# บทที่ 2
# เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

**2.1 ผลหม่อนและการใช้ประโยชน์**

หม่อนเป็นพืชที่อยู่ในวงศ์ Moraceae ตระกูล *Morus* spp. มีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบเขตหนาว (temperate zone) จัดเป็นไม้ผลในกลุ่ม deciduous fruit plant หรือประเภท hard wood คือ ใบจะร่วงในฤดูใบไม้ร่วง และมีการพักตัวในฤดูหนาว ตาดอกอยู่รวมกัน มีผลแบบผลรวม (mix bud) พันธุ์หม่อนที่มีปลูกกันอยู่ทั่วโลกมีมากมายหลายพันธุ์ มีแหล่งกำเนิดกระจายกว้างขวางมาก ส่วนใหญ่เป็นการปลูกเพื่อนำใบไปเลี้ยงไหม แต่มีอีกหลายพันธุ์ที่นำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ เช่น การรับประทานผลสด พันธุ์หม่อนที่รับประทานผลที่ปลูกในประเทศไทยเพื่อเก็บผลผลิตใบหม่อนแล้วเก็บผลผลิตผลหม่อนเป็นผลพลอยได้ (วสันต์, 2545) ได้แก่

1. **พันธุ์เชียงใหม่** มีปลูกในภาคเหนือมานานแล้ว มีการปลูกกระจายทั่วไปทางภาคเหนือตอนบนและใบหมู่บ้านชาวไทยภูเขาในเขตภูเขาสูงของภาคเหนือ ต้นหม่อนที่มีอายุปีที่ 3 สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ 600-700 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี และเมื่อต้นหม่อนมีอายุมากขึ้นจะให้ผลผลิตผลหม่อนสูงขึ้นตามลำดับ ในช่วงฤดูฝนจะให้ผลผลิตใบหม่อนไม่ต่ำกว่า 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี

2. **พันธุ์บุรีรัมย์ 60** เป็นพันธุ์หม่อนที่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์ โดยใช้หม่อนพื้นเมืองของไทยผสมกับหม่อนพันธุ์ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศคือ พันธุ์จีนเบอร์ 44 ให้ผลผลิตใบหม่อนประมาณ 3,500 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี และให้ผลผลิตผลหม่อนไม่ต่ำกว่า 500 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี

3. **พันธุ์ศรีสะเกษ 33** เป็นหม่อนลูกผสมเปิดของหม่อนพันธุ์ Jing Mulberry จากประเทศจีน มีคุณลักษณะต้านทานต่อโรคใบด่างได้ดีกว่าหม่อนพันธุ์อื่นๆ มีผลค่อนข้างใหญ่ สามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ดี และให้ผลผลิตใบหม่อนปีละ 1,500 กิโลกรัมต่อไร่

4. **หม่อนป่า** เป็นพันธุ์หม่อนที่ยังไม่มีการศึกษาในด้านจำแนกพันธุ์ พบว่ามีขึ้นอยู่กระจายทั่วไปทั้งทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือ เจริญเติบโตได้ในที่ที่มีความชื้นสูง โดยเฉพาะตามริมห้วยและแม่น้ำ เป็นไม้ป่าที่ยืนต้น พบได้ทั้งต้นที่เป็นเพศผู้และเพศเมีย บางต้นพบว่ามีความสูงประมาณ 50 เมตร และมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้น 1 เมตร มีอายุมากกว่า 100 ปี มีการสลัดใบทิ้งและพักตัวในฤดูหนาว จากนั้นจะผลิตา ใบ และดอกจะเริ่มบานประมาณต้นเดือนมกราคม และสุกในช่วงเดือนมีนาคมถึงเมษายน ผลอ่อนมีสีเขียวและเมื่อสุกเต็มที่สีผลจะเปลี่ยนเป็นสีขาวครีม กลิ่นหอม และมีรสหวาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลหม่อน เป็นผลไม้ที่มีลักษณะคล้าย blackberry ซึ่งเป็นผลรวมที่ประกอบด้วยผลเล็กๆ จำนวนมาก ที่เรียกว่า drupes ในทางพฤกษศาสตร์ไม่ได้จัดรวมอยู่ในกลุ่มของ berry อย่างแท้จริง ผิวของผลเรียบและบอบบาง ผลสีเขียว (white mulberry) จะไม่มีรสชาติ จะเปลี่ยนเป็นสีแดงและจะเปลี่ยนเป็นสีม่วงดำเมื่อสุกเต็มที่ บางสายพันธุ์มีปริมาณน้ำตาลมากกว่าร้อยละ 20 มีคุณค่าทางอาหาร (ตาราง 2.1) เมื่อเร็วๆ นี้ได้มีการศึกษา พบว่าผลหม่อนมีสารกันการออกซิเดชั่น ซึ่งมีผลในการต้านอนุมูลอิสระ สามารถยับยั้งกระบวนการออกซิเดชั่นของไขมันแอล ดี แอล (Low density lipoprotein; LDL) ได้ ซึ่งเป็นการช่วยลดการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจได้อีกทางหนึ่ง แต่อย่างไรก็ตามยังมีข้อควรระวังในการบริโภคผลหม่อน ถ้าบริโภคผลหม่อนในปริมาณที่มากเกินไป จะมีฤทธิ์เป็นยาระบาย ผลหม่อนสีเขียวหรือผลหม่อนที่ยังไม่สุก หากบริโภคเข้าไปในปริมาณมาก จะทำให้เกิดอาการประสาทหลอนได้ และยังเป็นสาเหตุทำให้เกิดอาการคลื่นไส้อาเจียน (Anonymous, 2003a)

การพัฒนาการของผลหม่อนเริ่มจากดอกหม่อนจะแตกออกมาพร้อมกับใบ จะบานหลังจากแตกช่อใบพร้อมช่อดอกประมาณ 8-12 วัน ดอกที่บานเต็มที่ยอดเกสรตัวเมียจะมีลักษณะสีขาวใส เมื่อได้รับการผสมเกสรจะเปลี่ยนสีเป็นสีเทาภายใน 3 วัน จากนั้นจะมีการพัฒนาการของผลโดยสีของผลจะเริ่มจากสีเขียว ขาว ชมพู แดง และสีดำ รวมระยะเวลาหลังจากดอกบานประมาณ 40-45 วัน ผลจะเริ่มสุกและแก่ ลักษณะผลหม่อนจะอวบน้ำและประกอบไปด้วยน้ำหวานเมื่อผลแก่เต็มที่ จากนั้นผลจะเริ่มนิ่มลงมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นถึงระยะประมาณ 56 วันหลังจากดอกบาน โดยจะมีน้ำตาลรีดิวซ์สูงถึง 65 กรัมต่อลิตร แต่ปริมาณกรดจะลดลงเรื่อยๆ ทั้งนี้ที่ลักษณะของสีของผลไม่สามารถบ่งชี้ถึงลักษณะของพันธุ์ได้ เช่น พันธุ์ white mulberry จะมีสีของผลเป็นสีขาว ชมพู แดง และสีดำ ผลจะมีความหวานมาก แต่จะมีส่วนประกอบของสารที่ให้ความเปรี้ยวปนอยู่ด้วย พันธุ์ red mulberry มีผลสีแดงเข้มไปจนถึงสีดำ ส่วนพันธุ์ black mulberry จะมีผลขนาดใหญ่และมีน้ำหวานอยู่มาก นอกจากนั้นผลหม่อนเป็นผลไม้ที่มีสัดส่วนของความหวาน (sweetness) และความเปรี้ยว (sourness) ที่สมดุลกัน ซึ่งรสชาติความเปรี้ยวของผลหม่อนจัดได้ว่ามีระดับใกล้เคียงกับผลขององุ่น จากการทดสอบชิมพบว่าผลหม่อนสุกและสุกจัดได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมมากที่สุด (วสันต์, 2545) นอกจากนี้ผลหม่อนสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ 2 ด้าน ได้แก่

1. ด้านพืชสมุนไพร ตำราสมุนไพรจีนกล่าวถึงสรรพคุณของผลหม่อนไว้มากมาย เช่น ใช้รักษาโรคไขข้อ บำรุงหัวใจ บำรุงผมให้ดกดำ เส้นประสาทตาดี สายตาแจ่มใส

2. อาหารและเครื่องดื่ม ผลหม่อนสุกใช้รับประทานสด และสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์น้ำหม่อนพร้อมดื่ม และไวน์หม่อน กากที่เหลือใช้ทำแยมได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตาราง 2.1** ส่วนประกอบทางเคมีของผลหม่อน (ต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม)

| ส่วนประกอบ | ผลหม่อนสุก[1] | ผลหม่อนสุก[2] | ผลหม่อนสุก[3] |
|---|---|---|---|
| คาร์โบไฮเดรต (กรัม) | 21.35 | 8.30 | 10.30 |
| โปรตีน (กรัม) | 1.68 | 1.50 | 1.10 |
| ไขมัน (กรัม) | 0.47 | 0.49 | 0.40 |
| แคลเซียม (มิลลิกรัม) | 21.00 | 80.00 | - |
| ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม) | 43.48 | 10.00 | - |
| เหล็ก (มิลลิกรัม) | 25.00 | 1.90 | - |
| วิตามินเอ | 50.65 | 174.00 | 35.00 |
| วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม) | 3.66 | 9.00 | 57.00 |
| วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม) | 930.10 | 9.00 | - |
| วิตามินบี 6 (มิลลิกรัม) | 4.16 | 184.00 | - |
| วิตามินซี (มิลลิกรัม) | 6.87 | - | 12.00 |
| กรดโฟลิก (มิลลิกรัม) | 0.72 | - | - |
| ไนอะซิน (มิลลิกรัม) | 1.06 | - | - |
| แทนนิน (มิลลิกรัม) | 1.51 | - | - |
| กรดซิตริก (กรัม) | - | - | - |
| กรดนิโคตินิค (กรัม) | - | - | - |
| กรดแอสคอร์บิก (กรัม) | 2.03 | 0.80 | - |
| เส้นใย (กรัม) | 1.52 | 13.00 | 1.10 |
| เถ้า (กรัม) | 5.90 | 1.40 | - |
| ค่าความเป็นกรด-ด่าง | 72.91 | 0.90 | - |
| แคลอรี่ | - | 87.50 | 49.00 |

[1] วสันต์ (2545)
[2] James (1983)
[3] Anonymous (2003b)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลหม่อน เมื่อทำการตากแห้ง จะมีน้ำตาลอยู่ปริมาณมาก กลิ่นหอม รสหวาน ฤทธิ์เย็น มีวิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามินซี ผล ราก เปลือกหุ้มราก กิ่งใบ ยางต้นหม่อน และยางจากใบ ล้วนใช้เป็นยาได้ทั้งสิ้น ในทางการแพทย์จีนโบราณถือว่า ผลหม่อนเป็นยาบำรุงกำลัง บำรุงประสาท แก้อาการนอนไม่หลับ ใบหม่อนเป็นยาลดความดันเลือด กิ่งหม่อนเป็นยาแก้ไขข้ออักเสบ ปวดเมื่อยตามร่างกาย เปลือกหุ้มรากเป็นยาขับปัสสาวะ แก้ไอ แก้อาการบวมน้ำ (พจชนัน, 2545)

การเก็บรักษาผลหม่อนเพื่อบริโภคสดหรือเพื่อการแปรรูปนั้น เนื่องจากผลผลิตผลหม่อนในฤดูกาลมีระยะเวลาการเก็บเกี่ยวสั้น ทำให้การนำผลหม่อนไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ จำเป็นต้องดำเนินการอย่างเร่งด่วน เพื่อมิให้ผลหม่อนที่สุกเกิดความเสียหาย ดังนั้นการเก็บรักษาผลหม่อนเพื่อให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เป็นระยะเวลานานมากขึ้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง การเก็บรักษาผลหม่อนนั้นจะแตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้ประโยชน์ คือ

1. การเก็บรักษาเพื่อการบริโภคผลสด ควรเก็บผลหม่อนจากต้นในระยะที่มีผลสีแดงเข้ม นำมาใส่ภาชนะที่โปร่งวางซ้อนกันไม่สูงมากนัก จะสามารถเก็บรักษาผลหม่อนได้เป็นระยะเวลา 2-3 วัน โดยที่คุณภาพของผลหม่อนยังคงเดิม คือ มีรสชาติหวานอมเปรี้ยว ซึ่งมีความหวานร้อยละ 8-10 และมีปริมาณกรด 1.7-2.0 กรัมต่อลิตร มีสีแดงอมม่วงหรือดำ หากเก็บนานกว่านี้ จะทำให้ผลหม่อนมีปริมาณกรดน้อยลง และเปลี่ยนเป็นสีดำ ทำให้ไม่น่าบริโภค

2. การเก็บรักษาในห้องเย็น ควรเก็บรักษาไว้โดยบรรจุในถุงพลาสติกขนาดบรรจุถุงละ 10 กิโลกรัม หรือบรรจุลงในตะกร้าผลไม้ แล้วนำไปเก็บในห้องเย็นที่มีอุณหภูมิ -14 องศาเซลเซียส จะเก็บได้นาน 6 เดือน (วสันต์, 2545)

**2.2 การทำแห้งอาหาร (Food drying or Food dehydration)**

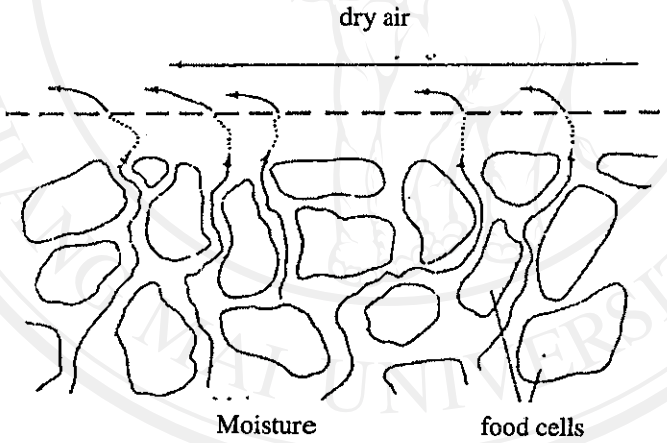
การทำแห้งหรือการกำจัดน้ำ (drying หรือ dehydration) เป็นกระบวนการที่ใช้ในการแปรรูปหรือใช้ในการถนอมอาหารมาเป็นเวลานานนับศตวรรษ เนื่องจากมนุษย์ต้องการเก็บอาหารที่หามาได้เอาไว้รับประทานในช่วงที่อาหารขาดแคลนหรือช่วงนอกฤดูเก็บเกี่ยว วิธีที่ง่ายที่สุดคือการทำแห้ง (วราวุฒิ, 2538) ดังนั้น การทำแห้งหรือการกำจัดน้ำ หมายถึง การใช้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุม เพื่อกำจัดน้ำส่วนใหญ่ที่อยู่ในอาหาร โดยการระเหยน้ำออก ซึ่งน้ำเป็นสารประกอบที่มีอยู่ในอาหาร ตามธรรมชาติทั่วไปมีอยู่ระหว่างร้อยละ 7-95 เป็นส่วนประกอบหลักของอาหารทุกชนิดโดยอยู่ในรูปอิสระ (free water) และเกาะเกี่ยวกับสารอื่น (bound water) น้ำอิสระเป็นน้ำที่แทรกอยู่ในช่องว่างของอาหาร อาจมีการเกาะตัวกับองค์ประกอบของอาหารด้วยแรงที่ไม่แข็งแรงมากนัก มีคุณสมบัติเหมือนน้ำปกติ สามารถเป็นตัวทำละลายได้ มีส่วนเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมีและจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการดำรงชีวิตได้ แต่น้ำส่วนนี้ก็ยังมีคุณสมบัติไม่เหมือนกับน้ำอิสระใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ธรรมชาติอย่างแท้จริง วัตถุประสงค์ของการกำจัดน้ำคือการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารโดยการลดค่า water activity ($a_w$) ให้ต่ำกว่า 0.70 (สุคนธ์ชื่น, 2539) ซึ่งมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ ในกระบวนการทำแห้งทำให้เกิดการสูญเสียทั้งคุณภาพการบริโภคและคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร (วิไล, 2545)

**กลไกการทำแห้งด้วยลมร้อน**

เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านผิวหน้าอาหารที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวนอกของอาหาร ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอน้ำ (latent heat of vaporization) จะทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอน้ำ และแพร่ผ่านฟิล์มอากาศ และถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ (ภาพ 2.1) ทำให้บริเวณผิวนอกของอาหารมีความดันของไอน้ำลดลง เกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำระหว่างอากาศภายนอกกับความชื้นภายในชิ้นอาหาร จึงเป็นแรงขับให้น้ำจากภายในเคลื่อนย้ายออกมาที่ผิวนอกของอาหาร (วิไล, 2545) ซึ่งการถ่ายเทมวลและความร้อนระหว่างการลดความชื้นแต่ละบริเวณอาหารสามารถแยกชนิดของการถ่ายเทความร้อนได้ดังตาราง 2.2




ที่มา : วิไล (2545)

**ภาพ 2.1** การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการทำแห้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

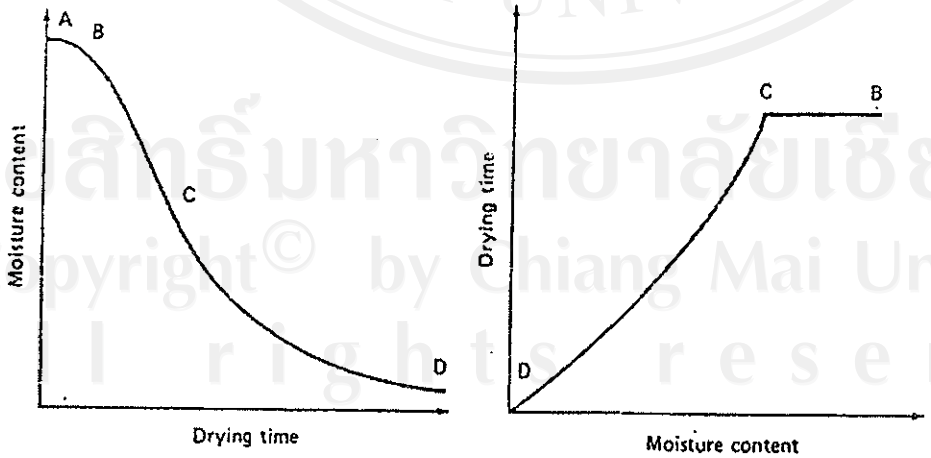
เมื่อนำอาหารมาใส่ในเครื่องทำแห้ง ช่วงเวลาสั้นๆ ตอนเริ่มการอบแห้งจะเป็นเวลาที่ใช้ในการทำให้ผิวหน้าของอาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึงอุณหภูมิกระเปาะเปียก ซึ่งเป็นช่วง AB (ภาพ 2.2) หลังจากนั้นจะเป็นช่วงการทำให้แห้ง โดยน้ำจะเคลื่อนที่จากด้านในของอาหารออกมาด้วยอัตราเร็วเท่ากับน้ำที่ระเหยออกจากผิวหน้า ผิวหน้าจึงยังเปียกอยู่ เรียกช่วงนี้ว่าเป็นช่วงอัตราเร็วคงที่ (constant rate period, BC) และช่วงต่อเนื่องไปจนถึงความชื้นวิกฤต แต่ในทางปฏิบัติผิวหน้าของอาหารจะค่อยๆ แห้งด้วยอัตราเร็วที่ต่างกัน และอัตราการทำให้แห้งโดยรวมจะค่อยๆ ลดลง

ในช่วงของอัตราเร็วคงที่ จุดความชื้นวิกฤตของอาหารแต่ละชนิดจึงไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับปริมาณของอาหารในเครื่องทำแห้ง และอัตราการทำให้แห้ง สมบัติของอากาศขณะที่มีอัตราการระเหยออกของน้ำคงที่ คือ ต้องมีอุณหภูมิกระเปาะแห้งสูง มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ และอากาศเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง เมื่อความชื้นของอาหารลดลงต่ำกว่าความชื้นวิกฤต อัตราการทำแห้งก็จะลดลงจนเข้าใกล้ศูนย์ที่ความชื้นสมดุล (ความชื้นในอาหารสมดุลกับความชื้นในอากาศแห้ง) หรือที่เรียกว่าเป็นช่วงอัตราลดลง (falling-rate period, CD) (วิไล, 2545)

**ตาราง 2.2** การถ่ายเทมวลและความร้อนระหว่างการลดความชื้น

| บริเวณของอาหาร | ชนิดของการถ่ายเท | ชนิดของการถ่ายเทความร้อน |
|---|---|---|
| ฟิล์มบาง | การแพร่ของไอน้ำ | การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี |
| เปลือกแข็ง | การแพร่ของไอน้ำ | การนำความร้อน การเคลื่อนที่ของไอน้ำ (การพาความร้อน) |
| บริเวณการระเหย | การแพร่ของไอน้ำ การแพร่ที่ผิวการไหลเนื่องจากแรงแคปิลารี | การนำความร้อน การเคลื่อนที่ของไอน้ำและน้ำ |
| ภายในอาหาร | การเคลื่อนที่เนื่องจากแรงแคปิลารี | การนำความร้อน |

ที่มา : วิไล (2545)




ที่มา : วิไล (2545)

**ภาพ 2.2** ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการอบแห้งและความชื้นในอาหาร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยทั่วไปปริมาณน้ำที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์มักถูกนิยามไว้ในรูปของความชื้นหรือสัดส่วนของน้ำต่อมวลวัตถุ สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ (Hall, 1980)

1. ความชื้นฐานเปียก (wet basis) คือ ปริมาณความชื้นแบบคิดเทียบน้ำหนักเปียก

$$\%MC_{wb} = \frac{W_w}{W_w + W_d} \text{ x } (100\%)$$

2. ความชื้นฐานแห้ง (dry basis) คือ ปริมาณความชื้นแบบคิดเทียบน้ำหนักแห้ง

$$\%MC_{db} = \frac{W_w}{W_d} \text{ x } (100\%)$$

โดยที่ $MC_{wb}$ คือ ความชื้นฐานเปียก (wet basis)

$MC_{db}$ คือ ความชื้นฐานแห้ง (dry basis)

$W_w$ คือ มวลของวัสดุ

$W_d$ คือ มวลของวัสดุแห้ง

**การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารระหว่างการอบแห้ง**

1. ผลของการอบแห้งที่มีต่อคุณค่าอาหาร การอบแห้งจะระเหยไล่ความชื้นหรือน้ำออกจากอาหาร และเพิ่มความเข้มข้นขององค์ประกอบของอาหาร เช่น แป้ง ไขมัน โปรตีน การถนอมอาหารโดยวิธีอบแห้ง จะทำให้คุณภาพลดลงโดยเฉพาะวิตามินที่ละลายน้ำจะสูญเสียไปกับน้ำจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่น และถ้ามีการลวกหรือแช่สารเคมีก่อนการอบแห้งเพื่อหยุดปฏิกิริยาเอนไซม์ วิตามินจะลดลงอีก แต่การตากแดดแห้งวิตามินจะลดลงไปมากกว่าการอบแห้งโดยใช้เครื่องมืออบแห้งคือ การอบแห้งโดยวิธีการตากแห้งไม่สามารถควบคุมปัจจัยต่างๆ ได้ เช่น ความชื้น อากาศ แสงแดดและอุณหภูมิ ส่วนการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งจะสามารถควบคุมปัจจัยต่างๆ ดังกล่าวได้ (สมบัติ, 2529)

2. ผลของการอบแห้งที่มีต่อคาร์โบไฮเดรต การทำให้อาหารแห้งมีผลต่ออาหารพวกคาร์โบไฮเดรต จะมีปัญหาเรื่องการเกิดการเปลี่ยนสีของผลไม้ตากแห้งซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่อาศัยเอนไซม์ (non-enzymetic browning reaction) ซึ่งปฏิกิริยานี้เกิดจากปฏิกิริยาของกรดอะมิโนในผลไม้กับน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาล การป้องกันโดยการใช้สารเคมีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ($SO_2$) หรือโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ และการรมควันจะสามารถควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในอาหารแห้งได้ แต่อาหารนั้นต้องมีความชื้นน้อยมากๆ โดยอาหารอบแห้งจะเกิดสีน้ำตาลถ้าอาหารนั้นมีความชื้นร้อยละ 30 (รุ่งนภา, 2538)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

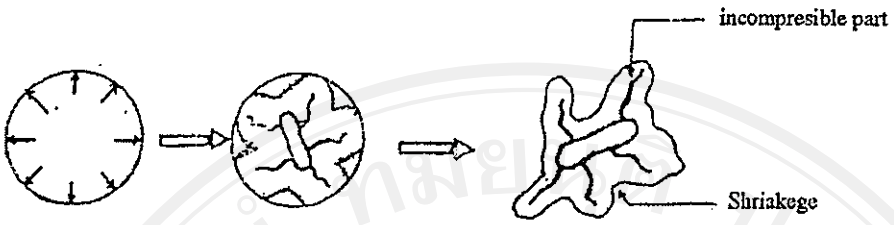
3. ผลของการอบแห้งที่มีต่อเอนไซม์ กิจกรรมของเอนไซม์จะหยุดทำงานเมื่อใช้ความร้อนถึงอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 1 นาที แต่ถ้าใช้ความร้อนในการอบแห้งกระบวนการทำแห้งหรืออบแห้ง ปฏิกิริยาของเอนไซม์จะทนนานถึง 204 องศาเซลเซียส ดังนั้นในการอบแห้งในกระบวนการทำให้แห้งหรืออบแห้ง จึงต้องลวกน้ำร้อนก่อนหรือใช้สารเคมี เพื่อหยุดยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่จะนำไปอบแห้ง ปฏิกิริยาของเอนไซม์ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเอนไซม์และอาหาร ถ้าความชื้นลดลงต่ำกว่าร้อยละ 1 ปฏิกิริยาของเอนไซม์จะไม่เกิดขึ้น (วิไล, 2546)

4. ผลของการอบแห้งที่มีต่อจุลินทรีย์ จุลินทรีย์เป็นสาเหตุของการทำให้อาหารเน่าเสีย การลดความชื้นในอาหารให้เหลือน้อยที่สุดทำให้อาหารไม่เสียหายและเก็บไว้ได้นาน ถ้าหากความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 12 เชื้อราจะเจริญเติบโตได้ แต่แบคทีเรียและยีสต์จะเจริญเติบโตได้ดีถ้าความชื้นมากกว่าร้อยละ 30 ขึ้นไป เมื่ออบแห้งแล้วต้องเก็บใส่หีบห่อให้ดีและไม่เก็บในที่ที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงเพราะเชื้อจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตเร็ว (กุลยา, 2540)

5. ผลของการอบแห้งที่มีต่อสารสีธรรมชาติ สีเป็นปัจจัยสำคัญในการบ่งชี้คุณภาพของอาหารที่มีอิทธิพลต่อผู้บริโภค เพราะสีสามารถบ่งชี้ว่าอาหารมีคุณภาพดีเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป ซึ่งสีธรรมชาติพบในผักและผลไม้คือ แคโรทีนอยด์และคลอโรฟิลล์ การเก็บรักษาสีธรรมชาติให้อยู่ระหว่างการอบแห้งจึงมีความสำคัญ เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับและดึงดูดความสนใจของผู้บริโภค ทั้งแคโรทีนอยด์และคลอโรฟิลล์เป็นสารสีที่ไม่ละลายน้ำและละลายได้ในไขมัน แคโรทีนอยด์จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงได้โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการอบแห้ง เพราะโครงสร้างของแคโรทีนอยด์มีพันธะคู่มาก (นิธิยา, 2545)

6. ผลของการอบแห้งที่มีต่อการหดตัวที่ทำให้โครงสร้างของอาหารเสียหาย โดยธรรมชาติเซลล์ในอาหารจะอยู่ในลักษณะของเซลล์ที่เต่งตึงเสมอ และผนังเซลล์จะมีคุณสมบัติในการยืดหยุ่นได้ เมื่อน้ำถูกระเหยออกไปจะทำให้เกิดช่องว่างขึ้น ซึ่งผิวของอาหารจะพยายามเข้าไปแทนที่ช่องว่างที่เกิดขึ้น ทำให้เซลล์ของอาหารหดตัว การหดตัวของผนังเซลล์ไม่สามารถหดไปเท่ากันทุกส่วนของอาหารได้ ทั้งนี้เนื่องจากธรรมชาติของอาหารจะมีส่วนที่ไม่สามารถอัดไปได้เรียกว่า incompressible part (ภาพ 2.3) ตรงส่วนที่ไม่สามารถหดตัวเข้าไปได้ก็จะยืดตัวออก ในการยืดตัวออกผนังเซลล์จะทนต่อแรงดึง (tensile strength) ได้ขนาดหนึ่ง หากเกินกว่านั้นจะทำให้ผิวส่วนนั้นขาดเสียหายได้ (สมบัติ, 2529)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved




ที่มา : Potter (1968)

**ภาพ 2.3** ลักษณะการหดตัวระหว่างการอบแห้ง

**ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง**

1. ธรรมชาติของอาหาร อาหารที่เนื้อโปร่งมีการเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารแบบผ่านช่องแคบเร็วกว่าการแพร่ในอาหารที่มีลักษณะเนื้อแน่น ดังนั้น อาหารกลุ่มแรกจึงแห้งเร็วกว่ากลุ่มหลัง อาหารที่มีน้ำตาลสูงจะเหนียวเหนอะหนะ ซึ่งเป็นปัจจัยที่กีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำทำให้การทำแห้งช้า อาหารที่มีการลวก นวดคลึง ทำให้เซลล์แตกจะแห้งได้เร็วขึ้น

2. ขนาดและรูปร่าง มีผลต่อพื้นที่ผิวต่อน้ำหนัก เช่น อาหารที่มีรูปร่างเหมือนกัน ถ้ามีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่จึงแห้งได้เร็วกว่า ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศที่จะเกิดการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปได้ด้วย ถ้าชิ้นเล็กมากทับถมกัน การระเหยเกิดได้เฉพาะที่ผิวสัมผัสกับอากาศจึงเกิดได้ช้าทั้งๆ ที่พื้นผิวต่อหน่วยน้ำหนักมีมาก

3. ตำแหน่งของอาหารในเครื่องอบแห้ง อาหารจะสามารถลดความชื้นได้ดีก็ต่อเมื่อได้สัมผัสกับอากาศร้อนได้มากที่สุด

4. ปริมาณอาหารต่อถาด ถ้าปริมาณอาหารต่อถาดมากเกินไป อาหารส่วนล่างไม่ได้สัมผัสกับอากาศร้อน หรือได้รับความร้อนจากถาดแล้ว แต่ไอน้ำไม่สามารถแพร่กระจายผ่านชั้นอาหารตอนบนออกมาได้จึงแห้งช้า

5. ความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศร้อน อากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่มากแล้วจะรับไอน้ำได้น้อยกว่าอากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่น้อย จึงมีผลให้อัตราการทำแห้งคงที่

6. อุณหภูมิของอากาศร้อน ถ้าอากาศมีความชื้นคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิของอากาศร้อนเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำ ซึ่งมีผลต่ออัตราการอบแห้งคงที่ และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การแพร่ของน้ำในอาหารดีขึ้นด้วย จึงมีผลต่ออัตราการอบแห้งลดลง ซึ่งจากการทดลองของศิริชัย (2539) กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศปกติที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ร้อยละ 60-70 ให้มีความร้อนของอากาศที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น 60-70 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 15-20 จะสามารถระเหยน้ำได้มากขึ้น

7. ความเร็วของอากาศร้อน อากาศร้อนทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปได้ด้วย ดังนั้น เมื่อความเร็วอากาศร้อนเพิ่มขึ้นการเคลื่อนย้ายไอน้ำก็จะเกิดขึ้นได้ดี (สุคนธ์ชื่น, 2539)

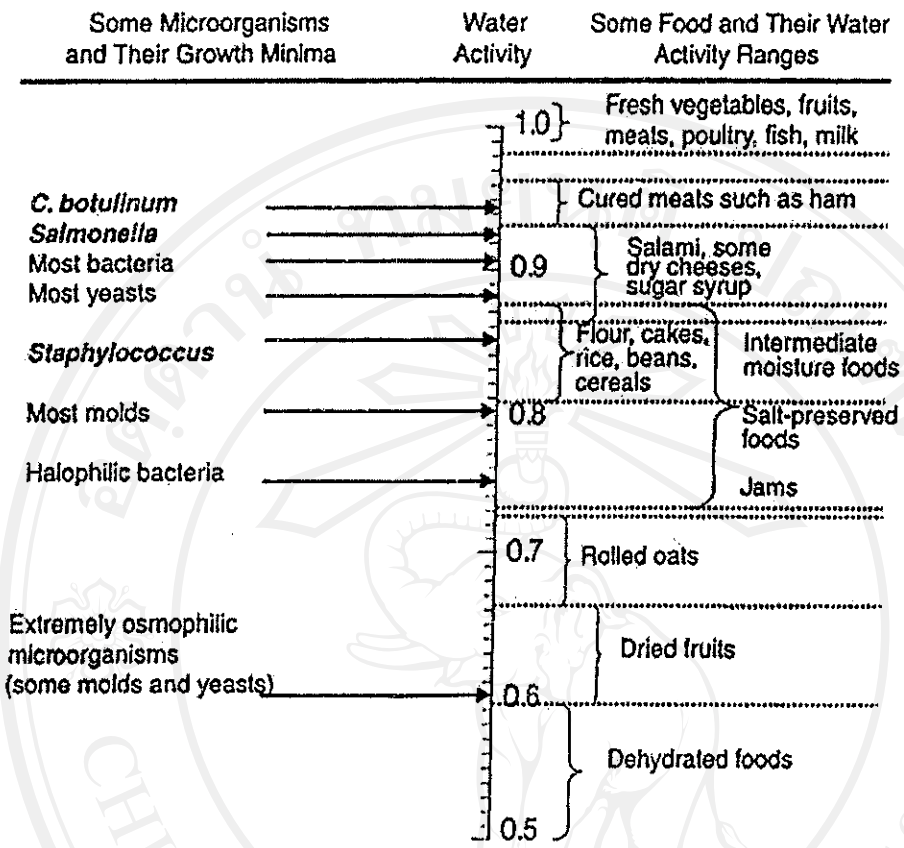
## 2.3 อาหารกึ่งแห้ง (Intermediate Moisture Foods)

อาหารกึ่งแห้ง หมายถึง อาหารที่ถูกลดค่าปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ (water activity; $a_w$) จากเดิมที่มีค่า $a_w$ อยู่ในช่วง 0.95-1.00 ความชื้นร้อยละ 20-50 เช่น ในเนื้อสด ผักผลไม้สด และเนยสด ให้มีค่า $a_w$ อยู่ในระดับปานกลางคือ อยู่ในช่วง 0.65-0.85 มีความชื้นร้อยละ 15-30 ด้วยวิธีการทำแห้งซึ่งจะระเหยน้ำออกไปเพียงบางส่วนเท่านั้น เป็นอาหารที่สามารถบริโภคได้โดยไม่ต้องนำไปคืนตัว และมีความคงตัวโดยไม่ต้องนำไปเก็บที่อุณหภูมิต่ำ หรือนำไปฆ่าเชื้อด้วยความร้อน มีน้ำหนักเบา สะดวกต่อการขนส่ง สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตประเภทแบคทีเรียได้ แต่อาจเกิดปัญหาจากของจุลินทรีย์ประเภทเชื้อราและยีสต์ที่ยังสามารถเจริญเติบโตได้ เช่น กุนเชียง เจลลี เนยแข็งบ่ม แฮมแห้ง ฟรุทเค้ก แยม ผลไม้แห้ง และลูกกวาด เป็นต้น (ไพโรจน์, 2539a)

**ปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ (water activity; $a_w$)**

$a_w$ หมายถึง อัตราส่วนของความดันไอของน้ำในอาหาร (p) ต่อความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ที่จุดอิ่มตัวที่อุณหภูมิเดียวกัน ($p_o$) เป็นปริมาณน้ำอิสระที่จุลินทรีย์ เอนไซม์ หรือปฏิกิริยาทางเคมีสามารถนำไปใช้ได้ (สุมณฑา, 2545) น้ำในอาหารที่ทำให้เกิดความดันไอ โดยความดันไอที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหาร อุณหภูมิ และความเข้มข้นของตัวทำละลายที่ละลายอยู่ในน้ำ เช่น เกลือ และน้ำตาล ค่า $a_w$ ของอาหารเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในอาหาร ซึ่งค่า $a_w$ ต่ำสุดที่จุลินทรีย์แต่ละชนิดต้องการในการเจริญเติบโตมีค่าแตกต่างกัน (ภาพ 2.4) โดย $a_w$ ของผักและผลไม้สดมีค่าอยู่ในช่วง 0.97-0.99 และการทำแห้ง (dehydration) ทำให้ค่า $a_w$ ลดลงต่ำกว่า 0.70 ซึ่งจุลินทรีย์ที่ก่อโรคไม่สามารถเจริญเติบโตได้ แต่ในขณะเดียวกันอาจเป็นสภาวะที่เหมาะสมกับจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสีย ทั้งนี้ เมื่อแยกตามชนิดของจุลินทรีย์ก็จะทำให้เราทราบถึงค่า $a_w$ ที่เหมาะแก่การเจริญเติบโตได้ (ตาราง 2.3)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved




ที่มา : Ramaswany and Marocottle (2006)

**ภาพ 2.4** ความสัมพันธ์ระหว่างค่า water activity กับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในอาหาร

การจำแนกประเภทของอาหารโดยใช้ค่า $a_w$ สามารถแบ่งได้ 3 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

1. อาหารที่มีค่า $a_w$ สูง หรือ High Moisture Foods (HMF) เป็นอาหารที่มีค่า $a_w$ อยู่ในช่วง 0.85-1.00

2. อาหารที่มีค่า $a_w$ ปานกลาง หรือ Intermediate Moisture Foods (IMF) เป็นอาหารที่มีค่า $a_w$ อยู่ในช่วง 0.65-0.85

3. อาหารที่มีค่า $a_w$ ต่ำ หรือ Low Moisture Foods (LMF) เป็นอาหารที่มีค่า $a_w$ อยู่ในช่วง 0.01-0.65

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตาราง 2.3** ค่า $a_w$ ต่ำสุดที่จุลินทรีย์ในอาหารสามารถเจริญได้

| จุลินทรีย์ | $a_w$ ต่ำสุดที่จุลินทรีย์เจริญได้ |
|---|---|
| **กลุ่มจุลินทรีย์** | |
| แบคทีเรียที่ทำให้อาหารเสีย | 0.90 |
| ยีสต์ที่ทำให้อาหารเสีย | 0.88 |
| ราที่ทำให้อาหารเสีย | 0.80 |
| แบคทีเรียพวกที่ชอบเค็ม (halophilic bacteria) | 0.75 |
| เชื้อราที่เจริญในสภาวะแห้ง (xerophilic molds) | 0.61 |
| ยีสต์ที่ทนแรงดันออสโมติกสูง (osmophilic yeast) | 0.61 |
| **จุลินทรีย์แต่ละชนิด** | |
| *Clostridium botulinum,* type E | 0.97 |
| *Psedomonas spp.* | 0.97 |
| *Acinetobacter spp.* | 0.96 |
| *Escherichia coli* | 0.96 |
| *Enterrobacter aerogenes* | 0.95 |
| *Bacillus subtilis* | 0.95 |
| *Clostridium botulinum,* type A and B | 0.94 |
| *Vibrio parahaemolyticus* | 0.94 |
| *Botrytis cinerea* | 0.94 |
| *Rhizopus stolonifer* | 0.93 |
| *Mucor spinosus* | 0.93 |
| *Candida scottii* | 0.93 |
| *Trichosporon pullulans* | 0.92 |
| *Candida zeylanoides* | 0.91 |
| *Alternaria citri* | 0.86 |
| *Staphylococcus aureus* | 0.86 |
| *Penicillium patulum* | 0.84 |
| *Aspergillus patulum* | 0.81 |
| *Aspergillus glaucus* | 0.70 |
| *Aspergillus conicus* | 0.70 |
| *Aspergillus echinulatus* | 0.64 |
| *Zygosaccharomyces rouxii* | 0.62 |
| *Xeromyces bisporus* | 0.61 |

ที่มา : Jay (1996)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

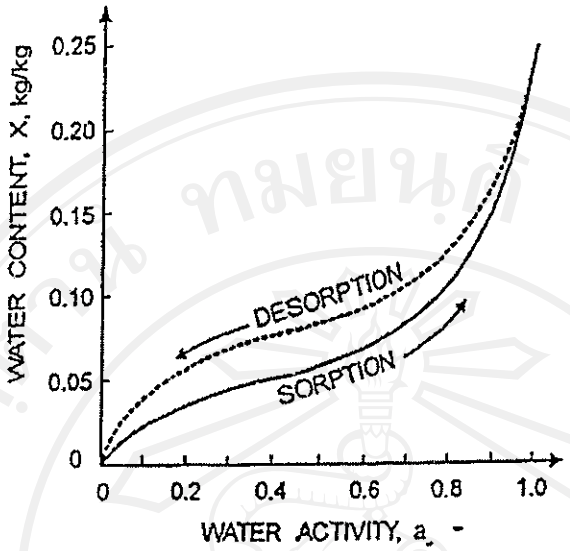
**ความแตกต่างของความชื้นและค่า $a_w$**

ปริมาณความชื้นเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมเสียของอาหาร ดังนั้นวิธีการดั้งเดิมที่ใช้ในการถนอมอาหาร ไม่ว่าจะเป็นวิธีการทำให้ข้น การทำแห้ง ซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีที่ทำให้ปริมาณความชื้นในอาหารลดลง การเชื่อมโดยการเติมน้ำตาล หรือการหมักดองโดยการเติมเกลือลงไปในอาหาร ความจริงแล้ววิธีการดังกล่าวทั้งหมดเป็นวิธีการที่อาศัยหลักของการลดค่า $a_w$ แต่โดยมากเข้าใจว่าเป็นการลดความชื้น สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหารทั้งหมดประกอบด้วย 2 ส่วนได้แก่ ส่วนของน้ำที่เกาะติดกับอาหาร หรือถูกใช้ไปในการสร้างพันธะต่าง ๆ เช่น พันธะไอออนิก พันธะไฮโดรเจน และอีกส่วนคือ ปริมาณน้ำอิสระที่ไม่ได้ถูกนำไปใช้ในการเกิดพันธะใด ๆ และจะอยู่ภายในช่องว่างของอาหาร ปริมาณความชื้น (moisture content) เป็นปริมาณน้ำทั้งหมดที่มีอยู่ในอาหาร คือ รวมทั้งสองส่วนดังกล่าว ในขณะที่ $a_w$ เป็นโมเลกุลของน้ำที่พร้อมจะเปลี่ยนสภาวะจากของเหลวไปเป็นไอ ซึ่งเป็นส่วนของน้ำอิสระเท่านั้น ซึ่งในการทำให้ข้นหรือการทำแห้งเป็นการระเหยน้ำอิสระออกไป ส่วนการเติมเกลือ น้ำตาล หรือส่วนผสม อื่นๆ ลงไปในโมเลกุลของสารเหล่านั้น (รุ่งนภา และไพศาล, 2545)

**ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับค่า $a_w$**

โดยทั่วไปควรหาค่า $a_w$ ในอาหารเพื่อทำให้เห็นความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นได้ชัดเจน เพราะถ้าค่าความชื้นในอาหารเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยจะเห็นความแตกต่างของค่า $a_w$ ได้ทันที ส่วนอาหารที่มีความชื้นสูงหรือมีปริมาณน้ำมากกว่าส่วนที่เป็นของแข็งจะมีค่าเท่ากับ 1.0 และเมื่ออาหารมีความชื้นต่ำลงหรือมีปริมาณน้ำน้อยกว่าส่วนที่เป็นของแข็ง ค่า $a_w$ จะลดลงต่ำกว่า 1.0 ถ้าหากนำค่า $a_w$ มาเขียนเส้นกราฟกับปริมาณความชื้นในอาหารจะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในอาหารกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศหรือกับค่า $a_w$ กราฟนี้เรียกว่า sorption isotherms ซึ่งมีกระบวนการลดความชื้น (desorption) และการเพิ่มความชื้น (adsorption) เกิดขึ้นได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และส่งผลต่อค่า $a_w$ (ภาพ 2.5) ซึ่งกระบวนการทั้งสองจะเกิดขึ้นไม่พร้อมกัน โดยกราฟ desorption isotherms เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการทำแห้ง (process of drying) และเป็นการวิเคราะห์ระดับความแห้งของอาหารที่ค่อยๆ เพิ่มขึ้นหรือความชื้นของอาหารที่ค่อยๆ ลดต่ำลงจนถึงจุดสมดุลกับความชื้นของอากาศขณะนั้น ส่วนกราฟ adsorption isotherms เป็นการวิเคราะห์ความชื้นของอาหารที่ค่อยๆ เพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากอาหารนั้นมีความสามารถในการดูดความชื้นได้มาก ทำให้เส้นกราฟ adsorption isotherms จึงมีความชันมากกว่ากราฟ desorption isotherms (Mujumdar, 2000; Ramaswarny and Marcotte, 2006)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

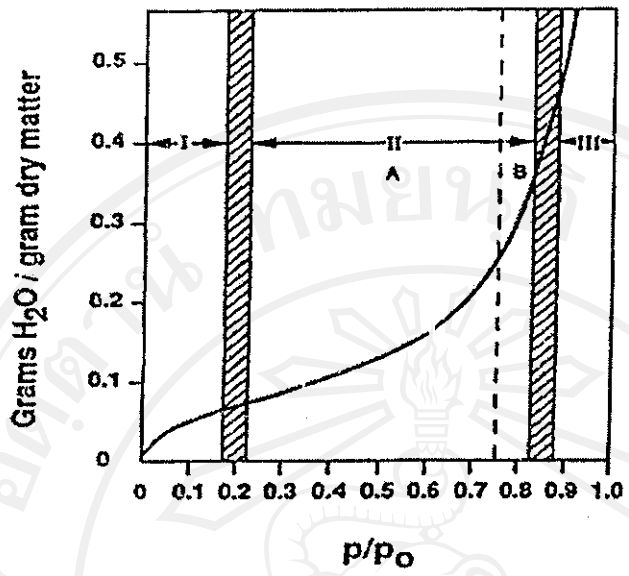



ที่มา : Mujumdar (2000)

**ภาพ 2.5** กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในอาหารและค่า $a_w$

กราฟของ sorption isotherm โดยทั่วไปจะอยู่ในรูป sigmoid และแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ซึ่งแตกต่างกันตามปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในอาหาร หรือค่า $a_w$ (ภาพ 2.6) ซึ่ง zone I (dry) เป็นน้ำไม่เคลื่อนที่และเกาะกับสารประกอบในอาหารอย่างเหนียวแน่น โดยเกิดปฏิกิริยาแรงดึงดูดระหว่าง water-ion และ water-dipole น้ำในส่วนนี้ไม่สามารถแข็งตัวได้ที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส และไม่ละลาย solutes จึงมีพฤติกรรมเป็นส่วนหนึ่งของของแข็ง ถัดเป็นช่วงต่อระหว่าง zone I และ zone II เรียกว่า BET monolayer ซึ่งมีปริมาณ $a_w$ ต่ำที่สุดของอาหารมีค่าเท่ากับ 0.2 และเป็นชั้นที่มีขั้วสูง ใน zone II น้ำส่วนนี้มีการเชื่อมต่อระหว่างโมเลกุลของอาหารด้วยพันธะไฮโดรเจนที่สามารถเคลื่อนตัวได้น้อยกว่าน้ำโดยทั่วไปเล็กน้อยและไม่แข็งตัวที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส เช่นกัน บริเวณส่วนปลายของ zone II น้ำทำให้อาหารพองตัวมีลักษณะยืดหยุ่นคล้ายพลาสติก (plasticizing) จึงสามารถลดอุณหภูมิของ glass transition ทำให้เกิดปรากฏการณ์ glass-rubber transition และโมเลกุลของน้ำส่วนใหญ่เกิดการเคลื่อนที่จึงเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ และส่วน zone III เป็นน้ำอิสระที่มีอยู่ในเนื้อเยื่ออาหารทั้งพืชและสัตว์ สามารถกำจัดออกได้โดยง่าย น้ำเหล่านี้ทำหน้าที่เป็นตัวทำละลาย และถูกนำมาใช้สำหรับสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และปฏิกิริยาเคมี ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและอุณหภูมิ (Fennema, 1996)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved




ที่มา : Fennema (1996)

**ภาพ 2.6** ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำกับ water activity ($p/p_o$) ในอาหารที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

**การผลิตและการเก็บรักษาอาหารกึ่งแห้ง**

1. วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอาหารกึ่งแห้ง ควรมีปริมาณจุลินทรีย์ที่ต่ำโดยเฉพาะแบคทีเรีย ยีสต์ และเชื้อราที่ทนต่อค่า $a_w$ ต่ำ วัตถุดิบที่เตรียมเพื่อผลิตอาหารกึ่งแห้งควรมีการให้ความร้อนเพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการ ในขณะเดียวกันเพื่อทำลายเอนไซม์บางอย่างที่ทำให้อาหารมีกลิ่นและรสชาติเสียไป

2. การเตรียมอาหารกึ่งแห้งควรให้ความร้อนแก่วัตถุดิบในสภาพสุขาภิบาลที่ดีก่อนในขั้นตอนแรกและภายใต้ความเย็นในบางขั้นตอน เพื่อเป็นการลดปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้น

3. ผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้งที่ผู้บริโภคยอมรับควรมีค่า $a_w$ น้อยกว่า 0.85 ความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่า 5 เพราะเป็นการป้องกันมิให้เกิดความเป็นพิษเนื่องจาก *Staphylococcus aureus*

4. อาหารหรือผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งควรจะบรรจุในภาชนะที่มีการป้องกันออกซิเจนเข้าออกได้ สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราซึ่งเป็นตัวการที่ก่อให้อาหารเกิดการเสื่อมเสียและเกิดสารพิษได้

5. การใช้กรดซอร์บิก โพรพิลีนไกลคอล กลีเซอรอล และพาราเบน จะช่วยปรับปรุงให้ผลิตภัณฑ์มีความคงทนต่อยีสต์และเชื้อราได้มากขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

6. มีความเป็นไปได้หากจะเก็บอาหารกึ่งแห้งที่อุณหภูมิห้อง แต่การเปลี่ยนแปลงทางเคมีอาจจะเกิดขึ้น รวมทั้งมีการเปลี่ยนแปลงของกลิ่น รสชาติ การเสื่อมคุณภาพ และการเน่าเสียของอาหารเนื่องจากจุลินทรีย์ ดังนั้น ถ้าหากจะยืดอายุการเก็บรักษาอาหารกึ่งแห้งควรจะเก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง (ไพโรจน์, 2539b)

**การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของอาหารกึ่งแห้ง**

1. สูญเสียการยอมรับจากผู้บริโภค เกิดกลิ่นที่ไม่ปกติ เกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ (browning reaction) และเกิดการเหม็นหืนจากการออกซิเดชั่นของไขมันและน้ำมัน

2. สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ โดยก่อให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดร่วมกับการเกิดออกซิเดชั่นสารประกอบพวกกรดแอสคอร์บิกอย่างรวดเร็ว การเกิดสีน้ำตาลจะทำให้สูญเสียกรดอะมิโนที่จำเป็น เช่น ไลซีน และกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นตัวประกอบ

3. เกิดความเป็นพิษได้ ซึ่งจากงานวิจัยของ Warmbier *et al.* (1976) ได้มีการศึกษานำเอาผลิตภัณฑ์ที่เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดให้หนูทดลองกินทำให้หนูไม่สามารถตั้งครรภ์ได้ หนูมีน้ำหนักลดลง และเมื่อน้ำตาลกลูโคสหรือกรดอะมิโนได้รับความร้อน ปริมาณไลซีนจะลดลงจาก 20 กรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักหนูเหลือเพียง 4.1 กรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักหนู ดังนั้นในการผลิตอาหารกึ่งแห้ง การเก็บรักษาก็ควรจะคำนึงถึงอย่างมากเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาที่จะเกิดขึ้น (ไพโรจน์, 2539b)

**การเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ของอาหารกึ่งแห้ง**

**1. การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากแบคทีเรีย** โดยปกติโอกาสที่พบในอาหารกึ่งแห้งจะมีน้อยกว่าการเปลี่ยนแปลงจากยีสต์และรา เพราะแบคทีเรียส่วนใหญ่สามารถเจริญเติบโตได้ที่ค่า $a_w$ ที่อยู่ในช่วง 0.90-0.95 แต่ยังมีแบคทีเรียบางชนิดที่สามารถเจริญเติบโตในสภาวะที่มีค่า $a_w$ ต่ำ เป็นแบคทีเรียที่ทำให้อาหารเป็นพิษ เช่น *Staphylococcus aureus* ซึ่งในสภาวะที่ไม่ต้องการอากาศจุลินทรีย์นี้จะถูกยับยั้งที่ค่า $a_w$ น้อยกว่า 0.91 แต่ถ้าหากสภาวะที่ต้องการอากาศจุลินทรีย์นี้จะถูกยับยั้งที่ค่า $a_w$ น้อยกว่า 0.86 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอิทธิพลของอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และสารกันเสีย ถ้าหากปรับค่าต่างๆ ให้ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต จะสามารถหยุดการเจริญของเชื้อแบคทีเรียนี้ได้ แต่หากมีสภาวะเหมาะสมและมีการเก็บรักษาไว้นานๆ และอากาศกับความชื้นเพิ่มขึ้นในช่วงหลังการเก็บรักษา แบคทีเรียชนิดนี้จะสามารถเจริญเติบโตได้ (ไพโรจน์, 2539b)

**2. การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากเชื้อรา** ปัญหาการเสื่อมเสียเนื่องจากเชื้อราจะเกิดขึ้นเมื่ออาหารกึ่งแห้งมีค่า $a_w$ ต่ำกว่า 0.90 โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระหว่างการเก็บรักษา ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอัตราการเจริญเติบโตของเชื้อราในอาหารกึ่งแห้งคือ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา และองค์ประกอบในอาหาร เชื้อราที่เจริญในสภาวะแห้ง (xerophilic microfungi) เมื่อเจริญในสภาพแวดล้อมเหมาะสมต่อการสร้างสารพิษ เชื้อราก็จะสร้างสารพิษที่มีโทษต่อชีวิตของมนุษย์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เช่น alflatoxin, ochratoxin และ fusarenon-x เป็นต้น และสารพิษจากเชื้อรานี้เป็นปัญหาอย่างมากต่อการพัฒนาอาหารกึ่งแห้ง วิถีทางการเกิดสารพิษอาจเกิดการปะปนมาในอาหารได้ แต่บางครั้งก็อาจเกิดในอาหารที่มีเชื้อราและเกิดการสร้างสารพิษขึ้นมาทีหลังเมื่อมีการเก็บรักษาในสภาพสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการสร้างสารพิษ (ไพโรจน์, 2539b)

3. **การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากยีสต์** อาหารกึ่งแห้งที่มีค่า $a_w$ อยู่ในช่วง 0.60-0.85 ในขอบเขตนี้พวกแบคทีเรียไม่สามารถเจริญได้ ยีสต์กับราส่วนใหญ่ก็จะถูกยับยั้งเช่นกัน แต่บางสายพันธุ์จะมีความทนทานต่อความเข้มข้นของสารละลายที่สูง หรือมีค่า $a_w$ ต่ำ อย่างไรก็ตามมีรายงานว่ายีสต์ประเภทที่เป็นพิษจะไม่เจริญเติบโตที่ค่า $a_w$ ต่ำ ดังนั้น สิ่งที่จะเกิดขึ้นก็มีแต่การเป็นสาเหตุให้อาหารเกิดการเน่าเสียเท่านั้น ยีสต์ที่สามารถเจริญได้ที่ค่า $a_w$ ต่ำ เช่น ยีสต์ที่ทนต่อแรงดันออสโมติกสูง (osmophilic yeast) (ไพโรจน์, 2539b)

## 2.4 การใช้วัตถุกันเสียในอาหาร (Food preservative)

วัตถุกันเสียเป็นสารประกอบเคมี หรือของผสมของสารประกอบเคมี สามารถช่วยลดการเน่าเสียของอาหารที่เกิดจากจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับอาหาร ซึ่งอาหารนั้นนอกจากจะเป็นอาหารสำหรับมนุษย์แล้ว ในขณะเดียวกันก็เป็นอาหารตามธรรมชาติของจุลินทรีย์ด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารที่มีคุณค่าทางอาหารครบ มีความชื้น และความเป็นกรด-ด่างพอเหมาะ ฉะนั้นการใช้วัตถุกันเสียในอาหาร จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยในการชะงักการเจริญเติบโตหรือทำลายจุลินทรีย์เหล่านั้น เพื่อช่วยให้สามารถเก็บอาหารได้นานขึ้น (สุมณฑา, 2545) การที่วัตถุกันเสียสามารถชะลอการเจริญเติบโตหรือทำลายจุลินทรีย์ได้นั้น เนื่องจากวัตถุกันเสียที่ใช้ไปมีผลต่อจุลินทรีย์ ดังนี้

1. ผลต่อผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ การที่วัตถุกันเสียจะมีประสิทธิภาพในการชะลอการเจริญเติบโต หรือทำลายจุลินทรีย์ได้ดีนั้น ไม่จำเป็นว่าวัตถุกันเสียจะต้องแทรกซึมเข้าไปในเซลล์ของจุลินทรีย์เสมอไปจึงจะชะลอการเจริญเติบโตหรือทำลายจุลินทรีย์ได้ เพียงแต่ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ก็เพียงพอแล้ว เช่น ทำให้คุณสมบัติของผนังเซลล์เปลี่ยนแปลงไป อันจะเป็นสาเหตุให้ความสามารถในการให้สารต่างๆ แทรกซึมผ่านของผนังเซลล์เปลี่ยนไป ซึ่งการที่ความสามารถในการให้สารต่างๆ แทรกซึมผ่านของผนังเซลล์เปลี่ยนแปลงไปนั้น จะเป็นสาเหตุให้เส้นทางของอาหารจากภายนอกเซลล์เข้าสู่ภายในเซลล์ของจุลินทรีย์เกิดการขัดข้องไปด้วย เป็นสาเหตุให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ต่างๆ ชะงักและตายในที่สุด นอกจากนี้จากการศึกษาวิจัยยังพบว่า วัตถุกันเสียบางชนิดจะมีผลต่อกระบวนการสร้างหรือสังเคราะห์ส่วนประกอบของผนังเซลล์ ทำให้จุลินทรีย์มีผนังเซลล์ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้จุลินทรีย์ตายได้เช่นกัน (ศิวาพร, 2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. ผลต่อการทำงานของเอนไซม์ โดยทั่วไปการที่เอนไซม์จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น ส่วนประกอบต่างๆ ของเอนไซม์ควรจะมีอยู่ครบถ้วน และอยู่ในสภาพพร้อมที่จะทำงานได้ เช่น ควรมีคุณสมบัติเป็นคอลลอยด์ (colloid) มี prosthetic group หรือ cofactor or functional group อื่นๆ เป็นส่วนประกอบ ถ้าหากองค์ประกอบต่างๆ หรือคุณสมบัติต่างๆ ดังกล่าวของเอนไซม์ถูกทำลายไปหรือถูกทำให้ผิดปกติไป ความสามารถในการทำงานหรือประสิทธิภาพในการทำงานของเอนไซม์จะเสียไปหรือลดลงด้วย เช่น วัตถุกันเสียที่มีคุณสมบัติเป็นกรดเมื่อใส่ในอาหาร อาจเป็นสาเหตุให้เอนไซม์เกิดการเสียสภาพ (denature) ได้ ซึ่งเป็นการทำให้คุณสมบัติในการเป็นคอลลอยด์ของเอนไซม์เสียไป หรือวัตถุกันเสียบางชนิดอาจไปจับกับ sulhydryl group ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่มีความสำคัญต่อการทำงานของเอนไซม์มาก ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถทำงานได้ หรือมีประสิทธิภาพลดลง การที่ความสามารถในการทำงานของเอนไซม์ หรือประสิทธิภาพของเอนไซม์เสียไปหรือลดลงนี้ จะมีผลต่อเนื่องทำให้การดำรงชีวิตของจุลินทรีย์หยุดชะงักหรือตายได้ (ศิวาพร, 2546)

3. ผลต่อกลไกทางพันธุกรรม การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์นั้น ส่วนใหญ่จะเป็นไปโดยวิธีการแบ่งเซลล์ ในกระบวนการแบ่งเซลล์นั้นจะมีโครโมโซม (chromosome) และยีน (gene) มาเกี่ยวข้องด้วย ในยีนจะมีดีเอ็นเอ (DNA) และอาร์เอ็นเอ (RNA) เป็นส่วนประกอบ ฉะนั้นถ้าหากมีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้นกับส่วนนี้จะทำให้การแบ่งเซลล์หยุดชะงักลงได้ (ศิวาพร, 2546)

**ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของวัตถุกันเสีย**

วัตถุกันเสียชนิดต่างๆ จะมีประสิทธิภาพดีเพียงใด จะขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

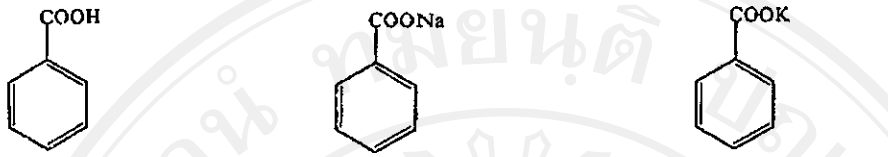
1. ความเข้มข้นของวัตถุกันเสีย
2. ชนิด จำนวน อายุ และประวัติของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอาหาร
3. อุณหภูมิ
4. คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของอาหาร

**วัตถุกันเสียที่นิยมใช้ในอาหารผักผลไม้แห้ง**

**1. กรดเบนโซอิกและเกลือเบนโซเอท** เป็นวัตถุกันเสียที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในรูปของโซเดียมเบนโซเอท มีสูตรโครงสร้างดังภาพ 2.7 และนิยมใช้ในรูปของเกลือมากกว่ากรด เนื่องจากวัตถุกันเสียชนิดนี้จะละลายได้ง่ายกว่าในรูปของเกลือ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส โซเดียมเบนโซเอทละลายในน้ำ 100 มิลลิลิตร ได้สูงถึง 742 กรัม และ 66 กรัม ตามลำดับ ส่วนในรูปของกรดนั้นจะละลายในน้ำได้น้อยมาก แต่จะละลายได้ดีขึ้นในแอลกอฮอล์ อีเทอร์ คลอโรฟอร์ม และน้ำมัน (Sofos and Busta, 1992) กรดเบนโซอิกพบมากตามธรรมชาติในลูกพรุน แครนเบอรี พลัม อบเชย แอปเปิล และมะกอกสุก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(Chipley, 1993) กรดเบนโซอิกและเกลือเบนโซเอทที่จำหน่ายในท้องตลาดจะอยู่ในรูปผงผลึกสีขาวหรือเป็นเกล็ด




**benzoic acid** **sodium benzoate** **potassium benzoate**

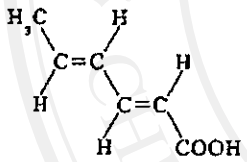
ที่มา : Davidson *et al.*(1990)

**ภาพ 2.7** สูตรโครงสร้างของกรดเบนโซอิกและเกลือเบนโซเอท

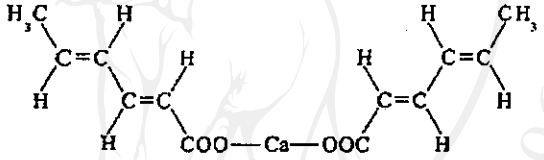
กรดเบนโซอิกและเกลือเบนโซเอทสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ มีผลต่อผนังเซลล์และเอนไซม์ของจุลินทรีย์ โดยเบนโซเอทจะไปทำให้กระบวนการแทรกซึมของอาหารเข้าไปในเซลล์ของจุลินทรีย์ผิดปกติไป ในขณะเดียวกันจะไปยับยั้งการสร้างเอนไซม์บางชนิดและปฏิกิริยาการทำงานของเอนไซม์ที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีพของจุลินทรีย์ทำให้ไม่สามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ ประสิทธิภาพของกรดเบนโซอิกและเกลือเบนโซเอทจะสูงที่สุดที่ช่วงความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 4.5 ซึ่งต่ำกว่ากรดซอร์บิกและกรดโพรพริออนิก และจะมีประสิทธิภาพสูงในรูปของกรดที่ไม่แตกต่าง จึงเหมาะที่จะใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความเป็นกรดสูงหรือมีความเป็นกรด-ด่างต่ำ มีความสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของยีสต์และราได้ดีกว่าแบคทีเรีย (Davidson *et al.*, 1990) สำหรับปริมาณที่อนุญาตให้ใช้ในอาหารได้ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 84 นั้น ได้อนุญาตให้ใช้กรดเบนโซอิกหรือโซเดียมเบนโซเอทหรือโปแตสเซียมเบนโซเอทได้ในปริมาณสูงสุดไม่เกิน 1000 มิลลิกรัม ต่อ 1 กิโลกรัมของอาหาร (ศิวาพร, 2546) สำหรับอันตรายที่จะได้รับจากกรดเบนโซอิกและเกลือเบนโซเอทนั้น จากการศึกษาทดลองพบว่า จะไม่ทำให้การสะสมในร่างกาย เนื่องจากร่างกายมีกลไกในการขจัดความเป็นพิษของกรดเบนโซอิก โดยกรดเบนโซอิกที่บริโภคเข้าไปจะรวมกับโคเอนไซม์เอ (coenzyme A) เกิดเป็นเบนโซอิลโคเอนไซม์เอ (benzoyl coenzyme A) โดยมีเอนไซม์ซินเทเทส (synthetase) เป็นตัวเร่ง จากนั้นเบนโซอิลโคเอนไซม์เอจะรวมกับไกลซีน (glysine) เกิดเป็นกรดฮิพพิวริก (hippuric acid) โดยมีเอนไซม์เอซิลทรานเฟอร์เรส (acyltransferase) เป็นตัวเร่งและถูกขับถ่ายออกทางปัสสาวะ (Chipley, 1993)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

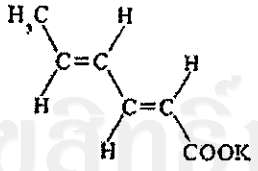
**2. กรดซอร์บิกและเกลือซอร์เบท** กรดซอร์บิกและเกลือซอร์เบทเป็นวัตถุกันเสียอีกชนิดหนึ่ง ที่มีการนิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากเป็นสารประกอบที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่นและไม่มีรส เวลาใช้จึงไม่ทำให้กลิ่นรสและสีของอาหารเปลี่ยนแปลง กรดซอร์บิกเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวเพียงชนิดเดียวเท่านั้น ที่มีการนำมาใช้เป็นวัตถุกันเสีย สำหรับเกลือของกรดชนิดนี้ที่นิยมใช้เป็นวัตถุกันเสียได้แก่ แคลเซียมซอร์เบท โซเดียมซอร์เบท โปแตสเซียมซอร์เบท โดยเฉพาะอย่างยิ่งโปแตสเซียมซอร์เบทนิยมใช้กันมากที่สุด สูตรโครงสร้างดังภาพ 2.8 กรดซอร์บิกเป็นสารประกอบผงสีขาวหรือเป็นเกล็ด ละลายได้ร้อยละ 0.16 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เกลือแคลเซียมซอร์เบทละลายน้ำได้ร้อยละ 1.2 และเกลือโซเดียมซอร์เบทละลายน้ำได้ร้อยละ 32 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ส่วนเกลือโปแตสเซียมซอร์เบทละลายน้ำได้ร้อยละ 58.2 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิสูงขึ้นการละลายของกรดและเกลือของวัตถุกันเสียชนิดนี้จะเพิ่มขึ้นด้วย



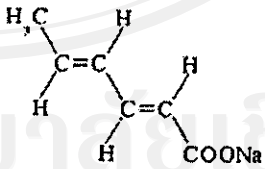
**sorbic acid**



**calcium sorbate**



**potassium sorbate**



**sodium sorbate**

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ที่มา : Sofos and Busta (1986)

**ภาพ 2.8** สูตรโครงสร้างของกรดซอร์บิกและเกลือซอร์เบท

กรดซอร์บิกและเกลือซอร์เบทสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตหรือทำลายยีสต์และราได้ดีกว่าแบคทีเรีย โดยการไปมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์และผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ รวมทั้งยังไปชะงักการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ที่กล่าวด้วย กรดซอร์บิกและเกลือซอร์เบทจะมีประสิทธิภาพสูงสุดในช่วงความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่าหรือเท่ากับ 6.5 และจะมีประสิทธิภาพดีกว่าเกลือเบนโซเอทและเกลือโพรพิโอเนท แต่จะมีส่วนคล้ายเกลือเบนโซเอทและเกลือโพรพิโอเนทคือเมื่อความเป็นกรด-ด่างของอาหารเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพจะลดลง (Sofos and Busta, 1986) สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารทั่วๆ ไป ที่นิยมใช้กรดซอร์บิกและเกลือซอร์เบทในการช่วยยืดอายุการเก็บได้แก่ ผลิตภัณฑ์ประเภทเนยเทียม เนยแข็ง และผลิตภัณฑ์เนยแข็งชนิดต่างๆ เครื่องดื่มชนิดต่างๆ นอกจากนี้ยังมีการใช้ในผลิตภัณฑ์แยม เจลลี ฟรุทสลัด ฟรุทดอกเทล น้ำสลัดต่างๆ ผลไม้แห้ง ผักแห้ง รวมถึงและเครื่องสำอางค์ชนิดต่างๆ ด้วย ปริมาณที่อนุญาตให้ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 84 นั้น อนุญาตให้ใช้กรดซอร์บิกและแคลเซียมซอร์บิก หรือโซเดียมซอร์เบทหรือโปแตสเซียมซอร์เบทในแอปริคอทแห้งในปริมาณสูงสุดไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อ 1 กิโลกรัม แอปริคอทแห้ง (ศิวาพร, 2546) และจัดเป็นวัตถุกันเสียที่มีความปลอดภัยในการใช้ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุกันเสียชนิดอื่นๆ เพราะจากการศึกษาทดลองของ ในสัตว์ทดลอง (หนู) 100 ตัว โดยให้ทดลองบริโภคอาหารที่มีกรดซอร์บิกผสมอยู่ด้วยร้อยละ 5 เมื่อหนูอายุผ่านไป 811 วัน นำซากมาตรวจวิเคราะห์ปรากฏว่าไม่พบอาการผิดปกติที่อวัยวะต่างๆ (Lang, 1960)

**2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

Halouat and Debevere (1998) ศึกษาเรื่องผลของการปรับเปลี่ยนสภาพบรรยากาศในภาชนะบรรจุและวัตถุกันเสียต่ออายุการเก็บรักษาของลูกพรุนและลูกเกด พบว่า ลูกพรุนและลูกเกดที่ปรับให้มีค่า $a_w$ อยู่ในช่วง 0.84-0.87 เมื่อนำไปแช่ในสารละลายโปแตสเซียมซอร์เบท (ลูกพรุน 417 ppm ลูกเกด 343 ppm) หรือสารละลายโซเดียมเบนโซเอท (ลูกพรุน 383 ppm ลูกเกด 321 ppm) และบรรจุในถุงพลาสติกที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ($CO_2$) ร้อยละ 40, ไนโตรเจน ($N_2$) ร้อยละ 60 หรือ $CO_2$ ร้อยละ 80, $N_2$ ร้อยละ 20 จะสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Aspergillus niger* และ *Zygosaccharomyces rouxii* ได้ และมีอายุการเก็บรักษาอย่างน้อย 6 เดือน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

Maskan and Gogus (1998) ได้ศึกษาคุณสมบัติในการอบแห้งและ sorption isotherms ของผลหม่อน (*Morus albc*) โดยการอบผลหม่อนสดในตู้อบลมร้อนแบบถาด (tray dryer) อุณหภูมิ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.2 เมตรต่อวินาที ตลอดการทดลอง จนกระทั่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ถึงจุดที่มีความชื้นอยู่ในระดับสมดุลในแต่ละอุณหภูมิการทำแห้ง โดยปริมาณความชื้นสมดุลมีค่าเท่ากับ 0.17 0.12 และ 0.06 กิโลกรัมน้ำต่อกิโลกรัมวัตถุแห้งที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับ หม่อนอบแห้งที่ได้จากการทดลองจะมีโครงสร้างที่พองตัวและมีสีน้ำตาลเกิดขึ้นทุกอุณหภูมิของการทำแห้ง เส้นโค้งของการทำแห้งในการทดลองเมื่อนำมาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (กรัมน้ำต่อกรัมของแข็ง) และเวลาในการทำแห้ง จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะลดเวลาที่ต้องการทำให้วัตถุถึงจุดที่มีปริมาณความชื้นสมดุลลง

Doymaz (2004a) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการอบแห้งผลหม่อนสดของเมือง istanbul ประเทศตุรกี ที่ผ่านการเตรียมสภาวะต่างๆ ก่อนอบในตู้อบลมร้อน (tray dryer) เพื่อลดปริมาณความชื้นจากร้อยละ 81.5 ให้เหลือเพียงร้อยละ 17 โดยวิธีที่ 1 นำผลหม่อนสดแช่ในน้ำร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 10 วินาที ล้างออกด้วยน้ำธรรมดาที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) วิธีที่ 2 นำผลหม่อนสดแช่ในสารละลาย alkaline solution of ethyl oleate (AEEO ที่เตรียมจาก 2% ethyl และ 5 % $K_2CO_3$) นาน 1 นาที ที่อุณหภูมิห้อง วิธีที่ 3 นำผลหม่อนสดแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิก ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร นาน 1 นาที จากนั้นนำแช่ในสารละลาย AEEO นาน 1 นาที ที่อุณหภูมิห้อง วิธีที่ 4 นำผลหม่อนสดแช่ในสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 1 จากนั้นนำแช่ในสารละลาย AEEO นาน 1 นาที ที่อุณหภูมิห้อง วิธีที่ 5 นำผลหม่อนสดแช่ในน้ำร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 10 วินาที จากนั้นแช่ในสารละลาย AEEO นาน 1 นาที ที่อุณหภูมิห้อง วิธีที่ 6 ไม่ผ่านการเตรียมในสภาวะใดๆ จากนั้นนำเข้าอบที่อุณหภูมิลมร้อน 50 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.0 เมตรต่อวินาที พบว่า การนำผลหม่อนสดแช่ในน้ำร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 10 วินาที จากนั้นแช่ในสารละลาย AEEO นาน 1 นาที (วิธีที่ 5) ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุดคือ 12.5 ชั่วโมง ลดลงจากวิธีที่ 6 ซึ่งใช้เวลานานถึง 36 ชั่วโมง

Doymaz (2004b) ยังได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเพื่อลดปริมาณความชื้นในผลหม่อนสดจากร้อยละ 81.5 ให้เหลือเพียงร้อยละ 17 โดยวิธีที่การแช่ในสารละลาย alkaline ethyl oleate (AEEO) นาน 1 นาที ที่อุณหภูมิห้อง กับผลหม่อนสดที่ไม่ผ่านการแช่ AEEO จากนั้นนำไปอบแห้งด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 26 ถึง 36 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเวลา 11.00-15.00 น. พบว่า ผลหม่อนที่ผ่านการแช่สารละลาย AEEO ใช้เวลาในการทำแห้งเพียง 98 ชั่วโมง ในขณะที่ผลหม่อนที่ไม่ได้ผ่านการแช่ AEEO ต้องใช้เวลาในการทำแห้งถึง 213 ชั่วโมง

ปัทมาภรณ์ (2546) ศึกษาเรื่องดัชนีการเก็บเกี่ยวของหม่อนผลสดพันธุ์เชียงใหม่ (*Morus alba* var. Chaingmai) ในและนอกฤดูการเก็บเกี่ยว พบว่า ดัชนีการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของผลหม่อนสำหรับรับประทานผลสดคือ ผลหม่อนในระยะที่ผลสุกปานกลาง (สีแดงปนสีดำ) และสุกจัด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(สีดำทั้งผล) ดังนั้นต้นหม่อนที่ติดผลในฤดู (กุมภาพันธ์-เมษายน) จะมีดัชนีการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมสำหรับเก็บผลหม่อนเพื่อบริโภคสดคือหลังจากดอกบาน 29-32 วัน ส่วนต้นหม่อนที่ติดผลนอกฤดู (ตุลาคม-ธันวาคม) จะมีดัชนีการเก็บเกี่ยวผลหม่อนเพื่อบริโภคผลสดคือหลังจากดอกบาน 50-56 วัน

สุวรัตนา (2548) ศึกษาการยืดอายุผลหม่อนสุกพันธุ์เชียงใหม่หลังการเก็บเกี่ยวเพื่อใช้ในการผลิตไวน์ โดยการเติมสารให้ความหวานอัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักคือ น้ำตาลซูโครส (น้ำตาลทรายจากอ้อย) น้ำผึ้ง และฟรุกโตสไซรัป ร่วมกับการเติมสารโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ (KMS) 4 ระดับคือ 0 500 1,000 และ 1,500 ppm อุณหภูมิในการเก็บรักษา 3 ระดับคือ อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิห้องปรับอากาศ (25 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิห้องแช่เย็น (4 องศาเซลเซียส) พบว่า การเติมน้ำตาลซูโครสร่วมกับการเติม KMS 500 ppm และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องสามารถเก็บรักษาผลหม่อนไว้ได้มากกว่า 90 วัน เมื่อนำไปทำไวน์หม่อนเปรียบเทียบคุณภาพกับไวน์จากผลหม่อนสด และไวน์จากผลหม่อนแช่แข็ง พบว่า ไวน์จากผลหม่อนที่เก็บไว้ได้ 90 วัน มีคุณภาพทางเคมีใกล้เคียงกัน และมีผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสที่จัดอยู่ในกลุ่มคุณภาพเดียวกันกับไวน์จากผลหม่อนสด และไวน์จากผลหม่อนแช่แข็งคือ ต่ำกว่ามาตรฐาน

สุรินทร์ (2548) ศึกษาผลของสายพันธุ์หม่อน ระยะความสุก และสายพันธุ์ยีสต์ต่อคุณภาพของไวน์หม่อน พบว่า การผลิตไวน์หม่อนโดยใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์ Lalvin K1V-1116 สำหรับหมักไวน์ ได้ไวน์หม่อนพันธุ์เชียงใหม่ที่มีความเข้มของสีเป็นสีแดง ส่วนไวน์หม่อนพันธุ์บุรีรัมย์ 60 มีความเข้มของสีเป็นสีแดงคล้ำหรือม่วงแดงซึ่งเป็นลักษณะของสีที่ดีสำหรับไวน์แดง ส่วนคุณภาพทางทางเคมี ไวน์หม่อนพันธุ์เชียงใหม่มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณแอลกอฮอล์ และปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทั้งหมดน้อยกว่าไวน์หม่อนพันธุ์บุรีรัมย์ 60 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสไวน์หม่อนพันธุ์เชียงใหม่ได้คะแนนด้านกลิ่นหอมที่เป็นเอกลักษณ์ของสายพันธุ์ รสชาติ และคะแนนรวมน้อยกว่าไวน์หม่อนพันธุ์บุรีรัมย์ 60 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ธิติพันธ์ (2549) ศึกษาการเก็บรักษาผลหม่อนสดพันธุ์เชียงใหม่ที่ระยะความสุกแตกต่างกัน พบว่า การเก็บรักษาผลหม่อนสุกจัดที่อุณหภูมิห้อง (31±4.0 องศาเซลเซียส) ในถาดโฟม (Polystyrene, PS) หุ้มด้วยพลาสติก PVC (Polyvinyl Chloride) เป็นภาชนะที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาผลหม่อนสด โดยที่สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน 2 วัน ส่วนการเก็บรักษาผลหม่อนสุกจัดในถุงพลาสติก (Polypropyline, PP) ปิดไม่เจาะรูด้านข้าง และถุงพลาสติก PP ปิดเจาะรูด้านข้าง 4 รู เก็บรักษาได้เพียง 1 วัน ก็เกิดการเน่าเสีย และสภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผลหม่อนเพื่อรับประทานผลสดคือ ผลหม่อนระยะสุกปานกลางและสุกจัดที่บรรจุในถาดโฟม PS หุ้มด้วยฟิล์ม PVC ที่เก็บในตู้เย็น (4 องศาเซลเซียส) สามารถเก็บรักษาได้นาน 14 และ 12 วัน ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved