บทที่ 2
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ลำไย (*Euphoria longana* L) จัดเป็นผลไม้ชนิดที่ต้องเก็บเกี่ยวเมื่อผลสุกพร้อมบริโภค (nonclimacteric fruit) เป็นไม้ผลกึ่งร้อนที่ปลูกกันมากในเขตภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย จังหวัดที่ปลูกมาก คือจังหวัดเชียงใหม่ และลำพูน ซึ่งทั้ง 2 จังหวัดนี้มีผลผลิตรวมกันประมาณ 75% ของประเทศ รองลงมามีการปลูกมากในจังหวัดเชียงราย น่าน ลำปาง พะเยา และแพร่ นอกจากนี้ยังมีการปลูกอีกเล็กน้อยกระจายไปยังภาคอื่นๆ เช่น กำแพงเพชร กาญจนบุรี นครราชสีมา และจันทบุรี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2548)

ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวผลลำไย อยู่ในช่วงประมาณเดือนกรกฎาคมถึงเดือนสิงหาคมของทุกปีและอาจผันแปรขึ้นอยู่กับพันธุ์ของลำไยและแหล่งที่ปลูกด้วย ถ้าเป็นผลลำไยพันธุ์ดอซึ่งเป็นพันธุ์เบาจะออกสู่ตลาดก่อนตั้งแต่ช่วงเดือนกรกฎาคม ตามมาด้วยพันธุ์แห้วและสีชมพูซึ่งเป็นพันธุ์กลาง ผลผลิตออกสู่ตลาดในช่วงต้นเดือนสิงหาคม และพันธุ์ที่เป็นพันธุ์หนักคือพันธุ์เบี้ยวเขียว ผลผลิตออกสู่ตลาดในช่วงกลางเดือนสิงหาคม อย่างไรก็ตาม ช่วงที่เหมาะสมต่อการเก็บเกี่ยวผลลำไยอยู่ระหว่างกลางเดือน กรกฎาคมถึงกลางเดือนสิงหาคมเพราะเป็นช่วงผลลำไยแก่พอดี และมีคุณภาพดีที่สุด ในปีพ.ศ. 2548 มีผลผลิตผลลำไยสดออกสู่ตลาดประมาณ 640,000 ตัน (100%) จำหน่ายเป็นผลลำไยสดประมาณ 360,000 ตัน (56.25%) และแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งประมาณ 280,000 ตัน (43.75%) ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น ผลลำไยอบแห้งทั้งเปลือก 245,000 ตัน และเนื้อลำไยอบแห้งสีทอง 35,000 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2548)

การแปรรูปผลลำไยสดเป็นการเพิ่มมูลค่าผลลำไยให้สูงขึ้น และเป็นการแก้ปัญหาด้านราคาผลลำไยสดตกต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อลำไยอบแห้งเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งในและต่างประเทศ ความต้องการเนื้อลำไยอบแห้งมีเพิ่มมากขึ้นทุกปี การส่งออกเนื้อลำไยอบแห้งในปัจจุบันพบว่ามีการแข่งขันทางด้านการตลาดมากขึ้น ดังนั้นในการอบเนื้อลำไยอบแห้งจึงได้เน้นการผลิตให้ได้คุณภาพดีเพื่อการจำหน่าย และผู้ผลิตจำเป็นต้องมีการพัฒนาคุณภาพของเนื้อลำไยอบแห้ง เพื่อตอบสนองความต้องการของตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การแปรรูปผลิตภัณฑ์ผลไม้อบแห้ง

การแปรรูปผลไม้เป็นผลไม้อบแห้งเป็นการดึงเอาน้ำออกมาจากอาหาร ซึ่งเป็นวิธีการแปรรูปที่ทำได้ง่าย ผลไม้แห้งที่ได้มีน้ำหนักเบา ขนส่งสะดวก ง่ายต่อการบรรจุ และการลดความชื้นในผลไม้ทำให้จุลินทรีย์ที่สร้างความเสียหายไม่สามารถเจริญได้ แต่มีข้อเสียคืออาหารแห้งกรอบเปราะง่าย ขนาดเปลี่ยนไป และมีคุณค่าทางโภชนาการลดลง ผลไม้อบแห้งเป็นผลไม้ที่มีปริมาณน้ำไม่เกิน 25% และมี ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (water activity, a_w) ระหว่าง 0.0 ถึง 0.60 ส่วนที่มีน้ำ 15 - 50% และมีค่า a_w ระหว่าง 0.60 ถึง 0.85 จัดเป็น intermediate moisture food (IMF) (ไพโรจน์, 2539)

ผลไม้ที่จะนำมาอบแห้งควรมีคุณภาพที่ดี และมีขั้นตอนที่จำเป็นก่อนนำไปอบแห้ง เช่น การทำความสะอาดด้วยน้ำ ปอกเปลือก คว้านเอาไส้หรือเมล็ดออก และตัดแต่ง ก่อนการอบแห้ง ซึ่งอาจมีการแช่ในสารละลายของสารประกอบซัลไฟต์ สารประกอบซัลไฟต์มีประสิทธิภาพในการควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในระหว่างการอบแห้งและการเก็บรักษา (Bolin and Jackson, 1985) แต่ปริมาณที่ใช้มีการควบคุมอย่างเข้มงวด เนื่องจากมีผลเสียต่อสุขภาพ สารประกอบซัลไฟต์ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (sulfur dioxide) โซเดียมซัลไฟต์ (sodium sulfite) โซเดียมไบซัลไฟต์ (sodium bisulfite) โพแทส-เซียมไบซัลไฟต์ (potassium bisulfite) โซเดียมเมแทไบซัลไฟต์ (sodium metabisufite) และโพแทสเซียมเมแทไบซัลไฟต์ (potassium metabisulfite) สารเหล่านี้ถูกนำมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์ในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลทั้งที่เกี่ยวกับเอนไซม์และไม่เกี่ยวกับเอนไซม์ ควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ ใช้เป็นสารฟอกสี (bleaching agent) ใช้เป็นสารยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน (antioxidant) หรือใช้เป็นสารที่ทำให้เกิดการรีดิวซ์ และอาจใช้ในวัตถุประสงค์อื่นๆ (ไพบูลย์, 2532)

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับการถนอมอาหาร

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในรูปของก๊าซ หรือในรูปสารละลายของกรดซัลฟูรัส หรือในรูปของเกลือสามารถใช้เป็นสารป้องกันหรือลดการเน่าเสียอันเนื่องจากจุลินทรีย์อย่างแพร่หลาย และยังใช้เป็นสารทำลายจุลินทรีย์เฉพาะในกระบวนการหมัก นอกจากนี้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ยังใช้เป็นวัตถุกันหืนและเป็นสารยับยั้งการเสื่อมเสียเนื่องจากปฏิกิริยาที่เร่งด้วยเอนไซม์และไม่เกี่ยวกับเอนไซม์ระหว่างการเตรียมวัตถุดิบ การเก็บรักษา และการกระจายผลผลิต และบางครั้งยังใช้เป็นสารฟอกสีด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อเซลล์จุลินทรีย์ จะเกิดปฏิกิริยาการทำลายก็ต่อเมื่อเซลล์จุลินทรีย์ ได้สัมผัสกับสารนั้นๆ ในปริมาณที่เพียงพอต่อปฏิกิริยาการทำลายที่แท้จริงและจะมีลักษณะจำเพาะกับจุลินทรีย์แต่ละชนิด ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวจะรวมถึงกลไกทางกายภาพ เคมี และชีวเคมี ผลของสารประกอบซัลไฟต์ที่มีต่อเซลล์จุลินทรีย์อาจสรุปได้ดังนี้ สารประกอบซัลไฟต์มีผลต่อ nucleophile ของโปรตีนโดยสารประกอบซัลไซด์จะไปสร้าง disulfide bonds กับโปรตีน ซึ่งมีผลต่อ coenzymes (NAD^+), cofactors และ prosthetic groups (flavin, thiamin, heme, folic acid, and pyridoxal) ทำให้กระบวนการเมทาบอลิซึมของเอ็นไซม์ไม่สามารถทำงานได้ และโครงสร้างโปรตีนที่มี disulfide bonds เสื่อมสภาพ (Wedzieha, 1995)

ปริมาณต่ำสุดของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ที่ใช้ในการทำลายเชื้อยีสต์และราแสดงดังตารางที่ 2.1 และ 2.2 (ไพบูลย์, 2532)

ในระหว่างการเตรียมผักและผลไม้เพื่ออบแห้งนั้นมักนำวัตถุดิบไปแช่ในสารละลายของสารประกอบซัลไฟต์เพื่อช่วยรักษาสีในระหว่างการแปรรูปและยืดอายุการเก็บรักษาซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นสารที่นิยมนำมาใช้ป้องกันปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ในระหว่างการเตรียม โดยซัลไฟต์ทำหน้าที่ยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) และยังทำปฏิกิริยากับสารตัวกลาง (intermediate) ของปฏิกิริยา ทำให้ป้องกันการเกิดสีน้ำตาล ซัลไฟต์ยังสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวกับเอนไซม์โดยการทำปฏิกิริยากับสารตัวกลางกลุ่มคาร์บอนิล (carbonyl intermediate) จึงสามารถป้องกันไม่ให้ปฏิกิริยาดำเนินต่อไปจนเกิดเป็นสารสีน้ำตาลได้ นอกจากนี้ยังป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากจุลินทรีย์ด้วย

ตารางที่ 2.1 ปริมาณของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ใช้ในการทำลายเชื้อยีสต์

ชนิดของเชื้อยีสต์	ค่าพีเอช	ปริมาณต่ำสุดของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (ppm)
Saccharomyces cerevisiae	4.0	80-160
Saccharomyces ellipsoideus	2.5-3.5	20-80
Hansenula anomal	5.0	240

ที่มา Leuck (1980) อ้างโดย ไพบูลย์ (2532)

เนื่องจากการใช้สารประกอบซัลไฟต์มีข้อจำกัดในทางอุตสาหกรรมอาหารจึงจำเป็นต้องคิดค้นหาสารอื่นหรือวิธีการอื่นๆ มาใช้ทดแทนสารประกอบซัลไฟต์ แต่ยังไม่พบว่ามีสารใด หรือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วิธีการใดที่มีประสิทธิภาพเท่ากับการใช้สารประกอบซัลไฟต์ได้ ไม่ว่าจะเป็นด้านประสิทธิภาพ ราคา หรือการออกฤทธิ์ยับยั้ง (ไพบูลย์, 2532)

ตารางที่ 2.2 ปริมาณของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ใช้ในการทำลายเชื้อรา

ชนิดของเชื้อรา	ค่าพีเอช	ปริมาณต่ำสุดของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (ppm)
Mucor sp.	2.5-3.5	30-60
Penicillium glaucum	4.5	280
Penicillum sp.	5.0	160-400
Aspergillus niger	4.5	220

ที่มา Leuck (1980) อ้างโดย ไพบูลย์ (2532)

กระบวนการผลิตเนื้อลำไยอบแห้ง (รัตนา และอัจฉรา , 2542)

กระบวนการผลิตเนื้อลำไยอบแห้งมีขั้นตอนตั้งแต่การแกะเนื้อลำไยสด โดยผลลำไยสดทั้งเปลือก 500 กิโลกรัม เมื่อแกะเปลือกและเมล็ดออกแล้วจะได้เนื้อลำไยสดประมาณ 350 กิโลกรัม แล้วนำไปแช่ในสารละลายโพแทสเซียมเมแทไบซัลไฟต์

- ถ้าต้องการจำหน่ายทันทีหรือเก็บรักษาไว้ 3 เดือนให้ใช้สารโพแทสเซียมเมแทไบซัลไฟต์ 30 กรัมต่อน้ำ 10 ลิตร แช่ไว้ประมาณ 3-5 นาทีแล้วจึงช้อนขึ้น
- ถ้าต้องเก็บรักษาไว้ 6 - 9 เดือน ให้ใช้สารโพแทสเซียมเมแทไบซัลไฟต์ 50 กรัมต่อน้ำ 10 ลิตรแช่ไว้ประมาณ 5 - 7 นาทีแล้วจึงช้อนขึ้น

ต่อจากนั้นผึ่งเนื้อลำไยให้สะเด็ดน้ำและเรียงบนตะแกรง นำเข้าเตาอบลมร้อนอุณหภูมิประมาณ 70 - 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบประมาณ 12 - 15 ชั่วโมง ติดต่อกัน ไม่ควรใช้อุณหภูมิสูงกว่านี้ เพราะจะทำให้เนื้อลำไยมีสีน้ำตาล อีกทั้งเนื้อลำไยด้านนอกจะแข็ง ด้านในยังคงมีความชื้นสูงอยู่ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้อายุการเก็บรักษาเนื้อลำไยอบแห้งสั้นลง เนื้อลำไยสด 10 กิโลกรัมจะได้เนื้อลำไยอบแห้งประมาณ 1 กิโลกรัม เมื่ออบแห้งเสร็จเรียบร้อยแล้ว ปล่อยให้เนื้อลำไยเย็นก่อนนำไปบรรจุถุงพลาสติกเพื่อเก็บรักษาต่อไป เนื้อลำไยที่ได้จะมีความชื้นไม่เกิน 18% และมีสีเหลืองทอง

พันธุ์ของลำไยที่นิยมใช้แปรรูปเป็นเนื้อลำไยอบแห้งได้แก่ พันธุ์ดอ แห้ว และเบี้ยวเขียว ลักษณะเนื้อลำไยอบแห้งที่ต้องการคือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

1. เป็นเนื้อลำไยที่ไม่มีขั้วเมล็ดติดอยู่ที่เนื้อและไม่มีเศษเปลือกติด
2. เนื้อสม่ำเสมอ ไม่บุบแบนหรือฉีกขาด
3. มีสีเหลืองทองผิวแห้งสนิท
4. รสชาติหวาน ไม่ขม
5. ไม่มีสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ
6. มีกลิ่นหอมของลำไย ไม่มีกลิ่นควัน เหม็นไหม้

คุณภาพของเนื้อลำไยอบแห้งยังขึ้นอยู่กับวิธีการอบ ซึ่งวิธีการแปรรูปในแต่ละวิธีจะแตกต่างกันไปตามแหล่งที่ผลิต (ตารางที่ 2.3) ทำให้ได้เนื้อลำไยอบแห้งที่มีคุณภาพแตกต่างกัน

การแบ่งคุณภาพของเนื้อลำไยอบแห้ง

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2548) ได้จัดแบ่งคุณภาพของเนื้อลำไยอบแห้งได้ดังนี้

1. ชั้นคุณภาพ เนื้อลำไยอบแห้งสีทอง แบ่งเป็น 3 ชั้นคุณภาพ ดังนี้

1.1 ชั้นหนึ่ง (Class I)

1.2 ชั้นสอง (Class II)

1.3 ชั้นสาม (Class III)

2. ปัจจัยคุณภาพ

2.1 คุณลักษณะทั่วไป

เนื้อลำไยอบแห้งสีทองทุกชั้นคุณภาพ มีสีเหลือง มีกลิ่นรส และเนื้อสัมผัส ตามลักษณะของผลิตภัณฑ์ มีลักษณะแห้งไม่เหนียวติดมือ ไม่มีรสเปรี้ยว ไม่มีกลิ่น รสชาติผิดปกติ และไม่มีสิ่งแปลกปลอม เช่น แมลง ชิ้นส่วนของแมลง ขนสัตว์ ดิน ทราย และเศษโลหะ ฯลฯ

2.2 คุณลักษณะทางเคมี

2.2.1 ความชื้น อยู่ในช่วงระหว่าง 12% ถึง 18%

2.2.2 ค่า a_w ไม่เกิน 0.6

2.2.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solids) ไม่ต่ำกว่า 80%

2.2.4 ความเป็นกรด-ด่าง ไม่ต่ำกว่า 6.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.3 กรรมวิธีการทำเนื้อลำไยอบแห้งวิธีต่างๆ (รัตนา และอัจฉรา, 2542)

วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3	วิธีที่ 4
ลำไยสด	ลำไยสด	ลำไยสด	ลำไยสด
↓	↓	↓	↓
คว้านเมล็ด	คว้านเมล็ด	คว้านเมล็ด	คว้านเมล็ด
↓	↓	↓	↓
แกะเปลือก	แกะเปลือก	แกะเปลือก	แกะเปลือก
↓	↓	↓	↓
ล้างน้ำ	แช่สารส้ม 100 กรัม/น้ำ 20 ลิตรเป็นเวลา 5 นาที	ล้างในน้ำปูนใส	ล้างน้ำ
↓	↓	↓	↓
เรียงบนตะแกรงโปร่ง	แช่แคลเซียมคลอไรด์ 0.5 ช้อนชา/น้ำ 20 ลิตรเป็นเวลา 5 นาที	ช้อนขึ้นให้สะเด็ด	แช่สารโพแทสเซียมเมแทไบซัลไฟท์ 30 กรัม/น้ำ 10 ลิตร/เนื้อลำไย 10 กก. เป็นเวลา 3- 5 นาที
↓	↓	↓	↓
อบจนแห้ง	เรียงบนตะแกรงโปร่ง	เรียงบนตะแกรงโปร่ง	เรียงบนตะแกรงโปร่ง
↓	↓	↓	↓
ปล่อยให้เย็น	อบจนแห้ง	อบจนแห้ง	อบจนแห้ง
↓	↓	↓	↓
บรรจุถุง	ปล่อยให้เย็น	ปล่อยให้เย็น	ปล่อยให้เย็น
	↓	↓	↓
	บรรจุถุง	บรรจุถุง	บรรจุถุง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 คุณลักษณะอื่นของเนื้อลำไยอบแห้งสีทองแต่ละชั้นคุณภาพเป็นไปตามข้อกำหนดในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ข้อกำหนดคุณลักษณะอื่นของเนื้อลำไยอบแห้งสีทองแต่ละชั้นคุณภาพ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2548)

ปัจจัยคุณภาพ	คุณลักษณะที่ต้องการ		
	ชั้นที่หนึ่ง	ชั้นที่สอง	ชั้นที่สาม
ความหนาของเนื้อ	หนา	บาง	บาง
กลิ่นลำไย	หอมชัดเจน	หอม	หอม
ขนาดผล	สม่ำเสมอ	ค่อนข้างสม่ำเสมอ	ไม่สม่ำเสมอ

2.4 สิ่งบกพร่อง

ไม่พบสิ่งบกพร่องในเนื้อลำไยอบแห้งแต่ละชั้นคุณภาพต้องเป็นไปตามเกณฑ์ ข้อกำหนดในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ข้อมูลกำหนดสิ่งบกพร่องของเนื้อลำไยอบแห้งสีทองแต่ละชั้นคุณภาพ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2548)

สิ่งบกพร่อง	ปริมาณสูงสุด (%ของน้ำหนัก)		
	ชั้นหนึ่ง	ชั้นสอง	ชั้นสาม
ผลฉีกขาด	ไม่พบ	ไม่เกิน 3%	ไม่เกิน 15%
ผลลำไยที่มีเศษขั้วเมล็ดติดมา	ไม่พบ	ไม่เกิน 1%	อยู่ระหว่าง 1% ถึง 2%

3. วัตถุเจือปนอาหาร

ให้เป็นไปตามข้อกำหนดในกฎหมายที่เกี่ยวข้อง และข้อกำหนดของมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ เรื่องวัตถุเจือปนอาหาร

4. สารปนเปื้อน

ให้เป็นไปตามข้อกำหนดในกฎหมายที่เกี่ยวข้อง และข้อกำหนดของมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ เรื่องสารปนเปื้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

5. สารพิษตกค้าง

ให้เป็นไปตามข้อกำหนดในกฎหมายที่เกี่ยวข้อง และข้อกำหนดของมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ เรื่องสารพิษตกค้าง

6. สุขลักษณะ

6.1 การผลิตและการปฏิบัติต่อเนื้อลำไยอบแห้งในขั้นตอนต่างๆ รวมถึงการเก็บรักษา และการขนส่งผลิตภัณฑ์เนื้อลำไยอบแห้งต้องปฏิบัติอย่างถูกสุขลักษณะ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค

6.2 จุลินทรีย์ในเนื้อลำไยอบแห้งสีทองทุกชั้นคุณภาพต้องไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดในตารางที่ 2.6

นอกจากนี้ รัตนาและคณะ (2547) ได้แบ่งเนื้อลำไยอบแห้งสีทองเป็น 2 ชั้นคุณภาพและมีข้อกำหนดดังนี้

<u>ชั้นหนึ่ง (Class A)</u>

เนื้อลำไยอบแห้งชั้นนี้มีคุณภาพดีเยี่ยม ทำจากผลลำไยสดเกรด AA และ A มีสีเหลืองซีดไปจนสีเหลืองทอง มีลักษณะเป็นผลสมบูรณ์ ขนาดผลใหญ่ค่อนข้างสม่ำเสมอ ไม่ฉีกขาด ปราศจากตำหนิทุกชนิด มีลักษณะแห้งไม่เหนียวติดมือ มีรสหวานไม่มีรสเปรี้ยวและมีกลิ่นหอมลำไยชัดเจน

<u>ชั้นสอง (Class B)</u>

เนื้อลำไยอบแห้งคุณภาพดี ทำจากผลลำไยสดเกรด B มีสีเหลืองซีดไปจนสีเหลืองทอง มีลักษณะเป็นผลค่อนข้างสมบูรณ์ ขนาดผลเล็ก และยอมให้มี %ฉีกขาดและหรือ %ผลที่มีเศษขั้วติดได้ไม่เกิน 10% ของน้ำหนักลำไยต่อหนึ่งบรรจุภัณฑ์ มีลักษณะแห้งไม่เหนียวติดมือ มีรสหวานไม่มีรสเปรี้ยว และมีกลิ่นหอมลำไย

ผลการศึกษาผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งชนิดเนื้อลำไยอบแห้งสีทองและเนื้อลำไยอบแห้งสีน้ำตาลแดง-ดำ จากผู้ประกอบการและกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรผู้ผลิตทั้งในจังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดลำพูนแสดงค่าสีต่างๆ ที่สัมพันธ์กับคุณภาพของเนื้อลำไยอบแห้งดังภาพที่ 2.1 และตารางที่ 2.7

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.6 เกณฑ์กำหนดของจุลินทรีย์ในเนื้อลำไยอบแห้งสีทองทุกชั้นคุณภาพ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2548)

ชนิดจุลินทรีย์	ปริมาณสูงสุดที่ตรวจพบ
ยีสต์	ไม่เกิน 10,000 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม (cfu/g)
รา	ไม่เกิน 500 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม (cfu/g)
เอสเชอริเชีย โคไล (*Escherichia coli*)	น้อยกว่า 3 ต่อตัวอย่าง 1 กรัม (MPN/g)
สตาฟิโลค็อกคัส ออเรียส (*Staphylococcus aureus*)	ไม่พบในตัวอย่าง 0.1 กรัม
ซาลโมเนลลา (*Salmonella* spp.)	ไม่พบในตัวอย่าง 25 กรัม
คลอสตริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ (*Clostridium perfringens*)	ไม่พบในตัวอย่าง 0.1 กรัม

ภาพที่ 2.1 คุณภาพของเนื้อลำไยอบแห้งตามสมบัติของสี (บัวเลื่อน, 2547)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.7 ค่าสีของผลิตภัณฑ์เนื้อลำไยอบแห้งจากผู้ประกอบการและผู้ผลิตทั้งในจังหวัดเชียงใหม่และลำพูน (รัตนาและคณะ, 2547)

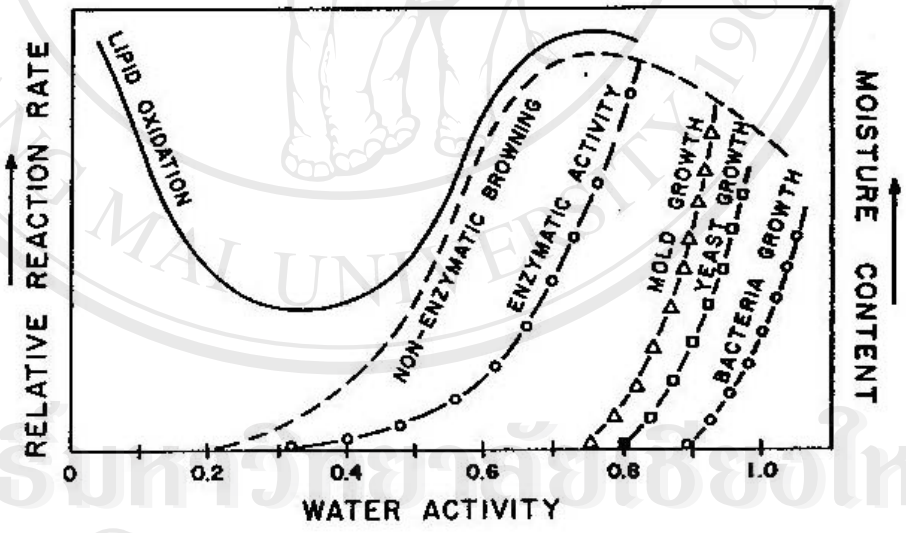
เกรด เนื้อลำไยอบแห้ง	ค่าสีในระบบ Hunter					
	L*		a*		b*	
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
เนื้อลำไยอบแห้งสีทอง						
เกรด AA	53.08 ±1.95	41.76 ± 2.50	10.56 ± 1.8	6.01 ± 0.88	26.98 ± 1.99	12.59 ± 0.73
เกรด A	50.66 ± 3.10	42.42 ± 4.27	13.37 ± 2.22	5.97 ± 1.68	26.88 ± 3.33	13.86 ± 1.88
เกรด B	51.50 ± 2.14	47.92 ± 2.24	8.93 ± 1.55	6.29 ± 1.30	21.15 ± 3.11	17.58 ± 1.73
ค่าเฉลี่ยทั้งหมด	49.70	47.46	9.67	8.45	19.42	18.43
เนื้อลำไยอบแห้งสีน้ำตาลแดง-ดำ						
	45.19 ± 2.03	27.42 ± 4.10	15.85 ± 1.43	8.41 ± 1.17	20.38 ± 4.33	-0.49 ± 1.93
ค่าเฉลี่ยทั้งหมด	35.27 ± 5.68		9.52 ± 3.02		9.17 ± 4.33	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การเปลี่ยนแปลงของผลไม้อบแห้งในระหว่างการเก็บรักษา

ในระหว่างการเก็บรักษาผลไม้อบแห้ง จะมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ทั้งหมด เกิดขึ้นตลอดเวลาอย่างช้าๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่า a_w ของผลไม้อบแห้ง ดังภาพที่ 2.2 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นสาเหตุที่ทำให้ผลไม้อบแห้งเสื่อมสภาพ ดังนั้นการลดปริมาณน้ำในอาหารให้น้อยลงเพื่อทำให้ค่า a_w ลดลงนั้น จะช่วยลดปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ และชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ในผลไม้อบแห้งได้ ส่งผลทำให้ผลไม้อบแห้งมีการเปลี่ยนแปลงสี รสชาติ และลักษณะเนื้อสัมผัสอันเป็นสาเหตุของการเสื่อมสภาพให้เกิดขึ้นช้าลง ปฏิกิริยาที่สำคัญต่อการเสื่อมสภาพ คือ (Barger *et al*.,1995)

1. การเสื่อมสภาพเนื่องจากจุลินทรีย์ (microbial spoilage)
2. ปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ (enzymatic browning reaction)
3. ปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวกับเอนไซม์ (non-enzymatic browning reaction)
4. ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation reaction)



ภาพที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาการเจริญของจุลินทรีย์และค่า a_w (John, 1999)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

1. การเสื่อมสภาพเนื่องจากจุลินทรีย์ (microbial spoilage)

โดยทั่วไปจุลินทรีย์แต่ละชนิดสามารถเจริญได้ดีที่สุดในอาหารที่มีค่า a_w ในระดับที่เหมาะสม เมื่อค่า a_w ลดลงการเจริญของจุลินทรีย์จะลดลงตามไปด้วย จนกระทั่งถึงช่วงที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ จุลินทรีย์แต่ละชนิดต้องการปริมาณน้ำที่นำไปใช้ประโยชน์ได้แตกต่างกัน โดยปกติเชื้อรามีความต้องการค่า a_w น้อยกว่าแบคทีเรียและยีสต์ จุลินทรีย์แต่ละชนิดจะเจริญได้ที่ค่า a_w แตกต่างกันดังตารางที่ 2.8

สำหรับปริมาณจุลินทรีย์ที่ยอมให้มีได้ในเนื้อลำไยอบแห้งไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด ดังนี้ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องตรวจพบไม่เกิน $1x10^4$ โคโลนีต่อกรัม ราและยีสต์ ต้องไม่เกิน $1x10^2$ โคโลนีต่อกรัม *เอสเชอริเชียโคไล* (*Escherichia coli*) โดยวิธีเอ็มพีเอ็น (Most Probable Number, MPN) ต้องน้อยกว่า 3 ต่อตัวอย่าง 1 กรัม *สตาฟิโลคอกคัส ออเรียส* (*Staphylococcus aureus*) ต้องตรวจไม่พบในตัวอย่าง 0.1 กรัม *ซาลโมเนลลา* (*Salmonella* spp.) ต้องตรวจไม่พบในตัวอย่าง 25 กรัม *และ คลอสติเดียม เพอร์ฟริงเจนส์* (*Clostidium perfringens*) ต้องตรวจไม่พบในตัวอย่าง 0.1 กรัม (รัตนาและคณะ, 2547)

2. ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (browning reaction)

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล มีบทบาทสำคัญและเกี่ยวข้องกับการกำหนดคุณภาพของผลไม้อบแห้ง ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นในระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ผลไม้อบแห้งทำให้ผลไม้อบแห้งมีสีเปลี่ยนไปจากเดิม และเป็นตัวกำหนดมาตรฐานตลอดจนการยอมรับของผู้บริโภค

ปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ผลไม้อบแห้งมี 2 ปฏิกิริยา คือ

2.1 การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ (enzymatic browning reaction)

2.2 การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวกับเอนไซม์ (non-enzymatic browning reaction)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1 ปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์

ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาของสารประกอบโมโนฟีนอล ที่มีอยู่ในพืชกับออกซิเจนในอากาศและมีเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase, PPO) เร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซีเลชันได้เป็น*ออร์โท*-ไดฟีนอล (*o*–diphenol) และจะถูกออกซิไดส์ต่อได้เป็น*ออร์โท*-ควิโนน (*o*-quinone) เอนไซม์ PPO อาจเรียกว่า ไทโรซิเนส (tyrosinase) ไดฟีนอลออกซิเดส (*o*-diphenol oxidase) หรือแคตีคอลออกซิเดส (catechol oxidase) ก็ได้ สารประกอบฟีนอลที่ถูกออกซิไดส์ได้ด้วยเอนไซม์ PPO ได้แก่ แคตีคิน (catechins) เอสเทอร์ของกรดซินนามิก

(cinnamic acid ester) 3,4-ไฮดรอกซีฟีนิลอะลานีน (3,4-hydroxyphenylalanine หรือ DOPA) และไทโรซีน ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมสำหรับเอนไซม์ PPO อยู่ในช่วง 5-7 เป็นเอนไซม์ที่ไม่คงตัว ถูกทำลายได้ด้วยความร้อน และถูกยับยั้งได้ด้วยกรดแฮไลด์ (halides) กรดฟีนอลิก ซัลไฟต์ คีเลติ้งเอเจนต์ (chelating agents) และ รีดิวซิงเอเจนต์ (reducing agents) เช่น กรดแอสคอร์บิก และซีสเตอีน (cysteine) เป็นต้น

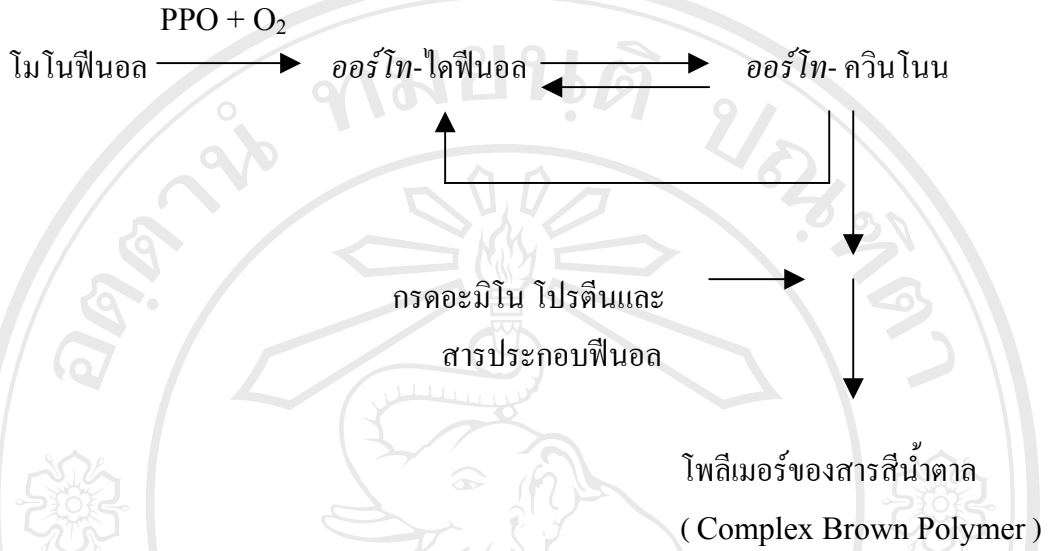
ตารางที่ 2.8 ความสัมพันธ์ของค่า a_w ขั้นต่ำสุดกับการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ (จิตธนา, 2543)

ค่า a_w ขั้นต่ำสุด	การตรวจพบจุลินทรีย์
0.91	แบคทีเรีย
0.88	ยีสต์
0.80	เชื้อรา
0.75	แบคทีเรียชนิดทนเกลือได้
0.61	เชื้อราชนิดทนแห้งได้ดี
0.60	ยีสต์ชนิดทนน้ำตาลที่มีความเข้มข้นสูงได้ดี
0.96	*Achromobacter*
0.95	*Aerobacter aerogenes*
0.95	*Bacillus subtilis*
0.95	*Clostridium botulinum*
0.96	*Escherichia coli*
0.97	*Pseudomona*
0.86	*Staphylococcus aureu*
0.62	*Saccharomyces rouxii*
0.95	*Salmonella*

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ควิโนนที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮดรอกซีเลชันกับปฏิกิริยาออกซิเดชันจะรวมตัวกัน และเกิดปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลอื่นๆ หรือเกิดปฏิกิริยากับกรดอะมิโนได้สารประกอบสีน้ำตาล โดยไม่ต้องอาศัยเอนไซม์เป็นตัวเร่ง การเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์นี้เป็นปัญหาสำคัญที่เกิดกับสินค้า

สำคัญหลายชนิดโดยเฉพาะอาหารจำพวกผลไม้ และผัก การเกิดการเปลี่ยนสีทำให้อาหารมีอายุการเก็บรักษาจำกัด และเป็นปัญหาในการผลิต ผัก ผลไม้แห้ง และแช่เยือกแข็ง



ภาพที่ 2.3 ปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ PPO (นิธิยา, 2545)

อัตราเร็วของปฏิกิริยาเนื่องจากเอนไซม์สามารถควบคุมได้โดยอุณหภูมิและค่า a_w โดยเอนไซม์ PPO จะถูกทำลายอย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ในผักและผลไม้สามารถควบคุมได้โดยการลวก เพื่อทำให้เอนไซม์ PPO ไม่สามารถทำงานได้ แต่การลวกไม่สามารถนำมาใช้ได้กับผลิตภัณฑ์บางอย่าง เพราะอาจมีผลเสียต่อกลิ่น รส และเนื้อสัมผัส ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องใช้วิธีอื่นเช่น การกำจัดออกซิเจนและการใช้สารยับยั้งชนิดต่างๆ (ประสาร, 2538) Pongsakul *et al.* (ไม่ระบุปี) ศึกษาทำงานของเอนไซม์ PPO ในเนื้อลำไยอบแห้ง พบว่าเนื้อลำไยอบแห้งที่ไม่ผ่านกรรมวิธีใดๆ ก่อนการอบแห้งมี total activity ของ PPO เท่ากับ 0.51 หน่วยต่อนาที และที่ผ่านการแช่น้ำร้อนเป็นระยะเวลา 2 นาที มี total activity ของ PPO เท่ากับ 0.26 หน่วยต่อนาที และถ้าผ่านการแช่ในสารละลาย โพแทสเซียมเมแทไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 2% (w/v) มี total activity ของ PPO เท่ากับ 0.43 หน่วยต่อนาที

การเก็บรักษาแอปเปิ้ลอบแห้งในสภาวะที่มีค่า a_w ต่างๆ คือ 0.99, 0.75, 0.65 และ 0.53 การแช่ในสารละลายโพแทสเซียมเมแทไบซัลไฟต์ 1 นาที และไม่ได้แช่ในสารละลายโพแทสเซียมเมแทไบซัลไฟต์ หลังจากนั้น 8 สัปดาห์พบว่ามีเพียงแอปเปิ้ลอบแห้งที่มีค่า a_w เท่ากับ 0.99 เท่านั้นที่มี total activity ของ PPO เกิดขึ้นไม่ว่าจะมีการแช่ในสารละลายโพแทสเซียมเมแทไบซัลไฟต์หรือไม่ก็ตาม ในกรรมวิธีที่มีการแช่ในสารละลายโพแทสเซียสเมแทไบซัลไฟต์ ค่ากิจกรรมของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

PPO ได้มีค่าเท่ากับ 27 หน่วยต่อกรัม ในกรรมวิธีที่ไม่มีการแช่ในสารละลาย ค่าที่วัดได้เท่ากับ 679 หน่วยต่อกรัม แต่ไม่พบกิจกรรมของ PPO ในแอปเปิลอบแห้งที่มีค่า a_w เท่ากับ 0.5, 0.53 และ 0.65 ทั้งกรรมวิธีที่มีการแช่และไม่ได้แช่ในสารโพแทสเซียมเมแทไบซัลไฟต์ (Beveridge and Weintraub, 1995)

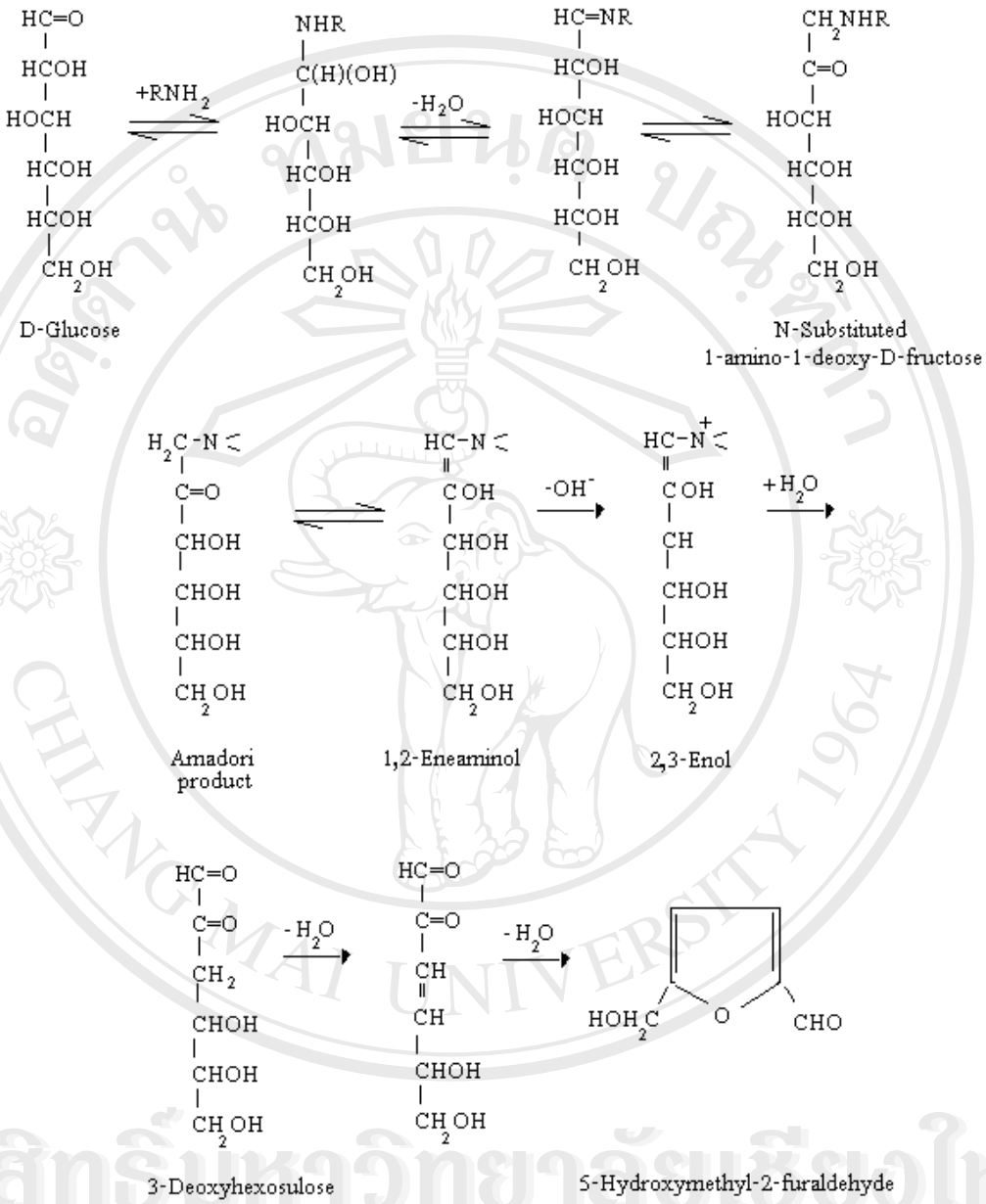
2.2 ปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวกับเอนไซม์

ปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่เกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์ หรือ Maillard reaction เป็นปฏิกิริยาที่มีความสำคัญต่อผลไม้อบแห้ง ซึ่งจะเกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน หรือเมื่อมีการให้ความร้อน เนื่องจาก Maillard reaction มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหาร ได้แก่ ลักษณะที่ปรากฏ รสชาติ และกลิ่น Maillard reaction เป็นปฏิกิริยาระหว่างหมู่อะมิโนที่อยู่ในโมเลกุลของกรดอะมิโน เปปไทด์ โปรตีน หมู่เอมีน และหมู่คาร์บอนิล (น้ำตาลอัลดีไฮด์ และคีโตน) (Proudlove, 1989)

2.2.1 ขั้นตอนการเกิด Maillard reaction (นิธิยา, 2545)

1. น้ำตาลรีดิวซิงทั้งคีโตสและแอลโดส จะรวมตัวกับหมู่อะมิโนได้เป็นไกลโคซิลเอมีน
2. เกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันได้เป็นอิมีน (imines หรือ Schiff base) และมีการเรียงตัวใหม่ ซึ่งมีชื่อเรียกว่า Amadori products เช่น 1-อะมิโน-1-ดีออกซี-คีโตส (ภาพที่ 2.4)
3. ปฏิกิริยา enolization ของ Amadori products ได้เป็นไดคีโตสเอมีน หรือไดอะมิโนชูการ์ เช่น 3-ดีออกซีเฮกซูโลส
4. เกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันต่อได้เป็นอนุพันธ์ของฟูแรน (furan) ถ้าเป็นน้ำตาลเฮกโซส อนุพันธ์ฟูแรน คือ 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอรัลดีไฮด์ (5-hydroxymethyl-2-furaldehyde หรือ HMF)
5. อนุพันธ์ฟูแรนวงแหวน เช่น HMF จะเกิดโพลีเมอไรซ์อย่างรวดเร็วได้เป็นสารสีน้ำตาลที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยและไม่ละลายน้ำ ซึ่งต่างจากการเกิดคาราเมไลเซชัน ซึ่งมีน้ำตาลเพียงอย่างเดียว สารสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นนี้จึงเรียกว่า เมลานอยดิน (melanoidins) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาโมลต่อโมล (mole per mole reaction)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.4 ขั้นตอนการเกิด Maillard reaction (นิธิยา, 2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Hydroxymethylfurfural (HMF) เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจาก Maillard reaction ปริมาณของ HMF จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสี กลิ่น และรสชาติ ซึ่งระดับของ HMF ในอาหารจะชี้ให้เห็นถึงระดับความร้อนที่อาหารได้รับและระยะเวลาการเก็บรักษา

2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อ Maillard reaction

ก. สารตั้งต้น

การทำนายการเกิดปฏิกิริยา และอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเป็นเรื่องที่ยาก เนื่องจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลประกอบด้วยปฏิกิริยาต่างๆ มากมาย และยังมีความไวต่อสิ่งแวดล้อมด้วย (Labuza and Schmidl, 1986) น้ำตาลรีดิวซ์เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีส่วนสนับสนุนให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ซึ่งพบว่าน้ำตาลเพนโทส (ไรโบสและไซโรส) ทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วกว่าน้ำตาลเฮกโซส (กลูโคสและฟรักโทส) และในกลุ่มของน้ำตาลเฮกโซสเอง ถ้ามีโครงสร้างเป็นแอลโดสจะเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้เร็วกว่าคีโทส เพราะแอลโดสมีการรวมตัวดีกว่าคีโทสและทั้งน้ำตาลเพนโทสและน้ำตาลเฮกโซสเกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่า disaccharide reducing sugar (มอลโทสและแลกโทส)

ข. อุณหภูมิ

หากเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นอัตราเร็วของปฏิกิริยาสีน้ำตาลจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส อัตราการเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้น 3-4 เท่าจากเดิม การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวขึ้นอยู่กับค่า a_w ด้วย (Labuza and Schimdl, 1986; Lee *et al*., 1991)

ค. water activity (a_w)

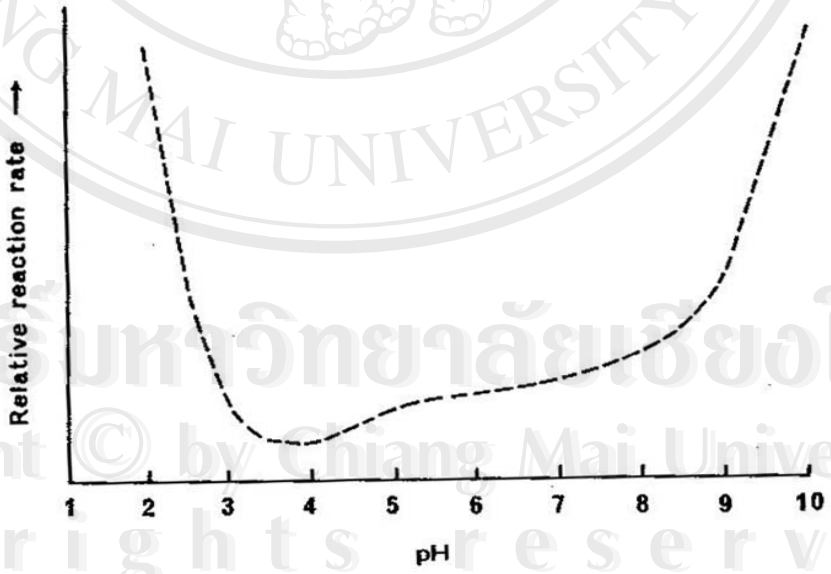
อัตราการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นตามค่า a_w ที่เพิ่มขึ้นและอัตราการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลจะเกิดสูงสุดที่ช่วงค่า a_w เท่ากับ 0.6 - 0.7 การเพิ่มปริมาณน้ำ ทำให้สารตั้งต้นเคลื่อนที่ได้ดี ทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ดีขึ้น ถ้าค่า a_w มีค่าสูงขึ้นปริมาณน้ำกลับทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาช้าลงเนื่องจากเป็นการเจือจางสารตั้งต้น อาหารที่มีความชื้นประมาณ 10-20% จะเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลอย่างรวดเร็ว (สุคนธ์ชื่น, 2539) ปริมาณน้ำสูงสุดสำหรับการเกิดปฏิกิริยาสี น้ำตาลคือประมาณ 30% ทั้งนี้เพราะมีความเข้มข้นของสารที่เกี่ยวข้องสูง ถ้าความชื้นต่ำหรือสูงกว่านั้น การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลจะน้อยลง ผลการศึกษาการเก็บรักษาหัวหอมอบแห้งที่อุณหภูมิต่างกัน 3 ระดับ (20, 30 และ 45 องศาเซลเซียส) และ a_w ค่า 3 ระดับ (0.3, 0.4 และ 0.5) เก็บรักษาเป็นเวลา 75 วัน สังเกตการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลจากค่าการดูดกลืนแสง (optical density) พบว่า non-enzymatic browning ที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากอุณหภูมิ ค่า a_w และเวลา โดยปัจจัยทั้ง 3 มีผลส่งเสริมการเกิด non-enzymatic browning ในหอมอบแห้ง คือ หอมอบแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

และที่ค่า a_w เท่ากับ 0.332, 0.432 และ 0.560 มีค่าคงที่ในการเกิด non-enzymatic browning คือ 0.330, 1.395 และ 3.954 OD ต่อวัน ตามลำดับ และหากเพิ่มอุณหภูมิในการเก็บรักษาเป็น 45 องศาเซลเซียส และค่า a_w เท่ากับ 0.332, 0.432 และ 0.560 มีค่าคงที่ในการเกิดปฏิกิริยา non-enzymatic browning เท่ากับ 7.024, 13.085 และ 18.199 OD ต่อวัน และค่า a_w ในช่วง 0.6 -0.7 เป็นช่วงที่เหมาะสมกับการเกิดอัตราการเกิดสีน้ำตาลดีที่สุดในหอมอบแห้ง (Figen and Gedik, 2005; Rapusas and Driscoll , 1995)

ง. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ค่า pH มีผลต่อการลดการเปลี่ยนรูปของหมู่คาร์บอนิล หากทำให้ค่า pH ลดต่ำกว่าจุด pKa (pKa คือ -logKa , เมื่อ Ka คือ ค่าคงที่ของการแตกตัวของกรดอ่อน) จะเป็นการลด amines ให้เข้าทำปฏิกิริยาน้อยลงใน $-NH_3^+$ state ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อ pH อยู่ระหว่าง 9 - 10.5 หาก pH มีค่าต่ำมากๆ จะทำให้เกิดปฏิกิริยาสูงขึ้นอีกครั้ง เนื่องจากมี NH_2 ถูกสร้างมาจาก - NH_3^+ หาก pH มีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นช้าลงเมื่อ pH มีค่าน้อยกว่า 5 - 6 (ไพโรจน์, 2539) และจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหากค่า pH อยู่ในช่วง 8 - 10 เนื่องจาก pH ที่สูงขึ้นทำให้เกิด sugar fermentation คือหมู่คาร์บอนิลอยู่ในรูปที่สามารถทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนและแอมโมเนีย จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลรวดเร็วขึ้น



ภาพที่ 2.5 ผลของ pH ที่มีต่อปฏิกิริยา non-enzymatic browning (John, 1999)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลไม้อบแห้ง

การเก็บรักษากระเจี๊ยบอบแห้งที่มีความชื้นเพิ่มขึ้นจะทำให้มีคุณภาพลดต่ำลง นอกจากความชื้นจะมีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นที่มีผลกระทบผลต่อคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาอีกด้วย เช่น การใช้สารในกลุ่มซัลไฟต์ อุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษา และปริมาณออกซิเจนในสภาพบรรยากาศ (Adom *et al*., 1996) การเก็บรักษาสาลี่อบแห้งที่มีความชื้น 16% ที่อุณหภูมิต่ำกว่าหรือเท่ากับ 10 องศาเซลเซียส สามารถคงค่า L* ได้ไม่ต่างจากก่อนการเก็บรักษา และสาลี่อบแห้งที่มีความชื้น 18% และ 20% เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาได้นาน 140 สัปดาห์ หากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาได้นาน 60 และ 27 สัปดาห์ ตามลำดับ (Joubert *et al*., 2001) เช่นเดียวกับการเก็บรักษาหอมอบแห้ง การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและค่า a_w ที่เพิ่มขึ้น (Figen and Gedik, 2005) นอกจากความชื้นของผลไม้อบแห้งจะมีผลต่อคุณภาพแล้ว ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่ใช้เก็บรักษาก็มีผลต่ออายุการเก็บรักษาด้วย ซึ่งในการเก็บรักษากระเทียมอบแห้งที่ความชื้นสัมพันธ์ 70% มีผลทำให้มีการเปลี่ยนแปลงสี (ΔE) แตกต่างจากก่อนการเก็บรักษามากที่สุด (Prachayawarakorn *et al*., 2004) ออกซิเจนเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยา ออโตออกซิเดชันในผลไม้อบแห้ง (ไพโรจน์, 2539) การลดปริมาณออกซิเจนเพื่อรักษาสีของผลไม้อบแห้งทำได้โดยการใช้สารดูดออกซิเจน (O_2 absorber) ตัวอย่างเช่นในการเก็บรักษา dried vine fruit ที่มีค่า L*, a* และ b* ก่อนการเก็บรักษาเท่ากับ 39.2, 4.17 และ19.4 ตามลำดับ พบว่าหลังการเก็บรักษาโดยกรรมวิธีที่ไม่ลดปริมาณออกซิเจนนาน 84 วันมีค่า L*, a* และ b* เท่ากับ 34, 5.61 และ 15.3 ตามลำดับ แต่เมื่อลดปริมาณออกซิเจนให้เหลือ 1.7% O_2 เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าค่า L*, a* และ b* มีการเปลี่ยนแปลงเป็น 36.2, 4.78 และ17.2 ตามลำดับ (Tarr and Clingeleffer, 2004) ซึ่งเห็นได้ว่าออกซิเจนเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเสื่อมสภาพในผลไม้อบแห้ง

นอกจากปัจจัยต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นแล้ว สภาพบรรยากาศและสมบัติของบรรจุภัณฑ์ก็เป็นปัจจัยสำคัญด้วย รัตนาและอัจฉรา (2542) ได้ศึกษาการเก็บรักษาเนื้อลำไยอบแห้งพบว่ามีค่า L*, a* และ b* เปลี่ยนไปจากเดิมคือ มีค่า L* และ b* ลดลง และค่า a* เพิ่มขึ้น และอาจผันแปรขึ้นอยู่กับชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้บรรจุเนื้อลำไยอบแห้ง ในการเก็บรักษาเนื้อลำไยอบแห้งในถุง polypropylene (PP) เป็นเวลา 6 เดือนที่อุณหภูมิห้อง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของสีและความชื้นน้อยกว่าการเก็บรักษาในถุง low density polyethylene (LDPE) และถุง high density polyethylene (HDPE) ตามลำดับ โดยถุง PP มีอัตราการซึมผ่านของออกซิเจนและไอน้ำ 150-240 มิลลิลิตรต่อ100 ตารางนิ้ว และ 0.7 มิลลิกรัมต่อ100 ตารางนิ้ว ตามลำดับ ถุง LDPE มีอัตรา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การซึมผ่านของออกซิเจนเท่ากับ 500 มิลลิลิตรต่อ 100 ตารางนิ้ว และมีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำเท่ากับ 1-1.5 มิลลิกรัมต่อ100 ตารางนิ้ว และถุง HDPE มีอัตราการซึมผ่านของออกซิเจนเท่ากับ 185 มิลลิลิตรต่อ 100 ตารางนิ้ว และมีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำเท่ากับ 0.3 มิลลิกรัมต่อ 100 ตารางนิ้วตามลำดับ เช่นเดียวกับการเก็บรักษาผลลิ้นจี่อบแห้ง ในถุง HDPE มีสีเปลือกเปลี่ยนแปลงมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับผลลิ้นจี่อบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Biaxially Oriented Polypropylene (OPP) ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออโตออกซิเดชันของสารสีแอนโทไซยานิน เป็นผลให้เปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งมีสีเปลี่ยนแปลงไประหว่างการเก็บรักษา ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบอัตราการซึมผ่านเข้า-ออกของก๊าซออกซิเจนในภาชนะบรรจุ พบว่าถุง HDPE มีอัตราการซึมผ่านเข้า-ออกของก๊าซออกซิเจนมากกว่าถุง OPP ซึ่งถุง OPP มีอัตราการซึมผ่านเข้าออก-ของก๊าซออกซิเจนเท่ากับ 100-160 มิลลิลิตรต่อ 100 ตารางนิ้ว จากสมบัติดังกล่าวข้างต้นจึงทำให้ผลลิ้นจี่อบแห้งที่เก็บรักษาในถุง OPP มีการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกระหว่างการเก็บรักษาน้อยกว่าผลลิ้นจี่อบแห้งที่เก็บรักษาในถุง HDPE (เบญจมาศ, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved