บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะทั่วไปของมะม่วง

มะม่วงมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Mangifera indica* L. จัดอยู่ในวงศ์ Anacadiaceae เป็นไม้ผลเขตร้อนมีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศพม่าและอินเดีย ประเทศไทยมีภูมิประเทศและดินฟ้าอากาศเหมาะสำหรับปลูกมะม่วงเป็นอย่างมาก มะม่วงจึงเป็นผลไม้ที่รู้จักกันดีและนิยมปลูกกันอย่างกว้างขวาง (วิจิตร, 2529) ชาวฮินดูเชื่อว่าในส่วนประกอบต่างๆ ของมะม่วง เช่น เปลือก กิ่ง ใบ ลำต้น เนื้อเมล็ด มีประโยชน์คือช่วยระบบการย่อยอาหาร บำรุงผิวพรรณ และการหมุนเวียนของระบบเลือด (ธนาธิป, 2544)

2.1.1 พันธุ์มะม่วงของไทยแบ่งออกตามประโยชน์ที่ใช้ได้ 3 ประเภท คือ

2.1.1.1 มะม่วงกินสุก ผลของมะม่วงประเภทนี้ขณะที่ดิบอยู่จะมีรสเปรี้ยวมาก แต่พอเริ่มสุกแป้งจะเปลี่ยนเป็นน้ำตาล พอสุกได้ที่รสจะหวานอร่อย ตลาดโลกส่วนใหญ่รู้จักแต่มะม่วงกินสุกเท่านั้น นอกจากจะใช้ประโยชน์ในรูปรับประทานผลสุกแล้ว ยังใช้ประกอบอาหารหวานได้อีกหลายอย่าง พันธุ์มะม่วงกินสุกของไทย เช่น อกร่อง ทองแดง แรด น้ำดอกไม้ โชคอนันต์ เป็นต้น

2.1.1.2 มะม่วงมันหรือมะม่วงกินดิบ ใช้ประโยชน์ได้ตั้งแต่ระยะยังไม่แก่จนถึงแก่จัด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ บางพันธุ์ต้องปล่อยให้ผลอยู่ในสภาพแก่จัดเสียก่อนจึงจะอร่อย มะม่วงมันมีตลาดอยู่อย่างจำกัด ส่วนใหญ่เราใช้บริโภคภายในประเทศ มีส่งออกไปขายตลาดต่างประเทศบ้างไม่มากนัก พันธุ์มะม่วงมันของไทย เช่น พิมเสนมัน เขียวเสวย ศาลายา ฟ้าลั่น หนองแซง เป็นต้น

2.1.1.3 มะม่วงแปรรูป ผลมะม่วงอาจนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายอย่าง เช่น มะม่วงดอง แยมมะม่วง ไวน์มะม่วง มะม่วงตากแห้ง เป็นต้น มะม่วงทุกพันธุ์ไม่สามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้ทุกชนิด ผลิตภัณฑ์บางชนิดต้องการพันธุ์มะม่วงที่มีลักษณะเฉพาะ โดยพันธุ์มะม่วงที่มีบทบาทในการแปรรูปนั้น จะต้องเป็นพันธุ์ที่ปลูกกันมากและราคาไม่แพงจนเกินไป (วิจิตร, 2533)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.2 คุณลักษณะพันธุ์ที่ดีของมะม่วง ควรมีลักษณะที่สำคัญดังต่อไปนี้

2.1.2.1 เป็นพันธุ์ที่ออกดอกง่ายหรือชักนำให้ออกดอกได้ง่าย ออกดอกติดผลทุกปี ติดผลดกหรือให้ผลผลิตต่อต้นสูง

2.1.2.2 ผลมีขนาดโตพอดี รูปร่างสม่ำเสมอ และเป็นที่ยอมรับของตลาด

2.1.2.3 ไม่อ่อนแอต่อโรคและแมลง

2.1.2.4 ผลมีเปลือกหนา ทนต่อการขีดข่วน ไม่ชอกช้ำง่าย

2.1.2.5 ขั้วผลเหนียว ไม่ร่วงหล่นเสียหายง่าย อันเนื่องมาจากลมแรง หรือสภาวะแวดล้อมที่เลวอื่นๆ

2.1.2.6 มีคุณภาพในการเก็บรักษาและการขนส่งดี หลังเก็บเกี่ยวแล้วสามารถเก็บรักษาผลไว้ได้นานหลายวัน

2.1.2.7 ควรเป็นพันธุ์ที่ใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น นอกจากใช้รับประทานสุกแล้วยังสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้

2.1.2.8 ผิวผลมีสีสันสะดุดตา เข้มสดใส เช่น สีเหลืองทอง แดงอมส้ม

2.1.2.9 เนื้อผลมีสีเข้ม หรือเหลือง เนื้อละเอียด ไม่มีเสี้ยน เมล็ดบาง ไม่มีเนื้อผลสุกรอบๆ เมล็ดเมื่อแก่จัด

2.1.2.10 มีรสชาติน่ารับประทาน ถูกกับรสนิยมของผู้บริโภค

2.1.2.11 เป็นพันธุ์ที่มีการปลูกกันมาก สามารถรวบรวมผลิตผลได้เป็นกอบเป็นกำ และมีฤดูกาลเก็บเกี่ยวนานพอสมควร (วิจิตร, 2533)

2.2 ลักษณะประจำพันธุ์ของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์

เนื่องจากมะม่วงพันธุ์นี้เพาะเมล็ดจากมะม่วงสามปี กลิ่นผลจึงยังคงกลิ่นสามปีเอาไว้ ตลอดจนการติดผลเหมือนสามปีคือ ลักษณะเป็นพวง ลักษณะเด่นคือ เป็นมะม่วงออกดอกทะวายทั้งปีไม่กลัวฝน ผลมีขนาดปานกลางเฉลี่ยยาว 12 เซนติเมตร กว้าง 7.2 เซนติเมตร หนา 6.2 เซนติเมตร น้ำหนักผลเฉลี่ย 270 กรัมต่อผล ผลดิบมีสีเขียวอ่อนผิวเรียบ เมื่อดิบรสชาติผลจืด เมื่อสุกผิวสีเหลืองส้มสวยมาก เปลือกหนา 0.2 เซนติเมตร ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ที่หนา จึงเหมาะในการเก็บรักษานานๆ และการขนส่งไกลๆ ปริมาณเนื้อของผลมีประมาณ 62 เปอร์เซ็นต์ เนื้อผลสีเหลืองเข้ม รสหวาน ความหวานประมาณ 20 องศาบริกซ์ มีเส้นใยปานกลาง (พานิชย์, 2544)

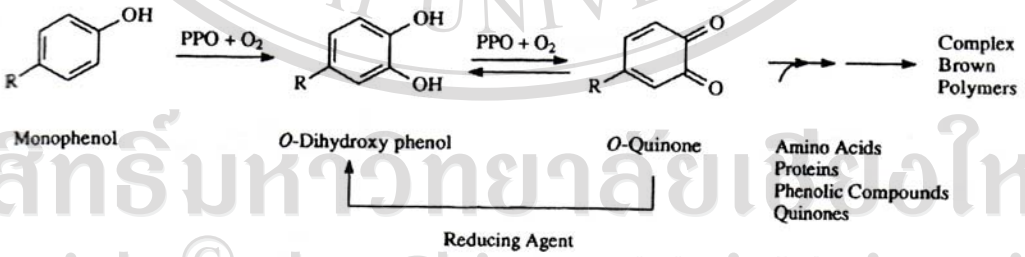
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning reaction)

การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในอาหารแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ การเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากปฏิกิริยาเอนไซม์ (enzymatic browning) และการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีปฏิกิริยาเอนไซม์เกี่ยวข้อง (non-enzymatic browning)

2.3.1 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์

การเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากปฏิกิริยาเอนไซม์เป็นปัญหาสำคัญที่พบในผักผลไม้สดและน้ำผลไม้มากกว่าผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการแปรรูปด้วยความร้อน เนื่องจากความร้อนที่ใช้ในการแปรรูปจะทำให้ประสิทธิภาพของเอนไซม์เสียไปได้ (ศิวาพร, 2535) ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์จะเกิดขึ้นกับเนื้อเยื่อพืชเมื่อเซลล์ถูกทำลายทางกล เช่น การปอกเปลือก หรือการหั่นชิ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยาของสารประกอบโมโนฟีนอลที่อยู่ในเซลล์พืชสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ และมีเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชันได้เป็น *ออร์โท*-ไดฟีนอล (*o*-diphenol) สารนี้จะถูกออกซิไดส์ต่อให้เป็น *ออร์โท*-คิวโนน (*o*-quinine) เอนไซม์ PPO อาจมีชื่อเรียกว่า โพลีฟีนอลเลส, ฟีนอเลส, ไทโรซิเนส, *ออร์โท*-ไดฟีนอลออกซิเดส (*o*-diphenol oxidase) หรือแคทีคอลออกซิเดส (catechol oxidase) คิวโนนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาที่เร่งด้วยเอนไซม์ PPO จะรวมตัวกันและเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดกับสารประกอบฟีนอลอื่นๆ หรือกับกรดอะมิโนได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำตาล (นิธิยา, 2549) ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากปฏิกิริยาเอนไซม์และการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของรีดิวซิงเอเจนต์

ที่มา : Sapers (1993)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ในผักและผลไม้คือ ความเข้มข้นของเอนไซม์ และสารประกอบฟีนอลที่เป็นสับสเตรท ความเป็นกรด-ด่าง ออกซิเจน และอุณหภูมิ เป็นต้น (ศิวาพร, 2535) สับสเตรทที่ถูกออกซิไดส์ได้ด้วยเอนไซม์ PPO ได้แก่ สารประกอบฟีนอลที่มีอยู่ในพืชซึ่งเป็นสารฟลาโวนอยด์ (flavonoids) เช่น แอนโทไซยานิดิน ลูโคแอนโทไซยานิดิน ฟลาโวนอล แคทีคอล กรดคาเฟอิก กรดคลอโรจินิก แคตีชิน เอสเทอร์ของกรดซินนามิก 3,4-ไดไฮดรอกซีฟีนิลอะลานีน (3,4-dihydroxyphenylalanine หรือ DOPA) และไทโรซีน พีเอชที่เหมาะสมสำหรับการทำงานเอนไซม์ PPO อยู่ในช่วงพีเอช 5-7 เอนไซม์นี้ไม่ค่อยคงตัวถูกทำลายได้ด้วยความร้อนและถูกยับยั้งได้ด้วยกรดแฮไลด์ (halides) กรดฟีนอล ซัลไฟต์ คีเลติงเอเจนต์ (chelating agents) และรีดิวซิงเอเจนต์ เช่น กรดแอสคอร์บิก และซีสเทอีน เป็นต้น (นิธิยา, 2549)

การควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ในอาหาร

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์เมื่อเกิดขึ้นในอาหารจะทำให้อาหารมีสีเปลี่ยนไป และยังทำให้รสชาติของอาหารบางชนิดเปลี่ยนแปลงไปด้วย อาหารจึงมีคุณภาพลดลงไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค การควบคุมไม่ให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์นี้ทำได้หลายวิธี จะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับอาหารแต่ละชนิด ตัวอย่างเช่น

1. ใช้ความร้อนทำลายเอนไซม์ PPO หรือฟีนอเลส เช่น การลวกผักด้วยไอน้ำ
2. ใช้สารเคมียังยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO หรือฟีนอเลส
3. เติมสารรีดิวซิงเอเจนต์ เช่น กรดแอสคอร์บิก ความเข้มข้นประมาณ 0.1 - 0.3 เปอร์เซ็นต์
4. กำจัดออกซิเจนโดยใช้ภาชนะบรรจุที่อากาศผ่านเข้าออกไม่ได้ หรือลดความดันของอากาศให้ต่ำกว่า 380 ทอร์ (torr) หรือเก็บรักษาในบรรยากาศที่มีออกซิเจนต่ำมากๆ
5. ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสับสเตรทที่มีอยู่ตามธรรมชาติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การยับยั้งเอนไซม์อาจใช้ 2 – 3 วิธีร่วมกันก็ได้ แต่การลวกด้วยไอน้ำใช้กับผลไม้ไม่ได้เพราะจะทำให้ผลไม้บางชนิดมีกลิ่นผิดปกติ และทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสนิ่มลง อย่างไรก็ตามสามารถใช้ความร้อนยังยั้งเอนไซม์ในน้ำผลไม้และเนื้อผลไม้ตีป่น (puree) หรือใช้การเติมกรดแอสคอร์บิกลงไปให้ทำปฏิกิริยากับ *ออร์โท*-ควิโนน เพื่อเปลี่ยนกลับให้เป็น *ออร์โท*-ไดฟีนอล (นิธิยา, 2549)

2.3.2 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์หรือปฏิกิริยาเมลลาร์ด จะเกิดขึ้นเมื่ออาหารทุกชนิดได้รับความร้อนจะมีการสูญเสียน้ำ (dehydration) มีการสลายตัว (degradation) และมีการรวมตัวกัน (condensation) ของหมู่อะมิโนกับสารประกอบรีดิวซิงและพัฒนาเป็นสารประกอบเชิงซ้อนมีสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาลและน้ำตาลแดง และทำให้อาหารมีกลิ่นและรสชาติเฉพาะ

การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดของอาหารแต่ละชนิดเมื่อได้รับความร้อนจะทำให้มีทั้งสีกลิ่นและรสชาติเกิดขึ้นแตกต่างกัน และปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงและจะผันแปรตามระยะเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ (นิธิยา, 2549)

การจำแนกชนิดของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ สามารถจำแนกย่อยออกได้เป็น 2 แบบ คือ

1. การเกิดคาราเมไลเซชัน (caramelization)
2. การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction)

2.3.2.1 คาราเมไลเซชัน

เป็นปฏิกิริยาที่ใช้ความร้อนในการสลายโมเลกุลให้แยกออก (thermolysis) และเกิดโพลิเมอไรเซชันของสารประกอบคาร์บอนได้เป็นสารที่ให้สีน้ำตาล โดยปฏิกิริยานี้สารเริ่มต้นจะเป็นน้ำตาลเท่านั้น (ศิวาพร, 2535)

2.3.2.2 ปฏิกิริยาเมลลาร์ด

เมื่อน้ำตาลแอลโดส หรือคีโตส ซึ่งเป็นน้ำตาลรีดิวซิงได้รับความร้อนในภาวะที่มีน้ำ (a_w > 0.2) กับเอมีน จะทำให้เกิดสารประกอบต่างๆ มากมายหลายชนิด ซึ่งมีผลต่อสี กลิ่น และรสชาติของอาหาร และอาจเป็นสิ่งที่พึงประสงค์หรือไม่พึงประสงค์ก็ได้ ปฏิกิริยาเหล่านี้จะเกิดขึ้นขณะทอด อบ-ปิ้ง-ย่าง หรือระหว่างเก็บรักษา น้ำตาลรีดิวซิงจะทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนในโมเลกุลของแอมโมเนีย กรดอะมิโน และโปรตีนได้เป็นไกลโคซิลเอมีน (N-substituted glycosylamine) และจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจนได้สารสีน้ำตาล เรียกว่า ปฏิกิริยาเมลลาร์ด หรือ non-enzymatic browning ซึ่งต่างจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ขั้นตอนของปฏิกิริยาเมลลาร์ด มีดังนี้

1. น้ำตาลรีดิวซิงทั้งคีโตส และแอลโดส จะรวมตัวกับหมู่อะมิโนได้เป็นไกลโคซิลเอมีน

2. เกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันได้เป็นอิมีน (imines หรือ Schiff base) และมีการเรียงตัวใหม่ซึ่งมีชื่อเรียกว่า Amadori rearrangement ได้เป็นแอลโดสเอมีน (aldoseamine) หรือ คีโตสเอมีน (ketoseamine) เรียกว่า Amadori products เช่น 1-อะมิโน-1-ดีออกซี-คีโตส ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องได้ เมื่อมีพีเอช 5 หรือต่ำกว่า

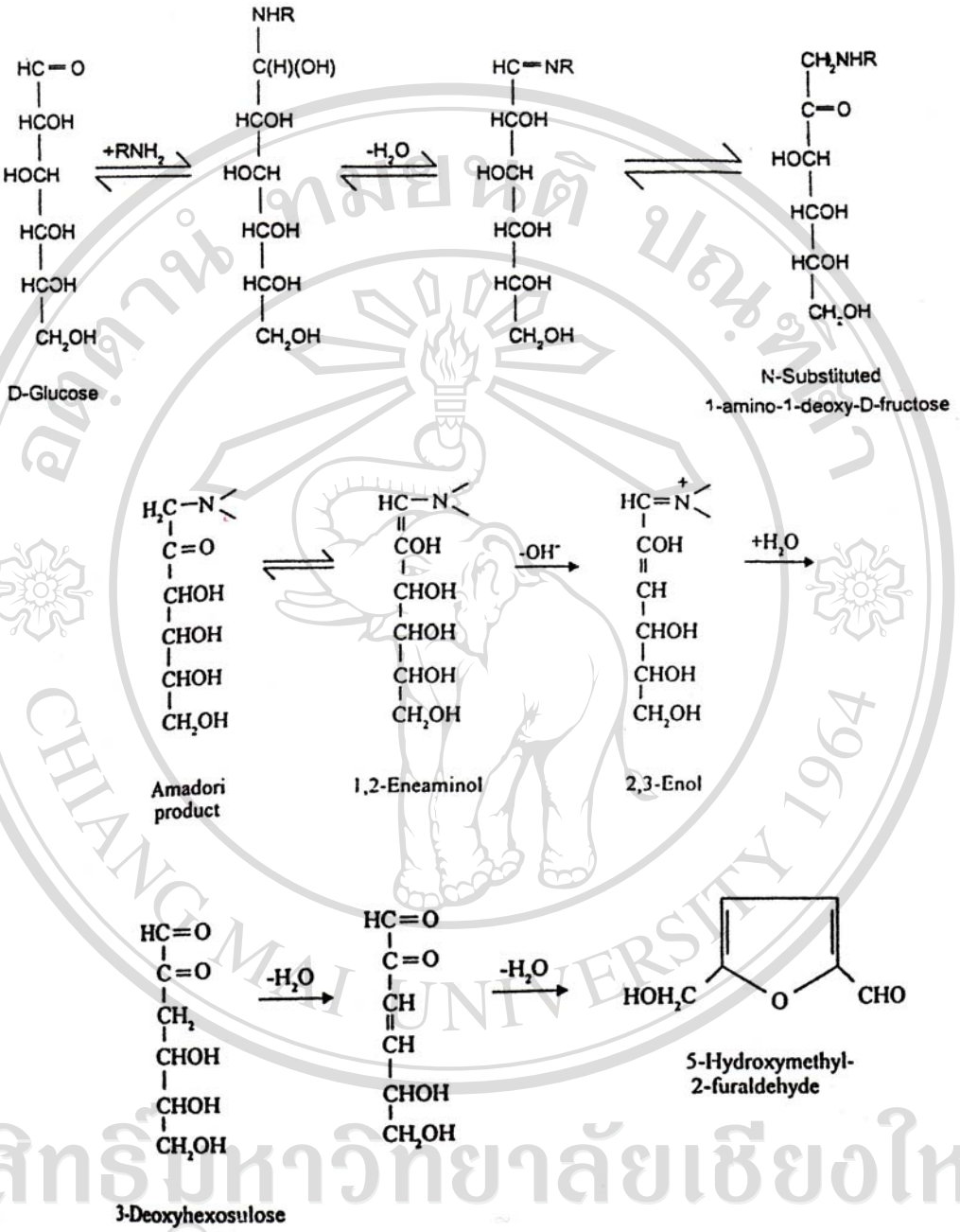
3. เกิดปฏิกิริยา enolization ของ Amadori products ได้เป็นไดคีโตสเอมีนหรือไดอะมิโนซูการ์ เช่น 3-ดีออกซีเฮกโซซูโลส

4. เกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันต่อได้เป็นอนุพันธ์ของฟูแรน (furan) ถ้าเป็นน้ำตาลเฮกโซส อนุพันธ์ฟูแรนคือ 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอรัลดีไฮด์ (5-hydroxymethyl-2-furaldehyde หรือ HMF)

5. อนุพันธ์ฟูแรนวงแหวน เช่น HMF จะเกิดพอลิเมอไรซ์อย่างรวดเร็วได้เป็นสารสีน้ำตาลที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยและไม่ละลายน้ำ ซึ่งต่างจากการเกิดคาราเมไลเซชันซึ่งมีน้ำตาลเพียงอย่างเดียว สารสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นนี้จึงเรียกว่า เมลานอยดิน (melanoidins) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาโมลต่อโมล (mole per mole reaction) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ดังนั้นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาเมลลาร์ดจึงมีทั้งพอลิเมอร์ที่ละลายน้ำและไม่ละลายในน้ำ และพบได้ในอาหารที่มีน้ำตาลรีดิวซิง กรดอะมิโน โปรตีน หรือสารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ อยู่รวมกันและได้รับความร้อน เช่น การเกิดสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ขนมอบ ปฏิกิริยานี้ยังมีความสำคัญต่อการทำคาราเมล ทอฟฟี่ และช็อกโกแลตนม เป็นต้น

ข้อเสียของปฏิกิริยาเมลลาร์ดคือ ทำให้กรดอะมิโนไลซีนซึ่งเป็นกรดอะมิโนจำเป็นทั้งที่อยู่ในรูปอิสระและที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของโปรตีนลดน้อยลง ดังนั้นการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบนี้จะทำให้คุณค่าทางโภชนาการของอาหารลดลงด้วย นอกจากนั้นหากเป็นอาหารที่มีโปรตีนสูงและได้รับความร้อนสูงด้วย ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะเป็นสาร heterocyclic amine ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง (นิธิยา, 2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด

ที่มา : Bemiller and Whistler (1996)

2.3.3 เอนไซม์สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล

เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ได้แก่ เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสและเปอร์ออกซิเดส (จริงแท้, 2544) ในระหว่างกระบวนการผลิตผลไม้สดพร้อมบริโภค เช่น การปอกเปลือก หั่นชิ้น หรือตัดแต่ง จะทำให้เอนไซม์ทั้ง 2 ชนิดนี้ ที่อยู่ภายในเซลล์ของผลมะม่วงสุกสามารถออกมาจับตัวกับสับสเตรทได้อย่างอิสระและทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีน้ำตาลในเนื้อเยื่อของผลไม้สดพร้อมบริโภคบางชนิดได้ และทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Friedman, 1996)

2.3.3.1 เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenoloxidase ; PPO)

เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (1,2-benzenediol oxygen oxidoreductase, EC 1.10.3.1) หรืออาจเรียกว่า ไทโรซิเนส, โพลีฟีนอลออกซิเดส, ฟีนอเลส, แคทีคอลออกซิเดส, ครีซอเลส หรือแคทีคอเลส ขึ้นอยู่กับสับสเตรทที่ใช้หรือพบมากที่สุดในเนื้อเยื่อพืชนั้น เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสพบทั้งในพืชและสัตว์ และจุลินทรีย์บางชนิด เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชันได้เป็น *ออร์โท*-ไดฟีนอล (*o*-diphenol) สารนี้จะถูกออกซิไดส์ต่อให้เป็น *ออร์โท*-ควิโนน (o-quinine) ควิโนนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาที่เร่งด้วยเอนไซม์ PPO นี้ จะรวมตัวกันและเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดกับสารประกอบฟีนอลอื่นๆ หรือกับกรดอะมิโนได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำตาล สับสเตรทที่ถูกออกซิไดส์ได้ด้วยเอนไซม์ PPO ได้แก่ สารประกอบฟีนอลที่มีอยู่ในพืชซึ่งเป็นสารฟลาโวนอยด์ (flavonoids) เช่น แอนโทไซยานิดิน, ลูโคแอนโทไซยานิดิน, ฟลาโวนอล, แคทีคอล, กรดคาเฟอิก, กรดคลอโรจินิกแคตีชิน, เอสเทอร์ของกรดซินนามิก (cinnamic acid ester) 3,4-ไดไฮดรอกซีฟีนิลอะลานีน (3,4-dihydroxyphenylalanine หรือ DOPA) และไทโรซีน พีเอชที่เหมาะสมสำหรับการทำงานเอนไซม์ PPO อยู่ในช่วงพีเอช 5-7 เอนไซม์นี้ไม่ค่อยคงตัว ถูกทำลายได้ด้วยความร้อน และถูกยับยั้งได้ด้วยกรดแฮไลด์ (halides) กรดฟีนอล ซัลไฟต์ คีเลติงเอเจนต์ (chelating agent) และรีดิวซิงเอเจนต์ เช่น กรดแอสคอร์บิก และซีสเทอีน เป็นต้น (นิธิยา, 2549) การยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของสารดังกล่าวนั้น สารบางชนิดจะทำปฏิกิริยากับเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสโดยตรง แต่บางชนิดจะไปทำปฏิกิริยากับสับสเตรททำให้การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลถูกยับยั้งได้ (Walker, 1995) โดยจะใช้ในการพิจารณาคุณภาพของผักผลไม้คือ ถ้าผลไม้มีสีน้ำตาลนั่นก็แสดงว่ามีรอยช้ำเกิดขึ้น ทั้งนี้เพราะในธรรมชาติทั้งเอนไซม์และสับสเตรทจะพบรวมอยู่ในผักผลไม้แต่อยู่ต่างระดับเนื้อเยื่อ ถ้าผักผลไม้มีรอยช้ำรอยบุบสลายแม้เพียงเล็กน้อยปฏิกิริยาสีน้ำตาลจะเกิดขึ้นทันที ซึ่งช่วยให้ทราบว่าการช้ำการแตกเสียหายเกิดขึ้นแล้วในเนื้อเยื่อ ถ้าสีเข้มมากก็แสดงว่าเกิดรอยช้ำมาก เป็นต้น (ปราณี, 2547)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.3.2 เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (Peroxidase ; POD)

เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (EC.1.11.1.7) เป็นเอนไซม์ที่อยู่ในกลุ่มของเอนไซม์ออกซิโดรีดักเทส (oxidoreductase) และมีธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างโมเลกุล สามารถออกซิไดส์สารประกอบฟีนอลในสภาวะที่มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เมื่อผลไม้สุก กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (Selvaraj and Kumar, 1989) และมีความสัมพันธ์กับความผิดปกติของสี (off-color) และรสชาติ (off-flavor) ของผักและผลไม้ที่ไม่ผ่านการลวก (Robinson, 2000) และค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของเอนไซม์จะอยู่ในช่วง 5.5-7.5 (Lamikanra and Watson, 2001) เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสไม่มีความจำเพาะเจาะจงต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอล และสารประกอบอะโรมาติกที่พบอยู่ในพืชต่างๆ และเป็นเอนไซม์ที่มีความคงตัวต่อความร้อน ดังนั้นเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสจึงนำมาใช้เป็นตัวชี้บ่งการลวก (index of browning) ที่เหมาะสมได้ (Reed, 1975)

ลักษณะปฏิกิริยาของเปอร์ออกซิเดส

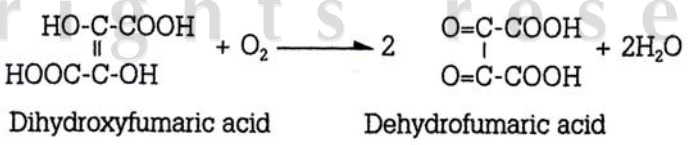
เร่งปฏิกิริยา 4 ลักษณะ ตามชนิดของสับเสตรต ดังนี้

1. ปฏิกิริยาเปอร์ออกซิเดติก (Peroxidatic reaction)

$$H_2O_2 + AH_2 \longrightarrow 2H_2O + \underset{(HAAH)}{\text{ผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์}}$$

ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาหลักของเปอร์ออกซิเดสใน *in vitro* ที่มีสับสเตรทเป็นสารประกอบฟีนอล เช่น พารา-ครีซอล (*p*-cresol) กัวอะคอล (guaiacol) เรโซซินอล (resorcinol) อะนิลีน (aniline) เป็นต้น

2. ปฏิกิริยาออกซิเดติก (Oxidatic reaction)



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

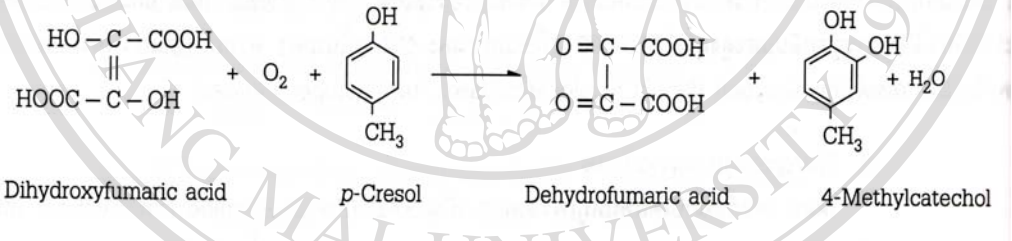
ปฏิกิริยาออกซิเดติกจะเกิดขึ้นเมื่อมีโมเลกุลออกซิเจน (O_2) และสับสเตรทเป็นสารประกอบพวกกรดไดไฮดรอกซีฟูมาริก (dihydroxyfumaric acid) กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) ไฮโดรควิโนน (hydroquinone) เป็นต้น

3. ปฏิกิริยาแคทาไลติก (Catalytic reaction)

ปฏิกิริยาเหมือนกรณีแคทาเลส

ปฏิกิริยาแคทาเลติกเกิดขึ้นได้ในกรณีที่ขาดตัวให้ไฮโดรเจน (AH_2) และเปอร์ออกซิเดสสามารถทำหน้าที่เหมือนแคทาเลส โดยเปลี่ยน H_2O_2 ไปเป็น H_2O และ O_2 ตามปฏิกิริยาได้บ้าง แต่ช้ากว่าแบบเปอร์ออกซิเดติก อย่างน้อย 1,000 เท่า

4. ปฏิกิริยาเติมหมู่ไฮดรอกซีล (Hydroxylation)

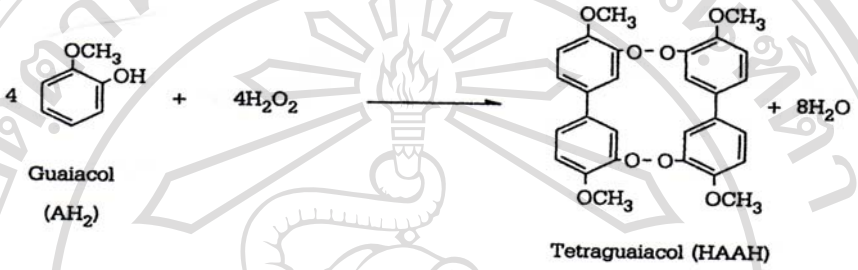


ในกรณีที่ปฏิกิริยามีตัวให้ไฮโดรเจนเป็นกรดไดไฮดรอกซีฟูมาริก (dihydroxyfumaric acid) และโมเลกุลของออกซิเจน (molecular oxygen, O_2) เปอร์ออกซิเดสจะสามารถเติมหมู่ OH (hydroxylation) ให้กับสารอะโรมาติก (aromatic) หลายชนิด เช่น พารา-ครีซอล ไทโรซีน ฟีนิลอะลานิน กรดเบนโซอิก และกรดซาลิไซลิก (salicylic acid) (ปราณี, 2547)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การวัดกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส

ปฏิกิริยาหลักของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสคือ Peroxidatic reaction ดังนั้นในการวัดกิจกรรมจะยึดตามปฏิกิริยาหลัก เช่น ปฏิกิริยาการออกซิไดส์สารกัวอะคอล ซึ่งเป็นตัวให้ไฮโดรเจนในขณะที่มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เมื่อสารทำปฏิกิริยากับเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสจะได้ผลิตภัณฑ์คือ tetraguaiacol ซึ่งมีสีน้ำตาล ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยา Peroxidatic reaction ซึ่งเร่งปฏิกิริยาด้วยเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในสภาพที่มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ที่มา : Whitaker (1994)

2.4 การยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล

สารประกอบซัลไฟต์เป็นสารที่ใช้ในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่มีประสิทธิภาพดีมาก เป็นวัตถุเจือปนอาหารที่มีความสำคัญต่อวงการอุตสาหกรรมอาหารมาก (ศิวาพร, 2535) ได้มีการนำมาใช้ในรูปต่างๆ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) โซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3) โซเดียมไบซัลไฟต์ ($NaHSO_3$) โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ($Na_2S_2O_5$) รวมทั้งเกลือในรูปของโพแทสเซียมด้วย นิยมเรียกสารประกอบในกลุ่มนี้ว่า “Sulfiting agents” (สายสนม, 2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.1 การใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับผลไม้แห้ง

การใช้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์รมผักและผลไม้ก่อนการอบแห้งนิยมใช้กันมาก เพราะก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยา Maillard browning และยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ (enzymatic browning) รวมทั้งยังเป็นสารต้านออกซิเดชัน ป้องกันการสูญเสียวิตามินซี ป้องกันลิพิด น้ำมันหอมระเหย และแคโรทีนอยด์ ไม่ให้เกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการอบแห้งและการเก็บรักษาด้วย ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ยังยับยั้งและควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการหมักน้ำตาลในผลไม้ ซึ่งอาจเกิดขึ้นระหว่างการตากแห้งโดยใช้

แสงแดด ซึ่งต้องใช้ระยะเวลานาน 2-3 วัน นอกจากนี้ยังช่วยรักษาสี ป้องกันการเน่าเสีย และคงคุณค่าทางโภชนาการของผักและผลไม้อบแห้งด้วย

วิธีการรมกำมะถันทำได้โดยเผากำมะถันให้เป็นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในภาชนะปิดหรือในตู้อบ นิยมใช้มากในการอบแห้งลำไย ลิ้นจี่ อะพริคอท ท้อ กล้วย และองุ่น นอกจากนี้ยังอาจใช้วิธีการจุ่มชิ้นผลไม้ลงในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ($Na_2S_2O_5$) ก่อนนำไปอบแห้ง เช่น การอบแห้งชิ้นแอปเปิล เนื้อลิ้นจี่ และเนื้อลำไย

ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ใช้จะผันแปรตามวิธีการและอุปกรณ์ที่ใช้อบแห้ง บทบาทหรือหน้าที่ของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ต้องการ ระยะเวลาการอบ ขนาดชิ้นของอาหาร พีเอชของอาหารหรือสารละลายที่ใช้ ผลไม้จะต้องดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไว้อย่างเพียงพอ เพราะจะมีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์บางส่วนสูญเสียไประหว่างการอบแห้งและการเก็บรักษา หากระยะเวลาที่ใช้อบแห้งนานเกิน 12 ชั่วโมง เช่น การทำแห้งโดยวิธีตากแดดต้องใช้ระยะเวลานาน 2-3 วัน จะต้องใช้ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มากกว่าผลไม้ที่ใช้เวลาอบแห้งสั้น หากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ลดน้อยลงมากหรือหายไปหมด จะทำให้ผลไม้แห้งเกิดปฏิกิริยา Maillard browning ได้ (นิธิยา, 2544)

2.4.2 กลไกในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ของ Sulfiting agents

สารประกอบกลุ่มนี้จะยับยั้งการเจริญเติบโตของทั้งเชื้อรา แบคทีเรีย และยีสต์ได้ แต่ประสิทธิภาพจะต่างกันไปขึ้นกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องและปัจจัยที่สำคัญที่สุดคือ ระดับ pH ซึ่งพบว่าเมื่อระดับ pH ลดลง ประสิทธิภาพการทำงานของสารประกอบนี้ยิ่งสูงขึ้น ทั้งนี้เพราะเมื่อก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์หรือเกลือต่างๆ เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะเกิดกรดซัลฟิวรัส (sulfurous acid) และแตกตัวต่อไปให้ไอออนต่างๆ ดังแสดงในสมการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$SO_2 + H_2O \longrightarrow H_2SO_3$$

$$2H_2SO_3 \longrightarrow H^+ + HSO_3^- \text{ หรือ } 2H^+ + SO_3^{2-}$$

การจะเกิดไอออนชนิดใดและในปริมาณเท่าใดขึ้นกับระดับ pH สูงกว่า 7 ขึ้นไป การแตกตัวจะมีแต่ไอออนของซัลไฟต์ (SO_3^{2-}) ส่วนในระดับที่ pH ต่ำกว่า 4.5 ลงมา การแตกตัวจะให้ไบซัลไฟต์ไอออน (HSO_3^-) และในระดับที่ pH ตั้งแต่ 3 ลงมา จะมีปริมาณของกรดซัลฟิวรัสในสภาพที่ไม่แตกตัวอยู่สูงสุด ซึ่งในสภาวะหลังสุดนี้จะมีประสิทธิภาพสูงสุดในการยับยั้งการเจริญ

ของเชื้อจุลินทรีย์ โดยส่วนที่ไม่แตกตัวดังกล่าวสามารถซึมผ่านผนังเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์เข้าไปรบกวนการทำงานของเซลล์ดังกล่าว แต่ในสภาพที่มี HSO_3^- ก็สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับแอซีตัลดีไฮด์ (acetaldehyde) ภายในเซลล์จุลินทรีย์ และยังไปลดพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide linkage, -S=S-) ในระบบเอนไซม์ได้ด้วย นอกจากนี้ยังสามารถเข้ารวมตัวกับสารประกอบบางชนิดที่มีผลกระทบต่อระบบหายใจซึ่งเกี่ยวข้องกับสารประกอบนิโคตินาไมด์ไดนิวคลีโอไทด์ (nicotinamide dinucleotide) (สายสนม, 2546)

2.4.3 วิธีการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอุตสาหกรรม

2.4.3.1 ใช้ยับยั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่เกิดจากเอนไซม์ ปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่เกิดจากเอนไซม์ของผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้นั้นเป็นปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาล กรดอินทรีย์ กับกรดอะมิโน เมื่อปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นในอาหาร จะทำให้อาหารมีสีดำ สร้างกลิ่นรสต่างๆ ขึ้น และบางครั้งจะสร้างสารที่ไม่ละลายต่างๆ ขึ้น ผลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลกับกรดอะมิโนนั้น เกิดจากซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไปทำให้สารที่เกิดขึ้นระหว่างปฏิกิริยาอยู่ในรูปที่คงตัวขึ้น

2.4.3.2 ใช้หยุดปฏิกิริยาต่างๆ ที่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง กรดซัลฟูรัส และซัลไฟต์ใช้สำหรับหยุดปฏิกิริยาการเปลี่ยนสีอันเนื่องมาจากเอนไซม์ของผลไม้ ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างการเตรียมเพื่อบรรจุกระป๋อง อบแห้ง หรือแช่เยือกแข็ง สารละลายของกรดซัลฟูรัส และซัลไฟต์ สามารถป้องกันผิวหน้าที่ได้ทำการตัดแต่งให้พ้นจากการเกิดออกซิเดชันได้ โดยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสเป็นเอนไซม์เดียวที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อเยื่อพืช ปฏิกิริยาของซัลไฟต์ที่ไปหยุดการเกิดสีน้ำตาลนั้น เข้าใจว่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไปลดปริมาณออกซิเจน หรือสารนี้ไปทำปฏิกิริยากับควิโนนหรือสารที่ได้จากระหว่างปฏิกิริยาโพลีฟีนอลออกซิเดส

2.4.3.3 ใช้เป็นวัตถุกันหืน กรดซัลฟูรัสและซัลไฟต์ในสารละลายจะถูกออกซิไดซ์จากอากาศเป็นซัลเฟต อัตราออกซิเดชันของซัลไฟต์ไอออนนั้น พบว่าเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ที่มีความว่องไวต่อการเร่งทั้งบวกและลบ ปฏิกิริยาออกซิเดชันไม่ขึ้นกับค่าของพีเอชที่ช่วง 8.2 และ 8.8 แต่อัตราของปฏิกิริยาจะขึ้นโดยตรงกับความเข้มข้นของทองแดงไอออน

2.4.3.4 ใช้เป็นสารรีดิวซ์ ได้มีการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในรูปของซัลไฟต์ หรือเมตาไบซัลไฟต์ โดยซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะรีดิวซ์สารประกอบที่มีสีเป็นอนุพันธ์ที่ไม่มีสี เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะมีผลในการฟอกสีของรงควัตถุสีแดง (แอนโทไซยานิน) แต่มีผลในการฟอกสีกับผลไม้ที่มีสีเหลืองเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ดี กรดซัลฟูรัสจะไม่ฟอกสีคลอโรฟิลล์ แต่จะไปเร่งการเปลี่ยนคลอโรฟิลล์เป็นฟีออไฟติน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.3.5 ใช้เป็นสารกันบูด เนื่องจากซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีสมบัติเป็นสารรีดิวซ์ซึ่งจะไปลดค่าแรงตึงของออกซิเจนในเนื้อเยื่ออาหารลดต่ำลงถึงจุดที่จุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนจะเจริญได้ หรือทำให้เอนไซม์ที่มีความจำเป็นต่อการเจริญของจุลินทรีย์อยู่ในรูปรีดิวซ์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีผลกับจุลินทรีย์เฉพาะชนิด เช่น แบคทีเรียสร้างกรดอะซีติก กรดแลคติก โดยเชื้อราต่างๆ มีความไวต่อซัลเฟอร์ไดออกไซด์มากกว่าเชื้อยีสต์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในสารละลายสามารถป้องกันการติดเชื้อจาก *Botrytis*, *Cladosporium* และเชื้อราอื่นๆ ในองุ่น และเชอรี่ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์อาจใช้เก็บรักษาผลไม้ที่เสื่อมเสียได้ง่ายหลังการเก็บเกี่ยว โดยประสิทธิภาพของกรดซัลฟูรัสในการเป็นสารกันบูดนั้นขึ้นกับค่าพีเอช

2.4.3.6 ใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ร่วมกับการแปรรูปด้วยความร้อน ซัลเฟอร์ไดออกไซด์สามารถใช้ร่วมกับกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อน เพื่อรักษาอาหารพวกน้ำผลไม้และเนื้อผลไม้ปั่น อุณหภูมิและเวลาที่ต้องการใช้ในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ลดลง ถ้าหากว่ามีการเติมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยการเติมในปริมาณที่เล็กน้อยจะช่วยลดเวลาที่ต้องการพลาสเจอร์ไรซ์ได้ และสารนี้จะไปเพิ่มความต้านทานต่อการเปลี่ยนสี และกลิ่นรสของน้ำผลไม้และผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ใช้แปรรูปด้วยความร้อนได้ (ไพบูลย์, 2532)

การใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์แม้ว่าจะมีประโยชน์ในหลายด้าน แต่ก็ทำให้มีข้อเสียขึ้นได้คือ ทำให้เกิดการกัดกร่อนของอุปกรณ์เครื่องใช้ การใช้ในปริมาณมากเกินไปจะทำให้เกิดกลิ่นรสผิดปกติ เพราะซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีกลิ่นเฉพาะตัวจึงอาจทำให้อาหารบางชนิดมีกลิ่นรสผิดไปและยังอาจเกิดปฏิกิริยากับสารให้กลิ่น จึงอาจทำให้กลิ่นจางลง

เนื่องจากการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีจุดประสงค์หลักเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลจากเอนไซม์และลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงอาจใช้สารเคมีหรือกระบวนการอื่นที่สามารถลดการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล และปฏิกิริยาออกซิเดชันร่วมด้วย หรือทดแทนการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ เช่น การใช้กรดเพื่อลดค่าความเป็นกรดด่าง ทำให้ไม่เหมาะสมกับการทำงานของเอนไซม์ หรือใช้การยับยั้งเอนไซม์ด้วยวิธีอื่น หรือใช้วิธีอบแห้งอย่างรวดเร็วเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด หรือใช้ลด a_w โดยใช้แรงดันออสโมติก หรือใช้สารยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันอื่น เช่น โทโคฟีรอล (Tocopherol) ซีสเทอีน (cysteine) กลูทาไทโอน (glutathione) เป็นต้น (กิตติพงษ์, ไม่ระบุปี)

สำหรับปริมาณสารประกอบซัลไฟต์ที่มีการอนุญาตให้ใช้ในอาหารตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 84 มีดังนี้

อนุญาตให้ใช้กรดซัลฟิวรัส หรือโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ หรือโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ หรือโซเดียมไบซัลไฟต์ หรือโพแทสเซียมไบซัลไฟต์ หรือซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยคิดคำนวณเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยอนุญาตให้ใช้ในปริมาณที่กำหนด ดังตารางที่ 2.1 (ศิวาพร, 2535)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.1 ปริมาณสารประกอบซัลไฟต์ที่มีการอนุญาตให้ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่างๆ ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 84

ชนิดอาหาร	ในปริมาณสูงสุดไม่เกินมิลลิกรัม/กิโลกรัม
ผลไม้แห้งและผักแห้ง	2500
ในอาหารชนิดอื่นเว้นแต่เนื้อสัตว์และน้ำตาลทรายดิบ (Centrifugal raw sugar)	500
น้ำตาลทรายชนิดผงหรือป่น (Powdered or icing sugar)	20
เด็กโทรสโมโนไฮเดรต (Dextrose monohydrate)	20
น้ำเชื่อมกลูโคสแห้ง (Dried glucose syrub)	40
น้ำเชื่อมกลูโคส (Glucose syrub)	40
น้ำตาลทรายขาว (White sugar)	70
น้ำตาลทรายบริสุทธิ์ (Refined sugar)	20

ที่มา: สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข (2527)

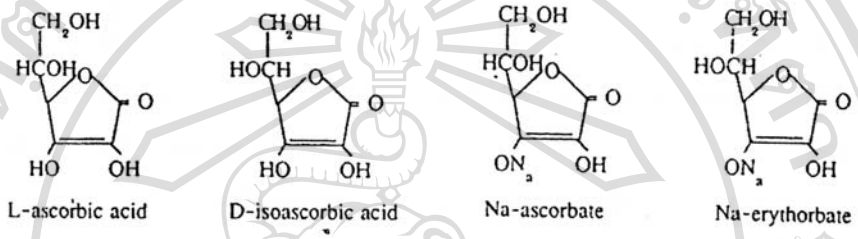
2.5 สารที่ใช้ทดแทนสารประกอบซัลไฟต์ในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล

จากที่ทราบแล้วว่าสารประกอบซัลไฟต์ เป็นวัตถุเจือปนอาหารที่มีประสิทธิภาพดีมากในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในอาหาร และในขณะเดียวกันยังช่วยยืดอายุการเก็บของอาหาร และช่วยปรับปรุงคุณภาพของอาหารอีกหลายชนิด และที่สำคัญคือจะมีราคาถูกมาก แต่มีข้อเสียคือไม่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค เนื่องจากอนุมูลซัลไฟต์ที่เหลือในอาหารถ้าหากมีอยู่ในปริมาณที่มากเกินไปจะเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค โดยเฉพาะผู้ที่เป็นโรคภูมิแพ้ต่างๆ เช่น โรคหืด เป็นต้น ฉะนั้นจึงได้มีความพยายามในการหาสารที่สามารถให้ประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกับสารประกอบซัลไฟต์ ในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล และในขณะเดียวกันต้องปลอดภัยต่อผู้บริโภค และมีราคาถูกมาใช้แทนสารประกอบซัลไฟต์ (ศิวาพร, 2535) โดยตัวอย่างของสารที่ได้มีการทดลองนำมาใช้แทนสารประกอบซัลไฟต์ ได้แก่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

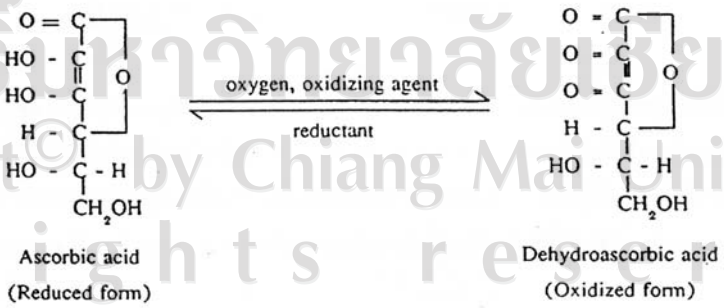
2.5.1 สารรีดิวซิง (Reducing agents)

กรดแอสคอร์บิก (L-ascorbic acid) หรือวิตามินซีเป็นสารที่รู้จักกันอย่างกว้างขวาง โครงสร้างประกอบด้วย Steriochemical isomer อีก 3 ชนิด แต่มีไอโซเมอร์เพียงชนิดเดียวที่มีความสำคัญในอุตาสาหกรรมอาหารคือ D-isoascorbic acid หรือ Erythorbic acid ส่วน Sodium-isoascorbic acid เรียกว่า Sodium erythorbate ซึ่งมีสูตรโครงสร้าง ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของกรดแอสคอร์บิกและไอโซเมอร์
ที่มา : มณฑาทิพย์ (2539)

กรดแอสคอร์บิกอาจเป็นสารที่ใช้แทนซัลไฟต์ที่รู้จักกันดีที่สุด เนื่องจากกรดแอสคอร์บิกสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะกรดแอสคอร์บิกสามารถรีดิวซ์สารควิโนนที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารโพลีฟีนอลด้วยการกระทำของPPO ให้กลับมาอยู่ในรูปสารประกอบฟีนอลตามเดิม ก่อนที่สารควิโนนจะทำปฏิกิริยาต่อไปจนกลายเป็นสารสีน้ำตาล



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 2.5 ปฏิกิริยาการผันกลับของกรดแอสคอร์บิกและกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก
ที่มา : มณฑาทิพย์ (2539)

เมื่อกรดแอสคอร์บิกถูกออกซิไดส์จนกลายเป็นกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (Dehydroascorbic acid; DHAA) ทั้งหมดแล้ว ดังรูปที่ 2.5 สารควิโนนก็จะเกิดสะสมมากขึ้น และดำเนินปฏิกิริยาไปจนเป็นสารสีน้ำตาลได้ และอีกอย่างคือตัว DHAA เองสามารถเกิดปฏิกิริยาให้สารสีน้ำตาลได้โดยไม่ใช้ปฏิกิริยาของเอนไซม์ (มณฑาทิพย์, 2539)

มีการใช้กรดแอสคอร์บิกและไอโซเมอร์ของมันคือกรดอีริทอร์บิก (D-isoascorbic or erythorbic acid) ในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ในผลไม้สดและแช่แข็ง โดยเติมกรดแอสคอร์บิกและไอโซเมอร์ของมันลงในน้ำเชื่อมหรือเตรียมเป็นสารละลายสำหรับเคลือบผลไม้ (ประสาร, 2538) โดยกรดแอสคอร์บิกและอีริทอร์เบตนั้นมีประสิทธิภาพในการเป็นสารที่สามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้คล้ายกัน แต่อีริทอร์เบตไม่มีคุณสมบัติเป็นวิตามินซีเท่านั้น (Borenstein, 1965; Sapers and Ziolkowski, 1987) การใช้กรดแอสคอร์บิกที่มีความเข้มข้นสูงๆ นั้นจะสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสได้ (Vamos-Vigyazo, 1995) นอกจากนี้ยังมีการใช้ร่วมกับกรดซิตริก หรือเกลือแคลเซียมฟอสเฟต โซเดียมคลอไรด์ ซีสเทอีน หรือสารกันเสีย เช่น โซเดียมเบนโซเอท หรือโพแทสเซียมเบนโซเอท รวมทั้งมีการใช้ระบบสุญญากาศช่วยดูดอากาศออกจากช่องว่างของผลิตภัณฑ์เพื่อให้สารละลายของสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลกระจายอย่างทั่วถึงผลิตภัณฑ์ (ประสาร, 2538)

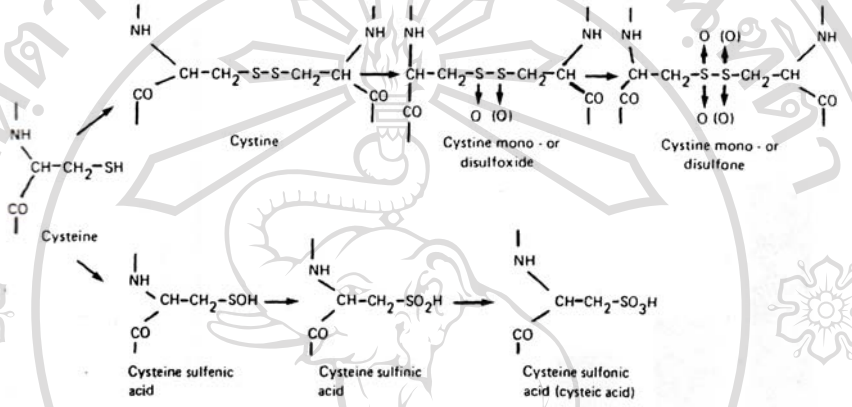
2.5.2 กรดอะมิโนที่ประกอบด้วยหมู่ซัลฟ์ไฮดริล (Sulfhydryl-containing amino acid)

กรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบสามารถช่วยป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในผักผลไม้สดได้ดีมาก และได้มีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมแอปเปิลสดตัดแต่ง มันฝรั่งปอกเปลือก ลิ้นจี่ และน้ำผลไม้อย่างแพร่หลาย (George *et al.*, 1999; Gunes and Lee, 1997; Jiang and Fu, 1998; McEvily *et al.*, 1992) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการศึกษาการใช้ซีสเทอีนในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลจะมีมากกว่ากรดอะมิโนชนิดอื่นๆ

ซีสเทอีนเป็นสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาล พบว่าซีสเทอีนสามารถทำปฏิกิริยากับควิโนนซึ่งเป็นสารตัวกลางที่เกิดจากการออกซิเดชันของโพลีฟีนอล โดยมีโพลีฟีนอลออกซิเดสเป็นตัวเร่ง ทำให้ได้สารประกอบที่คงตัวและไม่มีสี จึงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงในอาหาร (Dudley and Hotchkiss, 1989) โดยซีสเทอีนสามารถยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ได้ด้วย (Robert *et al.*, 1996) และสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในผลไม้ตัดแต่งได้ (Senesi and Pastine, 1996) ซึ่งสอดคล้องกับการใช้ซีสเทอีนในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในมันฝรั่งได้ (Gunes and Lee, 1997)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ซีสเทอีนจึงเป็นกรดอะมิโนที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในผักและผลไม้แทนสารประกอบซัลไฟต์ (Saper, 2002) และอนุญาตให้มีการใช้ในทางการค้าได้ เนื่องจากภายในโครงสร้างของซีสเทอีนมีอะตอมของซัลเฟอร์อยู่โดยหมู่ซัลไฮดริล (-SH) ในโครงสร้างจะสามารถจับกับหมู่คาร์บอนิล ทำให้สารคาร์บอนิลไม่ถูกเปลี่ยนเป็นสารสีน้ำตาล



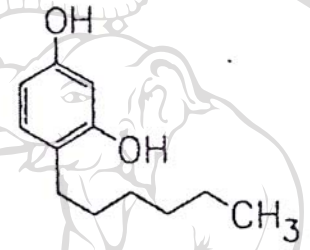
รูปที่ 2.6 การเปลี่ยนแปลงของกรดอะมิโนซีสเทอีนในระหว่างเกิดปฏิกิริยา
ที่มา : Damodar (1996)

2.5.3 สารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (Enzyme inhibitors)

กรดซินนามิค (cinnamic acid) และกรดเบนโซอิค (benzoic acid) จะให้ผลในการยับยั้งดีมาก เมื่อใช้ร่วมกับกรดแอสคอร์บิกในผลิตภัณฑ์น้ำแอปเปิล และเมื่อเติมในรูปของ sodium cinnamate (CINN)- สามารถยับยั้ง PPO ได้ทั้งแบบ competition และ non-competition ขึ้นอยู่กับชนิดของสับสเตรท แต่ก็มีปัญหาในการใช้เพราะบางครั้ง (CINN)- ก่อให้เกิดสีน้ำตาลได้อาจเนื่องจาก (CINN)- ถูกเปลี่ยนไปเป็น PPO substrate โดย cinnamate-hydroxylase และเอนไซม์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์สารประกอบโพลีฟีนอล (Walker, 1976) และพบว่ากรดโกจิค (kojic acid) ที่ได้จากเชื้อรามีคุณสมบัติในการไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส โดยจะไปขัดขวางการรับออกซิเจนของโพลีฟีนอลออกซิเดส และยังรีดิวซ์สาร *ออโท*-ควิโนน ไปเป็นสารไดฟีนอล ทำให้ไม่สามารถสร้างสารสีน้ำตาล แต่สารนี้อาจทำให้เกิดการกลายพันธุ์ได้ (ประสาร , 2538)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4-เฮกซิลเรโซซินอล (4-Hexylresorcinol) เป็นสารที่ใช้ในการยับยั้งเอนไซม์โพลีฟีนอลที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงสีของกุ้งสดและยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้บางชนิด โดยมีชื่อทางการค้าว่า EverfreshTm (McEvily *et al*., 1991; Monsalve-Gonzalez *et al*., 1993; Luo and Barbosa-Canovas, 1997) ซึ่งอนุพันธ์ของ resorcinol เป็นสารประกอบ *เมตา*-ไดฟีนอล (*m*-diphenols) ซึ่งจะไปยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้โดยทำหน้าที่เป็นตัวยับยั้งแบบแข่งขัน (competition inhibitor) กับ PPO เนื่องจากมีโครงสร้างคล้ายกับฟีนอลิกที่เป็นสารตั้งต้น โครงสร้างของ 4-เฮกซิลเรโซซินอล แสดงดังรูปที่ 2.7 โดยส่วนที่เป็นไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) ในตำแหน่งที่ 4 ของ Aromatic resorcinol ring เช่น Hexyl Dodecyl และ Cyclohexyl จะเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้ง PPO (Monsalve- Gonzalez *et al*., 1995)



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของ 4-เฮกซิลเรโซซินอล (4-Hexylresorcinol)
ที่มา : Kleemann (1999)

2.5.4 สารที่ก่อให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน (Complexing agents)

สารกลุ่มนี้จะมีสมบัติในการรวมตัวกันแล้วทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนขึ้นกับสารประกอบฟีนอล เช่น ไซโคลเด็กซ์ตริน และเบตา-ไซโคลเด็กซ์ตริน (β-cyclodextrin) โดยพบว่าสามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในน้ำแอปเปิลได้ (Sapers *et al*., 1989; Billaud *et al*., 1995) และเมื่อนำมาใช้ร่วมกับฟอสฟาเทส (phosphatase) จะทำให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองใช้เบตา-ไซโคลเด็กซ์ตรินร่วมกับฟอสฟาเทสในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในน้ำแอปเปิล พบว่าการใช้เบตา-ไซโคลเด็กซ์ตรินความเข้มข้น 1-1.5 เปอร์เซ็นต์ จะสามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในน้ำแอปเปิลได้หลายชั่วโมง และการใช้เบตา-ไซโคลเด็กซ์ตรินความเข้มข้นสูงขึ้นคือ 4-10 เปอร์เซ็นต์ จะสามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในน้ำแอปเปิลได้นาน 1 วัน เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง และการใช้สารร่วมกันระหว่างเบตา-ไซโคลเด็กซ์ตรินความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับฟอสฟาเทส ความเข้มข้น 0.25-0.5 เปอร์เซ็นต์ จะสามารถป้องกันการเกิดสี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

น้ำตาลในน้ำแอปเปิลได้นาน 1 วัน เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง และเก็บได้นาน 2-3 สัปดาห์ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (Hick *et al.*, 1996)

2.5.5 สารที่ใช้ในการจับโลหะ (chelating agents)

เนื่องจากทองแดงและเหล็ก เป็นองค์ประกอบสำคัญของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสและเปอร์ออกซิเดส ตามลำดับ สารที่ใช้ในจับโลหะ (chelating agents) สารกลุ่มนี้จะช่วยทำหน้าที่ในการจับกับโลหะคือ ส่งผลให้กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสและเปอร์ออกซิเดสลดลงได้ การขจัดโลหะที่ปนเปื้อนมาจึงเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้ได้ สารในกลุ่มนี้ เช่น EDTA (ethylene diamine tetraacetic acid) เป็นสารจับโลหะที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่มีประสิทธิภาพไม่ดีนักและไม่ช่วยป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในแอปเปิล (Wong *et al*., 1971) มีการทดลองใช้โซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตจะมีประสิทธิภาพดีกว่า Na_2EDTA ในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในน้ำมะนาวสด และการใช้โซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต ความเข้มข้น 0.7 เปอร์เซ็นต์ จะมีประสิทธิภาพดีที่สุด และเมื่อใช้ร่วมกับซีสเทอีนจะยิ่งทำให้มีประสิทธิภาพดีมากขึ้น (ศิวาพร และคณะ, 2545) มีการทดลองใช้ EDTA ร่วมกับโซเดียมแอซิดไพโรฟอสเฟต พบว่าสามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในมันฝรั่งปอกเปลือกได้ (Feinberg *et al*., 1987) และเมื่อนำมาใช้ร่วมกับกรดซิตริกซึ่งเป็นสารเพิ่มความเป็นกรดในอาหาร พบว่าสามารถช่วยในการยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์โพลีฟีนอลได้ โดยกรดซิตริกจะไปจับกับโลหะที่ปนเปื้อนมา ซึ่งสอดคล้องกับการใช้กรดซิตริกในเห็ดพบว่าจะช่วยป้องกันการเปลี่ยนสีในเห็ดได้ (McCord and Kilara, 1983)

2.5.6 สารประกอบโพลิแซคคาไรด์

สารประกอบโพลิแซคคาไรด์ชนิดต่างๆ รวมถึงคาราจีแนน อะมิโลสซัลเฟต และไซแลน-ซัลเฟต เป็นต้น พบว่ามีประสิทธิภาพดีมากในการช่วยยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในน้ำแอปเปิลและแอปเปิลสดตัดแต่ง (Tong and Hicks, 1991) มีการทดลองแช่ผักสลัดลงในสารละลายที่ประกอบด้วยกรดแอสคอร์บิก แซนแทนกัม พบว่าจะช่วยป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในผักได้ดีขึ้น (Wyss *et al*., 1990) การที่สารดังกล่าวสามารถช่วยยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้ได้เนื่องจากสารดังกล่าวจะไปเคลือบผักหรือผลไม้ทำให้มีการสัมผัสกับออกซิเจนลดลง จึงมีการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิกลดลง ได้มีการศึกษาพบว่าชิ้นแอปเปิลที่เคลือบผิวด้วย edible coatings (สารเคลือบผิวที่รับประทานได้) ที่เตรียมได้จาก whey protein isolate (WPI) - beeswax (BW) พบว่าการเกิดสีน้ำตาลลดลงได้ (Perez-Gago *et al*., 2003) ซึ่งสอดคล้องกับการใช้สาร antioxidant

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ร่วมกับสารเคลือบผิวในแอปเปิลตัดแต่ง โดยสารเคลือบผิวเตรียมได้จาก whey protein concentrate (WPC) และ beeswax (BW) ส่วนสาร antioxidants ที่ใช้คือกรดแอสคอร์บิก ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ หรือซีสเทอีน ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสามารถลดการเกิดสีน้ำตาลได้ (Perez-Gago *et al*., 2006) และมีการศึกษาถึงผลของการใช้ whey protein และ hydroxypropyl methylcellulose ซึ่งเป็นสารเคลือบผิวที่รับประทานได้ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีในแอปเปิลตัดแต่ง โดยสารเคลือบผิวเตรียมได้จาก whey protein isolate (WPI) whey protein concentrate (WPC) หรือ hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) ซึ่งเป็น hydrophilic phase และ beeswax (BW) หรือ carnauba wax (CarW) ซึ่งเป็น lipid phase พบว่าชิ้นแอปเปิลที่เคลือบผิวด้วย whey protein isolate (WPI) จะมีสีจางที่สุด และชิ้นแอปเปิลที่เคลือบผิวด้วย beeswax (BW) จะมีประสิทธิภาพในการลดการเกิดสีน้ำตาลได้มากกว่าชิ้นแอปเปิลที่เคลือบผิวด้วย carnauba wax (CarW) (Perez-Gago *et al*., 2005)

2.5.7 การใช้สารจากธรรมชาติแทนสารประกอบซัลไฟต์ในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล

จากการศึกษาทดลองได้มีการรายงานว่าสารจากธรรมชาติหลายชนิดสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในผักและผลไม้ได้ โดยพบว่าสารโพลิเพปไทด์บางชนิดในน้ำผึ้งสามารถยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในน้ำองุ่นและแอปเปิลสดตัดแต่งได้ (Oszmianski and Lee, 1990) และมีการทดลองนำแอปเปิลสดตัดแต่งจุ่มในน้ำสับปะรด พบว่าน้ำสับปะรดมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในแอปเปิลสดตัดแต่งและแห้งได้เป็นอย่างดี (Lozano-De-Gonzalez *et al*., 1993) สำหรับสารอะนิซัลดีไฮด์ (anisaldehyde) เบนซัลดีไฮด์ (benzaldehyde) และพารา-ไฮดรอกซิเบนซัลดีไฮด์ (ρ-hydroxybenzaldehyde) ซึ่งเป็นสารที่สกัดได้จากเมล็ดผักชีนั้น พบว่าสามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของ L-DOPA โดยเอนไซม์ไทริเนส (Tyrosinase) ในเห็ดได้ (Kubo and Kinst-Hori, 1998) และมีการศึกษาการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในน้ำแอปเปิลโดยการเติมกรดซินนามิก (cinnamic acid) กรดพารา-ความาริก (ρ-coumaric acid) และกรดเฟอรูลิก (ferulic acid) ในปริมาณต่างๆ ในน้ำแอปเปิล พบว่ากรดทุกชนิดสามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้ โดยการใช้กรดซินนามิก ความเข้มข้น 10 ส่วนในล้านส่วน (ppm.) ก็สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้ (Walker, 1976)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6 การทำแห้ง (Dehydration)

การทำให้แห้งหรือการกำจัดน้ำ (drying) หมายถึง การใช้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุมเพื่อกำจัดน้ำส่วนใหญ่ที่อยู่ในอาหาร โดยการระเหยน้ำหรือการระเหิดของแข็งในการอบแห้งแบบระเหิด (freeze drying) วัตถุประสงค์ของการกำจัดน้ำคือการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารโดยการลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ ซึ่งมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ (วิไล, 2547) กระบวนการอบแห้งสามารถแบ่งออกเป็นหลายประเภทตามวิธีการให้ความร้อนหรือลักษณะของก๊าซร้อนโดยรอบ (ตัวกลางส่งผ่านความร้อน โดยปกติคืออากาศ) อาทิ การอบแห้งแบบใช้ลมร้อนไหลสวนทาง เป็นการใช้ลมร้อนเป่าสวนทางกับทิศการเคลื่อนที่ของอาหาร การอบแห้งแบบนำความร้อน เป็นการอบแห้งโดยใช้ความร้อนที่ถ่ายเทโดยการสัมผัสอาหารโดยตรงกับถาดร้อน การอบแห้งแบบแผ่รังสี เป็นการอบแห้งโดยการแผ่รังสีอินฟาเรด (คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงคลื่นยาว) ไปยังพื้นผิวอาหาร การอบแห้งแบบแบบกำเนิดความร้อนสม่ำเสมอ เป็นการทำให้เกิดความร้อนขึ้นในอาหารเองโดยอาศัยคลื่นไมโครเวฟ เป็นต้น การอบแห้งแบบสุญญากาศ เป็นการอบแห้งในสุญญากาศโดยให้ความร้อนโดยการนำความร้อนหรือการแผ่รังสีความร้อน การอบแห้งโดยไอน้ำยิ่งยวด เป็นการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำยิ่งยวด (superheated steam) เป็นตัวกลางในการส่งผ่านความร้อนไปยังของเหลวหรือตัวทำละลายในอาหาร อนึ่ง ถ้าลดอุณหภูมิของอาหารให้อยู่ในระดับ -30 องศาเซลเซียส ไว้ก่อน แล้วอบแห้งแบบสุญญากาศ น้ำแข็งจะระเหิดเป็นไอออกไป เรียกว่า การอบแห้งแบบแช่แข็ง ใช้ได้กับผลิตภัณฑ์อาหารและยาที่ไม่เสถียร แต่เสียค่าใช้จ่ายสูงเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบอื่นๆ (ยุทธนา, 2548)

2.6.1 อิทธิพลของการทำแห้งต่อจุลินทรีย์และเอนไซม์

อิทธิพลของการทำแห้งต่อจุลินทรีย์

จุลินทรีย์มีอยู่ทั่วๆ ไป ทั้งในน้ำ ดิน และอากาศ โอกาสที่จุลินทรีย์จะสัมผัสกับอาหารจึงมีมาก และอาหารจะเกิดการเสียหายหรือเน่าเสียก็มีมาก ดังนั้นการลดปริมาณความชื้นในอาหารลงให้พอเหมาะก็สามารถจะถนอมรักษาอาหารไว้ได้ชั่วระยะเวลาหนึ่ง หรือเก็บรักษาไว้ได้นาน ถ้าลดความชื้นให้เหลือน้อยที่สุดที่อาหารไม่เปลี่ยนแปลง

ราสามารถจะเจริญได้ที่ความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 12 พวกแบคทีเรียและยีสต์จะเจริญได้ที่ความชื้นสูง คือมีความชื้นมากกว่าร้อยละ 30 ขึ้นไป อาหารบางอย่างแม้ว่าจะลดความชื้นลงมาจนสามารถเก็บรักษาได้ดีแล้ว แต่ถ้าหากไม่บรรจุหีบห่อให้ดี หรือไปเก็บไว้ในที่ที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง โอกาสที่จุลินทรีย์จะเจริญได้ก็มีมากขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดังนั้นในกระบวนการทำให้อาหารแห้งทั่วๆ ไป จึงนิยมใส่เกลือลงไปในอาหารที่จะทำแห้ง ทั้งนี้เพื่อช่วยควบคุมการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ อย่างไรก็ตามอาหารที่จะนำมาทำให้แห้งนั้น ควรจะต้องเตรียมการเป็นอย่างดี เช่น ลวกน้ำร้อน เป็นต้น และควรคำนึงถึงความสะอาดเป็นหลัก เพื่อลดปริมาณของจุลินทรีย์ในวัตถุดิบเป็นอันดับแรก (พรพล, 2545)

อิทธิพลของการทำแห้งต่อเอนไซม์

โดยทั่วๆ ไป เอนไซม์จะหยุดปฏิกิริยาอย่างสิ้นเชิง ถ้าให้ความร้อนชื้นใกล้จุดเดือดของน้ำ แต่อาจยังมีเอนไซม์บางชนิดสามารถทนทานได้บ้าง ซึ่งโดยทั่วไปที่ความร้อนชื้น 100 องศาเซลเซียส เวลา 1 นาที เอนไซม์ก็จะหยุดปฏิกิริยาลงอย่างสิ้นเชิง

แต่ถ้าให้ความร้อนแห้ง อย่างเช่น ในกระบวนการทำแห้ง ปฏิกิริยาอาจจะทนทานถึง 204.4 องศาเซลเซียส ดังนั้นในกระบวนการทำแห้งจึงจำเป็นต้องเตรียมวัตถุดิบเสียก่อน เช่น ลวกน้ำร้อน หรือเติมสารเคมีบางอย่างเพื่อจะหยุดยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์

มีเอนไซม์อยู่ 2 ชนิด ที่ใช้เป็นตัวบ่งชี้ สำหรับทดสอบว่ามีเอนไซม์เหลืออยู่ในวัตถุดิบหรือไม่ คือ เปอร์ออกซิเดส (peroxidase) และคะตะเลส (catalase) ซึ่งจะทนทานความร้อนได้น้อยกว่าเปอร์ออกซิเดส

ปฏิกิริยาของเอนไซม์ขึ้นอยู่กับความชื้น เมื่อความชื้นในอาหารลดลง ปฏิกิริยาก็ลดลงด้วย แต่อัตราของปฏิกิริยาของเอนไซม์นั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเอนไซม์และอาหาร ปฏิกิริยาของเอนไซม์จะไม่เกิดขึ้นเลย ถ้าความชื้นลดลงต่ำกว่าร้อยละ 1 ในการทำแห้งอาหารประเภทผัก จะนิยมลวกผักในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบเพื่อยับยั้งการเกิดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ นอกจากนั้นในขั้นตอนสุดท้ายของการทำแห้ง หรือขั้นตอนการเก็บอาหารแห้ง อาจเติมน้ำตาลลงไปเพื่อช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้ (พรพล, 2545)

2.6.2 ข้อดีและข้อเสียของการทำอาหารแห้ง (พรพล, 2545)

ข้อดีของการทำอาหารแห้ง มีดังนี้

1. น้ำหนักเบา เพราะว่าน้ำหนักประมาณร้อยละ 60-90 ของอาหารสด ยกเว้นธัญพืช ประกอบด้วยน้ำและน้ำส่วนนี้เองจะถูกกำจัดออกไปโดยกระบวนการอบแห้ง หรือตากแห้ง

2. มีความกระชับ กล่าวคือ ผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งต้องการเนื้อที่น้อยกว่าของอาหารสด อาหารแช่เยือกแข็ง หรืออาหารกระป๋อง โดยเฉพาะถ้าสามารถจัดเก็บในหีบห่อภาชนะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ความคงตัวที่สภาวะการเก็บ ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งไม่จำเป็นต้องใช้ตู้เย็นในระหว่างการเก็บ แต่มีข้อจำกัดของอุณหภูมิสูงสุดในระหว่างการเก็บ เพื่อจะให้ได้ระยะการเก็บที่นานขึ้น

ข้อเสียของการทำอาหารแห้ง แม้ว่าบางข้อจะสามารถแก้ไขโดยวิธีทำแห้งสมัยใหม่และการปฏิบัติก่อนการทำแห้งก็ตาม แต่ก็ยังมีข้อเสีย ดังนี้

1. ความไวต่อความร้อน เนื่องจากอาหารส่วนมากมีความไวต่อความร้อนในระดับหนึ่ง และสามารถพัฒนาให้เกิดกลิ่นรสไหม้ขึ้นได้ ถ้าควบคุมสภาวะไม่เหมาะสม

2. เกิดการสูญเสียกลิ่นรสที่ระเหยได้ และเกิดการฟอกสีของผลิตภัณฑ์ได้

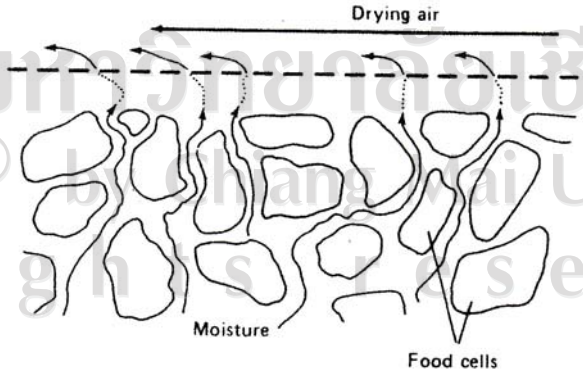
3. การเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ซึ่งรวมถึงการเกิดการแห้งกรอบอันเนื่องจากการหดตัว

4. เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่ใช่เกิดจากเอนไซม์ ทั้งนี้เนื่องจากความเข้มข้นของสารเพิ่มขึ้น และนอกจากนี้ยังเกิดการหืนของไขมัน

5. เกิดการเสื่อมเสียอันเนื่องจากจุลินทรีย์ได้ ถ้าหากว่าอัตราการอบแห้งเริ่มต้นช้าหรือปริมาณความชื้นสุดท้ายมีค่าสูง หรือเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ในบรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง

2.6.3 กลไกการทำแห้ง

เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านผิวหน้าอาหารที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของอาหารและน้ำในอาหารจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศและถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการทำแห้ง
ที่มา : Fellows (1997)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สภาวะดังกล่าวจะทำให้ความดันไอที่ผิวหน้าของอาหารต่ำกว่าความดันไอด้านในของอาหารเป็นผลให้เกิดความแตกต่างของความดันไอขึ้น อาหารชั้นด้านในจะมีความดันไอสูงและค่อยๆ ลดต่ำลง เมื่อชั้นอาหารเข้าใกล้อากาศแห้ง ความแตกต่างนี้ทำให้เกิดแรงดันเพื่อไล่น้ำออกจากอาหาร น้ำจะเคลื่อนที่ไปยังผิวหน้าด้วยกลไกดังต่อไปนี้

1. การเคลื่อนที่ของของเหลวโดยแรงแคปิลารี่

2. การแพร่ของของเหลวซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นของตัวละลายในอาหารส่วนต่างๆ

3. การแพร่ของของเหลวซึ่งถูกดูดซับโดยผิวหน้าของของแข็งในอาหาร

4. ความแตกต่างของความดันไอทำให้เกิดการแพร่ของไอน้ำในช่องอากาศของอาหาร

อาหารแบ่งออกเป็นไฮโกรสโคปิก (hygroscopic) และนอนไฮโกรสโคปิก (non-hygroscopic) อาหารประเภทไฮโกรสโคปิกเป็นอาหารที่มีค่าความดันไอย่อยแตกต่างกันขึ้นกับปริมาณความชื้นของอาหาร ส่วนอาหารประเภทนอนไฮโกรสโคปิกจะมีค่าความดันไอคงที่แม้ว่าจะมีความชื้นแตกต่างกัน

เมื่อนำอาหารมาใส่ในเครื่องทำแห้ง ช่วงเวลาสั้นๆ ตอนเริ่มการอบแห้งจะเป็นเวลาที่ใช้ในการทำให้ผิวหน้าของอาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึงอุณหภูมิกระเปาะเปียกซึ่งเป็นช่วง AB ในรูปที่ 2.9 (a) และ (b) หลังจากนั้นจะเป็นช่วงการทำให้แห้ง โดยน้ำจะเคลื่อนที่จากด้านในของอาหารออกมาด้วยอัตราเร็วเท่ากับน้ำที่ระเหยออกจากผิวหน้า ผิวหน้าจึงยังเปียกอยู่ เรียกช่วงนี้ว่าเป็นช่วงอัตราเร็วคงที่ (constant rate period) และช่วงต่อเนื่องไปจนถึงความชื้นวิกฤติ (critical moisture content, AB ในรูปที่ 2.9 (a)) แต่ในทางปฏิบัติผิวหน้าของอาหารจะค่อยๆ แห้งด้วยอัตราเร็วที่ต่างกัน และอัตราการทำให้แห้งโดยรวมจะค่อยๆ ลดลงในช่วงของอัตราเร็วคงที่ จุดความชื้นวิกฤตของอาหารแต่ละชนิดจึงไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของอาหารในเครื่องทำแห้งและอัตราการทำให้แห้ง ลักษณะที่สำคัญของอากาศแห้งที่ใช้ในการทำแห้งในช่วงอัตราเร็วคงที่ได้แก่

1. ต้องมีอุณหภูมิกระเปาะแห้งสูง

2. มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ

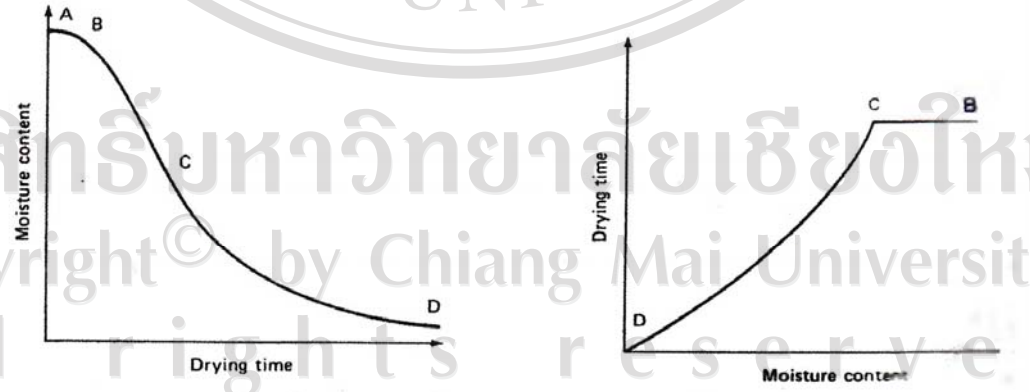
3. อากาศเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ฟิล์มอากาศที่อยู่รอบอาหารจะกีดขวางการถ่ายเทความร้อนและไอน้ำระหว่างการทำแห้ง ความเร็วของอากาศหรือลมจะเป็นตัวกำหนดความหนาของฟิล์ม ถ้าความเร็วลมต่ำเกินไป ไอน้ำจะเคลื่อนที่จากผิวหน้าของอาหารและยังคงอยู่รอบๆ อาหาร ทำให้มีความแตกต่างระหว่างความดันไอและอัตราการทำแห้งไม่สูงนัก ถ้าอุณหภูมิของอากาศแห้งต่ำหรือมีความชื้นสูงจะทำให้อัตราเร็วในการระเหยและการทำแห้งลดลง

เมื่อความชื้นของอาหารลดต่ำลงกว่าความชื้นวิกฤต อัตราการทำแห้งก็จะลดลงจนเข้าใกล้ศูนย์ที่ความชื้นสมดุล (ความชื้นในอาหารสมดุลกับความชื้นในอากาศแห้ง) หรือที่เรียกว่าเป็นช่วงอัตราลดลง (falling-rate period) อาหารแบบนอนไฮโกรสโคปิกจะมีช่วงอัตราลดลงเพียงช่วงเดียว (CD ในรูปที่ 2.9 (a) และ (b)) ในขณะที่อาหารแบบไฮโกรสโคปิกมี 2 ช่วง โดยในช่วงแรก ระนาบของการระเหยจะเคลื่อนที่เข้ามาในอาหาร โดยน้ำจะแพร่ผ่านอาหารแข็งเข้าไปยังอากาศแห้ง และหยุดลงเมื่อระนาบของการระเหยเคลื่อนที่เข้ามาถึงจุดศูนย์กลางของอาหาร และความดันย่อยของน้ำลดต่ำลงกว่าความดันไออิ่มตัว ช่วงที่ 2 จะเกิดขึ้นเมื่อความดันย่อยของน้ำลดต่ำลงกว่าความดันไออิ่มตัว และเกิดการทำแห้งโดยการกำจัดความชื้นออกจากอาหาร (desorption)

ในช่วงอัตราลดลง อัตราการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในอาหารมายังผิวหน้าจะต่ำกว่าอัตราการระเหยของน้ำไปยังอากาศโดยรอบ ผิวหน้าจึงแห้ง ช่วงนี้จะเป็นช่วงที่นานที่สุดของกระบวนการทำแห้งในอาหารบางชนิด เช่น การทำแห้งเมล็ดธัญพืช ซึ่งมีความชื้นเริ่มต้นต่ำกว่าความชื้นวิกฤต ปัจจัยที่ควบคุมอัตราการทำแห้งจะเปลี่ยนไปในช่วงอัตราลดลง ปัจจัยที่สำคัญในช่วงแรกจะคล้ายคลึงกับในช่วงอัตราเร็วคงที่ แต่อัตราการถ่ายมวลจะค่อยๆ กลายเป็นปัจจัยควบคุมการทำแห้งที่สำคัญขึ้น (วิไล, 2547)



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการอบแห้งและความชื้นในอาหาร
ที่มา : Fellows (1997)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง

การทำแห้งคือ การเคลื่อนย้ายของน้ำออกจากอาหาร ปัจจัยใดๆ ที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายนี้จึงมีผลต่ออัตราเร็วการทำแห้ง ได้แก่

2.6.4.1 ธรรมชาติของอาหาร

อาหารเนื้อโปร่งมีการเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารแบบผ่านช่องแคบซึ่งเร็วกว่าการแพร่ในอาหารเนื้อแน่น ดังนั้นอาหารเนื้อโปร่งจึงแห้งได้เร็วกว่าอาหารเนื้อแน่น อาหารที่มีน้ำตาลสูงจะเหนียวเหนอะหนะกีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำจึงแห้งช้า อาหารที่มีการลวก นวด คลึง ทำให้เซลล์แตกจึงแห้งได้เร็วขึ้น

2.6.4.2 ขนาดและรูปร่าง

ขนาดและรูปร่างมีผลต่อพื้นที่ผิวต่อน้ำหนัก เช่น รูปร่างเหมือนกัน ขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่จึงแห้งได้เร็วกว่า แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศที่จะเกิดการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปได้ ถ้าชิ้นเล็กมากทับถมกันการระเหยเกิดได้เฉพาะที่ผิวสัมผัสกับอากาศ จึงเกิดได้ช้าทั้งๆ ที่พื้นที่ต่อหน่วยน้ำหนักมาก

2.6.4.3 ตำแหน่งของอาหารในเตา

น้ำในอาหารที่สัมผัสกับลมร้อนได้ดีกว่า หรือสัมผัสกับลมร้อนที่มีความชื้นต่ำย่อมระเหยได้ดีกว่า

2.6.4.4 ปริมาณอาหารต่อถาด

ถ้าปริมาณอาหารต่อถาดมากเกินไป อาหารส่วนล่างไม่ได้สัมผัสกับอากาศร้อนหรือได้รับความร้อนจากถาดแล้วแต่ไอน้ำไม่สามารถแพร่กระจายผ่านชั้นอาหารตอนบนออกมาได้จึงแห้งช้า

2.6.4.5 ความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศร้อน

อากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่มากจะรับไอน้ำเพิ่มได้น้อย จึงมีผลในช่วงอัตราการทำแห้งคงที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.4.6 อุณหภูมิของอากาศร้อน

ถ้าอากาศมีความชื้นคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำจึงมีผลต่อการทำแห้งในช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การแพร่กระจายของน้ำดีขึ้นจึงมีผลต่อการอบในช่วงอัตราการทำแห้งลดลงด้วย

2.6.4.7 ความเร็วของลมร้อน

ลมร้อนทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปด้วย เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นจึงเคลื่อนย้ายได้ดีขึ้น การเคลื่อนย้ายเกิดขึ้นเต็มที่ที่ความเร็วลม 244 เมตรต่อนาที นอกจากนั้นความเร็วลมทำให้เกิดกระแสปั่นป่วนของอากาศในเตา อากาศจึงสัมผัสอาหารได้ดีขึ้น (สุคนธ์ชื่น, 2546)

2.6.5 เครื่องทำแห้งแบบถาด (Tray dryer)

2.6.5.1 หลักการ

เครื่องอบแห้งแบบชั้นมีลักษณะเป็นตู้ทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ภายในอาจวางถาดได้ตั้งแต่ 5 ชั้น ถึง 8 ชั้น มีส่วนประกอบดังนี้

1. ตู้เหล็กฉนวนทรงสูง รูปร่างสี่เหลี่ยม ภายในวางถาดอาหารที่จะอบแห้งได้ 5 ชั้น ถึง 8 ชั้น (ในอุตสาหกรรมอาจใช้ตู้ใหญ่มีจำนวนชั้นเป็นสิบๆ ชั้น)

2. ถาดที่ใช้วางอาหารควรทำด้วยเหล็กปลอดสนิม

3. มอเตอร์ (เพื่อทำหน้าที่หมุนเวียนลมร้อน)

4. ขดลวดที่ให้ความร้อนสูงเกิน 100 องศาเซลเซียส (อาจใช้ไอน้ำหรือแก๊ซเป็นแหล่งของความร้อนก็ได้)

5. เครื่องควบคุมอุณหภูมิภายในตู้ (ทั่วไปควบคุมอุณหภูมิ 50-70 องศาเซลเซียส) หากอุณหภูมิสูงเกิน 70 องศาเซลเซียส อาหารจะแห้งเร็วเกินไป โปรตีนตกตะกอนและอาหารจะมีสีคล้ำ (สมบัติ, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.5.2 ระบบการทำงาน

เป็นเครื่องมือทำแห้งลมร้อนแบบไม่ต่อเนื่องซึ่งทำงานที่ความดันบรรยากาศ ลักษณะของเครื่องมือจะเป็นตู้บุฉนวน มีถาดสำหรับใส่อาหารวางเรียงเป็นชั้นอยู่ภายใน ลมร้อนจะถูกบังคับให้หมุนเวียนโดยพัดลม การหมุนเวียนของอากาศจะเป็นในแนวนอนขนานกับถาดใส่อาหาร หรือในแนวดิ่งผ่านทะลุใส่อาหาร ความเร็วของลมร้อนที่นิยมใช้สำหรับการเคลื่อนที่

ในแนวนอนคือ 2-5 เมตร/วินาที ส่วนการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งนิยมใช้ปริมาณอากาศร้อน 0.5-1.25 ลูกบาศก์เมตร/วินาที/ตารางเมตร ของพื้นที่หน้าตัดของถาด แหล่งความร้อนที่ใช้อาจเป็นการเผาไหม้ของก๊าซ ไอน้ำ หรือขดลวดให้ความร้อน

เครื่องมือนี้เสียค่าใช้จ่ายในการสร้างและการบำรุงรักษาต่ำและมีความยืดหยุ่นของการใช้งานสูง ในการใช้งานอาจใช้ตู้เดี่ยวหรือเป็นกลุ่ม และนิยมใช้ในการทำแห้งผักและผลไม้ นอกจากนั้นยังนิยมใช้ในกระบวนการผลิตขนาดเล็ก หรือในโรงงานขนาดเล็ก (สมบัติ, 2544)

2.6.5.3 คุณสมบัติของวัตถุดิบที่เหมาะสม

เนื่องจากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดเป็นการอบที่ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิของลมร้อนที่ใช้สำหรับพาความชื้นออกจากอาหารค่อนข้างสูง ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่อบ ดังนั้นวัตถุดิบจึงควรเป็นประเภทที่ไม่ไวต่อความร้อนและเป็นวัตถุดิบที่หาง่ายราคาไม่แพง เพื่อการเพิ่มมูลค่าทางการตลาด เช่น กล้วย สับปะรด มะม่วง มะเขือเทศ เป็นต้น (สมบัติ, 2544)

2.6.5.4 คุณภาพของผลิตภัณฑ์

อุณหภูมิและระยะเวลาในการอบเป็นปัจจัยควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ความไม่สม่ำเสมอของปริมาณความชื้น การเปลี่ยนแปลงสี การหดตัวของอาหารและการเกิด case hardening อาจเป็นปัญหาสำคัญหากการควบคุมอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบไม่เหมาะสม แต่ในการปฏิบัติขั้นต้น (pretreatments) สามารถช่วยควบคุมคุณภาพได้ เช่น การแช่ในสารเคมีเพื่อให้สีคงเดิมมากที่สุด และการทำออสโมติกไฮเดรชันเพื่อลดปริมาณน้ำให้ต่ำลงก่อนการอบแห้ง และทำให้การอบแห้งใช้เวลาสั้นลง ส่วนการหดและการเกิดเปลือกแข็งเป็นสิ่งที่ควบคุมได้ไม่ง่ายนัก การหดตัวของอาหารจะทำให้พื้นที่สำหรับการระเหยน้ำออกจากอาหารน้อยลงทำให้อาหารแห้งช้า การแข็งของเปลือกนอกเกิดจากการแพร่ของสารถูกละลายมายังผิวของอาหาร แต่ไม่สามารถระเหยออกไปได้ ทำให้ถูกกักไว้ที่ผิวด้านในของชิ้นอาหาร ทำให้อัตราการระเหยของน้ำลดลง และผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่เป็นที่ยอมรับ (สมบัติ, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.6 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการอบแห้งและการเก็บรักษาผักและผลไม้

2.6.6.1 การสูญเสียวิตามิน

ผลไม้เป็นแหล่งที่สำคัญของวิตามินซีและโปรวิตามินเอคือ บีตา-แคโรทีน การอบแห้งมีผลทำให้ปริมาณวิตามินซีและแคโรทีนลดลงซึ่งจะผันแปรตามวิธีการอบแห้งที่ใช้ เช่น วิธีการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะมีบีตา-แคโรทีน เหลือมากกว่าวิธีการอบแห้งแบบธรรมดา การสูญเสียวิตามินซีจะผันแปรขึ้นอยู่กับธรรมชาติของอาหาร predrying treatment ที่ใช้ (เช่น การลวก หรือการรมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์) และสภาวะที่ใช้ในการทำแห้ง (เช่น วิธีการ อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้อบแห้ง) โดยการอบแห้งอย่างรวดเร็วจะสูญเสียวิตามินซีน้อยกว่าการอบแห้งอย่างช้าๆ (นิธิยา, 2544) ในผักผลไม้อบแห้งการเปลี่ยนแปลงนี้จะเกิดขึ้นมากถ้าใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้ง (รัตนาและพิไลรัก, 2541)

2.6.6.2 การสูญเสียสารสีธรรมชาติ

สี เป็นปัจจัยสำคัญในการชี้บ่งคุณภาพของอาหารที่มีอิทธิพลต่อผู้บริโภค เพราะสีสามารถชี้บ่งว่าอาหารมีคุณภาพดี เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป สีธรรมชาติที่พบทั่วไปในผักและผลไม้คือ แคโรทีนอยด์และคลอโรฟีลล์ การรักษาสีธรรมชาติให้คงอยู่ระหว่างการอบแห้งจึงมีความสำคัญ เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้อบแห้งเป็นที่ยอมรับและดึงดูดความสนใจของผู้บริโภค ทั้งแคโรทีนอยด์และคลอโรฟีลล์เป็นสารสีที่ไม่ละลายน้ำและละลายได้ในไขมัน แคโรทีนอยด์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงได้โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการอบแห้ง เพราะโครงสร้างโมเลกุลของแคโรทีนอยล์มีพันธะคู่มาก สารประกอบแคโรทีนอยด์ส่วนใหญ่ คือ แคโรทีนและออกซีแคโรทีนอยด์ สำหรับคลอโรฟีลล์ซึ่งเป็นสารสีเขียวที่พบอยู่ในผัก พบว่าระหว่างการอบแห้งปริมาณค่อนข้างคงตัวในภาวะที่มีความชื้นต่ำ การสลายตัวของคลอโรฟีลล์จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ พีเอช เวลา กิจกรรมของเอนไซม์ ออกซิเจน และแสง สำหรับกลไกของคลอโรฟีลล์คือ จะเปลี่ยนเป็นฟีโอไฟติน (pheophytin) ในภาวะที่เป็นกรด (นิธิยา, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.6.3 การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลและบทบาทของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

อาหารที่ผ่านการทำแห้งมักมีสีเข้มขึ้นเนื่องจากความร้อนหรือปฏิกิริยาเคมีการเกิดสีน้ำตาล (สุคนธ์ชื่น, 2546) ถ้าการเปลี่ยนแปลงสีเกิดขึ้นมากจะทำให้กลิ่นรส ความสามารถในการคืนตัว และปริมาณกรดแอสคอร์บิกถูกกระทบกระเทือนไปด้วย ความเสียหายที่เกิดขึ้นนี้มักเป็นปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลา หรือขึ้นกับปริมาณความชื้นของอาหาร ในกระบวนการอบแห้งอัตราการเกิดสีน้ำตาลจะสูงสุดที่ความชื้นอยู่ระดับปานกลางคือในช่วงระหว่าง

15-20 % (ไพบูลย์, 2532) การอบแห้งเนื้อผักและผลไม้น้ำที่อยู่ภายในเซลจะเคลื่อนที่มาสู่ผิวและพาเอาของแข็งที่ละลายน้ำได้ เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน ออกมาสู่ผิวด้วย เมื่อการทำแห้งดำเนินไปความเข้มข้นของสารดังกล่าวที่ผิวของผักผลไม้จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างน้ำตาลกับกรดอะมิโนทำให้เกิดสารสีน้ำตาล ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นผักผลไม้อบแห้งที่อุณหภูมิสูงมักมีสีน้ำตาลหรือสีเหลืองเข้ม (รัตนาและพิไลรัก, 2541)

การเก็บรักษาผักและผลไม้อบแห้งไว้เป็นระยะเวลานานจะเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลซึ่งมี 2 แบบ คือ แบบที่เร่งด้วยเอนไซม์ และแบบที่ไม่อาศัยเอนไซม์ แบบที่เร่งด้วยเอนไซม์เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันของโมโนและออร์โทไดฟีนอลให้เป็นวงแหวนควิโนนซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อและเกิดปฏิกิริยา condensation ได้เป็นสารสีน้ำตาล เรียกว่า เมลานิน (melanins) ปฏิกิริยาเหล่านี้ถูกเร่งด้วยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ในการนำผักและผลไม้มาอบแห้งจะทำการลวกเสียก่อนเพื่อทำลายเอนไซม์ ซึ่งจะช่วยป้องกันปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลไม่ให้เกิดขึ้นได้ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และซัลไฟต์ทำหน้าที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ตั้งแต่ก่อนลวกวัตถุดิบได้ และช่วยชะลอปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้อบแห้งด้วย โดยเฉพาะเมื่อเอนไซม์ไม่ได้ถูกทำลาย เช่น การอบแห้งโดยวิธีแช่เยือกแข็ง

สำหรับการเกิดปฏิกิริยา Maillard browning เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างหมู่อะมิโนกับหมู่คาร์บอนิลทำให้เกิดพอลีเมอร์ของสารสีน้ำตาลที่ไม่ละลายน้ำ เรียกว่า เมลานอยดิน (melanoidin) ปฏิกิริยานี้บางครั้งก็เป็นประโยชน์ แต่ส่วนใหญ่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์อาหาร เพราะทำให้เกิดสีและกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ และยังทำให้สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ เนื่องจากสูญเสียกรดอะมิโนไลซีนและคุณค่าทางโภชนาการของโปรตีน (นิธิยา, 2544)

2.6.6.4 การสลายตัวเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและการสูญเสียรสชาติ

กลิ่นและรสชาติของผักและผลไม้อบแห้งเป็นปัจจัยสำคัญในการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค จึงควรควบคุมให้มีการสูญเสียกลิ่นและรสชาติให้น้อยที่สุด นอกจากนี้ผักและผลไม้อบแห้งบางชนิดยังมีกลิ่นและรสชาติเปลี่ยนไปจากธรรมชาติได้ ตั้งแต่ระยะก่อนอบกำลังอบแห้ง และระหว่างการเก็บรักษา ดังนั้นต้องควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดการสูญเสีย เช่น การขนส่งวัตถุดิบ การแปรรูปล่าช้า ถูกแสง ได้รับอุณหภูมิสูง และมีสารเคมีปนเปื้อน และต้องคำนึงไว้เสมอว่า สารให้กลิ่นและรสชาติเป็นสารที่ระเหยได้ง่าย เช่น น้ำมันหอมระเหย มีการศึกษาเปรียบเทียบการสูญเสียสารให้กลิ่นและรสชาติของผักด้วยวิธีการอบแห้งแบบธรรมดาและอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่าความผิดปกติของกลิ่นและรสชาติของผักอบแห้งที่เกิดขึ้นไม่ได้เกิดจากการสูญเสียสารให้กลิ่น แต่เกิดจากปฏิกิริยาเคมี เช่น ปฏิกิริยาออกซิเดชัน และปฏิกิริยา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดความผิดปกติของกลิ่นและรสชาติ และในระหว่างการเก็บรักษาอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ เช่น เกิดกลิ่นผิดปกติ หรือกลิ่นอับขึ้นได้มากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา และความชื้นของผลิตภัณฑ์ (นิธิยา, 2544)

2.6.6.5 ลักษณะเนื้อสัมผัสและการคืนรูป

การอบแห้งโดยใช้ลมร้อนยังเป็นที่นิยมใช้กันอยู่ เพราะเสียค่าใช้จ่ายต่ำ แต่วิธีนี้จะทำลายลักษณะเนื้อสัมผัสอย่างถาวร ทำให้เกิดการหดตัว เกิดการสุกอย่างช้าๆ และเมื่อแช่น้ำจะเกิดการคืนรูปได้ไม่สมบูรณ์ โดยเฉพาะผักอบแห้งจะหดตัวมาก เพราะท่อคาพิลลารีเสียสภาพและหดตัว ซึ่งมีผลกระทบต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ปัจจัยสำคัญที่เป็นสาเหตุคือ มีการสูญเสีย differential permeability ใน protoplasmic membrane สูญเสีย turgor pressure ภายในเซลล์ โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติ สตาร์ชเกิดผลึก และมีการสลายพันธะไฮโดรเจนของสารประกอบที่มีโมเลกุลใหญ่ ดังนั้นลักษณะเนื้อสัมผัสของผักอบแห้งด้วยลมร้อนจะเสื่อมสลายระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง โดยเฉพาะผักอบแห้งจะเสียหายได้ง่ายระหว่างการแช่เยือกแข็งเก็บรักษา และทำให้คืนตัว

ผลการศึกษากลไกการระเหยออกของน้ำ พบว่ามีผลกระทบโดยตรงต่อโครงสร้างของเซลล์ เช่น มีการสูญเสีย selective permeability ของ cytoplasmic membrane ของเซลล์ซึ่งมีหน้าที่รักษาสภาพความเต่งและความกรอบของผัก เมื่อมีการสูญเสียน้ำออกจากเซลล์จะทำให้ผนังเซลล์เสียรูปทรงและยุบตัว ทำให้เซลล์และเซลล์ข้างเคียงเหี่ยวลง (นิธิยา, 2544) การสูญเสียน้ำทำให้เซลล์อาหารหดตัวจากผิวนอก ส่วนที่แข็งจะคงสภาพได้ ส่วนที่อ่อนกว่าจะเว้าลงไป อาหารที่มีน้ำมากจะหดตัวบิดเบี้ยวมาก การทำแห้งอย่างรวดเร็วจะหดตัวน้อยกว่าการทำแห้งอย่างช้าๆ (สุคนธ์ชื่น, 2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.6.6 การเกิดผิวแห้งแข็ง

อุณหภูมิและอัตราการทำแห้งมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารมาก โดยทั่วไปการทำแห้งอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิและอัตราการทำแห้งที่ต่ำกว่า ตัวละลายจะเคลื่อนที่จากด้านในไปยังผิวอาหารในระหว่างที่น้ำถูกกำจัดออกในขั้นตอนการทำแห้ง กลไกและอัตราการเคลื่อนที่มีความจำเพาะสำหรับตัวละลายแต่ละชนิด และขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและสภาวะการทำแห้ง การระเหยของน้ำทำให้ตัวละลายที่ผิวอาหารมีความเข้มข้นมากขึ้น อุณหภูมิที่สูงของอากาศ ทำให้อาหารโดยเฉพาะ ผลไม้ ปลา และ

เนื้อ เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และทางกายภาพอย่างซับซ้อนที่ผิวหน้าอาหาร และทำให้ผิวแห้งแข็ง หรือที่เรียกว่า การเกิดผิวแห้งแข็ง (case hardening) ซึ่งจะลดอัตราการทำแห้ง และทำให้อาหารมีผิวหน้าแห้งแต่ภายในชื้น การควบคุมสภาวะการอบแห้งเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นด้านใน และที่ผิวอาหารจะช่วยลดเหตุการณ์ดังกล่าวได้ (วิไล , 2547) มักเป็นลักษณะที่พบในผักและผลไม้ที่มีองค์ประกอบเป็นพวกแป้ง เพคติน และโปรตีน หรือสารที่สามารถเกิดเจลอยู่สูงที่นำมาทำแห้งโดยใช้อุณหภูมิสูงและมักเกิดกับผลไม้ที่อบทั้งผล ความร้อนสูงทำให้สารดังกล่าวจับตัวเป็นก้อนเจลเป็นเหตุให้น้ำซึมผ่านออกไปได้ยาก ทำให้มีน้ำเหลืออยู่ในอาหารสูง คุณภาพของผักผลไม้ที่ได้ไม่ดี อายุการเก็บรักษาสั้น โอกาสที่เชื้อราเจริญเติบโตทำให้ผักผลไม้แห้งเน่าเสียมีมาก (รัตนาและพิไลรัก, 2541)

2.6.6.7 อิทธิพลของ a_w

a_w มีบทบาทสำคัญมากต่อการแปรรูปและการเก็บรักษาอาหารอบแห้ง a_w เป็นอัตราส่วนของความดันไอของน้ำในอาหาร (P) ต่อความดันไอน้ำบริสุทธิ์ (P_o) ที่อุณหภูมิเดียวกันคือ P/P_o a_w มีผลต่อปฏิกิริยาที่ทำให้อาหารเน่าเสีย การเจริญหรือความคงตัวของจุลินทรีย์และปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในอาหาร ซึ่งสัมพันธ์กับความคงตัวของอาหาร ปัจจุบันเป็นที่ทราบแน่ชัดแล้วว่า จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ในอาหารที่ปราศจากน้ำหรืออาหารแห้ง เมื่ออาหารนั้นมี a_w อยู่ในช่วง 0.6-0.7 หรือต่ำกว่า แต่ก็ยังมีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นได้ทั้งที่มีเอนไซม์และไม่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง เช่น ปฏิกิริยาลิพิดออกซิเดชันและปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์เป็นต้น ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวหากเกิดขึ้นกับอาหารจะทำให้มีสี กลิ่น รสชาติ และความคงตัวเปลี่ยนไปด้วยระหว่างการแปรรูปและเก็บรักษา ดังนั้นจึงใช้ a_w เป็นตัวชี้บ่งหรือทำนายการเสื่อมสลายและการเน่าเสียของอาหาร และเป็นตัวกำหนดการสิ้นสุดอายุการเก็บรักษาของอาหารอบแห้งเพื่อให้ผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งสามารถเก็บรักษาได้นาน และมีความคงตัวดี (นิธิยา, 2544)

2.6.6.8 จุลินทรีย์

การอบแห้งอาจมีจุลินทรีย์บางส่วนลดลงหรือถูกทำลายแต่ก็อาจมีจุลินทรีย์บางส่วนสามารถมีชีวิตรอดอยู่ได้ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ อาทิ เช่น อุณหภูมิที่ใช้อบแห้ง ค่า a_w ของอาหารอบแห้ง พีเอช สารกันบูด ออกซิเจน และอื่นๆ ดังนั้นการมีชีวิตอยู่รอดของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียจึงเป็นปัญหา และจะเป็นปัญหามากยิ่งขึ้นหากพบว่ามีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคปนเปื้อนอยู่ด้วย ในการอบแห้งวิธีการหรือภาวะที่ใช้อบแห้งมักจะคำนึงถึงการรักษาสี กลิ่น และรสชาติตามธรรมชาติของอาหารไว้ให้มากที่สุด ดังนั้น จึงพยายามใช้อุณหภูมิต่ำที่สุดหรือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ระยะเวลาสั้นที่สุดไม่ว่าจะใช้กระบวนการอบแห้งวิธีใดก็ไม่สามารถทำลายจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในอาหารได้อย่างสมบูรณ์ จึงมีบางส่วนมีชีวิตรอดอยู่ได้ โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่ทนความร้อนได้ดี ได้แก่ สปอร์ของแบคทีเรีย ยีสต์ รา และ thermoduric bacteria ดังนั้นจึงอาจมีการเจริญของจุลินทรีย์เกิดขึ้นตั้งแต่ก่อนที่จะอบแห้ง โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคหรือสร้างสารพิษซึ่งจะเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้ (นิธิยา, 2544)

2.6.6.9 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความคงตัวระหว่างการเก็บรักษา

อายุการวางจำหน่ายหรือเก็บรักษาของผักและผลไม้อบแห้งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ลักษณะทางธรรมชาติของผักและผลไม้ ภาวการณ์วางจำหน่ายหรือเก็บรักษา และชนิดของภาชนะบรรจุที่ใช้ การเปลี่ยนแปลงที่ไม่พึงประสงค์จะให้เกิดขึ้น ได้แก่ มีกลิ่นผิดปกติ เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล สูญเสียสารสีและสารอาหาร การทราบถึงปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจะช่วยในการปรับปรุงคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้นได้ ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความคงตัวระหว่างการเก็บรักษา ได้แก่ ความชื้น อุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษา ระยะเวลา แสง และก๊าซออกซิเจน นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับวิธีการอบแห้งที่ใช้ การทำ pretreatment ก่อนการอบแห้ง และระยะเวลาก่อนที่จะแสดงลักษณะปรากฏที่ผิดปกติ

ความชื้นในผักและผลไม้อบแห้งเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่มีอิทธิพลต่อความคงตัวของอาหารแห้ง ปัจจัยรองลงมา คือ อุณหภูมิ เพราะอุณหภูมินอกจากจะเร่งปฏิกิริยาเสื่อมสลาย เช่น ปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิส ลิพิดออกซิเดชัน ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ และการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนให้เกิดเร็วขึ้นแล้ว ยังเร่งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียอีกด้วย การกำจัดออกซิเจนออกจากภาชนะบรรจุโดยการเก็บรักษาในบรรยากาศก๊าซไนโตรเจนจะยืดอายุการเก็บรักษาหรือรักษาความคงตัวของผักและผลไม้อบแห้งได้นานขึ้น การเก็บรักษาในภาวะที่ไม่มีออกซิเจนและมีก๊าซไฮโดรเจน 5% ในก๊าซไนโตรเจนร่วมกับการใช้ palladium catalyst ให้ผลในการเก็บรักษาดีที่สุด และแสงก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อความคงตัวของผักและผลไม้อบแห้ง เพราะทำให้สารสีถูกทำลายทั้งคลอโรฟิลล์และแคโรทีน รวมทั้งวิตามินบางชนิดก็ถูกทำลายด้วยแสง เช่น วิตามินซี วิตามินบีสอง และวิตามินเอ ดังนั้นภาชนะบรรจุที่ใช้ควรป้องกันไม่ให้ผักและผลไม้อบแห้งถูกแสงด้วย (นิธิยา, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.7 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Gonzalez-Aguilar *et al*. (2000) ได้ทำการศึกษาผลของการใช้สาร antibrowning agent ร่วมกับการใช้ภาชนะบรรจุที่ดัดแปลงสภาวะบรรยากาศ (MAP) เพื่อยับยั้งการเสื่อมเสียเนื่องจากการเกิดสีน้ำตาลและเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาในมะม่วงตัดแต่ง พบว่าการใช้สารร่วมกันระหว่าง 0.001M 4-hexylresorcinol (HR), 0.05M potassium sorbate (KS) และ 0.5M D-isoascorbic acid (ER) เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน จะสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและการเจริญของจุลินทรีย์ได้ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อลักษณะทางประสาทสัมผัส การยอมรับของผู้บริโภค และการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดอินทรีย์และปริมาณน้ำตาล และพบว่าความชื้นที่เพิ่มสูงขึ้นในภาชนะบรรจุจะช่วยลดการสูญเสียน้ำบริเวณเนื้อเยื่อ และเป็นปัจจัยสำคัญในการลดการเกิดสีน้ำตาลและการเสื่อมเสียของมะม่วงได้

Santerre *et al*. (1991) ได้มีการศึกษาการใช้สารทดแทนไบซัลไฟต์ในการแปรรูปมันฝรั่ง “Russet Burbank” พบว่ามันฝรั่งที่จุ่มลงในสารละลายผสมที่ประกอบด้วย 3% erythorbic acid 2% sodium chloride และ 0.25% sodium acid pyrophosphate (SAPP) นาน 2 นาที ซับให้แห้งแล้วบรรจุลงในถุง Cryovac B540 ที่ประกอบด้วย 0.2% sorbic acid (potassium salt) และ 0.2% citric acid ปิดผนึกถุงและนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 3.8 องศาเซลเซียส หลังจากเก็บไว้เป็นเวลา 6 วัน พบว่าจะทำให้จุลินทรีย์ลดจำนวนลงเมื่อเทียบกับมันฝรั่งที่จุ่มด้วย 2000 ppm sodium metabisulfite เป็นเวลา 1.5 นาที หรือน้ำ และสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ในระดับที่เป็นที่ยอมรับได้ และทำให้มันฝรั่งมีค่าสี L* เพิ่มสูงขึ้น หลังจากเก็บไว้เป็นเวลา 18 วัน

Tong and Hicks (1991) ได้ศึกษาการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในน้ำแอปเปิลสดพันธุ์ “Granny Smith” โดยการใช้ 0.25% carrageenan เพียงสารเดียว หรือการใช้ร่วมกันระหว่าง 0.05% carrageenan และ 0.5% citric acid พบว่าสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ 100% ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และการใช้ร่วมกันระหว่าง 0.025% amylose sulfate หรือ 0.025% xylan sulfate กับ 0.5% citric acid จะสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ และการใช้ citric acid เพียงสารเดียวสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ประมาณ 34% และการใช้ 0.1% carrageenan ร่วมกับ 0.5% citric acid จะสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ในน้ำแอปเปิลที่ยังไม่ผ่านการพลาสเจอไรซ์ที่ประกอบด้วย 0.1% sodium benzoate ได้นาน 3 เดือน ที่อุณหภูมิการเก็บ 3 องศาเซลเซียส และการใช้ร่วมกันระหว่าง 0.05% carrageenan และ 0.5% citric acid พบว่าสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในแอปเปิลที่หั่นเป็นรูปลูกเต๋าพันธุ์ “Granny Smith” และ “Red Delicious”ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Ponting *et al*. (1972) ได้ทำการศึกษาผลของการใช้สาร ascorbic acid calcium และ sulfite ในแอปเปิลตัดแต่งแช่เย็นพันธุ์ “Golden Delicious” และ “Newtown Pippin” โดยนำมาจุ่มลงในสารละลายผสมระหว่าง ascorbic acid ความเข้มข้น 0, 0.5 และ 1.0% กับ calcium ($CaCl_2$) ความเข้มข้น 0, 0.05 และ 0.1% และ sulfur dioxide (sodium bisulfite หรือ sodium sulfite) ความเข้มข้น 0, 0.01, 0.03, 0.05 และ 0.1% นาน 3 นาที ซับน้ำให้แห้งบรรจุลงใน polyester bags เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 34 °F เป็นเวลา 1 ถึง 2 สัปดาห์ พบว่าการใช้ 1.0% ascorbic acid ร่วมกับ 0.1% calcium และการใช้สาร 0.03% sulfur dioxide ร่วมกับ 0.1% calcium จะมีประสิทธิภาพในการรักษาสีของแอปเปิลทั้ง 2 พันธุ์ โดยมีกลิ่น สี และเนื้อสัมผัสดีที่สุด และสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้

Monsalve-Gonzalez *et al*. (1993) มีรายงานว่าการใช้สารร่วมกันระหว่าง 4-hexylresorcinol กับ ascorbic acid ที่ความเข้มข้นต่ำๆ ในแอปเปิลตัดแต่งพันธุ์ “Red Delicious” คือ 0.02% 4-hexylresorcinol ร่วมกับ 0.25% ascorbic acid จากนั้นเติมสารละลายน้ำตาลที่ประกอบด้วย 0.2% (w/v) citric acid, 0.15% (w/v) sorbic acid และ sucrose ปรับให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 52 บริกซ์ นำแอปเปิลมาแช่ในสารละลายเป็นเวลา 10 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส บรรจุในถุง plastic pouch เก็บที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่าจะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลเช่นเดียวกับการใช้ sodium sulfite ถึง 5 เท่า โดย ascorbic acid-2-phosphate จะชะลอไม่ให้สารตั้งต้นเปลี่ยนเป็นสารควิโนนทำให้เกิดการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลได้ช้าลง ส่วน 4-hexylresorcinol จะมีคุณสมบัติในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสได้

Dong *et al*. (2000) ได้ทำการศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษาลูกแพร์หั่นชิ้น โดยพบว่าสามารถเก็บรักษาลูกแพร์หั่นชิ้นได้นาน 30 วัน โดยไม่เกิดสีน้ำตาล เมื่อนำมาจุ่มลงในสารละลายที่มีส่วนผสมของ 1.0% ascorbic acid และ 1.0% calcium lactate แต่พบว่าจะทำให้ลักษณะของเนื้อสัมผัสนิ่ม และมีน้ำไหลซึมออกมาจากเนื้อเยื่อ และเมื่อนำมาจุ่มลงในสารละลายที่มีส่วนผสมของ 0.01% 4-hexylresorcinol, 0.5% ascorbic acid และ 1.0% calcium lactate เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นนำมาบรรจุภายใต้สภาวะสุญญากาศ เก็บที่อุณหภูมิ 2-5 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นาน 15-30 วัน โดยไม่เกิดสีน้ำตาลขึ้น

Thomas (1987) ได้มีการทดลองเพื่อหาสารที่ใช้ทดแทน sulfite ร่วมกับการใช้ภาชนะบรรจุเพื่อเก็บรักษามันฝรั่งทั้งเปลือกและมันฝรั่งที่หั่นเป็นชิ้นให้สามารถเก็บไว้ได้นานกว่า 14 วัน โดยนำมาจุ่มในสาร potassium sorbate (0.2 %w/w), citric acid (0.3, 0.5 และ 1.0 %w/w), ascorbic acid (0.3, 0.5 และ 1.0 %w/w) และ sodium metabisulfite (500 และ 1000 ppm) ซับให้แห้งแล้วบรรจุลงใน polyolefin multilayer bags หรือ polyethylene bags ในสภาวะที่เป็นสุญญากาศ เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 และ 20 วัน พบว่ามันฝรั่งที่ treated ด้วย citric acid และ ascorbic acid

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ยังมีเนื้อสัมผัสที่ขาวอยู่ เช่นเดียวกับมันฝรั่งที่ treated ด้วย sulfite โดย ascorbic acid จะมีสมบัติเป็น reducing agent ในการไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ phenolase จึงทำให้สารตั้งต้นที่เป็น o-dihydroxyphenolic ไม่ถูกออกซิไดส์เป็น o-quinones ส่วน citric acid จะมีสมบัติเป็น chelating agent ทำให้ค่า pH ลดลงต่ำกว่า 3.0 ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ phenolase และพบว่าทุกชุดการทดลองที่จุ่มด้วย potassium sorbate จะสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของยีสต์และราได้

Gonzalez-Aguilar *et al.* (2003) ได้ทำการศึกษาถึงการตอบสนองทางด้านสรีระวิทยาเมื่อนำสับปะรดที่หั่นเป็นชิ้นมาจุ่มด้วยสารละลาย 0.1 mol/l isoascorbic acid, 0.05 mol/l ascorbic acid และ 0.05 mol/l N-acetylcysteine บรรจุใน polystyrene plastic tray เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน พบว่าการใช้สาร antibrowning agents จะช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลและการเสื่อมเสียของชิ้นสับปะรดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และยังช่วยลดการเปลี่ยนแปลงของสี L* และ b* และการสูญเสียค่าความแน่นเนื้อ โดยการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นใน package atmosphere จะไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของชิ้นสับปะรด และชิ้นสับปะรดที่จุ่มด้วย isoascorbic acid จะมีลักษณะปรากฏที่ดีที่สุด และมีคะแนนการยอมรับได้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม รองลงมาคือ N-acetylcysteine และ ascorbic acid ตามลำดับ

Rojus-Grau *et al.* (2007) ได้ทำการศึกษาถึงผลของระยะการสุก การดัดแปลงสภาวะบรรยากาศ (modified atmosphere) และการใช้สาร antibrowning agents เพื่อให้ได้ระยะการสุกและสภาวะในการแปรรูปที่เหมาะสมที่สุด เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาแอปเปิลตัดแต่งโดยใช้แอปเปิล 3 กลุ่ม คือ mature-green, partially ripe และ ripe ซึ่งหลังจากปอกเปลือกและนำมาหั่นเป็นชิ้นแล้วนำมาจุ่มในสารละลาย 1% *N*-acetylcysteine หรือ 1% ascorbic acid บรรจุใน polypropylene trays ที่มีอากาศหรือก๊าซผสม (2.5% O_2 + 7% CO_2 + 90.5% N_2) ปิดผนึก และเก็บไว้ในที่มืดที่มีอุณหภูมิ 4 ^{o}C พบว่า partially ripe apples ที่จุ่มลงใน 1% *N*-acetylcysteine จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล และช่วยรักษาลักษณะปรากฏของแอปเปิลไว้ได้นานมากกว่า 1 เดือน เนื่องจากที่สภาวะบรรยากาศที่มีปริมาณ O_2 ต่ำ และ CO_2 สูง (2.5% O_2 + 7% CO_2) จะสามารถยับยั้งการผลิต ethylene ได้อย่างมีนัยสำคัญ

Kwak *et al.* (2005) ได้ทำการศึกษาผลของการใช้สาร antibrowning agents 6 ชนิด คือ cysteine, glutathione, sodium sulfite, pentasodium tripolyphosphate, citric acid และ oxalic acid และสารประเภท phenolic acid 4 ชนิด คือ ferulic, hydroxybenzoic, syringic และ vanillic acids ในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลใน glucose-lysine model โดยนำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ใน $FeCl_2$ ก่อนนำมาเก็บภายใต้สภาวะที่มีไนโตรเจนหรือบรรยากาศที่อุณหภูมิ 4 หรือ 30

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

องศาเซลเซียส พบว่าการเกิดสีน้ำตาลจะมีมากขึ้นภายใต้สภาวะบรรยากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และภายใต้สภาวะที่มีไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จะไม่พบการเกิดสีน้ำตาล โดย citric acid ที่เก็บภายใต้สภาวะบรรยากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะมีประสิทธิภาพดีที่สุด โดยสามารถเก็บได้นานเป็นเวลา 4 สัปดาห์ และสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในได้ถึง 36% และสาร antibrowning agents จะมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น 8-15% ในสารละลายกรด phenolic acid หรือ cinnamic acid ที่ช่วงความเข้มข้นระหว่าง 10 μM ถึง 10 mM

Rojas-Grau *et al*. (2008) ได้ทำการศึกษาผลของการใช้สาร antibrowning agents ที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในแอปเปิลตัดแต่ง โดยการใช้สารเพียงชนิดเดียวหรือการใช้สารหลายชนิดร่วมกันระหว่าง 4-hexylresorcinol, glutathione, acetylcysteine และ ascorbic acid เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส บรรจุในถุงพลาสติกในสภาวะบรรยากาศปกติ เป็นเวลา 14 วัน พบว่าการใช้สาร acetylcysteine เพียงชนิดเดียว หรือการใช้สารร่วมกันระหว่าง 4-hexylresorcinol กับ glutathione หรือ acetylcysteine และการใช้สารร่วมกันระหว่าง ascorbic acid กับ glutathione หรือ acetylcysteine สามารถควบคุมการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสได้อย่างมีนัยสำคัญ

Chen *et al*. (2007) ได้ศึกษาถึงความคงตัวของ carotenoids ในมะม่วงอบแห้งพันธุ์ “Taiwanese” ที่ใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่แตกต่างกัน โดยนำมะม่วงมาแช่ในสารละลาย 1% sodium hydrogen sulfite หรือ 1% ascorbic acid เป็นเวลา 30 นาที นำมาอบแห้งโดยใช้ลมร้อน หรืออบแห้งแบบระเหิด พบว่าส่วนใหญ่มะม่วงที่ได้จากการอบแห้งแบบระเหิดที่แช่ในสารละลาย 1% sodium hydrogen sulfite จะมีปริมาณ carotenoids มากที่สุด ส่วนมะม่วงที่ได้จากการอบแห้งแบบระเหิดที่แช่ในสารละลาย 1% ascorbic acid จะยังคงรักษา all-*trans-beta*-carotene และ *cis* isomer, all-*trans*-zeaxanthin และ *cis* isomer ได้มากที่สุดเช่นเดียวกับ *cis*-lutein สำหรับมะม่วงที่ได้จากการอบแห้งโดยใช้ลมร้อนทั้งแช่และไม่แช่ในสารละลาย พบว่ามีสีส้มที่เข้มขึ้น ซึ่งตรงกันข้ามกับมะม่วงที่ได้จากการอบแห้งแบบระเหิดที่แช่ในสารละลายที่เป็น antioxidants พบว่าจะมีเนื้อมะม่วงเป็นสีเหลือง และมีสีสว่างขึ้น

Wang *et al*. (2007) ได้ทำการศึกษาถึงคุณสมบัติต่างๆ ของเอนไซม์ polyphenol oxidase โดยการสกัดจากเนื้อมะม่วงพันธุ์ “Tainong” พบว่าเอนไซม์ polyphenol oxidase จะมีค่า pH และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานเท่ากับ 7 และ 30 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยเอนไซม์ polyphenol oxidase จะยังคงทำงานอยู่หลังจากการสกัดโดยใช้ความร้อนเป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และประสิทธิภาพในการทำงานของเอนไซม์ polyphenol oxidase จะลดลง 90% หลังจากการสกัดโดยใช้ความร้อนเป็นเวลา 5 นาที ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส แต่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เอนไซม์ polyphenol oxidase ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดสีน้ำตาลนั้นสามารถยับยั้งได้โดยการใช้สาร ascorbic acid, beta-mercaptoethanol และ L-cysteine และจะมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อใช้ร่วมกับ sodium dodecyl sulfite โดย ascorbic acid จะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้มากที่สุด

เทิดพงษ์ (2546) ได้ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ในการอบแห้งมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ พบว่าเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มสูงขึ้นค่าคงที่ของการอบแห้งเพิ่มตามไปด้วย และเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นยังทำให้ปริมาณวิตามินซีลดน้อยลงไปด้วย โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งมะม่วงไม่ควรเกิน 60 องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพทั้งด้านสีและปริมาณวิตามินซี

Pott *et al*. (2005) ได้ศึกษาถึงการปรับปรุงคุณภาพของมะม่วงที่ไม่ใช้สาร sulfite ที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิสูง โดยดูจากค่า water activity (a_w) และการเกิดสีน้ำตาล ซึ่งในมะม่วงอบแห้งที่มีค่าความชื้นลดลงเหลือ 17% wet base หรือมีค่าเท่ากับ a_w = 0.6 จะสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ และพบว่าอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีในผลิตภัณฑ์อบแห้งและค่า water activity โดยจะใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แทนการใช้อุณหภูมิในการอบแห้งซึ่งปกติจะใช้ที่ 50-60 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการอบนาน ซึ่งพบว่าจะทำให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีมะม่วงอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญ โดยไม่ต้องใช้สารเคมีใดๆ หรือใช้ความร้อนในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ โดยการเพิ่มอุณหภูมิและลดเวลาในการอบแห้งจาก 9 เหลือ 6 ชั่วโมงนั้น จะทำให้ประสิทธิภาพในการอบแห้งมีค่าเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

Mahayothee *et al*. (2007) ได้ทำการศึกษาผลของความแตกต่างของพันธุ์ ระยะการสุกที่มีต่อคุณภาพของมะม่วงอบแห้งที่ไม่ใช้ซัลไฟต์โดยใช้มะม่วงสุก 3 พันธุ์ คือ น้ำดอกไม้ แก้ว และโชคอนันต์ ที่มีอายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน นำมาบ่มโดยใช้สาร calcium carbide หรือ 2-chloroethylphosphonic acid นำมาล้าง ปอกเปลือก และหั่นเป็นชิ้น นำมาอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถาด ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8-10 ชั่วโมง จนกระทั่งมะม่วงมีค่า water activity ต่ำกว่า 0.65 พบว่ามะม่วงแก้วและโชคอนันต์จะเหมาะสมต่อการนำไปอบแห้งมากกว่ามะม่วงน้ำดอกไม้ เพราะมีปริมาณ all-*trans*-*beta*-carotene มาก เมื่อนำไปอบแห้งจึงมีปริมาณ *beta*-carotene มากที่สุด จึงมีปริมาณวิตามิน A ที่เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภคตามที่ FAO และ WHO บอกไว้ และพบว่ามะม่วงอบแห้งที่เร่งให้เกิดการสุกโดยใช้อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส พบว่าจะมีปริมาณ all-*trans*-*beta*-carotene ในมะม่วงอบแห้งสูงกว่าในมะม่วงที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส โดยมะม่วงอบแห้งพันธุ์น้ำดอกไม้และโชคอนันต์ที่มี ripening index (RPI) 3-4 จะมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลักษณะที่ดีเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคและมีปริมาณ all-*trans-beta*-carotene สูง 13-16 และ 20-23 mg/kg ซึ่งตรงกันข้ามกับมะม่วงแก้ว

Sagar *et al*. (1998) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาที่มีผลต่อคุณภาพของมะม่วงอบแห้ง พบว่าเมื่อเก็บมะม่วงอบแห้งที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส จะเก็บได้นาน 6 เดือน และเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 33-35 องศาเซลเซียส จะเก็บได้นาน 4 เดือน

Borges and Menegalli (1994) ได้ศึกษาผลของการทำ Osmotic dehydration ที่มีต่อจลศาสตร์ของการทำแห้งมะม่วง พบว่าการทำ Osmotic dehydration ในสารละลาย sucralose ความเข้มข้น 65% ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จะสามารถลดปริมาณน้ำลงได้ 72% ดังสมการคือ X/Xo = Ae (-Bt) type

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

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved