บทที่ 2
งานวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

พลับ (Persimmon)

2.1 ลักษณะโดยทั่วไป

ลักษณะของผลพลับจะแตกต่างกันออกไปมากมายไม่ว่าจะเป็นเรื่องของขนาด รูปร่าง และสีผิวของผล อย่างไรก็ตามในสาขาทางพฤกษศาสตร์แล้วได้มีการแบ่งพลับออกได้เป็น 2 พวกใหญ่ๆ คือ พลับฝาด (Astringent) และ พลับหวาน (Non-astringent) ซึ่งพลับทั้ง 2 พวก ดังกล่าวยังแบ่งย่อยออกได้อีกเป็น 2 ชนิด คือ Pollination constant (ชนิดสีเนื้อคงที่) และ Pollination variant (ชนิดสีเนื้อเปลี่ยนแปลง)

พลับชนิด Pollination constant คือ พลับที่สีของเนื้อจะคงเดิมไม่เปลี่ยนสีไม่ว่าจะมีการผสมเกสรหรือไม่ก็ตาม ส่วนพลับชนิด Pollination variant นั้น ถ้าไม่มีการผสมเกสรสีของเนื้อจะเป็นสีเหลืองอ่อน แต่ถ้ามีการผสมเกสรเกิดขึ้นสีของเนื้อจะเปลี่ยนจากสีเหลืองอ่อนไปเป็นสีน้ำตาลแดง นั่นคือพลับชนิดนี้สีของเนื้อจะเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะของการผสมเกสรหรือการมีเมล็ดเกิดขึ้นนั่นเอง บางครั้งการผสมเกสรไม่ดีมีเมล็ดเกิดขึ้นน้อยหรืออาจจะมีเพียงเมล็ดเดียวอยู่ภายในผลสีน้ำตาลแดงจะปรากฏให้เห็นเฉพาะรอบๆ บริเวณเมล็ดเท่านั้น ผลด้านที่ไม่มีเมล็ด เนื้อจะมีสีเหลืองอ่อนตามปกติ

นอกจากความแตกต่างในเรื่องสีของเนื้อผลแล้ว พลับยังแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มตามรสชาติ คือ พลับฝาด (Astringent persimmon)และ พลับหวาน (Non-astringent persimmon) ซึ่งเมื่อรวมความแตกต่างทั้ง 2 ด้านนี้เข้าด้วยกันแล้ว จะทำให้แบ่งพลับออกได้เป็น 4 กลุ่ม คือ

1. Pollination Constant and Non-astringent (PCNA) พวกนี้เป็นพลับหวาน ที่มีจุดสีดำของแทนนินบนเนื้อผล พันธุ์ที่สำคัญ ได้แก่ พันธุ์ Fuyu และ Jiro เป็นต้น

2. Pollination Variant and Non-astringent (PVNA) พวกนี้เป็นพลับหวานที่มีจุดสีดำของแทนนินบนเนื้อผล และถ้าไม่มีเมล็ดจะมีรสฝาด พันธุ์ที่สำคัญ ได้แก่ พันธุ์ Shogatsu และ Amahyakume เป็นต้น

3. Pollination Constant and Astringent (PCA) พวกนี้เป็นพลับฝาดจะไม่ปรากฏจุดสีดำของแทนนินบนเนื้อผล พันธุ์ที่สำคัญ คือ พันธุ์ Hachiya เป็นต้น

4. Pollination Variant and Astringent (PVA) พวกนี้เป็นพลับฝาดที่มีจุดสีดำของแทนนินอยู่รอบๆ เมล็ด พันธุ์ที่สำคัญ คือ พันธุ์ Tanenashi เป็นต้น

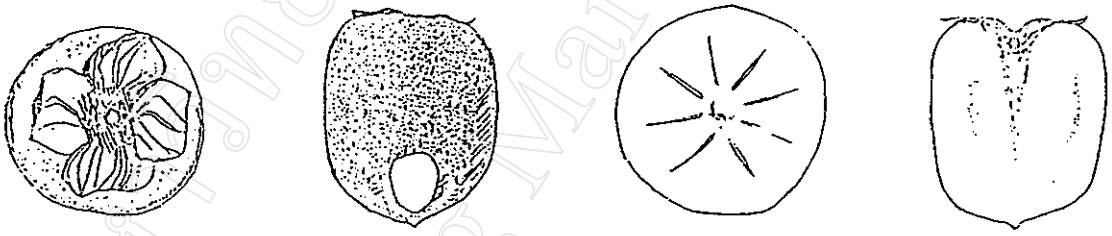
พลับทั้งที่เป็น Pollination constant หรือ Pollination variant แทนนินซึ่งเป็นสาเหตุของความฝาดจะอยู่ในรูปที่จะละลายน้ำได้ (Water soluble tannin) จะมีปริมาณลดลงเมื่อผลพลับสุกนิ่มและสามารถรับประทานได้โดยไม่มีรสฝาด วิธีทำให้ความฝาดหายไปในขณะที่ผลพลับยังแข็งอยู่ โดยการใช้สารเคมีหรือกรรมวิธีบางอย่าง ซึ่งจะไปกระตุ้นให้แทนนินที่อยู่ในรูปที่

ละลายน้ำได้กลับกลายหรือเปลี่ยนแปลงไปเป็นรูปที่ไม่ละลายน้ำ (Water insoluble tannin) ดังนั้นเวลารับประทานจึงไม่มีรสฝาดเกิดขึ้น

พลับไม่ฝาดที่สีของเนื้อเปลี่ยนแปลงไปตามการผสมเกสร (Pollination variant and non-astringent) หรือการมีเมล็ดนั้น ปริมาณสารละลายแทนนินจะไม่ปรากฏ ถ้าหากว่ามีเมล็ดอย่างเพียงพอ โดยปกติแล้วจะมีเมล็ด 4-5 เมล็ด แต่ถ้าการเกิดของเมล็ดมีน้อย 1 หรือ 2 เมล็ด บริเวณบางส่วนของผลที่ไม่มีเมล็ดเนื้อจะคงฝาดอยู่ พลับพวกที่ไม่ฝาดและเป็น Pollination constant and Non-astringent ผลสามารถจะรับประทานได้เลยโดยไม่ต้องปล่อยให้ผลสุกนิ่ม (Itoo, 1986 ; นพดล, 2537)

2.2 พันธุ์ปลูก

พลับที่ปลูกในประเทศไทยขณะนี้มีทั้งชนิดที่เป็น Pollination constant และ Pollination variant มีทั้งที่เป็นพันธุ์ฝาดและไม่ฝาด ทั้งนี้พลับพันธุ์ต่างๆจะมีลักษณะรูปทรงของผลที่แตกต่างกันออกไปบ้าง ซึ่งลักษณะของพลับโดยทั่วไปแสดงได้ในรูปที่ 2.1 และพันธุ์พลับที่สำคัญ ได้แก่



รูปที่ 2.1 ลักษณะรูปทรงของพลับโดยทั่วไป (ปวิณและคณะ, 2537)

พันธุ์ฟูยู : นำเข้ามาจากญี่ปุ่น ออสเตรเลีย และสหรัฐอเมริกาเป็นพลับหวานชนิดที่สีของเนื้อคงที่ เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกกันทั่วโลกในปัจจุบันนี้ ลักษณะผลกลม แต่ค่อนข้างแบนเล็กน้อย. ขนาดปานกลางจนถึงใหญ่ สีเหลืองสดจนถึงอมส้ม ดอกมักจะมีแต่ตัวเมียไม่ว่าจะมีการผสมเกสรหรือไม่ก็ตาม สามารถติดผลโดยไม่ต้องมีการผสมเกสร อย่างไรก็ตามการผสมเกสรข้ามกับพันธุ์อื่นจะทำให้เกิดมีเมล็ด และจะช่วยลดการร่วงของผลได้มาก ประเทศไทยสามารถปลูกได้ดีในบริเวณที่มีความสูงตั้งแต่ 1,000 เมตรขึ้นไป ต้องการอากาศหนาวเย็นกว่าพันธุ์อื่น

พันธุ์ พี 1 (P1) : นำเข้ามาจากไต้หวัน เป็นพวกพลับฝาดติดผลได้ดีมาก ดอกมีทั้งที่เป็นดอกตัวผู้ ดอกตัวเมีย และดอกกะเทยอยู่ในต้นเดียวกัน ซึ่งมีข้อดีคือช่วยให้ฟูยูติดผลได้ดีขึ้น และเกสรจากดอกตัวผู้หรือดอกกะเทย จะช่วยให้พันธุ์ไฮยาคัมติดเมล็ดมากขึ้นและกลายเป็น

พลับที่ไม่ฝาดมากขึ้น พลับพันธุ์นี้คุณภาพการรับประทานสดไม่ดี บริเวณใต้ขั้วมักจะมีรอยแตกเมื่อผลสุกเต็มที่ขั้วผลจะหลุดออกได้ง่ายไม่เป็นที่นิยมของตลาด

พันธุ์ซือโจ หรือ ซิชู หรือ พี 2 (Xichu or P2) : นำเข้ามาจากไต้หวัน ลักษณะผลค่อนข้างแบน ขนาดเล็กกว่า ฟูยู เป็นพวกพลับฝาดชนิดที่เป็น Pollination constant ผลอาจมีรูปร่างกลมจนถึงเป็นเหลี่ยม บางครั้งอาจจะพบลักษณะสี่เหลี่ยมจนถึงแปดเหลี่ยม เนื้อมีสีเหลืองอ่อนๆ ไม่ว่าจะมีเมล็ดหรือไม่มีเมล็ดก็ตาม ขึ้นได้ดีแม้ในบริเวณที่สูงขนาด 790 เมตร ของจังหวัดกาญจนบุรี ใบแก่ก่อนที่จะร่วงจะมีสีส้มอมแดงสามารถขจัดความฝาดได้ง่ายโดยใช้รมด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

พันธุ์อั้งใส หรือ พี 3 (Ang Sai or P3) : เป็นพลับฝาด ผลค่อนข้างเล็ก ติดผลดก ผลสุกสีแดงจัด เนื้อไม่มีการเปลี่ยนสี การติดผลดีคุณภาพปานกลาง

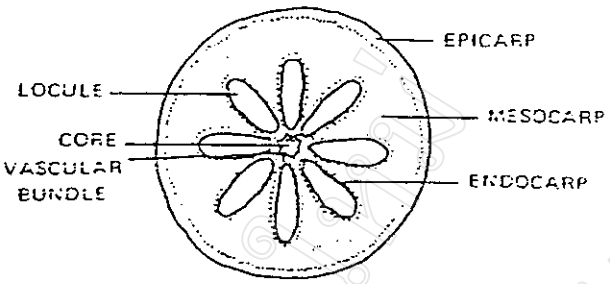
พันธุ์นูชิน หรือ พี 4 (Niu Scin or P4) : ผลมีลักษณะคล้ายรูปหัวใจเช่นเดียวกับพันธุ์ไฮยาคัม แต่อาจจะยาวกว่าเล็กน้อย ขนาดค่อนข้างใหญ่ เป็นพวกพลับฝาด และ Pollination constant เนื้อมีสีเหลืองอ่อน ขจัดความฝาด โดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

พันธุ์ไฮยาคัม (Hyakume) : นำเข้ามาจากไต้หวัน ผลค่อนข้างยาวคล้ายรูปหัวใจ ขนาดค่อนข้างใหญ่ เป็นพวก Pollination variant บริเวณที่เนื้อมีสีน้ำตาลแดงจะไม่ฝาด ในขณะที่บริเวณที่ไม่มีเมล็ดเนื้อจะเป็นสีเหลืองอ่อน ฝาดมาก ถ้าดูจากภายนอกทั่วๆ ไปแล้วจะไม่ทราบต้องผ่าดูเนื้อภายในผล ซึ่งเป็นข้อเสียของการปลูกพันธุ์นี้ การช่วยผสมเกสรหรือการปลูกพันธุ์ที่มีเกสรตัวผู้จะช่วยให้การติดเมล็ดดีขึ้น เพื่อให้เกิดความแน่ใจควรขจัดความฝาดของพลับพันธุ์นี้เสียก่อนที่จะออกวางตลาด โดยรมด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

พันธุ์ฮาชิยา (Hachiya) : เป็นพลับฝาดชนิดที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อไม่ว่าจะมีเมล็ดหรือไม่มีก็ตาม นิยมปลูกกันมากในสหรัฐอเมริกา เนื่องจากผลเวลาสุกนิ่มจะมีรสหวาน ในอเมริกาไม่นิยมรับประทานพลับหวานกรอบแต่นิยมพลับที่สุกนิ่ม นำไปทำพลับแห้งหรือแปรรูปได้เป็นอย่างดี ผลมีขนาดใหญ่ ไม่มีเมล็ด ผิวผลสีเหลืองอมแดงเวลาสุกเต็มที่จะมีสีเหลืองส้ม

พันธุ์ไนติงเกล (Nightingle) : คล้ายกับฮาชิยามาก รูปร่างกรวยยาว มีขนาดใหญ่เป็นพวกพลับฝาด เมื่อสุกเต็มที่จะมีรสหวาน สีผิวสีเหลืองอ่อนกว่าฮาชิยาเล็กน้อย ส่วนปลายผลจะเรียวยาวกว่า นิยมใช้รับประทานสด สามารถขจัดความฝาดได้แม้ผลยังแข็งอยู่หรือปล่อยให้ผลสุกนิ่มความฝาดก็จะหายไปเช่นเดียวกัน นำไปแปรรูปทำเป็นพลับแห้งได้ดีแต่คุณภาพต่ำกว่าฮาชิยาเล็กน้อย (ปวิณ และคณะ, 2537)

ลักษณะและองค์ประกอบโดยทั่วไปของพลับพันธุ์ต่างๆทั้งที่มีความฝาดและไม่มีความฝาดแสดงในรูปที่ 2.2 และตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.2 ภาพตัดขวางของพลับ (Itoo, 1986)

ตารางที่ 2.1 ค่าองค์ประกอบทางเคมีของพลับพันธุ์ต่าง ๆ

พันธุ์	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (ร้อยละ)	ความถ่วงจำเพาะ (20°c)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°บริกซ์)	ความเป็นกรดเป็นด่าง	โปรตีน (ร้อยละ)	เยื่อใย (ร้อยละ)	เพคตินที่ละลายน้ำได้ (ร้อยละ)	แทนนินที่ละลายน้ำได้ (ร้อยละ)
พันธุ์ฝาด									
Azumishirazu	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
Schekokushi	277	76.80	1.080	20.8	5.4	0.42	0.47	0.69	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
พันธุ์ไม่ฝาด									
Fuyu	249	82.40	1.066	16.2	5.5	0.58	0.49	0.68	0

ที่มา : Itoo, 1986

2.3 ความฝาดและกรรมวิธีในการลดความฝาดของพลับ

พลับที่มีความฝาดจะต้องนำไปผ่านกรรมวิธีลดความฝาดก่อน จึงจะรับประทานได้ ความฝาดของพลับเกิดจากสาร Leucodelphinidin-3-glucoside โดยในโมเลกุลนี้จะประกอบไปด้วย Gallic acid, Gallocatechin และ Gallocatechin gallate (Itoo,1986) หรือมีชื่อสามัญว่า Diospyrin ซึ่งเป็นแทนนินที่ละลายน้ำได้ชนิดหนึ่งที่มีการจับตัวกับโปรตีน แทนนินชนิดนี้เป็นของเหลวที่แพร่กระจายได้ง่าย สารแทนนินนี้ยังมีความเกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลโดยเอนไซม์แต่กลไกยังไม่ทราบแน่ชัดอย่างไรก็ตามคงมีความเกี่ยวข้องกับสารประกอบ Phenol ที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในโครงสร้างของโมเลกุล(Francis,1985) เมื่อผลสุกมากขึ้น Diospyrin จะเปลี่ยนโครงสร้างทำให้ความฝาดของผลพลับลดลง แต่การสุกตามธรรมชาติของผล จะทำให้

เนื้อนิ่มเละ ซึ่งเป็นคุณภาพที่ตลาดไม่ยอมรับ จึงต้องใช้กรรมวิธีลดความฝาดของพลับในขณะที่เนื้อผลยังแน่นแข็งอยู่ ทั้งนี้พลับพันธุ์ที่มีความฝาดจะมีปริมาณของเซลแทนนินที่ใหญ่และเกิดการกระจายอยู่ทั่วไปภายในเนื้อพลับที่มากกว่าพันธุ์ที่ไม่ฝาด การลดความฝาดจึงต้องใช้วิธีการทางเคมีเข้ามาปฏิบัติ (Blumenfeld and Gottreich,1991) ลักษณะของสารแทนนินที่เป็นสาเหตุของความฝาดในเนื้อพลับแสดงในรูป 2.3-2.5 ทั้งนี้การลดความฝาดมีหลายวิธี ได้แก่

2.3.1 การใช้น้ำปูนใส

โดยการแช่ผลพลับในน้ำปูนใส ประมาณ 5-7 วัน ผลพลับจะหายฝาดได้ ขณะที่ผลยังแน่นแข็งอยู่ วิธีการนี้ผลพลับจะคงคุณภาพไว้ได้นาน 2-3 วันเท่านั้น และผลที่แช่น้ำปูนใสจะมีคราบปูนจับ ทำให้ผิวไม่สวย

2.3.2 การใช้ไอเอธานอล

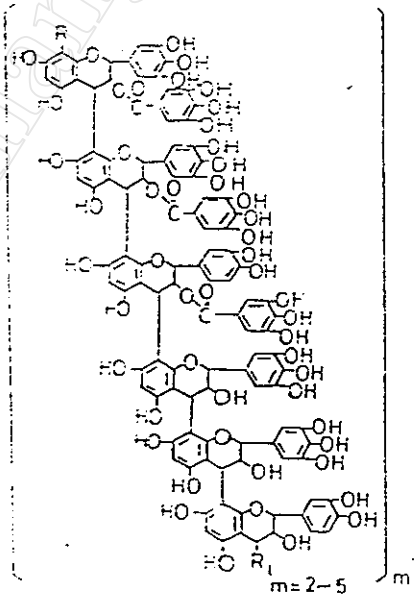
โดยใช้แอลกฮอล์ร้อยละ 35-40 รมผลพลับภายในภาชนะปิด ใช้สัดส่วนของเอธานอล 10 มิลลิลิตรต่อบรรยากาศ 1 ลิตร พลับจะหายฝาดในขณะที่ผลยังแน่นแข็งอยู่ภายใน 5-7 วัน วิธีนี้ผลพลับจะคงคุณภาพได้นาน 2-3 วัน นอกจากนี้ถ้าผลพลับแช่อยู่ในเอธานอล สีผิวจะเปลี่ยนไปเป็นสีน้ำตาลและมีรสชาติเปลี่ยนไป

2.3.3 การใช้น้ำร้อน

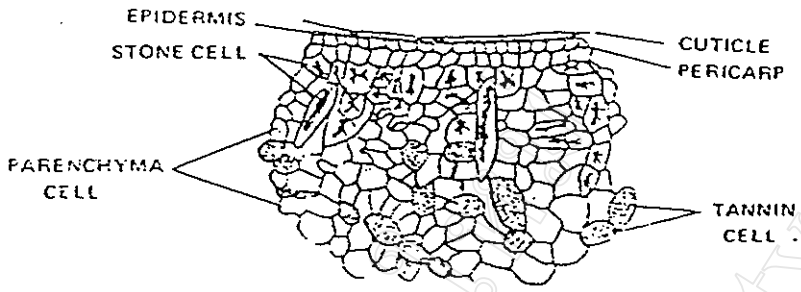
โดยการจุ่มผลพลับในน้ำร้อน 45 องศาเซลเซียส แล้วทิ้งไว้ประมาณ15-24 ชั่วโมง แต่วิธีการนี้จะทำให้ผลพลับมีคุณภาพต่ำลง

2.3.4 การใช้เอทธิลีน

โดยใช้สาร Ethephon 2,000 ส่วนในล้านส่วน ในสัดส่วน 10 มิลลิลิตรต่อ1ลิตรของบรรยากาศ จะเกิดก๊าซเอทธิลีน รมผลพลับนาน 5-7 วัน จะช่วยให้ผลพลับสุกได้เร็วขึ้นและหายฝาดได้ แต่วิธีนี้ผลพลับจะฉ่ำน้ำเกินไป ทำให้รสชาติไม่ดี



รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของ Kaki tannin (Itoo, 1986)



รูปที่ 2.4 ภาพตัดขวางในส่วน Epicarp ของพลับ (Itoo, 1986)

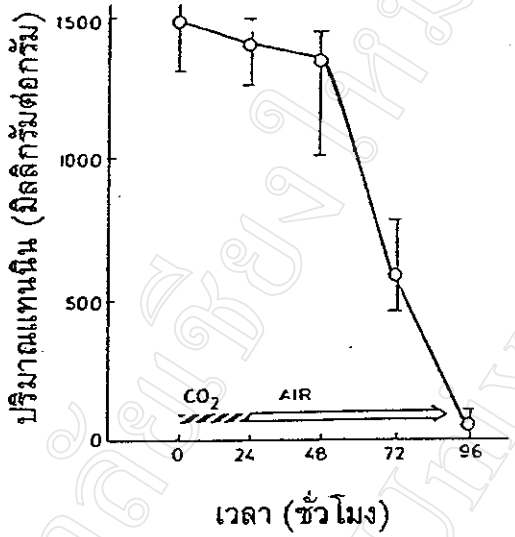
รูปที่ 2.5 ลักษณะเซลแทนนิน (Itoo, 1986)

2.3.5 การรมด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

วิธีเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ผลพลับที่ผ่านขบวนการนี้จะหายฝาดภายใน 5 วัน และมีเนื้อผลแน่นแข็งอยู่ วิธีนี้ผลจะสะอาด ไม่มีคราบปูนจับเช่นที่เกิดขึ้นเมื่อใช้น้ำปูนใส และเมื่อเก็บผลพลับที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสสามารถเก็บรักษาผลพลับได้นาน 1 เดือน (Itoo, 1986 ; นพดล, 2537)

วิธีรมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์วิธีใหม่ที่นำมาใช้ คือวิธี Constant Temperature Short Duration(CTSD) ซึ่งมีขั้นตอนในการปฏิบัติด้วยการนำพลับมาอัดด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในภาชนะปิดที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 18-24 ชั่วโมง แล้วตามด้วยการเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 3 วัน พลับจะลดความฝาดลงไปได้อย่างดีเยี่ยม และมีคุณภาพของผลพลับที่ดี กล่าวคือ เนื้อยังคงคุณภาพแน่นแข็งและไม่นิ่มเละ รูปที่ 2.6 แสดงการลดลงไปของปริมาณแทนนินของพลับ เมื่อทำวิธีการลดความฝาดด้วย CTSD-CO_2 โดยจะเห็นได้ว่าพลับที่เก็บไว้ในสภาวะที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นาน 24 ชั่วโมง และนำพลับมาไว้ในอากาศปกติที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 24-48 ชั่วโมง ทำให้ปริมาณแทนนินที่

เป็นสาเหตุของความฝาดในพลับมีปริมาณลดลงไปอย่างมาก ทั้งนี้อาจใช้ Dry ice (Solid-CO_2) ที่มากเพียงพอในการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยการใส่ไปในภาชนะที่ปิดสนิทไว้นาน 3-4 วัน



รูปที่ 2.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแทนนินของพลับในการลดความฝาดด้วยวิธีการรมด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Itoo, 1986)

2.3.6 การแช่เยือกแข็ง

เมื่อนำพลับมาแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 10-90 วัน จะสามารถทำให้ความฝาดลดลงได้ แต่ปริมาณการลดน้อยลงไปของปริมาณแทนนินต้องขึ้นอยู่กับความแตกต่างของพันธุ์พลับด้วย และวิธีการนี้ไม่สามารถทำให้ความฝาดของพลับหายไปจนหมดได้

2.3.7 การฉายรังสี

การฉายรังสีพลับ กระทำโดยใช้รังสี X-ray ที่มีความเข้มของรังสีเป็น 0.15-0.25 Mrad จากแหล่งรังสีโคบอลต์ จะสามารถลดความฝาดของพลับได้และทำให้ผลพลับมีเนื้อสัมผัสที่นิ่มขึ้น (Itoo, 1986)

2.4 กลไกการลดความฝาดของพลับ

การลดความฝาดของพลับ (*Diospylos kaki L.*) มีได้หลายวิธีดังที่กล่าวมาแล้ว โดยมีพื้นฐานของการลดความฝาดด้วยการจัดพลับให้อยู่ในสภาวะที่ไม่มีอากาศ (Anaerobic condition) หรือการให้อยู่ในสภาพที่มีการหายใจแบบไม่มีอากาศ (Anaerobic respiration) โดยการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(CO_2) อะซิตัลดีไฮด์(Acetaldehyde) และ เอธานอล(Ethanol) (Pesis et al., 1986) การปฏิบัติการลดความฝาดที่มีประสิทธิภาพ กระทำด้วยการนำพลับให้อยู่ในบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณร้อยละ 80 เป็นเวลา 1-3 วัน ทั้งนี้ต้องขึ้น

อยู่กับปัจจัยต่างๆ คือ พันธุ์ อุณหภูมิ และสภาพความแก่อ่อน (Stage of maturity) การลดความฝาดด้วยการจัดสภาพบรรยากาศนั้นมีความเกี่ยวข้องของปฏิกิริยาด้วยกัน 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกในสภาพที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือในสภาพที่เป็น Anaerobiosisนี้ ทำให้เกิดการสร้างอะซิตัลดีไฮด์ ซึ่งเป็นผลให้เกิดปฏิกิริยาในขั้นที่สองด้วยการเปลี่ยน Soluble tannin ไปเป็น Insoluble tannin (Gazit and Adato, 1972) โดยที่การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนั้น ไม่อาจเปลี่ยน Soluble tannin ให้ไปเป็น Insoluble tannin ได้ทั้งหมด งานวิจัยมากมายได้ชี้ให้เห็นถึงการใช้เอธานอล และ อะซิตัลดีไฮด์ ต่อความสัมพันธ์ในการเปลี่ยน Soluble tannin ที่เป็นสารที่ให้รสชาติฝาดอยู่ในรูปที่เป็น Insoluble tannin โดยการทำงานของอะซิตัลดีไฮด์ที่ไปจับกับสารแทนนินให้อยู่ในลักษณะเจล (Itoo and Matsou, 1982)

กลไกในการลดความฝาดของพลับมีความเกี่ยวข้อง 2 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 : สภาพที่เป็น Anaerobic stage โดยมีสารอะซิตัลดีไฮด์ที่มีความเกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการลดลงของความฝาด

ขั้นตอนที่ 2 : สภาพที่เป็น Aerobic stageที่มีการเกิด Nonenzymatic reaction ระหว่างอะซิตัลดีไฮด์ กับ Soluble tannin

2.4.1 ขั้นตอนที่ 1 Anaerobic stage

เอนไซม์มีความเกี่ยวข้องใน Pathway ของการลดความฝาดในสภาพ Anaerobic ต่อการเปลี่ยนแปลงกรดไพรูวิค ไปเป็นอะซิตัลดีไฮด์ และ เอธานอล ซึ่งการทำงานของเอนไซม์จะถูกยับยั้งได้ที่อุณหภูมิมากกว่า 60 องศาเซลเซียส โดยเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวคือ เอนไซม์ Pyruvate Decarboxylase (PDC) และเอนไซม์ Alcohol dehydrogenase (ADH)เป็นเอนไซม์ที่เปลี่ยนเอธานอลไปเป็นอะซิตัลดีไฮด์ โดยเอนไซม์ทั้งสองไม่สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

2.4.2 ขั้นตอนที่ 2 Aerobic stage

ดังนั้นจะเห็นได้ว่ามีความเกี่ยวข้องในขั้นตอนแรกของ Anaerobic condition ในการผลิตอะซิตัลดีไฮด์ จากนั้นสารอะซิตัลดีไฮด์ที่เกิดการผลิตขึ้นนั้นจะเป็นตัวนำไปสู่การเปลี่ยนโครงสร้างของสารแทนนินจากรูปที่เป็น Soluble tannin ไปเป็น Insoluble tannin ในขั้นตอนที่สองซึ่งเป็น Nonenzymatic reaction ทำให้ความฝาดหายไปได้ (Gazit and Adato,1972 ; Ben-Arie et al.,1988)

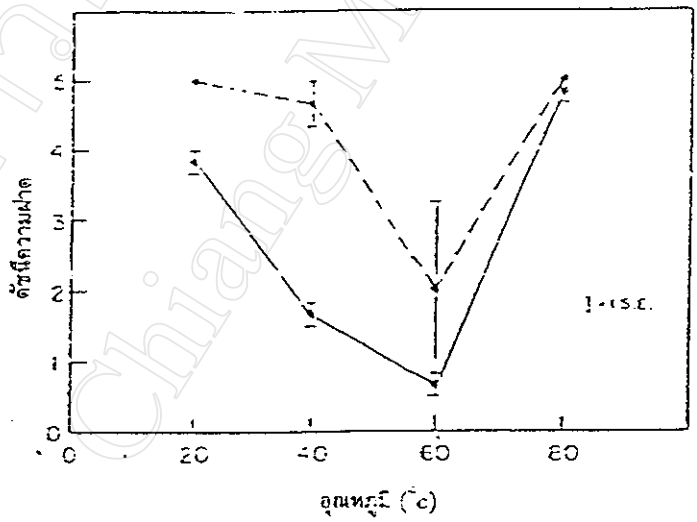
2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการลดความฝาดของพลับ

ในการลดความฝาดของพลับมีความเกี่ยวข้องของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ รวมไปถึงการเปลี่ยนรูปไปของแทนนินจากรูปของสารที่ละลายน้ำได้ไปเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ ทำให้พลับหายจากความฝาดได้ ทั้งนี้ปัจจัยที่มีผลดังกล่าวมีดังต่อไปนี้

2.5.1 ผลของอุณหภูมิต่อความฝาด (Effect of temperature on astringency)

การลดความฝาดของพลับมีความเกี่ยวข้องของการทำงานของเอนไซม์ PDC และ ADH ดังนั้นการทำงานของเอนไซม์จะเกิดกิจกรรมที่เหมาะสมได้นั้นย่อมมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ จากการทดลองศึกษาถึงอุณหภูมิต่อการลดความฝาดของพลับ พบว่าการจุ่มพลับพันธุ์ Triumph ในน้ำ อุณหภูมิ 20-80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง แสดงผลการลดลงของระดับของความฝาดภายหลังจากการให้ความร้อนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (รูปที่2.7) โดยที่พลับยังคงมีลักษณะเนื้อที่สัมผัสที่แน่นแข็งดี

จากกราฟสังเกตได้ว่าที่ระดับอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่ทำการวิเคราะห์ทันทีหลังจากผ่านการจุ่มในน้ำร้อน มีการลดลงของความฝาดเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อวางทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วนำมาวิเคราะห์พบว่า มีการลดลงของความฝาดอย่างมาก ที่ระดับอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พลับที่ทำการวิเคราะห์ทันทีหลังผ่านการจุ่มน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสจะมีการลดลงของความฝาดมากกว่าที่ 40 องศาเซลเซียส และเมื่อทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงพบว่าความฝาดนั้นลดลงไปอีก แต่ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสพบว่า ไม่มีการเปลี่ยนไป หรือการลดลงไปของความฝาดในพลับแต่อย่างใด แสดงให้เห็นได้ว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์จะอยู่ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ดังนั้นการใช้อุณหภูมิของน้ำร้อนในการลดความฝาดที่น้อยหรือมากกว่า 60 องศาเซลเซียส กิจกรรมของเอนไซม์จึงเกิดได้น้อย



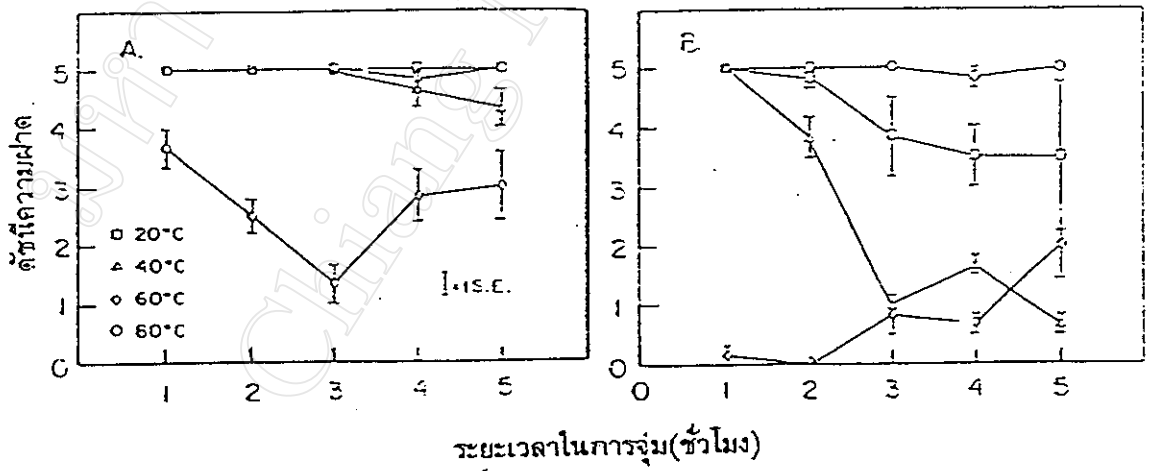
รูปที่ 2.7 การลดความฝาดของพลับพันธุ์ Triumph ด้วยการจุ่มในน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆเป็นเวลา 4 ชั่วโมง (Ben-Arie and Sonego, 1993)

(————) วิเคราะห์หาระดับความฝาดทันทีภายหลังจากการผ่านการจุ่มในน้ำร้อน

(————) วิเคราะห์หาระดับความฝาดภายหลังวางไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

(ดัชนีความฝาด : 0 = Nonastringent , 5 = 100 % Astringent)

การทดลองถึงผลของปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา ในรูปที่2.8 (A) พบว่าที่อุณหภูมิ 20 และ 80 องศาเซลเซียส (ภายหลังจากการจุ่มน้ำร้อนแล้วนำมาวิเคราะห์ทันที) ไม่มีผลต่อการลดลงไปของความฝาด แต่มีการลดลงของความฝาดเพียงเล็กน้อยที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเมื่อใช้เวลาในการจุ่มนาน 4 ชั่วโมง การลดลงของความฝาดในพลับเมื่อจุ่มน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะมีการลดลงของความฝาดอย่างมาก และพบว่าเมื่อเวลานานขึ้น (มากกว่า 3 ชั่วโมง) ความฝาดของพลับเพิ่มขึ้นมาอีกครั้ง ในรูปที่ 2.8(B) แสดงถึงผลของอุณหภูมิต่อการลดลงไปของความฝาด เมื่อทำการจุ่มน้ำร้อนที่ระดับต่างๆ เป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้ว จึงนำมาวิเคราะห์ระดับของความฝาด ชี้ให้เห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง หรืออุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง มีการลดลงของความฝาด แต่ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ไม่มีผลต่อการลดลงไปของระดับความฝาดและพบว่าอาจจะไม่มีการต่อเนื่องในการลดลงไปของความฝาดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในเวลา 5 ชั่วโมง กล่าวคืออาจมีการเพิ่มขึ้นมาอีกครั้งของความฝาดในพลับนั่นเอง โดยที่ชั่วโมงที่ 5 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระดับของความฝาดอาจจะเพิ่มสูงขึ้นมาอีกครั้งได้ ดังนั้นจึงพอสรุปถึงผลของอุณหภูมิและเวลาในการลดความฝาดนี้ได้คือ การจุ่มพลับในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ทำให้มีการลดลงไปของความฝาดอย่างมีประสิทธิภาพ แต่ถ้าเวลานานขึ้นความฝาดจะเกิดขึ้นมาอีกครั้ง ทั้งนี้ที่อุณหภูมิสูง 80 องศาเซลเซียส จะไม่มีประสิทธิภาพต่อการลดลงไปของความฝาดแต่อย่างใด



รูปที่ 2.8 ผลของอุณหภูมิต่อการลดลงไปของความฝาดในพลับพันธุ์ Triumph (Ben-Arie and Sonego, 1993)

(A) วิเคราะห์หาระดับความฝาดในทันทีภายหลังจากการจุ่มในน้ำร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ

(B) วิเคราะห์หาระดับความฝาดภายหลัง 24 ชั่วโมง จากการจุ่มในน้ำร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ

(ดัชนีความฝาด : 0 = Nonastringent , 5 = 100 % Astringent)

2.5.2 การผลิตสารระเหยง่ายในพลับที่ปฏิบัติด้วยความร้อน

(Volatile production in heat-treated persimmon)

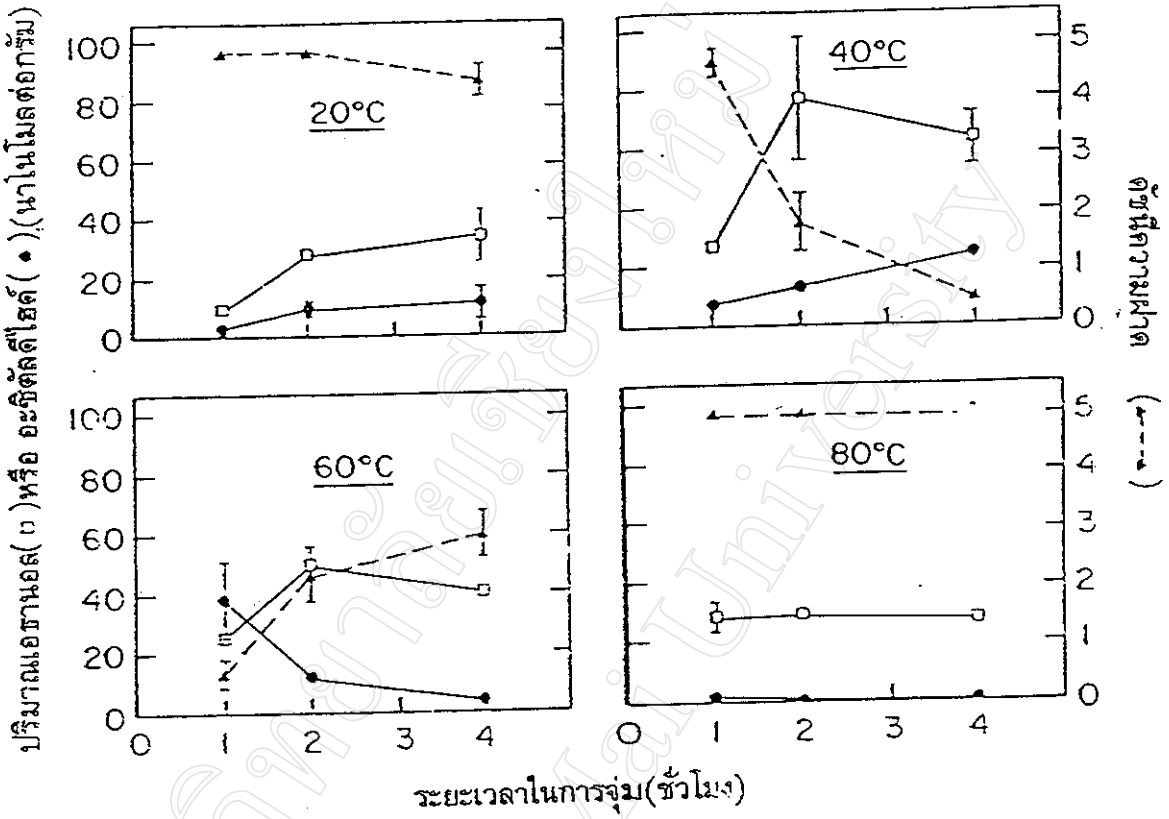
ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิต่อการทำงานของเอนไซม์ มีผลต่อการผลิตสารเอธานอล และ อะซิตัลดีไฮด์ ได้แตกต่างกันด้วย ซึ่งเป็นผลต่อกลไกในการลดความฝาดของพลับได้ จากการศึกษาพบว่า พลับที่ได้รับความร้อนภายหลังจากการจุ่มในน้ำร้อนเป็นเวลา 20 ชั่วโมง แสดงถึงปริมาณเอธานอล และ อะซิตัลดีไฮด์ ที่เกิดขึ้นได้ดังรูปที่ 2.9 พบว่าพลับที่จุ่มในน้ำอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสมีการผลิตสารทั้งสองในปริมาณมากกว่าที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีการลดลงของความฝาดตามปริมาณสารระเหยง่ายทั้งสองที่เพิ่มขึ้น ซึ่งในพลับที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 20 และ 80 องศาเซลเซียส ไม่มีการลดลงไปของความฝาดโดยมีการผลิตเอธานอลเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ไม่มีการผลิตของอะซิตัลดีไฮด์เลย ทั้งนี้ระดับปริมาณเอธานอลอยู่ในระดับเดียวกับเอธานอลในตัวอย่างควบคุม (20 องศาเซลเซียส) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีการลดลงของความฝาดที่มีการจุ่มนานแค่ 1 ชั่วโมง โดยที่เวลา 30 นาที ยังไม่มีการลดลงไปของความฝาดแต่อย่างใด และเมื่อใช้เวลาในการจุ่มน้ำร้อนนานขึ้น พบว่ามีค่า ดัชนีความฝาด (Astringency index) เพิ่มมากขึ้น ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง มีการผลิตของอะซิตัลดีไฮด์ สูงกว่าที่ระดับอุณหภูมิอื่นๆ และที่ 40 องศาเซลเซียส มีปริมาณของเอธานอลมากกว่าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากเอธานอลอาจจะมีอยู่ในพลับที่ฝาดมากกว่าพลับที่ไม่ฝาด

ดังนั้นจึงจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิมีความสำคัญต่อการเกิดกิจกรรมของเอนไซม์ โดยการผลิตสารเอธานอล และ อะซิตัลดีไฮด์ เพื่อการเปลี่ยนรูปของสารแทนนินให้ไม่มีรสชาติฝาดเกิดขึ้นในพลับได้อย่างเหมาะสม

2.5.3 ผลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการลดความฝาด

(CO_2 effect on removal of astringency)

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีหน้าที่ในการจัดสภาวะการหายใจของพลับในแบบที่ไม่ใช้ออกซิเจนที่เป็นผลให้มีการผลิตสารเอธานอล และ อะซิตัลดีไฮด์ จากนั้นสารนี้สามารถเปลี่ยน Soluble tannin ไปเป็น Insoluble tannin ได้ โดยจากการศึกษาพบว่า ไม่มีการลดลงไปของความฝาดของพลับที่จุ่มในน้ำอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แต่เมื่อตามด้วยการรมด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 80 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง สามารถลดความฝาดของพลับได้ อย่างไรก็ตามความฝาดหรือ



รูปที่ 2.9 ผลของอุณหภูมิต่อการลดลงไปของความฝาด และการผลิตสารระเหยง่ายของพลับพันธุ์Triumph เมื่อทำการจุ่มในน้ำร้อนอุณหภูมิต่าง ๆ นาน 20 ชั่วโมง (Ben-Arie and Sonego, 1993)

(ดัชนีความฝาด : 0 = Nonastringent , 5 = 100 % Astringent)

Tannin solubility ในพลับที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีการลดลงไปของความฝาดอย่างมาก โดยสังเกตได้จากมีการเปลี่ยนไปของปริมาณ Soluble tannin ไปเป็น Insoluble tannin และที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีการลดลงของความฝาดเพียงเล็กน้อย(ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.2 ผลของการรมด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 80 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 ชั่วโมง ต่อค่าดัชนีความฝาด ปริมาณแทนนินละลายน้ำและแทนนินที่ไม่ละลายน้ำในพลับ Triumph ที่จุ่มในน้ำร้อนระดับอุณหภูมิต่าง ๆ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

สิ่งทดลอง		ดัชนีความฝาด[a]	ปริมาณแทนนิน (มิลลิกรัมต่อกรัมอาหาร)	
อุณหภูมิ (°ซ)	CO_2		แทนนินที่ละลายน้ำ[b]	แทนนินที่ไม่ละลายน้ำ[c]
20	-	5.0	20.0±1.28[d]	2.7±0.46
	+	1.0	0.6±0.17	19.5±1.81
40	-	3.5	19.5±1.90	4.0±0.16
	+	0.1	0.3±0.02	18.6±1.27
60	-	0.2	2.7±0.54	19.4±2.46
	+	0	2.5±1.20	23.4±3.05
80	-	4.9	16.7±0.74	4.4±0.26
	+	3.5	11.7±0.95	7.5±0.60

[a] 0 = Nonastringent , 5 = 100% Astringent , [b] Soluble in methanol , [c] Soluble in 1 % HCL in methanol

[d] = ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ที่มา :Ben-Arie and Sonego, 1993

2.5.4 ผลของอะซิตัลดีไฮด์และเอธานอลต่อการลดความฝาด

(Acetaldehyde and ethanol effects on astringency)

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นถึงความสัมพันธ์ของการมีสารเอธานอลและอะซิตัลดีไฮด์กับความสามารถในการเปลี่ยนโครงสร้างของแทนนินที่ทำให้ไม่ฝาดได้นั้น ปริมาณของสารทั้งสองย่อมมีผลต่อการลดลงไปของความฝาดได้มากน้อยแตกต่างกันไป และจากการศึกษา (ตารางที่ 2.3) พบว่าพลับที่ทำการจุ่มในน้ำร้อนนาน 2 ชั่วโมง ที่เก็บในสภาพบรรยากาศปกติมีการลดลงไปของความฝาดบ้างที่อุณหภูมิ 40 หรือ 60 องศาเซลเซียส และจะเห็นได้ว่าในสภาพที่เป็นอะซิตัลดีไฮด์สามารถลดความฝาดของพลับได้จนเหลือค่าดัชนีความฝาดเป็นศูนย์ นั่นคือไม่มีความฝาดเลยในทุกอุณหภูมิ ในการรมด้วยเอธานอลจะเห็นว่ามีการลดความฝาดของพลับได้ที่อุณหภูมิ 20 และ 40 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีการลดความฝาดเพียงเล็กน้อย และที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสไม่มีการเปลี่ยนไปของความฝาดเลย แต่ทั้งนี้ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศปกติมีความฝาดที่น้อยเนื่องจากพลับดังกล่าวอาจมีความสุกมากเกินไป จึงเห็นได้ว่าการนำพลับไปไว้ในสภาพที่มีเอธานอล หรืออะซิตัลดีไฮด์ จะสามารถลดความฝาดได้

2.5.5 ผลของอุณหภูมิและเวลาต่อการเกิดความฝาดกลับมาอีก

(Temperature and time effect on reversal of astringency)

อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่ช่วยในการลดความฝาด แต่ความแปรปรวนของอุณหภูมิและเวลาที่ไม่เหมาะสมก็อาจเป็นสาเหตุให้ความฝาดของพลับเกิดมาอีกครั้งได้ ในตารางที่ 2.4 แสดงถึงพลับพันธุ์ Triumph ที่ผ่านการลดความฝาดด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้วจุ่มในน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่าความฝาดของพลับกลับมีขึ้นมาอีกครั้งเมื่อทำการแช่ในน้ำร้อนนานมากกว่า 1 ชั่วโมง โดยที่อุณหภูมิ 60 และ 80 องศาเซลเซียส กลับมีความฝาดเกิดขึ้นมาอีกโดยพิจารณาได้จากปริมาณแทนนินที่ละลายน้ำได้ที่ยังคงตรวจพบได้ ดังนั้นการใช้อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมภายหลังจากการรมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในการลดความฝาดของพลับก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่จำต้องคำนึงถึง

ตารางที่ 2.3 ผลของอะซิตัลดีไฮด์ (2,500 $\mu L.L.^{-1}$ นาน 24 ชั่วโมง) และเอธานอล (17,500 $\mu L.L.^{-1}$ นาน 48 ชั่วโมง) ตามด้วยการจุ่มในน้ำร้อนนาน 2 ชั่วโมง ต่อการลดความฝาดของพลับเมื่อเวลาผ่านไป 72 ชั่วโมง

อุณหภูมิในการจุ่ม (°ซ)	ดัชนีความฝาด[a]		
	อากาศปกติ	อะซิตัลดีไฮด์	เอธานอล
20	4.7	0	0
40	3.8	0	0
60	1.5	0	4.5
80	4.7	0	5

[a] 0 = Nonastringent , 5 = 100 % Astringent

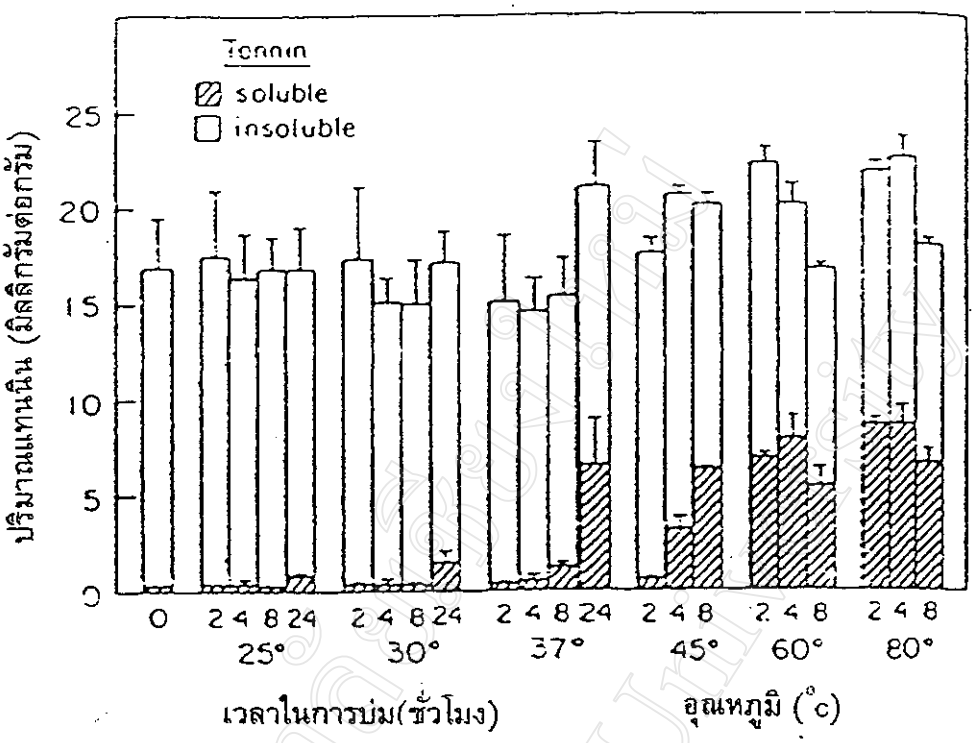
ที่มา :Ben-Arie and Sonego, 1993

ตารางที่ 2.4 การเปลี่ยนสารแทนนินที่ละลายน้ำไปเป็นแทนนินที่ไม่ละลายน้ำ เพื่อลดความฝาดของพลับด้วยการรมด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แล้วตามด้วยการจุ่มในน้ำอุณหภูมิต่าง ๆเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิในการจุ่ม (°ซ)	ดัชนีความฝาด[a]	ปริมาณแทนนิน (มิลลิกรัมต่อกรัมอาหาร±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	
		แทนนินที่ละลายน้ำ[b]	แทนนินที่ไม่ละลายน้ำ[c]
20	0	0.4±0.02	20.5±0.23
40	0	0.5±0.03	17.0±0.17
60	2	7.3±0.25	15.8±0.56
80	4	8.0±0.31	13.4±0.35

[a] 0 = nonastringent , 5 = 100% astringent [b] Soluble in methanol [c] Soluble in 1% HCl in methanol [d] = ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ที่มา :Ben-Arie and Sonego, 1993



รูปที่ 2.10 อุณหภูมิและเวลาที่มีผลต่อการเกิดแทนนินที่ละลายน้ำได้อีกครั้ง ในพลับพันธุ์ Triumph ที่ไม่มีความฝาดด้วยการจุ่มในน้ำร้อน (Ben-Arie and Sonego,1993)

ในรูปที่2.10 แสดงถึงพลับพันธุ์ Triumph ที่ผ่านการรมด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จนไม่มีความฝาด เมื่อนำไปแช่ในน้ำร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ พบว่าที่อุณหภูมิต่ำจะมีการเปลี่ยนไปของการเพิ่มความฝาดได้น้อย โดยเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ความฝาดเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ โดยที่อุณหภูมิสูงมากขึ้นมีผลทำให้ความฝาดของพลับเกิดกลับมาได้อีกครั้ง ทั้งนี้ในปริมาณแทนนินที่ระดับมากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อกรัม จะทำให้ผู้บริโภครู้สึกรับรสชาติฝาดนี้ได้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง และที่ 37 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่ปริมาณแทนนินยังน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อกรัม จึงไม่สามารถรับรู้รสฝาดของพลับได้ จึงทำให้ทราบได้ถึงความสำคัญของเวลาในการรมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต้องมีเวลาที่เหมาะสมในการนำไปปฏิบัติการลดความฝาดพลับ

2.6 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ในอาหารกึ่งแห้ง

(Chemical and non-enzymatic changes in intermediate moisture foods)

อาหารกึ่งแห้งเป็นอาหารที่มีปริมาณความชื้นต่ำคิดเป็นร้อยละ 30 จากปริมาณน้ำที่มีอยู่น้อยดังกล่าวทำให้ลดการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ได้ แต่อย่างไรก็ตามในอาหารประกอบด้วยองค์ประกอบต่างๆ คือ ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และโปรตีน ที่ยังคงมีน้ำเป็นตัวร่วมในการดำเนินไปของปฏิกิริยาได้ ปฏิกิริยาออกซิเดชั่นสามารถเกิดได้ในอาหารที่มีไขมันเป็น

องค์ประกอบ และปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Non-enzymatic browning reaction หรือ Maillard reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างคาร์โบไฮเดรตกับกรดอะมิโนหรือโปรตีน ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวทำให้เกิดการสูญเสียสารอาหารต่างๆที่มีอยู่ในอาหาร และเกิดกลิ่น-รสชาติที่ผิดปกติ ทั้งปฏิกิริยาออกซิเดชั่น และ Maillard reaction เป็นปฏิกิริยาที่ว่องไวต่อปริมาณน้ำที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในอาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่งในอาหารที่เป็นอาหารกึ่งแห้ง สามารถพบปฏิกิริยาทั้งสองเกิดขึ้นได้ แต่ในพลับนั้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นอาจจะมีความสำคัญไม่มากนัก จึงขอกล่าวถึงทฤษฎีของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นในอาหารกึ่งแห้งโดยทั่วไปดังต่อไปนี้

2.6.1ปฏิกิริยาออกซิเดชั่น

ไขมันที่ประกอบไปด้วย Polyunsaturated fatty acid ที่เป็นองค์ประกอบในอาหารจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นได้ โดยมีความเกี่ยวข้องกับการเกิด Radical และตัวเร่งพวกโลหะหนักตลอดจนวิตามินที่จำเป็นต่อร่างกายก็สามารถเกิดปฏิกิริยานี้ด้วย ซึ่งปัจจัยต่างๆที่มีอิทธิพลต่อการเสื่อมเสียคุณภาพของน้ำมันและไขมัน ได้แก่ ชนิดและปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในอาหาร สารตัวเร่ง แสงแดด ความร้อน โลหะ ปริมาณออกซิเจนที่ไขมันและน้ำมันได้รับ และปริมาณความชื้นในอาหาร (William, 1976)

2.6.1.1 กลไกและไคเนติคของการเติมออกซิเจนของน้ำมันและไขมัน

การเสื่อมคุณภาพของน้ำมันและไขมันในอาหารเกี่ยวข้องโดยตรงกับปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนซึ่งจะมี Secondary reactions เกิดขึ้นอยู่เสมอ กลไกของการเติมออกซิเจนแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ตามรูปที่ 2.11

คำอธิบายขั้นตอนต่าง ๆ ของการเกิดออกซิเดชั่นน้ำมันและไขมัน

ขั้นตอนที่ 1. น้ำมันและไขมันเมื่อถูกปัจจัยที่ทำให้เกิดการออกซิเดชั่น เช่น แสงแดดหรือแสงสว่าง อิเลคตรอนจะได้รับพลังงานมากขึ้นกว่าแรงดึงดูดระหว่างอะตอมของคาร์บอนกับอะตอมของไฮโดรเจน อะตอมของไฮโดรเจนของคาร์บอนตัวที่ติดกับพันธะคู่ (Methylenic carbon atom)จะหลุดไปทำให้กรดไขมันเกิดเป็น Free radical ขึ้นทำให้รวมกับออกซิเจนได้อย่างดี

ขั้นตอนที่ 2. และ 3. เมื่อกรดไขมันที่เป็น Free radical รวมกับออกซิเจนเกิดเป็น Peroxide free radical ขึ้นแล้ว สารประกอบดังกล่าวจะรวมกับไฮโดรเจนจาก Fatty acid free radical ได้เป็น Hydroperoxide

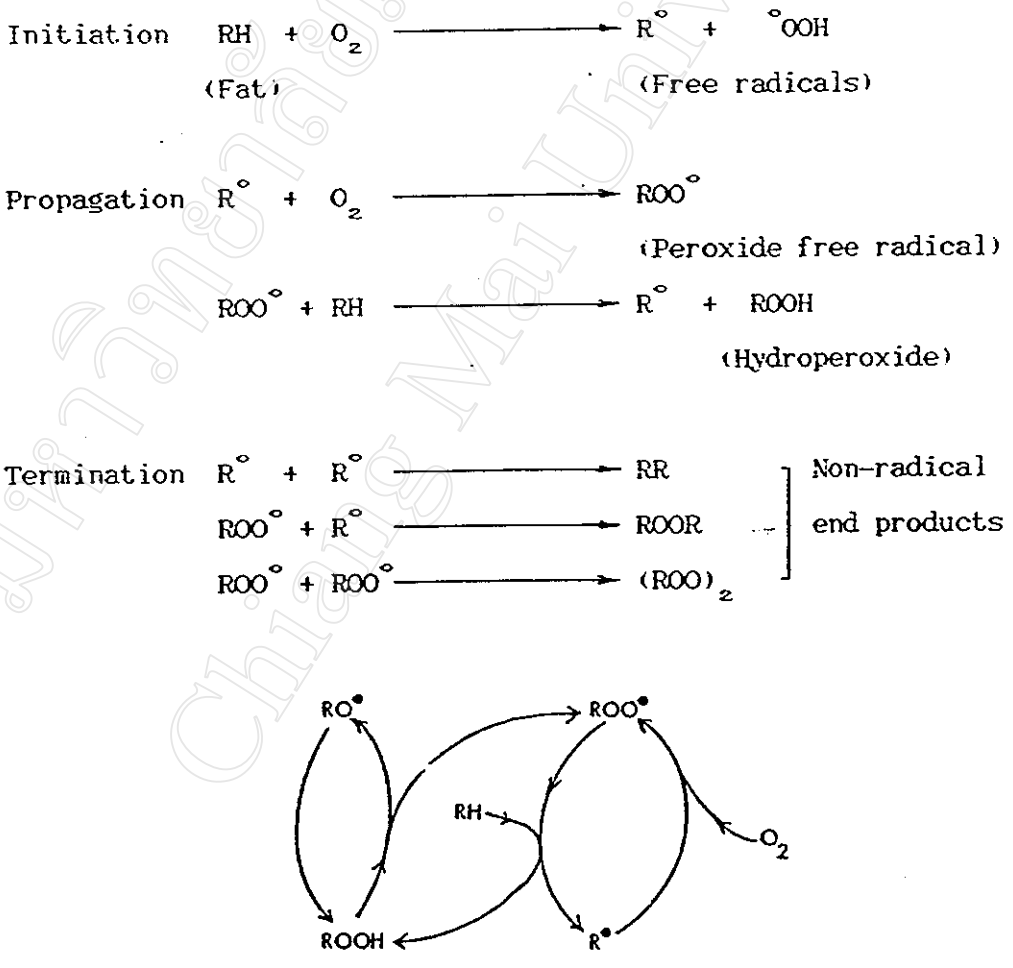
ขั้นตอนที่ 4. Peroxide free radical อาจรวมกับ Hydrogen free atom (H°) 1 อะตอมทำให้เกิด Hydroperoxide ปฏิกิริยาก็จะสิ้นสุดลง ทำนองเดียวกับ Peroxide ทำปฏิกิริยากับ Fatty acid free radical เกิดเป็น Peroxide ปฏิกิริยาก็จะสิ้นสุดลง

เมื่อเกิด Hydroperoxide ซึ่งเป็น Primary oxidation product ขึ้นแล้ว Hydroperoxide เหล่านั้นจะสะสมกันเป็นจำนวนหนึ่ง แล้วสลายตัวต่อเกิดสารประกอบหลายประเภท ซึ่งเรียกว่า Secondary oxidation products สารประกอบเหล่านี้บางประเภทเป็น

สาเหตุทำให้เกิดการเหม็นหืน (Racidity) ขึ้นในน้ำมันและไขมัน หรืออาจจะสลายตัวต่อไปเป็น Radical ใหม่ (ไพโรจน์, 2539)

2.6.1.2 ผลของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น

การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไขมันทำให้เกิดการ Polymerization และเกิดกลิ่นหืน (Rancidity) ที่เกิดจาก Lipid radical และ สารประกอบคาร์บอนิลที่ระเหยได้ง่าย และ Free radical ที่เกิดขึ้นสามารถเกิดปฏิกิริยาจับกับกรดอะมิโนใน Maillard reaction ทำให้เกิด Aldehydic และ Ketonic oxidation ที่ทำให้เกิดกลิ่นหืนได้ ทั้งนี้วิตามินซี (Ascorbic acid) จะถูกทำลายโดยปฏิกิริยาออกซิเดชั่นได้ด้วยการทำงานของ Free radical อัตราการเกิดขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่เพิ่มมากขึ้น และความชันหนืดของน้ำในการเคลื่อนที่เข้าทำปฏิกิริยา โดยเมื่อมีความชันหนืดลดลงการเกิดปฏิกิริยาก็จะเกิดได้มากขึ้น (William, 1976)



รูปที่ 2.11 กลไกการเติมออกซิเจนในน้ำมันและไขมัน
(William, 1976 และ Deman, 1990)

2.6.1.3 วิธีการควบคุมปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของน้ำมันและไขมัน

1.การใช้สารกันหืน

สารกันหืนเป็นสารที่ยับยั้งหรือควบคุมการเสื่อมเสียคุณภาพของไขมัน เนื่องจากการเติมออกซิเจน จำแนกเป็น 2 ประเภท ดังนี้คือ

1.1 สารประเภท Antioxidants เป็นสารที่ยับยั้งการเติมออกซิเจนโดยตรง เช่น สารประเภท Phenol ในธรรมชาติ ได้แก่ Tocopherol และสาร Phenol สังเคราะห์ เช่น Butylated Hydroxy Toluene (BHT) Butylated Hydroxy Anisole(BHA) และ Propyl Gallate เป็นต้น ตามปกติ Antioxidant จะให้ไฮโดรเจน หรือเป็น Free radical acceptor

1.2 สารประเภท Synergist เป็นสารที่ป้องกันการเหม็นหืนได้น้อยมาก หรือไม่ได้เลย แต่ตัวมันเองช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของสาร Antioxidant เช่น วิตามินซี กรดซิตริค กรดฟอสฟอริค เป็นต้น โดยสารประเภทนี้จะเป็นตัวให้ไฮโดรเจนแก่ Antioxidant radical ทำให้Antioxidant กลับมีประสิทธิภาพสูงขึ้นขณะเดียวกันมันยังมีคุณสมบัติในการเป็น Chelator ของอิออนโลหะต่างๆ ด้วย

2. การทำ Hydrogenation

การทำ Hydrogenation หมายถึง การเติมไฮโดรเจนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวของไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันและไขมันตรงพันธะคู่ ทำให้การแตกตัวเป็น Free radical เกิดได้น้อยลง

3. การควบคุมอุณหภูมิต่ำ

อุณหภูมิมีผลต่ออัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาตามทฤษฎีของ Arrhenius อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น 10 องศาเซลเซียส ดังนั้นการเก็บอาหารประเภทไขมันไว้ที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาได้

4. การใช้เอนไซม์

เอนไซม์บางชนิดทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เรียกว่าเช่น Cytochrome-C จะเร่งการสลายตัวของ Unsaturated fatty acid peroxide ทำให้เกิด Inactive products นอกจากนี้ Catalase และ Glucose oxidase เป็นเอนไซม์ประเภทหนึ่งที่ยับยั้งการเติมออกซิเจนได้ และยังทำหน้าที่ป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในอาหาร ดังสมการ

$$RCHO + O_2 + H_2O \xrightarrow{\text{Glucose oxidase}} RCOOH + H_2O_2$$

$$H_2O_2 \xrightarrow{\text{Catalase}} H_2O + O_2$$

5. การกำจัดอากาศ

เพื่อเป็นวิธีการควบคุมออกซิเจนไม่ให้เข้าไปทำให้เข้าไปทำปฏิกิริยาออกซิเดชั่นได้

6. สภาพการบรรจุ

การควบคุมการเติมออกซิเจนของน้ำมันและไขมันในอาหาร อาจกระทำได้โดยการลดปริมาณออกซิเจนจากอากาศด้วยวิธีการบรรจุหีบห่อที่สามารถป้องกันการผ่านเข้าออกของออกซิเจนได้ เช่น การบรรจุในสภาพสุญญากาศ หรือในสภาพที่มีก๊าซไนโตรเจน หรือ ใช้วัสดุหีบห่อที่มีสีเข้ม ส่วนมากใช้สีน้ำตาลเพื่อป้องกันแสงสว่างและการแผ่รังสี (ไพโรจน์, 2539)

2.6.2 การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล

(Non-Enzymic browning reaction (or) maillard reaction)

การเปลี่ยนแปลงแบบนี้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของกลุ่มพวก Aldehydic หรือ Ketonic material กับพวก Amino compounds ซึ่งก่อให้เกิดสารประกอบที่มีโมเลกุลใหญ่ที่ให้สี ได้สารประกอบพวก Aldehydic และ Ketonic compounds เป็นสารพวก Carbonyl ได้แก่พวกคาร์โบไฮเดรต หรือสารที่เกิดจากการ Oxidation ของน้ำมันและไขมันก็ได้ ส่วนสารประกอบพวก Amino compounds ได้แก่ Amino acids, Protein, และ Amines เป็นต้น ปฏิกิริยานี้เรียกว่า Maillard Reaction

2.6.2.1 กลไกการเกิดสีน้ำตาลเป็นไปดังนี้

1. ปฏิกิริยาระหว่าง Aldose กับ Amino acid ก่อให้เกิด Aldosylamino acid ด้วยการเกิด Aldol condensation

2. เกิด Amadori rearrangement จะให้ Ketose amino acid (รูปที่ 2.12)

3. มีการรวม 2 โมเลกุลของ Ketose amino acids เป็น Diketose amino acid (รูปที่ 2.13)

4. Ketose amino acid และ Diketose amino acid สลายตัวให้ Carbonyl intermediates เช่น Deoxyhexosulose, Diulose, Unsaturated hexosulose (รูปที่ 2.14)

5. สารประกอบประเภท Carbonyl compound จะจับกัน Amino acid ที่เหลืออยู่ให้สารประกอบสีน้ำตาล (Browning pigment)

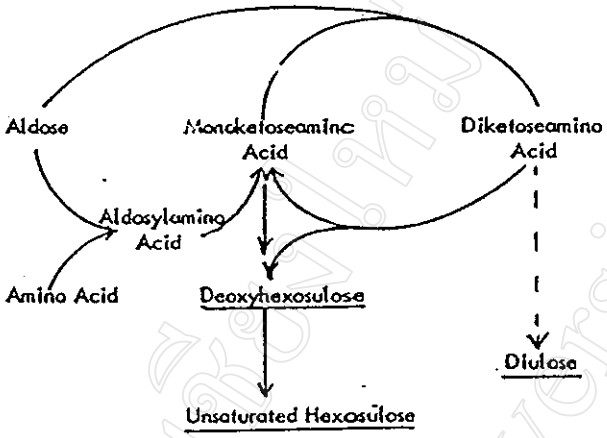
การสลาย Difructose glycine ซึ่งสามารถสลายได้ 2 ทางคือ

1. มีการสลายแบบ 1,2 enolisation

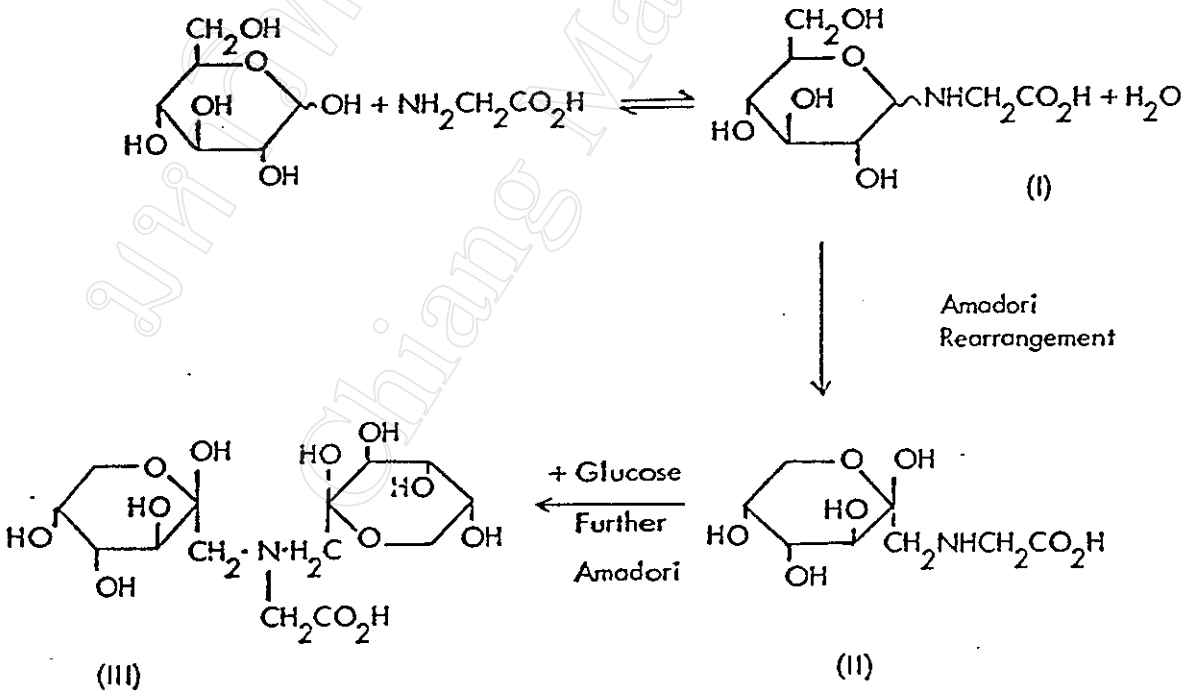
2. มีการสลายแบบ 2,3 enolisation

(1) มีการสลายแบบ 1,2 enolisation การเกิดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.14

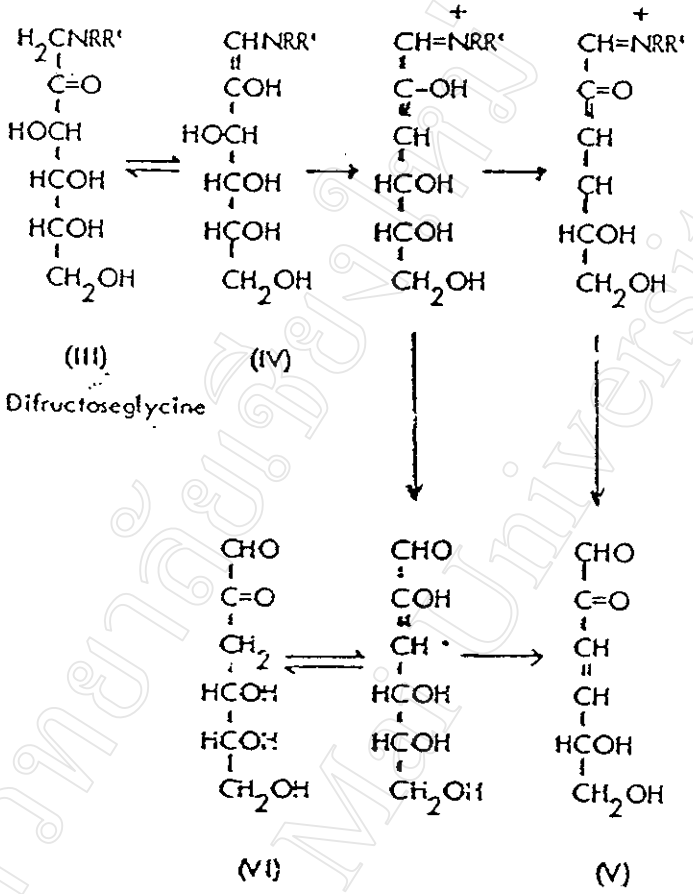
คำอธิบายรูปที่ 2.14 Difructose glycine จะมีการสลายตัวอย่างรวดเร็วเป็น Monofructose glycine แล้วสลายต่อเป็น 3-deoxyglucosulose (VI) และสลายทันทีเป็น Unsaturated osulose (V) ถ้าหาก Monofructose glycine ถูกสลายตัวจะให้ 3-deoxyglucosulose และ Unsaturated osulose เช่นกัน แต่อัตราการสลายตัวจะช้ากว่า Difructose glycine และกรดอะมิโนที่ถูกกำจัดจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง



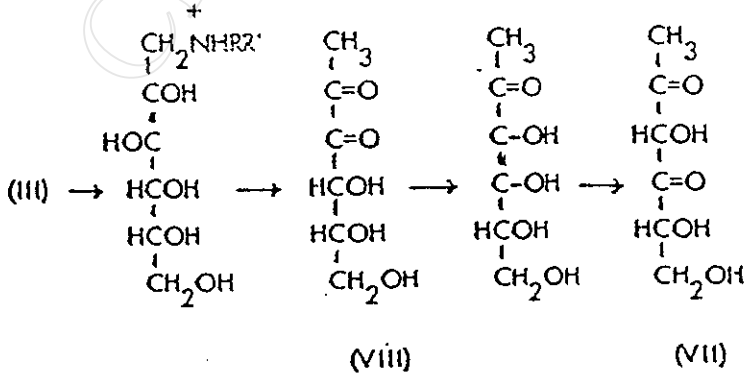
รูปที่ 2.12 ขั้นตอนแรกของการเกิดปฏิกิริยา Malliard reaction (ไพโรจน์, 2539)



รูปที่ 2.13 การรวมตัวของ Glucosyl glycine และ Fructose glycine เป็นสารประกอบ Difructose glycine (ไพโรจน์, 2539)



รูปที่ 2.14 การสลายตัวของ Difructose glycine แบบ 1,2 enolisation (ไพโรจน์, 2539)



รูปที่ 2.15 การสลายตัวของ Difructose glycine แบบ 2,3 enolisation (ไพโรจน์, 2539)

(2) มีการสลายแบบ 2,3 enolisation แสดงได้ดังรูปที่ 2.15

คำอธิบายรูปที่2.15 เริ่มจากมีการสลายตัวเป็น 2,3 diulose (VIII) ซึ่งสารประกอบตัวนี้ไม่ค่อยคงตัวหรือไม่เสถียร ต่อมาจะมีการสลายตัวทันทีเป็น 2,4 diulose (VII) การสลายตัวแบบนี้ไม่ค่อยมีความสำคัญในการรวมตัวเป็นรงควัตถุ แต่ก่อให้เกิดการผลิตสารพวกสารให้กลิ่น หรือสารระเหยได้ (Flavour and volatiles) มากกว่า

ในห้องปฏิบัติการ 3-deoxyosuloses ได้ถูกค้นพบและมีทั้งการสังเคราะห์ขึ้นมาด้วย เป็นตัวที่แสดงถึงการเกิดสีน้ำตาล และ Unsaturated osuloses ได้ถูกค้นพบเฉพาะในห้องปฏิบัติการเท่านั้น

ขั้นตอนต่อไปของปฏิกิริยามีความยุ่งยากสลับซับซ้อนมาก และไม่เด่นชัด การเกิดสารให้สีนี้มีความเชื่อว่าเกิดจากการ Aldol condensation ของ Cabonyl intermediates หรือ Products ในปฏิกิริยาต่อมา Amino acids จะเข้ามาทำปฏิกิริยาอีกครั้งหนึ่งในขั้นตอนนี้ และจะให้ Nitrogen containing pigments ที่เรียกว่า Melanoidins

ในงานวิจัยปัจจุบันได้มีการศึกษาถึง Enolic from ของ Dideoxytriketohexose ซึ่งเป็นสารตัวกลางที่จะนำมาสู่การเกิดสารให้สีในกรรมวิธี Alkaline degradation system หรือ Aldol condensation, Dehydration, Abenzilic acid-type rearrangement นอกจากนี้ยังมีผู้ทำการศึกษาแยก 5-hydroxymethylfurfural ออกมาจาก 3-deoxyhexosulose (VI) แต่ไม่ใช่เป็นตัวชักนำให้เกิดการรวมตัวเป็นรงควัตถุ ยกเว้นมีสภาพความเป็นกรดเป็นด่างที่ต่ำๆ

2.6.2.2 ปฏิกิริยาของคาร์โบไฮเดรตอื่น ๆ นอกจากกลูโคส กับกรดอะมิโน

จากข้างต้นตัวอย่างที่แสดงเป็น Glucose glycine system ส่วน Aldose อื่นๆ จะมีความแตกต่างกันในแง่ของความเร็วของการเกิดปฏิกิริยา เช่น Pentose ได้แก่ Xylose และ Ribose การเกิดสีน้ำตาลจะเร็วกว่า Hexose

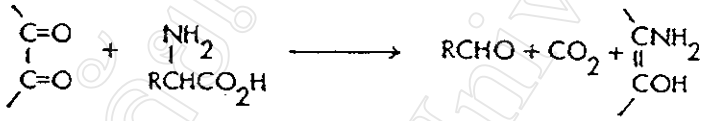
นอกจากนี้ยังมีหลักฐานการเกิดสีน้ำตาลของ Hexose (Fructose) แตกต่างจาก Aldose กล่าวคือ Fructose จะให้สีน้ำตาลช้ากว่า Glucose เนื่องจาก Aldose amino acids มีการรวมตัวได้ดีกว่า Ketose amino acids ทำให้ปฏิกิริยาการเกิดสีของ Ketose ช้ากว่านั่นเอง ซึ่งอาจจะวัดจากที่กรดอะมิโนถูกกำจัดออกจากปฏิกิริยา Enolisation ก็ได้ เพื่อเปรียบเทียบความคงตัวของน้ำตาลทั้งสองประเภทต่อการรวมตัวกับกรดอะมิโน

กรดอะมิโนในอาหารตามธรรมชาติมีผลต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยาด้วยกล่าวคือ กรดอะมิโนจะมีการรวมตัวกับ Carboxyl group อัตราเร็วของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลก็จะยิ่งเร็วขึ้น γ-amino butyric acid จะเกิดสีน้ำตาลได้เร็วกว่า α-aminobutyric acid ถ้านำ Lysine ไปแทนที่ตำแหน่ง ε-amino group การเกิดสีน้ำตาลจะรวดเร็วกว่าที่จะแทนด้วย n-leucine ที่ตำแหน่งดังกล่าว เป็นผลให้เกิดสารสีน้ำตาลและการสูญเสียคุณค่าทางอาหารอีกด้วย

แม้ว่าสีน้ำตาลที่เกิดในอาหารจะเกิดน้อยก็ตาม แต่ก็มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค สารประกอบสีน้ำตาลดังกล่าวจะมีน้ำหนักโมเลกุลมากส่วนใหญ่เป็นพวก Unsaturated polycarboxylic acid ที่มีพันธะคู่แบบ Conjugated bond ด้วย

2.6.2.3 การเกิดกลิ่นรสตามธรรมชาติเนื่องมาจาก Maillard reaction

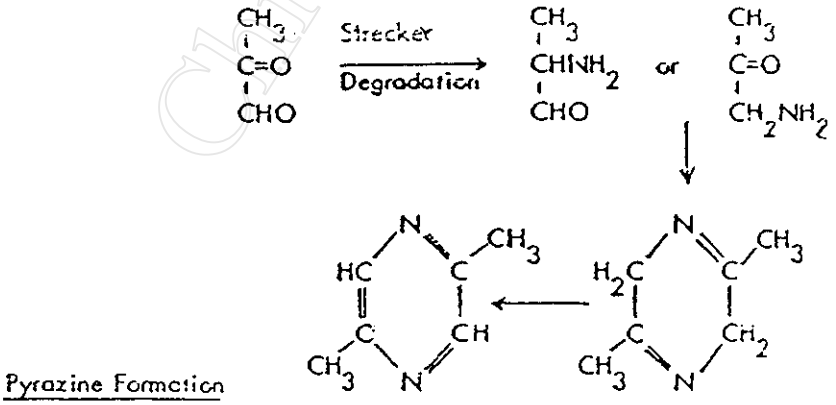
สารประกอบที่ให้สีน้ำตาลในMaillard reaction มักก่อให้เกิดสารระเหยที่มีคุณ-สมบัติให้กลิ่นได้ ได้ศึกษาวิถีทางการเกิดปฏิกิริยาให้กลิ่นที่ระเหยได้ในขั้นตอน 1,2 enolisation และ 2,3 enolisation ของการสลายตัวของ Ketose amino acids และพบว่าในปฏิกิริยา 1,2 enolisation มีความสำคัญน้อย โดยจะให้สารประกอบพวก Hydroxymethylfurfural (จาก hexose) และ Furfural (จาก pentose) และ 3-deoxyosuloses จะรวมตัวกับ Amino compounds ให้สารพวก Pyrrole aldehydes ส่วน 2,3 Enolisation จะให้สารประกอบพวก Dihydropyranones และ Furanones ในผลิตภัณฑ์มากกว่าOsuloses และสารประกอบพวก Carbonyl compounds สามารถที่จะเกิดปฏิกิริยา Strecker degradation เกิดการ Decarboxylation ของกรดอะมิโนและรวมตัวเป็นสารประกอบประเภท Aldehyde ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 การเกิดสาร Aldehyde และ Enolamines ในปฏิกิริยา Strecker degradation (ไพโรจน์, 2539)

สารประกอบ Aldehyde ที่เกิดขึ้นไม่มีผลต่อกลิ่นเท่าที่ควร ตัวที่สำคัญคือ Enolamines ซึ่งสามารถ Condense จะให้สารประกอบประเภท Substituted pyrazines ซึ่งจะให้กลิ่นที่ระเหยได้ ตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 2.17

ตัวอย่างเช่น Simple dicarbonyl compound pyruvaldehyde เมื่อเกิด Strecker degradation แล้วเกิด Condensation ต่อจะได้สารประกอบ Dimethyl pyrazine



รูปที่ 2.17 ปฏิกิริยาการสร้างสารให้กลิ่นของปฏิกิริยา Strecker degradation (ไพโรจน์, 2539)

2.6.2.4 ปัจจัยทางกายภาพที่มีอิธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล

การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Maillard reaction หรือ Non-enzymatic reaction) ขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้ (1) อุณหภูมิ (2) ความเป็นกรดเป็นด่าง และ (3) น้ำที่เป็นประโยชน์ต่อจุลินทรีย์

(1) อุณหภูมิ

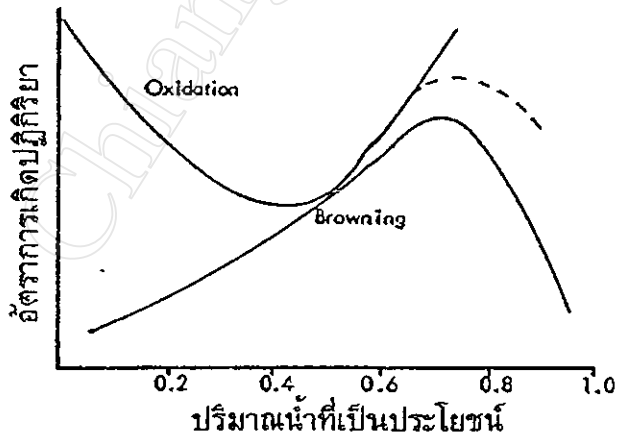
ถ้าหากอุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการเกิดสีน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส อัตราการเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้น 3-4 เท่าจากเดิม การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวก็ขึ้นกับค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อเชื้อจุลินทรีย์ด้วย ถ้าหากเพิ่มค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อจุลินทรีย์จะทำให้อุณหภูมิลดลงได้ ซึ่งมีผลต่ออัตราการเกิดสีน้ำตาลลดลง

(2) ความเป็นกรดเป็นด่าง

ถ้าหากเพิ่มความเป็นกรดเป็นด่าง จะทำให้อัตราการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นด้วย ปฏิกิริยาจะช้าหากความเป็นกรดเป็นด่างน้อยกว่า 5-6 และจะเพิ่มอัตราอย่างรวดเร็วถ้าหากค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นมากกว่านี้

(3) น้ำที่เป็นประโยชน์ต่อจุลินทรีย์

ผลของน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อเชื้อจุลินทรีย์ต่อการเกิดสีน้ำตาล มีความยุ่งยากซับซ้อนมาก และมีผลต่อความคงทนของอาหารกึ่งแห้งอย่างมาก การเปลี่ยนแปลงสีน้ำตาลของอาหารเกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำ และอัตราการเกิดสีน้ำตาลจะเกิดสูงสุดที่ช่วงของค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ของอาหารกึ่งแห้ง (รูปที่ 2.18) โดยการใช้ Amino acid/glucose/cellulose system ที่มีค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ต่างๆ กัน พบว่าอัตราการเกิดสีน้ำตาลจะเกิดอย่างรวดเร็วที่ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 0.4 และเกิดสูงสุดที่ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ของอาหารกึ่งแห้ง

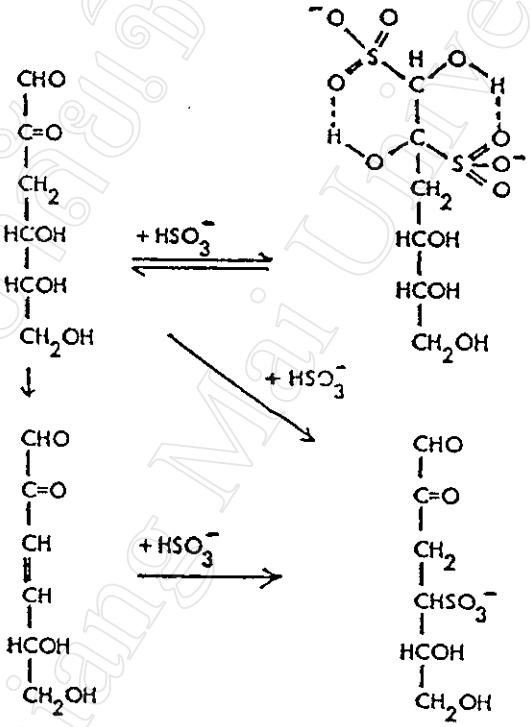


รูปที่ 2.18 อัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นและการเกิดสีน้ำตาลที่ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ในระดับต่างๆ (ไพโรจน์, 2539)

ที่ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ต่ำๆ การซึมซาบของ Reactants จะช้าอัตราการเกิดสีน้ำตาลจึงมีขีดจำกัดจนกระทั่งถึงค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ที่สูงพอที่จะก่อให้เกิดสีน้ำตาล และต่อจากนั้นอัตราการเกิดสีน้ำตาลจะลดลงอีก เนื่องจากปริมาณน้ำมากขึ้นจะหน่วงเหนี่ยวปฏิกิริยามิให้ผันกลับมาได้ อีกทั้งทำให้ Reactants จะทำปฏิกิริยายากขึ้น (อธิบายในแง่การเจือจาง) แต่ที่ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์สูงๆ การเกิดสีน้ำตาลจะเกิดเนื่องจากเอนไซม์เสียส่วนใหญ่ที่เรียกว่า Enzymatic browning เช่นในผลไม้สดที่มีค่าน้ำที่เป็นประโยชน์สูงๆ เป็นต้น

2.6.2.5 การควบคุมการเกิด Non-enzymic browning reaction

1.การใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์หรือซัลไฟต์ นอกจากจะลดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (รูปที่ 2.19) แล้วยังช่วยชงักการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ด้วย



รูปที่ 2.19 การยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลด้วยซัลไฟต์ (ไพโรจน์, 2539)

2. ใช้อุณหภูมิต่ำในการผลิตและการเก็บรักษา เพราะว่าอุณหภูมิต่ำจะทำให้การรวมตัวของน้ำตาลรีดิวส์ กับ กรดอะมิโน จะเป็นไปได้ช้ามาก

3. ลดความเป็นกรดเป็นด่างของผลิตภัณฑ์ โดยให้มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างน้อยกว่า 5-6

4. โดยการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นประเภทอื่นๆ เช่น ซูโครส ฟรุ๊กโตส แทน น้ำตาลรีดิวส์ ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์นั้น เพราะว่า Fructose ไม่ค่อยจะรวมตัวกับ Amino acid ดังนั้นจะทำให้ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลช้าลง

5. โดยการลดปริมาณน้ำตาลที่มีในผลิตภัณฑ์ เช่นการใช้ Glucose oxidase เพื่อให้เอนไซม์ไปเปลี่ยนกลูโคสที่เหลือในผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในรูป Gluconic acid ซึ่งไม่สามารถ

รวมตัวกับ Amino acid แต่การใช้ Glucose oxidase นั้นทำให้ได้ Hydrogen peroxide (H_2O_2) ออกมาด้วย ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ ดังนั้นจึงต้องเติมเอนไซม์ Catalase ลงไปด้วย เพื่อเปลี่ยนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นออกซิเจนกับน้ำ

6.โดยการพยายามทำให้โปรตีนที่มีในผลิตภัณฑ์อยู่ในรูปของโปรตีนที่ไม่สามารถละลายได้ โดยพยายามใช้สารที่มีร้อยละการละลายของโปรตีนต่ำ เช่นในการเตรียม Glucose syrup นิยมใช้พวกแป้งข้าวฟ่างแทนแป้งข้าวโพด เพราะว่าแป้งจากข้าวฟ่างมีปริมาณการละลายของโปรตีนเท่ากับร้อยละ 0.01 ส่วนแป้งจากข้าวโพดมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.07

สารประกอบในระหว่างการเกิด Maillard reaction จะมีคุณสมบัติเป็น Antioxidants ซึ่งการเกิดสีน้ำตาลโดย Glucose และ Glycine จะช่วยลดการรวมตัวเป็น Peroxide ของ Linoleic acid และอนุพันธุ์ของมัน 1,2 eneaminols (IV) จะไปรวมตัวกับ Peroxides หรือ ออกซิเจน หรือ Radicals (R°) เพื่อหน่วงเหนี่ยวการเกิดออกซิเดชั่น การควบคุมปฏิกิริยา Maillard reaction ให้เหมาะสมในกรรมวิธีการผลิตจะเป็นการช่วยรักษาผลิตภัณฑ์มิให้เกิดการเหม็นหืนด้วย

2.6.2.6 ผลการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของอาหารกึ่งแห้ง

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของอาหารกึ่งแห้งก่อให้เกิดผลดังต่อไปนี้คือ

1.สูญเสียการยอมรับจากผู้บริโภค

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

2.สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการอาหารและวิตามิน

ในช่วงค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ของอาหารกึ่งแห้งก่อให้เกิด Maillard reaction ร่วมกับการเกิดออกซิเดชั่นสารประกอบพวก Ascorbic acid ได้อย่างรวดเร็ว การเกิดสีน้ำตาลจะทำให้สูญเสียคุณค่าทางอาหาร มีการสูญเสียน้ำตาลโดยเฉพาะมีการสูญเสียกรดอะมิโนที่จำเป็น เช่น Lysine ซึ่งเป็น Basic amino acid ที่สำคัญ อีกทั้งมีการสูญเสียกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบด้วย ลำดับอาหารที่สูญเสียได้ง่ายโดย Maillard reaction มีดังนี้

1. ผลิตภัณฑ์นม ซึ่งเกิดจากน้ำตาลแลคโตสทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโน

2. ธัญพืชที่ถูกทำลายโดยเฉพาะส่วนDamaged starch ซึ่งจะถูกไฮโดร-ไลซีสได้ Reducing sugar ทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโน

3. Fishmeals ซึ่งมีกรดนิวคลีอิค (Nucleic acid) มาก จะเกิดการเปลี่ยนแปลงมากเพราะกรดนิวคลีอิคมี Ribose เป็นองค์ประกอบจะทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโน

4. พืชตระกูลถั่วและผลิตภัณฑ์จากยีสต์ มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสีน้ำตาลเพราะมี Reducing sugar ต่ำ

5.ผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ มีความทนทานต่อการถูกทำลายมาก เพราะว่าขาด Reducing sugar และเนื้อสัตว์ที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 5-6 ซึ่งมีความทนทานต่อการเกิดสีน้ำตาล

3. อาจจะเกิดความเป็นพิษได้

ได้มีการศึกษานำอาผลิตภัณฑ์ที่เกิด Maillard reaction ไปให้หนูทดลองกินจะทำให้หนูทดลองมีน้ำหนักลดลง จะเกิด Organ enlargement อีกทั้ง Pregnancy ไม่ทำงานจะเห็นได้ว่าเมื่อ Glucose/amino acid system ถูกความร้อน Lysine จะลดลงจาก 20 กรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักหนูเป็น 4.1 กรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักหนู มีรายงานว่าผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาของ Lysine จะเกิดความเป็นพิษได้ น้ำมันและไขมันที่ถูกออกซิไดซ์จะทำให้เกิดเนื้อเยื่อของสัตว์ทดลองถูกทำลาย อีกทั้งทำให้เกิด Organ enlargement บางทีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดขึ้นได้สารตัวกลาง (Intermediate) สารนี้อาจก่อให้เกิดพิษได้ ดังนั้นในการผลิตอาหารกึ่งแห้ง การเก็บรักษาก็ควรจะต้องคำนึงถึงอย่างมากเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหานี้ที่จะเกิดขึ้น (William,1976)

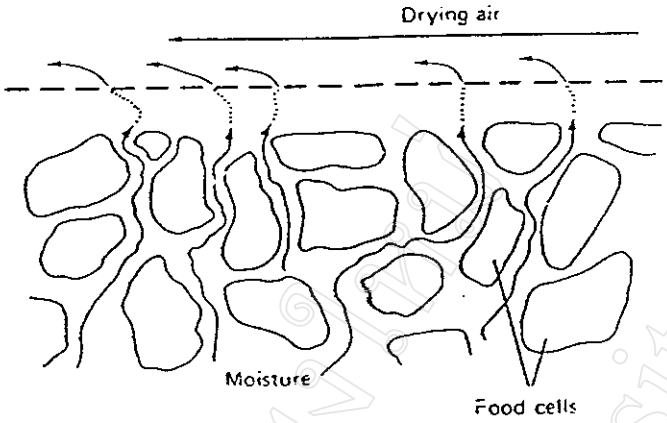
2.7 หลักการอบแห้ง

การอบแห้งอาหารทั่วๆ ไป อาศัยหลักการที่ว่าปริมาณน้ำหรือความชื้นที่มีในอาหารสูงๆ จะทำให้อาหารเน่าเสียได้ง่าย ทั้งเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์และจากปฏิกิริยาทางเคมี ดังนั้นการดึงน้ำออกจากอาหารให้มีความชื้นลดลงจนพอเหมาะแก่อาหารแต่ละชนิดแล้วจะทำให้อาหารนั้นสามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น

2.7.1 การเคลื่อนที่ของน้ำ (Moisture movement)

2.7.1.1 การไหลออกแบบการกระจายตัวซึมผ่าน (Diffusion mechanism)

ส่วนใหญ่เกิดกับพวก Homogeneous solid คือพวกสารอินทรีย์ทั้งหลาย ซึ่งมีลักษณะเป็นสารพวก Fibrous organic, Gel-like substance, และ Porous cake เป็นต้น พวกนี้ความชื้นจะถูกกำจัดออกโดยผ่านทาง Molecular diffusion ซึ่งเกิดเนื่องมาจากมีความดันไอต่างกัน ระหว่างภายในและภายนอกของสาร (Vapor pressure different) ถ้าความดันไอภายนอกต่ำกว่าความดันไอภายในเซลของอาหาร จากความแตกต่างในความดันไอนี้จะทำให้น้ำภายในเซลของอาหารซึมผ่านเยื่อผนังเซลซึ่งเป็นเยื่อที่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้ (Semipermeable membrane) โดยน้ำที่จะไหลออกจากเซลที่อยู่ติดกับรูหรือท่อเล็กๆ ในการไหลแบบท่อเล็กๆ (Capillarity Flow mechanism)นั่นเอง เมื่อเซลที่อยู่ติดกับรูมีน้ำไหลออกไปจะทำให้มันมีความเข้มข้นมากขึ้น ซึ่งจะเป็นแรงขับเคลื่อน (Driving force) ทำให้น้ำในเซลที่อยู่ติดกันซึมตามออกมา ดังแสดงในรูปที่ 2.20

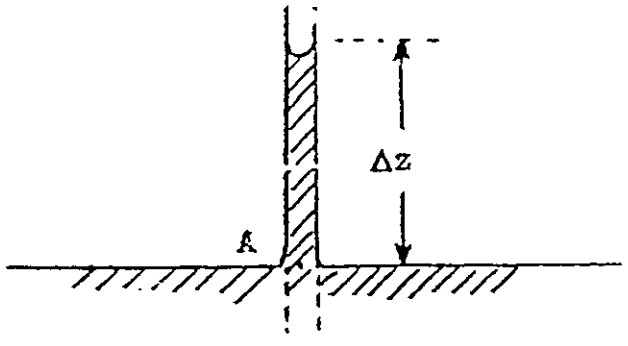


รูปที่ 2.20 การไหลออกของน้ำแบบกระจายตัวซึมผ่าน (Fellow, 1990)

เนื่องจากการเคลื่อนที่ของน้ำแบบการกระจายตัวซึมผ่านนี้เกิดขึ้นค่อนข้างช้า ดังนั้นในกราฟของอัตราการอบแห้ง จึงมักไม่ค่อยพบช่วงที่อัตราการอบแห้งคงที่

2.7.1.2. การไหลออกแบบท่อเล็กๆ (Capillarity flow mechanism)

ในกรณีพวกสารหรือของแข็งที่มีลักษณะของเนื้อสารเป็นรูพรุนมากๆ เป็นแบบ Open-pore structure และมีขนาดของรูพรุนใหญ่ๆนั้น พบว่าการใช้กลไกของการกระจายตัวซึมผ่านมาอธิบายได้ กล่าวคือสารอาหารทั่วๆ ไปจะมีลักษณะเป็นสารรูพรุน (Porous material) เมื่อเอาท่อเล็กๆ (Capillary) ใส่เข้าไปดังแสดงในรูปที่ 2.21 เมื่ออาหารได้รับความร้อนจากการทำแห้ง อาหารก็เกิดการขยายตัว ทำให้เกิดแรงขับเคลื่อนน้ำเข้าไปในท่อเล็กๆ ยิ่งถ้าอากาศได้รับความร้อนสูงเกิดการขยายตัว น้ำที่ไหลเข้าไปในท่อเล็กๆ ก็จะสูงขึ้น การคำนวณหาความสูงของน้ำที่เข้าไปในท่อ โดยการใส่สารอาหารหรือพวกสารประกอบอินทรีย์ทั่วๆ ไปนั้น เมื่อตอนเริ่มการทำแห้งพบว่าการเคลื่อนที่ของน้ำภายในเนื้อสารอาหารนั้นจะเป็นแบบ Capillarity mechanism ก่อน ทั้งนี้เนื่องจากในตอนเริ่มการให้ความร้อนนั้น น้ำในสารอาหารยังมีปริมาณอยู่มาก และสารอาหารนับว่าเป็นสารพวกที่มีรูพรุนมากมาย ดังนั้นเมื่อได้รับความร้อน หรือเมื่อมีอากาศร้อนผ่านไปที่ผิวของสารจะเกิดการขยายตัวของอากาศคล้ายกับว่ามีท่อขนาดเล็กๆ ติดอยู่ตรงรูนั้น พบว่ายิ่งอากาศขยายตัวมากขึ้นเท่าไหร่จะทำให้มีแรงขับเคลื่อนในท่อเล็กๆนี้มากขึ้นเท่านั้น



รูปที่ 2.21การไหลออกของน้ำแบบท่อเล็กๆ (สมบัติ, 2529)

หลังจากน้ำที่อยู่ตามรูพรุนของสารอาหารนั้นหมดแล้ว การเคลื่อนที่ของน้ำภายในสารจะเปลี่ยนเป็นแบบ Diffusion mechanism นั่นก็คือต่อไปการเคลื่อนของน้ำภายในจะเป็นแบบ Molecular diffusion ซึ่งเกิดเนื่องมาจากมีความแตกต่างของความดันไอนั่นเอง โดยจะเริ่มจากเซลที่อยู่ติดกับรูพรุนหรือท่อเล็กๆ ก่อน เมื่อได้รับความร้อนทำให้อากาศขยายตัวทำให้น้ำเริ่มซึมตัวออกจากเซลขึ้นไปตามรูพรุนเล็กๆ จึงทำให้ภายในเซลนั้นมีความเข้มข้นมากขึ้น จึงเกิดแรงดึงดูดทำให้เกิดการซึมผ่านของน้ำจากเซลที่อยู่ติดกันซึมเข้าไปในเซลที่ติดกับรูพรุน แล้วจะระเหยออกไปทางรูพรุนนั้น ซึ่งจะเกิดแรงดึงดูดต่อเนื่องไปเรื่อยๆ จนทำให้อาหารนั้นแห้งขึ้น ในบางกรณีมักพบว่าสารอาหารหลายๆ อย่างไม่สามารถทำให้แห้งได้ โดยอาศัยความแตกต่างของความดันไอปกติ เนื่องจากมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่เกาะระหว่างน้ำกับโมเลกุลของสารอาหารนั้นมีมากกว่าความแตกต่างของความดันไอมาก จึงได้มีการประยุกต์นำวิธีของพวก Thermal vibration เข้ามาช่วยในการทำแห้งเพื่อทำให้เกิดมีแรงสั่นสะเทือนของโมเลกุลสูงกว่าแรงเกาะระหว่างน้ำกับอาหารหยุดออกไปได้วิธีนี้เรียกว่า "Activated diffusional mechanism" (Fellow, 1990 และ สมบัติ, 2529)

2.7.2 อัตราการอบแห้ง (Drying rate)

อัตราการอบแห้ง (Drying rate) เป็นการวัดความเร็วหรือความสามารถในการระเหยของน้ำต่อเวลาและหรือต่อพื้นที่โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

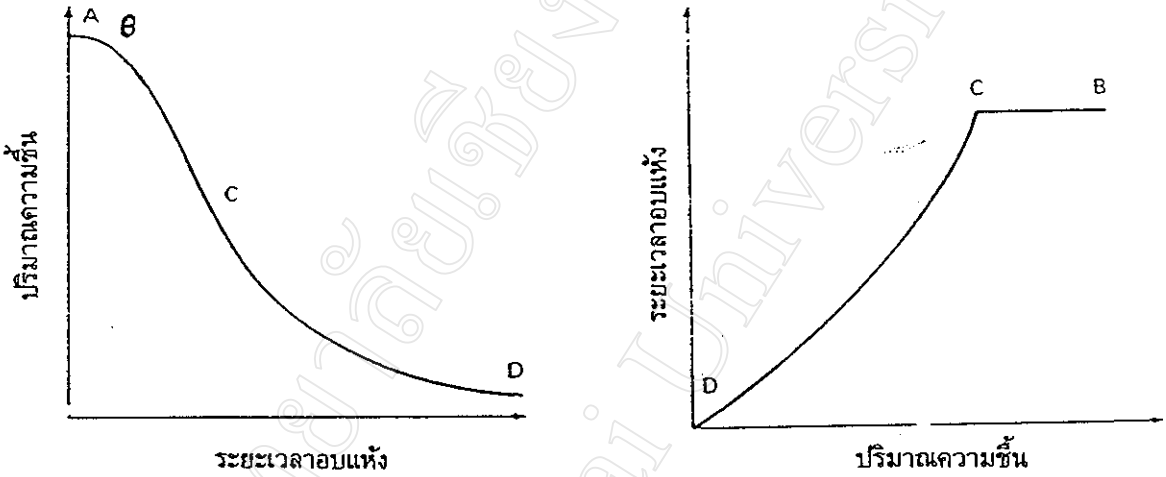
$$\text{อัตราการอบแห้ง} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยไป}}{\text{ระยะเวลาและหรือพื้นที่}}$$

เมื่อทำการอบแห้งวัสดุใดๆด้วยก๊าซร้อนที่มีอุณหภูมิและความชื้นคงที่ จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่พบมากที่สุดเกิดขึ้นดังนี้คือ เมื่อเกิดการสัมผัสครั้งแรกอุณหภูมิของวัสดุอบแห้งจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงอุณหภูมิหนึ่งและจะคงที่ที่อุณหภูมินี้นานเป็นระยะเวลาหนึ่ง เรียกว่าช่วงการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่วัสดุ หลังจากนั้นอุณหภูมิของวัสดุอบแห้งจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในบางกรณีอาจจะขึ้นไปใกล้เคียงกับอุณหภูมิของก๊าซร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง

การเปลี่ยนแปลงความชื้นภายในวัสดุอบแห้ง และความชื้นที่ระเหยออกมาจะเป็นไปตามขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 2.22 ในตอนแรกความชื้นจะระเหยออกจากวัสดุน้อย ความชื้นภายในวัสดุจึงค่อยๆ ลดลงในตอนแรก (ช่วง A-B) ต่อมาความชื้นจะระเหยออกมาอย่างรวดเร็วและเป็นอัตราที่คงที่ (ช่วง B-C) ทำให้ความชื้นภายในวัสดุเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเป็นช่วงที่อัตราการอบแห้งคงที่ (R_c) ในช่วง A-C นี้จะเป็นการระเหยของน้ำหรือความชื้นที่มีอยู่ที่ผิวหน้าของวัสดุ ซึ่งความร้อนจากก๊าซหรือลมร้อนจะถูกถ่ายเทให้กับน้ำโดยตรง และน้ำที่ระเหยออกมาก็จะถูกก๊าซพัดพาจากผิวหน้าไปเรื่อยๆ พอถึงระยะหนึ่งความชื้นจะระเหยออกได้ช้าอีกครั้งหนึ่งและจะช้าลงๆ อย่างมากจนกระทั่งไม่ระเหยออกมาเลย เนื่องจากน้ำที่ผิวหน้าวัสดุระเหยไปหมดแล้ว เหลือแต่น้ำภายในที่อยู่ลึกเข้าไปในวัสดุ หรือห่างไกลจากก๊าซร้อนไม่สามารถสัมผัสกันโดยตรงได้ ความร้อนต้องส่งผ่านผิวหน้าของวัสดุทำให้ใช้เวลามากขึ้นและความชื้นเมื่อกลายเป็นไอก็ต้องเดินทางชั้นของวัสดุมายังผิวหน้า ดังนั้นช่วงนี้อัตราการอบแห้งจึง

เกิดช้ามาก เรียกว่าอัตราการอบแห้งลดลง ซึ่งอาจจะมี 2 ช่วงคือช่วงC-D และจากจุด D อัตราการอบแห้งจะยิ่งน้อยจนคงที่

ในการอบแห้งทั่วๆ ไป สำหรับช่วงแรกนั้นมักจะกินเวลาสั้นมาก เมื่อเปรียบกับช่วงที่ B-C และ C-D โดยเฉพาะถ้าเลือกเครื่องอบแห้งที่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนได้สูงๆ เช่น เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบด (Fluidised bed dryer) ช่วงแรก จะสั้นมากจนไม่ต้องนำมาคำนวณ (Fellow, 1990)



รูปที่ 2.22 กราฟอบแห้งที่แสดงการลดลงของน้ำในระหว่างการอบแห้ง (Fellow,1990)

2.7.2.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง

ในการทำแห้งอาหารทั่วๆ ไป มีปัจจัยหลายประการที่จะทำให้การอบแห้งนั้นเกิดได้เร็ว และช้าซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

1.ลักษณะธรรมชาติของอาหาร อาหารที่มีลักษณะเป็นรูพรุนมากๆ จะมีอัตราการอบแห้งเร็ว นอกจากนั้นพื้นที่ผิวของอาหารก็จะมีผลต่ออัตราการอบแห้งมาก อาหารที่มีพื้นที่ผิวมากๆ การอบแห้งก็จะทำได้เร็วขึ้น

2.ขนาดและรูปร่างของอาหาร ส่วนใหญ่จะคำนึงถึงเฉพาะความหนาของอาหารเนื่องจากอัตราการอบแห้งจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาของอาหาร ยิ่งอาหารมีความหนามากขึ้นการอบแห้งจะเกิดได้ช้าลง

3. ปริมาณอาหาร อาหารที่ใส่ในเครื่องอบแห้งและการจัดเรียงเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่ง การใส่ปริมาณอาหารมากเกินไปเข้าไปในเครื่องอบแห้ง จะทำให้การอบแห้งทำได้ไม่ทั่วถึง โดยเฉพาะบริเวณช่วงกลางๆน้ำจะระเหยออกได้ไม่ดี ความร้อนเข้าไปไม่ค่อยถึง ยิ่งถ้าจัดเรียงตัวกันไม่ดีแล้ว จะทำให้อัตราการอบแห้งเกิดได้ช้ามาก

4.ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วของลม ความชื้นของอากาศเป็นสิ่งสำคัญมาก การระเหยน้ำออกจะทำได้ดีหรือไม่ขึ้นกับความชื้นของอากาศและความเร็วของลม นอกจากนั้นอุณหภูมิที่ใช้อบก็จะเป็นปัจจัยที่สำคัญเช่นกัน

5.ความดัน เกี่ยวเนื่องกับการระเหยของน้ำเนื่องจากในที่ความดันต่ำๆ ลงมาน้ำก็จะเดือดได้ที่อุณหภูมิต่ำลง ดังนั้นการทำแห้งภายใต้ความดันจะทำให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้น

2.7.3 การเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อในอาหารระหว่างการทำแห้ง

ในการทำแห้งอาหารไม่ว่าจะโดยใช้ความร้อนสูง หรือใช้หลักของการระเหยของผลึกน้ำแข็งก็ตาม ตัวอาหารจะสูญเสียน้ำออกไปทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอาหารทั้งโครงสร้าง ลักษณะ และโดยเฉพาะเนื้อเยื่อ การเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อของอาหารพอสรุปได้มี 5 ลักษณะ คือ

2.7.3.1 การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการย้ายที่ของพวกสารที่ละลายได้
(Changes due to migration of soluble constituents)

การเปลี่ยนแปลงแบบนี้เนื่องจากน้ำที่มีในเซลของอาหารมักมีพวกของแข็งที่ละลายได้อยู่ด้วยเช่น พวกน้ำตาล เป็นต้น ดังนั้นเมื่อน้ำถูกระเหยออกไปก็จะนำเอาพวกของแข็งที่ละลายได้ตามไปด้วย ซึ่งถ้าพิจารณาลักษณะทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำออกจากเซลแล้ว พบว่าน้ำจะเคลื่อนที่ออกสู่ภายนอกแบบ Radial movement of water outward พวกของแข็งที่ละลายได้จะเคลื่อนตามน้ำจากภายในเซลไปสู่ผิวเซลทำให้พวกนี้ไปสะสมอยู่ที่บริเวณผิวเซลซึ่งเมื่อเริ่มทำการอบแห้งบริเวณผิวเซลจึงมีความเข้มข้นมากขึ้น เนื่องจากน้ำจะซึมผ่านเยื่อเซลออกไปได้ แต่พวกของแข็งที่ละลายได้ไม่สามารถซึมผ่านเยื่อเซลที่เป็นแบบ Semipermeable membrane ได้ในขณะเดียวกันเมื่อที่ผนังเซลมีความเข้มข้นมากขึ้น มากกว่าบริเวณภายในเซลทำให้เกิดความแตกต่างของมวล (Mass different) ทำให้เกิดการถ่ายเทมวล (Mass transfer) โดยพวกของแข็งที่ละลายได้จะไหลวนทางกับการไหลของน้ำกลับเข้าไปรวมกันตรงกลางเซล ซึ่งทั้งสองปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นพร้อมกันในทิศทางตรงกันข้าม ผลลัพธ์จะขึ้นกับแรงสุทธิของการเคลื่อนที่ (Net movement) ว่าจะเคลื่อนที่ไปทางไหน โดยทั่วๆ ไป ลักษณะการรวมตัวของพวกของแข็งที่ละลายได้จะมี 2 แบบ ขึ้นกับลักษณะของอาหาร กล่าวคือ

2.7.3.1.1 ถ้าเป็นอาหารประเภทที่น้ำผ่านเข้าออกได้ง่าย พวกของแข็งที่ละลายได้มักจะไปรวมตัวอยู่ที่ผิวเซล

2.7.3.12 ถ้าเป็นอาหารประเภทที่น้ำผ่านเข้าออกได้ยาก พวกของแข็งที่ละลายได้ มักจะไปรวมกันที่ตรงกลางเซล

2.7.3.2 การจับตัวเป็นก้อนแข็ง (Case hardening)

เป็นลักษณะของอาหารประเภทที่มีแป้ง และพวกโปรตีนที่ละลายได้ หรือสารที่สามารถเกิดเจล (Gel) ได้ เมื่อทำการอบแห้งไปนานๆ ความร้อนจะทำให้น้ำในเซลน้อยลง ทำให้เกิดการจับตัวเป็นก้อนเจล เรียกว่า Case hardening ทำให้ตามรูของอาหารน้ำซึมผ่านได้

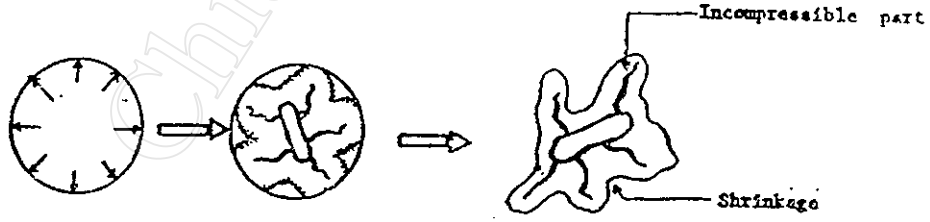
ยากขึ้น ในลักษณะเช่นนี้จะทำให้การทำแห้งอาหารทำได้ไม่ดี คือน้ำจะเหลือในอาหารสูง ถ้าใช้ความร้อนมากๆก็ยิ่งทำให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหารเนื่องจากปัญหาอื่นๆ ตามมา การเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อในลักษณะนี้จะเกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นกับปัจจัยหลายอย่างเช่น อุณหภูมิที่ใช้ทำแห้ง สภาวะเริ่มแรกของการทำแห้งและองค์ประกอบของอาหารที่จะทำแห้ง การป้องกันการเกิดการจับตัวเป็นเจลในอาหารขณะทำแห้งอาจทำได้โดยควบคุมอุณหภูมิของการทำแห้งไม่ให้สูงเกิดไป

2.7.3.3 การเปลี่ยนแปลงที่ไม่สามารถกลับได้ (Irreversible changes and loss of ability to rehydrate)

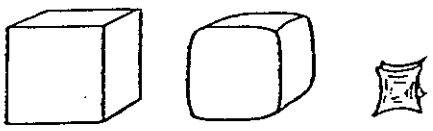
เป็นลักษณะการสูญเสียของเซล ซึ่งไม่สามารถนำกลับมาได้โดยเฉพาะการสูญเสียวิตามินเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่น หรือการสูญเสียของพวกสารที่ระเหยได้ (Volatile substances)

2.7.3.4 การหดตัวที่ทำให้โครงสร้างเสียหาย

โดยธรรมชาติเซลในอาหารจะอยู่ในลักษณะของเซลที่เต่งตึง (Tugor) เสมอ และผนังเซลจะมีคุณสมบัติในการยืดหยุ่นได้ ซึ่งลักษณะของผนังเซลจะมีความต้านทานต่อแรงหรือการยืดตัวขนาดหนึ่งถ้าเกิดความสามารถที่มันจะรับไว้ได้ก็จะทำให้ผนังเซลแตกทำให้ลักษณะเซลผิดรูปไป(Deformation) ในลักษณะของการทำแห้งอาหาร เมื่อน้ำถูกระเหยออกไปจะทำให้เกิดช่องว่างขึ้นซึ่งผิวของอาหารจะพยายามเข้าไปแทนที่ช่องว่างอันนั้น ทำให้ลักษณะเซลของอาหารเกิดการหดตัว การหดตัวของผนังเซลไม่สามารถจะหดเข้าไปเท่าๆ กันทุกส่วนของอาหารได้ ทั้งนี้เนื่องจากธรรมชาติของอาหารจะมีเซตหรือส่วนที่ไม่สามารถจะถูกอัดเข้าไปได้ เรียกว่า Incompressible part ดังรูปที่ 2.23 ตรงส่วนที่ไม่สามารถหดตัวเข้าไปได้นี้ก็เกิดการยืดตัวออก ในการยืดตัวของผนังเซลนี้จะทนต่อแรง Tensile strength ได้ขนาดหนึ่ง ถ้าเกินกว่าอันนั้นก็จะทำให้ผิวตรงนั้นขาด (Damage) ลักษณะของรูปร่างของอาหารที่หดตัวหลังจากทำแห้งแสดงในรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.23 ลักษณะการหดตัวระหว่างการอบแห้ง (สมบัติ, 2529)



รูปที่ 2.24 รูปร่างของชิ้นอาหารก่อนและหลังการอบแห้ง (Potter,1968)

2.7.3.5 การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความร้อนทำให้เสียหาย (Browing or Heat damage)

เป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากความร้อนไปทำให้สารอาหารบางตัวโดยเฉพาะพวกแป้งและน้ำตาล เกิดการเผาไหม้โดยปฏิกิริยาทางเคมี ทำให้ลักษณะของอาหารผิดไป การเปลี่ยนแปลงลักษณะนี้จะเกิดได้เร็วขึ้น ถ้ายิ่งใช้อุณหภูมิในการทำแห้งสูงๆ จากการศึกษาพบว่าเมื่ออบแห้งอาหารจนมีปริมาณความชื้นประมาณร้อยละ 15-20 จะเร็วมาก ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงที่ความเข้มข้นของพวกแป้งและน้ำตาลมากขึ้น ทำให้ปฏิกิริยาเกิดรวดเร็วขึ้น ในการทำแห้งอาหารโดยทั่วๆ ไป จะสามารถป้องกันการเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้ได้โดยการเติมสารเคมี คือ ใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ในปริมาณประมาณ 200-700 ส่วนในล้านส่วน แล้วแต่ประเภทของอาหาร (สมบัติ, 2529)

2.8 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับการถนอมอาหาร (Sulphure dioxide and food preservation)

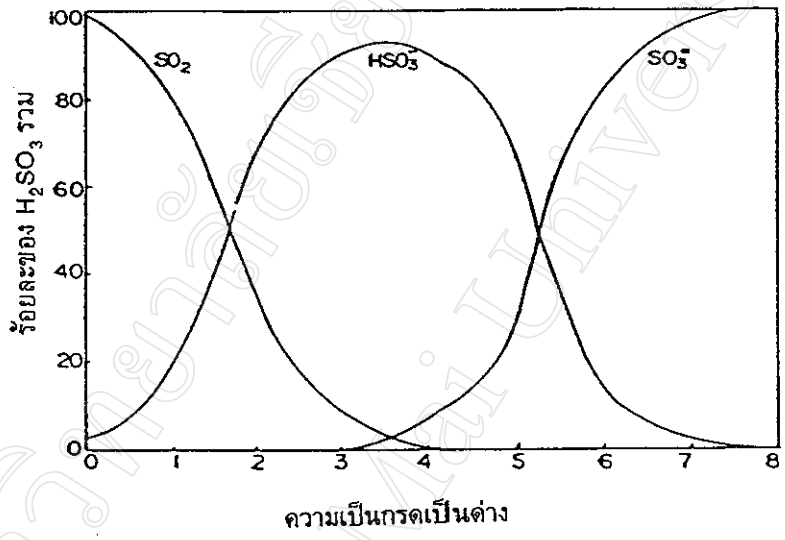
2.8.1 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอุตสาหกรรมอาหาร

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในรูปของก๊าซ หรือในรูปสารละลายของกรดซัลฟูรัส หรือในรูปของเกลือสามารถใช้เป็นสารป้องกันหรือลดการเน่าเสียอันเนื่องจากจุลินทรีย์อย่างแพร่หลาย และยังใช้เป็นสารทำลายจุลินทรีย์เฉพาะในกระบวนการหมัก นอกจากนี้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ยังใช้เป็นวัตถุกันหืนและสารยับยั้งการสูญเสียที่เกิดจากเอนไซม์และไม่ใช่เกิดจากเอนไซม์ในระหว่างการเตรียม การเก็บรักษา และการกระจายของผลิตผล หรือผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่างๆ และบางครั้งยังใช้เป็นสารฟอกสีอีกด้วย คุณสมบัติการเป็นวัตถุกันหืนของซัลเฟอร์ไดออกไซด์นั้นจะช่วยลดการสูญเสียของกรดแอสคอร์บิค คาโรตีน และพวกสารชีวภาพที่ออกซิไดซ์ได้ง่าย การใช้กรดซัลฟูรัสเพื่อรักษาสี และทำลายจุลินทรีย์นั้นได้ใช้ควบคู่กับการควบคุมการเปลี่ยนสีและการเกิดกลิ่นรสที่ไม่ต้องการในระหว่างการแปรรูป กรดซัลฟูรัสเป็นสารมีราคาถูก หาได้ง่าย มีความเป็นพิษต่ำ สามารถระเหยออกไปได้เมื่อไม่ต้องการอีกแล้ว และสามารถใช้กับผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด เช่น น้ำผลไม้ น้ำเชื่อม น้ำผลไม้เข้มข้น เนื้อผลไม้ข้น เครื่องดื่มที่ได้จากการหมัก อาหารแห้ง แยม และผักและผลไม้สดในระหว่างการเก็บ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์สามารถละลายน้ำ ได้กรดซัลฟูรัสที่ไม่แตกตัว ความสามารถในการละลายน้ำจะลดลงจากร้อยละ 8.6 โดยน้ำหนักที่ 20องศาเซลเซียส เหลือเพียงร้อยละ 0.1 ที่ 100 องศาเซลเซียส ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะให้ความดัน 3.25 บรรยากาศ หรือ 40.6 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เมื่อละลายในน้ำจะอยู่ในรูปของกรดซัลฟูรัสที่ไม่แตกตัว ไบซัลไฟต์อิออน และซัลไฟต์อิออน กรดซัลฟูรัสเป็นกรดอ่อนมีค่าแตกตัวคงที่ครั้งแรกเท่ากับ 1.7×10^{-2} และค่าแตกตัวคงที่ครั้งที่สองเท่ากับ 5×10^{-6} ที่ 25 องศาเซลเซียสและค่า pK มีค่า 1.8 และ 5.3 ตามลำดับ การกระจายของชนิดอิออนต่างๆ ในสารละลายกรดซัลฟูรัสระหว่างช่วงความเป็นกรดเป็นด่าง 0-8 ได้แสดงไว้ดังรูปที่2.25 และตารางที่ 2.5 ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงกว่า 9.5 จะมีแต่ซัลไฟต์อิออน และ

ตารางที่ 2.5 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์อิสระคิดเป็นร้อยละที่ความเป็นกรดเป็นด่างต่าง ๆ

ความเป็นกรดเป็นด่าง	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์(ร้อยละ)
1.0	86
2.0	37
2.5	16
3.0	5
4.0	0.5

ที่มา : ไพบูลย์, 2532



รูปที่2.25 การกระจายของส่วนประกอบของกรดซัลฟูรัสที่ค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่าง ๆ (Ough, 1993)

ช่วงความเป็นกรดเป็นด่าง 4.5-9.5 จะพบว่ามีอิออนของซัลไฟต์และไบซัลไฟต์ และที่ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 4.5 หรือต่ำกว่า จะไม่พบอิออนซัลไฟต์เลย ส่วน Sulfites ที่นิยมใช้กันในอุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่ Sodium sulfite, Potassium sulfite, Sodium bisulfite, Potassium bisulfite, Sodium metabisulfite, Potassium metabisulfite เป็นต้น(Tanner and Chiechester, 1983) Sulfur dioxide และ Sulfites เหล่านี้เมื่อละลายน้ำจะได้ กรดซัลฟูรัส (H_2SO_3) ไบซัลไฟต์อิออน (HSO_3^-)และซัลไฟต์อิออน ($SO_3^=$) ดังสมการ (Lindsay, 1985)

$$SO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2SO_3$$

$$2H_2SO_3 \rightleftharpoons H^+ ; HSO_3^- + 2H^+ ; SO_3^=$$

ซึ่งอัตราส่วนที่เกิดขึ้นนี้จะขึ้นกับความเป็นกรดเป็นด่างของอาหาร สำหรับประสิทธิภาพของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และ ซัลไฟต์ นั้น จะขึ้นกับปริมาณของกรดซัลฟูรัสที่เกิดขึ้น และจะต้องอยู่ในรูปที่ไม่แตกตัวด้วย และถ้ายิ่งมีปริมาณของกรดซัลฟูรัสเกิดขึ้นมากเท่าไร ความสามารถในการยับยั้งหรือทำลายจุลินทรีย์จะเพิ่มมากยิ่งขึ้นด้วย ซึ่งกรดซัลฟูรัสที่เกิดขึ้นนี้ จะไปมีปฏิกิริยากับเอนไซม์ของจุลินทรีย์ ทำให้การทำงานไม่เป็นไปตามปกติ เป็นสาเหตุให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ถูกยับยั้งหรือทำลายไป ความสามารถในการยับยั้งหรือทำลายจุลินทรีย์ของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และ ซัลไฟต์ นั้น จากการทดลองพบว่าจะยับยั้งและทำลายแบคทีเรียได้ดีกว่ายีสต์และรา ดังแสดงให้เห็นในตารางที่ 2.6 ดังที่กล่าวแล้วว่าประสิทธิภาพของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และ ซัลไฟต์ ในการทำลายจุลินทรีย์นั้นจะขึ้นกับปริมาณกรดซัลฟูรัส และต้องอยู่ในรูปที่ไม่แตกตัวด้วย ฉะนั้นอาหารที่ควรจะใช้วัตถุกันเสียชนิดนี้ จึงควรเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดเป็นด่างค่อนข้างต่ำ เช่น น้ำผลไม้ต่างๆ น้ำหวานต่างๆ น้ำหวานเข้มข้น และอุตสาหกรรมไวน์ เป็นต้น นอกจากนี้ก็มีการใช้กันมากในอุตสาหกรรมผักและผลไม้แห้ง ผลิตภัณฑ์เนื้อและปลาด้วย (ศิวาพร, 2529) ทั้งนี้ปริมาณที่อนุญาตให้ใช้จะแตกต่างตามชนิดของอาหาร ในกรณีเป็นอาหารที่ใช้บริโภคโดยตรงปริมาณจะต้องไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณสูงสุดในไวน์จะอยู่ช่วงระหว่าง 200-250 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้ขึ้นกับประเภทและชนิดของไวน์ เช่น ในประเทศอังกฤษ ปริมาณที่อนุญาตให้เติมในผลิตภัณฑ์ผลไม้จะกำหนดไว้ 2 ระดับ คือ ผลไม้หรือเนื้อผลไม้เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมต่อไป กำหนดไว้ 3,000 ส่วนในล้านส่วน และในผลไม้แห้ง 2,000 ส่วนในล้านส่วน สำหรับระดับต่ำ ได้แก่ น้ำผลไม้ เครื่องดื่ม และเครื่องดื่มปรุงกลิ่นรส กำหนดไว้ 350 ส่วนในล้านส่วน โดยทั่วไปการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะอนุญาตให้ใช้เฉพาะกับอาหารประเภทผักและผลไม้ และเครื่องดื่ม มีเพียงบางประเทศเท่านั้น ได้แก่ ประเทศอังกฤษและประเทศออสเตรเลียที่อนุญาตให้ใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และซัลไฟต์บางชนิดในผลิตภัณฑ์เนื้อ(ไพบูลย์, 2532) จากงานวิจัยพบว่าการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในน้ำแอปเปิ้ลจะทำให้รสชาติ และกลิ่นของผลิตภัณฑ์ยังคงดีเมื่อเก็บรักษาไว้ ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นในผลไม้ได้ (Flores,1990) และมีการนำไปใช้ในแครอทอบแห้ง ปรากฏว่าเมื่อทำการเก็บรักษาไว้นาน ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ยังช่วยในการรักษาสีจำพวกแคโรทีนไว้ได้ดี ทำให้อายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น (Chang and Zhao,1995)

2.8.2 กลไกในการยับยั้งจุลินทรีย์

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ได้ดี แต่ต้องมีสภาวะของการเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสม กลไกของสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มีผลต่อจุลินทรีย์มีดังนี้

(1)ซัลเฟอร์ไดออกไซด์สามารถเข้าจับกับคาร์โบไฮเดรต ทำให้จุลินทรีย์นำไปเป็นสารอาหารไม่ได้

ตารางที่ 2.6 ความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ใช้ในการยับยั้งจุลินทรีย์

จุลินทรีย์	ความเป็นกรดเป็นด่าง	ความเข้มข้นต่ำสุดในการยับยั้งจุลินทรีย์ (ส่วนในล้านส่วน)
แบคทีเรีย		
Bacillus cereus	6.3	50
Bacillus cereus	6.0	50
Bacillus megatherium	6.0	50
Bacillus subtilis	6.0	50
Enterobacter aerogenes	6.0	200
Escherichia coli	5.2	15
Escherichia coli	5.9	80
Escherichia coli	6.0	130
Lactobacillus arabinosus	6.0	50
Lactobacillus casei	6.0	100
Pseudomonas fluorescens	6.0	50
Pseudomonas ovalis	6.0	100
Staphylococcus aureus	6.0	100
ยีสต์		
Saccharomyces ellipsoideus	2.5	20
Saccharomyces ellipsoidus	3.5	80
Saccharomyces ellipsoideus	5.0	1,400
Saccharoyces ellipsoideus	7.0	>500
Saccharomyces cerevisiae	4.0	125
Saccharomyces cerevisiae	6.0	1,750
Saccharomyces anamensis	5.0	240
Hensenula anomala	5.0	240
Torula lypolytica	5.0	80
Pichia membranaefaciens	6.0	2,500

ตารางที่ 2.6 (ต่อ)

จุลินทรีย์	ความเป็นกรดเป็นด่าง	ความเข้มข้นต่ำสุดในการยับยั้งจุลินทรีย์ (ส่วนในล้านส่วน)
เชื้อรา		
Mucor sp.	2.5	30
Mucor sp.	3.5	60
Mucor sp.	7.0	>500
Penicillium glaucum	4.5	280
Penicillium glaucum	6.0	1,250
Aspergillus niger	4.5	217
Aspergillus niger	5.0	350
Aspergillus niger	6.0	1,250

ที่มา : ศิวาพร, 2529

(2) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไปมีผลต่อ Disulfide bond ของเอนไซม์ในจุลินทรีย์ ทำให้การ Metabolism เกิดขึ้นไม่ได้

(3) ปฏิกิริยาระหว่างซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับKetone group ทำให้ได้ Hydroxysulfonates ที่เป็นผลต่อการหายใจของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับ Nicotinamide dinucleotide (Tanner and Chiechester,1983)

2.9 กรดซอร์บิคและเกลือซอร์เบทกับการถนอมอาหาร

(Sorbic acid and sorbates for food preservation)

2.9.1 กรดซอร์บิคและเกลือซอร์เบทในอุตสาหกรรมอาหาร

กรดซอร์บิค (Sorbic acid) และเกลือซอร์เบท(Sorbate) เป็นวัตถุกันเสียอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันมาก เนื่องจากเป็นสารประกอบที่ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส และที่สำคัญคือไม่ทำให้กลิ่นและรสของอาหารเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถจะถูก Metabolized ได้แบบเดียวกับกรดไขมันที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เช่น Caproic acid และ Butyric acid ฉะนั้นอันตรายที่จะได้รับจากวัตถุกันเสียชนิดนี้จึงค่อนข้างน้อย จากการทดลองแสดงให้เห็นว่ากรดซอร์บิค และ

ตารางที่ 2.7 สูตรทางเคมีและปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของสารซัลไฟต์ที่อนุญาตให้ใช้ในอาหาร

สารเคมี	สูตร	ผลลัพธ์ตามทฤษฎีซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (ร้อยละ)	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ขั้นต่ำ (ร้อยละ)	การละลายโดยประมาณ กรัม/100 มล.
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	SO_2	100	95	11 ที่ 20° C
โซเดียมซัลไฟต์ (แห้ง)	Na_2SO_3	50.82	48	28 ที่ 40 °C
โซเดียมซัลไฟต์(มีน้ำอยู่)	$Na_2SO_37H_2O$	25.41	24	24 ที่ 25° C
โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟต์	$NaHSO_3$	61.56	60	300 ที่ 20° C
โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์	$Na_2S_2O_3$	67.39	64	82 ที่ 100°C
โปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์	$K_2S_2O_5$	57.60	-	54 ที่ 20 °C
แคลเซียมไฮโดรเจนซัลไฟต์	$Ca(HSO_3)_2$	เฉพาะสารละลาย	-	25 ที่ 0 °C

ที่มา : ไพบูลย์, 2532

เกลือซอร์เบท สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตและทำลายจุลินทรีย์พวกยีสต์และราได้ดีกว่าพวกแบคทีเรีย และประสิทธิภาพของวัตถุกันเสียชนิดนี้ จะสูงสุดในช่วงที่ความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่า 6.5 จนถึงความเป็นกรดเป็นด่าง 6.5 ซึ่งจะเห็นว่าดีกว่าของเกลือเบนโซเอทและเกลือโปรปิโอเนท แต่จะมีส่วนคล้ายเกลือเบนโซเอทและเกลือโปรปิโนเนท คือ เมื่อความเป็นกรดเป็นด่างของอาหารเพิ่มขึ้นหรือความเป็นกรดของอาหารลดลง ประสิทธิภาพของวัตถุกันเสียชนิดนี้จะลดลงด้วย การเติมเกลือและน้ำตาลลงในอาหาร จะช่วยเสริมประสิทธิภาพของวัตถุกันเสียชนิดนี้เช่นเดียวกับ Cystine และ Cysteine แต่การมีเกลือแคลเซียมและแมกนีเซียมคลอไรด์ในอาหารจะทำให้ประสิทธิภาพของวัตถุกันเสียชนิดนี้ลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าวัตถุกันเสียชนิดนี้มีประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บของอาหารประเภทเนยเทียม เนยแข็ง ผลิตภัณฑ์ปลาและผลิตภัณฑ์ขนมอบได้ดีกว่าเกลือเบนโซเอท สำหรับอาหารทั่วๆ ไป ที่นิยมใช้วัตถุกันเสียชนิดนี้ช่วยยืดอายุการเก็บ ได้แก่ เนยแข็งและผลิตภัณฑ์เนยแข็ง เนยเทียม ผลิตภัณฑ์ขนมอบต่างๆ เครื่องดื่มต่างๆ ทั้งชนิดที่อัดและไม่อัดคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำผลไม้ต่างๆ ไวน์ แยม เยลลี่ ฟรุ๊ตค็อกเทล น้ำสลัดต่างๆ ผลไม้แห้ง ผักแห้ง ผักดองต่างๆ ผลิตภัณฑ์เนื้อและผลิตภัณฑ์ปลาต่างๆ เป็นต้น สูตรโครงสร้างมีดังนี้ (Busta and Sofos,1993)

$CH_3-CH=CH-CH=CHCOOH$ $CH_3-CH=CH-CH=CHCOOK$

กรดซอร์บิค โปแตสเซียมซอร์เบท

การศึกษาในสัตว์ทดลอง โดยการทดลองนี้ใช้หนู 100 ตัว เป็นหนูตัวผู้ 50 ตัวและหนูตัวเมีย 50 ตัว ให้หนู บริโภคอาหารซึ่งมีกรดซอร์บิค ผสมอยู่ร้อยละ 0 และ 5 ใช้เวลาทดลองเป็นเวลา 2 ชั่วอายุของหนู สำหรับในช่วงอายุแรกหนูที่ได้รับกรดซอร์บิค จะมีอายุในชั่วอายุแรกเป็นเวลา 811 วันสำหรับหนูตัวผู้ และ 789 วันสำหรับหนูตัวเมีย ส่วนในหนูที่ไม่ได้รับกรดซอร์บิค จะมีอายุในชั่วอายุแรก 709 วันสำหรับหนูตัวผู้ และ 804 วันสำหรับหนูตัวเมีย จากการนำซากของหนูที่ตายแล้วมาตรวจวิเคราะห์ ปรากฏว่าไม่พบอาการผิดปกติที่อวัยวะต่างๆ และในกลุ่มของหนูที่ได้รับและไม่ได้รับกรดซอร์บิค พบว่ามีเพียงกลุ่มละ 2 ตัว เท่านั้นที่มีอาการเป็นเนื้องอก สำหรับการศึกษาในชั่วอายุที่ 2 นั้น ได้ทำแบบเดียวกับในชั่วอายุแรก เพียงแต่เมื่อหนูที่อายุครบ 250 วัน ได้นำหนูทั้งหมดมาฆ่าและทำการตรวจวิเคราะห์ซาก ซึ่งพบว่าในตับ ไต หัวใจ และ อัณฑะของหนูทั้งหมดไม่อาการผิดปกติเกิดขึ้นเลย (ศิวาพร, 2529) ส่วนวิธีการใช้วัตถุกันเสียชนิดนี้ในอาหารนั้น อาจทำได้โดยการใส่ลงไปโดยตรงในอาหารหรือพ่นบริเวณผิวรอบนอกของผลิตภัณฑ์ หรือเอาผลิตภัณฑ์แช่ในสารละลายของวัตถุกันเสียชนิดนี้ หรือจะใช้เคลือบผิวภาชนะบรรจุ เช่น เคลือบกระดาษที่ใช้ห่อผลิตภัณฑ์อาหาร เป็นต้น โดยทั่วๆไปนิยมใช้วัตถุกันเสียชนิดนี้ในรูปของเกลือมากกว่ากรดเนื่องจากละลายได้ดีกว่า (Giese,1994) อันตรายที่จะได้รับจากการใช้วัตถุกันเสียชนิดนี้ ดังที่กล่าวแต่แรกแล้วว่าวัตถุกันเสียชนิดนี้จะมีความเป็นพิษต่อผู้บริโภคค่อนข้างน้อยเนื่องจากร่างกายสามารถ Metabolizedได้เพราะกรดซอร์บิคเป็นกรดไขมันที่ร่างกายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Linslay,1985. ; Busta and Sofos,1993)

2.9.2 กลไกในการยับยั้งจุลินทรีย์

จากการศึกษาทางด้านชีวเคมี (Biochemical studies) แสดงให้เป็นว่ากลไกของกรดซอร์บิค ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราและยีสต์ได้ดี ส่วนแบคทีเรียจะมีประสิทธิภาพที่น้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องจากการที่กรดซอร์บิค ไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Dehydrogenase แต่การจะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Dehydrogenase ในสัตว์นั้น จะต้องใช้กรดซอร์บิคในปริมาณที่มากกว่านี้มากมาย เมื่อใส่กรดซอร์บิคในอาหารจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นขึ้น ทำให้ได้สารประกอบ Peroxides และ Secondary oxidation products และถ้าในอาหารมีคาร์โบไฮเดรตในปริมาณที่มากพอ สารประกอบ Peroxides และ Secondary oxidation products ที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ แต่ถ้าหากมีคาร์โบไฮเดรตอยู่ไม่มากพอ สารประกอบ Acetoacetate และ Acetone จะถูกสร้างขึ้นแทน (ศิวาพร, 2529)

สำหรับปริมาณที่อนุญาตให้ใช้ในอาหารนั้น ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 84 อนุญาตให้ใช้กรดซอร์บิค หรือ แคลเซียมซอร์เบท หรือ โปแตสเซียม หรือ โซเดียมซอร์เบท ได้ในปริมาณสูงสุดไม่เกิน 1,000 ส่วนในล้านส่วน โดยอาจจะใช้เพียงอย่างเดียวหรือรวมกับเบนโซเอท หรือรวมกับพาราเบน ก็ได้ (ศิวาพร, 2529) แต่ทั้งนี้พบว่ามีจุลินทรีย์บางชนิดสามารถใช้ประโยชน์จากกรดซอร์บิคได้เช่น*Penicillium roqueforti*จะทำให้เกิด Decarboxylation

ทำให้ได้สารระเหยจำพวกกลิ่นสีได้และยังมีพวก*Aspergillus, Fusarium, Mucor*และ *Geotrichum* ที่ทำให้ประสิทธิภาพของกรดซอร์บิคลดน้อยลงได้ (Tanner and Chiechester,1983 ; Busta and Sofos,1993)

2.10 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

การผลิตพลับกึ่งแห้ง เป็นกระบวนการผลิตพลับให้มีปริมาณความชื้นลดน้อยลงจากพลับสด จนกระทั่งมีความชื้นสุดท้ายไม่มากกว่าร้อยละ 30 (Davies et al., 1976) เพื่อช่วยยืดระยะเวลาในการเก็บรักษาของผลพลับได้นานมากขึ้น ซึ่งในฤดูกาลที่มีปริมาณผลผลิตของพลับสดที่มากเกินความต้องการของตลาดก็ทำการแปรรูปพลับให้เป็นผลิตภัณฑ์พลับกึ่งแห้งที่สามารถเก็บรักษาพลับไว้บริโภคนอกฤดูกาลได้ พลับพันธุ์ Hachiya, Nightingale, Ang Sai (P3) และ Niu Scin (P4)เหมาะสมที่จะนำไปผลิตผลิตภัณฑ์พลับกึ่งแห้ง (ไพโรจน์ , 2535) นอกจากนี้ Gazit and Adato(1972) และ Pesis et al.(1986) พบว่าพลับพันธุ์ Triumph ที่มีความฝาดจะผ่านกรรมวิธีการลดความฝาดเพื่อเปลี่ยนสารแทนนินที่ละลายน้ำได้ (Soluble tannin)ไปเป็นสารแทนนินที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble tannin) โดยวิธีการบรรจุในถุงพลาสติกที่อัดด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนแล้วเกิดการผลิตสารอะซิตัลดีไฮด์ ที่เข้าไปทำปฏิกิริยากับแทนนินให้มีการเปลี่ยนโครงสร้างอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ อย่างไรก็ตาม ไพโรจน์ (2535) ได้นำพลับที่ลดความฝาดแล้วมาทำแห้งและรมควันกำมะถันที่ปริมาณ 10 กรัม ต่อตู้อบที่มีขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร เพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในระหว่างการผลิตและป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ซึ่งให้ค่าการทดสอบทางประสาทสัมผัสที่แตกต่างจากพลับกึ่งแห้งที่ไม่ผ่านการลดความฝาด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์อื่นๆก็ให้ค่าที่อยู่ในเกณฑ์ดี ในการวิจัยครั้งนี้จึงนำพลับพันธุ์ Ang Sai (P3)และ Niu Scin (P4) มาทำการศึกษาถึงการพัฒนากระบวนการผลิตและการเก็บรักษาที่เหมาะสมในลักษณะของพลับกึ่งแห้ง ปวิณ และคณะ(2537) กล่าวว่า การลดความฝาดของพลับที่ปลูกในประเทศไทย สามารถทำได้ด้วยการเก็บในบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่อุณหภูมิห้องนานประมาณ 4 วัน Itoo (1986) พบว่า การนำพลับพันธุ์ Triumph มาเก็บในบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 80 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส นาน 18-24 ชั่วโมง แล้วนำมาเก็บที่บรรยากาศปกติ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน จะทำให้ได้พลับที่ปราศจากความฝาดและลักษณะนิ่มที่ผิดปกติ (Abnormal softening) นอกจากนี้ Ben-Arie and Sonego(1993) กล่าวว่า การเก็บพลับพันธุ์ Triumph ไว้ที่อุณหภูมิ 60 - 80 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดความฝาดกลับมาอีกครั้งได้ อย่างไรก็ตาม ในผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง (Intermediate Moisture Foods) ซึ่งมีค่าน้ำอิสระ (a_w) อยู่ในช่วง 0.6 - 0.9 รวมทั้งอาหารแห้ง (Dried Foods) มักจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลและการเจริญของเชื้อราและยีสต์ (William,1976) จึงมักนิยมใช้สารเคมีร่วมในกระบวนการเก็บรักษาเช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โซเดียมซัลไฟต์ โซเดียมเมตาไบซัล-

ไฟต์ โซเดียมไบซัลไฟต์ โดยใช้ในผลไม้อบแห้ง (Apricot, Peaches และ Pear) เป็นปริมาณ 1,000 - 2,000 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์และโซเดียมไบซัลไฟต์นี้สามารถแตกตัวให้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในปริมาณมาก และมีคุณสมบัติการละลายน้ำที่ดีที่มีผลต่อการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลและการเจริญของจุลินทรีย์ (ไพบูลย์, 2532) กรดซอร์บิคและเกลือซอร์เบท เป็นสารป้องกันการเจริญของยีสต์และราที่ดี โดยมีการนำมาใช้ในผลไม้อบแห้งในปริมาณ 200 - 500 ส่วนในล้านส่วน(Giese, 1994) นอกจากนี้ Canellas et al. (1994) พบว่า อุณหภูมิ แสง และปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะมีผลต่อคุณภาพของผล Apricot แห้ง โดยที่ในตัวอย่างที่มีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 300 และ 1400 ส่วนในล้านส่วน ที่ทำการแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 และ 11 องศาเซลเซียสนั้น จะยังคงได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพค่อนข้างคงที่เมื่อเก็บไว้นานถึง 9 เดือน ซึ่งในตัวอย่างที่มีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 300 ส่วนในล้านส่วน ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 20 - 25 องศาเซลเซียสจะเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลมากยิ่งขึ้น Payne et al.(1992) พบว่า การเก็บรักษาพลับพันธุ์ฟูยูไว้ที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 2 สัปดาห์ จะยังคงรักษากลิ่นรสไว้ได้ แต่มีการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสที่นุ่มมากขึ้น ส่วนการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส สามารถเก็บไว้นาน 8 สัปดาห์ โดยมีการเปลี่ยนแปลงเรื่องกลิ่นรสเล็กน้อย แต่มีการสูญเสียน้ำหนักและมีลักษณะนิ่มเนื่องจาก Chilling injury มากขึ้น Ben-Arie and Zutkhi (1992) พบว่า ในสภาพการบรรจุแบบบรรยากาศที่ดัดแปลง (Modified atmosphere) โดยมีปริมาณก๊าซออกซิเจนร้อยละ 3.8 และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ7ที่ใช้ฟิล์มโลเดนซิตี้โพลีเอทธีลีน(Low-density polyethylene;LDPE) ความหนา 0.08 มิลลิเมตร เก็บรักษาพลับพันธุ์ฟูยูไว้ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส จะช่วยป้องกันการนิ่มและการสูญเสียน้ำหนักได้ ตลอดจนสามารถชะลอการสูญเสียกลิ่นและรสชาติของพลับตามธรรมชาติได้ Day (1993)กล่าวว่า ในการเก็บผลไม้ไว้ในสภาวะบรรยากาศที่ดัดแปลง โดยการจัดบรรยากาศให้มีปริมาณของก๊าซออกซิเจนร้อยละ 2 - 5 และการมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 3 - 8 จะช่วยชะลอการหายใจของผลไม้ และการอยู่ในภาชนะบรรจุที่เหมาะสม เช่น โพลีเอสเทอร์โลเดนซิตี้โพลีเอทธีลีน และ โพลีโพพีลีน สามารถทำให้อัตราการซึมผ่านของก๊าซและความชื้นลดลงได้ รวมทั้งการเก็บไว้ในที่อุณหภูมิ 0 - 5 องศาเซลเซียส จะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาไว้ได้นานมากขึ้น

จะเห็นได้ว่า วิธีการลดความฝาด การรมควันกำมะถัน เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง สารกันเชื้อราและวิธีการเก็บรักษา เป็นสิ่งสำคัญที่นำมาใช้ในการพัฒนากระบวนการผลิตพลับกึ่งแห้ง เพื่อที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งมีคุณภาพดีในช่วงระยะเวลาที่ทำการเก็บรักษาไว้ได้