

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

ปัจจุบันผู้บริโภคส่วนใหญ่ต้องการอาหารสำเร็จรูปที่มีคุณค่าทางโภชนาการและมีความคงตัวในระหว่างการเก็บรักษา อาหารแห้ง (Dehydrated foods) จึงได้เข้ามามีบทบาทในอุตสาหกรรมอาหารโดยอาศัยหลักการลดปริมาณความชื้นในอาหาร ทำให้น้ำหนักเบาขนส่งสะดวก อีกทั้งง่ายต่อการบรรจุ แต่วิธีนี้อาจมีข้อเสียหากมีการควบคุมวิธีการผลิตไม่ดีพอ กล่าวคืออาจทำให้อาหารกรอบ เปราะง่าย ขนาดเปลี่ยนไป คุณค่าอาหารลดลง และเมื่อทำให้คืนรูปจะไม่คืนสู่สภาพเดิม ยกเว้นกรณีการทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งเยือกแข็ง (Freeze dehydration) ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง ปัจจุบันจึงได้มีการปรับปรุงเทคโนโลยีให้ดีขึ้น โดยการพยายามนำน้ำออกจากอาหารในปริมาณหนึ่งที่ทำให้จุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียไม่สามารถเจริญเติบโตได้ โดยเริ่มมีการนำสารที่เรียกว่า ฮิวแมคแตนท์ (Humectant) มาใช้ในอาหารเพื่อลดปริมาณน้ำในอาหาร (ไพโรจน์ วิริยจारी, 2539) จนกระทั่งอาหารมีค่าวอเตอร์แอกติวิตีอยู่ในช่วง 0.6 ถึง 0.9 (Pascua *et al.*, 1994) วิธีการดังกล่าวทำให้ได้อาหารที่มีคุณภาพดีขึ้น รวมทั้งมีการเก็บรักษาได้นานขึ้น อาหารประเภทดังกล่าวจึงเรียกว่าอาหารกึ่งแห้ง (Intermediate Moisture Food, IMF) ตัวอย่างเช่น เนยแข็ง แยม ลูกกวาด และอาหารสัตว์เลี้ยง เป็นต้น อาหารดังกล่าวได้รับความสนใจอย่างจริงจังและได้มีการนำหลักการนี้มาใช้ในการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีรูปแบบใหม่และน่าสนใจมากขึ้น (ไพโรจน์ วิริยจारी, 2539)

การป้องกันการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางจุลินทรีย์ของอาหารดังกล่าวจึงเป็นสิ่งที่จะต้องคำนึงอย่างมากในการผลิตอาหารกึ่งแห้ง ดังนั้นจึงมีการวิจัยและพัฒนาหาวิธีการใหม่ๆ เพื่อแก้ปัญหาข้างต้น โดยมีการนำฮิวแมคแตนท์ที่มีคุณสมบัติทั้งในแง่ช่วยลดค่าวอเตอร์แอกติวิตีในอาหาร และช่วยป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ มาใช้ในสูตรการผลิตอาหารกึ่งแห้งชนิดต่างๆ (ไพโรจน์ วิริยจारी, 2539) รวมถึงการแปรรูปผลิตภัณฑ์ปลาข้างเหลืองกึ่งแห้งซึ่งแบบดั้งเดิมพบว่าการลดค่าวอเตอร์แอกติวิตีให้อยู่ในช่วงที่

เหมาะสมในการเก็บรักษา จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะผิวหน้าแห้งและเนื้อสัมผัสแข็งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นลดลงมาก และหากแก้ปัญหาโดยการเพิ่มปริมาณของเกลือและน้ำตาลซูโครสซึ่งเป็นอิมัลซิฟิเออร์ที่นิยมใช้กันทั่วไป จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติไม่เป็นที่ยอมรับ และไม่เหมาะสมในการบริโภคของผู้ป่วยที่เป็นโรคความดันโลหิตสูงและโรคเบาหวาน (Vallejo-Cordoba *et al.*, 1986) จึงมีความสนใจในการนำอิมัลซิฟิเออร์อื่นๆ ได้แก่ น้ำตาลแอลกอฮอล์และกลูโคสไซรัปมาใช้ร่วมกับน้ำตาลและเกลือ เพื่อลดข้อจำกัดดังกล่าว นอกจากนี้การใช้น้ำตาลแอลกอฮอล์ในผลิตภัณฑ์ปลาอบแห้งยังมีผลต่ออัตราการอบแห้ง (Iseya *et al.*, 2000) และสามารถเพิ่มความคงตัวจากการเสียดสภาพของโปรตีนขณะอบแห้ง (Nambu และคณะ 1995 อ้างโดย Iseya *et al.*, 2000) อีกทั้งยังมีผลต่อคุณลักษณะของเนื้อสัมผัส (Iseya *et al.*, 2000) ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงศึกษาถึงชนิดและความเข้มข้นของอิมัลซิฟิเออร์ที่เหมาะสมในการผลิตปลาข้างเหลืองกึ่งแห้งที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับและสามารถยืดอายุการเก็บรักษา รวมทั้งศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพผลิตภัณฑ์ปลาข้างเหลืองกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษา

การตรวจเอกสาร

1. ปลาข้างเหลือง (*Selaroides leptolepis*)

1.1 ลักษณะทั่วไป

ปลาข้างเหลืองเป็นปลาที่มีลำตัวป้อมแบนข้าง มีส่วนโค้งทางส่วนหัวและส่วนท้องโค้งเท่ากัน ตาโตมากประมาณ 1/3 ของความยาวของตัว ขอบปลายของขากรรไกรบนยื่นไปถึงบริเวณขอบตา มีฟันแถวเดียวเล็กมากบนขากรรไกรล่างและที่ลิ้นซีกรองเหงือกมี 26 ซี่ บนกระดูกเหงือกแรกครีบหลังเป็นหนามอ่อนมี 7 อัน ครีบอ่อนบนหลังมี 25 – 26 ก้าน เส้นข้างตัวเปลี่ยนแปลงเป็นเกล็ดหนามไม่แข็ง 25 – 34 เกล็ด ครีบกันมีหนาม 2 อัน แยกออกเด่นชัดตามด้วยครีบอ่อน 21 ก้าน ฐานของครีบหลังและครีบกันยาวเท่ากัน ลักษณะเด่นของปลาข้างเหลืองแตกต่างกับปลาอื่นๆ ตรงที่ไม่มีฟันบนริมฝีปากบนและบนเพดาน ลำตัวมีแถบสีเหลืองยาวตั้งแต่เหนือขอบตาบนไปถึงสุดโคนหาง บริเวณอกปกคลุมด้วยเกล็ดเล็กแต่เห็นได้ชัดเจน สีของปลามีสีน้ำเงินปนเขียวเข้มอยู่ทางด้านหลังของลำตัวถัดลงมามีแถบเหลืองปนส้มพาดยาวจากตาไปสุดขอบหาง ด้านท้องเป็นสีเงิน มีจุดดำเด่นชัดที่ขอบแก้มบน ครีบอื่นๆ เป็นสีเหลืองใสๆ โดยมีขนาด 9 – 12 เซนติเมตร ลักษณะทั่วไป ดังรูปที่ 1 (ปริยานุ สุชะวณิช และ เพ็ญแข ชื่นจิตต์ผ่อง, 2525)

1.2 แหล่งที่อยู่อาศัย

ปลาข้างเหลืองเป็นปลาชนิดที่พบมากสำหรับอ่าวไทยและชายฝั่งทะเลตะวันออกถึงชายฝั่งทะเลภาคใต้ตั้งแต่ชลบุรีถึงนราธิวาส เป็นชนิดที่พบบ่อยและมากที่สุด โดยมีการแพร่กระจายทั่วไปในเขตร้อนทางทิศเหนือขึ้นไปถึงชายฝั่งของจีน ทางตะวันตกเฉียงใต้ตั้งแต่ชายฝั่งของอินเดียไปถึงศรีลังกา ทางตะวันออกเฉียงใต้จากมาเลเซียไปควีนส์แลนด์ ปลาข้างเหลืองอยู่รวมกันเป็นฝูงหากินกลางน้ำใกล้ฝั่งตามพื้นทะเลที่เป็นโคลน มีขนาดที่จับได้ตั้งแต่ 4 – 19 เซนติเมตร ขนาดที่พบมากที่สุด 12 – 12.5 เซนติเมตร ส่วนใหญ่ถูกจับด้วยอวนล้อมซั้งและอวนลาก (ปริยานุ สุชะวณิช และ เพ็ญแข ชื่นจิตต์ผ่อง, 2525)



รูปที่ 1 ลักษณะของปลาข้างเหลือง

Characteristic of Yellowstrip Trevally fish.

1.3 คุณภาพของปลาข้างเหลือง

การนำสัตว์น้ำมาบริโภคหรือเพื่อการแปรรูปนั้น สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงมากที่สุดคือ ความสด ความสดเป็นลักษณะคุณภาพอย่างหนึ่งที่บ่งชี้ของอาหารหรือวัตถุดิบ สัตว์น้ำทันทีหลังตายถือว่ามีความสดอยู่ในระดับสูงสุด จากนั้นความสดจะลดลงเรื่อยๆ การลดลงของคุณภาพสัตว์น้ำขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิ วิธีการจัดการ และการเก็บรักษา จึงสามารถจำแนกลักษณะคุณภาพทั่วไปของอาหารได้ดังนี้ (นงลักษณ์ สุทธิวิช, 2531)

1. คุณภาพที่แสดงออกทางลักษณะภายนอก ซึ่งเกี่ยวข้องกับลักษณะต่างๆของสัตว์น้ำสดที่สามารถตรวจสอบได้ เช่น

1.1.1 ลักษณะปรากฏ ได้แก่ รูปร่างที่คงรูปปกติ สีสดใสมตามชนิดของสัตว์น้ำ เหงือกสีแดงสด ตาสีดำเป็นประกาย ผิวหนังเรียบเป็นมัน เกล็ดไม่หลุด ปราศจากตำหนิ เช่น รอยถลอกต่างๆ

1.1.2 กลิ่น ปลาสดมีกลิ่นสดตามธรรมชาติ ปลาที่จับใหม่ๆ มีกลิ่นคล้ายสาหร่ายทะเลหรือกลิ่นทะเล

1.1.3 รสชาติ สัตว์น้ำสดเมื่อทำให้สุกจะให้รสชาติดี กลิ่นหอมเฉพาะตัว รสหวาน เนื่องจากมีสารอินโนซีนโมโนฟอสเฟต และกรดอะมิโนอื่นๆ เช่น ไกลซีน กรดกลูตามิค

1.1.4 ลักษณะเนื้อ สัตว์น้ำสดเนื้อเป็นเงาสีใส เนื้อสัมผัสยืดหยุ่น

2. คุณภาพที่แสดงออกทางลักษณะภายใน ซึ่งเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบทางเคมี ซึ่งคุณภาพภายในสามารถตรวจได้โดยวิธีการทางชีวเคมี

สัตว์น้ำเริ่มเสื่อมเสียคุณภาพทันทีหลังตาย การเสื่อมเสียคุณภาพของสัตว์น้ำเกิดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและการย่อยตัวเองของเอนไซม์และแบคทีเรีย รวมทั้งการเติมออกซิเจนในตัวอย่างปลา ซึ่งสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ 3 ระยะดังนี้ (นงลักษณ์ สิทธิวิช, 2531)

ระยะที่ 1 ระยะที่เกิดก่อนการเกร็งตัว

ระยะที่ 2 ระยะเกร็งตัว

ระยะที่ 3 ระยะหลังการเกร็งตัว

ระยะที่ 1 และ 2 เป็นระยะที่เกี่ยวข้องเนื่องกับความสดที่ลดลง ในทางการค้ายังถือว่าปลาที่แข็งตัวนั้นมีความสดอยู่ ส่วนการเปลี่ยนแปลงระยะที่ 3 การเสื่อมคุณภาพส่วนใหญ่เกิดจากการกระทำของเอนไซม์ของแบคทีเรีย ทำให้เกิดสารประกอบต่างๆ หลายชนิด เช่น สารประกอบอะมีน ซึ่งมีทั้งอะมีนที่ระเหยได้ และอะมีนที่ระเหยไม่ได้ดังนี้

1. อะมีนที่ระเหยได้หรือสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด การตรวจสอบปริมาณสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมดเป็นการตรวจค่ารวมทั้งไตรเมทิลอะมีน ไโดเมทิลลามีนและแอมโมเนีย เมื่อสัตว์น้ำเริ่มเสื่อมคุณภาพปริมาณสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมดสูงขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ในเนื้อเยื่อ และเอนไซม์จากแบคทีเรีย

2. อะมีนที่ระเหยไม่ได้ ที่สำคัญได้แก่ ฮีสตามีนซึ่งเป็นสารที่เกิดจากการแตกตัวของฮีสติดีนในกระบวนการดีคาร์บอกซิเลชันโดยเอนไซม์ดีคาร์บอกซิเลสของจุลินทรีย์โดยเฉพาะพวก *Enterobacteriaceae* ปริมาณฮีสตามีนเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับความร้อนขณะเก็บรักษาและขณะแปรรูป

2. ค่าวอเตอร์แอกติวิตีและการเสื่อมเสียของอาหาร

อาหารประกอบด้วยน้ำอยู่ 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นน้ำที่อาหารยึดไว้เรียกว่า Bound Water จุลินทรีย์จะนำน้ำส่วนนี้ไปใช้ประโยชน์ได้ค่อนข้างยาก อีกส่วนหนึ่งคือน้ำอิสระที่อยู่รอบ ๆ องค์ประกอบของอาหารเรียกน้ำส่วนนี้ว่าน้ำที่เป็นประโยชน์ (Available Water) หรือวอเตอร์แอกติวิตี จุลินทรีย์สามารถนำน้ำส่วนนี้ไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ (ไพโรจน์ วิริยจारी, 2539) ซึ่งค่าวอเตอร์แอกติวิตีสามารถคำนวณได้ดังนี้ (McLaughlin and Magee, 1998)

$$a_w = p / p_o = \text{E.R.H.} / 100$$

เมื่อ a_w = วอเตอร์แอกติวิตี

p = ความดันไอของน้ำในอาหาร

p_o = ความดันไอน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิเดียวกัน

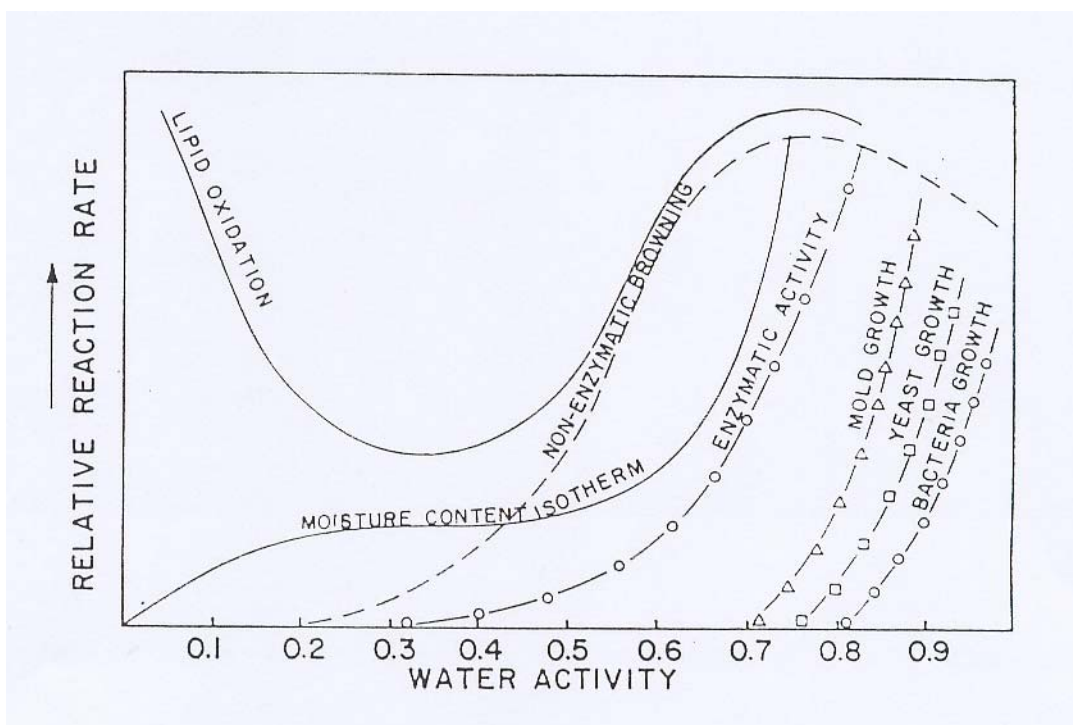
E.R.H. = ความชื้นสัมพัทธ์ที่จุดสมดุล

Rockland และ Nishi (1980) รายงานว่าในปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่าค่าวอเตอร์แอกติวิตีมีความสัมพันธ์กันมากกับคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมีและทางชีววิทยามากกว่าปริมาณความชื้นในอาหาร โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของสี กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส ความคงตัว และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของวัตถุดิบ และผลิตภัณฑ์อาหารมีความสัมพันธ์กับค่าวอเตอร์แอกติวิตีในช่วงแคบๆ นอกจากนั้นค่าวอเตอร์แอกติวิตีอาจจะมีผลโดยตรงต่อปฏิกิริยาทางเคมี ปฏิกิริยาของเอนไซม์ และการเจริญของจุลินทรีย์ (Labuza, 1980; Schwimmer, 1980a; b; Troller and Christian, 1978; Troller, 1980 อ้างโดย Rockland and Nishi, 1980)

อัตราของปฏิกิริยาการเสื่อมเสียทั่วไปในระบบอาหารมีความสัมพันธ์กับค่าวอเตอร์แอกติวิตีดังรูปที่ 2 จากรูปจะเห็นว่าเมื่อค่าวอเตอร์แอกติวิตีต่ำกว่า 1 ปฏิกิริยาการเสื่อมเสียทางเคมีและการเจริญของจุลินทรีย์ลดลงอย่างช้าๆ จนกระทั่งถึงระดับที่ปฏิกิริยาเกือบทั้งหมดถูกยับยั้ง เช่นเดียวกันความสามารถในการทำงานของเอนไซม์ส่วนใหญ่จะถูกยับยั้งเมื่อมีค่าวอเตอร์แอกติวิตีต่ำกว่า 0.35 และปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีเอนไซม์เกี่ยวข้องจะไม่เกิดขึ้นเมื่อค่าวอเตอร์แอกติวิตีมีค่าต่ำกว่า 0.20 ซึ่งตรงข้ามกับอัตราเร็วของปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันของไขมัน ในอาหารแห้งที่มีความชื้นต่ำมาก (ค่าวอเตอร์

แอกติวิตีต่ำกว่า 0.1) ปฏิกริยาการเกิดออกซิเดชันของไขมันจะเกิดได้เร็ว แต่เมื่อค่าวอเตอร์แอกติวิตีเพิ่มเป็น 0.3 อัตราเร็วของปฏิกริยากลับลดลง และอัตราการเกิดออกซิเดชันของไขมันมักจะต่ำสุด เมื่อมีค่าวอเตอร์แอกติวิตีอยู่ในช่วง 0.3 – 0.4 และปฏิกริยาจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและถึงจุดสูงสุดเมื่อค่าวอเตอร์แอกติวิตีเป็น 0.8 เนื่องจากความชื้นหรือปริมาณน้ำที่เพิ่มมากขึ้นช่วยให้เอนไซม์และสับสเตรทเคลื่อนย้ายได้ง่าย (รัศนี ตัณฑะพานิชกุล, 2537; นิธิยา รัตนานนท์, 2545)

อาหารส่วนใหญ่ที่กำจัดน้ำออกและอาหารที่มีความชื้นปานกลาง จะเกิดปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีเอนไซม์เกี่ยวข้องได้ดี อัตราการเกิดปฏิกริยานี้ขึ้นกับปริมาณน้ำและอัตราการเกิดจะสูงสุดที่ความชื้นปานกลาง เนื่องจากมีปริมาณความชื้นมากพอจนทำให้สับสเตรทของปฏิกริยาละลายได้ทั้งหมด แต่ถ้าความชื้นเพิ่มมากขึ้นหรือค่าวอเตอร์แอกติวิตีเพิ่มสูงขึ้นอัตราเร็วของปฏิกริยาอาจจะลดลงได้ เนื่องจากปริมาณน้ำที่เพิ่มมากขึ้นทำให้สารละลายสับสเตรทเจือจางลง (รัศนี ตัณฑะพานิชกุล, 2537)



รูปที่ 2 ผลของค่าวอเตอร์แอกติวิตีต่อความคงตัวของอาหาร

Food stability as a function of water activity.

Source : Rockland and Beuchat (1987 cite through Rahman, 1999)

วอเตอร์แอกติวิตี (Water Activity)

การจำแนกประเภทของอาหารตามค่าวอเตอร์แอกติวิตี สามารถแบ่งได้ 3 ประเภทใหญ่ๆดังนี้ (ไพโรจน์ วิริยจาร์, 2539)

1. อาหารที่มีค่าวอเตอร์แอกติวิตีสูง (High Moisture Foods, HMF) เป็นอาหารที่มีค่าวอเตอร์แอกติวิตีอยู่ในช่วง 0.85 - 1.00 อาหารประเภทนี้มีปริมาณน้ำสูงและมีสารถูกละลายไม่เพียงพอต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ (Davies *et al.*, 1976)

2. อาหารที่มีค่าวอเตอร์แอกติวิตีปานกลางหรืออาหารกึ่งแห้ง (Intermediate Moisture Foods, IMF) เป็นอาหารที่มีค่าวอเตอร์แอกติวิตีอยู่ในช่วง 0.65 - 0.85 และมีความชื้นประมาณร้อยละ 15 - 30 โดยการเพิ่มสารถูกละลายจนถึงจุดที่ทำให้ค่าวอเตอร์แอกติวิตีอยู่ในระดับที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ อาหารประเภทนี้ ได้แก่ กุนเชียง เนยแข็ง

ปม แยม ผลไม้แห้ง ฟรุตเค้ก แยม เป็นต้น (Davies *et al.*, 1976) นอกจากนี้ Kaplow (1970) ยังได้ให้ความหมายของอาหารกึ่งแห้งไว้ว่าอาหารที่สามารถบริโภคได้โดยไม่ต้องนำไปคั้นรูป และมีความคงตัวโดยไม่ต้องนำไปเก็บในอุณหภูมิต่ำหรือนำไปฆ่าเชื้อด้วยความร้อน

3. อาหารที่มีค่าวอเตอร์แอกติวิตีต่ำ (Low Moisture Foods, LMF) เป็นอาหารที่มีค่าวอเตอร์แอกติวิตีอยู่ในช่วง 0.01-0.65

นอกจากนั้น Troller และ Christian (1978) ยังได้แบ่งประเภทของอาหารตามค่าวอเตอร์แอกติวิตีของอาหารในสารละลายเกลือหรือสารละลายน้ำตาล ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าวอเตอร์แอกติวิตีของอาหารในสารละลายเกลือหรือสารละลายน้ำตาล

Water activity of food in salt or sucrose solution.

Type of food	Water activity	Salt (%)	Sucrose (%)	Example
HMF	0.95 - 1.00	0 - 8	0 - 44	fresh food, meat, fish , chicken, egg, fruit and vegetable, canned food, fruit in syrup, vegetable in brine, sausage, butter
	0.90 - 0.95	8 - 14	44 - 59	cheese, bakery, ham, concentrate orange
IMF	0.80 - 0.90	14 - 19	59 - saturated	sweet codensed milk, jam, candy
	0.70 - 0.80	19 - saturated	-	salted and dried fish
	0.60 - 0.70	-	-	dried fruit, syrup
LMF	0.50 - 0.60	-	-	chocolate, honey syrup confection noodle
	0.40	-	-	powdered egg, cocoa
	0.30	-	-	mixed cake, biscuit
	0.20	-	-	powdered milk, dried vegetable

HMF = High Moisture Foods

IMF = Intermediate Moisture Foods

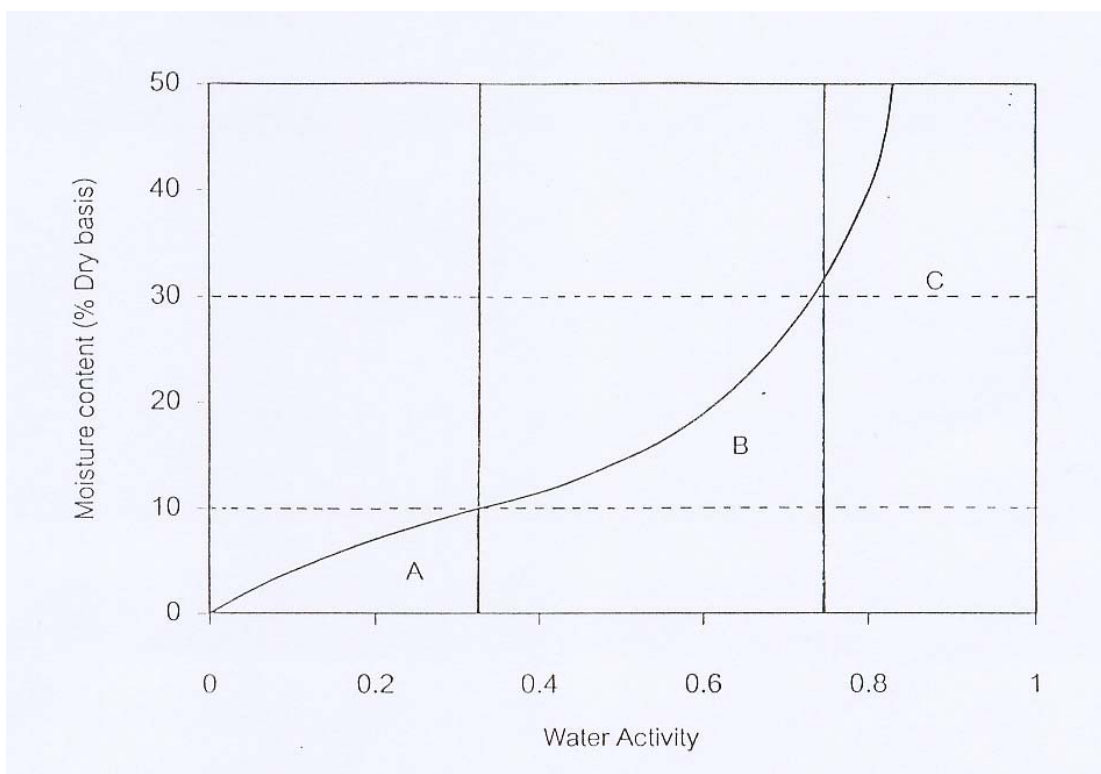
LMF = Low Moisture Foods

Source : Troller and Christian (1978)

3. ซอร์ปชันไอโซเทอร์มของน้ำ (Water Sorption Isotherm)

Water Sorption Isotherm หมายถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำ และวอเตอร์แอกติวิตีของอาหารแต่ละชนิด มีประโยชน์ในการแสดงคุณสมบัติของอาหาร กราฟแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวมักจะเป็นเส้นโค้งรูป “ S” (Sigmoid Shape) (Labuza, 1968 อ้างโดย ไพโรจน์ วิริยจारी, 2539)

อาหารกึ่งแห้งจะอยู่ในส่วน B ของซอร์ปชันไอโซเทอร์ม (ดังรูปที่ 3) น้ำในส่วน A ของซอร์ปชันไอโซเทอร์มคือน้ำที่ถูกอาหารดูดซับไว้รอบๆอาหาร เป็นฟิล์มบางๆเพียงชั้นเดียว (Monolayer) มีคุณสมบัติเป็นส่วนหนึ่งของอาหารที่มีความคงตัวดีมาก ไม่ว่าจะอุณหภูมิใดๆก็ตามจะไม่สามารถแห้งตัวได้ น้ำในส่วนนี้จะถูกยึดแน่นมากและไม่มีประโยชน์ หรือมีประโยชน์น้อยมากในการทำปฏิกิริยาต่างๆ น้ำในส่วน B หมายถึงน้ำที่อาหารดูดซึมเพิ่มมากขึ้นจาก Monolayer เป็นน้ำที่เกาะตัวกันอย่างหลวมๆ มีการดูดยึดกันน้อยกว่าน้ำในส่วน A ของซอร์ปชันไอโซเทอร์ม และน้ำในส่วน C เป็นน้ำที่รวมตัวกันอยู่ตามช่องว่างระหว่างสารประกอบของอาหาร จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตหรือเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงได้ (Labuza, 1968 อ้างโดย ไพโรจน์ วิริยจारी, 2539) ซอร์ปชันไอโซเทอร์มของอาหารหาได้โดยนำตัวอย่างอาหารจำนวนเล็กน้อยวางในบรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์คงที่ที่ระดับต่างๆ เมื่อตัวอย่างอาหารเกิดสภาวะสมดุลของความชื้น ให้นำตัวอย่างมาหาปริมาณความชื้น (Karel, 1975) ซอร์ปชันไอโซเทอร์มมีประโยชน์มากในการทำนายการเปลี่ยนแปลงความคงตัวของอาหารและวัดจุดวิกฤตของความชื้นและค่าวอเตอร์แอกติวิตีสำหรับการยอมรับได้ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งการเสื่อมเสียของอาหารส่วนมากเกิดจากการดูดซับความชื้นเข้าไป (Katz and Labuza, 1981 อ้างโดย Palou *et al.*, 1997)



รูปที่ 3 ซอร์ปชันไอโซเทอร์มของความชื้นของอาหาร

Moisture Sorption Isotherm of food.

Source : Viriyajaree (1996)

4. การทำแห้งอาหาร

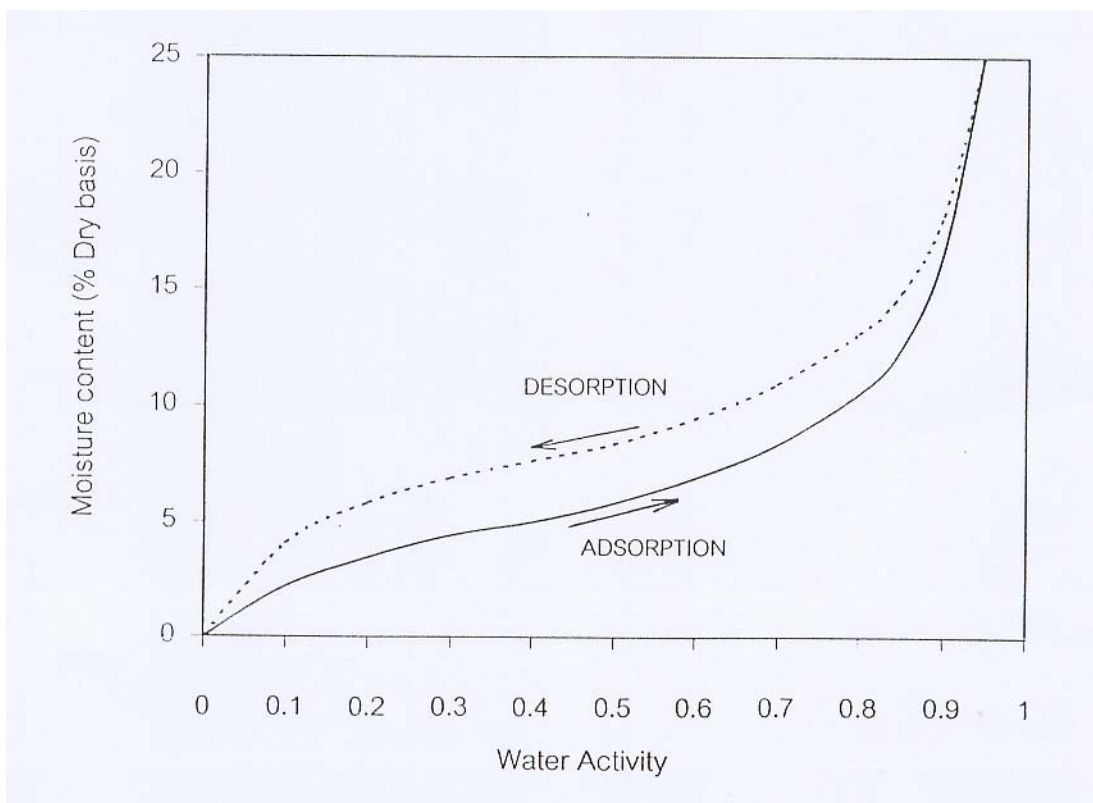
การทำแห้งอาหาร โดยทั่วไปหมายถึง การกำจัดความชื้นออกจากอาหารโดยมีวัตถุประสงค์ที่สำคัญคือ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา เนื่องจากความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงจนถึงระดับที่สามารถป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์หรือปฏิกิริยาเคมีและเอนไซม์ได้ (รุ่งนภาพงศ์สวัสดิ์มานิต, 2535)

วิธีการทำอาหารให้แห้งมี 2 วิธี คือ (Labuza, 1968 อ้างโดย ไพโรจน์ วิริยจारी, 2539)

1. Desorption หรือ moist infusion คือการทำให้อาหารแห้งจนกระทั่งมีค่าวอเตอร์แอกติวิตีตามต้องการ เป็นวิธีการเตรียมอาหารแบบการดึงน้ำออก

2. Adsorption หรือ dry infusion คือ การทำให้อาหารแห้งสนิทก่อน แล้วจึงดูดความชื้นกลับสู่อาหารใหม่ จนกระทั่งได้ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ตามต้องการ

อาหารที่เตรียมได้จากสองวิธีดังกล่าวข้างต้น มีค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ใกล้เคียงกัน แต่มีปริมาณความชื้นไม่เท่ากัน อาหารที่เตรียมด้วยวิธี Desorption จะมีปริมาณน้ำมากกว่าอาหารที่เตรียมด้วยวิธี Adsorption ปรากฏการณ์ความแตกต่างของปริมาณความชื้นนี้ เรียกว่า ฮิสเทอรีซิส (Histeresis) (ดังรูปที่ 4)



รูปที่ 4 แผนภาพแสดงปรากฏการณ์ฮิสเทอรีซิส

Histeresis phenomenon.

Source : Hall (1980)

การป้องกันหรือการชะลอการเน่าเสียของอาหาร จะต้องควบคุมให้ค่าวอเตอร์แอคทิวิตีต่ำกว่าค่าวอเตอร์แอคทิวิตีเฉพาะที่จุลินทรีย์ต้องการในการเจริญเติบโต โดยแบคทีเรียที่ทำให้เน่าเสียส่วนใหญ่จะหยุดการเจริญในอาหารที่มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตีต่ำกว่า 0.9 ส่วนเชื้อราจะถูกยับยั้งที่ค่าวอเตอร์แอคทิวิตีต่ำกว่า 0.8 แบคทีเรียทนเกลือจะไม่สามารถเจริญได้ที่ค่าวอเตอร์แอคทิวิตีต่ำกว่า 0.75 และจุลินทรีย์เกือบทั้งหมดจะถูกยับยั้งการเจริญที่ค่าวอเตอร์แอคทิวิตีต่ำกว่า 0.6 (Noryati and Michael, 1992) แต่พบว่าในการป้องกันการเจริญของเชื้อราปัจจัยที่สำคัญคือปริมาณของน้ำในผลิตภัณฑ์ซึ่งเชื้อราสามารถใช้ในการเจริญได้ โดยทั่วไปหากค่าวอเตอร์แอคทิวิตีต่ำกว่า 0.75 จะยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียได้และพบว่าที่ค่าวอเตอร์แอคทิวิตีต่ำกว่า 0.65 สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ยกเว้นเชื้อราเพียงไม่กี่ชนิดที่สามารถเจริญได้แต่ก็ช้ามาก และเนื่องจากเชื้อราเป็นจุลินทรีย์ประเภทต้องการอากาศ (aerobic) การเก็บอาหารซึ่งปนเปื้อนด้วยเชื้อราในที่ซึ่งมีออกซิเจนในปริมาณต่ำหรือเป็นสุญญากาศการเจริญของเชื้อราจะเป็นไปได้อย่างช้า (มัทนา แสงจินดาวงษ์, 2538)

5. ฮิวแมคแตนท์

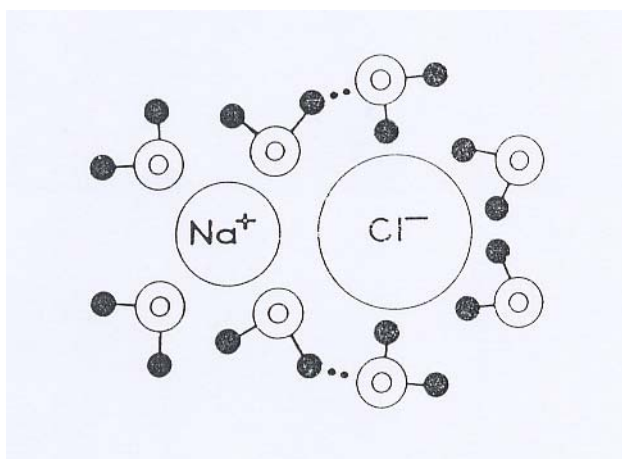
ฮิวแมคแตนท์เป็นสารที่ช่วยในการลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี ซึ่งส่งผลในการควบคุมไม่ให้เชื้อจุลินทรีย์เจริญในผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้งอย่างรวดเร็ว (Davies and Birch, 1976)

คุณสมบัติของสารฮิวแมคแตนท์ที่ดีจะต้องละลายน้ำได้ง่าย มีความคงตัว ไม่ระเหย สามารถบริโภคได้ มีคุณค่าทางโภชนาการ และไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับอาหารที่เติมลงไป (Ledward, 1981) สารฮิวแมคแตนท์ที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ เกลือ น้ำตาล กลีเซอรอล แป้งข้าวโพดไฮโดรไลเสท (42 D.E.) เป็นต้น (ศิริพร ศิวเวช, 2529)

5.1 เกลือ

มีการใช้เกลือในอาหาร เช่น เนื้อสด ผลิตภัณฑ์ปลา เพื่อช่วยเพิ่มรสชาติให้แก่อาหาร เกลือแกงที่มีความเข้มข้นสูงสามารถป้องกันการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ได้ (Frazier, 1967) โดยโมเลกุลของโซเดียมคลอไรด์สามารถไปจับกับโมเลกุลของน้ำได้ ดังแสดงในรูปที่ 5 Lupin (1982 อ้างโดย นงนุช รักสกุลไทย, 2538) ได้กล่าวถึงบทบาทและหน้าที่ของเกลือในผลิตภัณฑ์ปลา กึ่งแห้งดังต่อไปนี้

1. เกลือสามารถดึงน้ำออกจากตัวปลา เนื่องจากความเข้มข้นของเกลือกับตัวปลาต่างกันจึงทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของมวล ทำให้น้ำในตัวปลาลดลงและความเข้มข้นของเกลือจะเพิ่มขึ้น
2. ประจุบวกของเกลือแกง สามารถรวมกับประจุลบของโพรโทพลาซึม (protoplasm) ในเซลล์ของจุลินทรีย์ทำให้เกิดสารที่เป็นพิษกับจุลินทรีย์
3. เกลือแกงทำให้ระบบเอนไซม์ของจุลินทรีย์เปลี่ยนไป โดยเฉพาะเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีน ทำให้ยับยั้งหรือทำลายปฏิกิริยาของเอนไซม์ได้
4. น้ำเกลือสามารถไปลดปริมาณออกซิเจนที่สัมผัสกับเนื้อปลาหรือจุลินทรีย์ ทำให้มีผลกับจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศและลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน
5. เกลือแกงมีคุณสมบัติร่วมกับสารอื่นๆ เช่น เมื่อมีเกลืออาจทำให้จุลินทรีย์ถูกทำลายด้วยจากคาร์บอนไดออกไซด์ หรือกรดได้ง่าย



รูปที่ 5 การเชื่อมประสานของโมเลกุลของน้ำกับโซเดียมคลอไรด์

Crosslink of water and sodium chloride molecule.

Source : Fennema (1996)

5.2 น้ำตาลซูโครส

น้ำตาลซูโครสเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 2 ชนิด คือ น้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตส เป็นผลึกสีขาวมีรสหวาน ความสามารถในการป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ของซูโครสขึ้นกับความเข้มข้น โดยน้ำตาลซูโครสประมาณร้อยละ 60 สามารถป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ได้ ขณะที่น้ำตาลซูโครสปริมาณเล็กน้อยจะกลายเป็นสารอาหารสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์ (Lueck, 1980 อ้างโดย ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2532) ปฏิกริยาการต่อต้านจุลินทรีย์ของน้ำตาลซูโครส เกิดจากน้ำตาลซูโครสไปลดค่าวอเตอร์แอกติวิตีในอาหาร เนื่องจากน้ำตาลซูโครสมีกุุ่มไฮดรอกซิลจำนวนมากที่มีคุณสมบัติจับกับน้ำได้ดี จึงทำให้น้ำตาลซูโครสสามารถแตกตัวและกระจายตัวได้ดีในน้ำ (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538) ทำให้ค่าวอเตอร์แอกติวิตีของอาหารลดลง การถนอมอาหารด้วยน้ำตาลซูโครสอาจทำได้โดยการแช่ในสารละลายน้ำตาล หรือเติมน้ำตาลลงในอาหารโดยตรง

5.3 กลูโคสไซรัป

กลูโคสไซรัปมีลักษณะเป็นของเหลวข้นหนืดใส ไม่มีสี เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสแตร์ช โดยเป็นส่วนผสมของพอลิเมอร์ของกลูโคส มีค่า Dextrose Equivalent (D.E.) อยู่ระหว่าง 20 – 80 ซึ่งคุณสมบัติของกลูโคสไซรัปขึ้นอยู่กับค่า D.E. หรือ น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย ดังแสดงในตารางที่ 2 (Howling 1973 อ้างโดย Schenck and Hebeda, 1992) Howling และคณะ (1979 ; 1990 อ้างโดย Schenck and Hebeda, 1992) รายงานว่า คุณสมบัติในการควบคุมการดูดความชื้นเป็นคุณสมบัติที่สำคัญมากของกลูโคสไซรัป ซึ่งกลูโคสไซรัปที่มีค่า D.E. สูง (น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยต่ำ) จะสามารถลดความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (Equilibrium relative humidity, ERH) และลดการเกิดลักษณะแห้งของผลิตภัณฑ์ ขณะที่กลูโคสไซรัปที่มีค่า D.E. ต่ำจะเพิ่มค่า ERH และลดการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์ และพบว่าเมื่อเติมกลูโคสไซรัปร่วมกับน้ำตาลซูโครสจะส่งเสริมรสหวาน (Synergistic) โดยค่า D.E. เพิ่มขึ้นความหวานก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ส่วนสีของกลูโคสไซรัปขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและระดับความบริสุทธิ์ของกลูโคสไซรัป รวมทั้งกรรมวิธีในการผลิตและการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการนำกลูโคสไซรัปไปใช้งานนั้นส่วนใหญ่จะไปใช้ในส่วนผสมต่างๆและใช้ในกรรมวิธีการผลิตที่ต้องการผลของการเกิดสีน้ำตาล

ตารางที่ 2 คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของกลูโคสไซรัป ซึ่งขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยหรือค่า D.E.

Functional properties of glucose syrups as function of average molecular weight or D.E.

Property	Low D.E. , High Average Molecular Weight	High D.E. , Low Average Molecular Weight
Body agent	←	→
Browning reaction	→	→
Cohesiveness	←	→
Color formation	→	→
Crystallization control	→	→
Emulsion stabilizer	←	→
Fermentability	→	→
Flavor enhancement	→	→
Form stabilizer	←	→
Freezing point depression	→	→
Hygroscopicity	→	→
Nutritive value	→	→
Osmotic pressure	→	→
Preservation	→	→
Preservation of coarse ice crystals	←	→
Preservation of sucrose crystallization	←	→
Sheen producer	→	→
Sweetness	→	→
Thickening agent	←	→
Viscosity	←	→

Source : Howling (1993 cite through Schenck and Hebeda, 1992)

แม้ว่ากลูโคสไซรัปมีลักษณะใส ไม่มีสี แต่จะเกิดสีได้เมื่อได้รับความร้อนในขณะผ่านกรรมวิธีการผลิตอาหาร ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีของส่วนประกอบต่างๆในกลูโคสไซรัป (Birch, 1977) โดยมีสารประกอบ hydroxymethyl furfural (HAF) เกิดขึ้น และเพิ่มปริมาณขึ้นพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของสีในกลูโคสไซรัปในปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Ramchander and Feather, 1975)

Palmer (1970) กล่าวว่ากลูโคสไซรัปสามารถนำมาใช้ในสูตรอาหาร เพื่อให้ อาหารมีความหนืดหรือความคงตัว ช่วยในการดูดความชื้น ช่วยเพิ่มกลิ่นรส ยับยั้งการ ตกผลึกหรือควบคุมขนาดของผลึก ทำให้เกิดแรงดันออสโมติก และช่วยให้ผลิตภัณฑ์มี ลักษณะดีเป็นมันเงา ซึ่งตรงกับที่ Birch (1977) ได้กล่าวไว้ว่าคุณสมบัติที่สำคัญมากที่สุด อย่างหนึ่งของกลูโคสไซรัป คือ ความสามารถในการดูดความชื้น แต่พบว่าการใช้กลูโคสไซรัป จะทำให้เกิดปัญหาการตกผลึกได้ถ้าหากมีเดกซ์โทรสความเข้มข้นสูง Nicol (1971) กล่าวว่า การลดปัญหาการตกผลึกของเดกซ์โทรสในกลูโคสไซรัปที่ผลิตโดยการใช้เอนไซม์ไฮโดรไลซิส นั้น จะต้องมีย่อตราส่วนของปริมาณเดกซ์โทรสต่อมอลโตสสมดุลกัน

Eapen และคณะ (1981) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำตาลในรูปแบบต่างๆ เพื่อใช้เป็นสารลดค่าวอเตอร์แอคติวิตีในผลิตภัณฑ์เนื้อ พบว่าน้ำตาลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ได้แก่ เดกซ์โทรส ฟรุคโตส คอร์นไซรัปและกลูโคสไซรัป มีผลในการเพิ่มความดันออสโมติกใน สารละลายของเนื้อกึ่งแห้ง

5.4 น้ำตาลแอลกอฮอล์

น้ำตาลแอลกอฮอล์หรือพอลิอลหรือพอลิแอลกอฮอล์หรือพอลิไฮดริคแอลกอฮอล์ จัดเป็นอนุพันธ์ของแซคคาไรด์ ซึ่งหมู่ของคีโตนหรืออัลดีไฮด์ถูกแทนที่โดยหมู่ไฮดร็อกซิล พอลิไฮดริคแอลกอฮอล์เป็นวัตถุเจือปนในอาหารที่นิยมใช้ในวงการอาหารมาก เนื่องจาก มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารจะมีคุณภาพดีขึ้น โดยพบว่าจะมีการตกผลึกช้าลง มีความคงตัว ดีขึ้น เพิ่มความหนืดหรือ body ให้กับอาหาร และช่วยรักษาความชื้นในอาหารด้วย (ศิวพร ศิวเวชช, 2529) พอลิอลที่ได้รับการรับรองในสหภาพยุโรปให้ใช้ในอาหารได้ ได้แก่ ไอโซมอลท์ (Isomalt) แลคทิทอล แมนนิทอล ซอร์บิทอล มอลทิทอลและไซลิทอล และ พอลิอลที่อนุญาตให้ใช้ในสหรัฐอเมริกา ได้แก่ ซอร์บิทอล แมนนิทอล ไซลิทอล และ มอลทิทอล (Dias, 1999)

สารประกอบพวกพอลิออลนั้นจะมีความคงตัวต่อสารเคมีและความร้อนได้ดีกว่า สารประกอบประเภทน้ำตาล เนื่องจากกลุ่มไฮดร็อกซิลของพอลิออลมีความไวต่อปฏิกิริยาน้อยกว่ากลุ่มอัลดีไฮด์หรือคีโตนของน้ำตาล และสารประกอบพวกพอลิออลยังสามารถหลอมเหลวได้โดยปราศจากการสลายตัว และจะไม่เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ทำให้ไม่เกิดสีน้ำตาลขณะให้ความร้อน ดังนั้นเมื่อใช้ในการแปรรูปอาหารจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพที่ดีกว่า นอกจากนั้นพอลิออลที่มีน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น จุดหลอมเหลว จุดเดือด และความหนืดจะเพิ่มขึ้นด้วย แต่ความสามารถในการดูดซับความชื้นจะลดลง (Dias, 1999; ศิวาพร ศิวเวชช, 2529)

ความสามารถในการละลายน้ำของพอลิออลมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักโมเลกุล โครงสร้างของผลึก และจุดหลอมเหลวของพอลิออล ตัวอย่างเช่นพอลิออลซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆ เช่น กลีเซอรอล พบว่าสามารถละลายน้ำได้ไม่จำกัดปริมาณ แต่เมื่อน้ำหนักโมเลกุลของพอลิออลเพิ่มขึ้นความสามารถในการตกผลึกจะเพิ่มขึ้นด้วย จึงทำให้ความสามารถในการละลายของพอลิออลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงๆลดลง นอกจากนั้นความสามารถของพอลิออลในการดูดซับความชื้นของอาหารไว้ภายใต้สภาวะที่มีความชื้นปานกลางนั้นจะขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลของพอลิออลด้วย ซึ่งพอลิออลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงๆนั้น ส่วนใหญ่จะมีความสามารถในการดูดซับความชื้นของอาหารไว้ได้น้อย (ศิวาพร ศิวเวชช, 2529) คุณสมบัติของพอลิออลชนิดต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณสมบัติที่สำคัญของพอลิฮอล

Important properties of polyols.

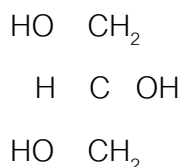
Properties	Lactitol	Glycerol	Sorbitol	Glucose syrup
Molecular weight	344	92	182	180
Melting point (°c)	-*	18.6	99	-
Boiling point (°c, 760 mm)	-	290, Break down	Break down	-
Density (at 25 °c)	-	1.2613	1.49	-
Viscosity (cp. at 25°c)	-	954	low	-
Humectancy	Low	Middle high	Middle low	-
Solubility in water (at 25°c)	Very good	Very good	71	-
Tolerant on high temperature	Stable	Stable	Stable	-
		A little evaporate		
Taste	Sweet	A little sweet	Cool, Sweet	Sweet
	(40 % of sucrose)	(60 % of sucrose)	(50 % of sucrose)	(70 – 80 % of sucrose)

Source : Adapt from Siwavate (1986); Schenck and Hebeda (1992); Dias (1999)

* “ - ” is no information.

5.4.1 กลีเซอรอล

กลีเซอรอลละลายน้ำได้ดี มีความคงตัว ไม่ระเหย ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น แต่มีรสหวานเล็กน้อย สามารถย่อยสลายให้พลังงานถึง 4.3 กิโลแคลอรีต่อกรัม (Park *et al.*, 1946 อ้างโดย อุไรวรรณ ปิตาวรานนท์, 2534) กลีเซอรอลมีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 6 จากรายงานของ Brockman (1970 อ้างโดย อุไรวรรณ ปิตาวรานนท์, 2534) ได้กล่าวถึงการทำผลิตภัณฑ์เนื้อกึ่งแข็งโดยใช้เนื้อโคส่วนที่โครงหน้าประมาณ 1 เซนติเมตรแช่ในสารละลายที่ประกอบด้วยกลีเซอรอลร้อยละ 87.9 เกลือร้อยละ 10.1 และโซเดียมเบนโซเอทร้อยละ 2.0 พบว่าเนื้อมีความอวอเตอร์แอกติวิตีมากกว่า 0.80 มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี เนื้อนุ่ม มีความฉ่ำน้ำและกลิ่นปกติ



รูปที่ 6 สูตรโครงสร้างของกลีเซอรอล

Structure of glycerol

Source : Voet and Voet (1990)

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการใช้กลีเซอรอลร่วมกับสารพอลิแอลกอฮอล์ (Polyol) ชนิดอื่นๆ ได้แก่ การศึกษาของ Kaplow และ Halik (1972 อ้างโดย อุไรวรรณ ปีตาวรานนท์, 2534) ใช้โพรพีลีนไกลคอล ร้อยละ 0.3 – 2.0 ร่วมกับกลีเซอรอลในการผลิตอาหารกึ่งแข็ง Lin และ Chang (1987 อ้างโดย อุไรวรรณ ปีตาวรานนท์, 2534) ได้ใช้กลีเซอรอล และ ซอร์บิทอล และ กลีเซอรอลเป็นสารดูดความชื้นในส่วนประกอบของสารละลายที่ใช้แช่เนื้อในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อหมูกึ่งแข็ง

Paseua และคณะ (1994) ศึกษาการลดค่าวอเตอร์แอกติวิตีร่วมกับการพาสเจอร์ไรซ์ในผลิตภัณฑ์ปลาแมคเคอเรล โดยแช่ปลาแมคเคอเรลลงในสารละลายที่ประกอบด้วยกลีเซอรอล 540 กรัม น้ำ 380 กรัม โซเดียมคลอไรด์ 70 กรัม และโพแทสเซียมซอร์เบท 7 กรัม ในอัตราส่วนของปลาต่อสารละลายเท่ากับ 0.59 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 2 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 10 15 20 และ 30 ชั่วโมง ร่วมกับการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 15 20 30 และ 40 นาที พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์เป็นระยะเวลา 20 นาที และระยะเวลาในการแช่ตัวอย่างลงในสารละลายดังกล่าวเป็นระยะเวลา 20 ชั่วโมงมากที่สุด โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าวอเตอร์แอกติวิตีเท่ากับ 0.89 มีรสชาติหวานปานกลางและเนื้อสัมผัสมีลักษณะฉ่ำน้ำ

Dymza และ Silverman (1979) ศึกษาการผลิตปลากึ่งแข็ง โดยการแช่เนื้อปลาขนาด $2.7 \times 2.7 \times 1.3$ เซนติเมตร ในสารละลายกลีเซอรอลร้อยละ 40 โซเดียมคลอไรด์ ร้อยละ 7 โซเดียมอะซีเตทร้อยละ 10 น้ำกลั่นร้อยละ 43 ในอัตราส่วนปลาต่อสารละลาย

เท่ากับ 1 ต่อ 3 และให้ความร้อน 90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 20 นาที พบว่าผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีค่าวอเตอร์แอกติวิตีเท่ากับ 0.82

Prabhakar และ Ramanurthi (1990) ศึกษาการผลิตเนื้อกระป๋องกึ่งแห้งโดยการแช่เนื้อกระป๋องขนาด 2.5 X 2.5 X 2.5 เซนติเมตร ลงในสารละลายเกลือโซรอลร้อยละ 2 โซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 10 ไตรโซเดียมซีเตรทร้อยละ 2 โซเดียมเบนโซเอทร้อยละ 0.2 และน้ำร้อยละ 85.80 โดยน้ำหนัก ในอัตราส่วนของเนื้อกระป๋องต่อสารละลายเท่ากับ 1 ต่อ 1.5 โดยน้ำหนัก เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำตัวอย่างมาอบด้วยตู้อบลมร้อนที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าผลิตภัณฑ์หลังการอบมีค่าวอเตอร์แอกติวิตีและปริมาณความชื้นเท่ากับ 0.85 และร้อยละ 47.32 ตามลำดับ

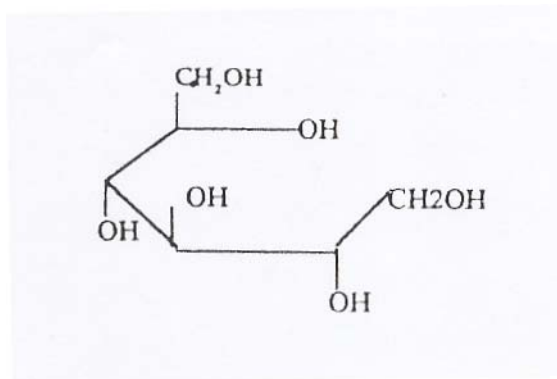
Boyle และคณะ (1993) ได้ศึกษาถึงการลดค่าวอเตอร์แอกติวิตีในผลิตภัณฑ์เนื้อหัวใจ (Beef Heart Meat) ขึ้นรูปโดยใช้อัลจินเนตร่วมกับส่วนผสมที่ละลายน้ำได้ (เกลือโซรอล ร้อยละ 10, 20 เดกซ์โตรสและไกลซีน ร้อยละ 0, 5) และส่วนผสมที่ไม่ละลายน้ำ (เนื้อหัวใจแห้งบด ร้อยละ 10, 20 กระจุกป็นร้อยละ 0, 5) พบว่าผลิตภัณฑ์เนื้อหัวใจขึ้นรูปที่เติมเกลือโซรอลร้อยละ 20 มีผลในการลดค่าวอเตอร์แอกติวิตีได้ดีที่สุด โดยสามารถลดค่าวอเตอร์แอกติวิตีให้มีค่าเท่ากับ 0.768 เมื่อเทียบกับชุดควบคุมซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.940 ส่วนการเติมไกลซีน เนื้อหัวใจแห้งบด เดกซ์โตรส และกระจุกป็น ส่งผลให้ค่าวอเตอร์แอกติวิตีลดลงได้น้อยกว่าการเติมเกลือโซรอลตามลำดับ

Ichikawa และ Shiniji (1989) เสนอรายงานว่า อาหารจำพวกผักและผลไม้สามารถเติมเกลือโซรอลร้อยละ 3 – 30 ลงไปเพื่อลดปริมาณน้ำอิสระ โดยที่รูปร่างภายนอกไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

5.4.2 ซอร์บิทอล

ซอร์บิทอลเป็นสารที่ได้มาจากกลูโคส สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ มีลักษณะเป็นผลึกปริซึมรูปเข็มขนาดเล็กและมีลักษณะเป็นผลึกแผ่นเล็กๆ ผลึกของซอร์บิทอลจะมีความคงตัวสูง และจะไม่เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดและไม่เกิดคาราเมลแม้ว่าจะได้รับความร้อนเป็นระยะเวลานาน นอกจากนี้ยังสามารถละลายน้ำได้ง่ายและมีความคงตัวดีแม้ว่าจะอยู่ในรูปของสารละลาย (Emodi, 1982) ซอร์บิทอลมีสูตรโครงสร้าง ดังรูปที่ 7

ซอร์บิทอลมีความหวานเพียงครึ่งหนึ่งของน้ำตาลซูโครส (Lee *et al.*, 1976) และจัดอยู่ในรายชื่อองค์ประกอบของอาหาร GRAS (Generally Recognized As Safe) ซึ่งสามารถใช้ในอาหารได้สูงถึงร้อยละ 70 คุณสมบัติที่สำคัญของซอร์บิทอล คือ มีความสามารถในการลดความชื้นได้ดีและป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อรา นอกจากนี้ยังช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสและรสชาติที่ดีขึ้น ซอร์บิทอลสามารถใช้ได้ในผลิตภัณฑ์หลายชนิดและให้คุณสมบัติต่าง ๆ กัน เช่น ลดแคลอรี และให้ความรู้สึกเย็นในลูกกวาด ช่วยดูดความชื้น ช่วยกักเก็บน้ำในผลิตภัณฑ์ขนมอบ (Dias, 1999)



รูปที่ 7 สูตรโครงสร้างของซอร์บิทอล

Structure of sorbitol

Source : Dias (1999)

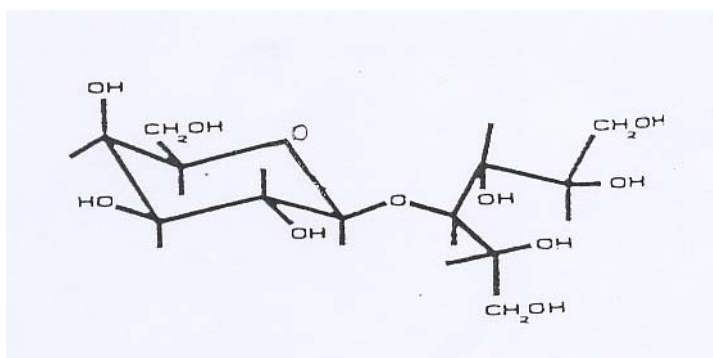
อุไรวรรณ ปิตาวรานนท์ (2534) ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบเนื้อกึ่งแห้งที่ใช้สารดูดความชื้นต่างชนิดกัน คือ กลูโคสไซรัป ซอร์บิทอล และ กลูโคสไซรัปร่วมกับซอร์บิทอล ในอัตราส่วน 1 : 1 และแต่ละชนิดใช้ความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของสารละลาย จากผลการทดสอบ สรุปได้ว่า เนื้อกึ่งแห้งที่ใช้ซอร์บิทอล ร้อยละ 20 และการใช้กลูโคสไซรัปร่วมกับซอร์บิทอล ร้อยละ 20 ในอัตราส่วน 1 : 1 เป็นสารดูดความชื้นมีคะแนนการยอมรับในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่มีคะแนนการยอมรับดังกล่าวสูงกว่าเนื้อกึ่งแห้งที่ใช้กลูโคสไซรัป ร้อยละ 20 และเนื้อกึ่งแห้งที่ไม่ใช้สารดูดความชื้น

Isey และ คณะ (2000) ศึกษาถึงผลของการหมักปลาเอทคาแมคเคอเรล (*Atka mackerel, Pleurogrammus azonus*) และปลาหมึก (*Todarodes pacificus*) ในสารละลายที่ประกอบด้วย Tris-acetate 200 มิลลิโมลาร์ ซอร์บิทอล 0.5 – 1.5 โมลาร์ และ/หรือโซเดียมคลอไรด์ 0.5 – 1.5 โมลาร์ และเก็บรักษาไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 18 ชั่วโมง พบว่าเนื้อปลาและปลาหมึกที่หมักในสารละลายซอร์บิทอล 1.5 โมลาร์ มีซอร์บิทอลซึมผ่านมากขึ้น ส่งผลทำให้ความชื้นลดลงร้อยละ 52 และ 42 ตามลำดับ การหมักร่วมกับเกลือสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการดึงน้ำออกแบบออสโมติกได้ และเมื่อนำตัวอย่างไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าตัวอย่างที่หมักด้วยซอร์บิทอลมีอัตราการอบแห้งในช่วงเริ่มต้นช้ากว่าตัวอย่างที่ไม่ได้ผ่านการหมัก และอัตราการอบแห้งคงที่ของตัวอย่างที่ผ่านการหมักมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการหมักอย่างมีนัยสำคัญ

Yoo และ Lee (1993) รายงานถึงการใส่ซอร์บิทอลในผลิตภัณฑ์ปลาบดที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่แข็ง และโปรตีนในไข่ขาวและหางนมผงที่ทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าซอร์บิทอลที่เข้มข้นขึ้นสามารถทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนได้แก่ เพิ่มความสามารถในการเกิดเจล ความสามารถในการจับน้ำ ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน และเพิ่มเอนทัลปีโดยไม่เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของการเสียสภาพโปรตีน โดยซอร์บิทอลมีผลเพิ่มพันธะไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic interaction) ซึ่งเพิ่มความคงตัวของโครงสร้างสามมิติของโปรตีน และเพิ่มไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) จากการให้สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโปรตีนและซอร์บิทอล (Protein-sorbitol complex) นอกจากนี้ Back และคณะ (1979 อ้างโดย Yoo and Lee, 1993) รายงานว่าน้ำตาลและพอลิฮอลเพิ่มความคงตัวของโปรตีนจากการเสียสภาพด้วยความร้อน เนื่องจากพันธะไฮโดรโฟบิกระหว่างหมู่ไฮโดรโฟบิกของโปรตีนในสารละลายน้ำตาลสูงโครสมีความแข็งแรงกว่าในน้ำบริสุทธิ์ นอกจากนี้การเพิ่มแรงโคฮีชัน (Cohesion force) ของน้ำตาล ทำให้เพิ่มแรงตึงผิวของน้ำ ซึ่งมีความสำคัญต่อปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนกับส่วนประกอบของตัวทำละลายในระบบสารละลายน้ำตาล ทำให้เพิ่มความคงตัวของโปรตีน (Arakawa and Timasheff, 1982 อ้างโดย Yoo and Lee, 1993)

5.4.3 แลคทิทอล

แลคทิทอลหรือแลคทิต (Lactitol หรือ Lactit) มีชื่อทางเคมีว่า 4-O-β-D-Galactopyranosyl-D-glucitol (C₁₂H₂₄O₁₁) แลคทิทอลเป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์โมเลกุลคู่ มีโครงสร้างดังรูปที่ 8 แลคทิทอลเป็นพอลิออลที่ดูดความชื้นได้ดีที่สุด มีลักษณะเป็นผลึก ละลายน้ำได้ดี มีรสชาติคล้ายน้ำตาลซูโครส โดยมีความหวานร้อยละ 40 ของน้ำตาลซูโครส ไม่ให้ความรู้สึกภายหลังการรับประทาน (After taste) และเป็นน้ำตาลที่ให้ค่าพลังงานต่ำกว่าน้ำตาลซูโครส โดยให้พลังงาน 2 กิโลแคลอรีต่อกรัม เนื่องจากแลคทิทอลไม่สามารถย่อยหรือดูดซึมได้ในลำไส้เล็ก นอกจากนี้ยังเป็นน้ำตาลที่ไม่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งและไม่เกิดการหมักด้วยจุลินทรีย์ภายในปาก น้ำตาลแลคทิทอลไม่ได้จัดอยู่ในจำพวกน้ำตาลรีดิวิซ์ เนื่องจากกลุ่มอัลดีไฮด์ของน้ำตาลแลคทิทอลไม่อยู่ในสภาวะอิสระ โดยคาร์บอนในตำแหน่งที่หนึ่งของ β-D-Galactopyranosyl ต่อกับหมู่ไฮดรอกซิลของ D-glucitol ที่คาร์บอนตำแหน่งที่สี่ด้วยพันธะไกลโคซิดิก จึงไม่ทำให้เกิดปฏิกิริยามอลาร์ดหรือการแตกตัวด้วยเอนไซม์ นอกจากนี้ยังมีความคงตัวที่ค่าความเป็นกรดต่างและอุณหภูมิสูง น้ำตาลแลคทิทอลมีผลในการลดจุดเยือกแข็งและค่าวอเตอร์แอกทิวิตีได้ (Blankers, 1995; Fennema, 1996)



รูปที่ 8 สูตรโครงสร้างของแลคทิทอล

Structure of lactitol

Source : Blankers (1995)

นอกจากนี้ยังมีสารประกอบบางชนิดที่ผ่านการตรวจสอบว่าเหมาะสมในการใช้เป็นสารที่ช่วยในการลดค่าออกเตอร์แอกติวิตีสำหรับใช้ในอาหารกึ่งแห้ง ดังตารางที่ 4 (Chirife and Favetto, 1992)

ตารางที่ 4 สารประกอบบางชนิดที่ผ่านการตรวจสอบว่าเหมาะสมในการใช้เป็นสารที่ช่วยในการลดค่าออกเตอร์แอกติวิตีสำหรับใช้ในอาหารกึ่งแห้ง

Some compounds screened in an attempt to find suitable water activity depressants for use in intermediate moisture food.

Compounds	Compounds
L – Lysine	Whey protein
Monosodium glutamate	Soy protein
Monopotassium and Monosodium aspartate	Serum albumin
Sodium lactate	Sugar molasses
Sodium citrate	Lactitol
Polyglycerols and polyglycerol esters	Lactulose
Polyethylene glycols	Hydrolized lactose
Mixtures of amino acids	Ethanol
1,3 and 2,3 butylene glycol	Glycine
Protein hydrolysates	Alanine
Casein	L - Proline

Source : Chirife and Favetto (1992)

6. ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการทำแห้งอาหาร

ในการทำแห้งอาหารทั่วไป มีปัจจัยหลายประการที่ทำให้การทำแห้งนั้นเกิดได้เร็วหรือช้าซึ่งพอสรุปได้ดังนี้ (สมบัติ ขอบทวิวัฒนาการ, 2529; คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, 2540)

1. ธรรมชาติของอาหาร

อาหารเนื้อโปร่งมีการเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารแบบผ่านช่องแคบซึ่งเร็วกว่าการแพร่ในอาหารเนื้อแน่น ดังนั้นอาหารเนื้อโปร่งจึงแห้งได้เร็วกว่าอาหารเนื้อแน่น อาหารที่มีการลวก นวดคลึงทำให้เซลล์แตกจึงแห้งเร็ว

2. ขนาดและรูปร่าง

ขนาดและรูปร่างของอาหารมีผลต่ออัตราการทำให้แห้ง อาหารรูปร่างเหมือนกันแต่มีขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่จึงแห้งได้เร็วกว่า แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงพื้นที่ผิวสัมผัสอากาศที่จะเกิดการเคลื่อนย้ายของน้ำออกไปได้ ถ้าชิ้นเล็กมากทั้บถมกันการระเหยเกิดขึ้นได้เฉพาะที่ผิวสัมผัสกับอากาศจึงเกิดได้ช้าทั้งๆที่พื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมาก

3. ตำแหน่งและลักษณะการวางอาหารในตู้

อาหารที่มีการสัมผัสกับลมร้อนได้ดีหรือสัมผัสกับลมร้อนที่มีความชื้นต่ำย่อมระเหยน้ำออกได้ดีกว่า

Achmad และ Bandol (1990) ได้ทำการศึกษากการวางปลาในตู้อบแห้ง 2 ลักษณะ คือ วางตัวปลาตามทิศทางของลมร้อน และขวางทิศทางของลมร้อน โดยใช้อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 18 ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที พบว่าการวางปลาในลักษณะตามทิศทางลมร้อน ปริมาณความชื้นของตัวปลาจะลดลงเร็วกว่าการวางปลาขวางทิศทางลมและใช้ระยะเวลาในการทำให้แห้งสั้นกว่า

4. อุณหภูมิ

ถ้าอากาศร้อนมีความชื้นคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำจึงมีผลต่อการทำให้แห้งในช่วงอัตราการทำให้แห้งคงที่ และอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้การแพร่กระจายของน้ำดีขึ้น จึงมีผลต่อการอบแห้งในช่วงของอัตราการอบแห้งลดลงด้วย เนื่องจากในช่วงของอัตราการอบแห้งลดลง วัสดุอบแห้งมีแนวโน้มจะแห้งเร็วขึ้น ถ้าอุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้น อัตราการแพร่ของความชื้นจากภายในไปยังผิวของวัสดุจะเร็วขึ้น

Nketsia – Tabiri และ Sefa – Dedeh (1995) ได้ทำการทดลองผลิตปลาเค็มแห้งจากปลา Tilapia (*Oreochromis niloticus*) โดยการหมักปลาในเกลือ ด้วยระยะเวลาต่างๆ กัน คือ 0 – 24 ชั่วโมง และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำให้แห้งอยู่ในช่วง 40 – 60 องศาเซลเซียส ผลปรากฏว่าตัวอย่างปลาเค็มแห้งที่มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุดเป็นตัวอย่างที่ใช้เวลาในการหมักปลาในเกลือนาน 20.5 12 และ 8.5 ชั่วโมง รองลงมาตามลำดับ สำหรับผลิตภัณฑ์ปลา

เค็มแห้งที่ใช้อุณหภูมิการอบเป็น 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าคะแนนความแข็งแรงต่างเฉลี่ยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งปลา โดยพบว่าการทำแห้งที่ 40 องศาเซลเซียส ความแข็งแรงต่างในผลิตภัณฑ์ลดลง ในขณะที่ตัวอย่างที่ทำแห้งที่ 50 และ 60 องศาเซลเซียส มีความแข็งแรงต่างเพิ่มขึ้น คะแนนด้านสีและการยอมรับขึ้นอยู่กับอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งและเวลาในการแช่เกลือ นั่นคือเมื่อทำแห้งที่ 40 องศาเซลเซียส และเวลาในการแช่เกลือเพิ่มขึ้น คะแนนด้านสีลดลง ส่วนการทำแห้งที่ 50 และ 60 องศาเซลเซียส มีคะแนนด้านสีเพิ่มสูงขึ้น และพบว่าการใช้อุณหภูมิจากอบแห้งสูงขึ้นทำให้คะแนนการยอมรับเพิ่มสูงขึ้น

จากการศึกษาของกอบพร ประทุมพนรัตน์ (2543) พบว่าปลาหางควายแห้งปรุงรสแบบขึ้นที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิและความเร็วลมที่ต่างกันส่งผลให้คะแนนการยอมรับรวมมีความแตกต่างกัน ($p < 0.05$) ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ทุกระดับความเร็วลมมีคะแนนน้อยกว่าค่าอุดมคติเนื่องจากผลิตภัณฑ์มีความแข็งน้อยและสีเหลืองอ่อนเกินไป ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทุกระดับความเร็วลมมีคะแนนเกินค่าอุดมคติเนื่องจากผลิตภัณฑ์มีความแข็งและสีเข้มเกินไป และที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที มีคะแนนด้านสี ความแข็ง และการยอมรับรวมเข้าใกล้ค่าอุดมคติมากที่สุด

5. ความเร็วของลมร้อน

ลมร้อนทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกจากอาหาร เมื่อความเร็วลมร้อนเพิ่มขึ้นไอน้ำจะเคลื่อนย้ายได้ดี นอกจากนี้ความเร็วลมมีผลต่อการอบแห้งคือ มีผลต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลและสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อน โดยอากาศร้อนจะทำให้เกิดการปั่นป่วนของอากาศในเครื่องอบแห้งจึงทำให้อากาศร้อนสัมผัสกับอาหารได้ดียิ่งขึ้น จึงทำให้การเคลื่อนย้ายไอน้ำเกิดได้ดีขึ้น

6. ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

เป็นสิ่งสำคัญมากต่อการระเหยน้ำ ปริมาณความชื้นสุดท้ายในผลิตภัณฑ์จะขึ้นอยู่กับค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ หากความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำมีผลให้การทำแห้งใช้ระยะเวลาสั้นลง

7. การศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร

ผลิตภัณฑ์อาหารเป็นผลิตภัณฑ์ที่เน่าเสียได้ง่ายกว่าผลิตภัณฑ์อื่นๆ จึงควรมีการศึกษาถึงอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์หรือเวลาในการเก็บรักษาจนกระทั่งผลิตภัณฑ์ไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดและไม่เป็นที่ยอมรับ ความสำคัญของการศึกษาอายุการเก็บรักษา คือ กำหนดวันหมดอายุของอาหารเพื่อให้ผู้บริโภคทราบและประกันว่าผลิตภัณฑ์ในช่วงระยะเวลาที่มีคุณภาพตามที่กำหนด ซึ่งผลิตภัณฑ์จะสามารถเก็บรักษานานมากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิดผลิตภัณฑ์ ภาชนะบรรจุ สภาพการเก็บ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ออกซิเจน และแสง (ศิริลักษณ์ สินธวาลัย, 2533)

Man และ คณะ (1994 อ้างโดย ปูน คงเจริญเกียรติ และสมพร คงเจริญเกียรติ, 2541) กล่าวว่าวิธีการตรวจสอบคุณภาพของอาหารว่าเสื่อมคุณภาพจนกระทั่งถึงระดับที่ยอมรับได้หรือไม่ นั้น จะใช้วิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบที่เป็นกลุ่มเป้าหมายหรือการวิเคราะห์ทางเคมี จนพบว่าอาหารเริ่มจะเสื่อมคุณภาพและบันทึกเวลาที่ทำการทดลองจนอาหารเริ่มจะเสื่อมคุณภาพ

8. การเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ปลาแห้ง

8.1 การเสื่อมเสียทางกายภาพ ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งโดยทั่วไปจะมีการเปลี่ยนแปลงได้เมื่อเก็บอยู่ในสภาวะธรรมชาติ ซึ่งผลิตภัณฑ์จะดูดความชื้นทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเนื้อสัมผัสเหนียว ดังนั้นการออกแบบการบรรจุและการเก็บรักษาจะช่วยยืดระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ได้ (Paine and Paine, 1992)

8.2 การเสื่อมเสียทางเคมี

8.2.1 การเสื่อมเสียเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (Lipid Oxidation) เนื่องจากปลาประกอบไปด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงจึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย วิธีการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าว อาจทำได้โดยเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำหรือเติมวัตถุกันหืน เช่น BHT (Butylated hydroxyanisole) และ BHA (Butylated hydroxytoluene) (Karel, 1975)

8.2.2 การเกิดสีน้ำตาลของเนื้อปลาเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์กับกลุ่มอะมิโน จัดเป็นการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์ ทำให้เกิดสี

น้ำตาลขึ้น โปรตีนสูญเสียการละลายทำให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ (Sapers, 1975 อ้างโดยไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาลิก, 2532)

8.3 การเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์

8.3.1 การเสื่อมเสียเนื่องจากแบคทีเรีย

Treller และ John (1978) รายงานว่า จุลินทรีย์ที่พบมากในปลาเค็มได้แก่ *Serratia*, *Micrococcus*, *Bacillus*, *Alcoligeness*, *Pseudomonas* ทำให้เกิดสีแดงขึ้นในผลิตภัณฑ์

8.3.2 การเสื่อมเสียเนื่องจากเชื้อรา

การเสื่อมเสียของอาหารกึ่งแห้งพบว่าส่วนใหญ่เกิดจากเชื้อรา ทั้งนี้เพราะว่าเชื้อราหลายชนิดสามารถเจริญได้ในช่วงค่าวอเตอร์แอกติวิตี 0.80 โดยเฉพาะพวกเชื้อราที่สามารถเจริญที่ความชื้นต่ำซึ่งสามารถเจริญได้ที่ค่าวอเตอร์แอกติวิตี 0.65 (Labuza, 1970 อ้างโดยไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาลิก, 2532)

8.4 การเสื่อมเสียเนื่องจากแมลง

การเสื่อมเสียของปลาแห้งเนื่องจากแมลงในระหว่างการผลิตและเก็บรักษา เป็นปัญหาหลักที่สำคัญและมีมานานกว่า 20 ปี การเสื่อมเสียเนื่องจากแมลงมักพบในผลิตภัณฑ์ที่ทำแห้งโดยวิธีพื้นบ้าน และในช่วงฤดูฝนไม่มีแสงแดด แมลงที่ทำให้ปลาแห้งเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งคุณภาพและปริมาณมี 2 ชนิด คือ แมลงวัน และแมลงปีกแข็ง โดยตัวแก่ของแมลงวันจะวางไข่บนตัวปลาในขณะที่เริ่มทำแห้ง และสำหรับแมลงปีกแข็งจะทำลายปลาแห้งเมื่อผ่านการทำแห้งมาแล้วโดยเฉพาะในบริเวณผิวหนังของผลิตภัณฑ์ (Taylor, 1985)

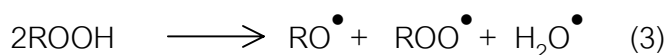
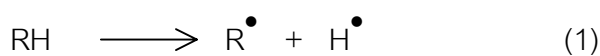
9. กลไกการเกิดออกซิเดชันของไขมัน

ในระบบของอาหารปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติ (Autoxidation) เป็นผลให้ไขมันเสื่อมสภาพ ซึ่งกลไกพื้นฐานของปฏิกิริยานี้สามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน คือ ระยะเหนี่ยวนำ ระยะขยายตัวของปฏิกิริยา และ ระยะสิ้นสุด (Madhavi *et al.*, 1996) ดังนี้

1. ระยะเหนี่ยวนำ (Initiation) เป็นระยะเริ่มต้นของปฏิกิริยาซึ่งจะเกิดอนุมูลอิสระ (Free radical) ขึ้น ในระยะนี้ไฮโดรเจนอะตอมจะถูกดึงออกจากโมเลกุลของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวทำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระของกรดไขมัน ซึ่งปฏิกิริยาเริ่มต้นเกิดขึ้นจากการกำจัดอนุมูล

ไฮโดรเจนออกไปจากกลุ่มอัลลิลิกเมทธิลีน (Allylic methylene group) ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวดังสมการที่ (1)

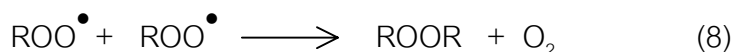
รูปของอนุมูลอิสระ (R^\bullet) โดยปกติจะเกิดขึ้นทันทีเมื่อมีโลหะ การฉายรังสี แสงสว่าง หรือความร้อน ไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide) ที่มีอยู่ในช่วงแรกของปฏิกิริยาออกซิเดชันจะสลายตัวได้เป็นอนุมูลอิสระซึ่งแสดงดังสมการที่ (2) และ (3) นั่นคือไฮโดรเพอร์ออกไซด์จะสลายตัวออกในรูปของอนุมูลอัลคอกซี (Alkoxy radical, RO^\bullet) หรือแยกออกเป็น 2 โมเลกุล



2. ระยะขยายตัวของปฏิกิริยา (Propagation) อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้เป็นอนุมูลเพอร์ออกซี (Peroxy radical, ROO^\bullet) ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนทำให้ได้สารประกอบไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, $ROOH$) สะสมเป็นจำนวนมากดังสมการ (4) และ (5) ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องแบบปฏิกิริยาลูกโซ่ ทำให้มีอนุมูลอิสระสะสมมากขึ้นในระบบ อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเร่งเร็วขึ้นเรื่อยๆ



3. ระยะสิ้นสุด (Termination) เป็นระยะที่อนุมูลอิสระต่างๆรวมตัวกันเป็นสารประกอบใหม่ที่คงตัวจึงเป็นระยะสิ้นสุดปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันดังสมการที่ (6) (7) และ (8)



เมื่อถึงระยะสิ้นสุดแล้วจะมีสารประกอบไฮโดรเพอร์ออกไซด์สะสมในระบบจำนวนมาก โดยปกติสารประกอบไฮโดรเพอร์ออกไซด์ไม่มีกลิ่นเฉพาะตัวแต่สารประกอบนี้สามารถ

สลายตัวและทำปฏิกิริยาต่อไปได้สารประกอบอินทรีย์ต่างๆได้แก่ สารประกอบจำพวก ไฮโดรคาร์บอน กรดและอัลดีไฮด์ ซึ่งมีกลิ่นไม่พึงประสงค์ (Madhavi *et al.*, 1996)

10. ภาชนะบรรจุและการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร

10.1 คุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุบรรจุ

คุณสมบัติสำคัญของภาชนะบรรจุที่จะต้องนำมาพิจารณามีดังนี้ คือ (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2537)

1. การซึมผ่านของก๊าซ (Gas Permeability)

การกำหนดค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซเพื่อเลือกชนิดของภาชนะบรรจุที่จะนำมาใช้นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการคือ ชนิดของผลิตภัณฑ์ อายุการเก็บรักษาและสภาวะการเก็บรักษา โดยทั่วไปเมื่อต้องการใช้ภาชนะบรรจุที่ป้องกันก๊าซได้ดีมากควรเลือกภาชนะบรรจุที่ทำมาจากวัสดุที่มีค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนไม่เกิน 2 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อ 1 ตารางเมตรต่อ 1 บรรยากาศต่อ 24 ชั่วโมง

2. อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapor Transmission Rate, WVTR)

กรณีที่ต้องการภาชนะบรรจุที่ป้องกันไอน้ำได้ดีควรพิจารณาภาชนะบรรจุที่มีค่า WVTR ไม่เกิน 4 – 6 กรัม ต่อ 1 ตารางเมตรต่อ 24 ชั่วโมง อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ ก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 5

3. การปิดผนึกด้วยความร้อน (Heat Sealability)

ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุโดยระบบการแลกเปลี่ยนก๊าซ (Gas Exchange Packaging) นิยมใช้ภาชนะบรรจุที่สามารถปิดผนึกได้ด้วยความร้อนมากที่สุด สาเหตุที่การปิดผนึกด้วยความร้อนได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากการปิดผนึกสนิทแน่นดีมาก ป้องกันการผ่านเข้าออกของกลิ่น ก๊าซ ไอน้ำและจุลินทรีย์ได้ดีมาก การปิดผนึกทำได้สะดวก เครื่องมือที่ใช้ราคาไม่สูงมากและระยะเวลาที่ใช้ในการปิดผนึกสั้นมาก ดังนั้นวัสดุบรรจุที่นิยมใช้กับการบรรจุแบบการแลกเปลี่ยนก๊าซจึงเป็นฟิล์มหลายชั้น โดยแต่ละชั้นจะทำหน้าที่แตกต่างกันออกไป เช่น ป้องกันการซึมผ่านของกลิ่น ก๊าซและไอน้ำ ป้องกันแสง หรือเป็นชั้นสำหรับการพิมพ์ เป็นต้น ฟิล์มชั้นในสุด (ชั้นที่สัมผัสกับผลิตภัณฑ์) จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางสำหรับการปิดผนึกภาชนะบรรจุด้วยความร้อน ฟิล์มพลาสติกที่นิยมใช้มาก เช่น ถุงพอลิเอทิลีนที่มี

ตารางที่ 5 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ ก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของ
บรรจุภัณฑ์พลาสติก

Permeability rate of water vapour oxygen gas and carbon dioxide gas
for plastic packaging.

Type of plastic	Thickness of plastic (mm.)	Water Vapour Transmission Rate (g./m. ² /day)	Oxygen Transmission Rate (g./m. ² /day)	Carbon Dioxide Transmission Rate (g./m. ² /day)
LDPE	0.15	17.6	2700	-*
LLDPE	0.02	23	5800	29000
Nylon	0.013	1.6	34	153
PET/Al/PE	12/12/75	< 0.5	< 0.5	< 1.4
ON/Al/PE	15/12/75	< 0.5	< 0.5	< 1.4
Nylon	0.013	1.6	34	153

Source : Adapted from Cheman *et al.* (1995) Thai packaging center (1990) and
Poovarodom (1996)

* no information

Stand for Al and ON is aluminium and oriented nylon film respectively.

ความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene, LDPE) หรือ ถุงพอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) เป็นต้น

4. การป้องกันการซึมผ่านของไขมัน (Grease and Oil Resistance)

คุณสมบัตินี้มีความสำคัญมากกับผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันมาก พลาสติกชั้นในสุดนั้นนอกจากทำหน้าที่ปิดผนึกด้วยความร้อนแล้วยังต้องป้องกันไขมันจากผลิตภัณฑ์ไม่ให้ซึมผ่านมาที่ฟิล์มชั้นถัดออกมาหรือจนกระทั่งออกมาภายนอกภาชนะบรรจุได้ ซึ่งจะทำให้เกิดผลเสียคือ ทำให้ฟิล์มหลายชั้นลอกออกจากกันได้ ไขมันที่ซึมออกมาภายนอกจะถูกออกซิไดส์ได้ง่ายทำให้ผลิตภัณฑ์เหม็นหืนและลักษณะปรากฏไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เนื่องจากเข้าใจว่าเป็นผลิตภัณฑ์เก่า พลาสติกชั้นในสุดที่นิยมใช้ในกรณีนี้ เช่น ถุง

คาสติ้งพอลิโพรพิลีน (Casting Polypropylene, CPP) ถุงไอโอโนเมอร์ (Ionomer) เป็นต้น ส่วนฟิล์มที่เป็นโครงสร้างหลักของฟิล์มหลายชั้นจะนิยมใช้ฟิล์มไนลอน (Nylon) ฟิล์มพอลิเอทิลีน เทเรฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate, PET) พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride, PVC) เป็นต้น

5. การป้องกันแสง (Opacity)

คุณสมบัตินี้เป็นคุณสมบัติรอง จะมีความจำเป็นกับผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อแสงหรือผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันมากเท่านั้น วัสดุที่บดแสงอาจเลือกใช้วัสดุหลายชั้นที่มีแผ่นเปลวอลูมิเนียมรวมอยู่ด้วย

6. ความเหมาะสมกับเครื่องบรรจุอัตโนมัติ (Machinability)

คุณสมบัตินี้สำคัญมากสำหรับการผลิตในอุตสาหกรรมใหญ่ การบรรจุจะใช้เครื่องจักรอัตโนมัติทั้งสิ้น วัสดุที่นำมาใช้จะต้องไม่ก่อปัญหา เช่น เกาะติดกับผิวโลหะ ดึงออกจากม้วนฟิล์มยาก เป็นต้น การเลือกวัสดุบรรจุที่เหมาะสมจึงต้องพิจารณาความเหมาะสมกับทั้งผลิตภัณฑ์และเครื่องบรรจุไปพร้อมๆกัน

7. ลักษณะปรากฏและอำนวยความสะดวกให้ผู้บริโภค

ในปัจจุบันการออกแบบภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารและผลิตภัณฑ์อื่นๆ จะต้องคำนึงถึงผลทางด้านการตลาดด้วย ภาชนะบรรจุต้องช่วยส่งเสริมการขายได้ การออกแบบภาชนะบรรจุจึงต้องคำนึงถึงความสวยงามและสื่อความหมายให้ผู้บริโภคทราบถึงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ต้องอำนวยความสะดวกในการนำผลิตภัณฑ์มาใช้ เช่น เปิด-ปิดได้ง่าย ใช้สำหรับการอุ่นหรือปรุงสุกได้ เป็นต้น

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาระยะเวลาในการหมักเครื่องปรุงรสที่เหมาะสมในการลดค่าออกเตอร์แอกติวิตีของปลาข้างเหลือง
2. ศึกษาชนิดและความเข้มข้นของฮิวแมคแทนท์ที่เหมาะสมในการลดค่าออกเตอร์แอกติวิตีในการผลิตปลาข้างเหลืองกึ่งแห้ง
3. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพผลิตภัณฑ์ปลาข้างเหลืองกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษา