

## บทที่ 2

### วารสารปริทัศน์

#### แป้งชูบทอด

แป้งชูบทอด หมายถึง แป้งที่ผสมกับส่วนประกอบอื่นและใช้ชุปอาหารก่อนนำไปทอด เพื่อให้กรอบ ส่วนประกอบหลักของแป้งชูบทอดได้แก่ แป้ง เช่น แป้งสาลี แป้งข้าวเจ้า แป้งมันสำปะหลัง หรือแป้งข้าวโพด และผงฟู ส่วนประกอบอื่นที่อาจมีได้ ได้แก่ เกลือบริโภคน้ำตาลทราย และอื่นๆ คุณลักษณะที่ต้องการของแป้งชูบทอดคือแห้ง ไม่จับตัวเป็นก้อน สีขาวนวล และปราศจากสิ่งแปลกปลอม เช่น แมลง ผสม ขนสัตว์ มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 14 มีเถ้าที่ไม่ละลายในกรดไม่เกินร้อยละ 0.07 (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 1028-2534) ปริมาณน้ำที่ใช้ต่อแป้งชูบทอดประมาณ 1.5-2.0 : 1

#### ส่วนประกอบของแป้งชูบทอด

ส่วนประกอบของแป้งชูบทอดแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่เป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ แป้งสาลี แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด และ ผงฟู กลุ่มที่เป็นองค์ประกอบย่อย ได้แก่ เกลือและน้ำตาลทราย

แป้งสาลี มีส่วนประกอบที่สำคัญได้แก่ แป้ง (starch), โปรตีนและไขมัน องค์ประกอบสำคัญที่เป็นตัวกำหนดคุณภาพของแป้งสาลีคือโปรตีน ซึ่งมีความสำคัญทั้งด้านคุณค่าทางอาหาร และลักษณะของผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะไกลอะดิน (gliadin) และกลูเตนิน (glutenin) ซึ่งสามารถรวมตัวกันเกิดเป็นกลูเตน (gluten) ที่ให้มวลเกาะกันเป็นก้อนซึ่งสามารถกักเก็บก๊าซและให้โครงสร้างที่เบากับผลิตภัณฑ์ ขณะที่โปรตีนจากแป้งชนิดอื่น เช่น แป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวโพดไม่มีสมบัติดังกล่าวนี้ (Suderman และ Cunningham, 1983) สำหรับแป้งนั้นจะเป็นส่วนที่มีมากที่สุด เนื่องจากเป็นอาหารสะสมของเมล็ดข้าวสาลี แป้งสาลีประกอบด้วย อะไมโลส (amylose) 28% อะไมโลเพคติน (amylopectin) 72% มีอุณหภูมิในการเกิดเจล (gelatinization temperature) 58-64°C (Ellasson และ Gudmundsson, 1996)

แป้งสาลีแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ตามชนิดของข้าวสาลีที่นำมาไม่ แป้งขนมปังไม่จากแป้งสาลีชนิดแข็งมาก (hard red spring หรือ hard red winter wheat) มีโปรตีน 12-14 % ใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่หมักด้วยยีสต์ทุกชนิด แป้งอเนกประสงค์ไม่จากข้าวสาลีชนิดแข็งผสมกับชนิด

อ่อนในสัดส่วนที่เหมาะสม ใช้ทำผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด อาทิ ขนมปัง ะหมี่ ปาท่องโก๋ สารที่ทำให้ขึ้นฟูสำหรับแป้งชนิดนี้ใช้ได้ทั้งผงฟูและยีสต์ ชนิดสุดท้ายคือแป้งเค้กไม่จากข้าวสาลี ชนิดอ่อน (soft wheat และ soft red winter wheat) มีโปรตีน 7-9 % ใช้ทำเค้ก คุกกี้ เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนต่ำทำให้มีความสามารถในการดูดกลืนน้ำต่ำกว่าแป้งชนิดแข็ง มีความทนทานต่อการผสมและการหมักที่ต่ำ ไม่สามารถเกิดโด (dough) ดังนั้นสารที่ทำให้ขึ้นฟูจึงใช้ได้เฉพาะผงฟูเท่านั้นไม่ใช่ยีสต์ (Matz, 1972)

แป้งข้าวเจ้า หมายถึงแป้งที่ได้จากข้าวขาวเต็มเมล็ด ข้าวหักหรือปลายข้าวที่ได้จากการสีข้าวเปลือก (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 638-2529a) แป้งข้าวเจ้าประกอบด้วยอะไมโลส 17% อะไมโลเพคติน 83% มีอุณหภูมิในการเกิดเจล 68-78 °C

แป้งข้าวโพด หมายถึงแป้งที่ได้จากเมล็ดข้าวโพด ผ่านกรรมวิธีบดเปียก (wet milling) แยกโปรตีนและไขมันออกแล้วอบแห้ง (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 637-2529b) แป้งข้าวโพดประกอบด้วยอะไมโลส 28 % อะไมโลเพคติน 72 % มีอุณหภูมิการเกิดเจล 61-72 °C

ผงฟู เป็นสารช่วยให้ผลิตภัณฑ์ขึ้นฟู ผลิตจากส่วนผสม 3 ชนิด คือ เบคกิ้งโซดา (baking soda) หรือโซเดียมไบคาร์บอเนตและสารที่ให้ความเป็นกรด โดยจะมีการเติมแป้งข้าวโพดลงไปด้วย เพื่อป้องกันมิให้สารทั้งสองชนิดนี้สัมผัสกันโดยตรงและทำหน้าที่ดูดความชื้น ทำให้ผงฟูไม่จับกันเป็นก้อน ผงฟูมีหลายชนิดขึ้นกับกรดที่นำมาผสม โดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ผงฟูที่ให้ปฏิกิริยารวดเร็วหรือเรียกว่าผงฟูกำลังหนึ่ง (single acting) กับผงฟูที่ให้ปฏิกิริยาช้าหรือผงฟูกำลังสอง (double acting) ผงฟูกำลังหนึ่งประกอบด้วยเบคกิ้งโซดากับกรดทาร์ทาริก (tartaric acid) หรือครีมออฟทาร์ทาร์ (cream of tartar) หรือเกลือฟอสเฟต เช่น แคลเซียมแอซิดฟอสเฟต (calcium acid phosphate) แคลเซียมแอซิดไพโรฟอสเฟต (calcium acid pyrophosphate) ผงฟูชนิดนี้จะผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ทันทีในขณะที่ผสม ผงฟูที่ให้ปฏิกิริยาช้า หรือผงฟูกำลังสอง ประกอบด้วยเบคกิ้งโซดากับกรด 2 ชนิด หรือมากกว่า กรดชนิดหนึ่งจะเกิดปฏิกิริยาเร็ว อีกชนิดหนึ่งเกิดปฏิกิริยาช้า กรดที่เกิดปฏิกิริยาเร็วได้แก่ แคลเซียมแอซิดฟอสเฟต ส่วนกรดที่เกิดปฏิกิริยาช้าอาจเป็นโซเดียมไพโรฟอสเฟต (sodium pyrophosphate) หรือโซเดียมอะลูมิเนียมซัลเฟต (sodium aluminium sulphate) ก็ได้ ในขณะที่กำลังผสมส่วนผสมของอาหารเข้าด้วยกัน กรดที่ให้ปฏิกิริยาเร็วของผงฟูชนิดนี้จะผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาส่วนหนึ่งและเมื่อให้ความร้อน กรดที่ให้ปฏิกิริยาช้าซึ่งเป็นพวกเกลือซัลเฟตจะผลิตก๊าซออกมาอีกด้วย จึงเรียกผงฟูชนิดนี้ว่าผงฟูกำลังสองหรือผงฟูที่ให้ปฏิกิริยา 2 ครั้ง (Kamel และ Stauffer, 1993)

เกลือ เกลือที่เติมในสูตรแป้งใช้เป็นสารให้รสชาติ นอกจากนี้ในระบบที่มีน้ำจำกัด เกลือจะแข่งขันกับโปรตีนของแป้ง ทำให้อัตราการดูดกลืนน้ำของโปรตีนช้าลง ส่งผลให้ความหนืดของแป้งลดลง (Davis, 1983)

น้ำตาล ทำหน้าที่เป็นสารให้ความหวานและให้กลิ่นรสกับผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังทำให้เกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยา เมลลาร์ด (Maillard reaction) และ คาราเมลไลเซชัน (caramelization) ดังนั้นปริมาณน้ำตาลที่ใช้จะต้องไม่มากเกินไปเพราะจะทำให้สีภายนอกของผลิตภัณฑ์เข้มเกินไป ในขณะที่ภายในยังไม่สุก (Davis, 1983)

### สมบัติสำคัญของแป้งชูบทอด

การผลิตอาหารชูบแป้งทอดให้มีคุณภาพดี แป้งชูบทอดต้องมีสมบัติด้าน ความกรอบ การพองตัว ความสามารถในการเกาะติดผิวอาหาร การอมน้ำมัน และ สี ที่เหมาะสม

ความกรอบ (crispness) เป็นสมบัติที่สำคัญของแป้งชูบทอด เกิดเนื่องจากเมื่อให้ความร้อนโดยการทอด เจลแป้งจะเกิดการพองตัว น้ำที่แทรกอยู่ในอาหารเกิดการขยายตัวดันให้เนื้อเยื่อของอาหารเป็นโพรงหรือรูพรุน เพื่อให้ไอน้ำเคลื่อนที่ออกจากเนื้อเยื่อ แต่ขณะเดียวกันเนื้อเยื่ออาหารจะมีแรงที่ยึดโมเลกุลของน้ำไม่ให้หลุดออก และถ้าเนื้อเยื่ออาหารได้รับพลังงานความร้อนพอเหมาะ ความดันที่เกิดขึ้นจะเท่ากับแรงต้านทานเป็นผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรูพรุนสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นและมีความชื้นเหลืออยู่พอเหมาะที่จะทำให้มีความกรอบพอดี (Eskew, Cording และ Sullivan, 1963)

ปัจจัยที่มีผลต่อความกรอบ ได้แก่ อัตราส่วน อะไมโลส ต่อ อะไมโลเพคติน ในแป้งที่เป็นส่วนผสมหลัก แป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะมีความกรอบสูง เนื่องจากอะไมโลสมีอุณหภูมิในการเกิดเจลสูง ทำให้เกิดเจลได้ช้ากว่า เมื่อนำมาทอดจะปล่อยน้ำออกไปได้น้อยกว่าก่อนที่จะเกิดเจล ส่งผลให้ความกรอบเพิ่มขึ้น ปริมาณโปรตีนในแป้งก็มีผลต่อความกรอบเช่นกัน แป้งที่มีโปรตีนสูงให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความกรอบมากกว่า วิธีการให้ความร้อนหรืออุณหภูมิที่ใช้ทอดผลิตภัณฑ์ ควรควบคุมให้อยู่ในช่วง 150-220 °C ถ้าต่ำหรือสูงกว่านี้จะมีผลทำให้ความกรอบลดลงและส่วนผสมอื่น เช่น ไข่ แป้งแปรสภาพ หรือ กัม (gum) บางชนิดมีส่วนให้แป้งชูบทอดมีความกรอบเพิ่มขึ้น (Suderman และ Cunningham, 1983)

การพองตัว (puffing) เกิดเนื่องจากปัจจัยหลัก 2 ประการคือ การพองตัว โดยสมบัติของตัวแป้งเองซึ่งเกิดจากการพองตัวและดูดกลืนน้ำของเม็ดแป้งเมื่อได้รับความร้อน น้ำแปรสภาพเป็นไอน้ำทำให้แป้งขยายหรือพองตัวออก (Fox และ Cameron, 1970) นอกจากนี้การพองตัวยังเกิดจากผงฟูที่เติมลงในผลิตภัณฑ์ซึ่งเมื่อเกิดปฏิกิริยาเคมีให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้เกิดการพองตัวได้เช่นกัน (Suderman และ Cunningham, 1983)

ความสามารถในการเกาะติดผิวอาหาร (adhesion) เกิดจากการที่น้ำแป้งได้รับความร้อนที่อุณหภูมิที่เหมาะสมเกิดเจลที่เคลือบติดบนผิวของชิ้นอาหารได้

ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการเกาะติดผิวอาหารได้แก่ ความชื้นหนืด ชนิดของแป้งที่เป็นส่วนผสมหลักมีผลต่อความชื้นหนืด แป้งที่มีอะไมโลเพคตินสูงมีสมบัติที่

ชั้นหนืดมากจึงเกาะติดผิวอาหารได้ดี (Suderman และ Cunningham, 1983) การเติมสารช่วยให้เกิดความข้นหนืดเช่น กัม โปรตีน ทำให้การเกาะติดเกิดขึ้น และปริมาณน้ำ ถ้าใช้น้ำน้อย แป้งจะมีความข้นหนืดสูงจึงเกาะติดได้ดี (Baker, Darfler และ Vadehra, 1972)

การอมน้ำมัน (fat absorption) เกิดจากการดูดกลืนน้ำมันเข้าไปในชั้นอาหารในปริมาณมาก การอมน้ำมันของอาหารขึ้นกับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ทอด พื้นที่ผิวอาหาร ชนิดของน้ำมัน และ องค์ประกอบของอาหาร การทอดที่อุณหภูมิสูงระยะเวลาสั้น ให้ผลิตภัณฑ์ที่อมน้ำมันน้อยกว่า อาหารที่มีพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับน้ำมันมากอมน้ำมันได้มากกว่า น้ำมันที่ใช้ทอดถ้าจุดเกิดควันต่ำ ให้ผลิตภัณฑ์ที่อมน้ำมันมากกว่าพวกที่มีจุดเกิดควันสูง และองค์ประกอบของอาหารก็มีผลเช่นกัน อาหารที่มีปริมาณน้ำตาลสูงอมน้ำมันได้มากกว่าอาหารประเภทอื่น (Thorner, 1973)

สี ผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดที่ดีควรสุกเป็นสีน้ำตาลทอง (golden-brown) สีดังกล่าวนี้เกิดจากปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชัน ซึ่งเป็นผลจากการเกิดไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ของน้ำตาลในแป้งชุบทอดจนได้โมโนแซคคาไรด์ (monosaccharide) แล้วเกิด โพลีเมอร์ไรเซชัน (polymerization) ได้สารสีน้ำตาล (Fennema, 1996)

ปัจจัยอื่นที่มีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ชนิดของแป้ง แป้งต่างชนิดกันจะให้สีไม่เหมือนกัน แป้งผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวและแป้งข้าวโพดข้าวเหนียว จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีผิวสีน้ำตาลมัน (glossy brown) แป้งสาลีให้ สีน้ำตาลอมเทา (grayish-brown) ในขณะที่แป้งผสมระหว่างแป้งข้าวโพดข้าวเหนียวและแป้งข้าวโพดจะให้สีอ่อนจาง สำหรับแป้งมันฝรั่งจะทำให้เกิดสีน้ำตาลทอง (golden brown) อุณหภูมิและเวลาทอดเป็นอีกปัจจัยที่มีผลกับสีของผลิตภัณฑ์ ถ้าใช้อุณหภูมิและเวลาที่สูงเกินไป ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสีเข้มมากเกินไป (Suderman และ Cunningham, 1983)

### เส้นใยอาหาร (dietary fiber)

เส้นใยอาหาร หมายถึง สารประกอบของพืชซึ่งไม่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในร่างกายมนุษย์ รวมถึงสารประกอบที่เป็นผนังเซลล์ของพืช ได้แก่ เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เพคติน (pectins) และลิกนิน (lignins) และสารประกอบโพลีแซคคาไรด์ที่อยู่ในเซลล์ เช่น กัม และ มิวซิเลจ (mucilage) (Trowell, 1976)

จากการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพ อาจแบ่งเส้นใยอาหาร ตามความสามารถในการละลายน้ำเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่ละลายกับไม่ละลายในน้ำ

กลุ่มที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble dietary fiber) ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เส้นใยอาหารในกลุ่มนี้มีสมบัติดูดความชื้น (hygroscopic) อย่างสูง เนื่องจาก

สามารถพองตัวและดูดกลืนน้ำได้ถึง 20 เท่าของน้ำหนัก พบมากในเมล็ดธัญพืช เช่น ไร่ข้าว ไร่ข้าวสาลี เป็นต้น

เซลลูโลส เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืช อยู่ในรูปของ 1,4- $\beta$ -D-กลูแคน (glucan) มีลักษณะทางเคมีเหมือนกับ อะไมโลส แต่แตกต่างกันที่อะไมโลส นั้นกลูโคสแต่ละโมเลกุลจะเชื่อมกันลักษณะเป็นวงแหวน ขณะที่ในเซลลูโลส กลูโคสจะเชื่อมกันเป็นเส้นตรง ซึ่งลักษณะที่เกิดขึ้นนี้ทำให้เซลลูโลสมีพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรงกว่าอะไมโลส (Stauffer, 1993) โมเลกุลของเซลลูโลสจะรวมตัวกันเป็นเส้นใยเล็กๆ โดยส่วนหนึ่งของเส้นใย จะมีโมเลกุลเซลลูโลสจับตัวกันอย่างมีระเบียบมีลักษณะเป็นผลึก (crystalline) แต่ก็มีบางส่วน อยู่กันอย่างขาดระเบียบ (amorphous) เนื่องจากเส้นใยส่วนนี้มีโมเลกุลน้ำตาลมาแทรกอยู่ ความคงทนของเซลลูโลสต่อการดหรือเอนไซม์ ขึ้นอยู่กับส่วนที่ไม่เป็นผลึกนี้ (Whistler และ Daniel, 1990)

เฮมิเซลลูโลส ประกอบด้วยน้ำตาลหลายชนิดหลายชั้น โดยสายหลัก จะเป็นพวก ไคแลน(xylan), แมนแนน(mannan), กาแลคแตน(galactan) และกลูโคแมนแนน (glucomannan) และน้ำตาลที่เกาะบริเวณด้านข้างจะเป็นพวก อะราบิโนส (arabinose), กาแลคโตส(galactose) และกรดยูโรนิก(uronic acid) ซึ่ง เฮมิเซลลูโลสแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ เฮมิเซลลูโลส A เป็นสารประกอบไคแลน โดยน้ำตาลบางหน่วยอยู่ในรูปของกรดยูโรนิก ชนิดที่สอง เฮมิเซลลูโลส B มีโครงสร้างที่ซับซ้อนมาก บางส่วนมีโมเลกุลเป็นเส้นตรงและ บางส่วนมีโมเลกุลเป็นกึ่งก้าน โดยมีโครงสร้างหลัก เป็น 2,4- $\beta$ -D-ไคแลน และมีกึ่งก้าน เป็นพวก 4-O-เมธิล- $\alpha$ -D- กลูคิวโรโน (4-o-methyl- $\alpha$ -D-glucurono) หรือ L- อะราบิโน (L- arabino) (Whistler and Daniel, 1990)

ลิกนิน ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อม เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสในผนังเซลล์ของพืช ลิกนินมีโครงสร้างที่เป็นอโรมาติกไฮโดรคาร์บอนโพลีเมอร์อสัณฐาน (amorphous aromatic hydrocarbon polymer)ซึ่งประกอบด้วยหน่วยย่อยเฟนิลโพรเพน (phenylpropane) (Stauffer, 1993)

กลุ่มที่ละลายน้ำ (soluble dietary fiber) ได้แก่ กัม เส้นใยอาหารพวกนี้จะมี ความสามารถในการละลายน้ำและทำให้เกิดเจล พบมากในผัก ผลไม้และพืชตระกูลถั่ว เช่น ส้ม, เมล็ดแมงลัก เป็นต้น

กัม มีส่วนประกอบเป็น โพลีแซคคาไรด์สายยาว มีกึ่งก้านเป็น น้ำตาลหรือ โอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharides) โดยน้ำตาลที่พบบ่อยจะเป็นพวก D-กลูคิวโรนิก, D- แมนนูโรนิก หรือ D-กาแลคทูโรนิก (D-glucuronic, D-manuronic หรือ D-galacturonic acid) กัมแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ กัม ซึ่งเกิดอยู่ภายนอกผนังเซลล์ของพืช (exogenous gum) เช่น กัมอาราบิก (arabic) ทรากาคานต์ ( tragacanth ) คาราจีนแนน ( carrageenan ) เพอเซลล์ลาราน ( furcellaran ) เป็นต้น และกัมซึ่งเกิดอยู่

ภายในผนังเซลล์ของพืช (endogenous gum) เช่น  $\beta$ -กลูแคน และสารประกอบเพคติน (Stauffer, 1993)

### รำข้าว (Rice Bran)

รำข้าวมีลักษณะเป็นเนื้อเยื่อสีน้ำตาลที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าวประกอบด้วยส่วนของเพอริคาร์พ (pericarp), อะลิวโรน (aleurone) และซับอะลิวโรน (subaleurone) ซึ่งได้จากการสีข้าวกล้อง (brown rice) ในทางการค้าแบ่งรำข้าวออกได้เป็น 3 ประเภทตามปริมาณไขมันที่มีอยู่ ได้แก่ รำข้าวที่มีไขมัน 18-22%, รำข้าวไขมันต่ำ มีไขมัน 6-9% และรำข้าวสกัดไขมัน (defatted rice bran) มีไขมัน 0.5 - 1.5 % (Carroll, 1990)

### องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว

Hargrove (1993) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว และรายงานว่าโปรตีนที่มีอยู่ในรำข้าวส่วนใหญ่เป็น อัลบูมิน (albumin) และ โกลบูลิน (globulin) โดยปริมาณที่พบเมื่อคิดในรูปของ protien efficiency ratio (PER) เทียบกับค่า PER ของเคซีน (2.5) พบว่าโปรตีนรำข้าวมีค่า PER 1.6 - 1.9 รำข้าวมีไขมัน 18-22 % กรดไขมันที่พบมากได้แก่ ปาล์มมิติก (palmitic), โอลีอิก (oleic) และ ลิโนเลอิก (linoleic) ซึ่งคิดเป็นปริมาณมากกว่า 90 % ของกรดไขมันทั้งหมด คาร์โบไฮเดรต ใน รำข้าว แบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ แป้ง (starch) มีอยู่ 10-55% น้ำตาลมีอยู่ 3-8 % น้ำตาลที่พบส่วนใหญ่เป็น กลูโคส, ฟรุกโตส, ซูโครส และ ราฟฟิโนส (raffinose) กลุ่มสุดท้ายเป็นกลุ่มของเส้นใยอาหารประกอบด้วย เซลลูโลส 9.6-12.8% เฮมิเซลลูโลส 8.7-11.4% และ  $\beta$ -กลูแคน น้อยกว่า 1 % ซึ่งในส่วนของเส้นใยอาหารนั้นพบว่า 97 % เป็นพวกที่ไม่ละลายน้ำ วิตามินและแร่ธาตุที่พบในรำข้าวมีอยู่หลายชนิดแต่วิตามินที่พบมากที่สุด 3 อันดับแรกคือไมโออินโนซิทอล (myoinositol) 4600 - 9300 ppm. โคลีน (choline) 1300 - 1700 ppm. และ ไนอะซิน (niacin) 236 - 590 ppm. สำหรับแร่ธาตุที่พบมาก 3 อันดับแรกคือ ฟอสฟอรัส 14800 - 28700 ppm. โพแทสเซียม 13600 - 23900 ppm. และ ซิลิกอน 1700 - 16300 ppm. ซึ่งปริมาณวิตามินและแร่ธาตุจะขึ้นกับ พันธุ์ข้าว สภาวะดิน สิ่งแวดล้อมขณะเจริญเติบโต และกระบวนการขัดสีข้าว

### ปฏิกิริยาทางชีวเคมีในรำข้าว

การนำรำข้าวไปใช้ในอาหารมีข้อจำกัดสำคัญที่ต้องคำนึงถึงคือ การเสื่อมคุณภาพของรำข้าวที่เกิดจากเอนไซม์ ไลเปส (lipases) และ ออกซิเดส (oxidases) ที่มีอยู่ในตัวรำข้าว และจากจุลินทรีย์ที่อยู่บริเวณผิวของเมล็ดข้าว ในเมล็ดข้าวที่ยังไม่ผ่านการขัดสี เอนไซม์ไลเปสจะอยู่บริเวณชั้นเทสตา-ครอส (testa-crosslayer) ส่วนน้ำมันจะอยู่ในส่วนของอะลิวโรน (aleurone) และ ต้นอ่อน (germ) ขณะที่ขัดสีเอนไซม์สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับน้ำมันเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์เป็นกรดไขมันอิสระ (Barber and Barber, 1980) ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้ Sayre (1988) ได้อธิบายเพิ่มเติมว่าเอนไซม์ไลเปสจะทำให้เกิดกลิ่นหืนจากการปลดปล่อยกรดไขมัน แต่กรดไขมันอิสระที่ได้จากปฏิกิริยาในช่วงนี้จะเป็นกรดไขมันอิสระที่มีคาร์บอนตั้งแต่ 16 โมเลกุลขึ้นไป ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์มีความเป็นกรดมากขึ้นและให้กลิ่นรสคล้ายสบู่ซึ่งไม่ใช่กลิ่นรสหืน (rancid flavor) หลังจากนั้นจะเกิดออกซิเดทีฟแรนซิดิตี (oxidative rancidity) ทำให้เกิดกลิ่นรสหืน โดยการเกิดสารอัลดีไฮด์ (aldehydes), คีโตน (ketones) ทั้งชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวที่มีคาร์บอนตั้งแต่ 3-11 โมเลกุล และกรดอินทรีย์บางชนิด

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้ยับยั้งได้โดยการหยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์ด้วยความร้อน ซึ่งต้องรีบทำทันทีหลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการขัดสี เนื่องจากกรดไขมันอิสระเพิ่มปริมาณได้อย่างรวดเร็ว โดยใน 1 วันจะเพิ่มปริมาณได้ 5-7 % การเสถียรรำข้าวแบ่งได้ เป็น 2 วิธีใหญ่ๆ (Saunders, 1986) คือ การให้ความร้อนแห้ง (dry heat) และการให้ความร้อนชื้น (moist heat) การให้ความร้อนแห้งเป็นวิธีที่มีขั้นตอนไม่ยุ่งยากทำเสร็จได้ในขั้นตอนเดียว Aizono และ คณะ (1976) ให้ความร้อนแก่รำข้าวโดยใช้เครื่องฟลูอิดไดซ์เบด (fluidized bed) ที่อุณหภูมิ 105° C เป็นเวลา 4 นาที ทำให้รำข้าวเสถียรได้ถึง 20 วัน Akazawa (1972) ศึกษาการให้ความร้อนแก่รำข้าวโดยใช้กระทะแบน (pan) ขณะให้ความร้อนมีการคนอย่างสม่ำเสมอพบว่าต้องใช้อุณหภูมิ 110° C นาน 20 นาที จึงยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลเปสได้ ส่วนการให้ความร้อนชื้นจะมีขั้นตอนยุ่งยากกว่า คือหลังการให้ความร้อนโดยใช้ไอน้ำต้องทำแห้งผลิตภัณฑ์ การใช้ความร้อนชื้นทำได้หลายวิธีแต่วิธีที่นิยมใช้คือ เอกซ์ทรูชัน (extrusion) Barber และ Barber (1980) ศึกษาการเสถียรรำข้าวโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (extruder) ที่อุณหภูมิ 130° C ประมาณ 2-3 วินาที จากนั้นทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 97-99° C 3 นาที แล้วทิ้งไว้ให้เย็น รำข้าวที่ได้มีคุณภาพดีเมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 28 วัน มีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเพียง 1% ขณะที่รำข้าวซึ่งไม่ผ่านกระบวนการมีกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น 47 %

## ปัจจัยที่ควรคำนึงถึงในการนำข้าวไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร

การนำข้าวมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร จะต้องคำนึงถึงลักษณะเฉพาะของข้าว ซึ่งจะมีผลต่ออาหาร ซึ่งปัจจัยที่สำคัญได้แก่ รสชาติ สี สมบัติด้านการใช้งาน สมบัติทางโภชนาการ

รสชาติและสี รสชาติที่พบมากในข้าวมี 2 ลักษณะคือ ขมเล็กน้อย และหวานซึ่งรสขมอาจเกิดจาก ซาโพนิน ที่มีอยู่ในข้าวหรือจากสารประกอบที่ได้จากปฏิกิริยาการสลายของไขมัน, สารฟีนอลิก, เอมีนระเหยได้ และเปปไทด์ ส่วนรสหวานขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำตาลที่มีอยู่ในข้าว ซึ่งจะอยู่ในช่วง 3-8 % น้ำตาลที่พบส่วนใหญ่ คือ กลูโคส, ฟรุคโตส, ซูโครส และ ราฟไฟโนส สำหรับสี ข้าวมีสีตั้งแต่น้ำตาลอ่อนจนถึงน้ำตาลเข้ม โดยเฉพาะข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนจะมีสีเข้มขึ้นจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดระหว่างโมเลกุลของน้ำตาลและกรดอะมิโน นอกจากนี้ข้าวที่ผ่านการสกัดโดยใช้เฮกเซนจะมีสีซีดลงเนื่องจากเม็ดสีถูกกำจัดออกไปทำให้ข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันด้วยเฮกเซน มีสีอ่อนกว่าข้าวที่ไม่ผ่านการสกัดไขมัน (Barber and Barber, 1980)

สมบัติด้านการใช้งาน (functional property) สมบัติสำคัญที่ควรพิจารณาคือการดูดกลืนน้ำและไขมัน ความสามารถในการเกิดฟองและ เสถียรภาพของฟอง James และ Sloan (1984) ศึกษาสมบัติด้านการใช้งานของข้าว, ข้าวสกัดไขมัน และข้าวสาลี พบว่าข้าวสกัดไขมันมีความสามารถในการดูดกลืนน้ำและไขมันสูงสุด คือ 282.4% และ 26.2% ของน้ำหนักข้าว ข้าวมีความสามารถในการดูดกลืนน้ำและไขมันได้ต่ำสุดคือ 213.1% และ 7.0% ของน้ำหนักข้าวตามลำดับ นอกจากนี้ข้าวสกัดไขมันจะมีสมบัติในการเกิดฟอง (ซึ่งวัดได้จากการเพิ่มปริมาตรระหว่างการตี) สูงสุด คือ 115.5% ซึ่งฟองที่เกิดขึ้นมีเสถียรภาพมากที่สุด ข้าวไม่มีความสามารถในการเกิดฟอง ส่วนข้าวสาลีนั้นจะมีสมบัติทั้ง 3 ด้านอยู่ระหว่างข้าวสกัดไขมันและข้าว

สมบัติทางโภชนาการ (nutritional property) ข้าวเป็นแหล่งที่ดีของกรดไขมันอิสระที่ไม่อิ่มตัว, โทโคฟีรอล, วิตามิน บี1, บี2 และ แร่ธาตุ ได้แก่ อลูมิเนียม, แคลเซียม, เหล็ก, แมกนีเซียม, ฟอสฟอรัส, โพแทสเซียม, ซิลิคอน, โซเดียม และ สังกะสี (Hargrove, 1993) นอกจากนี้ยังพบส่วนที่ไม่ใช่ไตรกลีเซอไรด์ในข้าวที่ไม่ผ่านการสกัดไขมันเช่น โทโคไตรอีนอล (tocotrienol) และแกมมา ออไรซานอล (gamma oryzanol) ที่มีผลในการช่วยลดคอเลสเตอรอล (Hegsted และ Kousik, 1994) ส่วนโปรตีนที่มีในข้าวจะประกอบด้วยกรดอะมิโนทั้งที่ไม่จำเป็นและจำเป็นต่อร่างกาย กรดอะมิโนจำเป็นที่พบในข้าว ได้แก่ ไลซีน, ฮีสติดีน, อาร์จินีน, ไอโซลูซีน, ลูซีน, เวลีน, ทรีปโตเฟน, เฟนิลอะลานีน, เมทไธโอนีน และ ทรีโอนีน อย่างไรก็ตามแม้โปรตีนในข้าวจะมีค่า PER 1.6-1.9 ซึ่งสูงกว่าในข้าวโพด (1.2) และข้าวสาลี (1.0) แต่การใช้โปรตีนในข้าวก็มีข้อจำกัดเนื่องจากในข้าวข้าวมี



ไลซีน ฮิสติดีนและธรีโอนีน ต่ำกว่ามาตรฐานของ FAO ดังนั้นจึงต้องใช้รำข้าวร่วมกับแหล่งโปรตีนชนิดอื่น (Liener, 1972)

### การใช้รำข้าวในผลิตภัณฑ์อาหาร

ผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้รำข้าวเป็นส่วนผสมได้แก่ ขนมปัง มัฟฟิน คูกี้ และบิสกิต โดยใช้รำข้าวทดแทนบางส่วนของแป้ง James และ Sloan (1983) ศึกษาการใช้รำข้าวแทนแป้งในผลิตภัณฑ์ มัฟฟิน และ บิสกิต พบว่า ลักษณะปรากฏของมัฟฟินที่ทดแทนด้วยรำข้าว 10 และ 20% ไม่แตกต่างจากมัฟฟินที่ไม่มีส่วนผสมของรำข้าว ขณะที่บิสกิตที่มีส่วนผสมของรำข้าว 20% มีลักษณะปรากฏไม่ดี ในส่วนของรสชาติพบว่าผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดที่ทดแทนแป้งด้วยรำข้าว 10% มีรสหวานกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีส่วนผสมของรำข้าว แต่ในกรณีที่ใช้รำข้าว 20 % นั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่เป็นที่ยอมรับเนื่องจากมีลักษณะเนื้อสัมผัสเป็นเม็ดร่วนเหมือนกรวด (gritty) และมีรสขม Carroll (1990) รายงานผลการใช้รำข้าวในผลิตภัณฑ์ขนมอบ 3 ชนิดคือ ขนมปัง มัฟฟิน และคูกี้เนยถั่ว พบว่าใช้รำข้าวทดแทนในส่วนของแป้งได้ถึง 20% นอกจากนี้จากสมบัติของรำข้าวที่ดูดกลืนน้ำได้ดียังช่วยรักษาความชื้นในผลิตภัณฑ์ไว้ได้ ทำให้อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์นานขึ้น และสมบัติในการเกิดฟองดีขึ้น Hudson, Chiu และ Knuckles (1992) ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ มัฟฟินที่มีเส้นใยสูง (high-fiber) โดยใช้เส้นใยที่มีสมบัติในการลดคอเลสเตอรอล และลดน้ำตาลในเลือด ได้แก่ รำข้าวโอ๊ต, ผลิตภัณฑ์จาก ข้าวบาร์เลย์ที่มี  $\beta$ -กลูแคน สูง และ รำข้าว โดยใช้ปริมาณ 100, 40 และ 60% ของน้ำหนักแป้งสาลีตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ที่มีเส้นใยสูงเปรียบเทียบกับมัฟฟินแบบดั้งเดิม ผลการทดลองพบว่า มัฟฟินที่ใช้รำข้าวโอ๊ต มีน้ำหนักเนื้อ (crumb) มากขึ้น แต่มีหน้าหยาบ (grainy) ส่วนมัฟฟินที่ใช้ผลิตภัณฑ์จากข้าวบาร์เลย์ ดูดกลืนน้ำได้เร็วทำให้ส่วนผสมเหนียวมาก จึงต้องเติมส่วนผสมที่เป็นของเหลวเพิ่มขึ้น มัฟฟินที่อบเสร็จแล้วมีลักษณะที่ดี โดยตัวอย่างที่ใช้รำข้าวมีเนื้อสัมผัสที่ละเอียด (mealy) มีความอ่อนนุ่มและชุ่มชื้น ผลจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่ามัฟฟินทั้ง 3 ชนิด มีคะแนนในระดับที่ไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) แต่มีคะแนนต่ำกว่ามัฟฟินแบบดั้งเดิม ส่วนผลการวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบทางเคมีพบว่า มัฟฟินทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณความชื้น โปรตีน และแร่ธาตุสูงขึ้นและให้พลังงานต่ำกว่าเมื่อเทียบกับมัฟฟินแบบดั้งเดิม Hargrove (1993) ศึกษาการใช้รำข้าวทดแทนแป้งสาลีในขนมปัง ในปริมาณ 15 และ 30% พบว่าใช้ รำข้าว 15% ทดแทนแป้งสาลีได้โดยขนมปังที่ได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก ความสูง และปริมาตร นอกจากนั้น คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสก็ไม่แตกต่างจากตัวอย่างที่ไม่ใช้รำข้าว ( $p > 0.05$ ) อรวรรณ และ สุชาติพิทย์ (2536) ศึกษาการเติมรำสกัดไขมัน ลงในแป้งชูบทอด สำหรับกึ่งกุลาดำและหอมใหญ่ สามารถทดแทนบางส่วนของ

แป้งสาลีด้วยรำสกัดไขมัน 15% โดยที่ผลิตภัณฑ์มีคะแนนความกรอบและความชอบรวม อยู่ใน ระดับชอบปานกลาง คะแนนอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย

### การทอดแบบน้ำมันท่วม (Deep Fat Frying)

การทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นวิธีทอดอย่างหนึ่งที่ใช้ไขมันมากในกระทะก้นลึก อาหารจะ จมลงในน้ำมันที่มีอุณหภูมิ 150-220°C การทอดใช้เวลาไม่นาน ระหว่างทอดความร้อนจาก น้ำมันหรือไขมันจะถูกส่งผ่านไปยังชิ้นอาหาร จนอาหารสุกและลอยขึ้นบนผิวน้ำมัน อุณหภูมิ ของน้ำมันหรือไขมันจะลดลงขณะใส่อาหารลงไปจึงต้องมีการเพิ่มพลังงานความร้อนเพื่อให้ อุณหภูมิกลับมาเท่ากับอุณหภูมิที่ตั้งไว้ ขณะทอดความร้อนจากอาหารจะกลายเป็นไอและระเหย ออกมาทำให้เกิดฟองฟูอย่างรุนแรงซึ่งการเกิดฟองฟูนี้ จะค่อยๆลดลงจนอาหารสุก ซึ่งจะ เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของอาหารโดยจะเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาการเมลลิวเซชัน และ/หรือ ปฏิกิริยาเมลลิวาร์ด ที่บริเวณผิวนอกของอาหาร (Lawson, 1985)

การทอดแบบน้ำมันท่วมทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันที่ใช้ทอด เนื่องจากใช้ ภาวะที่รุนแรง มีความร้อนและความชื้นสูง ซึ่งจะเร่งให้เกิดปฏิกิริยาสำคัญ 3 แบบ คือ ไฮโดรไลซิส (hydrolysis), ออกซิเดชัน (oxidation) และ โพลีเมอไรเซชัน (polymerization)

ไฮโดรไลซิส เกิดขึ้นเมื่อน้ำมันได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 177°C น้ำจาก อาหารทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ (triglycerides) เกิดกรดไขมันอิสระ, โมโนกลีเซอไรด์ (monoglyceride), ไดกลีเซอไรด์ (diglycerides) และกลีเซอริน (glycerine) ซึ่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะถูกเร่งในภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและมีปริมาณน้ำอยู่มาก สารที่ได้จาก ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสมีผลทำให้จุดเกิดควันต่ำลง และลดแรงดึงผิวระหว่างน้ำมันกับอาหารทำให้ มีการดูดกลืนน้ำมันมากขึ้น (Lawson, 1995)

ออกซิเดชัน เป็นปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันกับออกซิเจนในอากาศ โดยปกติการ เกิดออกซิเดชันสามารถเกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำ เรียกว่าออโตออกซิเดชัน (auto oxidation) จะเกิด อย่างช้าๆ แต่ถ้าน้ำมันอยู่ในภาวะที่มีอุณหภูมิสูงมีการสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศได้มากและ มีการสัมผัสกับโลหะพวก เหล็ก และทองแดงซึ่งเป็น โปร-ออกซิแดนท์ (pro-oxidants) ที่จะไป กระตุ้นให้เกิดสารตั้งต้นของปฏิกิริยาออกซิเดชัน คือ อนุมูลอิสระของไขมัน ซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่อ ได้ ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดอย่างรวดเร็วและการ สลายตัวของสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์จะทำให้ได้สารพวก อัลดีไฮด์, คีโตน และไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดกลิ่นรสน้ำมัน (Lawson, 1985)

โพลีเมอไรเซชัน ปฏิกิริยานี้เกิดเมื่อทอดที่อุณหภูมิ 163-190°C และ เร่งให้เกิดได้ดีเมื่อใช้อุณหภูมิสูง (ตั้งแต่ 177°C ขึ้นไป) ปฏิกิริยานี้จะเกิดร่วมกับปฏิกิริยา ออกซิเดชัน ทำให้เกิดการรวมตัวของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ได้สารโพลีเมอร์ ผลจากปฏิกิริยา

นี้ทำให้น้ำมันมีลักษณะเป็นยางเหนียว (gumming) เพิ่มความหนืดของน้ำมันและน้ำมันมีสีเข้ม (Lawson, 1985)

### ปัจจัยที่มีผลต่อการอมน้ำมัน

การอมน้ำมันเป็นลักษณะที่สำคัญอย่างหนึ่งของอาหารทอด การอมน้ำมันจะเกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยได้แก่ อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ทอด ความชื้นของอาหาร รูปร่างและองค์ประกอบของอาหาร การปฏิบัติก่อนทอด เปลือกนอก (crust) ของอาหาร รูพรุน (porosity) ของอาหาร และคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ทอด

อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการทอด โดยทั่วไปการทอดแบบน้ำมันท่วม จะใช้อุณหภูมิในช่วง 150 - 220 °C ในการทอดควรจะเลือกใช้อุณหภูมิสูงสุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อที่จะใช้เวลาในการทอดให้น้อยที่สุด แต่ก็ไม่ควรใช้อุณหภูมิสูงเกินไปเพราะ จะทำให้ด้านนอกเกิดสีน้ำตาลอย่างรวดเร็ว ขณะที่ภายในยังไม่สุก การใช้อุณหภูมิสูงและเวลาน้อยจะมีผลทำให้อาหารดูดกลืนน้ำมันน้อยกว่าการทอดที่ใช้อุณหภูมิต่ำและใช้ระยะเวลาในการทอดนาน เพราะอาหารจะมีเวลาในการสัมผัสกับน้ำมันน้อยกว่า จึงดูดกลืนน้ำมันได้น้อยกว่า (Thorner, 1973)

ความชื้นของอาหาร ความชื้นที่มีอยู่ในอาหารจะเป็นเกณฑ์บอกปริมาณน้ำมันที่จะดูดกลืนเข้าไปในเนื้อเยื่ออาหาร โดยทั่วไปพบว่าอาหารที่มีความชื้นสูงจะอมน้ำมันมากขึ้นด้วย เหตุผลด้านกลไกในการเสียน้ำระหว่างทอดของอาหาร ขณะเริ่มทอดบริเวณผิวของอาหารซึ่งมีทั้งน้ำอิสระ (free water) และน้ำที่ยึดติดกับโมเลกุลของโปรตีน (bound water) เมื่อสัมผัสกับน้ำมันที่มีอุณหภูมิสูง น้ำอิสระจะเริ่มระเหยทำให้ปริมาณลดลงอย่างรวดเร็ว ขณะเดียวกันโมเลกุลของน้ำที่อยู่ด้านในถัดเข้ามาจะเริ่มกลายเป็นไอ และพยายามหาช่องทางเพื่อที่จะผ่านออกไป ดังนั้นการระเหยของน้ำที่อยู่ภายในเนื้อเยื่อทำให้น้ำมันที่อยู่บริเวณผิวของอาหารแทรกเข้าไปในช่องว่างที่เกิดขึ้น ดังนั้นถ้ามีน้ำอิสระระเหยออกมามากก็จะทำให้เกิดช่องว่างที่น้ำมันจะเข้าไปแทรกอยู่ได้มาก (Saguy และ Pinthus, 1995)

รูปร่างและองค์ประกอบของอาหาร รูปร่างของชิ้นอาหารมีผลต่อการอมน้ำมัน ถ้าอาหารมีรูปร่างที่ทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับน้ำมันได้มากจะอมน้ำมันมาก นอกจากนี้ลักษณะผิวหน้าของอาหารก็มีผลด้วยเช่นกัน ถ้าอาหารมีผิวหน้าขรุขระ พื้นที่ผิวที่จะสัมผัสกับน้ำมันเพิ่มมากขึ้น ส่วนประกอบของอาหารมีผลต่อการอมน้ำมัน อาหารที่มีน้ำตาลสูงจะอมน้ำมันได้มากเนื่องจากน้ำตาลมีผลในการเพิ่มความชื้นของอาหาร ทำให้มีผลทางอ้อมต่อการอมน้ำมันดังได้อธิบายกลไกไปแล้ว สำหรับโปรตีนมีรายงานว่า การใช้โปรตีนถั่วเหลืองในโดนต์ช่วยลดการอมน้ำมันของผลิตภัณฑ์ทั้งนี้เป็นผลจากการที่โปรตีนมีความสามารถในการละลายต่ำ ทำให้ความชื้นของอาหารไม่สูงการอมน้ำมันจึงลดลง (Saguy และ Pinthus, 1995) Pinthus, Weinberg และ Saguy (1993) รายงานว่าถ้าเติมเซลลูโลสผงและอนุพันธ์ของเซลลูโลส เช่น เมทิลเซลลูโลส

(methylcellulose) ไฮดรอกซีโพรพิลเมทซิลเซลลูโลส (hydroxypropyl methylcellulose) เป็นต้น ลงโนโดนัทจะช่วยลดการดูดกลืนของน้ำมันระหว่างการทอด

**การปฏิบัติก่อนทอด** การปฏิบัติก่อนทอดมีผลต่อการดูดกลืนของน้ำมันในชิ้นอาหาร Lawson (1995) ศึกษาการลวกมันฝรั่งในน้ำมัน ก่อนที่จะนำไปทอดพบว่า การลวกมันฝรั่งในน้ำมันที่อุณหภูมิ  $177^{\circ}\text{C}$  ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใช้ทอดเป็นเวลา 2-3 นาที จะลดการดูดกลืนน้ำมันของอาหารได้ 3-5% เมื่อเทียบกับการลวกมันฝรั่งในน้ำมันที่อุณหภูมิ  $149^{\circ}\text{C}$  การลวกมันฝรั่งในน้ำมันจะช่วยลดการดูดกลืนน้ำมัน เนื่องจากน้ำในอาหารบางส่วนจะระเหยออกไป ทำให้ความชื้นของอาหารลดลง และเมื่อนำไปทอดเวลาที่ใช้ในการทำให้อาหารสุกจะลดลง อาหารจะสัมผัสกับน้ำมันเป็นระยะเวลาสั้นจึงดูดกลืนน้ำมันได้น้อย สำหรับการแช่แข็ง อาหารที่ผ่านการแช่แข็งจะมีความชื้นลดลง ซึ่งเป็นผลจากการที่น้ำระเหยออกไประหว่างการ แช่แข็ง และละลายน้ำ (thawing) ออกไป ส่วนการทำแห้งก็เป็นกระบวนการที่ทำให้อาหารมีความชื้นลดลง ดังนั้นเมื่อนำมาทอด การระเหยของน้ำในชิ้นอาหารลดลง น้ำมันเข้ามาแทนที่น้ำได้น้อยลง จึงมีการดูดกลืนน้ำมันลดลง (Saguy และ Pinthus, 1995)

**เปลือกนอกของอาหาร** เปลือกนอกถูกสร้างขึ้นระหว่างการทอดโดยขณะทอดอาหารที่อุณหภูมิสูงมีการดึงพลังงานความร้อนแผ่ออกมาซึ่งเป็นผลให้น้ำบริเวณผิวหน้าเปลี่ยนสถานะเป็นไอและระเหยออกมาอย่างรวดเร็ว (Fennema, 1975) ดังนั้นบริเวณผิวหน้าของอาหารจึงมีลักษณะแห้งและแข็งซึ่งเป็นลักษณะที่ต้องการในอาหารทอด การเกิดเปลือกนอกมีผลต่อการส่งผ่านความร้อน มวลสาร และการอมน้ำมันของชิ้นอาหาร มีการรายงานว่าประมาณ 35-38% และ 60-65% ของน้ำมันที่ดูดกลืนในชิ้นอาหารจะอยู่ที่บริเวณเปลือกนอก หลังจากการทอดอาหารเป็นเวลา 1 และ 5 นาทีตามลำดับ การดูดกลืนน้ำมันของเปลือกนอก เป็นผลมาจากความแข็ง (yield strenght) ของเปลือกนอก การที่เปลือกนอกมีความแข็งสูงจะสัมพันธ์กับการที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ ซึ่งการมีรูพรุนมากขึ้นจะทำให้ดูดกลืนน้ำมันเพิ่มขึ้น (Pinthus, Weinberg และ Saguy, 1995b)

**รูพรุนของอาหาร** การอมน้ำมันจะเกี่ยวข้องกับ รูพรุน เริ่มต้นของอาหาร เนื่องจาก รูพรุน เป็นตัวแสดงถึงปริมาตรส่วนที่ว่างของอาหาร ซึ่งจะมีผลถึงปริมาณของน้ำมันที่สามารถเข้ามาอยู่ในชิ้นอาหาร (Pinthus, Weinberg และ Saguy, 1995a)

**คุณภาพของน้ำมันที่ใช้ทอด** คุณภาพของน้ำมันที่ใช้ทอดเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการดูดกลืนน้ำมันของอาหาร น้ำมันที่เสื่อมคุณภาพแล้ว เมื่อนำมาใช้ทอดจะเป็นผลให้มีการดูดกลืนน้ำมันได้มากกว่าน้ำมันที่ยังไม่ผ่านการใช้

คุณภาพของอาหารและคุณภาพของน้ำมันขณะทอด แบ่งเป็นช่วงต่างๆ ได้เป็น 5 ช่วงดังนี้คือ break-in oil เป็นช่วงที่อาหารยังดิบ ไม่มีกลิ่นที่เกิดจากการทอด บริเวณผิวหน้ายังไม่มียลักษณะกรอบ น้ำมันจะค่อยๆ ซึมเข้าไปในอาหาร, fresh oil เป็นระยะที่อาหารเกิดสีน้ำตาลเล็กน้อยบริเวณขอบชิ้น มีการสุกเป็นบางส่วน มีความกรอบเล็กน้อยบริเวณผิวมีการ

ดูดกลืนน้ำมันเล็กน้อย, optimum oil เป็นช่วงที่อาหารจะเกิดสีน้ำตาลทอง มีความกรอบที่ผิวหน้า มีกลิ่นหอม อาหารสุกเต็มที่และดูดกลืนน้ำมันในปริมาณที่พอเหมาะ, degrading oil ผิวหน้าของอาหารเกิดสีคล้ำและ/หรือจุดสีดำ มีน้ำมันในชิ้นอาหารมาก อาหารจะมีผิวนอกที่แข็งมากแต่ภายในนุ่ม, runaway oil อาหารมีสีดำ ผิวนอกแข็งมาก มีน้ำมันเยิ้มในชิ้นอาหาร เกิดการยุบตัวของผิวนอก มีกลิ่นและรสไหม้ (Blumenthal, 1991)

ลักษณะที่ต้องการสำหรับน้ำมันหรือไขมันที่นำมาใช้ทอดอาหารนั้นต้องไม่มีรสชาติแปลกปลอมที่ส่งผลต่ออาหาร หรือต้องไม่มีรสชาติ หรือมีรสชาติตามธรรมชาติของน้ำมันแต่ละชนิด มีอายุในการใช้งานได้นาน มีอุณหภูมิเกิดควันสูง ด้านทานการเกิดยางเหนียวซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาโพลีเมอไรซ์เซชันของน้ำมัน มีความต้านทานการส่งผ่านรสชาติของอาหารชนิดหนึ่งไปยังอาหารอีกชนิดหนึ่ง เช่น เมื่อนำน้ำมันที่ใช้ทอดปลาไปทอดมันฝรั่งจะต้องไม่มีรสชาติปลาปนในมันฝรั่ง ด้านทานการเกิดกลิ่นหืนภายใต้สภาวะปกติและย่อยได้ง่าย โดยน้ำย่อยในกระเพาะอาหารและลำไส้ (Thorner, 1973)

### การแช่แข็งผลิตภัณฑ์อาหาร

การเก็บรักษาอาหารในสภาวะเยือกแข็ง โดยการลดอุณหภูมิจนถึงจุดเยือกแข็งของสารละลายในเนื้อเยื่อและน้ำกลายเป็นผลึกน้ำแข็ง เป็นวิธีการถนอมอาหารที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากเมื่ออาหารอยู่ในสภาวะเยือกแข็ง การเจริญของจุลินทรีย์จะยุติ และปฏิกิริยาทางเคมีและชีวเคมีในอาหารเกิดได้ช้า การแช่แข็งอาหารโดยวิธีที่ไม่มี การเคลื่อนที่ของอากาศเย็น (sharp freezing) เป็นการแช่แข็งที่อุณหภูมิ  $-15^{\circ}$  ถึง  $-29^{\circ}\text{C}$  ใช้เวลาดังแต่ 3-72 ชั่วโมง ซึ่งถือว่าการแช่แข็งแบบช้า (slow freezing) วิธีนี้ปัจจุบันไม่เป็นที่นิยม เนื่องจากใช้เวลานาน อาจทำให้เกิดความเสียหายกับผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงมีการใช้วิธีแช่แข็งแบบเร็ว ซึ่งทำได้หลายวิธี ได้แก่ การแช่แข็งโดยใช้แผ่นโลหะเย็น (plate freezing) การแช่แข็งแบบจุ่มหรือพ่นด้วยของเหลว (liquid immersion or spray freezing) และการแช่แข็งแบบไครโอเจนิค (cryogenic freezing) อัตราการแช่แข็งจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยได้แก่ วิธีที่ใช้, อุณหภูมิ, การหมุนเวียนของอากาศเย็นหรือสารทำความเย็น (refrigerant), ชนิดของอาหาร, ขนาดและรูปร่างของภาชนะบรรจุ (Frazier และ Westhoff, 1988)

การแช่แข็งแบบไครโอเจนิค เป็นการแช่แข็งที่ใช้สารทำความเย็นเป็นตัวให้ความเย็น โดยตรงระหว่างการผลิตของอาหารกับสารทำความเย็นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะของสารทำความเย็นจากของเหลวหรือของแข็งเป็นก๊าซ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้ต้องการความร้อนจำนวนหนึ่ง ดังนั้นสารทำความเย็นจะดึงความร้อนส่วนนี้ออกมาจากอาหาร ทำให้อาหารมีอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว การแช่แข็งแบบนี้จึงมีอัตราเร็วสูง (Fennema, Powrie และ Marth, 1973) นอกจากนี้การแช่แข็งแบบไครโอเจนิคยังมีข้อดีคือผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการกระจายตัวของผลึก

น้ำแข็งขนาดเล็กอย่างสม่ำเสมอ, มีการเคลื่อนที่ของน้ำในผลิตภัณฑ์ต่ำ, ลดการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของอาหาร, มีการสูญเสียของเหลวระหว่างการแช่แข็งและการละลายต่ำและเกิดการเสื่อมเสียจากปฏิกิริยาทางเคมีน้อย (Sebranek, 1982) สารทำความเย็นที่นิยมใช้ในการแช่แข็งแบบนี้ ได้แก่ ไนโตรเจนเหลว และ คาร์บอนไดออกไซด์เหลว

การเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์อาหารขณะแช่แข็ง เกิดจากการลดอุณหภูมิของอาหารลงอย่างรวดเร็ว เมื่ออุณหภูมิลดต่ำกว่า  $0^{\circ}\text{C}$  จะเริ่มเกิดผลึกน้ำแข็งที่อุณหภูมิจำเพาะซึ่งเป็นจุดเยือกแข็งของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด อุณหภูมิต่ำกว่าจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ อัตราการเกิดผลึกน้ำแข็งขึ้นกับอัตราการถ่ายโอนความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์และอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำจากสารละลายไปสู่ผิวของผลึกน้ำแข็ง การแช่แข็งแบบช้าจะก่อให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่และมีปริมาณผลึกน้ำแข็งจำนวนน้อย ผลึกน้ำแข็งเหล่านี้จะเกิดในบริเวณภายนอกเซลล์ของผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดการทำลายโครงสร้างของเซลล์ส่งผลต่อการสูญเสียน้ำของผลิตภัณฑ์เมื่อละลายน้ำแข็ง (thawing) ส่วนการแช่แข็งแบบเร็วขนาดของผลึกที่ได้จะมีขนาดเล็กและมีปริมาณมาก ผลึกที่ได้จะกระจายอยู่ภายในและภายนอกเซลล์อย่างสม่ำเสมอ โครงสร้างของเซลล์จะถูกทำลายน้อย ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการละลายจะมีลักษณะปรากฏที่ดีกว่า (Fennema, 1975)

ระหว่างการเก็บรักษา แม้จะอยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำ แต่อาหารก็ยังคงมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นประกอบด้วยปฏิกิริยาทางเคมี, ทางกายภาพ และ เอนไซม์ ส่วนการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์แทบจะไม่มีเนื่องจากไม่สามารถเจริญเติบโตได้ การเปลี่ยนแปลงที่พบในผลิตภัณฑ์อาหารหอบบิงทอสดแช่แข็ง ได้แก่ การเปลี่ยนแปลง สี เนื้อสัมผัส การเกิดกลิ่นหืนและการเสียความชื้น

Williams และคณะ (1981) ศึกษาการสูญเสียความชื้นของกุ้งหอบบิงทอสดแช่แข็ง 4 แบบคือ ลมเป่า (airblast), แบบรายชิ้น (IQF), ตู้แช่ปลีกลอุณหภูมิต่ำ  $-24.2^{\circ}\text{C}$  และห้องเย็นอุณหภูมิต่ำ  $-26.6^{\circ}\text{C}$  ผลิตภัณฑ์ทั้งหมดบรรจุในกล่องกระดาษแข็ง เก็บนาน 9 เดือน พบว่าปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ทุกตัวอย่างลดลงเมื่อเวลาเก็บเพิ่มขึ้นและอัตราการสูญเสียความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่เก็บในห้องเย็นเกิดช้ากว่าที่เก็บในตู้แช่ปลีกลเนื่องจากในตู้แช่ปลีกลจะมีการละลายน้ำแข็งน้อยกว่าในห้องเย็น Gennadios, Hanna และ Ling (1997) ศึกษาผลของเวลาเก็บต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้น, สี, ค่าแรงตดขาด (shear force) และผลการใช้สารดูดความชื้น (desiccant) เพื่อลดการสูญเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์หอบบิงทอสดแช่แข็ง เปรียบเทียบกับหอบบิงทอสดที่ไม่ผ่านการแช่แข็ง พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่แข็งและเก็บที่  $-20^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 1 สัปดาห์ มีความชื้นในส่วนของชิ้นหอบบิงทอสด แต่ความชื้นในตัวหอบบิงทอสดที่เคลือบอยู่เพิ่มขึ้น แสดงว่ามีการเคลื่อนย้ายความชื้นจากชิ้นหอบบิงทอสดไปสู่วัสดุเคลือบ ส่วนในผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้สารดูดความชื้นนั้น หอบบิงทอสดที่เคลือบอยู่จะมีความชื้นไม่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่ไม่แช่แข็ง แสดงว่าสารดูดความชื้นมีผลในการลดความชื้นที่ออกมา

จากชั้นหอมใหญ่และความชื้นจากบรรยากาศ สำหรับค่าสีพบว่าผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็งมีค่าสีแดงลดลง ค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้น และมีค่าความสว่างไม่ต่างจากผลิตภัณฑ์ที่ไม่แช่แข็ง ส่วนค่าแรงตึงขาดของผลิตภัณฑ์ที่ใช้สารดูดความชื้นไม่ต่างจากผลิตภัณฑ์ที่ไม่แช่แข็ง

การเกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์ เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไขมัน มีสาเหตุมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ทำให้เกิดสารประกอบคาร์บอนิล, อัลดีไฮด์ และ คีโตน ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ (Allen และ Hamilton, 1994) วิธีที่นิยมใช้ในการตรวจสอบการเกิดกลิ่นหืน ได้แก่ การวัดค่า thiobarbituric acid (TBA) ซึ่งเป็นการวัดโดยเทียบจากระดับของ อัลดีไฮด์ ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์โดย กรดไซโอบาร์บิทูริก ทำปฏิกิริยาเฉพาะกับ มาลอนอัลดีไฮด์ (malonaldehyde) ให้สารสีแดงซึ่งวัดได้โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ แต่ก็เป็นไปได้ที่ อัลดีไฮด์ ชนิดอื่น เช่น อัลคา-2,4-ไดเอนอลส์ (alka-2,4-dienols) และ อัลค-2-เอนาลส์ (alk-2-enals) จะทำปฏิกิริยากับกรดไซโอบาร์บิทูริกแล้วให้สารสีแดง (Rossell, 1994)

อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของผลิตภัณฑ์จะเกิดเร็วขึ้นเมื่อมีปริมาณออกซิเจนมาก อุณหภูมิสูงและมีการสัมผัสกับแสง (Mitchell และ Henrick, 1966) ดังนั้นการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ควรเก็บในภาวะที่อุณหภูมิต่ำ ปราศจากแสง ภาชนะบรรจุที่ใช้ควรป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดีและใช้วิธีการบรรจุแบบสูญญากาศ Berry และ Cunningham (1970) เปรียบเทียบวิธีการแช่แข็งไก่ทอด 3 วิธี คือ ใช้ตู้แช่แข็ง (household freezer) ที่อุณหภูมิ  $-10^{\circ}\text{C}$ , แช่แข็งแบบลมเป่าที่อุณหภูมิ  $-30^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 1 คืน และแช่แข็งด้วยไนโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิ  $-50^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 45 นาที เก็บตัวอย่างทั้งหมดที่อุณหภูมิ  $-10^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 4 เดือน พบว่าค่า TBA ขึ้นกับอัตราการแช่แข็ง โดยไนโตรเจนเหลวจะให้ผลิตภัณฑ์มีค่า TBA ต่ำสุด ขณะที่การแช่แข็งที่  $-10^{\circ}\text{C}$  ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่า TBA สูงที่สุด

การเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์ที่ภาวะแช่แข็ง กระบวนการแช่แข็งลดจุลินทรีย์ในอาหารได้ 2 ลักษณะคือ การทำลายจุลินทรีย์ทั้งหมด และ การทำลายจุลินทรีย์บางส่วน (Frazier และ Westhoff, 1988)

การทำลายจุลินทรีย์ทั้งหมด จากการแช่แข็งเกิดจากการที่โปรตีนเสียสภาพและเซลล์จุลินทรีย์ถูกทำลายจากผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้น มีผลทำให้จุลินทรีย์ตาย ซึ่งจะพบมากในการแช่แข็งที่ใช้ไนโตรเจนเหลว

การทำลายจุลินทรีย์บางส่วน เป็นผลจากการแช่แข็งเช่นกันแต่ไม่รุนแรงเหมือนการทำลายจุลินทรีย์ทั้งหมด การทำลายแบบนี้มีผลในการลดจำนวนจุลินทรีย์ในอาหารบางส่วน และ จุลินทรีย์ส่วนที่ยังไม่ถูกทำลายจะอ่อนแอ แต่สามารถจะกลับมาเป็นปกติได้ ถ้ายังมีสารอาหารหลงเหลืออยู่ Wong, Chen และ Yu (1994) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณเชื้อ *V. parahaemolyticus*, *V. alginolyticus*, *V. cholerae* และ *V. fluvialis* ที่เลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ tryptic soy broth with sodium chloride (TSBS) โดยเก็บที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}$  และ  $-30^{\circ}\text{C}$

พบว่าในวันที่ 6 ปริมาณเชื้อ *Vibrios* ทั้งหมดจะลดลง 1 log/ml และ 3 log/ml ตามลำดับ Karacam และ Baran (1996) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ของปลาแอนโชวี (anchovy) แช่แข็งซึ่งเก็บที่อุณหภูมิ  $-18$  และ  $-35^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 6 เดือน พบว่าแบคทีเรียซึ่งเจริญเติบโตที่อุณหภูมิห้อง และชนิดที่ทนอุณหภูมิต่ำ มีปริมาณลดลง โดยเริ่มจากเดือนแรกมีแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิด  $1.6 \times 10^7$  และ  $1.2 \times 10^5$  โคโลนี/กรัม ตามลำดับ และในเดือนที่ 6 แบคทีเรียทั้ง 2 ชนิดลดลงเหลือ  $6.3 \times 10^3$  และ  $4.5 \times 10^3$  โคโลนี/กรัม ตามลำดับ Surkiewicz, Hyndman และ Yancey (1967) รายงานชนิดของจุลินทรีย์ที่พบในกุ้งชุบขนมปังแช่แข็ง ได้แก่ *pseudomonas*, *archromobacter*, *aeromonas*, *bacillus*, *moraxella*, *microbacterium*, *micrococcus* Fung และ Cox (1983) รายงานชนิดของเชื้อที่ก่อให้เกิดโรคที่พบบ่อยในอาหารชุบแป้งหรือขนมปัง ได้แก่ *salmonella*, *Staphylococcus aureus*, *Clostridium perfringens*, *Escherichia coli*, *Vibrio parahaemolyticus* (พบมากในอาหารทะเล), *Bacillus cereus*, *shigella* สำหรับปริมาณจุลินทรีย์ที่ยอมรับได้ในผลิตภัณฑ์ปลาชุบขนมปังทอดแช่แข็งคือ  $2.5 \times 10^4$  โคโลนี/กรัม และหอมใหญ่ชุบขนมปังแช่แข็งคือ  $1.0 \times 10^6$  โคโลนี/กรัม (ICMSF, 1974)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย