพโรจน์ (2539)

ผลการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของอาหารกึ่งแห้ง

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของอาหารกึ่งแห้งก่อให้เกิดผลดังต่อไปนี้คือ

1. สูญเสียการยอมรับจากผู้บริโภค

การเกิดกลิ่นที่ไม่ปกติ (Off flavour) โดย Maillard reaction และการเกิดการเหม็นหืนโดยการเกิดออกซิเดชันพวกน้ำมันและไขมัน อีกทั้งยังทำให้เกิดสีที่ไม่ต้องการจากปฏิกิริยา Maillard reaction ทำให้เกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคไม่ต้องการ

2. สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการอาหารและวิตามิน

ในช่วงค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ของอาหารกึ่งแห้งก่อให้เกิด Maillard reaction ร่วมกับการเกิดออกซิเดชั่นสารประกอบพวกกรดแอสคอร์บิคได้อย่างรวดเร็ว การเกิดสีน้ำตาลจะทำให้สูญเสียคุณค่าทางอาหารมีการสูญเสียน้ำตาล โดยเฉพาะมีการสูญเสียกรดอะมิโนที่จำเป็น เช่น ไลซีน ซึ่งเป็น Basic amino acid ที่สำคัญอีกทั้งมีการสูญเสียกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบด้วย

3. อาจจะเกิดความเป็นพิษได้

ได้มีการศึกษานำเอาผลิตภัณฑ์ที่เกิด Maillard reaction ไปให้หนูทดลองกิน จะทำให้หนูทดลองมีน้ำหนักลดลง จะเกิด Organ enlargement อีกทั้ง Pregnancy ไม่ทำงานจะเห็นได้ว่าเมื่อ Glucose/amino acid system ถูกความร้อน Lysine จะลดลงจาก 20 กรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักหนู

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เป็น 4.1 กรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักหนู ดังนั้นในการผลิตอาหารกึ่งแห้ง การเก็บรักษาก็ควรจะต้องคำนึงถึงอย่างมากเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาที่จะเกิดขึ้น

การเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ของอาหารกึ่งแห้ง

การเปลี่ยนแปลงของอาหารกึ่งแห้งเนื่องจากแบคทีเรีย

การยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการในอาหารกึ่งแห้งไม่เพียงแต่เป็นการลดค่าน้ำที่เป็นประโยชน์จนไม่เหมาะแก่การเจริญเติบโตเท่านั้น ยังขึ้นกับอิทธิพลของอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง สารกันเสีย และพวก Competitive microflora ถ้าหากปรับค่าต่าง ๆ ไม่ให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ลงได้

แบคทีเรียที่ทำให้อาหารเป็นพิษ ที่สามารถทนทานต่อค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ต่ำ ๆ ได้ และมีความสำคัญมากคือ *Staphylococcus aureus* ในสภาวะที่ไม่ต้องการอากาศ จุลินทรีย์นี้จะถูกยับยั้งที่ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์น้อยกว่า 0.91 แต่ถ้าหากสภาวะที่ต้องการอากาศจุลินทรีย์นี้จะถูกยับยั้งที่ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์น้อยกว่า 0.86 ดังนั้นในอาหารกึ่งแห้งที่มีค่าน้ำที่เป็นประโยชน์น้อยกว่า 0.86 จึงไม่มีปัญหาเรื่องนี้ แต่เนื่องจากเชื้อนี้มีค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ต่ำ จะมีช่วง Lag phase ที่ยาวออกไป แต่เมื่อสภาพเหมาะสม เซลของเชื้อนี้อาจจะเกิดการเจริญเป็น Growth curve ใหม่ได้

เชื้อ *Salmonella* มีความสำคัญต่ออาหารกึ่งแห้ง ในกรณีที่พบเชื้อนี้ในส่วนประกอบที่ใช้ในสูตรการผลิตอาหารกึ่งแห้ง ซึ่ง *Salmonella* นี้ทนต่อความร้อนในระหว่างการผลิตอาหารกึ่งแห้งอาจจะมีปัญหาต่อการเสื่อมเสียเนื่องจากเชื้อดังกล่าวได้

การเปลี่ยนแปลงของอาหารกึ่งแห้งเนื่องจากเชื้อรา

อาหารที่มีค่าน้ำที่เป็นประโยชน์มากกว่า 0.90 โดยทั่วไปมักจะเกิดการเสื่อมเสีย เนื่องมาจากจุลินทรีย์ประเภทแบคทีเรียมากกว่าที่จะเสื่อมเสียเนื่องมาจากยีสต์และเชื้อรา แต่ถ้าหากน้ำที่เป็นประโยชน์ของอาหารลดลงต่ำกว่าระดับนี้ ปัญหาการเสื่อมเสียเนื่องจากยีสต์และเชื้อราจะเกิดขึ้น เชื้อรามีแนวโน้มต่อการเสื่อมเสียของอาหารกึ่งแห้งมากในระหว่างการเก็บรักษา ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กับอัตราการเจริญเติบโตของเชื้อราในอาหารแห้งคือ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา และองค์ประกอบในอาหาร

เชื้อราพวก Xerophilic microfungi เมื่อเจริญในสภาพแวดล้อมเหมาะสมต่อการสร้างสารพิษ เชื้อก็จะสร้างสารพิษที่มีโทษต่อชีวิตของมนุษย์ เช่น Alflatoxin, Ochratoxin และ Fusarenon-x เป็นต้น

สารพิษจากเชื้อรานี้เป็นปัญหาอย่างมากต่อการพัฒนาอาหารกึ่งแห้ง วิถีทางการเกิดสารพิษอาจเกิดการปะปนมาในอาหารเลยก็ได้ แต่บางครั้งก็อาจเกิดในอาหารที่มีเชื้อราและเกิดการสร้างสารพิษขึ้นมาทีหลังเมื่อมีการเก็บรักษาในสภาพสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการสร้างสารพิษ

การเปลี่ยนแปลงของอาหารกึ่งแห้งเนื่องมาจากยีสต์

อาหารจำพวกกึ่งแห้งมีค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ประมาณ 0.60-0.85 ในขอบเขตนี้พวกแบคทีเรียไม่สามารถเจริญได้ ยีสต์กับราส่วนใหญ่ก็จะถูกยับยั้งเช่นกัน แต่บางสายพันธุ์จะมีความทนทานต่อความเข้มข้นของสารละลายที่สูง หรือมีค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ที่ต่ำได้ อย่างไรก็ตามมีรายงานว่ายีสต์ประเภทที่เป็นพิษจะไม่เจริญเติบโตที่ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ต่ำ ดังนั้นสิ่งที่จะเกิดขึ้นก็มีแต่การเป็นสาเหตุให้อาหารเกิดการเน่าเสียเท่านั้น ยีสต์ที่สามารถเจริญได้ที่ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ต่ำ เช่น Osmophilic yeast

การผลิตและการเก็บรักษาอาหารกึ่งแห้ง

1. วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอาหารกึ่งแห้ง ควรมีปริมาณจุลินทรีย์ที่ต่ำกว่าโดยเฉพาะแบคทีเรีย ยีสต์ และเชื้อราที่ทนต่อค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ต่ำ ๆ วัตถุดิบที่เตรียมเพื่อผลิตอาหารกึ่งแห้งควรมีการให้ความร้อนเพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการ ในขณะเดียวกันเพื่อทำลายเอนไซม์บางอย่างที่ทำให้อาหารมีกลิ่นและรสชาติเสียไป

2. การเตรียมอาหารกึ่งแห้งควรให้ความร้อนแก่วัตถุดิบในสภาพสุขาภิบาลที่ดีก่อนในขั้นตอนแรกและภายใต้ความเย็นในบางขั้นตอน เพื่อเป็นการลดปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้งที่ผู้บริโภคยอมรับควรมีค่าน้ำที่เป็นประโยชน์น้อยกว่า 0.85 ความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่า 5 เพราะเป็นการป้องกันมิให้เกิดความเป็นพิษเนื่องจาก *S .aureus*

4. อาหารหรือผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งควรจะบรรจุในภาชนะที่มีการป้องกันออกซิเจนเข้าออกได้ Low redox potential สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราซึ่งเป็นตัวการที่ก่อให้อาหารเกิดการเสื่อมเสียและเกิดสารพิษได้

5. การใช้ Fungistatic substances เช่น กรดซอร์บิค โพรพีลีนไกลคอล กลีเซอรอล และพาราเบน จะช่วยปรับปรุงให้ผลิตภัณฑ์มีความคงทนต่อยีสต์และเชื้อราได้มากขึ้น

6. ควรมีการศึกษาถึง Competitive microflora เพราะจุลินทรีย์พวกนี้ทำให้เกิดความคงทนต่อจุลินทรีย์ในอาหารกึ่งแห้งได้

7. มีความเป็นไปได้หากจะเก็บอาหารกึ่งแห้งที่อุณหภูมิห้อง แต่การเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพอาจจะเกิดขึ้น รวมทั้งมีการเปลี่ยนแปลงกลิ่น รสชาติ การเสื่อมคุณภาพ และการเน่าเสียของอาหารเนื่องจากจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้น ดังนั้นถ้าหากจะยืดอายุการเก็บรักษาอาหารกึ่งแห้งควรจะเก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในอาหาร (Browning reaction in foods)

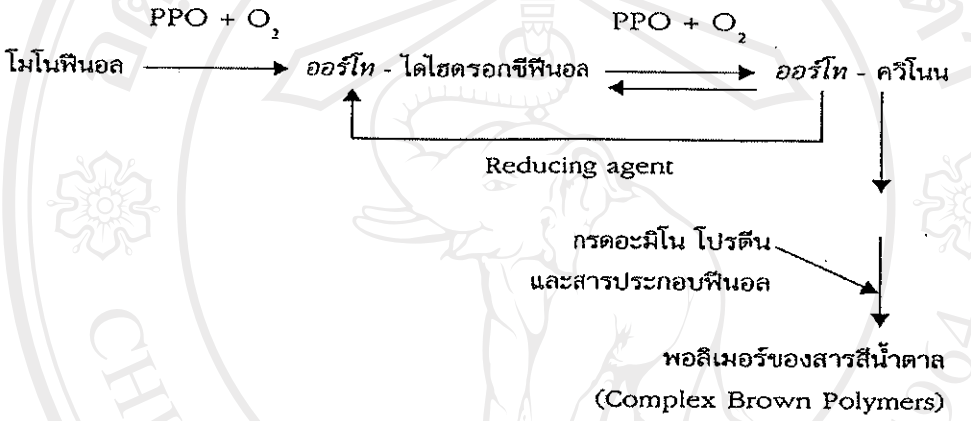
ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นในอาหารและผลิตภัณฑ์อาหารมี 2 แบบ คือ ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ (Enzymatic browning reaction) และปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (Non-enzymatic browning reaction) ซึ่งจะเกิดขึ้นระหว่างการแปรรูปและระหว่างการเก็บรักษา (นิธิยา, 2544)

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ เป็นปฏิกิริยาของสารประกอบโมโนฟีนอลที่อยู่ในพืชและอาหารทะเล ในภาวะที่มีออกซิเจนในอากาศและเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (Poly Phenol Oxidase; PPO) จะเกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซีเลชันได้เป็นออร์โท-ไดฟีนอล (*o*-diphenol) และจะถูกออกซิไดส์ต่อได้เป็นออร์โท-ควิโนน (*o*-quinone)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เอนไซม์ PPO อาจมีชื่อเรียกว่า ไทโรซิเนส (Tyrosinase) ไดฟีนอลออกซิเดส (*o*-diphenol oxidase) หรือแคตีคอลออกซิเดส (Catechol oxidase) สารประกอบฟีนอลที่ถูกออกซิไดส์ได้ด้วยเอนไซม์ PPO ได้แก่ แคตีซิน (Catechins) เอสเทอร์ของกรดซินนามิก (Cinnamic acid ester) 3,4-ไฮดรอกซีฟีนิลอะลานีน (3,4-Hydroxyphenylalanine หรือ DOPA) และไทโรซีน ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมสำหรับเอนไซม์ PPO อยู่ในช่วง 5-7 เป็นเอนไซม์ที่ไม่คงตัว ถูกทำลายได้ด้วยความร้อน และถูกยับยั้งได้ด้วยกรดแฮไลด์ (Halides) กรดฟีนอลิก ซัลไฟต์ คีเลติ้งเอเจนต์ (Chelating agents) และรีดิวซิงเอเจนต์ (Reducing agents) เช่น กรดแอสคอร์บิค และซิสเตอีน (Cysteine) เป็นต้น



ภาพ 2.7 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์
ที่มา : นิธิยา (2544)

ควิโนนที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮดรอกซีเลชันและออกซิเดชัน จะรวมตัวกันและเกิดปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลอื่น ๆ หรือกับกรดอะมิโนได้เป็นสารประกอบสีน้ำตาลโดยไม่ต้องอาศัยเอนไซม์เป็นตัวเร่ง การเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์นี้เป็นปัญหาสำคัญที่เกิดกับสินค้าสำคัญหลายชนิด โดยเฉพาะอาหารจำพวกผลไม้ ผักและอาหารทะเล การเกิดการเปลี่ยนสีทำให้อาหารมีอายุการเก็บจำกัด และเป็นปัญหาในการผลิต ผัก ผลไม้แห้ง และแช่แข็ง

การเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์ในผักและผลไม้สามารถควบคุมได้โดยการลวกเพื่อทำให้เอนไซม์ PPO ไม่สามารถทำงานได้ แต่การลวกไม่สามารถนำมาใช้ได้กับผลิตภัณฑ์บางอย่าง เพราะอาจมีผลเสียต่อ กลิ่น รส และเนื้อสัมผัส ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องใช้วิธีอื่นเช่น การกำจัดออกซิเจนและการใช้สารยับยั้งชนิดต่าง ๆ (ประสาร, 2538)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ (Non-enzymatic browning reaction)

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์หรือปฏิกิริยาเมลลาร์ด จะเกิดขึ้นเมื่ออาหารได้รับความร้อน มีการสูญเสียน้ำ (Dehydration) มีการสลายตัว (Degradation) และมีการรวมตัวกัน (Condensation) พัฒนาเป็นสารสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาลและน้ำตาลแดง มีกลิ่นและรสชาติเฉพาะ ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูง

การจำแนกชนิดของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ สามารถจำแนกย่อยออกได้เป็น 2 แบบ คือ

1. การเกิดคาราเมไลเซชัน (Caramelization)
2. การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด เป็นปฏิกิริยาระหว่างหมู่คาร์บอนิลจากโมเลกุลของน้ำตาลรีดิวซิงกับหมู่เอมีน ที่อยู่ในโมเลกุลของ แอมโมเนีย กรดอะมิโน หรือโปรตีน เป็น Carbonyl-amine reaction

อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาทั้งสอง มี intermediate และผลิตภัณฑ์สุดท้ายเหมือนกัน

คาราเมไลเซชัน

คาราเมไลเซชัน เป็นการใช้ความร้อนสลายโมเลกุลให้แยกออก (Thermolysis) และเกิดโพลีเมอไรเซชันของสารประกอบคาร์บอนได้เป็นสารสีน้ำตาล ปฏิกิริยานี้สารเริ่มต้นจะเป็นน้ำตาลเท่านั้น เช่น การเผาน้ำตาลซูโครสที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส น้ำจะถูกกำจัดออกไปเกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน สารประกอบที่เกิดขึ้นใหม่จะมีพันธะคู่และเป็นวงแหวน (Anhydro ring) มีความข้นหนืด และมีสีเข้มขึ้น ผันแปรตามระยะเวลาและระดับอุณหภูมิที่ใช้ สารสีที่เกิดจากปฏิกิริยาคาราเมไลเซชันของน้ำตาลเพียงอย่างเดียวจะประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจนและออกซิเจน เรียกว่า คาราเมล (Caramel)

ปฏิกิริยาเมลลาร์ด

เมื่อน้ำตาลแอลโดสท์เอคีโตส ซึ่งเป็นน้ำตาลรีดิวซิงได้รับความร้อนในภาวะที่มีน้ำ (a_w > 0.2) กับเอมีนจะทำให้เกิดสารประกอบต่าง ๆ มากมาย ซึ่งมีผลต่อสี กลิ่น และรสชาติของอาหารและอาจเป็นสิ่งที่พึงประสงค์หรือไม่พึงประสงค์ก็ได้ ปฏิกิริยาเหล่านี้จะเกิดขึ้น ขณะทอด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อบ-ปิ้ง-ย่าง หรือระหว่างเก็บรักษาอาหาร น้ำตาลรีดิวซิง จะทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนในโมเลกุลของแอมโมเนีย กรดอะมิโน และโปรตีน ได้เป็นกลัยโคซิลเอมีน (N-substituted glycosylamine) และจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจนได้สารสีน้ำตาลเรียกว่า ปฏิกิริยาเมลลาร์ด หรือ Non-enzymatic browning ซึ่งต่างจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์

ขั้นตอนของปฏิกิริยาเมลลาร์ดมีดังนี้

1. น้ำตาลรีดิวซิงทั้งคีโตสและแอลโดสจะรวมตัวกับหมู่อะมิโนได้เป็นกลัยโคซิลเอมีน

2. เกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันได้เป็นอีมีน (Imines หรือ Schiff base) และมีการเรียงตัวใหม่ซึ่งมีชื่อเรียกว่า Amadori rearrangement ได้เป็นแอลโดสเอมีน (Aldoseamine) หรือ คีโตสเอมีน (Ketoseamine) เรียกว่า Amadon products เช่น 1-อะมิโน-1-ดีออกซี-คีโตส ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องได้ เมื่อมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5 หรือต่ำกว่า

3. เกิดปฏิกิริยา Enolization ของ Amadori products ได้เป็นไดคีโตสเอมีน หรือไดอะมิโนซูการ์ เช่น 3-ดีออกซีเฮกโซซูโลส

4. เกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันต่อได้เป็นอนุพันธ์ของฟูเรน (Furan) ถ้าเป็นน้ำตาลเฮกโซสอนุพันธ์ฟูแรน คือ 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟรัลดีไฮด์ (5-Hydroxymethyl-2-furaldehyde หรือ HMF)

5. อนุพันธ์ฟูแรนวงแหวน เช่น HMF จะเกิดโพลีเมอร์ไรซ์อย่างรวดเร็วได้เป็นสารสีน้ำตาลที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยและไม่ละลายน้ำ ซึ่งต่างจากการเกิดคาราเมไลเซชันซึ่งมีน้ำตาลเพียงอย่างเดียว สารสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นนี้จึงเรียกว่า เมลานอยดิน (Melanoidins) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาโมลต่อโมล (Mole per mole reaction)

ข้อเสียของปฏิกิริยาเมลลาร์ต คือทำให้กรดอะมิโนไลซีนซึ่งเป็นกรดอะมิโนจำเป็น ทั้งที่อยู่ในรูปอิสระและที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของโปรตีนลดน้อยลง ดังนั้นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบนี้จะทำให้คุณค่าทางโภชนาการของอาหารลดลงด้วย นอกจากนั้น หากเป็นอาหารที่มีโปรตีนสูงและได้รับความร้อนสูงด้วย ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะเป็นสาร Heterocyclic amine ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง

สำหรับการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดของน้ำตาลฟรุคโตส จะเกิดปฏิกิริยาไดแอนไฮดรายด์ (Dianhydrides) และเกิดสีน้ำตาลในภายหลังเช่นเดียวกัน สารอินเทอร์มีเดียตของปฏิกิริยา คือ ดีออกซีแอลโดซูโลส (Deoxyaldosulose) ก่อนที่จะเปลี่ยนเป็น 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอราลดีไฮด์ ปฏิกิริยาเริ่มต้นจะเป็น Sugar enolization หลังจากนั้นจะเปลี่ยนเป็นสารอินเทอร์มีเดียตคือ ดีออกซี-

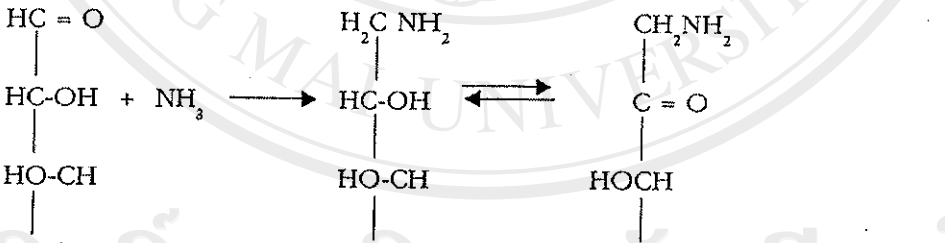
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แอลโดซูโลส ก่อนที่จะเปลี่ยนเป็นกรดแซคคารินิค (Saccharinic acid) แทนที่จะเป็นเฟอราลดีไฮด์ และเมื่อได้รับความร้อนต่อไปอีกก็จะเกิดปฏิกิริยาการรวมตัวกันได้เป็นสารสีน้ำตาล ซึ่งทั้งสองกรณีที่เกิดขึ้นโมเลกุลของน้ำตาลจะสลายตัวและสูญเสียน้ำ เพื่อเปลี่ยนเป็นสารประกอบคีโตน กรดอินทรีย์และเอสเตอร์ ซึ่งสารเหล่านี้จะทำให้เกิดกลิ่น และเมื่อเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอรไรเซชันก็จะกลายเป็นสารสีน้ำตาล กลไกการเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชัน เป็นแอลดอลคอนเดนเซชัน (Aldol condensation) มีดังนี้

$$\underset{\text{อะซีทาลดีไฮด์}}{CH_3\text{-}CH{=}O} + CH_3\text{-}CH{=}O \longrightarrow \underset{\text{แอลดอล}}{CH_3\text{-}CHOH\text{-}CH_2\text{-}CH{=}O}$$

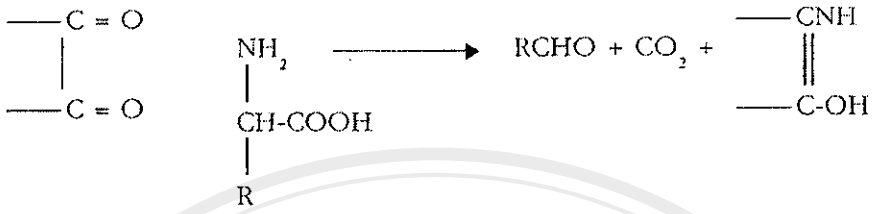
การทำให้เกิดสารประกอบคาร์บอนิลมีได้มากมาย โดยใช้วิถีทางต่าง ๆ สารที่เกิดขึ้น เช่น รีดักโตน (Reductones) ดีออกซีเฮกโซโซน (Deoxyhexosones) และเฟอราลดีไฮด์ เช่น กลิ่นของผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการคั่วหรืออบ สารให้กลิ่นที่เกิดขึ้นจะเป็นไพราซีน (Pyrazines) และอิมิดาโซล (Imidazoles) ดังนั้นสารที่ให้กลิ่นและรสชาติซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาของสารประกอบคาร์บอนิลกับเอมีน จึงค่อนข้างจะผันแปรขึ้นอยู่กับชนิดของเอมีนที่จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบคาร์บอนิลด้วย

ตัวอย่างปฏิกิริยาของน้ำตาลกลูโคสรวมกับแอมโมเนียแล้วเกิดการเรียงตัวใหม่ดังนี้



สำหรับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในอาหาร ถ้ามีแอมโมเนียอิสระจะทำปฏิกิริยากับสารประกอบคาร์บอนิลก่อน ส่วนหมู่เอมีนอาจได้มาจากกรดอะมิโน เปปไทด์ โปรตีน และวิตามินบีหนึ่ง หรือไทอะมีน หากปฏิกิริยาระหว่างกรดอะมิโนและน้ำตาลเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูง จะทำให้ได้สารสีน้ำตาลเข้มและจะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันของกรดอะมิโนด้วย ซึ่งเรียกว่า Strecker degradation โดยกรดอะมิโนจะทำปฏิกิริยากับสารประกอบไดคาร์บอนิลได้ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ไดคาร์บอนิล กรดอะมิโน แอลดีไฮด์

Strecker aldehydes ที่เกิดขึ้นจะมีบทบาทต่อกลิ่นและรสชาติของอาหารเท่า ๆ กับสารที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบอื่น

สารประกอบคาร์บอนิลและเอมีนที่มีความคงตัวต่ำและสลายตัวได้ง่าย จึงเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ที่อุณหภูมิห้อง เช่นระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร น้ำตาลรีดิวซิง เช่น น้ำตาลกลูโคสและฟรุคโทสจะเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าน้ำตาลชนิดนอน-รีดิวซิง เช่น น้ำตาลซูโครสจนกว่าน้ำตาลซูโครสจะถูกไฮโดรไลส์เป็นน้ำตาลรีดิวซิง สำหรับน้ำตาลรีดิวซิงแต่ละชนิดน้ำตาลฟรุคโทสเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าน้ำตาลกาแลกโทสและกลูโคส ตามลำดับ

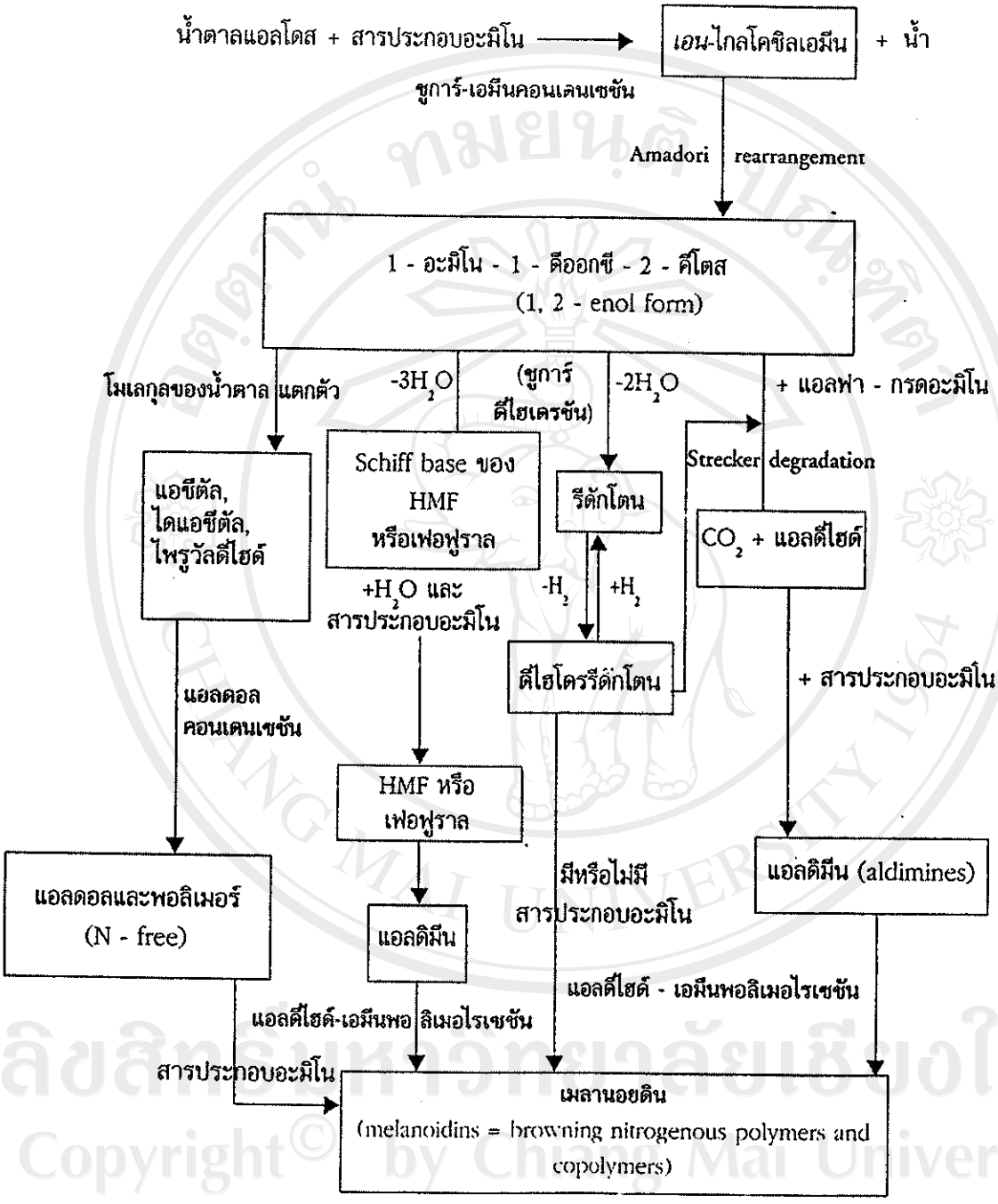
กรดอะมิโนที่มีสมบัติเป็นด่าง เช่น ไลซีนและกรดอะมิโนที่เป็นอนุพันธ์เอไมด์ เช่น แอสปราจีนและกลูตามีน จะเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่ากรดอะมิโนที่มีสมบัติเป็นกลาง อัตราเร็วของปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ถ้าในอาหารมีน้ำตาลฟรุคโตสจะทำให้อัตราเร็วเพิ่มขึ้นเป็น 5-10 เท่า การเก็บรักษาอาหารที่อุณหภูมิต่ำ สามารถชะลอปฏิกิริยาเมลลาร์ดให้ช้าลงได้ ปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนิลกับเอมีนยังสามารถยับยั้งได้เมื่อลดค่าความเป็นกรด-ด่างให้ต่ำลง เช่น ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3 น้ำตาลจะมีความคงตัวมากที่สุด

น้ำหรือ a_w ก็เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปฏิกิริยาเมลลาร์ด แต่เมื่อมีน้ำเพียงเล็กน้อยปฏิกิริยาเมลลาร์ดก็จะเกิดขึ้นทันที อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะช้าลงอีกครั้งเมื่อมีปริมาณน้ำมากจนทำให้สับสเตรตเจือจางลง ซึ่งปริมาณน้ำสูงสุดสำหรับปฏิกิริยาสีน้ำตาลคือประมาณร้อยละ 30

ออกซิเจนไม่มีผลต่อปฏิกิริยาเมลลาร์ดนอกจากออกซิเจนจะช่วยออกซิไดซ์สารอื่นให้เป็นรูปที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจึงเกิดขึ้นได้ในภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ส่วนแร่ธาตุที่มีผลต่อปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้แก่ อิออนทองแดง เหล็ก และสังกะสี (นิธิยา, 2543)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขั้นตอนของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่ใช้เอนไซม์สรุปได้ดังนี้



ภาพ 2.8 แผนภูมิแสดงขั้นตอนของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์

ที่มา : นิธิยา (2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล

ปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งที่มีส่วนในการทำให้ผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ไม่ได้มาตรฐาน คือ ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ทำให้ผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้มีสีผิดปกติเกิดขึ้น ซึ่งดูแล้วไม่น่าบริโภค หรืออาจเป็นสาเหตุให้กลิ่นรสเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ การแก้ไขอาจทำได้โดยการใช้กรรมวิธีการแปรรูปอาหารหรือวัตถุเจือปนอาหาร เช่น

1. ซัลไฟต์ (Sulfites)

สารประกอบจำพวกซัลไฟต์นั้นมีประสิทธิภาพสูงมากในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาล แต่มีการควบคุมการใช้อย่างเข้มงวด เนื่องจากมีผลเสียต่อสุขภาพ

สารประกอบจำพวกซัลไฟต์ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur dioxide) โซเดียมซัลไฟต์ (Sodium sulfite) โซเดียมไบซัลไฟต์ (Sodium bisulfite) โปตัสเซียมไบซัลไฟต์ (Potassium bisulfite) โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (Sodium metabisulfite) และโปตัสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ (Potassium metabisulfite) สารเหล่านี้ถูกนำมาใช้เป็นเวลานานแล้วเพื่อวัตถุประสงค์ในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลทั้งจากเอนไซม์และไม่ใช่เอนไซม์ ควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ใช้เป็นสารฟอกสี (Bleaching agent) ใช้เป็นสา รยับยั้งการเกิดออกซิเดชั่น (Antioxidant) หรือ ใช้เป็นสารที่ทำให้เกิดการริดิวซ์ และใช้ในวัตถุประสงค์อื่น ๆ ทางด้านเทคนิคอีกหลายอย่าง

ซัลไฟต์ทำหน้าที่เป็นตัวยับยั้งเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) และยังทำปฏิกิริยากับสารตัวกลาง (Intermediates) ของปฏิกิริยาเพื่อป้องกันการเกิดเม็ดสีสีน้ำตาล ซัลไฟต์สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์โดยการทำปฏิกิริยากับสารตัวกลางที่มีกลุ่มคาร์บอนิล (Carbonyl intermediate) จึงสามารถป้องกันไม่ให้ปฏิกิริยาดำเนินต่อไปแล้วเกิดเป็นสารสีน้ำตาล

ปริมาณการใช้ซัลไฟต์ในอาหารนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้และความต้องการ และเมื่อใช้แล้วจะต้องมีปริมาณที่ตกค้างอยู่ไม่เกินหลายร้อยส่วนต่อล้านส่วน แต่สามารถตกค้างได้สูงถึง 1,000 ส่วนในล้านส่วน ในผลิตภัณฑ์จำพวกผักและผลไม้บางอย่าง FDA ได้กำหนดปริมาณสารตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไว้สูงสุดที่ 300, 500 และ 2,500 ส่วนในล้านส่วน ในน้ำผลไม้ มันฝรั่งแห้ง (Dehydrated potatoes) และผลไม้แห้ง (Dried fruit) ตามลำดับ (ประสาร, 2538)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

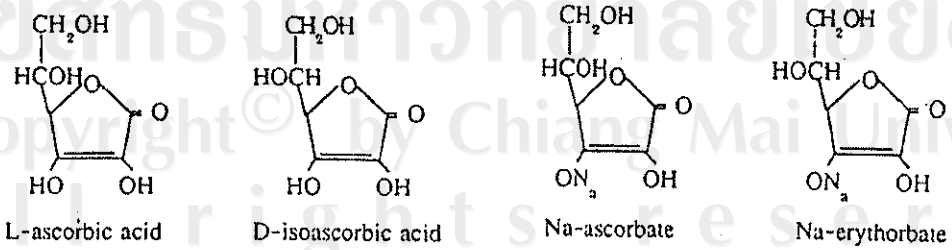
สำหรับความปลอดภัยในการใช้ซัลไฟต์ FDA ได้รับรายงานว่าการบริโภคอาหารที่มีซัลไฟต์ก่อให้เกิดปฏิกิริยาการแพ้ที่รุนแรง โดยซัลไฟต์จะทำให้เกิดอาการหอบหืดในประชากรบางส่วนที่เป็นโรคนี้ และบางกรณีอาจเกิดการหอบหืดอย่างรุนแรงหรือแม้กระทั่งเกิดปฏิกิริยาการแพ้เช่นเดียวกับโรคภูมิแพ้ หรือแพ้ยา

ในปี 1959 สารจำพวกซัลไฟต์ได้ถูกจัดอยู่ในบัญชีของ GRAS (Generally Recognized as Safe) เป็นสารที่มีความปลอดภัยต่อมนุษย์ เพื่อใช้เป็นสารกันเสียในปี 1986 FDA ได้ยกเลิกสถานะ GRAS ของซัลไฟต์ในผลไม้และผักส่วนใหญ่ที่กินสดหรือขายสดให้กับผู้บริโภค สารประกอบซัลไฟต์ไม่จัดอยู่ใน GRAS ในการใช้กับเนื้อสัตว์ หรือผลไม้ หรือผักที่ใช้บริโภคสดหรือขายสดแก่ผู้บริโภค

สำหรับปริมาณที่อนุญาตให้ใช้ได้ในอาหารนั้น ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 84 อนุญาตให้ใช้กรดซัลฟูรัส หรือโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ หรือโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ หรือโซเดียมไบซัลไฟต์ หรือโพแทสเซียมไบซัลไฟต์ หรือซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยคำนวณในรูปซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และอนุญาตให้ใช้ในผลไม้แห้งและผักแห้งได้ในปริมาณสูงสุดไม่เกิน 2,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ศิวาพร, 2535)

2. กรดแอสคอร์บิคและอนุพันธุ์

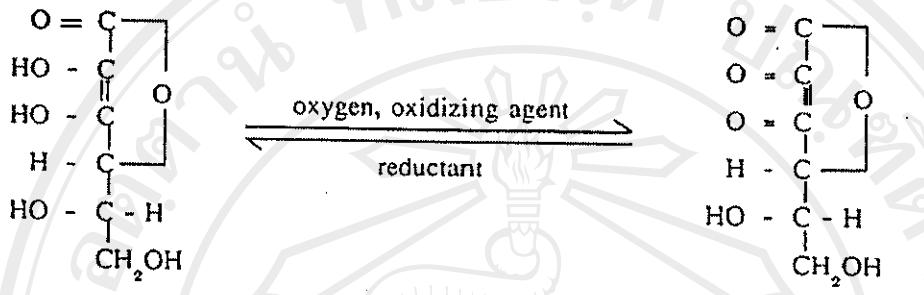
กรดแอสคอร์บิค (L-ascorbic acid) หรือวิตามินซีเป็นสารที่รู้จักกันอย่างกว้างขวาง โครงสร้างประกอบด้วย Steriochemical isomer อีก 3 ชนิด แต่มีไอโซเมอร์เพียงชนิดเดียวที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมอาหารคือ D-isoascorbic acid หรือ Erythorbic acid ส่วน sodium-isoascorbic acid เรียกว่า Sodium erythorbate สูตรโครงสร้างแสดงดังภาพ 2.9



ภาพ 2.9 โครงสร้างทางเคมีของกรดแอสคอร์บิคและไอโซเมอร์
ที่มา : มณฑาทิพย์ (2539)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กรดแอสคอร์บิคอาจเป็นสารที่ใช้แทนซัลไฟต์ที่รู้จักกันดีที่สุด เนื่องจากกรดแอสคอร์บิคสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะกรดแอสคอร์บิคสามารถรีดิวซ์สารควิโนนที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารโพลีฟีนอลด้วยการกระทำของ PPO ให้กลับมาอยู่ในรูปสารประกอบฟีนอลตามเดิมก่อนที่สารควิโนนจะทำปฏิกิริยาต่อไปจนกลายเป็นสารสีน้ำตาล



Ascorbic acid
(Reduced form)

Dehydroascorbic acid
(Oxidized form)

ภาพ 2.10 ปฏิกิริยาการผันกลับของกรดแอสคอร์บิคและกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิค
ที่มา : มณฑาทิพย์ (2539)

อย่างไรก็ตามเมื่อกรดแอสคอร์บิคถูกออกซิไดส์จนกลายเป็นกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิค (Dehydroascorbic acid; DHAA) ทั้งหมดแล้ว ดังภาพ 2.10 สารควิโนนก็จะเกิดสะสมมากขึ้นและดำเนินไปจนเป็นสารสีน้ำตาลได้ และอีกอย่างคือตัว DHAA เองสามารถเกิดปฏิกิริยาให้สีน้ำตาลได้โดยไม่ใช้ปฏิกิริยาของเอนไซม์ แต่ที่ระดับความเข้มข้นสูงวิตามินซีสามารถยับยั้งการทำงานของ PPO ได้

มีการใช้กรดแอสคอร์บิคและไอโซเมอร์ของมันคือกรดอีรีทอร์บิคในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ในผลไม้สดและแช่แข็ง เช่น แอปเปิ้ลและท้อ มาเป็นเวลานานเกือบ 50 ปีมาแล้ว โดยเติมกรดแอสคอร์บิคและไอโซเมอร์ของมันลงในน้ำเชื่อม หรือเตรียมเป็นสารละลายสำหรับเคลือบผลไม้ นอกจากนี้ยังมีการใช้ร่วมกับกรดซิตริคและเกลือแคลเซียม รวมทั้งมีการใช้ระบบสุญญากาศช่วยดูดอากาศออกจากช่องว่างของผลิตภัณฑ์เพื่อให้สารละลายของสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลกระจายอย่างทั่วถึงในผลิตภัณฑ์ (ประสาร, 2538)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

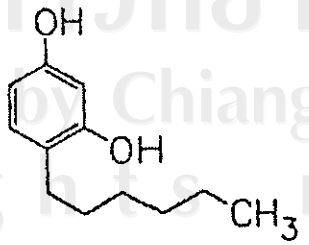
3. สารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO (PPO inhibitors)

มีสารหลายชนิดที่สามารถยับยั้งการทำงานของ PPO ได้ แต่มีเพียงไม่กี่ชนิดที่ถูกพิจารณาใช้แทนซัลไฟต์ เช่น กรดซินนามิค (Cinnamic acid) และกรดเบนโซอิค (Benzoic acid) ซึ่งให้ผลดีมากเมื่อใช้ร่วมกับกรดแอสคอร์บิคในผลิตภัณฑ์น้ำแอปเปิล สารยับยั้งเหล่านี้ยังใช้ได้ผลดีกับพื้นผิวตัดของผลแอปเปิล

ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (Carbon monoxide; CO) เป็นสารหนึ่งที่ถูกเสนอให้ใช้เป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในเห็ดชนิดต่าง ๆ โดยการบรรจุเห็ดในภาชนะที่มีการดัดแปลงบรรยากาศ (Modified atmosphere) ให้มี CO อยู่ด้วยซึ่งจะต้องใช้ความระมัดระวังไม่ให้เกิดการรั่วไหลของ CO และจะต้องตรวจวัดระดับ CO อยู่เสมอเพื่อความปลอดภัยของเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับการบรรจุเห็ด

มีการใช้สาร 4-เฮกซิลเรโซซินอล (4-Hexylresorcinol) เป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในกุ้งและผักและผลไม้หลายชนิด เช่น แอปเปิล มันฝรั่ง อะโวคาโด และน้ำอุ่นเป็นต้น สารนี้มีประสิทธิภาพในการใช้งานเมื่อใช้ในปริมาณ 5-50 ส่วนในล้านส่วนและมีความปลอดภัยเนื่องจากมีการบริโภคสารชนิดนี้มาเป็นเวลานานแล้ว (Frankos *et al.*, 1991)

อนุพันธ์ของ resorcinol เป็นสารประกอบ *m*-diphenols ซึ่งจะไปยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้โดยทำหน้าที่เป็นตัวยับยั้งแบบแข่งขัน (Competitive inhibitor) กับ PPO เนื่องจากมีโครงสร้างคล้ายกับฟีนอลลิคที่เป็นสารตั้งต้น โครงสร้างของ 4-เฮกซิลเรโซซินอล แสดงดังภาพ 2.11 ส่วนที่เป็น Hydrophobic ในตำแหน่งที่ 4 ของ Aromatic resorcinol ring เช่น Hexyl, Dodecyl และ Cyclohexyl จะเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้ง PPO (Monsalve-Gonzalez *et al.*, 1995)



ภาพ 2.11 โครงสร้างของ 4-เฮกซิลเรโซซินอล

ที่มา : Kleemann, A. (1999)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4-เฮกซิลเรโซซินอล เป็นสารที่มีความปลอดภัยต่อมนุษย์ (Generally Recognized as Safe ; GRAS) และมีประสิทธิภาพมากกว่าซัลไฟต์ เมื่อเทียบปริมาณการใช้เป็นน้ำหนักต่อน้ำหนัก (Monsalve-Gonzalez *et al.*, 1995) 4-เฮกซิลเรโซซินอล เป็นส่วนประกอบหนึ่งในสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลทางการค้าที่ชื่อ EverFresh (Lambrecht, 1995) ปริมาณของ 4-เฮกซิลเรโซซินอลที่นำมาใช้กับแอปเปิลอยู่ในช่วง 200-500 ส่วนในล้านส่วน (Monsalve-Gonzalez *et al.*, 1993 ; Monsalve-Gonzalez *et al.*, 1995) และปริมาณที่ใช้กับลูกแพร์ คือ 50- 100 ส่วนในล้านส่วน (Saper *et al.*, 1998 ; Dong *et al.*, 2000)

นอกจากนี้ยังพบว่า กรดโกจิค (Kojic acid) ที่ได้จากเชื้อรามีคุณสมบัติยับยั้ง PPO โดยการรบกวนการรับออกซิเจนของ PPO และยังรีดิวซ์สารออโทควิโนนไปเป็นสารไดฟีนอล ทำให้ไม่มีการสร้างสารที่มีสีน้ำตาลขึ้นมา แม้ว่าสารนี้จะแสดงศักยภาพในการเป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในทางปฏิบัติ แต่ก็ยังมีจุดที่ไม่ชัดเจนเกี่ยวกับคุณสมบัติการเป็นสารก่อการกลายพันธุ์

4. สารที่ก่อให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน (Complexing agent)

เนื่องจากทองแดงเป็นโลหะที่จำเป็นต่อการทำงานของ PPO ถ้าสามารถกำจัดทองแดงออกไปก็จะยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ สารที่ใช้ในการจับกับโลหะ (Chealating agent) ที่ใช้กันมากคือ เอทิลีนไดเอมีน เตตระอะซิติด แอซิด (Ethylenediamine tetraacetic acid; EDTA) มีการใช้ EDTA ร่วมกับกรดโซเดียมไพโรฟอสเฟต (Sodium acid pyrophosphate) เพื่อควบคุมการเกิดสีคล้ำของมันฝรั่งที่ปอกเปลือกแล้วหลังจากผ่านการหุงต้ม นอกจากนี้ยังมีการใช้กรดซิตริค (Citric acid) เป็นองค์ประกอบหนึ่งในสูตรสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล ซึ่งกรดซิตริคจะทำหน้าที่จับโลหะและคุณสมบัติที่เป็นกรดก็จะช่วยยับยั้ง PPO ด้วย สารจำพวกแอซิดิคโพลีฟอสเฟต (Acidic polyphosphate) เป็นสารที่สามารถจับโลหะ จึงมีคุณสมบัติยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้โดยเฉพาะในผักและผลไม้หลายชนิด

สารประกอบฟอสเฟตช่วยให้สีของผลไม้คงตัวหรือป้องกันการเปลี่ยนแปลงของสีหลังการแปรรูป ตัวอย่างเช่นในการผลิตผักหรือผลไม้กระป๋องหรือผักหรือผลไม้แช่เยือกแข็งให้มีสีสวยนั้นอาจทำได้โดยการใช้ไดโซเดียมฟอสเฟตช่วยควบคุมความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีสวยขึ้น หรือในการเปลี่ยนแปลงสีในผลิตภัณฑ์มันเทศ ไม่ว่าจะเป็นผลิตภัณฑ์กระป๋องหรือแช่เยือกแข็งนั้นจะลดลงได้ ถ้ามีการใช้โซเดียมแอซิดไพโรฟอสเฟตหรือโซเดียมแอซิดไพโรฟอสเฟตผสมกับเทคราโซเดียมไพโรฟอสเฟต (ศิวาพร, 2535)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5. กรดอะมิโนที่ประกอบด้วยหมู่ซัลฟ์ไฮดริล (Sulfhydryl – containing amino acid)

เป็นที่ทราบกันมานานแล้วว่า กรดอะมิโนซีสเตอีน สามารถยับยั้งการทำงานของ PP O ได้ โดยที่ซีสเตอีนไปทำปฏิกิริยากับสารควิโนน แล้วเกิดเป็นสารประกอบที่มีความคงตัวและไม่มีสี จึงได้มีการใช้ซีสเตอีนเป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในทางการค้ามาจนถึงทุกวันนี้ จากการศึกษาเมื่อไม่นานมานี้พบว่าสารรีดิวซ์กลูตาไทโอน (Reduced glutathione) และ เอน – อะเซทิล ซีสเตอีน (n – acetyl cysteine) มีประสิทธิภาพเกือบจะเท่ากับสารจำพวกซัลไฟต์ ในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลในแอบเปิ้ล มันฝรั่งและน้ำผลไม้สดหลายชนิด

6. สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลชนิดอื่น ๆ (Other browning inhibitors)

สารประกอบอนินทรีย์จำพวกเฮไลด์สามารถยับยั้ง PPO ได้ เช่น โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride; NaCl) ซึ่งเป็นสารหนึ่งที่ใช้ยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในทางการค้า การใช้โซเดียมคลอไรด์นั้นถูกจำกัดด้วยรสเค็มของตัวมันเอง ซิงค์คลอไรด์ (Zinc chloride) ก็เป็นสารหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสูงในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์ กรดซิตริคและกรดแอสคอร์บิค

สารเคลือบที่รับประทานได้ (Edible coating) ก็สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์ในชิ้นเห็ดได้ และพบว่าสารเคลือบจำพวกโพลีแซคคาไรด์ที่มีซัลเฟต (Sulfate polysaccharide) หลายชนิดได้แก่ คาร์ราจีแนน (Carrageenan) อะไมโลสซัลเฟต (Amylose sulfate) และ ไซแลนซัลเฟต (Xylansulfate) สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลอย่างมีประสิทธิภาพในน้ำแอปเปิล และชิ้นแอปเปิล นอกจากนี้ยังมีสารละลาย วิตามินซี และไทโซโทรปิคกัม (Thixotropic gum) เช่น แซนแทน (Xanthan) เป็นสารยืดอายุผักและผลไม้สดที่ใช้ในการทำสลัด โดยที่สารละลายดังกล่าว จะเคลือบผักและผลไม้ไม่ให้สัมผัสกับออกซิเจน และหรือช่วยเพิ่มปริมาณของวิตามินซี ซึ่งผักผลไม้จะได้รับเมื่อแช่อยู่ในสารละลายดังกล่าว

เอนไซม์โปรตีเอส (Protease) สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลอย่างมีประสิทธิภาพสำหรับแอปเปิล มันฝรั่งและกุ้ง ตัวอย่างเช่นพบว่าการทำงานของ PPO ในน้ำพลัม (Plum juice) จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อผ่านน้ำพลัมลงไปในคอลัมน์ที่มีเอนไซม์โปรตีเอสที่ถูกตรึงอยู่ (ประสาร, 2538)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

7. การกำจัดออกซิเจน (Exclusion of oxygen)

ปฏิกิริยาการเกิดสารสีน้ำตาลจากเอนไซม์เกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีออกซิเจน ดังนั้นจึงสามารถยับยั้งไม่ให้เกิดปฏิกิริยาได้โดยการแยกออกซิเจนออกจากการสัมผัสกับผลิตภัณฑ์ วิธีนี้ได้ทำกันมามากกว่า 50 ปีแล้ว โดยการทำให้เกิดสุญญากาศกับชิ้นผลไม้ด้วยการเติมน้ำเชื่อม ซึ่งบางครั้งอาจผสมกรดแอสคอร์บิคลงไปด้วย การทำเช่นนี้ได้ผลดีเฉพาะกับผลิตภัณฑ์ผลไม้ที่จะนำไปแช่แข็ง

การลดออกซิเจนในบรรยากาศรอบ ๆ ผลิตภัณฑ์บางอย่าง เช่น บรรจุหีบห่อแบบดัดแปลงบรรยากาศ การดัดแปลงสามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้ แต่ถ้ากำจัดออกซิเจนออกมากเกินไป ก็จะก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลิตภัณฑ์ได้ อันเนื่องมาจากการเกิดเมตาโบลิซึมแบบไม่ใช้อากาศ ซึ่งนำไปสู่การเสื่อมสลายและการเกิดกลิ่น รส ที่ผิดปกติ การกำจัดออกซิเจนนั้น ยังเป็นการเสี่ยงต่อการเกิดภาวะที่จะทำให้เชื้อ *Clostridium botulinum* เจริญขึ้นมา และสร้างสารพิษได้ (ประสาร, 2538)

การใช้ซัลไฟต์ในการควบคุมปฏิกิริยาการเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลในผักและผลไม้นั้นยังเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในปัจจุบัน แต่เนื่องจากมีข้อจำกัดในการใช้ซัลไฟต์ ทางอุตสาหกรรมอาหารจึงจำเป็นต้องคิดค้นหาสารอื่น หรือวิธีการอื่น ๆ มาใช้แทนซัลไฟต์ ซึ่งยังไม่พบว่ามีสารใดหรือวิธีการใดที่จะเทียบเท่ากับการใช้ซัลไฟต์ได้ไม่ว่าจะในแง่ประสิทธิภาพ ราคา หรือการออกฤทธิ์

ซัลไฟต์เป็นสารที่ทำหน้าที่หลายอย่างในอาหาร เช่น ยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล ควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ ช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชันและทำหน้าที่อื่น ๆ อีกหลายอย่าง ดังนั้นถ้าจะหาสารอื่นมาแทนซัลไฟต์แล้วคงจะต้องหาสารหลายชนิดมาใช้ร่วมกัน เพื่อให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงหรือเทียบเท่ากับซัลไฟต์โดยจะต้องคำนึงถึงผลกระทบจากสารเหล่านั้นที่จะเกิดกับผลิตภัณฑ์อาหารในด้านรูปร่าง ลักษณะ สี กลิ่น รส และ เนื้อสัมผัส รวมทั้งไม่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ในระหว่างการเก็บรักษาด้วย

การกำจัดน้ำ (Dehydration)

การกำจัดน้ำหรือการทำให้แห้ง (Drying) หมายถึง การใช้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุมเพื่อกำจัดน้ำส่วนใหญ่ที่อยู่ในอาหาร โดยการระเหยน้ำหรือการระเหิดของน้ำแข็งในการอบแห้งแบบระเหิด (Freeze drying) วัตถุประสงค์ของการกำจัดน้ำคือการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารโดย

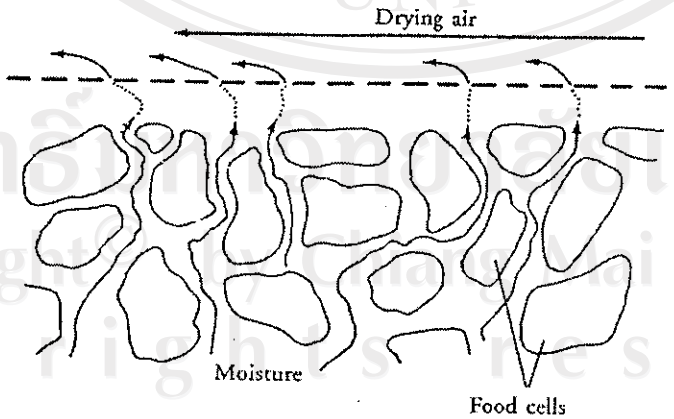
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การลดปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ให้ต่ำกว่า 0.7 (สุคนธ์ชื่น, 2539) ซึ่งมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ ในกระบวนการทำแห้งทำให้เกิดการสูญเสียทั้งคุณภาพการบริโภคและคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร (วิไล, 2545)

น้ำเป็นสารประกอบที่มีอยู่ในอาหารธรรมชาติทั่วไป คือมีอยู่ระหว่างร้อยละ 7-95 น้ำที่อยู่ในอาหารมักเรียกว่า "ความชื้น" น้ำเป็นส่วนประกอบหลักของอาหารทุกชนิดโดยอยู่ในรูปอิสระ (Free water) และเกาะเกี่ยวกับสารอื่น (Bound water) น้ำอิสระเป็นน้ำที่แทรกอยู่ในช่องว่างของอาหาร อาจมีการเกาะตัวกับองค์ประกอบของอาหารด้วยแรงที่ไม่แข็งแรงมากนัก มีคุณสมบัติเหมือนน้ำปกติ สามารถเป็นตัวทำละลายได้ มีส่วนเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมีและจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการดำรงชีวิตได้ แต่น้ำส่วนนี้ก็ยังมีคุณสมบัติไม่เหมือนกับน้ำอิสระในธรรมชาติอย่างแท้จริง

กลไกการทำแห้ง

เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านผิวหน้าอาหารที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวนอกของอาหาร ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอน้ำ (Latent heat of vaporization) จะทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอน้ำ และแพร่ผ่านฟิล์มอากาศ และถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ ดังแสดงภาพ 2.12 ทำให้บริเวณที่ผิวนอกของอาหารมีความดันไอของไอน้ำลดลง เกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำระหว่างอากาศภายนอกกับความชื้นภายในชิ้นอาหาร จึงเป็นแรงขับให้น้ำจากภายในเคลื่อนย้ายออกมาที่ผิวนอกของอาหาร



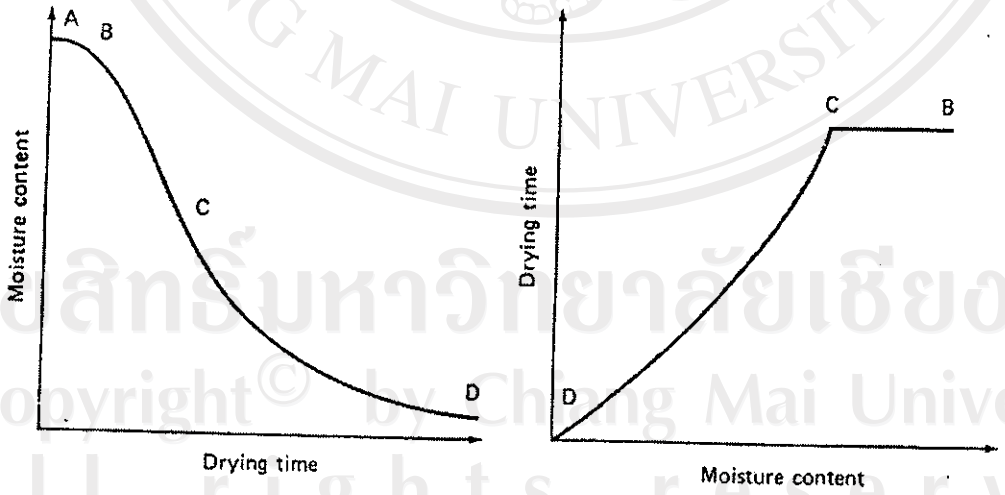
ภาพ 2.12 การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการทำแห้ง
ที่มา : วิไล (2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อนำอาหารมาใส่ในเครื่องทำแห้ง ช่วงเวลาสั้น ๆ ตอนเริ่มการอบแห้งจะเป็นเวลาที่ใช้ในการทำให้ผิวหน้าของอาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึงอุณหภูมิกระเปาะเปียกซึ่งเป็นช่วง AB ในภาพ 2.13 หลังจากนั้นจะเป็นช่วงการทำให้แห้ง โดยน้ำจะเคลื่อนที่จากด้านในของอาหารออกมาด้วยอัตราเร็วเท่ากับน้ำที่ระเหยออกจากผิวหน้า ผิวหน้าจึงยังเปียกอยู่ เรียกช่วงนี้ว่าเป็นช่วงอัตราเร็วคงที่ (Constant rate period, BC) และช่วงต่อเนื่องไปจนถึงความชื้นวิกฤต แต่ในทางปฏิบัติผิวหน้าของอาหารจะค่อย ๆ แห้งด้วยอัตราเร็วที่ต่างกัน และอัตราการทำให้แห้งโดยรวมจะค่อย ๆ ลดลงในช่วงของอัตราเร็วคงที่ จุดความชื้นวิกฤตของอาหารแต่ละชนิดจึงไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับปริมาณของอาหารในเครื่องทำแห้ง และอัตราการทำให้แห้ง (สุคนธ์ชื่น, 2539 ; วิไล, 2545))

สมบัติของอากาศขณะที่มีอัตราการระเหยออกของน้ำคงที่ คือ ต้องมีอุณหภูมิกระเปาะแห้งสูง มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ และอากาศเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง

เมื่อความชื้นของอาหารลดต่ำลงกว่าความชื้นวิกฤต อัตราการทำแห้งก็จะลดลงจนเข้าใกล้ศูนย์ที่ความชื้นสมดุล (ความชื้นในอาหารสมดุลกับความชื้นในอากาศแห้ง) หรือที่เรียกว่าเป็นช่วงอัตราลดลง (Falling-rate period, CD)



ภาพ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการอบแห้งและความชื้นในอาหาร
ที่มา : วิไล (2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray dryer)

เครื่องอบแห้งแบบถาดประกอบด้วยถาดเตี้ย ๆ ที่มีช่องตาข่ายอยู่ด้านล่างและบุเครื่องด้วยฉนวน ในแต่ละถาดจะบรรจุอาหารชิ้นบาง ๆ ขนาด 2-6 เซนติเมตร อากาศร้อนจะไหลหมุนเวียนอยู่ในตู้ที่ความเร็วลม 0.5-5 เมตร/วินาที/เมตร^2 ของพื้นที่ผิวของถาด มีระบบท่อหรือแบฟเฟิล เพื่อนำลมร้อนขึ้นไปด้านบน ผ่านแต่ละถาดเพื่อให้ลมร้อนกระจายอย่างสม่ำเสมอ อาจมีการติดตั้งเครื่องทำความร้อนเพิ่มด้านบนหรือด้านข้างของถาดเพื่อเพิ่มอัตราการทำแห้ง นิยมใช้เครื่องอบแห้งแบบถาดในการผลิตอาหารในปริมาณต่ำ (1-20 ตัน/วัน) หรือสำหรับใช้ในโรงงานต้นแบบ เครื่องอบชนิดนี้ใช้เงินลงทุนและค่าดูแลรักษาต่ำ แต่ควบคุมดูแลยาก และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่สม่ำเสมอ (วิไล, 2545)

เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ (Vacuum dryer)

หลักการโดยทั่วไป เป็นการระเหยน้ำออกจากอาหารภายใต้สุญญากาศและอุณหภูมิต่ำกว่าความดันบรรยากาศ เพื่อให้น้ำระเหยได้เร็วขึ้นแม้จะใช้อุณหภูมิไม่สูงมากนัก อาหารที่นิยมใช้กับวิธีการอบแห้งวิธีนี้มักเป็นอาหารที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายเมื่อใช้อุณหภูมิสูง เพื่อป้องกันการสูญเสียกลิ่นรส และวิตามินบางชนิดที่ไม่ทนต่อความร้อน ในระหว่างการดึงน้ำออกภายใต้ภาวะสุญญากาศอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อเนื้อสัมผัสได้ เพราะน้ำจะระเหยเร็วมาก ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์จึงแห้งแข็งและเกิดการหดตัว แต่ภายในยังแฉะอยู่ จึงเป็นข้อเสียของการทำแห้งวิธีนี้ แต่ข้อดีอีกข้อหนึ่งของการทำแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ คือใช้เวลาในการทำแห้งน้อยกว่าการทำแห้งแบบเยือกแข็งและแบบอื่น ๆ

การเปลี่ยนแปลงของอาหารเนื่องจากการอบแห้ง

การอบแห้งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอาหารมากหรือน้อยขึ้นกับธรรมชาติของอาหารและสภาวะที่ใช้ในการอบแห้ง ลักษณะที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้คือ

1. การหดตัว

การเสียน้ำทำให้เซลอาหารหดตัวจากผิวนอก ส่วนที่แข็งจะคงสภาพได้ ส่วนที่อ่อนกว่าจะเว้าลงไป อาหารที่มีน้ำมากจะหดตัวบิดเบี้ยวมาก การทำแห้งอย่างรวดเร็วจะหดตัวน้อยกว่าการทำแห้งอย่างช้า ๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. การเปลี่ยนสี

อาหารที่ผ่านการทำแห้งมักมีสีเข้มขึ้น เนื่องจากความร้อนหรือปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล อุณหภูมิและช่วงเวลาที่อาหารมีความชื้นร้อยละ 10-20 มีผลต่อความเข้มของสี จึงควรหลีกเลี่ยงอุณหภูมิสูงในช่วงความชื้นนี้

3. การเกิดเปลือกแข็ง

เป็นลักษณะที่ผิวอาหารแข็งเป็นเปลือกหุ้มส่วนในที่ยังไม่แห้งไว้ เกิดจากในช่วงแรกให้น้ำระเหยเร็วเกินไป น้ำจากด้านในเคลื่อนที่มาที่ผิวไม่ทัน หรือมีสารละลายของน้ำตาล โปรตีนเคลื่อนที่มาแข็งตัวที่ผิว สามารถหลีกเลี่ยงโดยไม่ใช้อุณหภูมิสูงและใช้อากาศที่มีความชื้นสูงเพื่อไม่ให้ผิวอาหารแห้งก่อนเวลาอันสมควร

4. การเสียความสามารถในการคืนสภาพ

อาหารแห้งบางชนิดต้องนำมาทำให้คืนสภาพ แต่การคืนสภาพโดยการเติมน้ำจะไม่ได้เหมือนเดิมเพราะเซลอาหารเสียความยืดหยุ่นของผนังเซลสตาร์ชและโปรตีนเสียความสามารถในการดูดน้ำ อาหารที่ทำแห้งด้วยการแช่เยือกแข็งจะมีความสามารถในการคืนสภาพดีที่สุด เพราะไม่ได้ใช้ความร้อนที่จะทำลายผนังเซลหรือเปลี่ยนโครงสร้างของสตาร์ชและโปรตีน

5. การเสียคุณค่าอาหารและสารระเหย

เกิดการเสื่อมสลายของวิตามินซีและแคโรทีนจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไรโบฟลาวินจากแสง ไทอะมีนจากความร้อน ยิ่งใช้เวลาทำแห้งนานการสูญเสียก็ยิ่งมาก โปรตีนมีการสูญเสียบางส่วนด้วยความร้อนเช่นเดียวกัน การสูญเสียสารระเหยเนื่องจากความร้อนทำให้กลิ่นของอาหารแห้งลดน้อยลงหรือแตกต่างไปจากเดิม (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2539)

สารเคมีกันเสีย

กรดซอร์บิคและเกลือซอร์เบท

กรดซอร์บิคและเกลือซอร์เบท เป็นวัตถุกันเสียอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันมาก เนื่องจากเป็นสารประกอบที่ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส และที่สำคัญคือไม่ทำให้กลิ่นและรสของอาหารเปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถจะถูกเผาผลาญได้แบบเดียวกับกรดไขมันที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ฉะนั้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อันตรายที่จะได้รับจากวัตถุกันเสียชนิดนี้ค่อนข้างน้อย ประสิทธิภาพของวัตถุกันเสียชนิดนี้จะดีที่สุดในช่วงความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 6.5

สารนี้มีการใช้อย่างแพร่หลายโดยเฉพาะในรูปของกรดซอร์บิคและเกลือโพแทสเซียม-ซอร์เบท ใช้ได้กับผลิตภัณฑ์อาหาร รวมไปถึงอาหารสัตว์ ยา และเครื่องสำอาง ปริมาณที่ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารอยู่ในช่วงร้อยละ 0.02-0.03 สำหรับอาหารทั่วๆ ไป ที่นิยมใช้วัตถุกันเสียชนิดนี้ช่วยยืดอายุการเก็บ ได้แก่ เนยแข็งและผลิตภัณฑ์เนยแข็ง เนยเทียม ผลิตภัณฑ์ขนมอบต่างๆ เครื่องดื่มต่างๆ ทั้งชนิดที่อัดและไม่อัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำผลไม้ต่างๆ ไวน์ แยม เยลลี่ ฟรุ๊ตค็อกเทล น้ำสลัดต่างๆ ผลไม้แห้ง ผักแห้ง ผักดองต่างๆ ผลิตภัณฑ์เนื้อและผลิตภัณฑ์ปลาต่างๆ เป็นต้น (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2539)

กรดซอร์บิคและเกลือซอร์เบทจัดอยู่ในกลุ่มของสารที่มีความปลอดภัยต่อมนุษย์ (Generally Recognized As Safe ; GRAS) และอนุญาตให้ใช้เป็นสารเคมีกันเสียในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เนื่องจากมีความเป็นพิษต่ำและมีคุณสมบัติที่ดีกว่าสารเคมีกันเสียชนิดอื่น ประเทศไทยได้มีประกาศของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 84 อนุญาตให้ใช้โพแทสเซียมซอร์เบทในอาหารได้ในปริมาณสูงสุดไม่เกิน 1,000 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักอาหาร 1 กิโลกรัม (กระทรวงสาธารณสุข, 2527)

โดยทั่วไปเกลือซอร์เบทมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราและยีสต์ได้ดีกว่าแบคทีเรียและรูปแบบการใช้เกลือซอร์เบทในอาหาร ได้แก่ การใส่ลงไปในอาหารโดยตรง การจุ่มอาหารลงในสารละลายซอร์เบท การฉีดพ่นสารละลายซอร์เบท การคลุกพร้อมผงแป้ง การเติมในวัสดุเคลือบผิวอาหาร และการเติมลงในวัสดุหีบห่อ ยกตัวอย่างเช่น ลูกพรุนแห้งมีความชื้นอยู่ประมาณร้อยละ 35 สามารถป้องกันการเสื่อมเสียเนื่องจากเชื้อราได้ โดยการจุ่มลงไปในสารละลายโพแทสเซียม-ซอร์เบทความเข้มข้นร้อยละ 5 สุดท้ายจะให้ปริมาณของกรดซอร์บิคออกมาประมาณร้อยละ 0.03 (โครงการตำราวิทยาศาสตร์อุตสาหกรรม, 2526) การเลือกใช้วิธีที่เหมาะสมนั้นควรพิจารณาจากชนิดของอาหาร วัตถุประสงค์ที่ต้องการ กระบวนการผลิต เครื่องมือ และความสะดวก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ไพโรจน์ (2535) ได้ศึกษาสายพันธุ์พลับที่เหมาะสมต่อการผลิตลูกพลับกึ่งแห้ง โดยใช้ลูกพลับสด 4 สายพันธุ์ที่เป็นชนิดฝาดสามารถนำมาผลิตเป็นพลับกึ่งแห้งได้ เช่น พันธุ์ Hachiya, Nightingale, Ang Sai (P3) และ Nui Scin (P4) โดยลูกพลับสดดังกล่าวควรผ่านกรรมวิธีการลดความฝาด โดยวิธีบรรจุในบรรยากาศของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อลดปริมาณแทนนินที่ละลายได้ ก่อนที่จะนำมาผลิตเป็นลูกพลับกึ่งแห้ง พบว่าลูกพลับสดที่สามารถนำมาผลิตเป็นลูกพลับกึ่งแห้งควรมีค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดประมาณร้อยละ 17-18 และเมื่อนำมาผลิตเป็นลูกพลับกึ่งแห้งแล้วน้ำหนักจะลดลงร้อยละ 37-54 โดยมีความชื้นในผลิตภัณฑ์สุดท้ายร้อยละ 30-44 ความเป็นกรดทั้งหมดคิดเทียบกรดซิตริกร้อยละ 0.08-0.44 น้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 34-41 และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 21-135 ppm. ในด้านความนิยมของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ลูกพลับกึ่งแห้ง พบว่าลูกพลับสายพันธุ์ที่มีการยอมรับมากที่สุดคือ Hachiya นอกจากนี้ยังมีสายพันธุ์อื่น ๆ เช่น Nightingale, Ang Sai (P3) และ Nui Scin (P4) ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่ดีในการที่จะนำมาผลิตเป็นลูกพลับกึ่งแห้งได้อย่างมีคุณภาพทั้งในด้านสีที่ปรากฏ กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม โดยสายพันธุ์ที่นำมาผลิตจะต้องผ่านการลดความฝาดมาก่อนด้วย

ธารา (2540) ได้พัฒนากระบวนการผลิตและการเก็บรักษาพลับกึ่งแห้งสายพันธุ์อั้งใส (P3) และนูซิน (P4) โดยศึกษาการใช้สารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ร่วมกับกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์พลับกึ่งแห้ง พบว่าการใช้สารประกอบกำมะถันร่วมในกระบวนการผลิตพลับกึ่งแห้งพันธุ์นูซิน (P4) นั้นวิธีการที่เหมาะสมที่สุด คือการใช้วิธีการรมควันกำมะถัน (Sulfering method) โดยใช้ปริมาณกำมะถัน 10 กรัมต่อตู้อบที่มีขนาด 1 ลูกบาศก์เมตรนาน 20 นาทีจำนวนสองครั้ง (ก่อนและหลังการอบแห้ง) โดยปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่พลับดูดซับไว้ได้เท่ากับ 650 ส่วนในล้านส่วน ค่าสี L เท่ากับ 48.35 ค่าสี a* เท่ากับ 14.75 และค่าสี b* เท่ากับ 23.69 เวลาที่เหมาะสมในการผลิตพลับกึ่งแห้ง คือ 77 ชั่วโมง 37 นาที จึงได้ผลิตภัณฑ์พลับกึ่งแห้งที่มีความชื้นร้อยละ 30 โดยการทำแห้งพลับ 1 ผล (191.63 กรัม) ให้มีความชื้นดังกล่าวนั้น ต้องทำการอบแห้งจนกระทั่งน้ำหนักเป็น 59.11 กรัม ส่วนวิธีการบรรจุและเก็บรักษาที่เหมาะสม คือการบรรจุในถุงพลาสติกเนื้อ 2 ชั้นของโพลีเอทธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและโพลีเอสเตอร์ โดยวิธีการบรรจุในสภาวะสุญญากาศและการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส จะทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางด้านเคมี กายภาพ จุลชีววิทยา และการทดสอบทางประสาทสัมผัสที่ดีและคงคุณภาพได้นาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Monsalve-Gonzalez *et al.* (1993) ได้ศึกษาการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลระหว่างการเก็บรักษาแอปเปิลหั่นชิ้นโดยการใช้หลายวิธีร่วมกัน ซึ่งใช้ 4-เฮกซิลเรโซซินอล เป็นสารต้านการเกิดสีน้ำตาล พบว่า 4-เฮกซิลเรโซซินอล มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในแอปเปิลหั่นชิ้นทั้งสีน้ำตาลที่เกิดเนื่องจากเอนไซม์และไม่ใช้เอนไซม์โดยใช้หลายวิธีร่วมกันในระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิต่างๆ 4 ระดับ ได้แก่ อุณหภูมิ 25, 30, 35 และ 45 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับโซเดียมซัลไฟต์และกรดแอสคอร์บิค-สอง-ฟอสเฟต พบว่าแอปเปิลหั่นชิ้นเมื่อแช่ในสารละลายซูโครส (สารละลายซูโครสประกอบด้วยกรดซิตริค ร้อยละ 0.2 และกรดซอร์บิค ร้อยละ 0.15 และซูโครส ทำให้เป็น 52 องศาบริกซ์) ที่มี 4-เฮกซิลเรโซซินอล 200 ส่วนในล้านส่วน และกรดแอสคอร์บิค ร้อยละ 0.2 เป็นเวลา 10 ชั่วโมงทำให้สามารถเก็บรักษาแอปเปิลหั่นชิ้นได้นาน 32 วัน ที่ 25 องศาเซลเซียส โดยไม่เกิดสีน้ำตาล

Monsalve-Gonzalez *et al.* (1995) ได้ศึกษาการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์แอปเปิลโดยใช้ 4-เฮกซิลเรโซซินอล พบว่าความเข้มข้นของ 4-เฮกซิลเรโซซินอลที่มากกว่า ร้อยละ 0.03 มีผลทำให้ปริมาณการตกค้างอยู่ในเนื้อเยื่อสูงขึ้นและมีผลต่อกลิ่นรสของแอปเปิ้ล และจะสามารถรับรู้รสขมได้เล็กน้อยเมื่อจุ่มแอปเปิ้ลหั่นชิ้นลงในสารละลาย 4-เฮกซิลเรโซซินอล ร้อยละ 0.05 การเพิ่มเวลาในการแช่ มีผลทำให้สีน้ำตาลเกิดขึ้นน้อยลง เนื่องจากมีการแพร่ของสารประกอบเข้าไปเนื้อเยื่อแอปเปิลมากขึ้น

Luo *et al.* (1995) ได้ศึกษาการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในแอปเปิลหั่นชิ้นโดยใช้ 4-เฮกซิล-เรโซซินอล พบว่าแอปเปิลหั่นชิ้นที่จุ่มในสารละลายที่ประกอบด้วย 4-เฮกซิลเรโซซินอลร้อยละ 0.01 กรดแอสคอร์บิคร้อยละ 0.5 และแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.2 เป็นเวลา 5 นาที ร่วมกับการบรรจุแบบ partial vacuum (20 inch Hg vacuum) และเก็บที่อุณหภูมิต่ำ สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน 50 วันโดยไม่เกิดสีน้ำตาล

Lee-Kim *et al.*(1997) ได้ศึกษาการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) ในหญ้า Burdock โดยสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่นำมาศึกษา คือ 4-เฮกซิลเรโซซินอล กรดแอสคอร์บิค กรดซิตริค และไบซัลไฟต์ พบว่า 4-เฮกซิลเรโซซินอล ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ใช้เป็นตัวยับยั้ง PPO ที่สกัดได้จากรากของหญ้า Burdock ได้ร้อยละ 70 ในขณะที่สารต้านการเกิดสีน้ำตาลตัวอื่นรวมถึงไบซัลไฟต์มีประสิทธิภาพในการยับยั้งน้อยกว่าร้อยละ 20 สารผสมของ 4-เฮกซิลเรโซซินอล และกรดแอสคอร์บิคที่ความเข้มข้น ร้อยละ 1.0 มีประสิทธิภาพในการยับยั้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

PPO ที่สกัดได้จากรากของหญ้า Burdock ได้ ร้อยละ 90 การใช้ 4-เฮกซิลเรโซซินอล เพียงตัวเดียวมีประสิทธิภาพในการยับยั้ง PPO บริสุทธิ์ (Purified PPO) ที่สกัดได้จากรากของหญ้า Burdock ได้น้อยกว่ากรดแอสคอร์บิค ในขณะที่ประสิทธิภาพของ 4-เฮกซิลเรโซซินอล ในการยับยั้ง PPO ที่สกัดได้ (Crude PPO) จากรากของหญ้า Burdock มากกว่ากรดแอสคอร์บิค

Sapers *et al.* (1998) ได้ศึกษาการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในลูกแพร์หั่นชิ้น โดยจุ่มในสารละลายที่ประกอบด้วยโซเดียมอีริทอร์เบท ร้อยละ 4 แคลเซียมคลอไรด์ ร้อยละ 0.2 และ 4-เฮกซิล-เรโซซินอล 100 ส่วนในล้านส่วนเป็นเวลา 1 นาที แล้วบรรจุในภายใต้บรรยากาศหรือสภาพบรรยากาศดัดแปลง (MAP) และเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถเก็บไว้ได้นาน 14 วัน โดยไม่เกิดสีน้ำตาลที่ผิวลูกแพร์หั่นชิ้นและการเสื่อมเสียทางด้านกลิ่นรสหรือเนื้อสัมผัส

Buta *et al.* (1999) ศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษาแอปเปิลสดตัด พบว่าการใช้ 4-เฮกซิลเรโซซินอล 0.001 โมลาร์ ไอโซแอสคอร์บิค 0.5 โมลาร์ และ เอน-อะซิติลซีสเตอีน 0.025 โมลาร์ ทำให้ป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้นาน 5 สัปดาห์ที่ 5 องศาเซลเซียส และไม่มีการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์

Dong *et al.* (2000) ได้ศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษาของลูกแพร์สดสามสายพันธุ์ คือพันธุ์ Bartlett, Bosc, Anjou พบว่าลูกแพร์พันธุ์ Anjou หั่นชิ้นสามารถเก็บได้นาน 30 วันโดยไม่เกิดสีน้ำตาล เมื่อจุ่มด้วยกรดแอสคอร์บิคร้อยละ 1.0 และแคลเซียมแลคเตท ร้อยละ 1.0 แต่ลักษณะเนื้อสัมผัสจะนิ่มและมีน้ำจากเนื้อเยื่อไหลออกมา เมื่อเก็บรักษาลูกแพร์พันธุ์ Anjou, Bartlett และ Bosc โดยจุ่มด้วยสาร 4-เฮกซิลเรโซซินอล ร้อยละ 0.01 กับกรดแอสคอร์บิค ร้อยละ 0.5 และแคลเซียมแลคเตทร้อยละ 1.0 เป็นเวลา 2 นาที ร่วมกับการบรรจุภายใต้สุญญากาศและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 ถึง 5 องศาเซลเซียส ทำให้ยืดอายุการเก็บรักษาลูกแพร์ ได้ 15 ถึง 30 วัน โดยไม่เกิดสีน้ำตาล หลังการเก็บรักษา 14 วัน ปริมาณ 4-เฮกซิลเรโซซินอล ที่ตกค้างอยู่มีปริมาณ 1 ถึง 7 ส่วนในล้านส่วน ปริมาณของ 4-เฮกซิลเรโซซินอลที่ตกค้างอยู่จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นและเวลาในการจุ่ม ผู้ทดสอบชิมสามารถตรวจวัดกลิ่นรสที่แตกต่างระหว่างลูกแพร์ที่จุ่ม 4-เฮกซิล-เรโซซินอล ร้อยละ 0.01 กับตัวควบคุมได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved