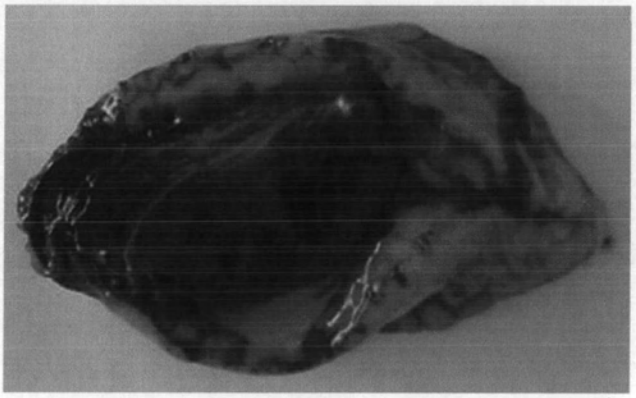
บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

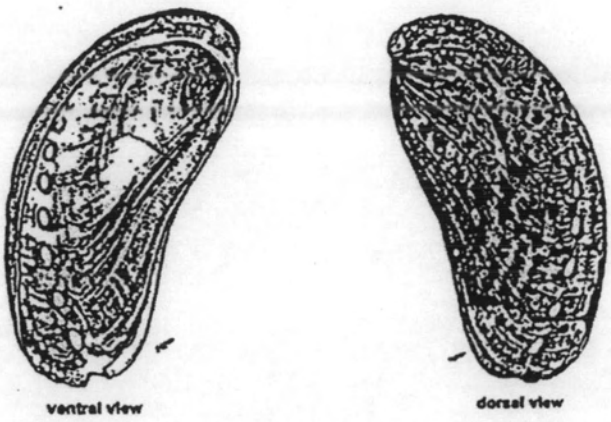
2.1 หอยเป๋าฮื้อ

หอยเป๋าฮื้อ หอยร้อยรู หรือหอยโข่งทะเล เป็นหอยทะเลฝาเดียวอยู่ใน Class nGastropoda, Order Archaeogastropoda, Family Haliotidae, Genus Haliotis (รูปที่ 2.1) อาศัยอยู่ใต้ซากปะการังและก้อนหิน หอยเป๋าฮื้อแตกต่างจากหอยฝาเดียวชนิดอื่นๆ คือ มีเปลือกแบน บริเวณด้านบนของเปลือกจะมีรูเปิดเรียงเป็นแถว ซึ่งใช้ในการหายใจ ปล่อยไข่และน้ำเชื้อ (รูปที่ 2.2) โดยมีการสืบพันธุ์แบบภายนอก (external fertilization) และมีอัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมียเท่ากับ 1:1 (พายัพ ยังปักษี, 2541)



รูปที่ 2.1 หอยเป๋าฮื้อ *H. asinina*

หอยเป๋าฮื้อที่พบในประเทศไทยนั้น เป็นหอยเป๋าฮื้อเมืองร้อน และมีขนาดเล็ก มีอยู่ 3 ชนิด คือ *H. asinina* *H. ovina* และ *H. varia* ซึ่งสามารถสรุปสมบัติของหอยเป๋าฮื้อทั้ง 3 ชนิดได้ดังตารางที่ 2.1 หอยเป๋าฮื้อชนิด *H. asinina* เป็นหอยเป๋าฮื้อที่มีศักยภาพทางการตลาดสูง เนื่องจากเป็นชนิดที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในกลุ่มหอยเป๋าฮื้อในเขตเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ รวมทั้งมีสัดส่วนน้ำหนักเนื้อต่อน้ำหนักตัวสูงถึง 85% และมีอัตราการเจริญเติบโตค่อนข้างเร็ว เมื่ออายุครบ 1 ปีมีความยาวเปลือก 42.7 มิลลิเมตร (มะลิ บุญยรัตผลิน, 2545) ดังนั้นการเพาะเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อชนิดนี้จึงมีความเป็นไปได้เชิงธุรกิจค่อนข้างสูง เพราะตลาดต่างประเทศนิยมบริโภคหอยเป๋าฮื้อขนาดไม่ใหญ่นัก โดยมีประเทศออสเตรเลีย อเมริกา และประเทศในเอเชีย เป็นผู้รับซื้อแล้วแปรรูปเพื่อส่งออกอีกทีหนึ่ง (ลิลา เรืองแป้น, 2543)



รูปที่ 2.2 เปลือกของหอยเป๋าฮื้อ *H. asinina*
ที่มา: คเชนทร เฉลิมวัฒน์ (2544)

ตารางที่ 2.1 สมบัติของหอยเป๋าฮื้อไทย

ชนิด	สมบัติของหอยเป๋าฮื้อไทย			
	ขนาดสูงสุด ยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	% ของน้ำหนักเนื้อต่อน้ำหนักตัว	การแพร่กระจาย
H. asinina	10	170	85	อ่าวไทยและทะเลอันดามัน
H. ovina	8	65	40	อ่าวไทยและทะเลอันดามัน
H. varia	6	6	30	ทะเลอันดามัน

ที่มา: คเชนทร เฉลิมวัฒน์ (2544)

หอยเป๋าฮื้อจัดเป็นหอยที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เนื่องจากเป็นอาหารที่อุดมไปด้วยคุณค่าทางโปรตีนและมีความเชื่อว่าเป็นอาหารสิริมงคล ส่วนที่นำมาบริโภคคือส่วนเท้าของหอยเป๋าฮื้อ ซึ่งมีรสชาติดีกว่าอาหารทะเลชนิดอื่น เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนและแร่ธาตุสูง (สิทธิศักดิ์ เหมืองสิน, 2545) ดังตารางที่ 2.2 โปรตีนในหอยเป๋าฮื้อประกอบด้วยกรดอะมิโน 18 ชนิด มี glycine alanine และ proline ทำให้เกิดรสหวาน (Nishimura and Kato, 1988) glutamic acid glycine alanine arginine และ serine ทำให้การรับรู้รส umami ชัดเจนขึ้น (Kimura *et al.*, 1969; Konosu, Hayashi, and Yamagushi, 1987) นอกจากนี้ยังพบ AMP (Adenosine 5'-monophosphate) ซึ่งเป็นสารประกอบนิวคลีโอไทด์ที่ไม่ทำให้เกิดรส แต่เมื่ออยู่ร่วมกับ glutamic acid จะทำให้เกิดรส umami ขึ้น (Hatae *et al.*, 1995)

ตารางที่ 2.2 คุณค่าทางโภชนาการของหอยเป๋าฮื้อ (100 กรัม)

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณ
พลังงาน (แคลอรี่)	83
โปรตีน (กรัม)	18
ไขมัน (กรัม)	0.1
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	2.7
คอเลสเตอรอล (มิลลิกรัม)	59
โซเดียม (มิลลิกรัม)	182
โปแตสเซียม (มิลลิกรัม)	229
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	16
เหล็ก (มิลลิกรัม)	0.5
สังกะสี (มิลลิกรัม)	0.9
แมกนีเซียม (มิลลิกรัม)	35
ดีบุก (มิลลิกรัม)	95
วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม)	0.01
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม)	0.27
วิตามินบี 6 (มิลลิกรัม)	0.07
วิตามินบี 12 (มิลลิกรัม)	4.93
วิตามินอี (มิลลิกรัม)	0.62

ที่มา: ดัดแปลงจาก สิทธิศักดิ์ เหมืองสิน (2545)

ประเทศผู้ผลิตหอยเป๋าฮื้อสู่ตลาดโลกมีอยู่หลายประเทศ ได้แก่ เม็กซิโก ญี่ปุ่น ออสเตรเลีย นิวซีแลนด์ แอฟริกาใต้ สหรัฐอเมริกา และเกาหลี ผลผลิตทั่วโลกโดยรวมมีประมาณ 20000 ตันต่อปี โดยมีแหล่งและส่วนแบ่งปริมาณการผลิต ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ปริมาณการผลิตหอยเป๋าฮื้อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น รวมทั้งมีการพัฒนาเทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงควบคู่กันไป (คเชนทร เฉลิมวัฒน์, 2544) ทั้งนี้เอเชียเป็นตลาดผู้บริโภคที่ใหญ่ที่สุด และมีมูลค่าการบริโภคระหว่าง 7500-10000 ล้านบาทต่อปี โดยมีการนำเข้าและส่งออกผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อในรูปของหอยเป๋าฮื้อบรรจุกระป๋อง หอยเป๋าฮื้อแช่แข็ง หอยเป๋าฮื้อแช่เย็น และหอยเป๋าฮื้ออบแห้ง ญี่ปุ่นเป็นตลาดใหญ่ที่มีการส่งออกผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้ออบแห้งไปยังประเทศฮ่องกง และไต้หวัน ปีละหลายสิบตัน (พายัพ ยังปักษี, 2541)

ตารางที่ 2.3 ผลผลิตหอยเป๋าฮื้อ

ประเทศ	ร้อยละของปริมาณผลผลิตทั่วโลก
เม็กซิโก	34
ญี่ปุ่น	29
ออสเตรเลีย	20
แอฟริกาใต้	6
สหรัฐอเมริกา	5
เกาหลี	3
นิวซีแลนด์	3

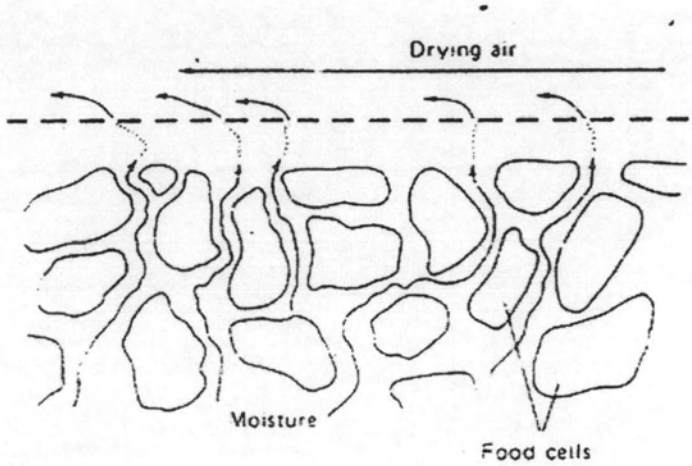
ที่มา: คเชนทร เฉลิมวัฒน์ (2544)

2.2 การอบแห้ง

การอบแห้งเป็นกระบวนการกำจัดน้ำออกจากอาหารที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย มีวัตถุประสงค์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา โดยลดปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์จนถึงระดับที่สามารถป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์และการเกิดปฏิกิริยาเคมีอื่นๆ ได้ คือมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ (a_w) ต่ำกว่า 0.70 ทำให้เก็บอาหารไว้ได้นาน และปริมาณความชื้นที่ลดลงยังทำให้สะดวกต่อการขนส่งอีกด้วย นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้ยังมีลักษณะและกลิ่นรสเฉพาะตัว (Barbosa-Canovas and Vega-Mercado, 1996; วิไล รังสาดทอง, 2545)

การอบแห้งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ การตากแดด (sun drying) และการอบแห้งโดยอาศัยเครื่องมือ เช่น ตู้อบ เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย เป็นต้น การตากแดดเป็นวิธีการที่ง่าย และเสียค่าใช้จ่ายน้อย แต่ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนาน และมีปัญหาเรื่องการปนเปื้อนของฝุ่นละอองและแมลง ในการอบแห้งอาหารจึงนิยมใช้เครื่องมือ เพื่อลดระยะเวลาในการอบแห้ง แต่เมื่อใช้อุณหูมิในการอบแห้งสูงจะส่งผลให้คุณภาพและคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์สูญเสียไป ดังนั้นจึงได้มีการปรับปรุงและพัฒนาวิธีการอบแห้งเรื่อยมา จนเกิดเทคโนโลยีการอบแห้งใหม่ๆ ขึ้น เช่น การอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าแบบเป็นขั้น (stepwise change inlet air temperature) การทำแห้งโดยวิธีออสโมซิส (osmotic dehydration) การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) ทั้งนี้เพื่อช่วยลดระยะเวลาในการอบแห้งและปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพใกล้เคียงกับของสดมากที่สุด (Desrosier, 1977)

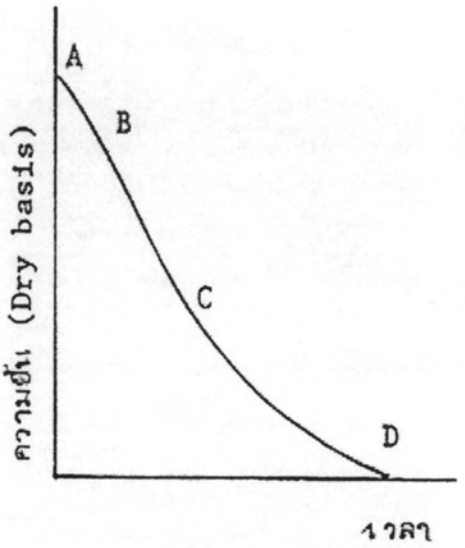
การอบแห้งเป็นการดึงน้ำออกจากอาหารโดยการระเหย การระเหยเกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของน้ำในอาหารจากภายในไปสู่ผิวหน้าของอาหาร และจากผิวหน้าไปสู่อากาศ (รูปที่ 2.3) การเคลื่อนที่ของน้ำแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ ในช่วงแรกจะเป็นแบบ capillary flow mechanism ทั้งนี้เรื่องจากน้ำในอาหารยังมีปริมาณมาก และอาหารจัดเป็นพวกที่มีรูพรุนมาก ดังนั้นเมื่อได้รับความร้อนที่ผิวของอาหารจะเกิดการขยายตัวของอากาศ เกิดความแตกต่างของความดันไอ ทำให้เกิดแรงดึงดูดให้น้ำเคลื่อนที่ขึ้นมาตามรูพรุนคล้ายกับว่ามีท่อเล็กๆ ติดอยู่ตรงรูพรุนนั้น เมื่อน้ำที่อยู่ตามรูพรุนหมดไปก็จะเป็นการเคลื่อนที่ของน้ำภายในเซลล์ ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่แบบ diffusion flow mechanism หรือ molecular diffusion โดยการเคลื่อนที่ของน้ำภายในจะเกิดจากการซึมผ่านของน้ำจากเซลล์หนึ่งไปสู่อีกเซลล์หนึ่งที่อยู่ติดกันและซึมเข้าไปสู่เซลล์ที่อยู่ติดกับรูพรุน น้ำจะระเหยออกไปทางรูพรุนนั้น ซึ่งจะเกิดแรงดึงดูดต่อเนื่องไปเรื่อยๆ จนกระทั่งอาหารแห้ง (Desrosier, 1977)



รูปที่ 2.3 การเคลื่อนที่ของน้ำระหว่างการอบแห้ง
ที่มา: Fellow (1990)

การอบแห้งอาหารภายใต้ภาวะที่อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลมคงที่ จะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของอาหารตามระยะเวลาการอบแห้ง (รูปที่ 2.4) แบ่งออกได้เป็น 2 ช่วงคือ ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (constant rate period drying) (ช่วง BC) และช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (falling rate period drying) (ช่วง CD) ในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ น้ำจะเคลื่อนที่จากภายในอาหารมาที่ผิวหน้าของอาหารอย่างสม่ำเสมอด้วยอัตราเร็วเท่ากับน้ำที่ระเหยออกจากผิวหน้า ทำให้ผิวหน้าของอาหารเปียกชื้น อุณหภูมิที่ผิวของอาหารจะมีค่าคงที่เท่ากับอุณหภูมิ

กระเปาะเปียก (wet-bulb temperature) ของอากาศร้อน หลังจากช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ผ่านไป อัตราการอบแห้งจะเริ่มลดลง เมื่อปริมาณความชื้นของอาหารลดลงถึงความชื้นวิกฤต (critical moisture content) ซึ่งเป็นจุดที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการอบแห้งจากอัตราการอบแห้งคงที่เป็นอัตราการอบแห้งลดลง ที่จุดนี้น้ำที่ผิวของอาหารจะระเหยไปหมด การเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในมาที่ผิวเกิดขึ้นไม่ทันการระเหยของน้ำที่ผิว ดังนั้นผิวของอาหารจะอยู่ในสภาพที่แห้งและอุณหภูมิของอาหารจะเริ่มสูงขึ้น ความเร็วของการอบแห้งลดลง การอบแห้งจะสิ้นสุดเมื่อความชื้นลดลงจนเข้าใกล้ความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content) ที่จุดนี้ความชื้นของอาหารจะเท่ากับความชื้นของอากาศร้อนและไม่มีการระเหยของน้ำเกิดขึ้นอีก (Desrosier, 1977; Barbosa-Canovas and Vega-Mercado, 1996)



รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นตามระยะเวลาอบแห้ง
ที่มา: Desrosier (1977)

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง ได้แก่ ธรรมชาติของอาหาร ขนาดและรูปร่าง ตำแหน่งและลักษณะการวางอาหารในตู้อบ ปริมาณอาหาร ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและอุณหภูมิ (สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2529) อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง โดยการเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำ จึงมีผลต่อการอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ และอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้การแพร่กระจายของน้ำดีขึ้น จึงมีผลต่อการอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง อาหารมีแนวโน้มจะแห้งเร็วขึ้น ถ้าอุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้น อัตราการ

แพร่ของความชื้นจากภายในไปยังผิวของอาหารจะเร็วขึ้น นอกจากนี้การใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูงเกิน 70°C อาหารจะแห้งเร็วเกินไป โปรตีนจะตกตะกอนและอาหารมีสีคล้ำ

Nketsia – Tabiri และ Sefa – Dedeh (1995) ศึกษาอุณหภูมิในการผลิตปลาเค็มแห้งจากปลา Tilapia (*Oreochromis niloticus*) พบว่าตัวอย่างที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 40°C มีความแข็งกระด้างต่ำกว่า และได้รับคะแนนด้านสีและการยอมรับน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 50 และ 60°C เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนาน

จากการศึกษาของกอบพร ประทุมนพรัตน์ (2534) พบว่าปลาหางควายแห้งปรุงรสแบบชิ้นที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างกัน (40-60°C) มีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสแตกต่างกัน โดยผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C ได้รับคะแนนด้านสี ความแข็ง และการยอมรับรวมเข้าใกล้ค่าอุดมคติมากที่สุด

จิราวรรณ แย้มประยูร (2539) ศึกษาผลของการอบแห้งต่อคุณภาพปลานิลเค็มแห้ง พบว่าวิธีการอบแห้งปลานิลโดยใช้อุณหภูมิ 50 และ 60°C จะมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการตากแดด แต่เมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่ 60°C ปลาจะมีผิวหน้าแห้งแข็ง และสีเข้มเกินไป ทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสต่ำ

ศรวณีย์ รอดเที่ยง (2542) ศึกษาถึงผลของอุณหภูมิต่อการอบแห้งปลาเค็ม พบว่าอุณหภูมิสูงสุดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดี คือ 45°C ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้จะทำให้ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์แห้งแข็ง

2.2.1 **การอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้าแบบเป็นขั้น** (stepwise change of inlet air temperature)

การอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้าแบบเป็นขั้น เป็นเทคนิคหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในกระบวนการอบแห้งโดยการลดหรือเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาเข้าในแต่ละช่วงของการอบแห้ง ทั้งนี้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้น และลดระยะเวลาในการอบแห้ง นอกจากนี้ยังช่วยประหยัดพลังงานที่ใช้ในระหว่างการอบแห้งอีกด้วย

Posomboon (1998) ศึกษาผลของภาวะในการอบแห้งแบบเป็นขั้นด้วยลมร้อนที่มีต่อคุณภาพของกุ้ง โดยใช้อุณหภูมิต่ำ (40 50 60 และ 70°C) และอุณหภูมิสูง (100 120 และ 140°C) อบแห้งจนมีความชื้น 20% (w.b.) และภาวะการอบแห้งแบบเป็นขั้น โดยในช่วงแรกอบแห้งที่อุณหภูมิสูงที่ 120 และ 140°C จนมีความชื้น 50% (w.b.) หลังจากนั้นอบแห้งต่อที่อุณหภูมิ 70°C จนมีความชื้น 20% (w.b.) พบว่ากุ้งที่อบแห้งที่อุณหภูมิต่ำมีคุณภาพไม่แตกต่าง

กันและอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ โดยที่อุณหภูมิ 70°C ใช้เวลาในการอบแห้งสั้นที่สุด ส่วนการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง 140°C จะมีผลทำให้ค่าความเป็นสีแดงของกุ้งแห้งลดลง สำหรับภาวะการอบแห้งแบบเป็นขั้น ไม่ทำให้ค่าความเป็นสีแดงของกุ้งแห้งลดลง ถึงแม้ว่าจะสิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำแต่ก็น้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง

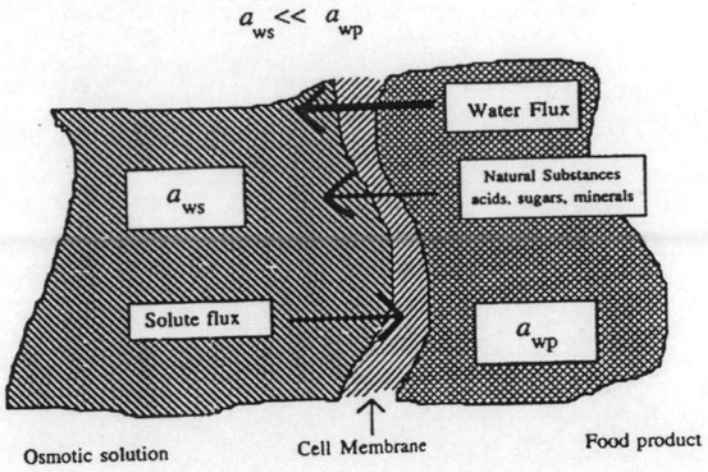
รุ่งทิพย์ ตปนียศิลป์ (2546) ศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าคงที่และแบบเป็นขั้นที่มีผลต่อคุณภาพทางกายภาพของกุ้งแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจตสเปาท์เตดเบด (jet-spouted bed dryer) พบว่าภาวะที่ใช้อุณหภูมิแบบเป็นขั้นที่เริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100°C นาน 25 นาที แล้วลดอุณหภูมิเป็น 70°C จนกุ้งมีความชื้น 25% (d.b.) ให้ค่าร้อยละการคืนตัวและค่าความเป็นสีแดงสูงกว่า และค่าแรงเฉือนต่ำกว่าที่ภาวะที่เริ่มอบแห้งที่อุณหภูมิ 100°C นาน 15 นาที แล้วลดอุณหภูมิเป็น 70°C จนกุ้งมีความชื้น 25% (d.b.) นอกจากนี้ภาวะที่เริ่มอบแห้งที่อุณหภูมิ 100°C นาน 25 นาที แล้วลดอุณหภูมิเป็น 70°C ใช้ระยะเวลาสั้นกว่าภาวะที่เริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100°C นาน 15 นาที แล้วลดอุณหภูมิเป็น 70°C และที่อุณหภูมิคงที่ที่ 70°C ด้วย

จากงานวิจัยข้างต้นจะเห็นได้ถึงประโยชน์ในการใช้อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าแบบเป็นขั้น ทั้งในแง่ของการประหยัดเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งส่งผลต่อพลังงานที่ต้องใช้ในการอบแห้ง และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ในงานวิจัยนี้จึงได้นำวิธีการนี้มาประยุกต์ใช้กับการอบแห้งหอยเป๋าฮื้อในเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ โดยศึกษาอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าแบบเป็นขั้น เนื่องจากสะดวกในการควบคุมและคาดว่าเทคนิคนี้จะช่วยลดเวลาในการอบแห้งลงได้ รวมทั้งสามารถปรับปรุงสี ความสามารถในการดูดน้ำคืน และลักษณะเนื้อสัมผัสของหอยเป๋าฮื้ออบแห้งเมื่อเทียบกับการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าคงที่

2.2.2 การอบแห้งโดยผ่านกระบวนการออสโมซิส (osmotic dehydration)

การอบแห้งโดยผ่านกระบวนการออสโมซิส เป็นการอบแห้งที่อาศัยหลักของความแตกต่างของแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) (Barbosa-Canovas and Vega-Mercado, 1996) ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนแรก คือ การออสโมซิส เป็นการแช่อาหารในสารละลายออสโมติก ทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างภายในเซลล์ของอาหารกับสารละลายออสโมติก เกิดเป็นแรงขับ (driving force) ทำให้เกิดการถ่ายโอนมวลสารแบบสวนทางกัน (countercurrent mass transfer) ผ่านเยื่อเลือกผ่าน น้ำภายในเซลล์จะแพร่ออกสู่สารละลายออสโมติก ขณะที่ตัวถูกละลายจะแพร่เข้าสู่เซลล์ และสารบางอย่างภายในเซลล์ เช่น กรดอินทรีย์ และเกลือแร่ เป็นต้น จะแพร่ออกจากเซลล์สู่สารละลายออสโมติก (รูปที่ 2.5) แต่เซลล์

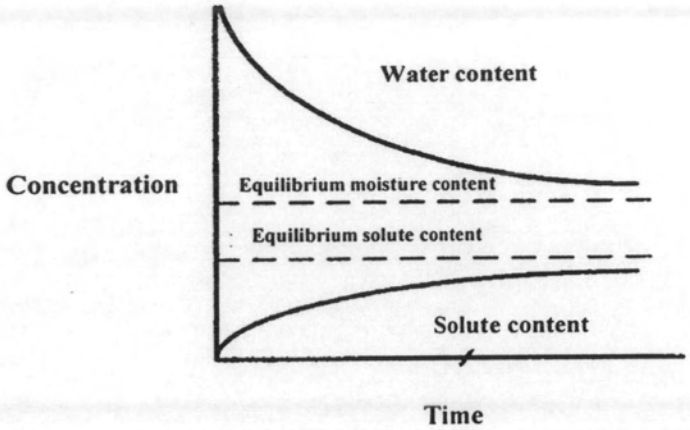
ของอาหารที่ทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่านจะยอมให้น้ำแพร่ผ่านมากกว่าตัวถูกละลาย การถ่ายโอนมวลสารระหว่างน้ำและตัวถูกละลายจะดำเนินไปจนกระทั่งถึงจุดสมดุล ซึ่ง ณ จุดนี้จะมีอัตราการถ่ายโอนมวลสารระหว่างน้ำและตัวถูกละลายคงที่ เป็นผลให้ปริมาณน้ำและตัวถูกละลายในอาหารและในสารละลายออสโมติกมีค่าคงที่ด้วย (รูปที่ 2.6)



รูปที่ 2.5 การถ่ายโอนมวลสารระหว่างกระบวนการออสโมซิส; a_{ws} คือ ค่า a_w ของสารละลาย และ a_{wp} คือ ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์

ที่มา: Barbosa – Cánovas และ Vega – Mercado (1996)

การถ่ายโอนมวลสารจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 2 ชั่วโมงแรกของการออสโมซิส และจะลดลงเรื่อยๆ จนถึงจุดสมดุล อัตราการออสโมซิสขึ้นกับชนิดและความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก อัตราส่วนระหว่างสารละลายออสโมติกกับอาหาร อุณหภูมิ และเวลา (Collignan and Raoult-Wack, 1994; Barbosa-Canovas and Vega-Mercado, 1996; El-Aouar *et al.*, 2006) โดยที่ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกสูงๆ ทำให้แรงดันออสโมติกมีค่าสูง การดึงน้ำออกจากอาหารจึงเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่วนอุณหภูมิในการออสโมซิส พบว่าอุณหภูมิสูงทำให้โครงสร้างบางส่วนเกิดการเปลี่ยนสภาพไป คือเยื่อหุ้มเซลล์จะอ่อนตัวลง ทำให้การซึมผ่านของน้ำและตัวถูกละลายเกิดได้ดีและเร็วกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำ สำหรับเวลาในการออสโมซิสจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ ถ้าใช้อุณหภูมิสูงขึ้น เวลาที่ใช้ก็จะสั้นลง



รูปที่ 2.6 ปริมาณของน้ำและตัวถูกละลายระหว่างกระบวนการออสโมซิส

ที่มา: Barbosa – Cánovas และ Vega – Mercado (1996)

ขั้นตอนที่ 2 คือ การอบแห้งเป็นขั้นตอนที่กำจัดน้ำที่เหลืออยู่ภายในอาหารที่ผ่านกระบวนการออสโมซิสแล้ว เพื่อให้ได้ความชื้นสุดท้ายของอาหารตามต้องการ

การอบแห้งโดยวิธีนี้จะสามารถลดความชื้นลงได้ประมาณ 30-50% การออสโมซิสที่ให้ผลดีต้องสามารถลดปริมาณน้ำในอาหารได้อย่างรวดเร็ว โดยที่ตัวถูกละลายซึมเข้าสู่อาหารน้อยมาก (วนิดา สระทองคำ, 2543)

สารละลายออสโมติกส่วนใหญ่ที่นิยมใช้ ได้แก่ sodium chloride, sucrose, lactose, high–fructose corn syrup และ glycerol ดังนั้นการเลือกใช้สารละลายออสโมติกนั้นควรต้องทราบถึงข้อดีและการนำไปใช้ประโยชน์ของสารละลายชนิดนั้นๆ ซึ่งปัจจัยในการเลือกใช้สารละลายออกโมติกมีดังนี้ มีค่า a_w ต่ำ ค่าแรงดันออสโมติกสูง ไม่เป็นพิษ หาง่าย และราคาถูก (Ledward, 1981)

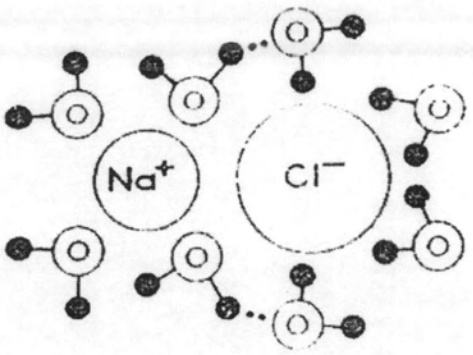
ในงานวิจัยนี้ เลือกใช้เกลือ น้ำตาลซูโครส และซอร์บิทอล เป็นสารละลายออสโมติก เนื่องจากสามารถหาได้ง่าย และราคาถูก

2.2.2.1 เกลือ หรือ โซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride) ในการอบแห้งเนื้อสัตว์โดยผ่านกระบวนการออสโมซิส อาจใช้เพียงชนิดเดียวหรือใช้ร่วมกับสารละลายออสโมติกอื่นๆ เช่น น้ำตาล โดยปกติมักใช้เกลือที่ความเข้มข้น 5-20% เนื่องจากเกลือมีความสามารถในการละลายต่ำและมีรสเค็ม

เกลือมีความสามารถในการดึงน้ำออกจากอาหาร โดยโมเลกุลของโซเดียมคลอไรด์สามารถจับกับโมเลกุลของน้ำ (รูปที่ 2.7) และเนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายเกลือกับอาหารต่างกันจึงเกิดแรงดันออสโมติก ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของมวล มีผลทำให้น้ำในอาหารลดลง และความเข้มข้นของเกลือในอาหารเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เซลล์ของจุลินทรีย์เกิดการเสียน้ำอย่างแรง (plasmolysis) และหยุดการเจริญเติบโต ทั้งนี้ยังก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์โดยตรง เนื่องจากประจุบวกของเกลือ โดยเฉพาะอนุมูลพวกโซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม สามารถรวมกับประจุลบของโพรโตพลาสซึม (protoplasm) ในเซลล์ของจุลินทรีย์ ทำให้เกิดสารที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์เมื่อมีปริมาณมากเกินความต้องการ นอกจากนี้เกลือยังเป็นตัวทำละลายเอนไซม์บางชนิดของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีน เมื่อสารละลายเกลือมีความเข้มข้นระดับหนึ่ง ก็จะสามารถทำให้โปรตีนบางตัวเกิดการเสื่อมสภาพและเสียสมบัติไป เนื่องจากเกิดกระบวนการ salting-out ทำให้ยับยั้งหรือทำลายปฏิกิริยาของเอนไซม์ได้ ส่งผลให้จุลินทรีย์หยุดการเจริญเติบโต และน้ำเกลือช่วยลดการแพร่หรือการแทรกซึมของออกซิเจนที่สัมผัสกับอาหารหรือจุลินทรีย์ ออกซิเจนจึงซึมลงไปในสารละลายได้น้อยลง ทำให้จุลินทรีย์ที่มีความต้องการออกซิเจนเจริญได้ยากขึ้น และลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไขมันได้อีกด้วย (มัทนา แสงจินดาวงษ์, 2548)

Iseya, Sugiura และ Saeki (1998) ศึกษาผลของความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ต่อปริมาณความชื้นและปริมาณโซเดียมคลอไรด์ในเนื้อปลา และลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อปลา โดยแช่เนื้อปลาเอทคาแมคเคอเรลในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นในช่วง 0.5 – 2.0 M ผสมกับสารละลาย Tris – acetate (pH 7.0) เข้มข้น 20 mM ที่อุณหภูมิ 5°C นาน 13 ชั่วโมง แล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 15 30 และ 50°C พบว่าเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น เนื้อปลามีปริมาณความชื้นและค่าความแข็งลดลง ส่วนปริมาณโซเดียมคลอไรด์ในเนื้อปลาเพิ่มขึ้น

ศรวณีย์ รอดเที่ยง (2542) ศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตปลาสลิดเค็ม พบว่าการทำเค็มโดยวิธีแช่ปลาในน้ำเกลือที่มีความเข้มข้น 20% อัตราส่วนปลาต่อน้ำเกลือ 1:1 นาน 1 ชั่วโมง เป็นวิธีการที่ดีที่สุด เนื่องจากได้รับคะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสสูงที่สุด ทั้งในด้านกลิ่น รสชาติ และลักษณะเนื้อสัมผัส



รูปที่ 2.7 การเชื่อมประสานของโมเลกุลของน้ำกับโซเดียมคลอไรด์
ที่มา: Fennema (1996)

เกรียงศักดิ์ สิงห์แก้ว (2546) ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการแปรรูปเนื้อปลานิลเค็มโดยแช่ในน้ำเกลือ 7% เป็นเวลา 10 15 และ 20 นาที ใช้อัตราส่วนปลาต่อน้ำเกลือในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก แล้วนำไปอบในเตาอบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 50°C นาน 4 ชั่วโมง พบว่าเนื้อปลานิลเค็มที่แช่ในน้ำเกลือ 7% นาน 20 นาที มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด มีปริมาณเกลือสูงที่สุด คือ 63.36 และ 1.77% ตามลำดับ และได้รับคะแนนการยอมรับทางด้านกลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบสูงที่สุด คือ 7.8 7.9 และ 7.7 ตามลำดับ

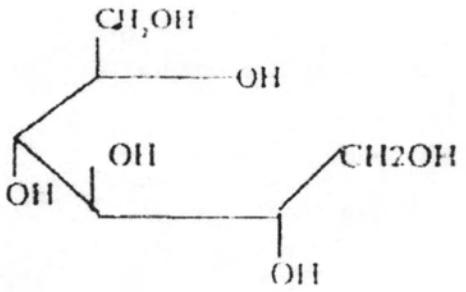
Corzo, Bracho และ Marjal (2006) ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ อุณหภูมิในการแช่ และระยะเวลาในการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของปลาซาร์ดีน โดยใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.15-0.27 g NaCl/g brine ซึ่งมีอัตราส่วนระหว่างสารละลายโซเดียมคลอไรด์ต่อเนื้อปลา 20:1 นาน 10 นาที ที่อุณหภูมิ 30-38°C และอบแห้งที่ระยะเวลา 20-240 นาที พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ และอุณหภูมิในการแช่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่าง (L) ค่าความเป็นสีแดง (a) และค่าความเป็นสีเหลือง (b) เพิ่มขึ้น ในขณะที่ระยะเวลาในการอบแห้งนานขึ้นส่งผลให้ค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลืองลดลง แต่ค่าความสว่างเพิ่มขึ้น

2.2.2.2 น้ำตาลซูโครส (sucrose) สารละลายน้ำตาลซูโครสที่มีความเข้มข้นประมาณ 60% สามารถป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ได้ ในขณะที่น้ำตาลซูโครสปริมาณเล็กน้อยจะเป็นสารอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2532) กลไกการต่อต้านจุลินทรีย์ของน้ำตาลซูโครส เกิดจากการที่น้ำตาลซูโครสไปลดค่า a_w ในอาหาร โดยหมู่

ไฮดรอกซิลในโมเลกุลของน้ำตาลซูโครสจับกับโมเลกุลของน้ำ (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538) นอกจากนี้น้ำตาลซูโครสยังทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสอ่อนลง โดยที่น้ำตาลซูโครสจะไปลดรสเค็มที่มีผลมาจากเกลือในผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้เกลือร่วมกับน้ำตาล และป้องกันน้ำบางส่วนที่จะถูกดึงออกจากอาหาร ทำให้ความชื้นบางส่วนไม่สูญเสียไป อาหารมีรสชาติดีขึ้นและไม่แห้ง แข็งกระด้าง (เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์, 2536)

El-Aouar และคณะ (2006) ศึกษาชนิดของสารละลายออสโมติกที่มีผลต่อการอบแห้งโดยผ่านกระบวนการออสโมซิสของมะละกอ พบว่าสารละลายซูโครสมีความสามารถในการลดน้ำหนัก (weight reduction) และปริมาณน้ำ (water loss) ภายในมะละกอได้มากกว่าสารละลาย corn syrup

2.2.2.3 ซอร์บิทอล (sorbitol) จัดเป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์หรือพอลิออล หรือพอลิแอลกอฮอล์หรือพอลิไฮดริกแอลกอฮอล์ เป็นสารที่ได้มาจากกลูโคส ผลึกของซอร์บิทอลมีความคงตัวสูง และไม่เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดและคาราเมลแม้ว่าจะได้รับความร้อนเป็นเวลานาน นอกจากนี้ยังสามารถละลายน้ำได้ง่ายและมีความคงตัวดี แม้ว่าจะอยู่ในรูปของสารละลาย (Emodi, 1982) ซอร์บิทอลมีสูตรโครงสร้าง ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของซอร์บิทอล
ที่มา: Dias (1999)

ซอร์บิทอลมีความหวานเพียงครึ่งหนึ่งของน้ำตาลซูโครส (Lee, Kearsley, and Mylvaganam, 1976) และจัดอยู่ในรายชื่อองค์ประกอบของอาหาร GRAS (Generally Recognized As Safe) ซึ่งสามารถใช้ในอาหารได้ในปริมาณสูงถึง 70% สมบัติสำคัญของซอร์บิทอล คือ มีความสามารถในการลดความชื้นได้ดี และป้องกันการเจริญของรา ในอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งมีการนำซอร์บิทอลเข้ามาใช้แทนเกลือและน้ำตาล

ซูโครส เพื่อปรับปรุงรสชาติและลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น (Dias, 1999)

อุไรวรรณ ปิตาวรานนท์ (2534) ศึกษาชนิดของสารดูดความชื้นที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์เนื้อกึ่งแห้ง พบว่าการใช้ซอร์บิทอลในผลิตภัณฑ์เนื้อกึ่งแห้งมีประสิทธิภาพในการลดค่า a_w ได้ดีที่สุด และเมื่อความเข้มข้นของซอร์บิทอลสูงขึ้น ส่งผลให้ค่า a_w ลดลง

Yoo และ Lee (1993) ศึกษาถึงการใช้ซอร์บิทอลในผลิตภัณฑ์ปลาบดที่ผ่านการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่าเมื่อความเข้มข้นของซอร์บิทอล (70% (w/v)) ที่ใส่ในเนื้อปลาบดเพิ่มขึ้น (0, 2.8 และ 4%) สามารถป้องกันการสูญเสียคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน ได้แก่ เพิ่มความสามารถในการเกิดเจล ความสามารถในการจับกับน้ำ ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน และเพิ่มเอนทาลปีโดยไม่เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของการเสียสภาพโปรตีน โดยซอร์บิทอลมีผลในการเพิ่มพันธะไฮโดรโฟบิก (hydrophobic interaction) ซึ่งทำให้ความคงตัวของโครงสร้างสามมิติของโปรตีนเพิ่มขึ้น เนื่องจากพันธะไฮโดรโฟบิกระหว่างหมู่ไฮโดรโฟบิกของโปรตีนในสารละลายซูโครสมีความแข็งแรงกว่าในน้ำบริสุทธิ์ และยังมีผลต่อการเพิ่มไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) จากการให้สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโปรตีนและซอร์บิทอล (protein-sorbitol complex) นอกจากนี้การเพิ่มแรงโคฮิชัน (cohesion force) ของน้ำตาล ทำให้แรงตึงผิวของน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งมีความสำคัญต่อปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนกับส่วนประกอบของตัวทำละลายในระบบสารละลายน้ำตาล ทำให้ความคงตัวของโปรตีนเพิ่มขึ้นด้วย

Iseya, Kubo และ Saeki (2000) ศึกษาผลของการแช่ปลาเอทคา แมคเคอเรล และปลาหมึกในสารละลายที่ประกอบด้วย Tris-acetate 200 mM ซอร์บิทอล 0.5-1.5 M และ/หรือโซเดียมคลอไรด์ 0.5-1.5 M และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 18 ชั่วโมง พบว่าเนื้อปลาและปลาหมึกที่แช่ในสารละลายซอร์บิทอล 1.5 M มีปริมาณซอร์บิทอลซึมผ่านเข้าสู่ผลิตภัณฑ์มาก ส่งผลให้ความชื้นลดลง 52 และ 42% ตามลำดับ และการใช้ซอร์บิทอลร่วมกับเกลือยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ได้อีกด้วย

ปัทมกร พรหมจรรย์ (2546) ศึกษาการลดค่า a_w ในผลิตภัณฑ์ปลาข้างเหลืองกึ่งแห้ง โดยศึกษาเวลาที่เหมาะสม (8 12 16 และ 20 ชั่วโมง) สำหรับการหมักเครื่องปรุงรส และศึกษาชนิดของสารดูดความชื้นชนิดต่างๆ ได้แก่ กลีเซอรอล ซอร์บิทอล แลคทิทอล และกลูโคสไซรัป ที่ความเข้มข้น 50% ของเครื่องปรุงรส พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการหมักส่งผลให้ปริมาณความชื้น ค่า a_w และค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ลดลง นอกจากนี้การเติมสารดูดความชื้นชนิดต่างๆ มีผลให้ค่าแรงเฉือน ค่าความแข็ง และค่า L a b ของปลาข้างเหลืองกึ่งแห้งลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ยกเว้นผลิตภัณฑ์ที่เติมแลคทิทอลมีค่าแรงเฉือนไม่แตกต่างกับผลิตภัณฑ์ชุดควบคุม

2.3 การเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบแห้ง (สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2529)

2.3.1 ความสามารถในการดูดน้ำคืน (Rehydration capacity)

คุณภาพของอาหารแห้งที่สำคัญ ได้แก่ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความสามารถในการดูดน้ำคืน ลักษณะเป็นเส้นใย การคืนตัวอย่างช้าๆ หรือไม่สมบูรณ์เหล่านี้ ถือเป็นตำหนิทางคุณภาพของอาหารอบแห้ง เช่น การสูญเสียความนุ่มของเนื้ออบแห้งอาจเนื่องมาจากการจับตัวกันของโปรตีนในกล้ามเนื้อ

การดูดน้ำคืนเป็นกระบวนการที่เซลล์ของอาหารแห้งดูดซับน้ำเข้าไปเพื่อให้อาหารมีน้ำหนักเท่าเดิมหรือใกล้เคียงกับอาหารสด การดูดน้ำคืนเกิดกลไก 2 แบบคือ น้ำภายนอกจะเข้าไปภายในอาหาร และของแข็งที่อยู่ภายในอาหาร เช่น น้ำตาล กรด แร่ธาตุ และวิตามิน เป็นต้น จะออกมาสู่ภายนอก ซึ่งทั้งสองกลไกนี้เกิดขึ้นสวนทางกัน การดูดน้ำคืนขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายปัจจัย เช่น องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ เทคนิคและภาวะการอบแห้ง และอุณหภูมิ เป็นต้น (Lazarides *et al*., 1995; Lewicki, 1998; Rastogi *et al*., 2000)

เมื่ออาหารได้รับความร้อน ความยืดหยุ่นของผนังเซลล์ลดลง ส่งผลต่อความสามารถในการดูดน้ำคืนของอาหาร เช่น เนื้ออบแห้งสามารถดูดซับน้ำได้เพียงส่วนหนึ่งของน้ำเริ่มต้นเท่านั้น แม้ว่าจะสามารถดูดซับน้ำได้จนมีน้ำหนักเท่าเดิม เนื้อนั้นก็ไม่ได้มีโครงสร้างเหมือนเดิม ผลิตภัณฑ์หลังการคืนตัวจะไม่มีลักษณะฉ่ำ และมีลักษณะเนื้อร่วนกว่าเนื้อสด

นอกจากนี้ความสามารถในการดูดน้ำคืนยังมีความสัมพันธ์กับการเหี่ยวย่น คือถ้าการเหี่ยวย่นเกิดขึ้นมาก จะทำให้ความสามารถในการดูดน้ำคืนต่ำ เนื่องจากโครงสร้างของผนังเซลล์มีลักษณะแข็งแรงและยืดหยุ่น เมื่อผ่านกระบวนการอบแห้ง โครงสร้างอาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทันที อาจเกิดจากการเคลื่อนที่ของของเหลว การกระจายตัวใหม่ของตัวถูกละลาย และการเหี่ยวย่น เมื่อเป็นเช่นนี้ทำให้ลักษณะการเคลื่อนที่ หรือการส่งผ่านมวลก็จะเปลี่ยนไปในระหว่างกระบวนการอบแห้ง และค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำเปลี่ยนแปลงไป ฉะนั้นในภาวะการอบแห้ง หากสามารถที่จะรักษาอาหารให้มีความชื้นทั้งผิวนอกและข้างในไม่ต่างกันมาก จะทำให้การเหี่ยวย่นเกิดขึ้นน้อยมาก แต่ถ้าอุณหภูมิเริ่มต้นสูงมากจะทำให้ผิวนอกแห้งและมีลักษณะแข็งในขณะที่ภายในยังนิ่มอยู่ การเหี่ยวย่นก็จะเกิดขึ้น และภายในอาหารจะมีลักษณะเป็นโพรง

2.3.2 การเกิดสีน้ำตาลหรือปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction)

การเกิดสีน้ำตาลหรือปฏิกิริยาเมลลาร์ด เป็นปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนที่เป็นกลุ่มเอฟซีลอนอะมิโน (ε-amino groups) ของไลซีนที่เหลือ (lysine residues) กับสารประกอบคาร์บอนิล (carbonyl compounds) เช่น น้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugars) ทำให้เกิดการเชื่อมของพันธะเปปไทด์ภายใน (internal peptide link) โครงสร้างโปรตีนจะแข็งแรงขึ้นและเกิดสีน้ำตาล

ในผลิตภัณฑ์ ซึ่งถือว่าเป็นตำหนิของอาหารอบแห้ง เนื่องจากการเกิดสีน้ำตาลนี้มีผลต่อกลิ่นรส ความสามารถในการดูดน้ำคืน และปริมาณกรดแอสคอร์บิก

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น นอกจากนี้อัตราการเกิดสีน้ำตาลยังขึ้นกับปริมาณความชื้นของอาหาร ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ในระบบที่ซับซ้อนที่มีสารละลายอย่างเจือจาง แต่ถ้าสารละลายนี้เข้มข้นขึ้นเนื่องมาจากการอบแห้ง ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ในกระบวนการอบแห้ง อัตราการเกิดสีน้ำตาลจะสูงสุดที่ความชื้นระดับปานกลาง (15-20%) เมื่ออาหารมีลักษณะแห้งอย่างสมบูรณ์ การเกิดสีน้ำตาลจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ โดยอาหารอบแห้งที่มีความชื้นประมาณ 1-2% จะสามารถเก็บได้เป็นเวลานาน (รัชนี ตัณฑะพานิชกุล, 2544)

2.3.1 การเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ (micrological changes)

การป้องกันหรือการชะลอการเน่าเสียของอาหาร จะต้องควบคุมให้ค่า a_w ต่ำกว่าค่า a_w ที่จุลินทรีย์ต้องการในการเจริญ โดยแบคทีเรียที่ทำให้เน่าเสียส่วนใหญ่จะหยุดการเจริญในอาหารที่มีค่า a_w ต่ำกว่า 0.90 ส่วนราจะถูกยับยั้งที่ค่า a_w ต่ำกว่า 0.80 แบคทีเรียทนเกลือไม่สามารถเจริญได้ที่ค่า a_w ต่ำกว่า 0.75 และจุลินทรีย์เกือบทั้งหมดจะถูกยับยั้งการเจริญที่ค่า a_w ต่ำกว่า 0.60 (Noryati and Michael, 1992)

2.4 การศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร

ผลิตภัณฑ์อาหารเป็นผลิตภัณฑ์ที่เน่าเสียได้ง่ายกว่าผลิตภัณฑ์อื่นๆ จึงควรมีการศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์หรือเวลาในการเก็บรักษาจนกระทั่งผลิตภัณฑ์ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดและไม่เป็นที่ยอมรับ การศึกษาอายุการเก็บรักษามีความสำคัญคือ กำหนดวันหมดอายุของอาหารเพื่อให้ผู้บริโภคทราบและประกันว่าผลิตภัณฑ์ในช่วงระยะเวลานี้มีคุณภาพตามที่กำหนด ซึ่งอายุของผลิตภัณฑ์จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิดของผลิตภัณฑ์ ภาชนะบรรจุ ภาวะการเก็บรักษา ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ออกซิเจน และแสง (ศิริลักษณ์ สินธวาลัย, 2533)

การศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ในภาวะปกติต้องใช้ระยะเวลานาน ดังนั้นจึงได้นำภาวะเร่งเข้ามาใช้เพื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในระยะเวลาสั้น โดยเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ช่วงอุณหภูมิหนึ่งเพื่อเร่งปฏิกิริยาการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถทำนายอายุการเก็บรักษาได้เมื่อทราบเวลาที่ผลิตภัณฑ์เกิดการเสื่อมเสียคุณภาพที่อุณหภูมิเร่งทั้ง 2 อุณหภูมิ แล้วใช้สมการ Q_{10} (accelerated aging factor) ดังสมการที่ 2.1 ทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิที่ต้องการ (Labuza and Schmidl, 1985) โดยการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์จะต้องเป็นการเปลี่ยนแปลงที่อธิบายได้ด้วยทฤษฎีจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาอันดับที่

ศูนย์ (zero – order) หรืออันดับที่หนึ่ง (first – order) จึงจะทำนายอายุการเก็บด้วยสมการนี้ได้ (Labuza, 1984)

$$Q_{10}^{\Delta T} = \theta_{S(T)} / \theta_{S(T+\Delta T)} \qquad (2.1)$$

เมื่อ $\theta_{S(T)}$ = อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ T (วัน)

$\theta_{S(T+10)}$ = อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ T+10 (วัน)

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิที่ทำนายกับอุณหภูมิ T