# บทที่ 2
# สาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

## กล้วยน้ำว้า

กล้วยน้ำว้าเป็นไม้ล้มลุกในสกุล *Musa* (*Musa sapienium*) วงศ์ *Musacea* (เบญจมาศ, 2538) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Musa* (ABB group) "Kluai Nam Wa" ชื่อสามัญว่า Piang Awak กล้วยน้ำว้ามีลักษณะต้นสูง 2.5 - 4 เมตร ลำต้นมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 18 เซนติเมตร กาบลำต้นเทียมด้านนอกสีเขียวอ่อนมีประดำอยู่ทั่วไป ด้านในสีเขียวอ่อนกว่า ก้านช่อดอกไม่มีขน ปลีดอกกล้วยมีสีแดงอมม่วง เครือยาวขนาด 7 - 15 หวี หวีหนึ่งมี 10 - 16 ผล ผลใหญ่กว่ากล้วยไข่ กว้าง 3 - 4 เซนติเมตร ยาว 11 - 13 เซนติเมตร มีเหลี่ยม ก้านผลยาวเปลือกหนากว่ากล้วยไข่ เมื่อดิบเปลือกผลมีสีเขียว เมื่อสุกมีสีเหลืองปนน้ำตาล เนื้อสีเหลืองอมขาว มีรสหวาน กล้วยน้ำว้ามีสายพันธุ์ย่อยแตกต่างกันออกไปมากมาย ซึ่งจะมีลักษณะแตกต่างกันเล็กน้อย เช่น กล้วยน้ำว้ากาบขาว กล้วยน้ำว้าเตี้ย กล้วยน้ำว้าแดง (ดวงแก้ว, 2544)

## ความสุกของกล้วย

กล้วยเป็นผลไม้ที่มีการสุกของผลเป็นแบบ Climacteric (Biale, 1960) ผลกล้วยจะสุกในขณะที่อยู่บนต้น ดังนั้นถ้าต้องการให้ได้ผลกล้วยที่มีคุณภาพสูงและอายุการเก็บเกี่ยวยืนยาว จึงควรเก็บเกี่ยวก่อนที่ผลกล้วยจะมีอัตราการหายใจสูงที่สุด (ดนัย, 2534)

Marriott (1998) กล่าวว่า ในขณะที่ผลกล้วยกำลังจะสุกจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของผล 2 อย่าง คือ

1. การเปลี่ยนแปลงของสี ลักษณะเนื้อ กลิ่น และรส ซึ่งรวมเรียกว่า overt changes เป็นการเปลี่ยนแปลงที่สามารถวัดค่าได้ด้วยการมองเห็น ดมกลิ่น ชิมรส และการสัมผัสด้วยมือ ผลกล้วยที่ยังดิบจะมีสีเปลือกเป็นสีเขียวและลักษณะเนื้อแข็งสีขาว เมื่อผลเริ่มสุกเปลือกจะมีสีเขียวอ่อนและเนื้อเริ่มอ่อนตัวมีสีขาวซีด เนื้อจะเริ่มอ่อนตัวจากข้างในมายังข้างนอก และจากปลายผลไปหาส่วนโคน ต่อมาเปลือกจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอมเขียวและเนื้อจะอ่อนทั้งผล สีเปลือกจะค่อยๆ เหลืองยกเว้นที่ส่วนปลายและก้านผลยังคงเขียวอยู่ ในที่สุดผลกล้วยทั้งผลจะเหลือง เนื้อนิ่มอ่อนแต่ยังไม่เละ ระยะนี้เรียกว่า eating ripe หลังจากนั้นเปลือกของผลจะเริ่มเสีย เนื่องจากเชื้อราเข้าทำลายเป็นจุดเล็กๆสีน้ำตาลแล้วค่อยๆขยายแผ่ไปทั่วทั้งผล เนื้อจะเริ่มเละแต่ยังรับประทานได้ รสชาติและ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประกอบคาร์โบไฮเดรต และปริมาณของกรดซึ่งเกิดจากสารประกอบพวกที่ระเหยได้ เช่น แอลกอฮอล์ ปริมาณแทนนิน และกรดอื่นๆ เช่น กรดไพรูวิคและโอเลอิค จะลดลง

2. การเปลี่ยนแปลงทางสรีระวิทยาและชีวเคมี ซึ่งรวมกันเรียกว่า covert changes เป็นการเปลี่ยนแปลงภายในที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสี ลักษณะเนื้อ กลิ่น และรสของผลกล้วย การเปลี่ยนแปลงนี้อาจกล่าวได้เป็น 2 กรณี คือ การเปลี่ยนแปลงของกล้วยที่ปล่อยให้สุกคาต้น (preharvest changes) และการเปลี่ยนแปลงระหว่างการสุกของกล้วยตัด (postharvest changes)

หลังจากที่เครือของกล้วยถูกตัดออกจากต้นแม่แล้ว ในช่วงนี้ก็ยังมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ผลกล้วยยังคงสามารถสังเคราะห์สารและมีเมตาบอลิซึ่มได้ ซึ่งในขณะนี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอีกมากมาย

**การหายใจ**

ผลกล้วยดิบจะมีอัตราการหายใจต่ำ ต่อมาอัตราการหายใจจะค่อยๆเพิ่มสูงขึ้น และจะสูงที่สุดเมื่อผลกล้วยเริ่มสุก หลังจากนั้นอัตราการหายใจจะลดลงหลังจากที่ผลกล้วยสุกแล้ว แต่อัตราการหายใจของผลกล้วย อาจมีการเปลี่ยนแปลงไปได้ตามอุณหภูมิและสภาพแวดล้อมอื่นๆเช่น อุณหภูมิสูงจะทำให้อัตราการหายใจของผลสูงขึ้น เป็นผลให้ขบวนการสุกของผลเร็วขึ้นด้วย

**ปริมาณความชื้นในผล**

บริเวณผิวเปลือกของผลจะมีปากใบอยู่กระจัดกระจายไปทั่ว ดังนั้นขบวนการคายน้ำจึงเกิดขึ้นได้ แม้กล้วยจะถูกตัดออกจากต้นแล้วก็ตาม อัตราการคายน้ำลดลงเล็กน้อย ต่อจากนั้นจะค่อยๆเพิ่มสูงขึ้นและสูงที่สุดเมื่อผลกล้วยเริ่มสุก หลังจากนั้นอัตราการคายน้ำจะลดลงอีก หลังจากที่ผลสุกเต็มที่แล้ว ปริมาณความชื้นในผลจะเปลี่ยนแปลงเนื่องจากขบวนการหลายอย่างด้วยกัน เช่น การคายน้ำและหายใจของผล การดูดน้ำของแป้ง เป็นต้น

**คาร์โบไฮเดรต**

คาร์โบไฮเดรตของกล้วยในขณะที่ผลยังดิบประกอบไปด้วยแป้งเป็นส่วนใหญ่ สำหรับผลสุกอยู่ในรูปของน้ำตาล ซึ่งได้แก่ กลูโคสเป็นส่วนใหญ่ รองลงมาเป็นฟรุกโตส และซูโครสตามลำดับ น้ำตาลในผลดิบจะมีประมาณร้อยละ 1 - 2 แต่ในผลสุกจะมีถึงร้อยละ 15 - 20 ส่วนปริมาณแป้งในผลดิบมีประมาณร้อยละ 20 - 25 และในผลสุกที่รับประทานสดมีเพียงร้อยละ 1 - 2 และในผลสุกที่ใช้ปรุงอาหารมีประมาณร้อยละ 6

**สารประกอบเซลลูโลส**

ได้แก่ เฮมิเซลลูโลส เพคติน และเซลลูโลส เป็นสารที่ทำให้เนื้อของผลแห้ง การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารดังกล่าวจะเป็นแบบเดียวกันกับของแป้ง คือ เมื่อผลดิบจะมีประมาณร้อยละ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

7 - 8 เมื่อผลสุกจะมีเพียงร้อยละ 1 ส่วนเพคตินในเนื้อผลจะเพิ่มปริมาณขึ้นขณะที่ผลสุก แต่ปริมาณของเพคตินในทุกระยะการเปลี่ยนแปลงของผลมีไม่เกินร้อยละ 0.5

**ปริมาณกรด**

เนื้อผลจะมีปริมาณกรดสูงสุดเมื่อผลกำลังใกล้จะสุกหรือกำลังสุก ต่อมาจะลดปริมาณลง หลังจากที่ผลสุกเต็มที่ เนื้อผลดิบจะมีปริมาณกรดอยู่ระหว่างร้อยละ 0.50 - 0.58 ส่วนผลสุกมีปริมาณกรดร้อยละ 0.42 - 0.48 ในผลดิบจะมีกรดออกซาลิกมากที่สุด รองลงมาเป็นมาลิกและซิตริก เมื่อผลสุกกรดออกซาลิกจะลดลงทำให้ปริมาณกรดมาลิกสูงที่สุด

**แทนนิน**

ทำให้เกิดรสฝาดในผลดิบและเมื่อผลสุกปริมาณแทนนินจะลดลงถึง 5 เท่า และปริมาณแทนนินที่อยู่ในเปลือกจะมีมากกว่าในเนื้อประมาณ 3 – 5 เท่า

**ไนโตรเจน**

การเปลี่ยนแปลงของพวกไนโตรเจนมีไม่มากนักในระหว่างการสุก โปรตีนในกล้วยสุกมีประมาณร้อยละ 0.5 - 1.5 และยังมีผู้ค้นพบกรดอะมิโน 17 ชนิดในกล้วย และพบว่าฮิสทิดีนเป็นกรดอะมิโนที่มีเป็นจำนวนมาก

**ไขมัน**

กรดไขมันในกล้วยส่วนใหญ่จะเป็นพวกกรดพาลมิติค กรดโอเลอิค และกรดลิโนเลนิค เมื่อสกัดด้วยอีเธอร์พบว่ามีไขมันประมาณร้อยละ 0.2 - 0.5 ในเนื้อกล้วย

**สารให้สี**

ผิวเปลือกของผลดิบจะมีเม็ดสีของคลอโรฟิล แคโรทีน และแซนโทฟิล อยู่รวมกัน ขณะที่ผลกล้วยสุกส่วนเปลือกจะเปลี่ยนสีไป เนื่องจากคลอโรฟิลลดน้อยลง ทำให้ปริมาณแคโรทีนและแซนโทฟิลเด่นชัดขึ้น

**การผลิตก๊าซเอทธิลีน**

ขณะที่ผลกล้วยมีการเจริญเติบโตและแก่จะมีเอทธิลีนปล่อยออกมาค่อนข้างคงที่ประมาณ 0.2 ส่วนในล้านส่วน ระหว่างกล้วยสุกจะมีเอทธิลีนออกมามากคือ 0.5 ส่วนในล้านส่วน

**สารประกอบฟีนอลิค**

ในผลกล้วยสารประกอบฟีนอลิคส่วนใหญ่จะเป็นพวก ฟีนอลิคเอมีน ที่พบมากที่สุด คือ 3,4-dihydroxy phenylithylamine (DOPA mine) หรือ 3-hydroxytyramine

**วิตามิน**

กรดแอสคอร์บิคหรือวิตามินซีจะถูกทำลายอย่างรวดเร็วเมื่อให้เนื้อกล้วยสัมผัสกับอากาศ กรดแอสคอร์บิคจะเพิ่มขึ้นในเนื้อกล้วยในช่วงต้นของช่วง climacteric และจะลดลงเมื่อกล้วยสุกเต็มที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

CSIRO (1972) ได้แบ่งขั้นตอนในการสุกของกล้วยหลังจากตัดมาบ่มหรือ Peel Color Index (PCI) ดังนี้

ระยะที่ 1 เปลือกเขียว ผลแข็ง ไม่มีการสุก

ระยะที่ 2 เปลือกเริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวเป็นเขียวออกเหลือง

ระยะที่ 3 เปลือกเริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวเป็นเหลืองมากขึ้นแต่ยังมีสีเขียวมากกว่าเหลือง

ระยะที่ 4 เปลือกเปลี่ยนสีจนมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว

ระยะที่ 5 เปลือกเป็นสีเหลือง แต่ที่ปลายผลยังเป็นสีเขียว

ระยะที่ 6 ทั้งผลมีสีเหลือง (ผลสุก)

ระยะที่ 7 เปลือกสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาล (สุกเต็มที่และมีกลิ่นหอม)

ระยะที่ 8 เปลือกสีเหลืองและมีจุดสีน้ำตาลมากขึ้น (เนื้อเริ่มอ่อนตัวและมีกลิ่นแรง)

**คุณค่าทางอาหารของผลกล้วย**

ตาราง 2.1 องค์ประกอบทางเคมี แร่ธาตุ และปริมาณวิตามินของผลกล้วยพันธุ์ต่างๆเป็นกรัมต่อ 100 กรัม ของน้ำหนักสดผลสุก

| องค์ประกอบทางเคมี | กล้วยไข่ | กล้วยหอมทอง | กล้วยน้ำว้า |
|---|---|---|---|
| ความชื้น (g) | 70.66 | 77.19 | 69.02 |
| ไขมัน (g) | 0.84 | 0.73 | 0.76 |
| โปรตีน (Nx6.25) | 1.45 | 1.82 | 0.90 |
| คาร์โบไฮเดรต (g) | 18.41 | 18.42 | 22.21 |
| เถ้า (g) | 0.61 | 0.65 | 0.72 |
| เยื่อไย (g) | - | - | - |
| แคลเซียม (mg) | 13.54 | 14.27 | 19.99 |
| ฟอสฟอรัส (mg) | 24.71 | 21.09 | 25.10 |
| เหล็ก (mg) | 6.71 | 8.71 | 11.39 |
| โปแตสเซียม (mg) | - | - | 370.00 |
| แมกนีเซียม (mg) | - | - | 33.00 |
| ไทอามีน (mg) | - | - | 0.05 |
| ไรโบฟลาวิน (mg) | - | - | 0.06 |
| ไนอาซิน (mg) | - | - | 0.07 |
| วิตามินอี (IU) | - | - | - |
| เบตาแคโรทีน (Ug) | 589.40 | 197.20 | 118.40 |
| วิตามินเอ (IU) | - | - | 281.37 |
| กรดแอสคอร์บิก (mg) | 16.91 | 11.06 | 18.35 |

หมายเหตุ - คือ ยังไม่ได้วิเคราะห์, ที่มา : วิไลลักษณ์และคณะ, 2532

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**กล้วยตาก**

กล้วยตากเป็นกล้วยแปรรูปที่รู้จักกันดี และนิยมบริโภคกันมากในประเทศไทย (เบญจมาศ, 2538) นอกจากนั้นยังมีการผลิตส่งขายไปยังต่างประเทศด้วย เช่น สวิตเซอร์แลนด์ แคนาดา ฝรั่งเศส สหรัฐอเมริกาเป็นต้น (เกษร, 2540) เนื่องจากกล้วยเป็นผลไม้ที่มีการปลูกกันมาก และเน่าเสียได้ง่าย การแปรรูปให้เป็นกล้วยตากจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ช่วยลดปัญหาการเน่าเสีย ทำให้เก็บผลผลิตไว้ได้นานและช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้า

การผลิตกล้วยตากด้วยวิธีตากแดดนั้น ผู้ผลิตจะประสบปัญหาผลิตผลเปียกชื้นและไม่สามารถทำได้ทันเวลา ทำให้ผลิตภัณฑ์บ่นเปื้อนจากเชื้อราและจุลินทรีย์เกินมาตรฐาน (กุลยา, 2540) จึงได้มีการนำเครื่องอบแห้งมาประยุกต์ใช้ในการตากหรืออบกล้วยให้แห้ง ซึ่งจะทำให้ได้กล้วยตากที่สะอาดกว่าการตากแบบรับแสงอาทิตย์โดยตรงมากเพราะไม่มีแมลงวันตอมหรือฝุ่นละอองเจือปน (จรรยา และพิพัฒน์, 2523)

กล้วยตากจัดเป็นอาหารกึ่งแห้ง (Intermediate Moisture Food) เนื่องจากมีค่า $a_w$ อยู่ในช่วง 0.65 - 0.85 (ไพโรจน์, 2535) และมีความชื้นประมาณร้อยละ 15 –30 (Tibury, 1980)

**มาตรฐานกล้วยตาก**

มาตรฐานกล้วยตากที่ส่งออกขายในตลาดยุโรป

1. ควรมีสีเหลืองทองสม่ำเสมอ
2. ไม่มีสิ่งปนเปื้อน
3. มีเนื้อแน่น รสหวาน
4. ไม่มีเชื้อรา แบคทีเรีย และแมลงปะปน

กำหนดเกรดตามขนาด ดังนี้

เกรด 1 มีความยาวไม่ต่ำกว่า 4.5 นิ้ว

เกรด 2 มีความยาวไม่ต่ำกว่า 4.0-4.5 นิ้ว

เกรด 3 มีความยาวต่ำกว่า 4 นิ้ว (เบญจมาศ, 2538)

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผลไม้แห้ง พ.ศ.2532 ของกระทรวงอุตสาหกรรม กำหนดสุขลักษณะสำหรับผลไม้แห้งเลขที่ มอก. 62 ไว้ว่าผลิตภัณฑ์ผลไม้แห้งจะมีจุลินทรีย์ได้ไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดดังต่อไปนี้

1. Total Plate Count ต้องไม่เกิน $1x10^4$ โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม
2. E*scherichai coli* โดยวิธี Most Probable Nember (MPN) ต้องน้อยกว่า 3 ต่อตัวอย่าง 1 กรัม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. *Staphylococcus aureus* ต้องตรวจไม่พบในตัวอย่าง 0.1 กรัม

4. *Salmonella sp.* ต้องตรวจไม่พบในตัวอย่าง 25 กรัม

5. ราและยีสต์ ต้องไม่เกิน $1x10^2$ โคโลนี ต่อตัวอย่าง 1 กรัม

**การเสื่อมเสียของกล้วยตาก**

การเสื่อมเสียคุณภาพของกล้วยตากจะเกิดขึ้นทั้งในระหว่างกระบวนการผลิตและเก็บรักษา (อรุณี, 2545) โดยเฉพาะอย่างยิ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมี เช่น การสลายตัวของวิตามินเอ วิตามินบีสอง และวิตามินซี การเปลี่ยนแปลงสีเนื่องจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลทั้งที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์และไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรส และลักษณะภายนอกของผลิตภัณฑ์ (รัชนี, 2544) ทำให้กล้วยตากมีสีคล้ำไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และยังสูญเสียกรดอะมิโนไลซีนและคุณค่าทางโภชนาการของโปรตีน (Von และคณะ, 1996) นอกจากนี้ยังมีปัญหาเรื่องเชื้อราและจุลินทรีย์ ถึงแม้ว่ากล้วยตากจะเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณน้ำตาลสูงและค่า $a_w$ ต่ำ แต่มีรายงานว่าสาเหตุการเสียของอาหารที่มีปริมาณน้ำตาลสูงเกิดจากจุลินทรีย์บางประเภทที่ยังสามารถเจริญได้ คือ osmotolerant yeast (Jermini และคณะ, 1978) สำหรับเชื้อราที่พบในกล้วยตากมักเป็นพวก Alternaria, Cladosporium, Fusarium, Penicillium และ Rhizopus (รัศมี, 2519)

**ความชื้นในอาหาร**

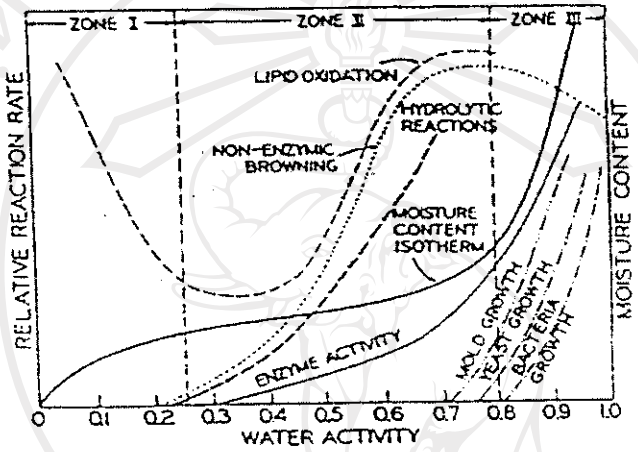
ความชื้นในอาหารประกอบด้วยความชื้นที่เกาะติดผิวของอาหาร (Unbound moisture) ซึ่งสามารถกำจัดความชื้นนี้ออกไปได้หมดโดยการให้ความร้อน ส่วนความชื้นที่เกาะอยู่ภายในผนังด้านในท่อเล็กๆ (Capillary) ที่อยู่ภายในเนื้ออาหาร (Bound moisture) จะไม่สามารถกำจัดให้หมดไปได้ (วิไล, 2543)

**ปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ (Water Activity)**

ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ (Water activity ; $a_w$) หมายถึง ปริมาณน้ำที่อยู่ในอาหารซึ่งเป็นน้ำที่ไม่ได้เป็นองค์ประกอบของโมเลกุลทางเคมีของอาหาร (Bound water) และยังเป็นอิสระ (Free water) อยู่ในอาหารถ้ามีมากจะทำให้เก็บไว้ได้ไม่นาน หรือเรียกว่าอายุการเก็บรักษา (Shelf-life) สั้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อาหารที่มีค่า $a_w$ ต่ำจะทำให้จุลินทรีย์เจริญได้ช้าลง ลดปฏิกิริยาของเอนไซม์ จึงลดการเกิดสีน้ำตาลและการเหม็นหืน ดังนั้นอาหารที่มีค่า $a_w$ ต่ำจึงมีอายุการเก็บรักษาได้นานกว่าอาหารที่มีค่า $a_w$ สูง อาหารที่สามารถเก็บรักษาได้นานที่สุด จะมีค่า $a_w$ อยู่ในช่วง 0.2 - 0.4 (Macrae และคณะ, 1993)




ภาพ 2.1 อิทธิพลของ $a_w$ ต่ออัตราการเสื่อมเสียคุณภาพของอาหาร

ที่มา : Fennema (1976)

อย่างไรก็ตามสามารถลดปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์เพื่อให้เก็บรักษาอาหารได้นานขึ้น โดยการเติมสารที่ดูดน้ำได้ดี (Humectants) ลงในอาหาร เช่น เกลือ กลีเซอรอล และแซคคาโรส ซึ่งเป็นสารที่มีแนวโน้มจะใช้เป็นสารดูดน้ำได้ แต่สารบางชนิดมีรสหวานหรือเค็ม เมื่อใช้สารเหล่านี้ในปริมาณสูงเพื่อดูดน้ำและควบคุมค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ อาจทำให้รสชาติของอาหารเปลี่ยนแปลงไป (Troller และคณะ, 1978)

**การทำแห้ง (Drying)**

การทำแห้ง คือ การลดความชื้นของอาหารลงจนถึงระดับที่สามารถลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ ส่งผลให้เก็บอาหารได้นานขึ้น ในการทำแห้งจะต้องมีการให้พลังงานแก่อาหารเพื่อทำให้น้ำในอาหารเปลี่ยนสถานะเป็นไอแล้วระเหยออกจากอาหาร ถ้าใช้พลังงานจากแสงแดดจะเรียกว่าการตากแห้ง ถ้าใช้พลังงานจากไฟฟ้า ก๊าซหรือไอน้ำ จะเรียกว่าการอบแห้ง เรียกทั้งสองวิธีว่าการทำแห้ง (สุคนธ์ชื่น, 2539) การตากแห้งมีข้อด้อย คือ พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ให้อุณหภูมิไม่สูงนักและกระแสลมธรรมชาติไม่แรงพอ ทำให้ต้องใช้เวลานาน ใช้พื้นที่มากและมักทำในที่เปิดโล่ง จึงมีโอกาสปนเปื้อน (Potter และHotchkiss, 1995) ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเครื่องอบแห้งขึ้นมาใช้ โดยอาศัยพลังงานจากไฟฟ้า ก๊าซหรือไอน้ำ อัตราการอบแห้งจะขึ้นอยู่กับปริมาตร อุณหภูมิ ความชื้นของอากาศที่ผ่านวัตถุดิบ โดยทั่วไปจะใช้อากาศร้อนที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำซึ่งทำให้เพิ่มความสามารถในการดูดน้ำ อากาศอุ่นจะผ่านเหนือวัตถุดิบและดูดเอาอากาศชื้นออกไป ข้อดีของการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง คือ สามารถควบคุมพลังงานความร้อนและกระแสลมได้ พร้อมทั้งมีอุปกรณ์ เช่น พัดลม ช่วยในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกจากผิวอาหาร ทำให้การถ่ายเทความร้อนและมวลสารเกิดขึ้นได้เร็วอาหารจึงแห้งเร็วขึ้น (สุคนธ์ชื่น, 2539) วัตถุประสงค์หลักของการออกแบบเครื่องอบแห้ง คือ การหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการอบแห้งผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดโดยมีการสูญเสียคุณภาพการบริโภคและคุณภาพทางโภชนาการของอาหารน้อยที่สุด ซึ่งในอาหารส่วนมากจะไม่สามารถทำให้แห้งจนมีค่าความชื้นเป็นศูนย์ได้ (วิไล, 2545)

การทำแห้งผลิตภัณฑ์มีหลายวิธี ขึ้นกับชนิดและรูปแบบผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ แต่หลักการคือการลดปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ให้ต่ำลง ทำให้ไม่เสี่ยงต่อการถูกทำลายจากจุลินทรีย์และปฏิกิริยาเคมีต่างๆ (สุคนธ์ชื่น, 2539)

**วิธีการทำแห้งอาหาร** (Mujumdar, 1995)

สามารถแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบ โดยใช้เกณฑ์การส่งผ่านความร้อน ดังนี้

1. การทำแห้งโดยใช้ความร้อน อาหารจะถูกวางไว้ให้สัมผัสกับลมร้อน ความร้อนจะส่งผ่านให้แก่ผลิตภัณฑ์โดยการพาความร้อน (Convection)
2. การทำแห้งโดยให้อาหารสัมผัสกับพื้นที่ผิวที่ร้อน อาหารจะถูกวางบนพื้นผิวที่นำความร้อน ความร้อนจะส่งผ่านให้แก่ผลิตภัณฑ์โดยการนำความร้อน (Conduction)
3. การทำแห้งโดยใช้พลังงานจากการแผ่รังสีไมโครเวฟ หรือ Dielectric Source

การอบแห้งเป็นกระบวนการระหว่างการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวล โดยทั่วไปแล้วอากาศจะเป็นตัวกลางที่ถ่ายเทความร้อนไปให้แก่อาหาร และพบว่าการถ่ายเทความร้อนที่สำคัญและมีอิทธิพลต่อกระบวนการอบแห้งจะเป็นแบบการพาความร้อน (Convection) ส่วนการถ่ายเทความร้อนแบบการนำและการแผ่รังสีจะมีบทบาทในการอบแห้งแบบสุญญากาศ และเมื่อความร้อนจากอากาศถ่ายเทไปที่ผิวของเนื้อเยื่อที่กำลังอบแห้ง ความร้อนจะเกิดการกระจายเข้าไปในเนื้อเยื่อแบบการนำความร้อน (Conduction)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

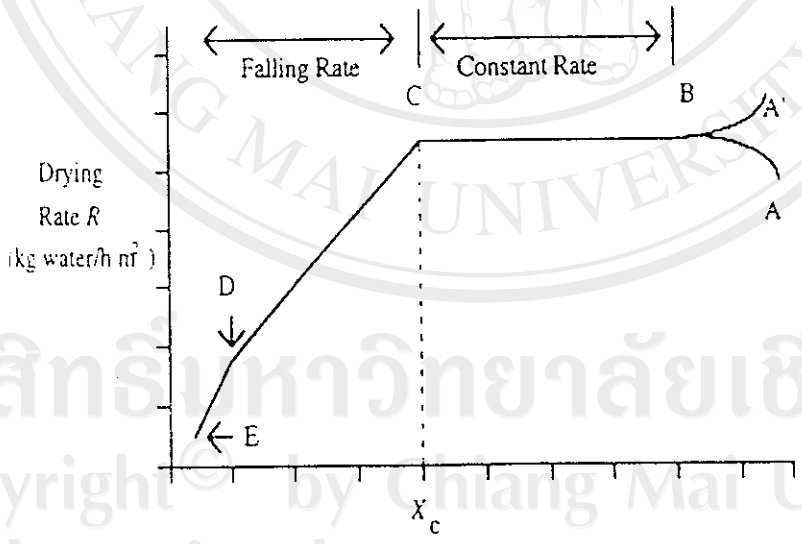
การถ่ายเทมวลในกระบวนการอบแห้งมีหลักเกณฑ์สำคัญอยู่ 2 ประการด้วยกัน คือ

1. การถ่ายเทน้ำไปยังผิวของเนื้อเยื่อ
2. การถ่ายเทน้ำออกไปจากผิวของเนื้อเยื่อ

การศึกษาอัตราการถ่ายเทมวลของกระบวนการทำแห้งทำได้โดยการศึกษากราฟอัตราการทำแห้ง

**กราฟอัตราการทำแห้ง (Drying Rate Curve)** (Fellow, 1990)

ลักษณะการทำแห้งอาหารทั่วไปมักใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการทำแห้ง ทำให้เกิดการถ่ายเทของความร้อนและมวลได้แก่ การถ่ายเทความร้อนของอากาศไปยังผิวของผลิตภัณฑ์ทำให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิสูงขึ้นและเกิดการระเหยของของเหลว (น้ำ) ที่ผิวและใต้ผิวของผลิตภัณฑ์ซึ่งปริมาณการถ่ายเทขึ้นอยู่กับความเข้มข้น/ปริมาณของสารว่ามากน้อยเพียงใด จากลักษณะดังกล่าวทำให้น้ำหนักของผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงไป ในระหว่างการทำแห้งที่อุณหภูมิความชื้นความเร็วและทิศทางการไหลของอากาศที่ผ่านผลิตภัณฑ์คงที่ จะเห็นได้ว่าในช่วงแรกของการทำแห้งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อเวลาผ่านไปการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักจะลดลงเพียงเล็กน้อย เมื่อเขียนกราฟระหว่างอัตราการทำแห้งกับปริมาณความชื้น/น้ำอิสระ(X) ได้กราฟดังแสดงในภาพ 2.2




ภาพ 2.2 กราฟอัตราการทำแห้ง (Drying Rate Curve)

ที่มา : Barbosa-Canovas, G.V. และ Vega-Mercado, H., 1996

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากภาพ 2.2 เห็นได้ว่าเส้นกราฟที่ได้แบ่งเป็น 4 ช่วงดังนี้

ช่วง A $\longrightarrow$ B เป็นช่วงของกราฟการ warm up ของอุณหภูมิในชิ้นผลิตภัณฑ์

ช่วง B $\longrightarrow$ C เรียกว่าช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ (constant rate period) มีลักษณะการถ่ายเทความร้อนและมวลระหว่างผลิตภัณฑ์และอากาศ เหมือนกับการถ่ายเทความร้อนและมวลที่เกิดขึ้นที่กระเปาะเปียกของเทอร์โมมิเตอร์ ซึ่งการเคลื่อนที่ของน้ำที่เกิดขึ้นเป็นน้ำพวก unbound water เป็นน้ำที่บริเวณผิวของผลิตภัณฑ์ ที่เกิดการระเหยกลายเป็นไอและเคลื่อนที่ไปกับอากาศร้อน การเคลื่อนที่ของน้ำในผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นเนื่องจาก hydration gradient และอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์น้อยกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ ซึ่งอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำที่ผิวจะเท่ากับอัตราการระเหยที่ผิวของผลิตภัณฑ์ และสามารถใช้เป็นค่าอัตราการทำแห้งได้ ปัจจัยที่เป็นตัวควบคุมการทำแห้งในช่วงนี้คือ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และอัตราเร็วของอากาศ

จุด C เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่า R ที่จุดนี้เรียกว่าความชื้นวิกฤต (critical moisture content) เกิดเนื่องจากในตอนแรกผลิตภัณฑ์มีความชื้นสูง เมื่อทำแห้งไปเรื่อยๆปริมาณความชื้นที่ผิวลดลงจนกระทั่งน้ำที่บริเวณผิวระเหยไปหมด และความชื้นในผลิตภัณฑ์ต่ำลงจนทำให้อัตราการทำแห้งเปลี่ยนไป ซึ่งสามารถพบการเปลี่ยนแปลงเช่นนี้ในการทำแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่มีโครงสร้างภายในเป็นรูพรุน

ช่วง C $\longrightarrow$ D และ D $\longrightarrow$ E เรียกว่าช่วงที่อัตราการอบแห้งลดลง (Falling rate period) การถ่ายเทความร้อนและมวลไม่ได้เกิดที่ผิวของผลิตภัณฑ์ แต่เกิดที่ภายในเนื้อของผลิตภัณฑ์ การเคลื่อนที่เป็นลักษณะของการแพร่ (diffusion) ของน้ำหรือไอน้ำที่อยู่ใน pore และ capillary ภายในเนื้อผลิตภัณฑ์ไปที่ผิวของผลิตภัณฑ์แล้วจึงเคลื่อนที่ไปกับอากาศร้อน ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ที่ช้ากว่าแบบการพา ทำให้อัตราการทำแห้งช่วงนี้ลดลง ปัจจัยที่ควบคุมการทำแห้งในช่วงนี้ คือ ความต้านทานการเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำในผลิตภัณฑ์ และในช่วงนี้อุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์จะสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของเทอร์โมมิเตอร์ จากกราฟเห็นว่ามีช่วงอัตราการทำแห้งลดลง 2 ช่วง เนื่องจากช่วง C $\longrightarrow$ D ยังคงมีความชื้นอยู่ที่ผิวหลงเหลืออยู่บ้างเล็กน้อย แต่ที่จุด D ความชื้นที่ผิวระเหยไปหมดทำให้ผิวแห้งสนิท อัตราการระเหยจึงช้าลงไปอีก

หรือช่วงการอบแห้งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ช่วง ตามอัตราการทำแห้งที่เกิดขึ้น ดังนี้

1. ช่วงการอบแห้งคงที่

ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ การถ่ายเทความร้อนและมวลของวัสดุและอากาศเหมือนกับการถ่ายเทความร้อนและมวลที่เกิดขึ้นที่กระเปาะเปียกของเทอร์โมมิเตอร์ คือ เกิดขึ้นเฉพาะรอบๆผิววัสดุเท่านั้น ตัวแปรที่สำคัญที่มีผลต่อการอบแห้งคือ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วลม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. ช่วงการอบแห้งลดลง

ในช่วงการอบแห้งลดลง ความชื้นของวัสดุมีค่าต่ำกว่าความชื้นวิกฤติ การถ่ายเทความร้อนและมวลมิได้เกิดขึ้นเฉพาะที่ผิวของวัสดุเท่านั้น แต่เกิดขึ้นภายในเนื้อของวัสดุด้วยการเคลื่อนที่ของน้ำภายในวัสดุมายังผิวช้ากว่าการพาความชื้นจากผิววัสดุไปยังอากาศ ทำให้อัตราการอบแห้งลดลง อัตราการระเหยน้ำจะถูกควบคุมโดยความต้านทานการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำในวัสดุ ในขณะที่อุณหภูมิของวัสดุมีค่าสูงขึ้นและสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก

การทดลองหาอัตราการทำแห้งของผลิตภัณฑ์ ทำโดยการนำผลิตภัณฑ์มาใส่ในตู้อบและให้อากาศร้อนไหลผ่านผลิตภัณฑ์ และชั่งน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปของผลิตภัณฑ์ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทำแห้ง ซึ่งกำหนดว่า

1. ขนาดของตัวอย่างที่ใช้ในการหาอัตราการทำแห้งต้องขนาดไม่เล็กเกินไป
2. ลักษณะการทำแห้งเหมือนกับการทำแห้งทั่วไป
3. อุณหภูมิ ความเร็วลมและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศคงที่

ทำให้การถ่ายเทความร้อนที่ผิวของผลิตภัณฑ์เป็นแบบการพา (convection) และการถ่ายเทมวลเกิดขึ้นที่ผิว (Mujumdar, 1995)

**ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง** (สุคนธ์ชื่น, 2539)

การทำแห้ง คือ การเคลื่อนย้ายน้ำออกจากอาหาร ดังนั้นปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายน้ำจึงมีผลต่ออัตราเร็วของการทำแห้ง ดังนี้

1. ธรรมชาติของอาหาร

อาหารที่มีลักษณะเนื้อที่โปร่งมีการเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารแบบผ่านช่องแคบเร็วกว่าการแพร่ในอาหารที่มีลักษณะเนื้อแน่น ดังนั้นอาหารกลุ่มแรกจึงแห้งเร็วกว่ากลุ่มหลัง อาหารที่มีน้ำตาลสูงจะเหนียวเหนอะหนะ ซึ่งเป็นปัจจัยที่กีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำทำให้การทำแห้งช้า อาหารที่มีการนวดคลึง ทำให้เซลล์แตกจะแห้งได้เร็วขึ้น

2. ขนาดและรูปร่าง

ขนาดและรูปร่างมีผลต่อพื้นที่ผิวต่อน้ำหนัก เช่น อาหารที่มีรูปร่างเหมือนกัน ถ้ามีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่จึงแห้งได้เร็ว ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศที่เกิดการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปได้ด้วย

3. ตำแหน่งของอาหารในเครื่องอบแห้ง

น้ำในอาหารที่สัมผัสกับลมร้อนได้ดีกว่า หรือสัมผัสกับลมร้อนที่มีความชื้นต่ำย่อมระเหยได้ดีกว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. ปริมาณอาหารต่อถาด

ถ้าปริมาณอาหารต่อถาดมากเกินไป อาหารส่วนล่างไม่ได้สัมผัสกับอากาศร้อนหรืออาจได้รับความร้อนจากถาดแต่ไอน้ำไม่สามารถแพร่กระจายผ่านชิ้นอาหารตอนบนออกมาได้จึงแห้งช้า

5. ความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศร้อน

อากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่มากแล้ว จะรับไอน้ำได้น้อยกว่าอากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่น้อย

6. อุณหภูมิของอากาศร้อน

ถ้าอากาศมีความชื้นคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิของอากาศร้อนเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำ และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การแพร่กระจายของน้ำในอาหารดีขึ้นด้วย

7. ความเร็วของอากาศร้อน

อากาศร้อนทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปได้ด้วย ดังนั้นเมื่อความเร็วอากาศร้อนเพิ่มขึ้นการเคลื่อนย้ายไอน้ำก็จะเกิดขึ้นได้ดี การเคลื่อนย้ายไอน้ำเกิดขึ้นเต็มที่ที่ความเร็วลม 244 เมตร/นาที นอกจากนั้นความเร็วของอากาศร้อนยังทำให้เกิดกระแสปั่นป่วนของอากาศในเครื่องอบแห้งอากาศจึงสัมผัสอาหารได้ดีขึ้น

**การเปลี่ยนแปลงของอาหารเนื่องจากการทำแห้ง** (ไพบูลย์, 2532)

อาหารที่ผ่านกระบวนการทำแห้งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ ดังนี้

1. การหดตัว

การเสียน้ำทำให้เซลล์อาหารหดตัวจากผิวนอก ส่วนที่แข็งจะคงสภาพได้ ส่วนที่อ่อนกว่าจะเว้าลงไป

2. การเปลี่ยนสี

อาหารที่ผ่านการทำแห้งมักมีสีเข้มขึ้นเนื่องจากความร้อนหรือปฏิกิริยาเคมี การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล อุณหภูมิสูงและช่วงความชื้นร้อยละ 10 – 20 มีผลต่อความเข้มสี จึงควรหลีกเลี่ยงอุณหภูมิสูงในช่วงความชื้นนี้ พวกผักผลไม้จะมีการตรึง (fix) สีก่อนอบแห้ง โดยการลวกน้ำร้อนหรือแช่สารเคมี เช่น สารละลายด่างอ่อน จะช่วยลดการเกิดสีซีดจางหรือสีน้ำตาล แต่อาหารจะแข็งกระด้างขึ้น

3. การเกิดเปลือกแข็ง

เป็นลักษณะที่ผิวอาหารแข็งเป็นเปลือกหุ้มส่วนในที่ยังไม่แห้งไว้ เกิดจากในช่วงแรกน้ำระเหยเร็วเกินไป น้ำจากด้านในเคลื่อนที่มาที่ผิวไม่ทัน หรือมีสารละลายของน้ำตาล โปรตีนเคลื่อนที่มาแข็งตัวที่ผิว สามารถหลีกเลี่ยงโดยไม่ใช้อุณหภูมิสูงและใช้อากาศที่มีความชื้นสูงเพื่อไม่ให้อาหารแห้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. การเสียความสามารถในการคืนสภาพ

อาหารแห้งบางชนิดต้องนำมาคืนสภาพ แต่การคืนสภาพโดยการเติมน้ำไม่ได้เหมือนเดิมเพราะเซลล์อาหารเสียความยืดหยุ่นของผนังเซลล์ สตาร์ช และโปรตีนเสียความสามารถในการดูดน้ำ อาหารที่แห้งด้วยการแช่เยือกแข็งจะมีความสามารถในการคืนสภาพดีที่สุด เพราะไม่ได้ใช้ความร้อนที่จะทำลายผนังเซลล์ หรือโครงสร้างของสตาร์ชและโปรตีน

5. การเสียคุณค่าทางอาหาร

การถนอมอาหารโดยวิธีทำแห้งนั้น มักจะเกิดการสูญเสียคุณค่าทางอาหาร โดยเฉพาะไวตามินที่ละลายในน้ำ ไวตามินดังกล่าวจะสูญเสียไปเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน และถ้าก่อนนำอาหารไปทำให้แห้งมีการเตรียมอาหารก่อน เช่น ลวกน้ำร้อน หรือแช่ในสารเคมีบางอย่าง หรือหยุดปฏิกิริยาเอนไซม์ในอาหาร ไวตามินดังกล่าวจะลดลงอีกเช่นกัน ดังนั้นจากสาเหตุดังกล่าว ถ้าหากมีการระมัดระวังในขั้นเตรียมการก่อนนำอาหารไปทำแห้ง การสูญเสียไวตามินก็จะลดลง การทำให้แห้งแบบใช้แสงแดด จะทำให้สูญเสียไวตามินมากกว่าการอบด้วยเครื่องมือ

ลักษณะทางกายภาพของโปรตีนและไขมัน จะเปลี่ยนไปในระหว่างการอบแห้ง คาร์โบไฮเดรตกลายเป็นเจลและถูกย่อยเป็นเด็กซตรินและน้ำตาลรีดิวซ์ การสูญเสียกรดอะมิโนและน้ำตาลรีดิวซ์ในปฏิกิริยาเมลลาร์ด ทำให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการและทำให้คุณภาพของโปรตีนลดลงเพียงเล็กน้อย (Deman, 1990)

**การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์**

การตากแห้งด้วยแสงแดดเป็นการถนอมอาหารเก่าแก่วิธีหนึ่ง มีต้นทุนต่ำ ใช้พลังงานน้อย และเป็นวิธีที่ใช้อยู่จนทุกวันนี้ ผลผลิตทางการเกษตรโดยเฉพาะธัญพืช ผักและผลไม้ สัตว์น้ำชนิดต่างๆจะทำแห้งโดยการตากแดด ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้นอกจากการบริโภคภายในประเทศแล้ว ยังสามารถส่งไปจำหน่ายต่างประเทศได้ (Yaciuk, 1981)

แม้ว่าการตากแห้งด้วยแสงแดดจะเป็นวิธีที่เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะไม่ถูกสุขลักษณะนักเพราะมีการปนเปื้อนจากแมลง ฝุ่นและจุลินทรีย์ และคุณค่าทางอาหารบางอย่าง เช่น สี กลิ่น รส อาจสูญเสียไป (จรรยาและพิพัฒน์, 2523) รวมทั้งไม่สามารถควบคุมกระบวนการผลิตได้ซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำ ไม่ได้มาตรฐานตามที่ตลาดต้องการ นอกจากนี้ปัญหาในการตากยังขึ้นอยู่กับฤดูกาล จากปัญหาเหล่านี้จึงต้องใช้เครื่องมือตากแห้งที่มีประสิทธิภาพมาทดแทนวิธีการตากแบบพื้นบ้าน (Shirmer และคณะ, 1995) มีการปรับปรุงวิธีการตากแห้งโดยใช้แสงแดดโดยอาศัยหลักการเกี่ยวกับวัตถุที่มีสี ซึ่งสามารถสะสมความร้อนโดยเฉพาะอย่างยิ่งวัตถุที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มีสีดำสามารถดูดและและเก็บความร้อนได้ดีมาก ส่วนการตากแห้งในตู้อบแสงอาทิตย์จะใช้เวลาน้อยเพราะอุณหภูมิภายในตู้อบสูงเป็นการป้องกันการเจริญเติบโตของพวก จุลินทรีย์ได้ดี คือไม่เกิดการเน่าเสียในระหว่างการตาก ไม่มีการปนเปื้อนจากฝุ่น แมลง นก แม้ว่าจะมีไข่แมลงหรือแมลงเล็ดรอดเข้าไปก็ไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ จึงสะอาดและสะดวกกว่าโดยไม่จำเป็นต้องเก็บเมื่อฝนตกจึงเป็นการประหยัดแรงงาน และยังเป็นการประหยัดเชื้อเพลิงหรือไฟฟ้าด้วย (จรรยา และพิพัฒน์, 2523)

การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นกระบวนการที่อาศัยหลักการของปรากฏการณ์เรือนกระจก ซึ่งเป็นรูปแบบการกักเก็บความร้อนแบบหนึ่ง โดยมีการจัดการให้ความร้อนจากดวงอาทิตย์ผ่านชั้นบรรยากาศมาให้ความอบอุ่นยังพื้นโลก แต่จะไม่ให้ความร้อนสะท้อนจากพื้นผิวโลกกลับไปยังชั้นบรรยากาศได้ เนื่องจากความร้อนที่ผ่านมายังพื้นผิวโลกจะแตกต่างกับความร้อนที่กลับออกไปจากพื้นผิวโลก เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ก็จะนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในการอบแห้งในลักษณะดังกล่าว (วิจิตร, 2524)

**การแผ่รังสีแสงอาทิตย์** (วิจิตร, 2524)

พลังงานจากดวงอาทิตย์มีหลายรูปแบบแต่ที่เป็นที่รู้จักคุ้นเคยกันมาก ได้แก่ แสงและความร้อน รังสีแสงอาทิตย์มีค่าคงที่ตลอดปีเป็นค่าความเข้มในรูปของพลังงานต่อพื้นที่ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร รังสีแสงอาทิตย์มีค่า 380 ล้านเมกะวัตต์ เมื่อผ่านชั้นบรรยากาศมาถึงโลกจะเหลืออยู่เพียง 170 ล้านเมกะวัตต์ (วิจิตร, 2524)

บรรยากาศของโลกประกอบด้วยก๊าซหลายชนิด หยดน้ำ และอนุภาคของแข็ง ซึ่งกั้นแสงแดดที่แผ่เข้ามายังพื้นผิวโลก ส่วนหนึ่งของแสงแดดประมาณร้อยละ 30 จะถูกสะท้อนกลับสู่อวกาศนอกโลกในทันที ขณะที่ส่วนที่สามารถผ่านชั้นบรรยากาศเข้ามาในโลกได้ประมาณร้อยละ 70 ก็จะถูกดูดซับ แพร่ หรือสะท้อนกลับโดยชิ้นวัตถุ

**ปัจจัยที่มีผลต่อการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์บนพื้นโลก** (วิจิตร, 2524)

1. ความโปร่งใสของบรรยากาศเพราะว่าบรรยากาศประกอบด้วย ฝุ่น เมฆ ไอน้ำ แก๊ส ซึ่งมีส่วนในการกระจาย การสะท้อนและการดูดซับรังสีแสงอาทิตย์

2. ความยาวนานของเวลากลางวัน มีค่าแตกต่างตามฤดูกาล ถ้าเป็นช่วงที่มีระยะเวลากลางวันยาวนานจะได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์มาก

3. มุมของแสงอาทิตย์ที่ส่องกระทบบนพื้นโลกในตอนเที่ยงวัน ความเข้มของแสงอาทิตย์จะมีมากสุดเพราะส่องกระทบเป็นมุมฉาก ในตอนเช้าและเย็นแสงอาทิตย์จะส่องเป็นมุมเอียงดังนั้นความเข้มของอาทิตย์จะมีน้อย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar dryer)**

เป็นเครื่องอบแห้งที่มีการพัฒนาโดยอาศัยหลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบตู้ โดยการใช้แสงแดดเป็นพลังงานความร้อนให้กับตู้อบ ซึ่งมีความเหมาะสมกับประเทศไทย ทำให้ไม่ต้องเสียต้นทุนพลังงาน ปัจจุบันได้มีการพัฒนาการใช้แผงพลังงานแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้กับตู้อบแสงอาทิตย์ สามารถอบแห้งผลิตภัณฑ์ได้มากและรวดเร็วขึ้น เช่น เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ (Solar tunnel dryer) (สมบัติ, 2544)

**หลักการ**

พลังงานที่ต้องการสำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ต่างๆสามารถตรวจสอบได้จากปริมาณความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด อัตราการอบแห้งและการใช้อุณหภูมิแตกต่างกันในแต่ละผลิตภัณฑ์ พลังงานที่เหมาะสมต่อการอบแห้งเพื่อง่ายต่อการคำนวณพื้นที่ของ Solar panel ที่ต้องการเพื่อผลิตความร้อนอย่างพอเพียง เพื่อทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบ่งได้ 2 ส่วน คือ ส่วนที่ใช้อบแห้งซึ่งใส่ตัวอย่างที่ต้องการอบแห้งและส่วนที่เป็นตัวรับรังสีดวงอาทิตย์เพื่อทำให้อากาศร้อน นอกจากนี้อาจมีส่วนประกอบอื่นๆ เช่น พัดลม

แผงรับแสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์รับความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยดูดพลังงานแสงอาทิตย์และแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน และแผงรับแสงอาทิตย์เป็นแผ่นแบนราบ (Flat plate collector) ทำหน้าที่เป็นตัวดูดพลังงาน (Absorber plate) โดยรับพลังงานจากแสงอาทิตย์และแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานความร้อนให้กับอากาศและเพื่อประสิทธิภาพในการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์จึงทาแผ่นดูดพลังงานด้วยสีดำด้าน ซึ่งทำให้มีค่าการดูดรังสีสูงที่ความยาวคลื่นของรังสีต่ำ แต่ให้การส่งออก (Emissivety) ต่ำที่ความยาวคลื่นของรังสีสูง และเพื่อเป็นการป้องกันการสูญเสียพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ เพื่อให้ความร้อนกระจายภายในจึงต้องมีแผ่นปิดกั้นด้านบน (Top cover) (ธีรชัย และคณะ, 2532)

การอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์สามารถแบ่งได้ 2 แบบคือแบบการไหลของอากาศเป็นแบบธรรมชาติ ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของระดับที่จุดเข้าและจุดออกของเครื่องอบแห้งและความแตกต่างของความหนาแน่นของอากาศภายนอกและภายในเครื่องอบแห้ง การอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์แบบที่ 2 คือ แบบการไหลของอากาศเป็นแบบบังคับ ซึ่งโดยทั่วไปใช้พัดลมเป็นตัวสร้างความแตกต่างของความดันระหว่างที่ทางเข้าและที่ทางออกของเครื่องอบแห้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การอบแห้งแบบการไหลของอากาศเป็นแบบธรรมชาติ เหมาะกับงานขนาดเล็กในไร่นา หรืออุตสาหกรรมขนาดเล็กทั้งนี้เพราะเครื่องอบแห้งแบบนี้มีราคาถูก สร้างได้ง่าย ส่วนการอบแห้งแบบการไหลของอากาศเป็นแบบบังคับเหมาะสมกับงานทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ต้องลงทุนมากขึ้น (วีนัส, 2542)

**ประเภทของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์** (Pablo, 1978)

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ แบ่งตามการไหลของกระแสอากาศภายในเครื่องอบแห้งได้ 2 แบบ คือ

**1. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบบังคับ** (Force convection solar dryer)

เครื่องอบแห้งแบบนี้จะใช้พัดลมเป็นตัวขับอากาศให้ไหลภายในเครื่องอบแห้ง เนื่องจากเป็นการสร้างความดันให้เท่ากับความแตกต่างของความดันรวมระหว่างที่ทางเข้าและทางออก เหมาะกับการอบแห้งขนาดเล็กและใหญ่ ลงทุนมากและสร้างยากกว่า แต่สามารถออกแบบให้การทำงานมีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือค่อนข้างมาก ถ้าต้องการอบแห้งจำนวนมากๆควรมีพัดลมช่วยในการขับอากาศทำให้อากาศหมุนเวียนได้ดี ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวรับรังสีสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแบบที่ไม่ใช้พัดลม หรือ Free convection dryer วิธีนี้เหมาะกับการอบแห้งขนาดเล็กที่ต้องการการลงทุนต่ำ เพราะมีราคาถูก สร้างได้ง่าย

**2. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบธรรมชาติ** (Free convection solar dryer)

เครื่องอบแห้งชนิดนี้อาศัยหลักการขยายตัวของอากาศร้อนภายในเครื่องอบแห้งและอากาศภายนอกซึ่งมีความหนาแน่นต่างกัน ทำให้เกิดการหมุนเวียนเพื่อช่วยถ่ายเทอากาศชื้น ซึ่งเหมาะกับการอบแห้งขนาดเล็กที่ต้องการการลงทุนต่ำ สร้างง่าย ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวรับรังสีมีค่าต่ำ เนื่องจากอัตราการไหลของอากาศขึ้นกับปริมาณรังสีแสงอาทิตย์

เมื่อมองตามลักษณะการรับพลังงานความร้อนภายในเครื่องอบแห้ง ประกอบกับลักษณะการออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถแบ่งประเภทได้ดังนี้

**1. แบบรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง** (Direct mode solar dryer) เครื่องอบแห้งประเภทนี้จะใช้วัสดุใสทำเป็นหลังคา รังสีดวงอาทิตย์จะทะลุผ่านไปยังวัสดุโดยตรง การระเหยน้ำออกจากตัววัสดุเกิดขึ้นเพราะความร้อน เช่น เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบกล่อง

**2. แบบรับพลังงานแสงอาทิตย์ทางอ้อม** (Indirect mode solar dryer) เครื่องอบแห้งประเภทนี้ประกอบด้วย ตัวทำความร้อนด้วยรังสีดวงอาทิตย์ (Solar air heater) พัดลม (Fan) หรือ โบลว์เวอร์ (Blower) และห้องอบแห้ง (Drying chamber) รังสีดวงอาทิตย์จะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยตัวทำอากาศร้อนก่อนแล้วจึงส่งไปยังวัสดุโดยมีอากาศเป็นตัวกลาง เช่น เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบถังเก็บ

**3. แบบรังพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสม** (Mixed mode solar dryer) เครื่องอบแห้งประเภทนี้เกิดจากการพัฒนาเอาสองแบบแรกมารวมกัน วัสดุจะได้รับความร้อนสองส่วน คือ

- ได้ความร้อนจากการถูกแสงโดยตรง
- ได้จากอากาศร้อนที่มาจากตัวทำอากาศร้อน

การถ่ายเทความร้อนเกิดตรงจุดที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิ ระหว่างอุณหภูมิของเครื่องมือที่ใช้ในการอบและวัสดุที่ต้องการทำให้แห้ง

**ตัวรับรังสีทำอากาศร้อน** (วัฒนพงษ์ และสังวาลย์, 2535)

ตัวรับรังสีที่ต้องการผลิตอากาศร้อนสามารถแบ่งได้หลายประเภท คือ

1. แบบอัดลม ตัวรับรังสีแบนนี้มักทำด้วยพลาสติกอาจมีเพียงชั้นเดียวหรือหลายชั้นก็ได้ ชั้นนอกทำด้วยพลาสติกใสซึ่งยอมให้รังสีดวงอาทิตย์ผ่านได้ แต่ยอมให้ความร้อนผ่านเป็นบางส่วน ขึ้นอยู่กับชนิดพลาสติกจึงทำให้การสูญเสียความร้อนลดลง ชั้นในทำด้วยพลาสติกสีดำซึ่งทำหน้าที่ดูดแสงและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนนำมาม้วนเป็นท่อ เมื่อเป่าลมเข้าไปจะทำให้ท่อพองตัวขึ้น ทำหน้าที่เป็นตัวรับรังสีและจะแฟบเมื่อไม่มีอากาศไหล เป็นตัวรับรังสีที่มีความยุ่งยากน้อย ราคาถูก และม้วนเก็บได้เมื่อไม่ต้องการใช้ ข้อเสียคือ อายุการใช้งานสั้น

2. แบบรูปทรงสามเหลี่ยม ตัวรับรังสีแบบนี้ทำด้วยฟิล์มพลาสติกใสยึดบนโครงเหล็กที่มีหน้าตัดเป็นรูปสามเหลี่ยม ภายในทำด้วยพลาสติกสีดำซึ่งทำหน้าที่ดูดแสงและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน

3. ตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบ นิยมใช้มากกว่าแบบอื่นๆ ใช้ในการรับรังสีแสงอาทิตย์เพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน แล้วถ่ายเทให้กับของไหลซึ่งของไหลได้แก่ น้ำหรืออากาศ ตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบนิยมใช้อย่างแพร่หลาย มีความเหมาะสมกับงานที่ไม่ต้องการอุณหภูมิสูง คือ 50 – 60 องศาเซลเซียส หรืออาจทำให้สูงถึง 80 - 90 องศาเซลเซียส ถ้าเป็นตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบที่มีแผ่นใสปิดด้านบน (cover plate) ของตัวรับรังสีมากกว่าหนึ่งชั้น

ตัวรับรังสีแบบนี้ประกอบด้วย

1. แผ่นดูดรังสี (absorber) ซึ่งทำหน้าที่ดูดกลืนแสงอาทิตย์ที่ตกลงมากระทบและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน แล้วถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศที่ไหลผ่านไปยังส่วนเครื่องอบแห้ง

2. แผ่นใสปิดด้านบน (cover plate) ซึ่งอยู่ที่ชั้นบนสุด ทำหน้าที่ในการลดการสูญเสียความร้อน และป้องกันการสูญเสียความร้อน แต่มีข้อจำกัดคือไม่เหมาะสมในการใช้งานที่อุณหภูมิสูง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้อดี คือ สามารถรับได้ทั้งรังสีตรงและรังสีกระจาย ไม่ต้องมีกลไกในการบังคับให้ตัวรับรังสีหันเข้าหาดวงอาทิตย์ ค่าบำรุงรักษาน้อย คุ้มค่าในการลงทุน

3. ฉนวนความร้อนอยู่ด้านล่างสุดของตัวรับรังสี ทำหน้าที่ในการลดการสูญเสียความร้อนทางด้านล่าง

**เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ (Solar tunnel dryer)**

พัฒนาโดย Institute for Agricultural Engineering in the Tropics and Subtropics มหาวิทยาลัย Hohenheim

เป็นเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสม คือสามารถรับพลังงานแสงอาทิตย์ ทั้งแบบทางตรงและทางอ้อม ผลิตเพื่อใช้ในครัวเรือน พลังงานที่ใช้เป็นการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พัดลมขนาด 70 วัตต์ ความเร็วรอบสูงสุดเท่ากับ 1,400 รอบต่อนาที อัตราการไหลโดยมวลของอากาศอยู่ในช่วง 0 - 1,360 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ความยาวของเครื่องเท่ากับ 18 เมตร และมีความกว้าง 2 เมตร เหมาะกับพื้นที่เขตร้อนและร้อนชื้นที่ห่างไกลไฟฟ้า และพลังงานรูปแบบอื่นไฟฟ้าที่ต้องการเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนพัดลมเท่านั้น เมื่อเปรียบเทียบกับการตากแดดจะลดเวลาการอบแห้งได้ถึงร้อยละ 50 และผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคุณภาพที่ดีกว่าทั้งทางด้านสี รสชาติ เนื้อสัมผัส และอายุการเก็บรักษานานกว่า (Schirmer และคณะ, 1995)

เครื่องอบแห้งจะมีลักษณะเป็นหลังคาพลาสติกคลุม ส่วนตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แผ่นเรียบและส่วนอุโมงค์อบแห้ง อากาศเย็นจะถูกดูดเข้าเครื่องโดยพัดลมผ่าน heating area จากนั้นส่งไปยัง drying area การไหลของอากาศร้อนจะผ่านชิ้นตัวอย่างอาหารทั้งด้านบนและด้านล่าง จากนั้นอากาศชื้นจะออกทางด้านปลายเครื่อง จะวางอาหารที่จะอบแห้งให้เต็มตาข่ายในอุโมงค์ เพื่อให้ได้รับพลังงานทั้งจากอากาศร้อนจากตัวรับรังสีและจากการตกกระทบของรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวสีดำของแผ่นดูดในส่วนของ collector แล้วทำให้อากาศผ่านส่วนสีดำร้อนขึ้น

Heating area ส่วนพื้นที่ที่ทาสีดำ คลุมด้วยพลาสติกชนิดโพลีเอทธีลีน ความหนา 0.2 มิลลิเมตร มีพื้นที่ทั้งหมด 14 ตารางเมตร

Drying area ปูด้วยตาข่ายเพื่อให้อากาศไหลผ่านด้านล่างของตัวอย่าง คลุมด้วยพลาสติกชนิดโพลีเอทธีลีนความหนา 0.2 มิลลิเมตร มีพื้นที่ทั้งหมด 20 ตารางเมตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์** (Schirmer และคณะ, 1995)

Fan คือ พัดลมดูดอากาศเข้าสู่เครื่องอบแห้งมี 3 ตัว

Air inlet คือ ช่องที่อากาศถูกดูดเข้าสู่เครื่องโดยพัดลมดูดอากาศ

Solar generator คือ แผง Solar cell ที่ให้พลังงานขับเคลื่อนแก่พัดลม

Metal frame คือ โครงโลหะ

Gas burner คือ ส่วนของพลังงานเสริมจากก๊าซกรณีที่พลังงานแสงอาทิตย์ไม่เพียงพอ

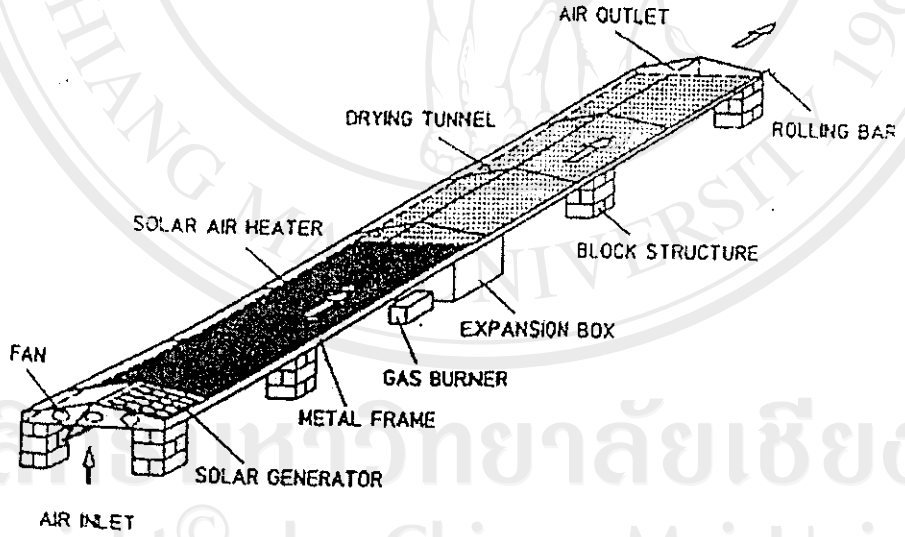
Solar air heater คือ ส่วนที่ทาสีดำใช้เก็บพลังงานแสงอาทิตย์และให้ความร้อนแก่อากาศที่ผ่านไปยังอุโมงค์อบแห้ง

Drying tunnel หรือ Drying area คือ ส่วนอุโมงค์อบแห้ง ใช้วางอาหารที่ต้องการอบแห้ง

Air outlet คือ ทางออกของอากาศชื้น

Rolling bar คือ ไม้หมุนโลหะ ใช้เปิดปิดส่วนอุโมงค์อบแห้งโดยการหมุนแผ่นพลาสติกที่คลุมเครื่องขึ้นลง

Block structure คือ ส่วนฐานที่ก่อด้วยอิฐใช้วางเครื่องเหนือพื้นดินป้องกันการนำความร้อนจากเครื่องไปสู่พื้น




ภาพ 2.3 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

ที่มา : Schirmer และคณะ, 1995

การสร้างเครื่องอบแห้งอย่างง่าย และลดต้นทุนทำได้โดยเชื่อมแผ่นรวมแสงโดยตรงกับอุโมงค์อบแห้ง โดยไม่ให้อากาศเข้าพื้นผิวชั้นบนของแผ่นรวมแสงทาสีดำ และแผ่นพลาสติกนี้จะยึดกับเฟรมเพื่อทำให้พลาสติกที่หนีบแข็งแรง ตัวอุโมงค์อบแห้งประกอบด้วยลวดที่เป็นตะแกรงจะนำอาหารที่ต้องการอบแห้งมาวางบนนี้ เพื่อให้อากาศไหลผ่านพื้นที่ผิวด้านล่างของวัตถุได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อุโมงค์อบแห้งทำด้วยหลังคาที่เป็นพลาสติก เพื่อให้รังสีผ่านอย่างสม่ำเสมอ พลาสติกด้านหนึ่งยึดกับโครงของอุโมงค์ และอีกด้านหนึ่งยึดกับท่อโลหะเพื่อใช้ม้วนแผ่นพลาสติกขึ้นลงได้ เพื่อที่จะบรรจุอาหารเข้าและนำอาหารออกได้

การขึงพลาสติกที่ใช้ยึดแผ่นพลาสติกกับท่อ และการยึดพลาสติกกับโครงของอุโมงค์ วิธีการยึดติดแบบนี้ได้ถูกออกแบบมาเพื่อที่จะทำให้การเปลี่ยนแผ่นพลาสติกทำได้โดยสะดวก โดยทั่วไปแผ่นพลาสติกมีอายุการใช้งาน 1 - 2 ปี พัดลมแสงอาทิตย์ถูกติดไว้ด้านหลังของแผ่นรวมรังสีเพื่อดูดอากาศรอบๆให้เข้ามาในแผ่นรวมแสง

อุโมงค์ตั้งอยู่บนบล็อกคอนกรีต พื้นที่ของการดูดซับพลังงานแสงอาทิตย์จะมีขนาดที่เท่ากับพื้นที่ในการตากแห้งภายในอุโมงค์ (วัฒนพงษ์ และสังวาลย์, 2535)

**เครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray dryer)**

เป็นเครื่องอบแห้งแบบชั้นมีลักษณะเป็นตู้สูง ทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ภายในอาจวางถาดได้ตั้งแต่ 5 - 8 ชั้น มีส่วนประกอบดังนี้

1. ตู้เหล็กฉนวนทรงสูงรูปร่างสี่เหลี่ยม ภายในวางถาดอาหารที่จะอบแห้งได้ 5 - 8 ชั้น (ในอุตสาหกรรมอาจใช้ตู้ใหญ่มีจำนวนชั้นเป็นสิบๆชั้น)
2. ถาดที่ใช้วางอาหารควรทำด้วยเหล็กปลอดสนิม
3. มอเตอร์ (เพื่อทำหน้าที่หมุนเวียนลมร้อน)
4. ขดลวดร้อนที่ให้ความร้อนสูงเกิน 100 องศาเซลเซียส (อาจใช้ไอน้ำหรือแก๊สเป็นแหล่งความร้อน)
5. เครื่องควบคุมอุณหภูมิภายในตู้ (โดยทั่วไปควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 50 - 70 องศาเซลเซียส) หากอุณหภูมิสูงเกิน 70 องศาเซลเซียส อาหารจะแห้งเร็วเกินไป โปรตีนตกตะกอนและอาหารจะมีสีคล้ำ (ภูธร, 2541)

**ระบบการทำงาน**

เป็นเครื่องมือทำแห้งลมร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งทำงานที่ความดันบรรยากาศ ลักษณะของเครื่องมือจะเป็นตู้บุฉนวน มีถาดสำหรับใส่อาหารเรียงเป็นชั้นอยู่ภายใน ลมร้อนจะถูกบังคับให้หมุนเวียนโดยพัดลม การหมุนเวียนของอากาศจะเป็นในแนวนอนขนานกับถาดใส่อาหารหรือในแนวดิ่งผ่านทะลุใส่อาหาร ความเร็วของลมร้อนที่นิยมใช้สำหรับการเคลื่อนที่ในแนวนอน คือ 2 - 5 เมตร/วินาที ส่วนการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งนิยมใช้ปริมาณอากาศร้อน 0.5 - 1.25 ลูกบาศก์เมตร/วินาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ต่อตารางเมตรของพื้นที่หน้าตัดของถาด แหล่งความร้อนที่ใช้อาจเป็นการเผาไหม้ของแก๊ส ไอน้ำ หรือจากขดลวดให้ความร้อน (ภูธร, 2541)

เนื่องจากการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบถาดเป็นการอบที่ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิของลมร้อนที่ใช้สำหรับพาความชื้นออกจากวัตถุดิบค่อนข้างสูง ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่จะอบ ดังนั้นวัตถุดิบจึงควรเป็นประเภทที่ไม่ไวต่อความร้อนและเป็นวัตถุดิบที่หาง่าย ราคาไม่แพง เพื่อการเพิ่มมูลค่าการตลาด เช่น กล้วย สับปะรด มะเขือเทศ เป็นต้น

อุณหภูมิและระยะเวลาในการอบเป็นปัจจัยควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ ความไม่สม่ำเสมอของปริมาณความชื้น การเปลี่ยนแปลงสี การหดตัวของอาหารและการเกิด case hardening อาจเป็นปัญหาสำคัญ หากการควบคุมอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบไม่เหมาะสม แต่ในการปฏิบัติขั้นต้นสามารถช่วยควบคุมคุณภาพได้เช่นกัน การแช่ในสารเคมีเพื่อให้สีคงเดิมมากที่สุด และการทำออสโมติกดีไฮเดรชันเพื่อลดปริมาณน้ำให้ต่ำลงก่อนการอบแห้ง ทำให้การอบแห้งใช้เวลาสั้นลง ส่วนการหดและการเกิดเปลือกแข็งเป็นสิ่งที่ควบคุมได้ไม่ง่ายนัก การหดตัวของอาหารจะทำให้พื้นที่สำหรับการระเหยน้ำออกจากอาหารน้อยลง ทำให้อาหารแห้งช้า การแข็งของเปลือกนอกเกิดจากการแพร่ของสารถูกละลายมายังผิวของอาหารแต่ไม่สามารถระเหยออกไปได้ ทำให้ถูกกักไว้ที่ผิวด้านในของชิ้นอาหาร ทำให้อัตราการระเหยของน้ำลดลง และผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่เป็นที่ยอมรับ (สมบัติ, 2544)

**ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning Reaction)**

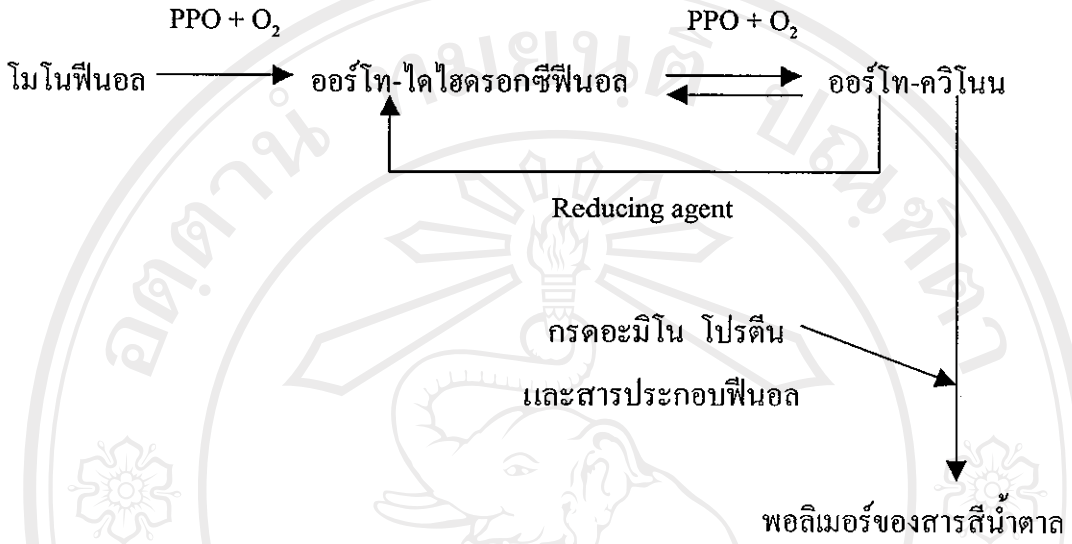
การเกิดสีน้ำตาลในอาหารมักจะพบในผักผลไม้ที่มีรอยช้ำหรือเน่า ตลอดจนในอาหารที่สูญเสียความชื้นไปมาก ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในอาหารสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ดังนี้

**1. ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง (Enzymatic Browning Reaction)**

เป็นปฏิกิริยาของสารประกอบโมโนฟีนอลที่อยู่ในพืชและอาหารทะเล เมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศและมีเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส จะเกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชั่นได้เป็นออร์โท-ไดฟีนอล (o-diphenol) สารนี้จะถูกออกซิไดซ์ต่อให้เป็นออร์โท-ควิโนน สารนี้จะรวมตัวกันและเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดกับสารประกอบฟีนอลอื่นๆหรือกับกรดอะมิโนได้เป็นสารประกอบสีน้ำตาล ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์เป็นปัญหาสำคัญในการแปรรูปผักและผลไม้ เช่น แอปเปิ้ล ท้อ สาลี่ องุ่น มันฝรั่ง เห็ด รวมทั้งอาหารทะเลบางชนิด เช่น กุ้ง ปู และปฏิกิริยานี้ยังอาจเกิดปัญหากับผักผลไม้ที่ผ่านกระบวนการอบแห้งและแช่เยือกแข็งอีกด้วย ข้อดีของปฏิกิริยานี้คือ ทำให้ผลิตภัณฑ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บางชนิดมีสี กลิ่นและรสชาติดีขึ้น เช่น การอบแห้งลูกเกด ลูกพรุน การคั่วเมล็ดกาแฟและการหมักใบชา ซึ่งต้องการให้เกิดสีน้ำตาล ช่วยให้กลิ่น รสชาติดี (Von และคณะ, 1996)




ภาพ 2.4 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง (ที่มา : Sapers, 1993)

**การควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง** (Von และคณะ, 1996)

1. การใช้ความร้อนทำลายเอนไซม์ PPO หรือฟีนอเลส เช่น การลวกหรือนึ่งด้วยไอน้ำ

2. การใช้อุณหภูมิต่ำ ชะลอการทำงานของเอนไซม์

3. การใช้สารเคมียับยั้งการทำงานของเอนไซม์ สารที่นิยมใช้ คือ สารประกอบซัลไฟต์ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โซเดียมซัลไฟต์ แต่อย่างไรก็ตามสารจำพวกซัลไฟต์นี้ทำให้เกิดการแพ้อย่างรุนแรงในคนที่เป็นโรคหอบหืดบางคนได้ ด้วยเหตุนี้สำนักงานอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (Food and Drug Administration; FDA) จึงได้จำกัดการใช้ซัลไฟต์โดยให้ใช้ได้กับอาหารบางจำพวกเท่านั้น เนื่องจากข้อจำกัดดังกล่าวจึงทำให้ผู้ผลิตอาหารหันมาใช้สารตัวอื่นแทนซัลไฟต์

4. การใช้สารรีดิวซิงเอเจนต์ เช่น กรดแอสคอร์บิค มีฤทธิ์สูงในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์ เนื่องจากไปช่วยลดการเกิดสารควิโนน กรดแอสคอร์บิคที่ความเข้มข้นสูงๆยังมีผลยับยั้งแอคติวิตีของเอนไซม์โดยตรง นอกจากกรดแอสคอร์บิคแล้วสารที่สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้ เช่น กรดซิตริก สารประกอบอนินทรีย์จำพวกเฮไลด์ เช่น โซเดียมคลอไรด์ ซิงค์คลอไรด์ (ประสาร, 2538)

5. การกำจัดออกซิเจน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**2. ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง (Nonenzymetic Browning Reaction)**

สามารถจำแนกย่อยออกได้เป็น 2 แบบ คือ

**2.1 ปฏิกิริยาคาราเมไลเซชัน (Caramelization)**

ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นเมื่อไม่มีสารประกอบไนโตรเจนอยู่ (รัชนี, 2532) คาราเมไลเซชันเป็นการใช้ความร้อนสลายโมเลกุลให้แยกออก (Thermolysis) และเกิดโพลีเมอไรเซชันของสารประกอบคาร์บอนได้เป็นสารสีน้ำตาล ปฏิกิริยานี้สารเริ่มต้นจะเป็นน้ำตาลเท่านั้น เช่น การเผาซูโครสที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส น้ำจะถูกกำจัดออกไปเกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน สารประกอบที่เกิดขึ้นใหม่จะมีพันธะคู่และเป็นวงแหวน มีความข้นหนืดและมีสีเข้มขึ้นผันแปรตามระยะเวลาและระดับอุณหภูมิที่ใช้ สารสีที่เกิดจากปฏิกิริยาคาราเมไลเซชันของน้ำตาลเพียงอย่างเดียวจะประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจนและออกซิเจน เรียกว่า คาราเมล (caramel) (Von และคณะ,1996)

เมื่อน้ำตาลอยู่ในรูปสารละลายในน้ำ การเกิดปฏิกิริยาคาราเมไลเซชันจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของน้ำตาล pH และอุณหภูมิ (Blanshard, 1987) อุณหภูมิของการเกิดคาราเมลจะลดลงเมื่อมีกรดอยู่ด้วย กรดและเกลือกรด (acidic salt) เป็นสารเร่งปฏิกิริยาซึ่งสามารถให้สีและกลิ่นเฉพาะในอาหาร (วรรณา, 2536)

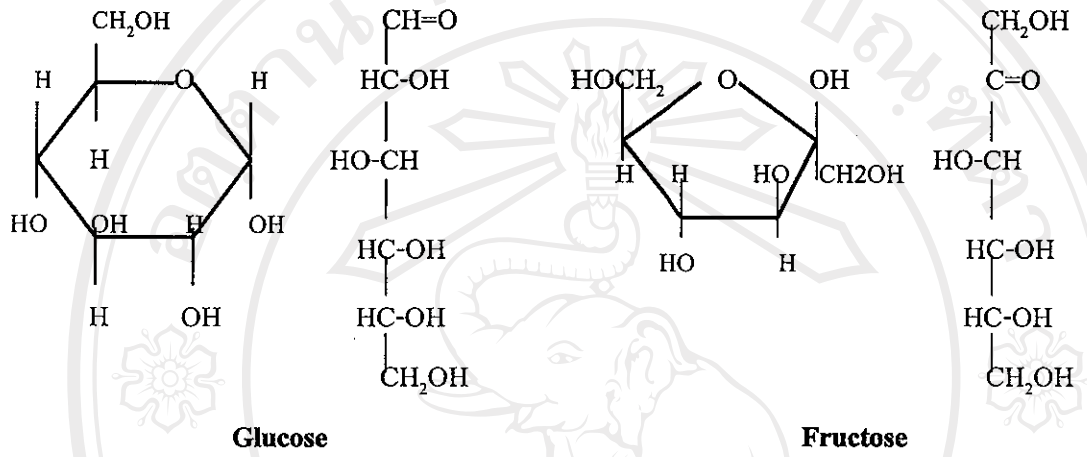
**2.2 ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard Reaction)**

เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารประกอบอัลดีไฮด์หรือคีโตน กับสารประกอบกรดอะมิโน ซึ่งก่อให้เกิดสารประกอบที่มีโมเลกุลใหญ่ที่ให้สีได้และยังทำให้อาหารมีกลิ่นรสเปลี่ยนไปด้วย (จินตนา, 2534) สารประกอบอัลดีไฮด์และคีโตนเป็นสารพวกคาร์บอนิล ได้แก่ คาร์โบไฮเดรตซึ่งได้แก่น้ำตาลรีดิวซ์ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลมากที่สุดหรือสารที่เกิดจากการออกซิเดชั่นของน้ำมันและไขมันก็ได้ ส่วนสารประกอบกรดอะมิโน ได้แก่ ไลซีน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่รวมกับคาร์โบไฮเดรตทำให้เกิดสีน้ำตาลมากที่สุด ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นเมื่ออาหารได้รับความร้อนมีการสูญเสียน้ำ (Dehydration) มีการสลายตัว (Degradation) และมีการรวมตัวกัน (Condensation) ซึ่งพัฒนาเป็นสารสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาล (Von และคณะ,1996)

เมื่อน้ำตาลแอลโดสหรือคีโตส ซึ่งเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ได้รับความร้อนในภาวะที่มีน้ำ ($a_w > 0.2$) กับเอมีนจะทำให้เกิดสารประกอบต่างๆมากมาย ซึ่งมีผลต่อสี กลิ่นและรสชาติของอาหาร และอาจเป็นสิ่งที่พึงประสงค์หรือไม่พึงประสงค์ก็ได้ ปฏิกิริยาเหล่านี้จะเกิดขึ้นขณะทอด อบ ปิ้ง ย่าง หรือระหว่างเก็บรักษาอาหาร น้ำตาลรีดิวซ์จะทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนในโมเลกุลของแอมโมเนีย กรดอะมิโนและโปรตีน ได้เป็นกลัยโคซิลเอมีน (N-substituted glycosylamine)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อาหาร และอาจเป็นสิ่งที่พึงประสงค์หรือไม่พึงประสงค์ก็ได้ ปฏิกิริยาเหล่านี้จะเกิดขึ้นขณะทอด อบ ปิ้ง ย่าง หรือระหว่างเก็บรักษาอาหาร น้ำตาลรีดิวซ์จะทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนในโมเลกุลของแอมโมเนีย กรดอะมิโนและโปรตีน ได้เป็นกลัยโคซิลเอมีน (N-substituted glycosylamine) และจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจนได้สารสีน้ำตาล เรียกว่า ปฏิกิริยาเมลลาร์ด หรือ non-enzymatic browning ซึ่งต่างจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง (Von และคณะ, 1996)




ภาพ 2.5 สูตรโครงสร้างของน้ำตาลรีดิวซ์บางชนิด
(ที่มา Bemiller และคณะ, 1996)

ขั้นตอนของปฏิกิริยาเมลลาร์ดมีดังนี้ (Von และคณะ, 1996)

1. น้ำตาลรีดิวซ์ทั้งคีโตสและแอลโดส จะรวมตัวกับหมู่อะมิโนได้เป็นกลัยโคซิลเอมีน

2. เกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชั่นได้เป็นอิมีน (imines หรือ schiff base) และมีการเรียงตัวใหม่ซึ่งเรียกว่า Amadori rearrangement ได้เป็นแอลโดสเอมีน (Aldoseamine) หรือคีโตสเอมีน (ketoseamine) เรียกว่า Amadori product เช่น 1-อะมิโน-1-ดีออกซิ-คีโตส ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องได้ เมื่อมี pH 5 หรือต่ำกว่า

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

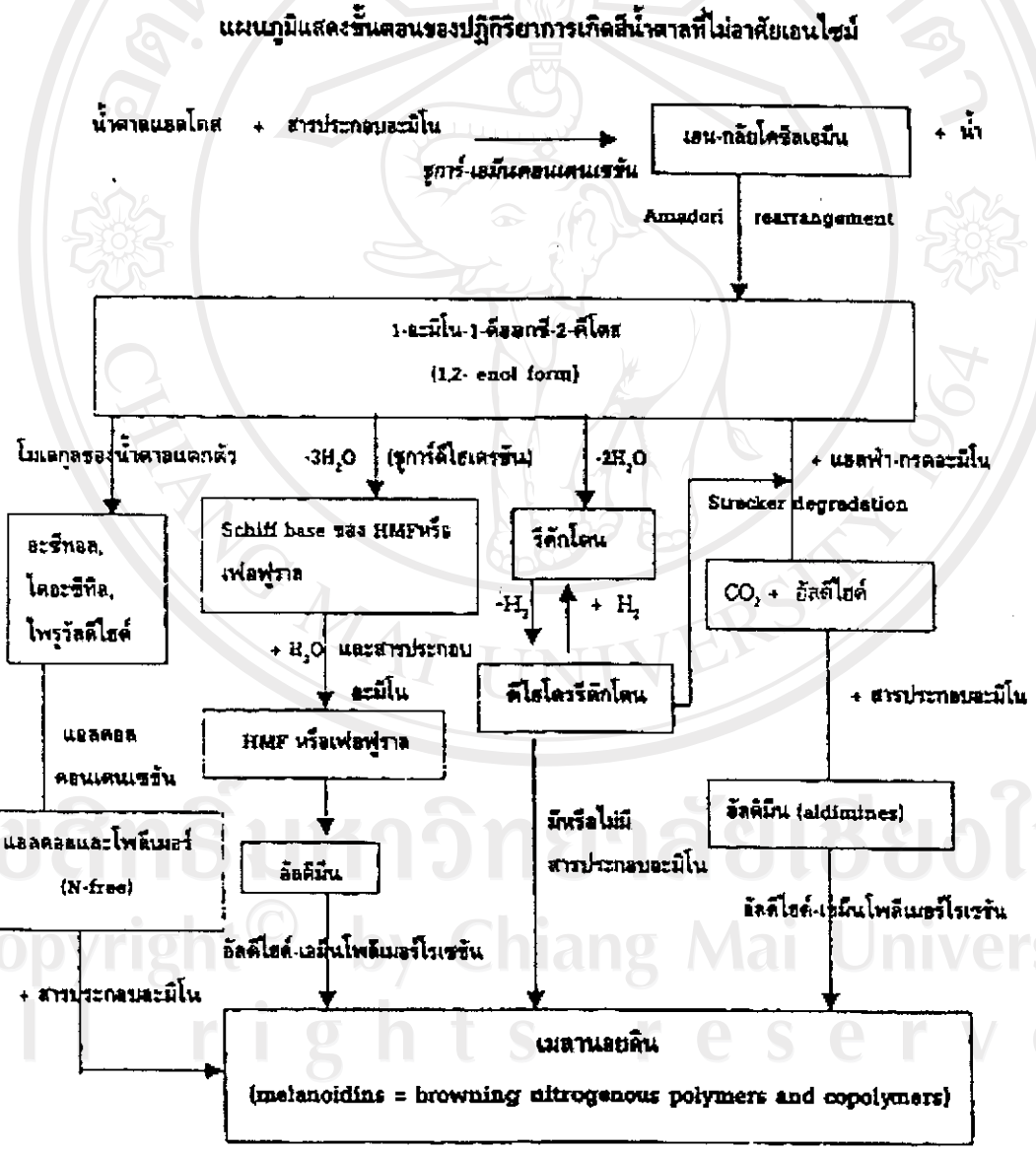
4. เกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชั่นต่อได้อนุพันธ์ของฟูแรน ถ้าเป็นน้ำตาลเฮกโซส อนุพันธ์ฟูแรนคือ 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอรัลดีไฮด์ (HMF)

5. อนุพันธ์ฟูแรนวงแหวน เช่น HMF จะเกิดโพลีเมอไรซ์อย่างรวดเร็ว ได้เป็นสารสีน้ำตาลที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย และไม่ละลายน้ำ สารสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นเรียกว่า เมลานอยดิน ( Melanoidins ) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาโมลต่อโมลดังนั้นโปรดักต์จากปฏิกิริยาเมลลาร์ดจึง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มีทั้งโพลิเมอร์ที่ละลายและไม่ละลายน้ำ พบได้ในอาหารที่มีน้ำตาลรีดิวซ์ กรดอะมิโน โปรตีนหรือสารประกอบไนโตรเจนอื่นๆอยู่รวมกัน และได้รับความร้อน

ข้อเสียของปฏิกิริยาเมลลาร์ด คือ ทำให้กรดอะมิโนไลซีนซึ่งเป็นกรดอะมิโนจำเป็นทั้งที่อยู่ในรูปอิสระและที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของโปรตีนลดน้อยลง ซึ่งทำให้คุณค่าทางโภชนาการของอาหารลดลงด้วย นอกจากนั้นหากเป็นอาหารที่มีโปรตีนสูงและได้รับความร้อนสูงด้วย โปรดักต์ที่เกิดขึ้นจะเป็นสาร heterocyclic amine ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง




ภาพ 2.6 แผนภูมิแสดงขั้นตอนของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง

(ที่มา : Von และคณะ, 1996)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง** (Von และคณะ, 1996)

1. ชนิดของสารประกอบคาร์บอนิลและสารประกอบอะมิโนในอาหาร

สารประกอบคาร์บอนิลและเอมีนมีความคงตัวต่ำและสลายตัวได้ง่าย จึงเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ที่อุณหภูมิห้อง เช่น ระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร อาหารที่มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงจะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้อย่างรวดเร็ว น้ำตาลเพนโตสจะเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าน้ำตาลเฮกโซสและน้ำตาลเฮกโซสเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าน้ำตาลรีดิวซ์ที่เป็นไดแซคคาไรด์ สำหรับน้ำตาลนอนรีดิวซ์ เช่น น้ำตาลซูโครสจะเกิดปฏิกิริยาได้ภายหลังถูกไฮโดรไลซ์เป็นน้ำตาลรีดิวซ์แล้ว สำหรับน้ำตาลรีดิวซ์แต่ละชนิด น้ำตาลฟรุกโตสเกิดปฏิกิริยาได้ดีที่สุด

ชนิดของกรดอะมิโนก็มีผลต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยาเมลลาร์ด กรดอะมิโนชนิดแอลฟากลัยซีนจะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้เร็วที่สุด เมื่อกรดอะมิโนมีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้นจะเกิดปฏิกิริยาช้าลง สำหรับกรดอะมิโนชนิดโอเมกา จะเกิดปฏิกิริยาได้เร็วขึ้นเมื่อความยาวของสายในโมเลกุลเพิ่มขึ้น สำหรับกรดอะมิโนที่อยู่ในโมเลกุลของโปรตีนหมู่อะมิโนไลซีนจะเกิดปฏิกิริยาได้เร็วที่สุด กรดอะมิโนที่มีสมบัติเป็นด่าง เช่น ไลซีน และกรดอะมิโนที่เป็นอนุพันธ์เอไมด์ เช่น แอสปาราจีน จะเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่ากรดอะมิโนที่มีสมบัติเป็นกรดและเป็นกลาง เมื่อ pH ลดลงจะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาช้าลง เช่น ที่ pH 3 น้ำตาลจะมีความคงตัวมากที่สุดในรูป pyranose hemiacetal ring ดังนั้นการสูญเสียกรดอะมิโนซึ่งมีสมบัติเป็นด่างในปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะเป็นการยับยั้งด้วยตัวเองได้ (self inhibition)

2. อุณหภูมิ

อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดังนั้นภาวะที่สารมีความเข้มข้นสูงและอุณหภูมิสูงจะเกิดปฏิกิริยาเร็วที่สุด เนื่องจากเกิด autocatalytic อัตราเร็วของปฏิกิริยานี้จะเพิ่มขึ้นเป็น 2 - 3 เท่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุกๆ 10 องศาเซลเซียส ถ้าในอาหารมีน้ำตาลฟรุคโตสจะทำให้อัตราเร็วเพิ่มขึ้นเป็น 5 - 10 เท่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุกๆ 10 องศาเซลเซียส และเพิ่มเร็วขึ้นเมื่อมีปริมาณน้ำตาลมากขึ้น ความเข้มของสีน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นด้วย

3. ความชื้นหรือ $a_w$

ในภาวะแห้งน้ำตาลกลูโคสกับกรดอะมิโนกลัยซีนจะคงตัว และไม่เกิดปฏิกิริยาถึงแม้จะมีอุณหภูมิสูงถึง 50 องศาเซลเซียส แต่เมื่อมีน้ำเพียงเล็กน้อยปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะเกิดขึ้นทันที แต่ที่อุณหภูมิสูงการสูญเสียน้ำออกจากโมเลกุลของน้ำตาลจะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดเพราะทำให้มีน้ำเกิดขึ้น อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะช้าลงเมื่อมีน้ำมากจนทำให้สับสเตรตเจือจาง

มีรายงานการศึกษาอิทธิพลของความชื้นที่มีต่อการเกิดสีน้ำตาล ในผลอะพริคอทแห้งพบว่า นอกจากความชื้นแล้ว ออกซิเจนมักมีส่วนในการเร่งปฏิกิริยา ผลอะพริคอทที่มีความชื้นร้อยละ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

25 จะดูดออกซิเจนได้เร็วกว่าผลอะพริคอทที่มีความชื้นเพียงร้อยละ 10 แสดงว่าความชื้นสูงทำให้เกิดสีน้ำตาลเร็วขึ้น

4. ออกซิเจน

การสัมผัสกับออกซิเจนของอาหารในระหว่างขบวนการผลิตหรือในช่วงการเก็บรักษามีผลต่อการเกิดสีน้ำตาล โดยออกซิเจนจะช่วยออกซิไดซ์สารอื่นให้อยู่ในรูปที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา

2. กรดแอสคอร์บิค

การสลายตัวของกรดแอสคอร์บิคไปเป็นกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิค ภายใต้สภาวะที่มีหรือไม่มีอากาศก็ตาม มีผลทำให้เกิดรงควัตถุสีน้ำตาลได้

3. ไขมัน

ไขมันอาจมีส่วนในการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล พวกไลโพโปรตีนมีหมู่อะมิโนซึ่งจะทำปฏิกิริยากับน้ำตาลรีดิวซ์และสารประกอบอัลดีไฮด์ได้

การวัดปฏิกิริยาเมลลาร์ดของสับสเตรตแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน และยังแปรตามขั้นตอนของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ปฏิกิริยาแรกที่เกิดขึ้น คือ ปฏิกิริยาของน้ำตาลกับกรดอะมิโน ซึ่งสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของ optical rotary power ของสารละลายน้ำตาลได้ หรืออาจใช้วิธี potentiometric titration, cryoscopy และ polarography สำหรับปฏิกิริยาในขั้นต่อไปอาจเป็นการวัดอัตราการหายไปของน้ำตาลหรือกรดอะมิโนบางชนิด ติดตามการเกิดสารใหม่ ได้แก่ HMF หรืออาจวัดปฏิกิริยาขั้นตอนสุดท้าย คือ วัดความเข้มของสีน้ำตาลหรือวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น ซึ่งปริมาณจะผันแปรตามความเข้มของสี (Von และคณะ, 1996)

**การยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง** (Von และคณะ, 1996)

1. การกำจัดสารสับสเตรตของปฏิกิริยา สามารถกำจัดน้ำตาลกลูโคสได้โดยออกซิไดซ์ให้เป็นกรดกลูโคนิคด้วยเอนไซม์กลูโคสออกซิเดส
2. การล้าง จะช่วยลดปริมาณน้ำตาลและกรดอะมิโนออกไปจากผิวนอกได้
3. ภาวะที่ใช้แปรรูปอาหารควรใช้อุณหภูมิต่ำที่สุด
4. ควบคุมปริมาณน้ำในอาหารให้ลดน้อยลง หรือเพิ่มปริมาณน้ำให้มากขึ้น
5. การลด pH ในสภาพที่ความเป็นกรดสูง ปฏิกิริยาสีน้ำตาลจะเกิดได้ช้า สารที่นิยมใช้เพิ่มความเป็นกรด คือ กรดซิตริก
6. ใช้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งจะไปทำปฏิกิริยากับ degradation product ของอะมิโนซูการ์ป้องกันไม่ให้เกิดการรวมตัวกันเกิดโพลีเมอไรเซชันเป็นเมลานอยดิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

7. การใช้สารเคมีช่วยยับยั้งการทำหน้าที่ของหมู่คาร์บอนิลอิสระหรือสารประกอบคาร์บอนิลอื่นๆ เช่น ใช้สารประกอบซัลไฟต์ คือ โซเดียมและโพแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ซึ่งจะไปยับยั้งปฏิกิริยาการรวมตัวของสารประกอบที่มีหมู่คาร์บอนิลกับเอมีน โดยหมู่ซัลไฟต์จะไปรวมตัวกับหมู่คาร์บอนิลของน้ำตาลแอลโดส และทำให้เกิดสารประกอบซัลโฟเนตในขั้นตอนหลังๆของปฏิกิริยาอีกด้วย หากสารประกอบคาร์บอนิลเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด การยับยั้งอาจทำได้โดยใช้สารต้านออกซิเดชัน สำหรับปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง อาจใช้กรดแอสคอร์บิคได้ แต่การใช้ปริมาณกรดแอสคอร์บิคสูงในปฏิกิริยาเมลลาร์ด อาจทำให้เกิดปฏิกิริยานี้ได้เร็วขึ้น เนื่องจากเกิด oxidation degradation ของกรดแอสคอร์บิค และทำปฏิกิริยาต่อกับสารประกอบคาร์บอนิลหรือหมู่อะมิโนเกิดเป็นสารสีน้ำตาลได้

วิชัย (2521) กล่าวว่าการแช่ผลไม้บางประเภทในสารละลายก่อนการแปรรูป จะช่วยป้องกันการเปลี่ยนสีผักผลไม้ภายหลังปอกเปลือก โดยจะนำผลไม้ไปแช่ในน้ำเปล่า สารละลายเกลือเจือจาง สารละลายน้ำตาล สารละลายกรดซิตริก หรือสารละลายเกลือกำมะถัน บุญมา (2528) พบว่า การใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 200 ส่วนในล้านส่วน แช่มะม่วงในการทำมะม่วงแช่อิ่มอบแห้ง สามารถลดการเกิดสีน้ำตาลได้ นอกจากนี้สารละลายบางชนิด เช่น สารละลายเกลือกำมะถันจะช่วยป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้

**วัตถุเจือปนอาหาร**

หมายถึงวัตถุที่ตามปกติไม่ได้ใช้เป็นอาหาร หรือเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในอาหาร ไม่ว่าวัตถุนั้นจะมีคุณค่าทางอาหารหรือไม่ก็ตาม แต่ใช้เจือปนในอาหารเพื่อประโยชน์ทางเทคโนโลยีการผลิต การบรรจุ การเก็บรักษาหรือการขนส่ง ซึ่งมีผลต่อคุณภาพหรือมาตรฐานหรือลักษณะของอาหาร และให้หมายความรวมถึงวัตถุที่มิได้ใช้เจือปนในอาหาร แต่ใช้รวมอยู่กับอาหารเพื่อประโยชน์ดังกล่าวข้างต้นด้วย (ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 119 พศ. 2532 เรื่อง วัตถุเจือปนอาหาร (ฉบับที่ 2))

**สารออสโมติก (Osmotic substance) หรือ Humectant** (Mujumdar, 1995)

เป็นสารที่ใช้เพื่อเพิ่มแรงดันออสโมติกให้แก่สารละลายเพื่อให้เกิดการกำจัดน้ำบางส่วนออกจากชิ้นอาหารด้วยความแตกต่างระหว่างแรงดันออสโมติกของสารละลาย และชิ้นอาหาร สารออสโมติกจะต้องมีรสชาติเป็นที่ยอมรับ ไม่มีพิษ ไม่ทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบของอาหาร และมีคุณสมบัติในการเพิ่มแรงดันออสโมติกอย่างสูง โดยทั่วไปสารที่นิยมได้แก่ น้ำตาลซูโครส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แลคโตส กลูโคส ฟรุกโตส มอลโตเดกซ์ตริน และ Corn syrup นอกจากนี้ยังได้มีการใช้น้ำตาลแอลกอฮอล์ (Polyol) เช่น กลีเซอรอลและเกลือโซเดียมคลอไรด์ อย่างไรก็ตามการใช้เกลือจะไม่เป็นที่ยอมรับด้านรสชาติเนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีรสเค็มมากเกินไป

การเลือกใช้สารออสโมติกชนิดใดนั้น ขึ้นอยู่กับลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ วิธีที่นำมาใช้วัดคุณภาพของสารออสโมติกได้แก่ อัตราการกำจัดน้ำ และปริมาณน้ำสุดท้ายที่เหลืออยู่ในอาหาร สารละลายน้ำตาลเป็นสารออสโมติกที่นิยมใช้มากที่สุดในการกำจัดน้ำออกจากผลไม้ ส่วนกลีเซอรอลและเกลือมักใช้กับผัก น้ำตาลซูโครสเป็นชนิดของน้ำตาลที่นิยมมากที่สุด อาจมีการใช้กลูโคสและฟรุกโตสบ้าง อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการกำจัดน้ำจะไม่แตกต่างกันเลย แต่เมื่อเทียบประสิทธิภาพของซูโครสและมอลโตเดกซ์ตรินพบว่าซูโครสมีประสิทธิภาพสูงกว่าเมื่อใช้ที่ความเข้มข้นเดียวกันบางครั้งอาจใช้สารหลายชนิดร่วมกัน เช่น การใช้ซูโครสร้อยละ 52 ร่วมกับฟรุคโตสร้อยละ 42 มอลโตสร้อยละ 3 โพลีแซคคาไรด์ร้อยละ 3 และเกลือร้อยละ 0.5 ในการทำแอปเปิ้ลอบแห้ง การใช้เกลืออิ่มตัวลดปริมาณน้ำในพริก มะเขือเทศ และมะเขือทำให้ปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ลดลงเหลือ 0.8 การใช้โซเดียมและโพแทสเซียมคลอไรด์ทำให้ปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียมเพิ่มมากขึ้นในผลิตภัณฑ์ข้าวโพดและถั่วเขียว

**ประโยชน์ของการใช้สารออสโมติก** (Mujumdar, 1995)

1. เนื่องจากเกิดการออสโมซิสของน้ำออกจากเนื้อเยื่ออาหารก่อนการทำแห้ง ทำให้สามารถกำจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อได้ส่วนหนึ่ง จึงช่วยให้ประหยัดพลังงานในขั้นตอนการอบแห้ง อย่างไรก็ตามในกระบวนการออสโมซิส เกิดการใช้พลังงานบ้างขึ้นอยู่กับวิธีการที่ใช้ เช่น การใช้พลังงานในการรักษาอุณหภูมิ กรณีที่มีการให้ความร้อนต่อระบบออสโมซิส หรือ การใช้พลังงานในระบบการเคลื่อนที่สารละลายออสโมติก กรณีที่มีการแช่แบบ dynamic ทั้งนี้ยังเกี่ยวข้องกับการละลายสารเพิ่มเมื่อสารละลายเจือจางลงหลังกระบวนการ หรืออาจมีการระเหยน้ำออกจากสารละลาย เพื่อเพิ่มความเข้มข้นให้สารละลายออสโมติก ซึ่งจะใช้พลังงานเป็น 1 KJ ต่อน้ำที่ต้องการระเหย 1 กิโลกรัมเป็นต้น

2. ผักผลไม้เมื่อนำมาแช่ในสารละลายออสโมติก เมื่อนำไปอบแห้งจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรสชาติดีขึ้นอันเนื่องมาจากการทำออสโมติก และตัวถูกละลายบางส่วน เช่น กรด เกลือ และน้ำตาลที่มีอยู่ในผักผลไม้จะออสโมซิสออกไปกับน้ำด้วย

3. ผักผลไม้ที่ผ่านกระบวนการแช่สารละลายออสโมติก ไม่ต้องใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้ง ส่งผลให้กลิ่นคงอยู่มากกว่า

4. สารละลายที่ใช้แช่มีความเข้มข้นสูงจะช่วยยับยั้งการทำงานเอนไซม์ PPO

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการที่มีการถ่ายเทมวลเกิดขึ้นระหว่างเนื้อเยื่ออาหารและสารละลายออสโมติก ทำให้เกิดการดึงน้ำออกจากอาหาร และยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีขึ้นด้วยเช่นกัน ดังนั้นคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งแบบดั้งเดิม เช่น เกิดการเพิ่มปริมาณน้ำตาลซูโครสในเนื้อเยื่อ และอัตราการเพิ่มขึ้นของซูโครสจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ร่วม เกลือโซเดียมคลอไรด์สามารถแทรกซึมเข้าไปในเนื้อเยื่ออย่างมีประสิทธิภาพจึงอาจทำให้เกิดรสเค็มเด่น กรดอินทรีย์จะลดลงร้อยละ 29 - 40 และน้ำตาลภายในเนื้อเยื่ออาจถูกแทนที่ด้วยซูโครส (Lerici และคณะ, 1983) การแทรกซึมของสารละลายเข้าสู่เนื้อเยื่อเกิดขึ้นที่ผิวหน้าของอาหารเท่านั้น เช่น น้ำตาลแทรกซึมเข้าไปได้ 2 - 3 มิลลิเมตร ขณะที่การดึงน้ำออกเกิดขึ้นได้ลึกถึง 5 มิลลิเมตร ทั้งนี้ยกเว้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ซึ่งมีความสามารถในการแทรกซึมได้ดีกว่า เช่น เมื่อใช้กับแครอท สามารถแทรกซึมได้ถึง 12 มิลลิเมตร

การใช้สารละลายออสโมติกสามารถลดปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ในอาหารลงได้ เนื่องจากความเข้มข้นของน้ำในอาหารลดลงและเกิดการแพร่ของสารจากภายนอกเข้าไปในเนื้อเยื่อ พบว่า Water binding capacity ของเนื้อเยื่ออาหารลดลงถึง 6 เท่า หลังกระบวนการแช่สารละลายเพียงครึ่งชั่วโมง (Mujumdar, 1995)

**โซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chloride)**

ปกติการใช้เกลือในอาหาร โดยเติมลงไปโดยตรงหรือเติมลงไปในรูปของน้ำเกลือ เพื่อประโยชน์ทางด้านรสชาติและ/หรือเพื่อการถนอมอาหาร การเติมเกลือเข้มข้นลงไปในอาหารช่วยยืดอายุการเก็บอาหารได้ เนื่องจากเกลือจะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ซึ่งทำให้อาหารเสื่อมเสียช้าลง หน้าที่ของเกลือได้แก่

1. ลดปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ (Water activity, Aw)
2. เพิ่มแรงดันออสโมติกแก่สิ่งแวดล้อมของเซลจุลินทรีย์ทำให้เซลเกิดพลาสโมไลซิส
3. ลดความสามารถการละลายของออกซิเจนในน้ำ
4. ทำให้เซลจุลินทรีย์ไวต่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์
5. มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ Proteolytic (Johnson และ Peterson, 1974)

ปริมาณสูงสุดของโซเดียมคลอไรด์ที่อนุญาตให้ใช้ได้ในอาหาร คือ ให้เติมได้ในปริมาณที่เหมาะสม ตามกรรมวิธีของการทำผลิตภัณฑ์ที่ดี (มอก.119-2532)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**น้ำตาลซูโครส (Sucrose)**

มีน้ำตาลหลายชนิดที่ใช้เพื่อให้ความหวานในอาหาร ได้แก่ กลูโคส ซูโครสและแลคโตส ถ้าน้ำตาลเหล่านี้มีความเข้มข้นมากพอจะมีคุณสมบัติเป็นสารกันเสีย ช่วยยืดอายุการเก็บของอาหารได้ เช่น แยม เจลลี ไซรัป และลูกกวาด เนื่องจากน้ำตาลจะไปลดปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ในอาหารซึ่งทำให้เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ นอกจากนี้น้ำตาลยังทำให้แรงดันออสโมติกสูงทำให้เกิดพลาสโมไลซิสเชื้อจุลินทรีย์หรือสปอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอาหารที่มีปริมาณน้ำน้อยหรือไม่มีเลย เชื้อบางชนิดเจริญได้ที่แรงดันออสโมติกสูงๆ (Osmophilic) เช่น แบคทีเรีย Aspergillus glaucus, Saccharomyces roaxii และยีสต์ในสกุล Torulopsis สำหรับยีสต์ Zygosaccharomyces ไม่เพียงแต่ทนปริมาณน้ำตาลสูง ๆ เท่านั้น ยังสามารถเจริญได้ดีในอาหารที่มีน้ำตาลสูงด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออาหารเกิดการดูดความชื้นที่ผิว ซึ่งทำให้ที่ผิวของอาหารมีความเข้มข้นของน้ำตาลลดลงเหลือน้อยกว่าในตัวอาหาร การเติมน้ำตาลหรือน้ำเชื่อมในผลไม้ก่อนการแช่เยือกแข็ง จะช่วยลดการเกิดสีน้ำตาล โดยทำหน้าที่เป็นตัวกันออกซิเจนไม่ให้เข้าไปสัมผัสกับผิวผลไม้ (Lerici และคณะ, 1983 )

น้ำตาลซูโครส มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว มีรสหวาน หลอมตัวที่อุณหภูมิ 54 องศาเซลเซียส สามารถละลายในน้ำได้แต่ละลายในแอลกอฮอล์ได้น้อย น้ำตาลซูโครสไม่สามารถป้องกันจุลินทรีย์ได้ โดยเฉพาะถ้าปริมาณน้อย ๆ จะเป็นอาหารของจุลินทรีย์ ปฏิกิริยาการต่อต้านจุลินทรีย์ของน้ำตาลซูโครสเกิดจากน้ำตาลซูโครสไปลดค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ในระบบ การถนอมอาหารอาจทำได้โดยการแช่ในสารละลายน้ำตาลหรือเติมน้ำตาลลงไปในอาหารโดยตรงก็ได้ (ไพบูลย์, 2529) ปริมาณสูงสุดของซูโครสที่อนุญาตให้ใช้ได้ในอาหาร คือ ให้เติมได้ในปริมาณที่เหมาะสม ตามกรรมวิธีของการทำผลิตภัณฑ์ที่ดี (มอก.119-2532)

นอกจากนี้พบว่าการใช้สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น เกลือโซเดียมคลอไรด์ กรดมาลิค กรดแลคติก และกรดไฮโดรคลอริค ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 - 5 ร่วมกับการใช้ซูโครสสามารถปรับปรุงกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันได้ เนื่องจากช่วยให้น้ำเคลื่อนที่ออกจากเซลได้เร็วขึ้น การใช้แคลเซียมคลอไรด์และกรดมาลิคร่วมกับซูโครสสามารถปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของแอปเปิ้ลอบแห้งได้ด้วย (Mujumdar, 1995)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**โพลีไฮดริกแอลกอฮอล์ (Polyhydric alcohols)**

โพลีไฮดริกแอลกอฮอล์หรือโพลีออล (Polyols) นั้น เป็นสารที่พบว่าถ้าหากมีอยู่ในอาหารแล้ว ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคุณภาพดีขึ้น เช่น มีการตกผลึกช้าลง เพิ่มความหนืดให้กับอาหาร ช่วยให้มีการละลายดีขึ้น ช่วยรักษาความชื้นในอาหาร และช่วยยืดอายุการเก็บอาหารด้วย ช่วยเพิ่ม

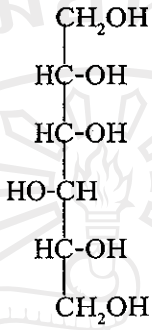
ความคงตัวทางเคมี ยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Khan และคณะ, 1993) สำหรับผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้อบแห้งที่ต้องนำมาทำให้คืนตัวก่อนการบริโภค การที่จะผลิตอาหารแห้งที่คืนตัวแล้วมีสภาพคล้ายอาหารสดนั้น จะทำได้ค่อนข้างยาก ส่วนใหญ่เมื่อคืนตัวแล้วมักจะมีสี กลิ่นรส คุณค่าทางอาหารและลักษณะเนื้อสัมผัสผิดปกติไปจากของสด การใช้โพลีออลผสมลงไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพที่ดีขึ้น ความสามารถในการดูดซับน้ำได้น้อยกว่าจะทำให้อาหารไม่จับตัวเป็นก้อน การที่โพลีออลสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาอาหารได้นั้น เนื่องจากโพลีออลจะมีคุณสมบัติคล้ายน้ำตาล คือ ที่ความเข้มสูงๆ จะสามารถป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ โพลีออลมีหลายชนิดตัวอย่างเช่น กลีเซอรอลหรือกลีเซอรีน โพรพีลีนไกลคอล ซอร์บิทอล และแมนนิทอล เป็นต้น (Rosetta, 1986)

สารประกอบพวกโพลีออลนั้น จะมีความคงตัวต่อสารเคมีและความร้อนได้ดีกว่าสารประกอบประเภทน้ำตาล เมื่อใช้ในการแปรรูปอาหารจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีกว่า ส่วนคุณสมบัติโดยทั่วไปของโพลีออล คือสามารถละลายน้ำ ดูดซับและเก็บความชื้นได้ดี เมื่อใส่ลงในอาหารจะทำให้ความหนืดของอาหารเพิ่มขึ้น และจะมีรสหวานตั้งแต่ครึ่งหนึ่งของน้ำตาลจนถึงสูงกว่าน้ำตาลเล็กน้อย จากตาราง 2.2 แสดงให้เห็นว่าเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของโพลีออลเพิ่มมากขึ้น จุดหลอมเหลว จุดเดือด และความหนืดจะเพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการละลายในสารละลายประเภทไม่มีขั้วจะลดลง และความสามารถในการดูดความชื้นลดลงด้วย น้ำตาลส่วนมากจะมีคุณสมบัติคล้ายกับโพลีออลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงๆ และถึงแม้ว่าน้ำตาลจะเป็น Polyhydroxy compounds แต่ในน้ำตาลจะมี Aldehyde linkage อยู่ด้วยจึงเป็นสาเหตุให้ความสามารถในการคงตัวต่อความร้อนเสียไป การที่โพลีออลมีความสำคัญต่อวงการอุตสาหกรรมนั้นเนื่องมาจากคุณสมบัติต่างๆ ของโพลีออล เช่น ความสามารถในการละลาย ความสามารถในการดูดซับน้ำ ความสามารถในการให้ความหนืดและรสหวาน (Riaz, 1993)

ซอร์บิทอล (Sorbitol) มีชื่อทางเคมีว่า D-glucitol หรือ D-sorbitol เป็นสารให้รสหวานในกลุ่ม Polyhydric alcohol ซึ่งเกิดจากกระบวนการไฮโดรจิเนชัน ของน้ำตาลกลูโคส (aerocia.com/foodnews17) ภายใต้สภาวะความดันสูง ความร้อนสูงและมีตัวเร่งปฏิกิริยา (กล้าณรงค์, 2542) ซอร์บิทอลในทางการค้าจะอยู่ในรูปผลึก มีสมบัติช่วยเพิ่มความหวาน และละลายน้ำได้ดี เพราะคล้ายน้ำตาลทั่วไปมีหมู่ Dihydroxy มาก นอกจากนี้ยังผลิตในรูปของไซรัป มีลักษณะใส ไม่มีสี ซอร์บิทอลอาจพบในธรรมชาติ เช่น ในแอปเปิ้ล พรุน แพร แต่มีปริมาณน้อยจึงไม่สามารถสกัดมาใช้ได้ นอกจากนี้สารพวก Polyhydric alcohol ยังมีสมบัติในการช่วยเพิ่มการอุ้มน้ำของอาหาร ควบคุมความหนืดและเนื้อสัมผัสของอาหาร ควบคุมการตกผลึก คงความชื้นแก่อาหารทำให้อาหารอ่อนนุ่ม ช่วยในการคืนรูปของอาหารแห้งและใช้เป็นสารสำหรับปรุงแต่งรสชาติอาหาร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

น้ำตาลแอลกอฮอล์นอกจากจะให้รสหวานแล้วยังให้ความรู้สึกเย็นในปากอีกด้วย (Fennema, 1996) ปริมาณสูงสุดของซอร์บิทอลที่อนุญาตให้ใช้ได้ในอาหาร คือ ตามมาตรฐาน GMP สำหรับ Surface-treated fresh fruit / Pre-cooked or dried pastas and noodles and like product (กล้าณรงค์, 2542)




ภาพ 2.7 สูตรโครงสร้างของซอร์บิทอล

ที่มา : Rosetta, 1986

ตาราง 2.2 คุณสมบัติของโพลีไฮดริกแอลกอฮอล์

| คุณสมบัติ | Propylene glycol | Glycerine | Sorbitol | Manitol |
|---|---|---|---|---|
| -น้ำหนักโมเลกุล | 76 | 92 | 182 | 182 |
| -จุดหลอมเหลว (°C) | super cool | 18.6 | Metastable | 166 |
| -จุดเดือด (°C) 760 mm | 187 | 290,สลายตัว | สลายตัว | สลายตัว |
| -ความหนาแน่น 25°C | 1.036 | 1.2613 | 1.49 | 1.49 |
| -ความหนืด cp. 25°C | 44.0 | 954 | ของแข็ง | ของแข็ง |
| -ความสามารถในการดูดความชื้น | สูง | สูงปานกลาง | ต่ำปานกลาง | ต่ำ |
| -ตัวทำละลาย (สำหรับน้ำมัน) | ดี | ดีพอควร | ไม่ดี | ไม่ดี |
| -การละลายน้ำที่25°C | ดีมาก | ดีมาก | 71 | 22 |
| -การทนต่อความร้อน | คงตัว / ระเหย | คงตัว / ระเหยเล็กน้อย | คงตัว | คงตัว |
| -รสชาติ | ขม | หวานเล็กน้อย | เย็น / หวาน | หวาน |

* กรัม / 100 กรัมน้ำ

ที่มา : (Rosetta, 1986)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**คุณสมบัติต่าง ๆ ในอาหารหรือผลิตภัณฑ์อาหารที่มีการเติมโพลีออล** (Rosetta, 1986)

1. เพิ่มความหนืด หรือ body

การเติมโพลีออลลงในอาหารหรือเครื่องดื่มแม้เพียงเล็กน้อย จะเป็นการช่วยเพิ่ม body ให้กับอาหาร โพลีออลที่นิยมใช้เป็นสารให้ความหนืดได้แก่ ซอร์บิทอล ซึ่งสารละลายซอร์บิทอลจะให้ความหนืดสูงมากหรือโพรพีลีนไกลคอลซึ่งมีความหนืดน้อยกว่า วิธีที่ดีที่สุดในการใช้โพลีออลช่วยเพิ่มความหนืดของอาหารคือ ใส่ของผสมของกลีเซอรีน ซอร์บิทอล และน้ำตาลลงไปด้วย

2. ป้องกันการตกผลึก

ผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดที่ลักษณะเนื้อของอาหารจะต้องขึ้นกับ สารผสมกึ่งสมดุลระหว่างน้ำตาลและน้ำเชื่อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารประเภทผลิตภัณฑ์ขนมหวาน ซึ่งอาหารประเภทนี้ในระหว่างการเก็บมักจะมีผลึกสีน้ำตาลเกิดขึ้นเรื่อย ๆ จะทำให้อายุการเก็บรักษาสั้นลง เนื่องจากมีลักษณะเนื้อไม่ดี ได้มีผู้ทดลองเติมน้ำตาลอินเวอร์ทลงไป ทำให้ความหนืด (consistency) ของอาหารดีขึ้น นอกจากนี้ได้มีการทดลองเติมกลีเซอรีนและซอร์บิทอลลงไป พบว่าเมื่อเติมในปริมาณที่พอเหมาะจะช่วยยืดอายุการเก็บและทำให้การเกิดผิวแห้งแข็งลดลง

3. เพิ่มความกลมกล่อมของรสชาติหรือความหวาน

ปกติรสหวานหรือความหวานที่จะได้จากการใช้โพลีออลมีน้อยมาก เนื่องจากโพลีออลมิใช่ส่วนประกอบหลักของอาหาร แต่ถ้าหากเป็นอาหารประเภทที่ไม่ใช้น้ำตาล (Sugar free) และมีการใช้โพลีออลเป็นส่วนประกอบหลักนั้น แหล่งของความหวานหรือรสชาติของอาหารนั้นจะได้มาจากโพลีออลที่เติมลงไป เช่น การใช้ซอร์บิทอลและแมนนิทอล ปกติจะใช้โพลีออลเพื่อปรับปรุงรสหวานของผลิตภัณฑ์มากกว่าการใช้เพื่อเป็นสารให้ความหวาน

4. ความสามารถในการเก็บความชื้น

ความสามารถในการเก็บความชื้นหรืออุ้มความชื้นของโพลีออล จะมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมประเภทผลิตภัณฑ์ขนมหวานมาก เพราะช่วยให้ผลิตภัณฑ์นี้มีลักษณะน่ารับประทานตลอดเวลา นอกจากนี้คุณสมบัติในการที่สารนี้สามารถช่วยป้องกันการตกผลึกได้ยังจัดเป็นปัจจัยที่สำคัญมากอีกปัจจัยหนึ่ง ที่ทำให้มีการใช้โพลีออลช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมหวาน โดยทั่วไปการใช้โพลีออลในผลิตภัณฑ์ขนมหวานนั้น จะใช้ไม่เกินร้อยละ 10 ของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ขนมหวาน

5. ตัวทำละลาย

ความสามารถในการเป็นตัวทำละลายของโพลีออลจะลดลง เมื่อน้ำหนักโมเลกุลของโพลีออลเพิ่มขึ้น โพรพีลีนไกลคอลมีความสามารถในการเป็นตัวทำละลายได้สูงสุด ในบรรดาโพลีออลทั้งหลายที่ใช้ในอาหาร โพลีออลที่เป็นตัวทำละลายได้ดีรองจาก โพรพีลีนไกลคอล คือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กลีเซอรีน แต่ไม่ค่อยนิยมใช้กัน ส่วนซอร์บิทอลและแมนนิทอลนั้น มักนิยมใช้กันมากสำหรับเป็น Flavor carriers หรือ Flavor encapsulating agents และเป็นสารช่วยเน้นกลิ่นรสในการทำกาแฟเข้มข้น น้ำผลไม้เข้มข้นและสารที่ใช้ในการหมักเนื้อ

6. ช่วยในการคืนตัว

ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งบางชนิด ก่อนบริโภคจะต้องมีการทำให้คืนตัวก่อน การที่จะทำให้อาหารแห้งคืนตัวแล้วมีลักษณะคล้ายของสดนั้น จะทำได้ค่อนข้างยากและส่วนใหญ่เมื่อคืนตัวแล้วมักมีส่วนประกอบ คุณค่าทางอาหาร สีและกลิ่นรสผิดไปจากของสดมาก ได้มีผู้ทดลองใช้โพลีออลผสมลงไปด้วยในระหว่างกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารแห้งนี้ พบว่าจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการคืนตัว มีคุณภาพดีกว่าการไม่ใช้โพลีออล ทั้งนี้เข้าใจว่าเพราะโพลีออลช่วยป้องกันการเกิด Cellular collapse ในระหว่างกรรมวิธีแปรรูปอาหารแห้งก็เป็นได้ ฉะนั้นจึงทำให้มีการดูดน้ำได้ดีขึ้นในระหว่างกรรมวิธีการทำให้คืนตัว

7. ช่วยในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน

โพลีออลชนิดที่มีคาร์บอน 6 อะตอม จะมีคุณสมบัติเป็น Sequestering agents ได้ ถึงแม้จะดีสู้ EDTA ไม่ได้ ส่วนใหญ่จะมีการใช้ในเครื่องดื่มประเภท ผัก ผลไม้ และไวน์เป็นต้น

8. ป้องกันการหืนของผลิตภัณฑ์

การหืนของผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นได้เนื่องจากการออกซิเดชันของพันธะคู่ หรือเกิดการหืนแบบ Hydrolytic rancidity โพลีออลที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็น Sequestering agents จะช่วยชะลอการเกิดการหืนได้ นอกจากนี้ยังมีการทดลองพบว่า การใช้กลีเซอรีนจะช่วยชะลอการเกิดไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะทำให้ลดการเกิดการเหม็นหืนลง

9. ป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์

โพลีออลมีคุณสมบัติคล้ายน้ำตาล คือ ที่ความเข้มข้นสูง ๆ จะสามารถป้องกันการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ และส่วนใหญ่ต้องมีความเข้มข้นมากถึงร้อยละ 75 จึงจะสามารถป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ดี แต่ทั้งนี้ยกเว้นโพรพีลีนไกลคอลซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารกันเสีย หรือป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ได้ถึงแม้จะใช้ในปริมาณเพียงร้อยละ 10 เท่านั้น

10. ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่ม

การที่โพลีออลสามารถทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสนุ่มหรือยืดหยุ่นได้นั้น เนื่องมาจากคุณสมบัติที่สามารถอุ้มน้ำหรือเก็บความชื้นได้ดีของโพลีออลนั่นเอง ถึงแม้จะมีความชื้นต่ำโพลีออลที่เติมลงไปก็ยังสามารถช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่มและยืดหยุ่นได้ดี สำหรับโพลีออลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จะสามารถช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่มหรือยืดหยุ่นได้ดีกว่าโพลีออลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

11. Bulking agents

การใช้สารให้ความหวานซึ่งไม่มีคุณค่าทางอาหารแทนน้ำตาลนั้น พบว่าจะทำให้ปริมาณของแข็งในผลิตภัณฑ์ลดลงหรือจะไปทำให้อัตราส่วนของแข็งของสารที่ให้ความหวานและส่วนประกอบอื่นๆเปลี่ยนไป เช่น การใช้สารให้ความหวานซึ่งไม่มีคุณค่าทางอาหาร 2 - 3 มิลลิกรัม แทนน้ำตาล 1 ออนซ์ และปกติการเตรียมเครื่องดื่มเข้มข้นนั้น สามารถทำได้โดยไม่จำเป็นต้องใช้ Bulking agents ทั้งนี้เพราะว่าในเครื่องดื่มเข้มข้น จะมีกรดซึ่งเป็นตัวพากลิ่นรสและความหวานจากสารให้ความหวานที่ไม่มีคุณค่าทางอาหาร ส่วนอาหารประเภทไอศครีม เค้ก คุกกี้ และผลิตภัณฑ์ขนมหวานนั้น พบว่าถ้าหากใช้สารให้ความหวานที่ไม่มีคุณค่าทางอาหารแทนน้ำตาลจะทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้อยลง

12. อาหารสำหรับผู้บริโภคซึ่งต้องการจำกัดอาหาร (Dietary foods)

ในการผลิตอาหารสำหรับผู้บริโภคที่จะต้องจำกัดอาหารนั้น พบว่ามักมีการใช้โพลีออลแทนน้ำตาล ฉะนั้นปัจจุบันจึงมีการระบุที่ฉลากว่า Sugar free เมื่ออาหารนั้นใช้ Hexitol แทนน้ำตาล ซึ่งทำให้ผู้บริโภคเข้าใจว่าอาหารเหล่านั้นไม่มีแคลอรีหรือมีน้อย ซึ่งไม่เป็นความจริงเพราะ Hexitol เช่น ซอร์บิทอล มีจำนวนแคลอรีเท่ากับน้ำตาล ส่วน Mannitol และ Dulcitol นั้นจะให้จำนวนแคลอรีน้อยกว่าน้ำตาลเนื่องจากมีความสามารถในการละลายน้อยกว่า

**แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium Chloride)**

แคลเซียมคลอไรด์ มีสูตรโมเลกุล คือ $CaCl_2.2H_2O$ น้ำหนักโมเลกุล 147.02 มีลักษณะเป็นผลึกหรือเม็ดสีขาว แข็ง ไม่มีกลิ่น ดูดความชื้นได้ดี แคลเซียมคลอไรด์ 1 กรัมละลายในน้ำ 1.2 มิลลิลิตร ที่ 25 องศาเซลเซียส หรือในน้ำเดือด 0.7 มิลลิลิตร หรือในแอลกอฮอล์ 10 มิลลิลิตรที่ 25 องศาเซลเซียสหรือในแอลกอฮอล์เดือด 2 มิลลิลิตร สารละลายเข้มข้น 1 : 20 จะมีค่า pH อยู่ระหว่าง 4.5 และ 8.5

ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารประเภทผักและผลไม้นั้น มักพบว่าหลังการแปรรูปแล้วลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนไปในลักษณะที่ด้อยลง เช่น นิ่มเละ หรือแตก จึงมีการใช้สารเพื่อให้เนื้อสัมผัสคงตัวหรือคงรูปดีขึ้น ได้แก่ แคลเซียมคลอไรด์ พบว่าเกลือแคลเซียมจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับความคงตัวของเนื้อเยื่อของผักและผลไม้ โดยไปทำปฏิกิริยากับ Pectic substances ในผักและผลไม้ ทำให้โครงสร้างเซลของผักและผลไม้แข็งแรงขึ้น การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของผักและผลไม้ในระหว่างแปรรูปจึงลดลง ปริมาณสูงสุดของแคลเซียมคลอไรด์ที่อนุญาตให้ใช้ได้ในผลไม้กระป๋อง คือ ไม่เกิน 350 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (มอก. 68-2517) ตัวอย่าง เช่น การใช้ในการแปรรูปแอพริคอตกระป๋อง พบว่าลักษณะเนื้อสัมผัสดีขึ้น เช่นเดียวกับการใช้แคลเซียมคลอไรด์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ความเข้มข้น 500 ส่วนในล้านส่วน ในผลิตภัณฑ์พลัมกระป๋องในน้ำเชื่อม พบว่า ความคงตัวของลักษณะเนื้อสัมผัสของพลัมดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด การแช่แอปเปิ้ลในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ พบว่าแอปเปิ้ลมีความคงตัวสูงขึ้นและเมื่อนำตัวอย่างแอปเปิ้ลดังกล่าวมาวิเคราะห์ พบว่าปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้นจาก 40.8 - 53.5 ส่วนในล้านส่วน ก่อนแช่ไปเป็น 100 - 120.7 ส่วนในล้านส่วน แคลเซียมคลอไรด์ที่ใช้นี้นอกจากจะมีปฏิกิริยากับ Pectic substance ในผักและผลไม้แล้ว จากการทดลองยังพบว่าจะช่วยยับยั้งปฏิกิริยาของ Pectinolytic enzyme เช่น Pecticnesterace และ Polygalacturonase เป็นต้น และจากการทดลองลดปฏิกิริยาของเอนไซม์ Polygalacturonase ในผักกาดดองพบว่าประสิทธิภาพของเอนไซม์ในผักกาดดองที่มีการใช้เกลือแคลเซียมคลอไรด์ มีน้อยกว่าผักกาดดองที่ไม่ได้เติมแคลเซียมคลอไรด์ (Joint,1981)

**กรดซิตริก (Citric acid)**

กรดซิตริก มีสูตรโมเลกุล คือ $C_6H_8O_7$ น้ำหนักโมเลกุล 192.12 สารนี้มี 2 ชนิด คือ ชนิดแอนไฮดรัสและชนิดที่มีน้ำผลึก 1 โมเลกุล เป็นผลึกใสไม่มีสี หรือเป็นผงหยาบหรือผงละเอียดสีขาว ไม่มีกลิ่น มีรสกรดอย่างแรง ชนิดที่มีน้ำผลึกจะคายความชื้นได้ในอากาศแห้ง ละลายได้ดีมากในน้ำ ละลายได้ดีในแอลกอฮอล์ ละลายได้บ้างในอีเทอร์

เป็น chelating agent ที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถละลายน้ำได้ดี กรดซิตริกและเกลือของกรดซิตริกนั้น เติมลงในผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ เพื่อช่วยปรับค่า pH ให้พอเหมาะ ช่วยทำปฏิกิริยากับโลหะที่อาจปนเปื้อนมาในวัตถุดิบเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ทำให้กรดแอสคอร์บิคที่มีอยู่ตามธรรมชาติในผักผลไม้คงตัวขึ้น ซึ่งจะมีผลต่อเนื่องไปถึงความคงตัวของสีและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ (Joint, 1981) ปริมาณสูงสุดที่อนุญาตให้ใช้ได้ในผลไม้กระป๋อง คือ ให้เติมได้ในปริมาณที่เหมาะสม ตามกรรมวิธีของการทำผลิตภัณฑ์ที่ดี (มอก. 68-2517)

**กรดแอสคอร์บิค (Ascorbic acid)**

กรดแอสคอร์บิค มีสูตรโมเลกุล คือ $C_6H_8O_6$ น้ำหนักโมเลกุล 176.12 มีลักษณะเป็นผลึกสีขาวหรือสีเหลืองอ่อน หลอมตัวที่อุณหภูมิประมาณ 190 องศาเซลเซียส เมื่อถูกแสงสีจะคล้ำ คงตัวในอากาศ แต่เมื่อเป็นสารละลายจะเสื่อมสภาพ (deteriarate) อย่างรวดเร็วเมื่อมีอากาศอยู่ด้วย ละลายได้ดีในน้ำ ละลายได้ในแอลกอฮอล์ ไม่ละลายในคลอโรฟอร์ม อีเทอร์และเบนซิน

กรดแอสคอร์บิคสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะสามารถรีดิวซ์สารควิโนนที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารโพลีฟีนอล ด้วยการกระทำของ PPO ให้กลับมาอยู่ในรูปสารประกอบฟีนอลตามเดิม ก่อนที่สารควิโนนจะทำปฏิกิริยาต่อไปจนกลายเป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สีน้ำตาล แต่กรดแอสคอร์บิคถูกออกซิไดซ์กลายเป็น dehydroascorbic acid (DHAA) ทั้งหมดแล้ว สารควิโนนก็จะเกิดสะสมมากขึ้นและดำเนินปฏิกิริยาไปจนเป็นสารสีน้ำตาล และ DHAA เอง สามารถเกิดปฏิกิริยาให้สีน้ำตาลได้ โดยไม่ต้องใช้ปฏิกิริยาของเอนไซม์ กรดแอสคอร์บิคที่ระดับความเข้มข้นสูงสามารถยับยั้งการทำงานของ PPO ได้ ซึ่งทำให้กรดแอสคอร์บิคมีผลเป็น Proacidant (Mahoney และ Graf, 1986) มีการใช้กรดแอสคอร์บิคและไอโซเมอร์ของมัน คือ erythorbic acid ; d-isoascorbic acid ในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากเอนไซม์ หรือผสมกับสารอื่น เช่น กรดซิตริกหรือเกลือโซเดียมฟอสเฟต โซเดียมคลอไรด์ ซีสเตอีนหรือสารกันเสีย เช่น โซเดียมเบนโซเอท โปตัสเซียมเบนโซเอท หรือ sodium erythorbate (ประสาร, 2538) ปริมาณสูงสุดของกรดแอสคอร์บิคที่อนุญาตให้ใช้ได้ในผลไม้กระป๋อง คือ ให้เติมได้ในปริมาณที่เหมาะสม ตามกรรมวิธีของการทำผลิตภัณฑ์ที่ดี (มอก. 316-2518)

**โซเดียมอิริโทรเบท (Sodium erythorbate)**

เป็นไอโซเมอร์ของ ascorbate ชื่อสามัญ คือ Isoascorbic acid Sodium salt ; Sodium Isoascorbate มีสูตรโมเลกุล คือ $C_6H_8O_6.Na$ น้ำหนักโมเลกุล 199.12 หลอมตัวที่ 154 – 164 องศาเซลเซียส มีลักษณะเป็นผงสีขาว คงตัวในสภาวะแห้ง แต่ในสภาวะที่มีน้ำจะถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายมากเมื่อมีอากาศอยู่ด้วย โลหะหนักเช่น ทองแดง เหล็ก จะกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

โซเดียมอิริโทรเบท นิยมใช้ในการรักษาความสดของผักผลไม้ ป้องกันการเกิดสีน้ำตาลและการเกิดกลิ่นหืน การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของผลิตผลจะเกิดขึ้นระหว่างการเก็บเกี่ยว การแปรรูป และการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงหลายๆอย่างจะเกิดจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ การเกิดสีน้ำตาลที่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง มักเกิดในผักผลไม้บางประเภท เช่น แอปเปิ้ล พีช แพร์ และมะเขือเทศ ซึ่งเป็นผลไม้ที่มีเอนไซม์ polyphenol oxidase อยู่ เมื่อผักผลไม้เหล่านี้ถูกตัดหรือหั่น สัมผัสกับอากาศ PPO จะกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ของ phenolic compounds ให้เป็นสารประกอบออร์โทควิโนน ซึ่งจะพัฒนาเป็นสารสีน้ำตาล โซเดียมอิริโทรเบทจะช่วยยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล โดยมันจะไปจับกับออกซิเจน และเปลี่ยนควิโนนกลับไปเป็น polyphenol compounds ก่อนที่จะพัฒนาไปเป็นสารสีน้ำตาล ผักผลไม้สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้โดยการฉีดพ่นหรือจุ่มลงในสารละลายโซเดียมอิริโทรเบท สารละลายนี้จะมีประสิทธิภาพมากเมื่อใช้ร่วมกับ glucono delta lactone หรือกรดซิตริก ซึ่งกรดซิตริกจะช่วยลด pH และช่วยจับกับโลหะหนัก ผลของโซเดียมอิริโทรเบทในการเป็น antioxidant ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร ปริมาณโลหะที่ปนเปื้อน ปริมาณออกซิเจน (Mahoney และ Graf, 1986) Sapers (1998) รายงานว่าโซเดียมอิริโทรเบทสามารถยับยั้งสีน้ำตาลในแอปเปิ้ลและแพร์ได้ โดยการแช่ในสารละลาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อิริโทรเบทที่เป็นกลางประมาณ 20 - 30 นาที ในการเตรียมสารละลายโซเดียมอิริโทรเบท ต้องใช้ภาชนะที่เป็นสเตนเลสสตีลหรือภาชนะที่ไม่ใช่โลหะเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของโลหะซึ่งอาจจะไปเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ ปริมาณสูงสุดของโซเดียมอิริโทรเบทที่อนุญาตให้ใช้ในผักผลไม้ คือ ให้ใช้ตามมาตรฐาน GMP สำหรับ Peeled or cut fresh fruit and vegetables (ประสาร, 2538)

**งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

**1. งานวิจัยการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในการอบแห้งกล้วยน้ำว้า**

จรรยา และพิพัฒน์ (2523) ได้ทดลองอบกล้วยน้ำว้าสุกงอมในตู้อบแบบแสงแดดเปรียบเทียบกับการตากแดดธรรมดา พบว่าในตู้อบจะมีอุณหภูมิสูงกว่า ใช้เวลาในการอบเพียง 3 วัน แต่ถ้าตากแดดธรรมดาจะใช้เวลา 5 วัน และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบในตู้อบจะมีสีสวยและไม่มีเชื้อรา

ธีรชัย และคณะ (2532) ทดลองอบกล้วยน้ำว้าโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งออกแบบโดยใช้โครงสร้างเป็นเหล็กฉาก แผงรับแสงอาทิตย์เป็นแผ่นสังกะสีดำด้าน ปิดด้านข้างด้วยไม้อัดและใช้แผ่นพลาสติกใส (PVC) คลุมด้านบนรวมทั้งปล่องระบายอากาศ จะนำกล้วยมาปอกเปลือกแล้วแช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 นาน 30 นาที อบแล้วบีบให้กล้วยแบนทุกวันจนมีความชื้นลดลงเหลือประมาณร้อยละ 25 มาตรฐานแห้ง เปรียบเทียบกับกล้วยตากภายนอกเครื่องอบ 3 วันพบว่ามวลกล้วยจะลดลงอย่างรวดเร็วในวันแรก และจะลดลงอย่างช้าๆในวันถัดมาทั้งกล้วยที่อบโดยใช้เครื่องอบและตากภายนอก โดยที่กล้วยในเครื่องอบจะมีความชื้นลดลงมากกว่า กล้วยที่ตากภายนอกจะใช้เวลานานกว่าเล็กน้อยและกล้วยบางลูกมีเชื้อรา แต่กล้วยที่ใช้เครื่องอบไม่มีเชื้อราเกิดขึ้น ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งที่สร้างขึ้นมีค่าประมาณร้อยละ 9.2 ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำ มีสาเหตุมาจากการประกอบตัวเครื่องที่เกิดรอยรั่ว และพลาสติกใส(PVC) มีคุณภาพไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งควรเปลี่ยนเป็นชนิด Low Density Polyethylene (LDPE)

Schirmer และคณะ (1995) ได้ทดลองใช้ Solar tunnel dryer ในการทำกล้วยอบแห้งภายใต้สภาวะความร้อนและความชื้นของประเทศไทย ซึ่งเครื่องอบแห้งชนิดนี้ประกอบด้วย Collector พลาสติก และ Drying tunnel ใช้ลมร้อนและพัดลม 3 ตัว ใช้ Solar cell Module 53 W นำกล้วยมาปอกเปลือก ไม่เติมสารเคมีใดๆแล้วเริ่มตากตั้งแต่เวลา 8.00 - 17.00 นาฬิกา โดยวางบนตาข่ายพลาสติกใน Drying tunnel สามารถใช้กล้วย 300 กิโลกรัมในแต่ละ Batch เลือกใช้กล้วยที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร มีความชื้นร้อยละ 69 และมีปริมาณน้ำตาล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

27 องศาบริกซ์ ใช้อุณหภูมิการอบ 40 - 65 องศาเซลเซียส เมื่อถึงเวลา 17.00 นาฬิกา จะเก็บกล้วยลงในกล่องพลาสติก และจะนำกล้วยมาตากอีกในช่วงเช้า ใช้เวลาตากประมาณ 3 - 5 วัน ซึ่งถ้าเป็นการตากแห้งแบบปกติจะใช้เวลา 5 - 7 วัน กล้วยตากที่ได้จะมีความชื้นประมาณร้อยละ 30 มีปริมาณน้ำตาล 55 องศาบริกซ์ น้ำหนักกล้วยทั้งหมดหลังตากจะเหลือประมาณ 50 - 100 กิโลกรัม ขึ้นกับความสุกและคุณภาพของผลิตภัณฑ์

ปิยะรัตน์ และวิจิตร (2523) ทำการทดสอบสมรรถนะตู้อบแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นแบบแยกแผงรับรังสีออกจากตู้อบ แผงรับรังสีปิดด้วยกระจก 2 ชั้น แผ่นรับรังสีทำด้วยตะแกรงโลหะชนิดมีรูกลมปรุทั่วไปพ่นด้วยสีดำด้าน การไหลของอากาศเป็นแบบธรรมชาติ ภายในตู้มีชั้นวางผลิตภัณฑ์ 3 ชั้น ส่วนบนของตู้อบปิดด้วยกระจกใสเอียงทำมุมประมาณ 14 องศากับแนวระดับ เมื่อทำการทดลองอบกล้วยน้ำว้าสุกในปริมาณต่างๆกัน เปรียบเทียบกับการตากกลางแจ้ง พบว่าการอบในตู้อบแห้งใช้เวลา 2 วันครึ่งเร็วกว่าการตากกลางแจ้ง โดยใช้ปริมาณกล้วย 10 กิโลกรัม ต่อตารางเมตรของพื้นที่รับรังสี

พจนา (2528) ศึกษาการอบแห้งกล้วยน้ำว้า โดยใช้เครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์แบบมีตัวรับรังสี การไหลของอากาศเป็นแบบธรรมชาติเปรียบเทียบกับการตากกลางแจ้ง พบว่าอัตราการอบแห้งของกล้วยในเครื่องอบแห้งสูงกว่าการตากกลางแจ้ง แต่สีผิวกล้วยเข้มไม่สม่ำเสมอ และเนื้อกล้วยแข็งกว่า เนื่องจากอุณหภูมิสูงเกินไป และการไหลหมุนเวียนของอากาศในเครื่องอบแห้งต่ำ ต่อมาได้ดัดแปลงเครื่องอบโดยติดพัดลมดูดอากาศขนาด 36 วัตต์ เพื่อช่วยการหมุนเวียนของอากาศ พบว่าอัตราการอบแห้งกล้วยสูงกว่าการตากกลางแจ้ง สีและความอ่อนนุ่มของกล้วยดีกว่าที่ได้จากการตากกลางแจ้ง

เริงจิต (2531) ทดลองอบแห้งกล้วยโดยใช้ลมร้อน โดยแช่กล้วยก่อนอบในน้ำปูนใสหรือน้ำเกลือ พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 54 องศาเซลเซียส และกล้วยที่แช่น้ำปูนใสหรือน้ำเกลือให้ผลไม่แตกต่างกัน เมื่อวิเคราะห์ส่วนประกอบของกล้วยอบแห้ง พบว่าปริมาณน้ำลดลงประมาณร้อยละ 43 จากกล้วยสุก ส่วนน้ำตาลเพิ่มขึ้นร้อยละ 8.36 ไขมันลดลงร้อยละ 0.10 กากอาหารเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.28 วิตามินซีจะสูญเสียไปภายหลังการอบแห้ง

กรรณีย์ (2530) ทดลองอบกล้วยน้ำว้า โดยผ่านกระบวนการต่างๆก่อนการอบ เพื่อรักษาคุณภาพของกล้วย 3 วิธี คือ วิธีรมควันกำมะถันก่อนอบแห้ง แบ่งเป็นกลุ่มที่แช่และไม่แช่สารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ในเวลาต่างกัน วิธีรมควันกำมะถันหลังอบแห้ง แบ่งเป็นกลุ่มที่แช่และไม่แช่สารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ในเวลาต่างกัน และวิธีไม่รมควันและไม่แช่สารละลาย พบว่าการรมควันกำมะถันก่อนอบและหลังอบ ทำให้กล้วยอบมีสีแตกต่างกันมาก และยังต่างจากชนิดไม่รมควันด้วย ชนิดของสารละลายและระยะเวลาต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

กันในการแช่สารละลาย ไม่ทำให้สีของกล้วยแตกต่างกันมากนัก และกล้วยน้ำว้าที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด คือ กล้วยที่ผ่านการแช่สารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 รมควันกำมะถัน 52 นาที เห็นได้ว่าคุณสมบัติทางกายภาพของกล้วยจะเปลี่ยนไปเมื่อผ่านขบวนการอบแห้งแล้ว

วิลาสินี (2532) ศึกษาคุณภาพเชิงฟิสิกส์ของกล้วยน้ำว้าอบแห้ง ที่ได้จากตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดอุตสาหกรรม พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบควรมีค่าระหว่าง 45 - 52 องศาเซลเซียส ซึ่งจะได้กล้วยที่มีสีเหลืองทองเนื้อนุ่ม มีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 24.97 - 33.56 (dry basis) และ 19.98 - 25.13 (wet basis) พบว่าความเข้มแสงอาทิตย์มีผลต่อสีกล้วย ถ้าให้กล้วยถูกแสงโดยตรงจะทำให้สีของกล้วยเข้มมากเกินไป จึงพัฒนาใช้ตาข่ายกรองแสงเพื่อลดความเข้มแสง พบว่าจะทำให้สีของกล้วยจางลง

สมชาติ และคณะ (1991) ทำการทดสอบสมรรถนะและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยพลังแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นเครื่องอบแห้งแบบผสม ตู้อบแห้งมีพื้นที่รับรังสี 12 ตารางเมตร และตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบชนิดมีกระจกอีกหนึ่งชั้นมีพื้นที่รับรังสี 31.7 ตารางเมตร การไหลเวียนของอากาศเป็นแบบบังคับ จากการทดลองอบแห้งกล้วยน้ำว้า พบว่าประสิทธิภาพกฎข้อที่หนึ่งของเครื่องอบแห้งแปรตามความชื้นเฉลี่ยของกล้วย และมวลแห้งของกล้วยต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่รับรังสีของเครื่องอบแห้ง ซึ่งมวลแห้งของกล้วยมีค่า 3.7 กิโลกรัมต่อตารางเมตร เวลาที่ใช้ในการอบแห้งเฉลี่ย 7 วัน (วันละ 6 ชั่วโมง) จากการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์พบว่าระยะคืนทุนระหว่าง 1.5 - 5.4 ปี เมื่อความแตกต่างของราคากล้วยที่อบในตู้และตากกลางแจ้งแปรผันระหว่าง 2 - 7 บาทต่อกิโลกรัม

สมชาติ และคณะ (1997) ศึกษาเปรียบเทียบวิธีการอบกล้วย โดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบหมุนเวียนอากาศตามธรรมชาติ (Solar natural convection drying : SNCD) เครื่องอบแห้งแก๊สแบบหมุนเวียนอากาศตามธรรมชาติ (LPG natural convection drying : LPGD) และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบบังคับการหมุนเวียนอากาศใช้แหล่งความร้อนจากแก๊สร่วมด้วย (Solar forced convection drying with supplemental heat from LPG : SFCD + LPG) พบว่าใน SNCD จะใช้เวลา 6 - 7 วัน (57 ชม.) ต่อการอบกล้วยหนึ่งครั้ง พลังงานที่ใช้ตอนเริ่มต้นและประสิทธิภาพการอบแห้งเท่ากับ 19.2 เมกะจูลต่อกิโลกรัมของน้ำที่ระเหยออกไป และร้อยละ 12.5 ตามลำดับ ส่วน LPGD จะใช้เวลา 5 วัน (45 ชม.) ต่อการอบกล้วยหนึ่งครั้ง พลังงานที่ใช้ตอนเริ่มต้นและประสิทธิภาพการอบแห้งเท่ากับ 8.4 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ของน้ำที่ระเหยออกไปและร้อยละ 30 ตามลำดับ และวิธีสุดท้าย คือ LPGD + LPG จะใช้เวลา 5 วัน (44 ชม.) ต่อการอบกล้วยหนึ่งครั้ง พลังงานที่ใช้ตอนเริ่มต้นและประสิทธิภาพการอบแห้งเท่ากับ 16.1 เมกะจูลต่อกิโลกรัมของน้ำที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ระเหยออกไป และร้อยละ 15.8 ตามลำดับ สำหรับการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า SNCD จะคืนทุนใน 3.6 ปี อัตราส่วนของกำไรต่อราคาเท่ากับ 1.2 ส่วน LPGD จะใช้เวลาคืนทุนสั้นที่สุด และมีอัตราส่วนกำไรต่อราคาสูง คือ 2 ปี และ 2.9 ตามลำดับ ส่วนวิธีสุดท้าย คือ LFCD + LPG จะใช้เวลานานกว่าจะถึงจุดคืนทุน ประมาณ 10 ปี และมีอัตราส่วนกำไรต่อราคาต่ำที่สุด คือ 0.6

วัฒนพงษ์ และสังวาลย์ (2535) ได้ศึกษาและพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบผสม สามารถใช้กับพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานเสริมจาก LGP มีระบบควบคุมการไหลเวียนของอากาศ ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์มีขนาด 7.5 ตารางเมตร ตู้อบมีปริมาตร 1.5 ลูกบาศก์เมตร อบแห้งกล้วยได้ครั้งละ 100 กิโลกรัม จะต้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้อบให้เหมาะสมกับอัตราการอบแห้งของกล้วย โดยใช้เวลาอบแห้งกล้วยประมาณ 32 ชั่วโมง

สุขฤดี (2525) ศึกษาการอบแห้งกล้วยน้ำว้า เพื่อประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้งโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์และLPG รวมทั้งพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยแสงอาทิตย์ และประเมินความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าประสิทธิภาพของระบบอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์และ LPG แปรตามความชื้นเฉลี่ยของกล้วยและอัตราการไหลจำเพาะของอากาศในลักษณะเชิงเส้น โดยมีวิธีการอบ 2 วิธี คืออบแบบหมุนเวียนใช้เวลาเฉลี่ยแต่ละงวด 6 วัน วันละ 6 ชั่วโมง และอบแบบต่อเนื่อง ใช้เวลาเฉลี่ยแต่ละงวด 66 ชั่วโมง การอบแห้งแบบต่อเนื่องจะสิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าแบบหมุนเวียน ซึ่งแบบต่อเนื่องจะคุ้มทุนภายใน 2 ปี ให้อัตราตอบแทนผลการลงทุนร้อยละ 58.8 แต่แบบหมุนเวียนจะคุ้มทุนภายในเวลา 3 ปี ให้อัตราตอบแทนผลการลงทุนร้อยละ 46.5

พรประภา (2545) ได้ทดลองทำกล้วยอบ โดยเปรียบเทียบกล้วยสุก 3 ชนิด ได้แก่ กล้วยน้ำว้า กล้วยไข่ และกล้วยหอมอบ โดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และเครื่องอบแห้งแบบถาด พบว่ากล้วยน้ำว้าที่สุกงอมมีความเหมาะสมที่สุด เพราะมีค่าแรงเฉือนมากหรือเหนียวมาก ซึ่งจะไม่ทำให้เกิดการช้ำง่ายและมีค่า Hue สูงกว่ากล้วยชนิดอื่น และพบว่าสภาวะที่เหมาะสมของการอบในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ คือ 4 วัน ส่วนเครื่องอบแห้งแบบถาด คือ 2 วัน ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส

กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ กรมวิทยาศาสตร์ กระทรวงอุตสาหกรรม (2522) ได้ทดลองสร้างเครื่องอบแห้งแบบกล่องรูปสี่เหลี่ยม ภายในทาสีดำ ด้านบนปิดด้วยกระจกโปร่งใส เจาะเป็นรูเล็กๆ เพื่อระบายอากาศและไอน้ำ ที่ระเหยออกจากวัสดุที่ด้านล่างและด้านข้าง วัสดุอบแห้งในขั้นแรกใช้กล้วยน้ำว้า บรรจุครั้งละ 200 ผลพบว่าอุณหภูมิในเครื่องอบอยู่ระหว่าง 58 - 75 องศาเซลเซียส กล้วยที่อบจะแห้งภายในเวลา 4 - 5 วัน และมีคุณค่าทางอาหารดีกว่ากล้วยที่ตากกลางแจ้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กลุ่มครูวิทยาลัยภาคตะวันตก (2523) ทดลองอบกล้วยน้ำว้าในเครื่องอบแห้งแบบมีตัวรับรังสีแผ่นราบ ปิดด้วยพลาสติกใสทั้งหมด จากผลการทดลองพบว่าจะใช้เวลาในการอบกล้วย 4 วัน และกล้วยที่แช่สารละลายเกลือ หรือโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้นร้อยละ 0.05 นาน 30 นาที ก่อนตาก จะได้กล้วยตากที่มีสีดีกว่ากล้วยตากกลางแจ้ง แต่รสชาติไม่แตกต่างกันมากนัก

**2. งานวิจัยการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ในผลิตภัณฑ์อื่นๆ**

Pablo (1978) ทดลองใช้ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์กับผลไม้บางชนิด พบว่าเมื่อใช้ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์อบแห้ง มะม่วง มะละกอ ขนุน และกล้วย จะใช้เวลาลดลงถึงร้อยละ 25 - 40 ของเวลาที่ใช้ในการตากแดด และผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังมีคุณภาพสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการตากแดด เมื่อนำผลิตภัณฑ์มาเก็บรักษาเปรียบเทียบกัน โดยบรรจุในถุงโพลิทีนแล้วเก็บไว้ที่ 30±2 องศาเซลเซียส พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ จะสามารถเก็บได้ถึง 4 - 5 สัปดาห์ ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการตากแดดจะสามารถเก็บได้เพียง 1 - 2 สัปดาห์เท่านั้น

ปิยรัตน์ และคณะ (2539) ได้ศึกษาหาวิธีการอบแห้งมะละกอแช่อิ่มที่เหมาะสมโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ มีการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์หาสภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ เวลาที่ใช้ในการอบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำ และคุณภาพของมะละกอแช่อิ่มอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ จากการเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าอัตราการอบแห้งจากการคำนวณใกล้เคียงกับผลการทดลอง จากการศึกษาวิธีการอบแห้งที่เหมาะสมโดยใช้แบบจำลอง พบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งช่วงแรก คือ ขนาดมะละกอ เท่ากับ 3.1 x 7.8 x 1.4 ตารางเซนติเมตรและอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 70 องศาเซลเซียสคือ ที่อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ 12 กิโลกรัมอากาศแห้ง/ชั่วโมงต่อกิโลกรัมของมะละกอแช่อิ่มแห้ง และอัตราส่วนอากาศเวียนกลับร้อยละ 70 สำหรับการอบแห้งในช่วงที่สอง ได้นำมะละกอแช่อิ่มจากช่วงแรกมาลดขนาดเป็น 0.98 x 0.98 x 0.98 ตารางเซนติเมตร พบว่าที่อุณหภูมิอบแห้ง 55 องศาเซลเซียส สภาวะอากาศที่เหมาะสม คือ อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ 10 กิโลกรัมอากาศแห้ง/ชั่วโมงต่อกิโลกรัมของมะละกอแช่อิ่มแห้ง และอัตราส่วนอากาศเวียนกลับร้อยละ 80

ฉัฏยา (2544) ได้ทดลองพัฒนากระบวนการผลิตมะม่วงแก้วอบแห้ง ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์และเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ โดยจะนำมะม่วงสุกไปแช่ในสารละลายผสมของน้ำตาลซูโครส กลีเซอรอล โซเดียมคลอไรด์และแคลเซียมคลอไรด์ ก่อนอบแห้ง เพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ คือ 45 องศาเซลเซียส ความดัน 20 มิลลิบาร์ และใช้เวลาในการทำแห้ง 4.78 ชั่วโมง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ใช้เวลาสั้นกว่าคือ 2.95 ชั่วโมง นอกจากนี้การใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ยังช่วยประหยัดพลังงานและสามารถลดต้นทุนการผลิตได้

วัฒนพงษ์ และคณะ (2534) ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดอุตสาหกรรมเพื่อใช้อบแห้งผลไม้ 3 ชนิด คือ กล้วย มะม่วงและมะขาม เครื่องอบแห้งที่ได้วิจัยพัฒนาเป็นแบบไฮบริด ซึ่งมีพัดลมดูดอากาศร้อนอุณหภูมิระหว่าง 31.25 - 74.40 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็ว 0.33 กิโลกรัมต่อวินาที จากตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ขนาด 36 ตารางเมตร ประสิทธิภาพจากการทดลองและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีค่าร้อยละ 28.01 และ 44.70 สามารถอบแห้งผลไม้มีความจุได้ครั้งละ 1,000 กิโลกรัมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้มีค่า 26.68 - 60.20 องศาเซลเซียส และร้อยละ 37.55 – 54.64 ตามลำดับ ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งมีค่าสูงสุดร้อยละ 34.55 โดยค่ารังสีดวงอาทิตย์มีค่าระหว่าง 485-1,050 วัตต์ต่อตารางเมตร พื้นที่รวมที่รับรังสีดวงอาทิตย์มีค่าร้อยละ 59.30 และ 92.90 การศึกษาพลังงานเสริมพบว่าการใช้พลังงานความร้อนจากไฟฟ้ามีแนวโน้มที่จะนำมาใช้ได้เหมาะสมกว่าพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงก๊าซ น้ำมันก๊าด แกลบ และซังข้าวโพด ระยะเวลาการอบแห้งผลไม้ด้วยตู้อบ คือ กล้วย มะม่วงและมะขาม ใช้เวลา 42 10 และ 11 ชั่วโมง ตามลำดับ สำหรับมะม่วงและมะขามต้องผ่านกระบวนการแช่อิ่มก่อนโดยมีความเข้มข้นของน้ำเชื่อม 40 - 50 องศาบริกซ์ คุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความชื้น อากาศ และความเข้มแสงภายในตู้อบ ความชื้นมาตรฐานแห้งของกล้วย มะม่วง และมะขามมีค่าร้อยละ 33 – 50, 26 - 30 และ 54 - 58 ตามลำดับ โดยกล้วยจะมีความนุ่มอยู่ระหว่าง 0.67-1.18 ตารางเมตรต่อนิวตัน ส่วนการยอมรับโดยประสาทสัมผัสในแง่กลิ่น รสชาติ ผิวสัมผัส และสีของกลุ่มตัวอย่างต่อผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ได้จากตู้อบแห้ง และวิธีธรรมชาติแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 สำหรับการตรวจสอบคุณภาพทางเคมี จากการหาปริมาณกรดทั้งหมดของกล้วยอบอยู่ระหว่างร้อยละ 0.56 - 0.63 pH 4.80-5.23 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 47.31 - 63.12 ซูโครสร้อยละ 10.00 - 17.75 ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนสีคือ อุณหภูมิ ความเข้มแสง ภาชนะ และวิธีการบรรจุหีบห่อ ความเข้มข้นของน้ำตาล การใช้สารละลาย $NaHSO_3$, Citric acid และสารละลายซูโครส มีผลต่อการยืดอายุการเปลี่ยนสีของกล้วยอบ การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ในกล้วยตาก พบว่า จำนวนแบคทีเรียที่มีชีวิตทั้งหมดมีค่าเฉลี่ย $10^5$ เซล/กรัม Staphylococcus aureus $10^4$ เซล/กรัม เชื้อราและยีสต์ $10^4$ cfu/g ค่าดังกล่าวเกินมาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม (สมอ.) ชี้ให้เห็นว่าจำเป็นต้องปรับปรุง ควบคุมและระมัดระวังด้านสุขาภิบาลในกระบวนการผลิตผลไม้อบแห้ง จุลินทรีย์ที่พบในกล้วยตากมีหลายชนิดส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียสกุล Bacillus และ Enterobacter เชื้อราและเชื้อยีสต์ที่พบในกล้วยตากมีหลายชนิดซึ่งเป็นจุลินทรีย์พวกที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง พวกที่ทนอุณหภูมิสูงและสามารถเจริญได้ในสภาพที่มีน้ำตาลความเข้มข้นสูง การศึกษาอิทธิพล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และการลดค่า $a_w$ ที่มีต่อการเจริญของเชื้อราและเชื้อยีสต์ ทำให้ทราบแนวทางควบคุมจุลินทรีย์ดังกล่าวในผลิตภัณฑ์ ส่วนผลการศึกษาความเหมาะสมและความเป็นไปได้ในการใช้เครื่องอบแห้งผลไม้ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดอุตสาหกรรมเชิงพานิชย์ จะคุ้มทุนภายในเวลา 3 ปี ซึ่งจากการวิเคราะห์สัดส่วนของผลประโยชน์ต่อการลงทุน ในกรณีที่ใช้อบแห้งกล้วยเพียงอย่างเดียวและอบแห้งผลไม้ทั้ง 3 ชนิด มีค่าเท่ากับร้อยละ 15.50 และ 52.92 ตามลำดับ

Exell (1979) สร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบธรรมชาติ โดยใช้เถ้าแกลบเป็นตัวดูดความร้อนจากแสงอาทิตย์ ผลการทดลองอบข้าวเปลือก หนา 15 เซนติเมตร พบว่าสามารถลดความชื้นจากร้อยละ 22 เหลือร้อยละ 14 ภายในเวลา 2 - 3 วัน อุณหภูมิเฉลี่ยภายในเครื่องอบแห้งประมาณ 45 องศาเซลเซียส

สมชาติ (2527) สร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบบังคับ โดยดัดแปลงหลังคาเหล็กอาบสังกะสีลูกฟูกเป็นตัวดูดรังสีไม่มีกระจกใสปิดด้านบน พื้นที่ของตัวรับรังสี 18.9 ตารางเมตร จากการทดลองพบว่า ตัวรับรังสีให้ประสิทธิภาพสูงสุดร้อยละ 29 ที่อัตราการไหลอากาศ 0.018 กิโลกรัมต่อวินาที-ตารางเมตร ถ้าตัวรับรังสีทาสีดำจะให้ประสิทธิภาพสูงกว่าตัวรับรังสีที่ไม่ทาสีและจากการทดลองอบข้าวเปลือก 900 กิโลกรัม พบว่าสามารถลดความชื้นจากร้อยละ 22 มาตรฐานแห้งเหลือร้อยละ 16 ในเวลา 1 วัน

**3. งานวิจัยการใช้เครื่องอบแห้งแบบถาด**

ภูธร (2541) ทำการศึกษาออกแบบและพัฒนาระบบการหมุนเวียนอากาศร้อนของเครื่องอบแห้งแบบถาด โดยทดลองอบข้าวเปลือกจำนวน 30 กิโลกรัม เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 43 องศาเซลเซียส โดยมีความเร็วลม 3.0 5.6 6.2 เมตร/วินาที และมีการกลับทิศทางอากาศร้อนทุก 1 2 3 ชั่วโมง และไม่มีการกลับทิศทางในแต่ละชุดการทดลอง พบว่าการกลับทิศทางอากาศร้อนทุก 2 ชั่วโมง ที่ความเร็วลม 5.6 เมตร/วินาที จะทำให้อัตราการลดลงของความชื้นของข้าวเปลือกในแต่ละชั้นถาดใกล้เคียงกันมากที่สุด

ธนิตย์ และคณะ (2542) ศึกษาแนวทางในการอบแห้งที่เหมาะสมของเม็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดหมุน (Rotating tray dryer) โดยทดลองอบแห้งเม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่สภาวะต่างๆเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้ง เกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณา คือ คุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง เวลาที่ใช้ในการอบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้ง จากการทดลองพบว่าเมื่ออุณหภูมิของอากาศเพิ่มขึ้น จะทำให้เวลาที่ใช้ในการอบแห้งลดลง และสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งเม็ดมะม่วงหิมพานต์ คือ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส สัดส่วนเวียน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กลับของอากาศที่ใช้อบแห้ง 0.45 โดยใช้อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ 70 กิโลกรัมอากาศแห้ง/ชั่วโมง-กิโลกรัมของเม็ดมะม่วงหิมพานต์แห้ง (ความเร็วลม 0.07 เมตร/วินาที) ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดี ใช้เวลาอบแห้งน้อย โดยพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งมีค่า 68.22 เมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำที่ระเหย หรือ 6.85 เมกะจูลต่อกิโลกรัมเม็ดมะม่วงหิมพานต์ ส่วนต้นทุนที่ใช้สำหรับระเหยน้ำออกเท่ากับ 260 บาทต่อกิโลกรัมน้ำที่ระเหย หรือ 26.13 บาทต่อกิโลกรัมเม็ดมะม่วงหิมพานต์

กิตติวัฒน์ (2537) ศึกษาการอบแห้งเม็ดมะม่วงหิมพานต์โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถาดอยู่กับที่ จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิของลมร้อนและความเร็วลมที่ใช้ในการอบแห้ง มีผลต่ออัตราการอบแห้ง การเพิ่มจำนวนถาดในการอบแห้งไม่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง การอบแห้งที่อุณหภูมิของลมร้อนสูงจะสิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนต่ำ การอบแห้งที่ความเร็วของลมร้อนหรือค่าความชื้นเริ่มต้นของเม็ดมะม่วงหิมพานต์สูง จะสิ้นเปลืองพลังงานสูง และผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสีเข้มกว่าผลิตภัณฑ์จากการอบแห้งที่อุณหภูมิของลมร้อนหรือค่าความชื้นเริ่มต้นของเม็ดมะม่วงหิมพานต์ต่ำและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 - 80 องศาเซลเซียส จะมีรสชาติมันกว่าการอบที่อุณหภูมิ 85 - 90 องศาเซลเซียส

**4. งานวิจัยปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์**

สิทธิวัฒน์ (2541) ศึกษากลไกการเกิดสีน้ำตาล ในระหว่างกระบวนการผลิตและเก็บรักษาซีอิ้วและเต้าเจี้ยว พบว่าการเกิดสีน้ำตาลในการหมักโมโรมิเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 3 วันแรก โดยความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดสีน้ำตาลและเวลาในการหมักจะเป็นไปตามรูปแบบของสมการถดถอยแบบยกกำลัง ในขณะที่ปริมาณ 5- hydroxymethyl-2-furaldehyde (HMF) ซึ่งเป็นดัชนีบ่งชี้การดำเนินไปของปฏิกิริยาเมลลาร์ดเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นจึงทำให้ทราบว่าปฏิกิริยาเมลลาร์ดเป็นเพียงกลไกส่วนหนึ่ง ยังมีกลไกอื่นๆอีก ได้แก่ การเกิดสีน้ำตาลแบบใช้เอนไซม์ ดังที่ผู้วิจัยได้ตรวจพบกิจกรรมของเอนไซม์ para-diphenol oxidase (DPO) ในโมโรมิโดยมีต้นกำเนิดมาจากเชื้อรา Aspergillus ที่ใช้ทำโคจิ ผู้วิจัยอนุมานว่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลในกระบวนการหมักโมโรมิที่สำคัญได้แก่ กิจกรรมของ proteolytic enzyme นอกจากนั้นความเข้มข้นของน้ำเกลือที่ใช้หมักก็มีผลต่อการเกิดสีน้ำตาล เนื่องจากเกลือมีผลยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ DPO ส่วนการเกิดสีน้ำตาลในระหว่างเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ เป็นไปในลักษณะความสัมพันธ์เชิงเส้นกับเวลาการเก็บรักษาและปริมาณ HMF ในระบบ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลในระหว่างเก็บรักษาคือ การให้ความร้อนในขั้นสุดท้ายของการผลิต ซึ่งก่อให้เกิดสารมัธยันต์ของปฏิกิริยาเมลลาร์ด สะสมอยู่ในผลิตภัณฑ์สำเร็จทำให้อัตราการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น

664.804232
W112 ค
เลขหมู่.....
สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

E.H. Ajandouz และคณะ (2001) ได้ศึกษาผลของค่า pH ต่อการเกิดปฏิกิริยาคาราเมไลเซชัน และเมลลาร์ด ในแบบจำลองของฟรุกโตสและฟรุกโตส-ไลซีน ทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระหว่าง pH 4.0 - 12.0 โดยวัดการสูญเสียสารจากการเปลี่ยนแปลง วัดการดูดกลืนแสงUV และการเกิดสีน้ำตาลทุกๆ pH ที่ทดลอง พบว่าในแบบจำลองฟรุกโตส การสูญเสียฟรุกโตสจะมีปริมาณต่ำ แต่เมื่อมีไลซีนอยู่ด้วย ปริมาณการสูญเสียของฟรุกโตสจะสูงกว่าไลซีน ไลซีนจะสูญเสียไปเพียงเล็กน้อยที่ pH ต่ำกว่า 8.0

M. Buglione และ J. Lozano (2002) ศึกษาปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ และการเปลี่ยนแปลงทางเคมีระหว่างการเก็บรักษาน้ำผลไม้เข้มข้นซึ่งทำจากองุ่นแดง 2 พันธุ์ (Merlot และCriolla) และองุ่นขาวพันธุ์ Yellow Muscat ซึ่งทำการศึกษาที่ช่วงอุณหภูมิ 10 - 30 องศาเซลเซียส วัดปฏิกิริยาโดยวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 และ 420 นาโนเมตร จากผลการทดลองพบว่าในระหว่างการเก็บรักษาน้ำผลไม้ที่ทำจากองุ่นพันธุ์ Merlot จะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีอย่างรวดเร็ว ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ อัตราส่วนของฟรุกโตสต่อกลูโคส และโพรลีน(กรดอะมิโนหลักที่พบในน้ำองุ่น) จะลดลง และจะเกิด HMF ขึ้นอย่างรวดเร็วในน้ำองุ่นพันธุ์ Criolla ซึ่งการวิเคราะห์หาปริมาณ HMF จะทำภายหลังเก็บรักษาเป็นเวลา 12 สัปดาห์ที่อุณหภูมิต่างๆ

Luis E. Rodriguez และคณะ (1997) ได้ศึกษาแบบจำลองอิทธิพลของน้ำตาล กรดแอสคอร์บิค กรดคลอโรจินิค และกรดอะมิโน ต่อการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ในมันฝรั่งทอด จะทำการกำจัดสารที่ละลายน้ำได้ของชิ้นมันฝรั่งหั่นบางโดยใช้น้ำและเอทานอล จากนั้นจะนำไปแช่ในสารละลายผสม pH 6.2 สารละลายนี้ประกอบด้วยซูโครส น้ำตาลรีดิวซ์(กลูโคสและฟรุกโตส) กรดแอสคอร์บิค กรดคลอโรจินิค และกรดอะมิโน (แอสปาราจีนและกลูตามีน) สารละลายนี้จะแทรกซึมเข้าไปในชิ้นมันฝรั่ง ทำการวัดองค์ประกอบในชิ้นมันฝรั่งที่ดูดซึมสารละลายแล้ว โดยการใช้ HPLC จากนั้นจะนำชิ้นมันฝรั่งไปทอด และวัดสี ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นโดยค่าสี L C h จากผลการทดลองพบว่ากรดแอสคอร์บิคจะส่งผลต่อสีของชิ้นมันฝรั่งที่ระดับน้ำตาลรีดิวซ์ต่ำ (40 มิลลิกรัม/ 100 กรัมหัวมันฝรั่ง) ส่วนซูโครสจะช่วยปรับปรุงสีของมันฝรั่งทอด

K.L. White และL.N. Bell (1999) ศึกษาผลของรูพรุน (porosity)และการยุบตัว (collapse) ต่อการสูญเสียกลูโคสและการเกิดสารสีน้ำตาลเนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด ในแบบจำลองอาหารแข็งความชื้นต่ำ กลูโคสและไกลซีนซึ่งมีโมลาร์เท่ากันถูกรวมกันเป็น amorphous polyvinylpyrrolidones ที่มีรูพรุน แตกต่างกันจากรูพรุนมากไปจนถึงการยุบตัว ตัวอย่างจะถูกเก็บในโถดูดความชื้น ที่ $a_w$ 0.33 - 0.44 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะศึกษาการสูญเสียกลูโคสและการเกิดสารสีน้ำตาลเป็นเวลา 3 เดือน พบว่าอัตราการสูญเสียกลูโคสใน collapsed systems จะต่ำกว่าใน non-collapsed systems

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนปริมาณรูพรุนไม่มีผลกับอัตราการสูญเสียกลูโคส การยุบตัวและรูพรุนมีผลน้อยมากต่ออัตราการเกิดสีน้ำตาล แต่จะมีผลกับปฏิกิริยาทางเคมีในของแข็งความชื้นต่ำ มีการศึกษาความสัมพันธ์ของแอคติวิตีของตัวกำจัดอนุมูลอิสระ (Radical-scavenging) และเม็ดสี (Brightly colored pigments)ในระยะเริ่มต้นของการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด

M. murakami และคณะ (2002) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดของไซโลสกับไกลซีน ฮิสทิดีน และอาร์จินีนจะ form เม็ดสี ฟ้า เหลือง และแดง ตามลำดับในระยะเริ่มต้น ถึงแม้ว่าจะพบแอคติวิตีของ Radical-scavenging ในระยะเริ่มต้นของปฏิกิริยาเมลลาร์ด แต่แอคติวิตีของมันจะเกิดก่อนการ form ตัวของเม็ดสี

M. Sawamura และคณะ (2000) ได้ศึกษาผลของ antioxidants ต่อการเกิดสีน้ำตาลและการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ เนื่องมาจาก dehydroascorbic acid (DHA) จะทดสอบประสิทธิภาพของ antioxidants คือ L-cysteine และ Sodium sulfite ต่อการเกิดสีน้ำตาลของสารละลาย 100 มิลลิโมลาร์ dehydroascorbic acid พบว่าการเกิดสีน้ำตาลจะถูกยับยั้งที่ 100 มิลลิโมลาร์ และ 40 มิลลิโมลาร์ cysteine และ Sodium sulfite ที่ความเข้มข้นสูงๆ แต่การเกิดสีน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นเมื่อสารทั้งสองอยู่ในระดับ 10 มิลลิโมลาร์ เนื่องจากสารเหล่านี้จะไม่รีดิวซ์ DHA ไปเป็น L-ascorbic acid (AA) จากผลการทดลองสามารถกล่าวได้ว่า การยับยั้งหรือการเร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจะเกี่ยวข้องกับการแตกตัวของ intermediates บางตัวของ DHA intermediates 2 ตัวที่ไม่มีสีซึ่งอยู่ระหว่างการแตกตัวของ DHA ในขั้นตอนสุดท้ายเพื่อเป็นสารสีน้ำตาล จะถูกพิจารณาว่ามีส่วนเกี่ยวข้องกับกลไกการเกิดสีน้ำตาล

Satu M. Lievonen และคณะ (2002) ศึกษาผลของน้ำตาลรีดิวซ์ ฟรุกโตส กลูโคสหรือไซโลส และ glass transition ต่ออัตราการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (NEB) ใน maltodextrin (MD) polyvinylpyrrolidone (PVP) และ water systems จะวัดอุณหภูมิของ glass transition ($t_g$) โดยใช้ DSC วัดปริมาณน้ำโดยใช้เครื่องวัดความถ่วงจำเพาะ และติดตามอัตราการเกิด NEB ทุกๆอุณหภูมิ โดยใช้ Spectrophotometrically ที่ 280 และ 420 นาโนเมตร พบว่าน้ำตาลรีดิวซ์จะไม่มีผลต่อปริมาณน้ำ แต่ไซโลสจะลด $t_g$ ในแบบจำลองของแข็ง น้ำตาลที่ลดลงในการเกิด NEB เรียงตามลำดับ คือ ไซโลส >ฟรุกโตส> กลูโคส การเกิด NEB และอุณหภูมิจะขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว อัตราของ NEB ในแบบจำลองของแข็งจะเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 10 - 20 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่า $t_g$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**4. งานวิจัยวิธียับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล**

พรประภา (2545) ศึกษาวิธียับยั้งปฏิกิริยาฟีนอลออกซิเดสในกล้วยอบ โดยทดลองแช่กล้วยน้ำว้าสุกงอมในสารละลายต่างๆ เช่น โซเดียมคลอไรด์ แคลเซียมคลอไรด์ น้ำเชื่อม ส่วนผสมระหว่างกรดแอสคอร์บิคและกรดซิตริกในอัตราส่วน 1 : 1 และลวกที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นาน 6 นาที เปรียบเทียบกับชุดควบคุมโดยไม่แช่สารละลายเหล่านี้ แล้วนำกล้วยไปอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่าการแช่กล้วยในสารละลายกรดที่มีค่า pH 4.5 เป็นเวลา 15 นาที ให้ผลยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ดีที่สุด

เศวตฉัตร (2542) ทำการศึกษาดัชนีความสุกของกล้วย และปริมาณกรดซิตริกที่ใช้ในการยับยั้งการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของกล้วยน้ำว้าผง พบว่าดัชนีความสุกและปริมาณกรดซิตริกที่เหมาะสมคือ CP 6 (กล้วยสีเหลืองทั้งลูก) และใช้ปริมาณกรดซิตริกที่ร้อยละ 0.5 จะให้ค่าสีและกลิ่นของกล้วยเข้าใกล้ค่าในอุดมคติมากที่สุด และศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการอบ โดยศึกษาที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส เวลา 4 5 และ 6 ชั่วโมง พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม คือ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 6 ชั่วโมง โดยวัดค่าความชื้นได้เท่ากับร้อยละ 2.6328 ค่า $a_w$ = 0.2455 ค่าสี L* = 83.38, a* = 0.85, b* = 23.32

ณภัศศรณ์ (2544) ศึกษาผลของกรดแอสคอร์บิค ต่อแอคติวิตีของเอนไซม์ POD และ PPO ในสภาพ *in vivo* โดยการแช่ชิ้นเนื้อผลฝรั่งพันธุ์กลมสาลี่ ในสารละลายกรดแอสคอร์บิคความเข้มข้นร้อยละ 0 0.1 และ 1 เป็นเวลา 2 นาที แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง พบว่าในทุกชุดการทดลองแอคติวิตีของเอนไซม์ POD มีค่าเพิ่มขึ้น และสูงสุดที่ชั่วโมงที่ 24 สารประกอบฟีนอลทั้งหมดมีปริมาณค่อยๆ ลดลงและต่ำสุดในชั่วโมงที่ 24 รวมทั้งการเกิดสีน้ำตาลมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เก็บรักษา ส่วนแอคติวิตีของเอนไซม์ PPO มีค่าต่ำมากในทุกระดับความเข้มข้น ในทางตรงกันข้ามกรดแอสคอร์บิคความเข้มข้นร้อยละ 0.05 และ 0.1 มีผลทำให้แอคติวิตีของเอนไซม์ทั้งสองชนิดในสภาพ *in vitro* ลดต่ำลง โดยระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ให้ผลดีกว่าร้อยละ 0.05

เชิดพงษ์ (2538) ทดลองนำกล้วยน้ำว้าที่มีความสุกเต็มที่มาปอกเปลือก ผ่าครึ่งตามความยาวของผล ปาดเอาส่วนที่เป็นไส้ในของกล้วยทิ้ง แล้วตัดตามขวางให้มีความยาวเป็นท่อนละประมาณ 2 - 3 เซนติเมตร จากนั้นลวกเนื้อกล้วยที่ได้ในน้ำเดือด 5 นาที เพื่อยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning Reaction)

Cano และคณะ (1990) พบว่าการลวกผลกล้วยในน้ำเดือดนาน 11 นาที ก่อนการแช่แข็งช่วยยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลหลังการละลายน้ำแข็งได้เป็นอย่างดี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Nip (1985) กล่าวว่าการให้ความร้อนอุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลาสั้นๆกับผลลิ้นจี่ สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้ แต่จะทำให้ผลแตกและสีซีดลง ถึงแม้ว่าการลวกจะสามารถทำลายเอนไซม์ได้ แต่ไม่นิยมนำมาใช้กับผลไม้ที่จะนำมารับประทานสด

Sapers และคณะ (1990) พบว่าการใช้ sodium erythorbate ร้อยละ 4.5 และcalcium cloride ร้อยละ 0.2 สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้ในชิ้นเนื้อผลแอปเปิ้ล โดยผลของการใช้จะแตกต่างกันไปในระหว่างพันธุ์

Sapers และ Ziolkowski (1987) พบว่าการจุ่มชิ้นแอปเปิ้ลพันธุ์ Red Dilicious และ Wine Sap ลงในสารละลายกรดแอสคอร์บิค หรือ กรดอิริโทรบิค (erythorbic acid) ความเข้มข้นตั้งแต่ร้อยละ 0.8 - 1.6 เป็นเวลา 90 วินาที สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลให้ช้าลงได้

Pre'stamo และ Manzano (1993)พบว่าการใช้กรดแอสคอร์บิค ความเข้มข้นตั้งแต่ 2 - 170 ไมโครโมลาร์ สามารถยับยั้งแอคติวิตีของเอนไซม์ PPO อย่างสมบูรณ์ ในสภาพ in vitro ในผลกีวี มันฝรั่ง แครอท มะเขือเทศ ดอกกะหล่ำ และถั่วเขียว โดยเมื่อเติมกรดแอสคอร์บิคเพิ่มขึ้นสามารถชะลอแอคติวิตีของเอนไซม์ได้นานขึ้น

Del Valle. และคณะ (1998) ได้ทำการทดลองลวกชิ้นแอปเปิลแบบ HTST ซึ่งใช้อุณหภูมิน้ำ 40 องศาเซลเซียส จะทำให้ PPO ถูกยับยั้งน้อยที่สุดและเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 55 - 65 องศาเซลเซียส จะยับยั้ง PPO ได้มากขึ้น แต่จะทำให้ตัวอย่างนิ่มขึ้น แต่การนิ่มนี้ทำให้ลดลงโดยใช้ $CaCl_2$ ร้อยละ 0.6 เติมระหว่างการลวก พบว่าตัวอย่างลวกที่ 40 องศาเซลเซียส จะนิ่มกว่าลวกที่ 55 องศาเซลเซียส ในสารละลายแคลเซียม (15 นาที)

Giami และ Alu (1994) พบว่า Plantian (Musa spp., AAB Group) pulp ที่ไม่สุกจะมีกิจกรรม PPO ต่ำ และมี Polyphenols ทั้งหมดต่ำ แต่มีระดับของกรดแอสคอร์บิคและ carotenoid สูง และการเกิดสีน้ำตาลน้อยที่สุด การสุกจะทำให้ crude protein และ total ash เพิ่มขึ้นแต่ปริมาณคาร์โบไฮเดรทและไขมันของ pulp ลดลง

Gomes (1997) ได้ศึกษาผลของความดันในการยับยั้งกิจกรรมของ PPO พบว่าการใช้ความดันอย่างเดียวไม่สามารถทำได้ แต่ต้องสามารถใช้ความดันร่วมกับอุณหภูมิ เวลาและ pH ร่วมด้วย ซึ่งการใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที จะยับยั้งได้อย่างสมบูรณ์เช่นเดียวกับการใช้ความดัน 800 มิลลิปาสคาล นาน 10 นาที

Toivonen (1992) ได้รายงานว่ารากหรือหัวข้อของพาร์สนิพ (parsnip) ที่เกิดสีน้ำตาลบริเวณบาดแผลขึ้นอยู่กับพันธุ์และการเกิดสีน้ำตาลบริเวณบาดแผลสามารถลดได้ โดยการจุ่มในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ กรดซิตริกหรือกรดแอสคอร์บิคหรือจุ่มในสารละลายทั้งสามรวมกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved