

บทที่ 2

ปรีทัศน์เอกสารข้อมูล

2.1. ข้าว

2.1.1 ความหมายของข้าว

ข้าว (rice) คือ เมล็ดพืชที่อยู่ในตระกูลหญ้า ปลูกมากในประเทศในพื้นที่แถบมรสุมซึ่งมีฝนตกชุกและแสงแดดพอเพียง ใช้เป็นอาหารที่สำคัญ ชนิดที่นิยมปลูก คือ Japonica และ Indica เป็นธัญพืชพวกหญ้าวงศ์แกรมินีอี (Gramineae) มีลำต้นเป็นไม้เนื้ออ่อนเป็นพืชล้มลุกอายุเพียงหนึ่ง (annual grass) มีใบเลี้ยงเดี่ยว (monocotyledon) มีรากเป็นระบบรากฝอย (fibrous root system) สามารถเจริญเติบโตได้ในลักษณะภูมิประเทศและภูมิอากาศที่แตกต่างกันทั้งในเขตร้อน (Temperature zone) ตั้งแต่พื้นที่น้ำท่วมสูงจนถึงไหล่เขาทำให้เกิดความหลากหลายของข้าวชนิดต่างๆที่แพร่กระจายไปทั่วโลกอย่างน้อย 23 สายพันธุ์ซึ่งมีเพียง 2 สายพันธุ์ที่มนุษย์ปลูกเพื่อบริโภคคือข้าวเอเชีย (*Oryza sativa* Linn) และข้าวแอฟริกา (*Oryza glaberrima* Steud) การแบ่งประเภทของข้าวตามลักษณะพื้นที่ปลูกสามารถแบ่งได้ดังนี้ คือ ข้าวอินดิกา ส่วนใหญ่ปลูกในเขตร้อน เช่น ศรีลังกา จีนตอนใต้และตอนกลาง อินเดีย รวมทั้งประเทศไทย ข้าวจาปอนนิคา ปลูกในประเทศเขตอบอุ่น เช่น ญี่ปุ่น เกาหลี และข้าวจาวันนิคา ปลูกในประเทศอินโดนีเซีย (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

2.1.2 การจำแนกชนิดของข้าว

ข้าวถือว่าเป็นอาหารสำคัญปลูกกันในประเทศร้อนโดยมาก มีชนิดใหญ่ 2 ชนิด คือ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

2.1.2.1 ข้าวเจ้า (non - glutinous rice, non - sticky rice, non - waxy rice)

ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเมื่อหุงสุก มีลักษณะเนื้อของเมล็ดข้าวสารใส เมื่อหุงหรือนึ่งจนสุก ข้าวสุกจะไม่เกาะติดกันจะร่วนสีขาวขุ่น เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อเมล็ดข้าวที่เป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทสตาร์ช ซึ่งประกอบด้วยอะไมโลเพกตินและอะไมโลส เมื่อรวมกันแล้วคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่แตกต่างกัน จะให้ลักษณะเนื้อข้าวสุก มีความร่วน แข็ง หรือนุ่มต่างกัน โดยถ้าปริมาณอะไมโลสต่ำ (เช่น 7-10%) ข้าวสุกจะนุ่มมีความเหนียว แต่ถ้ามีปริมาณอะไมโลสสูงขึ้น (เช่น 33%) ก็จะมี ความร่วนและแข็งเพิ่มขึ้น

2.1.2.2 ข้าวเหนียว (glutinous rice, sticky, waxy rice)

ข้าวเหนียวเป็นอาหารหลักของคนไทยในเขตภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีพื้นที่ปลูกข้าวเหนียวประมาณ 18 ล้านไร่ ได้ผลผลิตข้าวเปลือกเหนียวประมาณ 5.5 ล้านตัน พันธุ์ที่ปลูกนิยมพันธุ์ข้าวเหนียวเมล็ดยาว และข้าวเหนียวเมล็ดสั้นหรือ กข 6 (ผดุงศักดิ์ วานิชชัง และคณะ,

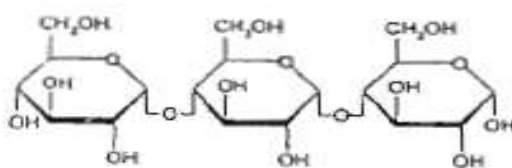
2547) เนื้อของเมล็ดข้าวสารสีขาวขุ่น เมื่อนำมานึ่งให้สุกข้าวจะจับตัวกันติดแน่น เหนียวติดมือจึงเรียกว่าข้าวเหนียว เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อเมล็ดข้าว ซึ่งส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทสตาร์ช (starch) ประกอบด้วยอะไมโลเพกติน (amylopectin) เกือบทั้งหมด (90–100%) ที่ให้ลักษณะเหนียวแก่ข้าวเหนียว แป้งข้าวเหนียวมีปริมาณอะไมโลสต่ำ 0.8-1.3% อยู่ตรงกลางของเม็ดแป้ง มีอะไมโลเพกตินเป็นส่วนใหญ่ (ผดุงศักดิ์ วินิชชัง และคณะ, 2547 อ้างอิงจาก Juliano, 1985) ข้าวเหนียวสามารถนำมาทำผลิตภัณฑ์ได้มากมายหลายชนิด เช่น ขนมไทยต่าง ๆ ขนมขบเคี้ยวต่าง ๆ ผลิตภัณฑ์หมักดอง เป็นต้น การแปรรูปข้าวเหนียวในแถบเอเชียมีอยู่มากมายแตกต่างกันไปตามสภาพท้องถิ่น เช่น ในเกาหลีผลิตขนมขบเคี้ยวเรียกว่า yukwa (ผดุงศักดิ์ วินิชชัง และคณะ, 2547 อ้างอิงจาก Chun *et al.*, 2002) ข้าวเหนียวในประเทศฟิลิปปินส์ ทำผลิตภัณฑ์เค้กจากข้าว โดยผสมกับน้ำกะทิ ห่อในใบตองหรือในใบปาล์มแล้วนึ่งหรือต้มจนสุก เรียก suman ทำขนมหวานเช่น ginataan และ palitaw (ผดุงศักดิ์ วินิชชังและคณะ, 2547 อ้างอิงจาก Juliano and sakurai, 1985) ประเทศไทยมีการนำข้าวเหนียวมาใช้ในการทำอาหารต่าง ๆ เช่น ข้าวแตน ข้าวตอก ข้าวเกรียบ ข้าวหมาก สาโท เป็นต้น

2.1.3 องค์ประกอบของแป้ง

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6:10:5 มีสูตรเคมีโดยทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคส ซึ่งประกอบด้วย anhydroglucose unit เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ glucosidic linkage ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ทางตอนปลายของสายพอลิเมอร์มีหมู่กลูโคสที่มีหมู่แอลดีไฮด์ (aldehyde group) แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ พอลิเมอร์เชิงเส้น (อะไมโลส) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง (อะไมโลเพกติน) วางตัวในแนวรัศมี ซึ่งแป้งจากแหล่งที่ต่างกันจะมีอัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินต่างกัน ทำให้คุณสมบัติของแป้งแต่ละชนิดแตกต่างกัน โดยองค์ประกอบหลักภายในเม็ดแป้งได้แก่ อะไมโลส (amylase) อะไมโลเพกติน (amylopectin) และสารตัวกลาง (intermediate material) (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543)

2.1.3.1 อะไมโลส (amylose)

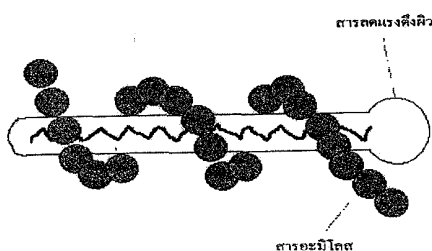
เป็นสายพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4 - glucosidic linkage (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543)



ภาพประกอบ 2.1 โครงสร้างอะไมโลส

ที่มา : กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2543)

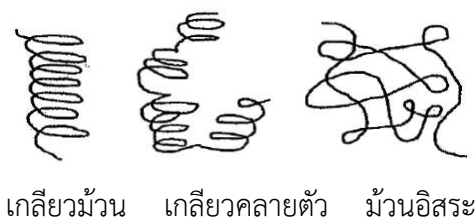
อะไมโลสในสตาร์สแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลและมีค่า DP (degree of polymerization) แตกต่างกันไป อะไมโลสสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีน และสารประกอบอินทรีย์อื่น ๆ เช่น butanol, fatty acid, surfactant, phenol และ hydrocarbon โดยอะไมโลสจะพันเป็นเกลียวล้อมรอบสารประกอบอินทรีย์ (กล้านรงค์ ศรีรอต และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543 อ้างอิงจาก Galliard and Bowler, 1987) นอกจากนี้อะไมโลสที่รวมตัวกับไอโอดีนจะให้สีน้ำเงินซึ่งใช้เป็นลักษณะเฉพาะที่บ่งบอกถึงแป้งที่มีองค์ประกอบของอะไมโลส (กล้านรงค์ ศรีรอต และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543)



ภาพประกอบ 2.2 ภาพจำลองการจับตัวของอะไมโลสกับสารอินทรีย์

ที่มา : Galliard และ Bowler (1987) ; อ้างอิงมาจาก กล้านรงค์ ศรีรอต และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2543)

โครงสร้างของอะไมโลสเมื่ออยู่ในสารละลายจะมีหลายรูปแบบคือ ลักษณะเป็นเกลียวม้วน (helix) เกลียวที่คลายตัว (interrupted helix) หรือม้วนอิสระ (random coil) ในสารละลายที่อุณหภูมิห้อง อะไมโลส อยู่ในลักษณะเป็นม้วนหรือเกลียวที่คลายตัวอะไมโลสมีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 6,500 ถึง 160,000 มีโมเลกุลเป็นม้วนอิสระและจะไม่ละลายในสารละลาย สำหรับอะไมโลส ที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 6,500 อาจจะมีบางส่วนละลายได้ โมเลกุลจะอยู่ในลักษณะเกลียวคู่ที่แข็ง (กล้านรงค์ ศรีรอต และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543 อ้างอิงจาก Whistler and Daniel, 1984)

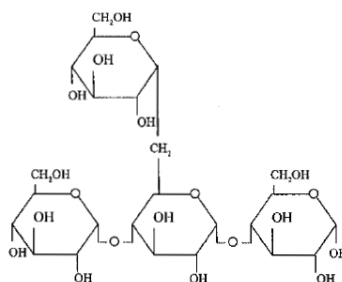


ภาพประกอบ 2.3 ลักษณะเกลียวของอะไมโลส

ที่มา : Whistler และ Daniel (1984) ; อ้างอิงมาจาก กล้านรงค์ ศรีรอต และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2543)

2.1.3.2 อะไมโลเพกติน (amylopectin)

เป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4- glucosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้นมี DP (degree of polymerization) อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,6- glucosidic linkage



ภาพประกอบ 2.4 โครงสร้างอะไมโลเพกติน

ที่มา : กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2543)

หน่วยกลูโคสที่มีพันธะ α -1,6- glucosidic linkage มีอยู่ประมาณร้อยละ 5 ของปริมาณหน่วยกลูโคสในอะไมโลเพกตินทั้งหมด DP ของอะไมโลเพกตินในแป้งแต่ละชนิดจะมีค่าประมาณ 2 ล้านหน่วย อะไมโลเพกตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของอะไมโลส คือประมาณ 10^7 ถึง 10^9 ดาลตัน และมีอัตราในการคั้นตัวต่ำ เนื่องจากอะไมโลเพกตินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่ง

สำหรับอะไมโลเพกตินของแป้งข้าวเจ้า ข้าวเหนียว มันสำปะหลัง และมันฝรั่ง สายส่วนใหญ่มะประมาณร้อยละ 80-90 ประกอบด้วยกลุ่มเดี่ยว ๆ และสายที่เหลืออีกร้อยละ 10-20 จะเป็นส่วนที่เชื่อมต่อของแต่ละกลุ่ม ในแต่ละกลุ่มประกอบไปด้วยสายประมาณ 22-25 สาย ทำให้เกิดเป็นส่วนผลึกของแป้ง ในการจับกันเป็นกลุ่มของอะไมโลเพกตินเกิดเป็นเกลียวคู่ (double helix) ซึ่งช่วยให้แป้งมีความคงทนต่อการทำปฏิกิริยาดูดซับและเอนไซม์ (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543)

2.1.4 คุณสมบัติของแป้ง

2.1.4.1 การดูดซับน้ำ การพองตัวและการละลาย

เมื่อเติมน้ำลงในแป้งและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำจากบรรยากาศจนเกิดสมดุลระหว่างความชื้นภายในเม็ดแป้งกับความชื้นในบรรยากาศ ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึมจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ แป้งส่วนใหญ่เมื่อเกิดสมดุลภายในบรรยากาศปกติจะมีความชื้น 10 ถึง 17% แป้งมีความชื้นร้อยละ 8-10 สามารถจับกับน้ำได้แน่นกว่าแป้งที่มีความชื้นสูงกว่านี้ เนื่องจากการจับของน้ำหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ของกลูโคส แต่ละหน่วยของแป้ง จะได้สตาร์ชโมโนไฮเดรต $[n(C_6H_{10}O_5H_2O)]$ น้ำหรือของเหลวชนิดอื่นสามารถแพร่และผ่านเข้าไปในร่างแหของ

ไมเซลล์(micelles) ภายในเม็ดแป้งได้อย่างอิสระ

แป้งดิบจะไม่ละลายในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาติไนซ์เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจน ซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งที่อยู่ใกล้ๆ กัน หรือ water bridges แต่เมื่ออุณหภูมิของสารผสมน้ำแป้งเพิ่มสูงกว่าช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์ พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำจะเข้าไปจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ เม็ดแป้งเกิดการพองตัว ทำให้การละลาย ความหนืดและความใสเพิ่มขึ้น คุณสมบัติของการเกิด birefringence จะหมดไป ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวและความสามารถในการละลายคือชนิดของแป้ง ความแข็งแรงและลักษณะของร่างแหภายในเม็ดแป้ง สิ่งเจือปนภายในเม็ดแป้งที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต ปริมาณน้ำในสารละลายแป้ง และการตัดแปรแป้งทางเคมี รูปแบบในการพองตัวและการละลายของชนิดแป้งแต่ละชนิด จะมีรูปแบบที่แตกต่างกันไป

เมื่อมีการให้ความร้อนแก่สารละลายน้ำแป้ง เม็ดแป้งจะเกิดการพองตัวและบางส่วนของเม็ดแป้งมีการละลายออกมา กำลังการพองตัวของแป้งจะแสดงปริมาตรหรือน้ำหนักของเม็ดแป้งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเม็ดแป้งพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำ สำหรับความสามารถในการละลายจะแสดงเป็นน้ำหนักของแข็งทั้งหมดในสารละลายได้ ซึ่งคุณสมบัติทั้งสองนี้มีความสัมพันธ์กัน (กล้านรงค์ ศรีรอต และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543)

2.1.4.2 การเกิดเจลาติไนเซชัน (gelatinization)

โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) จำนวนมาก ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีคุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) แต่เนื่องจากเม็ดแป้งอยู่ในรูปร่าง micelles การจัดเรียงตัวลักษณะนี้ทำให้เม็ดแป้งละลายในน้ำเย็นได้ยาก ดังนั้น ในขณะที่แป้งอยู่ในน้ำเย็นเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย แต่เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายน้ำแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำและพองตัว ส่วนผสมจะเริ่มข้นหนืดขึ้นมีความเหนียวและใสขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลือยู่รอบ ๆ เม็ดแป้งเหลือน้อยลงเม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้นทำให้เกิดความหนืด เรียกว่า อุณหภูมิเริ่มเกิดเจลาติไนซ์ เมื่อตรวจวัดโดยเครื่องมือวัดความหนืดเรียกจุดนี้ว่าอุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) หรือเวลาที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting time) ซึ่งจะมีความแตกต่างกันในแป้งแต่ละชนิด การเกิดเจลาติไนซ์เซชันของเม็ดแป้งแบ่งได้ 3 ระยะ คือ (กล้านรงค์ ศรีรอต และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543)

ระยะแรก เม็ดแป้งจะดูดน้ำเย็นได้จำกัด และเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้เนื่องจากร่างแหระหว่าง micelle ยึดหยุ่นได้จำกัด ความหนืดของสารแขวนลอยจะไม่เพิ่มขึ้นจนเห็นได้ชัด เม็ดแป้งยังคงรักษารูปร่างและโครงสร้างแบบ birefringence ได้

ระยะที่สอง เม็ดแป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็ว ร่างแหระหว่าง micelle ภายในเม็ดแป้งจะอ่อนแอลงเนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเข้ามามากและเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้เรียกว่าการเกิดเจลาติไนเซชัน เม็ดแป้งมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและโครงสร้าง birefringence ความหนืดของสารแขวนลอยจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

ระยะที่สาม เมื่อให้ความร้อนต่อไปอีกรูปร่างของเม็ดแป้งจะไม่แน่นอน การละลายของเม็ดแป้งจะเพิ่มขึ้น เมื่อนำไปทำให้เย็นจะเกิดเจล

2.1.4.3 การเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation)

การคืนตัวของแป้งเกิดจากการที่แป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลในเซชัน แล้วให้ความร้อนต่อไปอีก จะทำให้แป้งเกิดการพองตัวเพิ่มขึ้น จนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะไมโลสขนาดเล็ก จะกระจายตัวออกมาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัวโมเลกุลของอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันจะเข้ามาเรียงตัวจับกันเองหรือจับกับอะไมโลเพกตินด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลเกิดเป็นร่างแหสามมิติ โครงสร้างใหม่ที่สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีกมีความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียวคล้ายผลึกเรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัว

ผลของการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัว ได้แก่ สารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้นมีลักษณะขุ่นและทึบแสง เกิดส่วนที่ไม่ละลายในแป้งเปียกที่ร้อน เกิดการตกตะกอนของอนุภาคแป้งที่ไม่ละลายทำให้เกิดเจล การคืนตัวของแป้งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ แหล่งของแป้ง อุณหภูมิ กระบวนการให้ความร้อน กระบวนการให้ความเย็น ระยะเวลาในการเก็บ ความเข้มข้นของเกลือ ความเข้มข้นของกรด ปริมาณของไขมันและ surfactant ความเข้มข้นของน้ำตาลและรวมทั้งปริมาณของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน โดยแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะเกิดการคืนตัวได้มากและเร็วกว่า แป้งที่มีปริมาณอะไมโลเพกตินสูง แต่เนื่องจากแป้งส่วนใหญ่มีอะไมโลเพกตินสูง และการเกิดการคืนตัวนี้เกิดได้ช้าๆ จึงมักสร้างปัญหาให้กับผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น staling ในขนมปัง ระหว่างการเก็บ (กล้านรงค์ ศรีรอต และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543)

2.2 การใช้ประโยชน์จากข้าว

ประเทศไทยมีการนำข้าวมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ในกลุ่มของอาหารมากมาย โดยจะแปรรูปตามคุณสมบัติที่แตกต่างตามชนิดของข้าว ในประเทศไทยมีการนำเมล็ดข้าวเหนียวมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ น้อยกว่าการแปรรูปจากข้าวเจ้า โดยส่วนมากนิยมทำอาหารหวานต่างๆ เช่น ข้าวหลาม ข้าวต้มผัด ข้าวเหนียวมูล ข้าวตอก ข้าวเหนียวปิ้ง ข้าวเหนียวแก้ว เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้ในประเภทอาหารหมักดอง เช่น ข้าวหมาก อุ สาโท เป็นต้น และขนมขบเคี้ยวแบบไทย เช่น นางเล็ด(ข้าวแต่น) ข้าวพอง ข้าวตัง กระจ่างสารท ข้าวเม่าหมี ข้าวเม่าทอด ข้าวตอก สำหรับในต่างประเทศการแปรรูปเมล็ดข้าวเหนียวเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ การใช้แป้งข้าวเหนียวเป็นสารทำให้เกิดความคงตัว (stabilizer) ในซอส ในเกรวี่ต่างๆ ใช้เป็นสารป้องกันการแยกตัวในอาหารแช่แข็งและใช้ทำขนมหวาน (desserts) กันมาก ในประเทศจีน ฟิลิปปินส์ ใช้ทำขนมปังกรอบข้าว (rice crackers) ได้แก่ อารารุ (arare) หรือโอกากิ (okaki) (ศิริธร ศิริอมรพรรณ, 2547 อ้างอิงจาก Bcan et al, 1984) ในประเทศจีนทำเป็น rice pudding เช่นเดียวกับประเทศในแถบยุโรปและอเมริกา ในประเทศญี่ปุ่นทำผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า mochi

โดยการนึ่งข้าวเหนียวทั้งเมล็ด ทำให้เป็นโด (dough) รีดและบดให้เป็นผงหรือทำให้พองด้วยการคั่ว หรืออัดพองใน extruder นอกจากนี้ยังใช้เป็นส่วนผสมของน้ำสลัด (ผดุงศักดิ์ วานิชชังและคณะ, 2547 อ้างอิงจาก juliano, 1985)

2.2.1 ข้าวเม่า

ข้าวเม่าเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่ได้จากการแปรรูปจากข้าว ข้าวเม่าหมายถึงข้าวเหนียวที่ปลูกแล้วตั้งท้องออกรวงและผ่านระยะนํ้านมมาช่วงหนึ่งประมาณ 5 - 7 วัน ข้าวเริ่มมีเมล็ดเต็มเมล็ดแต่ยังไม่แก่จัด ซึ่งข้าวในระยะนี้เรียกว่ากำลังเม่า ชาวอีสานส่วนใหญ่เมื่อมีงานบุญในระยะเวลาดังกล่าวก็จะใช้ข้าวในระยะนี้มาแปรรูปเป็นข้าวเม่า ข้าวเม่าที่ผลิตออกสู่ตลาดโดยทั่วไปจะอยู่ในรูปของข้าวเม่าสดหรือข้าวเม่าอ่อนซึ่งเป็นข้าวเหนียวที่ยังคงมีสีเขียวอยู่ นอกจากนี้ยังคงมีการผลิตในรูปแบบของข้าวเม่าแห้งหรือข้าวเม่าราง ซึ่งเป็นข้าวเม่าที่ไม่มีสีเขียวเพราะผลิตจากข้าวเปลือกแก่ ชาวบ้านมักนิยมซื้อไปทำเป็นอาหารหวานที่เรียกว่า “ข้าวเม่าคลุก” ข้าวเม่ามีลักษณะเฉพาะตัวที่ความหอมและสีเขียวธรรมชาติของเมล็ดข้าวจึงเป็นที่นิยมและยอมรับของผู้บริโภค (วิเชียร วรพุทธพรและคณะ, 2551) ข้าวที่นำมาทำข้าวเม่ามักจะมีลักษณะเมล็ดใหญ่ เนื้อข้าวมีสีขุ่น เช่น ข้าวเซล้ม ข้าวดอกไม้ ข้าวเหนียวขาวโค้ง ข้าวเหนียวขี้ตมใหญ่ ข้าวเหนียวอีโป๊ะ และข้าวขาวใหญ่ เมื่อทำเป็นข้าวเม่าแล้วจะมีกลิ่นหอมและเนื้อนุ่ม (จิตติมา ผลเสวก และอารีวรรณ คูสันเทียะ, 2546 อ้างอิงจาก ผดุงศักดิ์ วานิชชัง, 2546)

ในปัจจุบันได้มีการนำข้าวเม่ามาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูปมากมายหลายชนิด อาจด้วยความเป็นเอกลักษณ์ด้านกลิ่นที่หอม มีสีเขียวของคลอโรฟิลล์ที่คงความเป็นธรรมชาติและคุณค่าทางโภชนาการของข้าวเม่า จากรายงานของกรมอนามัยกระทรวงสาธารณสุข พบว่า ข้าวเม่า 100 กรัม ประกอบด้วยไขมัน 1.8 กรัม เส้นใยอาหาร 0.6 กรัม โปรตีน 8.0 กรัม แคลเซียม 14 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 236 มิลลิกรัม เหล็ก 2.7 มิลลิกรัมวิตามิน บีหนึ่ง 0.22 มิลลิกรัม วิตามินบีสอง 0.04 มิลลิกรัม (ผดุงศักดิ์ วานิชชัง, 2546) และจากการวิจัยการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากข้าวเม่าเป็นดังนี้

วิเชียร วรพุทธพร และคณะ (2545) ได้รายงานโครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตและการแปรรูปข้าวเม่าเป็นอาหาร ได้แก่ กระจายสาร ข้าวเม่าหมี บำปิ่นข้าวเม่า ข้าวตูข้าวเม่า ข้าวเม่ากวน ข้าวเม่าทอด และข้าวเม่าทรงเครื่อง ข้าวเม่าปรุงรสอาหารเช้า

วิเชียร วรพุทธพร และคณะ (2551) ศึกษาการผลิตและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเช้าจากข้าวเม่า โดยใช้ข้าวเม่าแห้งซึ่งผลิตจากข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 จากกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรผู้ผลิตในจังหวัดร้อยเอ็ด พบว่าข้าวเม่าอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ผสมกับน้ำปรุงรสที่มีสัดส่วนต่าง ๆ ของน้ำตาลทรายและกะทิผง จำนวน 6 สูตร พบว่า การใช้น้ำตาลทราย 10% และกะทิผง 5% ทำให้ได้ข้าวเม่าปรุงรสอบแห้งที่เมื่อผ่านการทอดในน้ำมันพืชคือ น้ำมันปาล์ม ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 วินาที และสะเด็ดน้ำมันแล้ว ได้ข้าวเม่าอาหารเช้าที่มีการพองตัวดีที่สุด (3.06 เท่า)

2.2.2 ข้าวตัง

ข้าวตังคือข้าวสุกที่ติดเป็นแผ่นเกรียมอยู่กันหม้อหรือกระทะ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547) ข้าวตังถือเป็นอาหารว่าง (snack food) ประเภทของขนมขบเคี้ยวในกลุ่มของข้าวและแป้ง (ปฐมา พรพจมาน, 2548 อ้างอิงจาก ขนิษฐา อุ่มอารีย์, 2549) ผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคทุกวัยโดยเฉพาะวัยเด็ก วัยรุ่น วัยทำงาน ขนมขบเคี้ยวพองกรอบในปัจจุบันมีการผลิตกันอย่างแพร่หลาย มีการนำข้าวมาเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต ซึ่งถือว่าข้าวมีความสำคัญต่อคุณภาพของข้าวตัง จึงควรที่จะเลือกใช้ข้าวเหนียวหรือข้าวเจ้าที่มีคุณภาพข้าวสม่ำเสมอ มีการพองตัวที่ดี

2.2.3 โจ๊ก

โจ๊กคือข้าวต้มชนิดหนึ่งที่ใช้ปลายข้าวต้มจนและมีส่วนผสมของเนื้อสัตว์ เช่น เนื้อหมู เนื้อไก่หรือเนื้อสัตว์อื่นอาจมีการใส่ไข่ลวกเพื่อเพิ่มคุณค่าและรสชาติ มีการนำผักมาใส่ได้แก่ขิง ต้นหอม ผักชี เป็นต้น โจ๊กเป็นอาหารที่เข้ามามีบทบาทที่สำคัญในชีวิตประจำวันสำหรับผู้ที่มีเวลาจำกัด ในสภาวะที่เร่งรีบของคนทุกเพศทุกวัย เป็นอาหารที่รับประทานได้ตลอดเวลา มีคุณค่าทางโภชนาการสูง การปรุงรสข้าวตังเป็นรสโจ๊กจึงเป็นสิ่งที่คุ้นเคยสำหรับผู้บริโภค

2.3. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

2.3.1 การทอด (frying)

การทอดเป็นการแปรรูปด้วยความร้อนที่มีผลการส่งผ่านความร้อนจากตัวกลางให้ความร้อนได้แก่ น้ำมันไปยังอาหารอย่างรวดเร็วเป็นกระบวนการที่ซับซ้อน มีการถ่ายเทความร้อนและมวลพร้อม ๆ กันรวมถึงการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ (ถิรนนท์ คุณานพรัตน์, 2543) การทอดเป็นกรรมวิธีที่มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเปลี่ยนแปลงคุณภาพการบริโภคอาหาร วัตถุประสงค์รองคือ การถนอมรักษาอาหาร การทำลายเชื้อจุลินทรีย์ เอนไซม์ และลดค่า water activity (a_w) ที่ผิวอาหารหรือตลอดชิ้นอาหาร อาหารทอดจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่กรอบนอก นุ่มในหรือกรอบทั้งชิ้น มีกลิ่นรสและลักษณะปรากฏที่ชวนให้รับประทานอาหารซึ่งทอดให้แห้งอย่างทั่วถึง เช่น มันฝรั่งทอดกรอบ ขนมขบเคี้ยวประเภทมันฝรั่ง ขนมขบเคี้ยวประเภทข้าวโพด จะมีอายุการเก็บรักษานานถึง 12 เดือนที่อุณหภูมิห้อง และสามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้โดยการใช้บรรจุภัณฑ์และสภาวะการเก็บรักษาที่เหมาะสม (วิไล รังสาทอง, 2547)

ในการทอดเมื่อวางอาหารลงในน้ำมันร้อนอุณหภูมิที่ผิวหน้าของอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและน้ำเกิดการระเหยกลายเป็นไอ อุณหภูมิที่ผิวอาหารจะเพิ่มขึ้นจนเท่าอุณหภูมิของน้ำมันร้อนและอุณหภูมิภายในจะเพิ่มขึ้นถึง 100 องศาเซลเซียส ตัวควบคุมการถ่ายเทความร้อนคือ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำมันและอาหาร และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิว ส่วนตัวควบคุมการส่งผ่านความร้อนเข้าไปในอาหารคือ ค่าการนำความร้อนของอาหาร (วิไล รังสาทอง, 2547)

อาหารทอดจะมีเปลือกนอกที่มีลักษณะเป็นรูพรุนซึ่งประกอบด้วยท่อแคปิลลารีขนาดต่างๆ น้ำและไอน้ำจะเคลื่อนที่ออกจากแคปิลลารีช่องใหญ่ก่อนและถูกแทนที่ด้วยน้ำมันระหว่างการทอด ความชื้นจะเคลื่อนที่ผ่านบริเวณผิวอาหารและฟิล์มบางๆ ของน้ำมัน ความหนาของฟิล์มซึ่งมีผลต่ออัตราการถ่ายเทมวลและความร้อนจะถูกกำหนดจากความหนืดและความเร็วในการเคลื่อนที่ของน้ำมัน ความแตกต่างของความดันไอน้ำระหว่างความชื้นภายในอาหารและน้ำมัน จะเป็นตัวขับเคลื่อนความชื้น (วีไล รังสาทอง, 2547)

ส่วนใหญ่แล้วเวลาที่ใช้ในการทอดอาหารขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร อุณหภูมิของน้ำมัน วิธีการทอด ความหนาของชิ้นอาหาร และความต้องการในการเปลี่ยนแปลงคุณภาพการบริโภควิธีการทอด ในอุตสาหกรรมอาหารมี 2 วิธี โดยจำแนกตามวิธีการถ่ายเทความร้อน คือ การทอดแบบน้ำมันตื้น (shallow frying) และการทอดแบบน้ำมันท่วม (deep - fat frying)

อาหารทอดนั้นถือว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมกันอย่างมาก เนื่องจากมีกลิ่นและ รสที่เป็นเอกลักษณ์เชิญชวนให้เกิดความน่ารับประทาน การดูดซับน้ำมันของอาหารเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการยอมรับของผู้บริโภคเพราะในปัจจุบันผู้บริโภคสนใจสุขภาพมากขึ้น การรับประทานอาหารที่มีไขมันมากเกินไปทำให้มีโอกาเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่าง ๆ เช่น โรคอ้วน โรคเส้นเลือดอุดตัน ดังนั้น จึงต้องพัฒนากระบวนการทอดที่ช่วยลดการสูญเสียและการดูดซับน้ำมันของอาหารทอด

2.3.1.1 วิธีการทอด

การทอดแบบน้ำมันท่วม (deep - fat frying) เป็นการถ่ายเทความร้อนในการทอดแบบน้ำมันท่วม เป็นทั้งการพาความร้อนในน้ำมันร้อนและการนำความร้อนสู่ภายในอาหาร ผิวอาหารทั้งหมดจะได้รับความร้อนใกล้เคียงกัน ทำให้เกิดสีและลักษณะภายนอกที่สม่ำเสมอ การทอดแบบน้ำมันท่วมเหมาะสำหรับอาหารทุกรูปทรง แต่อาหารที่มีรูปทรงไม่แน่นอนจะอมน้ำมันมากกว่าอาหารที่รูปทรงแน่นอน สมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนก่อนเกิดการระเหยเท่ากับ $250 - 300 \text{ วัตต์/เมตร}^2$ เคลวินและเพิ่มขึ้นเป็น $800 - 1000 \text{ วัตต์/เมตร}^2$ เคลวิน เนื่องจากเกิดเทอร์บูเลนซ์ของไอที่หนีออกจากอาหาร อย่างไรก็ตามถ้าอัตราการระเหยสูงเกินไปจะเกิดฟิล์มบางๆ ของไอน้ำอยู่บนผิวอาหารทำให้สมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง (วีไล รังสาทอง, 2547)

2.3.1.2 กระบวนการทอด

กระบวนการทอดสามารถแบ่งได้เป็น 4 ช่วง ดังนี้ (ศรีสุวรรณ นฤนาทวงศ์สกุล, 2547)

1) ช่วงแรกของการให้ความร้อน จะเป็นช่วงที่ทำให้อุณหภูมิที่ผิวของอาหารเพิ่มขึ้นจนมีอุณหภูมิเท่ากับจุดเดือดของน้ำ การถ่ายเทความร้อนเป็นการพาแบบธรรมชาติที่ยังไม่มีการระเหยของน้ำ

วิเชียร วรพุทธพร และคณะ (2551) ศึกษาการพองตัวของผลิตภัณฑ์อาหารเข้าจากข้าวเม่าที่ทอดในน้ำมัน โดยใช้อุณหภูมิในการทอด 200 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วินาที พบว่า

การทอดโดยใช้อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วินาที และสะเด็ดน้ำมันแล้ว ได้ข้าวเม่าอาหารเข้าที่มีการพองตัวดีที่สุด

ดารณี คล้ายเครือ (2550) ศึกษาเทคนิคสำหรับการลดปริมาณดูดซับของผลิตภัณฑ์อาหารหลังทอด ในกระบวนการทอดจะใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน 3 ลิตร ต่อน้ำหนักกล้วยที่ใช้ทอดประมาณ 100 กรัม

2) ช่วงการเดือดของน้ำที่ผิวอาหาร จะเป็นช่วงน้ำที่ผิวของอาหารจะระเหยกลายเป็นไอน้ำผิวหน้าเริ่มแห้งเกิดเป็นเปลือกแข็ง การถ่ายเทความร้อนเป็นการพาแบบบังคับ

3) ช่วงอัตราการระเหยลดลง จะเป็นช่วงที่อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของอาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้นเนื่องจากการสูญเสียไอน้ำจากภายในชั้นอาหาร อัตราการระเหยน้ำจะเริ่มช้าลง อาหารจะเริ่มสุกและเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพ เช่น เกิดการเจลาติไนซ์ของแป้ง

4) จุดยุติของการเกิดพอง จะเกิดขึ้นเมื่ออาหารถูกทอดเป็นเวลานาน น้ำระเหยได้ช้าลง ทำให้ปริมาณพองของไอน้ำที่ออกจากผิวอาหารลดลง

2.3.1.3 ปฏิริยาสำคัญที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการทอด

ปฏิริยาไฮโดรไลซิสเกิดเมื่อน้ำออกจากอาหารและแป้งชุบทอดทำปฏิริยากับโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ในสภาพที่มีความร้อน ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระซึ่งทำให้จุดควันต่ำลงและเกิดกลิ่นผิดปกติของน้ำมัน สารประกอบทางเคมีอื่นที่เกิดจากปฏิริยาไฮโดรไลซิส ได้แก่ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และกลีเซอรินอิสระ ซึ่งสารเหล่านี้ทำให้จุดควันต่ำลงและลดแรงตึงผิวระหว่างไขมันกับอาหาร ทำให้การอมน้ำมันมากขึ้น (กมลทิพย์ สัจจอนันตกุล, 2542 อ้างอิงจาก ปิยะพร ภัทรกิจกำจร, 2547)

ปฏิริยาออกซิเดชัน เป็นปฏิริยาระหว่างน้ำกับออกซิเจนในอากาศทำให้น้ำมันมีสีดำและมีกลิ่นรสที่ไม่ต้องการ การมีโลหะหนัก เช่น เหล็กและทองแดง ช่วยเร่งปฏิริยาให้เกิดเร็วขึ้น (กมลทิพย์ สัจจอนันตกุล, 2542 อ้างอิงจาก ปิยะพร ภัทรกิจกำจร, 2547)

ปฏิริยาพอลิเมอไรเซชัน เป็นกระบวนการสลายตัวของไขมันซึ่งเกิดช้าที่สุดและมีลักษณะเป็นยางเหนียว (กมลทิพย์ สัจจอนันตกุล, 2542 อ้างอิงจาก ปิยะพร ภัทรกิจกำจร, 2547)

ปฏิริยาการเกิดสีน้ำตาล ซึ่งเป็นแบบคาราเมลไลเซชัน(caramelization) เป็นการใช้ความร้อนสลายโมเลกุลให้แยกออก (thermolysis) และเกิดโพลีโมลไเซชันของสารประกอบคาร์บอนได้เป็นสารสีน้ำตาลปฏิริยานี้เริ่มต้นเป็นน้ำตาลเท่านั้น สารที่เกิดจากปฏิริยาคาราเมลไลเซชันของน้ำตาลเพียงอย่างเดียวจะประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจนและออกซิเจน เรียกว่า คาราเมล (caramel) (นิธิยา รัตนพานนท์, 2543 อ้างอิงจาก ปิยะพร ภัทรกิจกำจร, 2547)

Maneerote et al. (2009) พบว่าอิทธิพลของอุณหภูมิและระยะเวลาของการทอด มีผลต่อค่าความสว่าง L^* , ต่อค่าสี a^* , ต่อค่าสี b^* ของ rice crackers ผสมผงปลาป่นปริมาณ 15 % ที่อุณหภูมิทอด 200 220 และ 240 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อใช้เวลาในการทอดนานขึ้น

ค่าความสว่าง L^* จะลดลงแต่ไม่มีความแตกต่างกัน ค่าสี a^* จะเพิ่มมากขึ้นแสดงความเป็นสีแดงและค่าสี b^* จะเพิ่มมากขึ้นแสดงความเป็นสีเหลือง

2.3.2 การดูดซับน้ำมัน (oil absorption)

การแทนที่ความชื้น (replacement of moisture) มีงานวิจัยหลายงานที่สนับสนุนว่าน้ำมันแทนที่ความชื้นที่สูญเสียไประหว่างทอด เมื่อเริ่มกระบวนการทอดที่ผิวด้านนอกประกอบด้วยน้ำอิสระและ bound water เมื่ออาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้น ความชื้นเริ่มระเหยและความเข้มข้นของน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว ที่ผิวด้านนอกเริ่มแห้งและเกิด crust ความชื้นด้านในจะเปลี่ยนเป็นไอน้ำออกจากอาหารตามคาปิลลารีและช่องของอาหาร น้ำมันจะเกาะและเข้าสู่อาหารตามช่องว่างนั้น โดยปริมาณน้ำมันที่ดูดซับมีสัดส่วนโดยตรงกับความชื้นที่ระเหยไป กลไกการสูญเสียความชื้นสามารถสรุปได้ดังนี้ เมื่ออุณหภูมิของน้ำในอาหารสูงถึงจุดเดือด เซลล์เหล่านี้จะถูกทำลายทำให้เกิดช่องว่างในอาหาร น้ำมันจะถูกดูดซับเข้าช่องว่างเหล่านี้ น้ำมันเพิ่มขึ้นโดยการลดความดันภายในเนื่องจากการสูญเสียความชื้น และหลังจากทำให้เย็นเนื่องจากการเกิดสุญญากาศจากการควบแน่นของไอน้ำ (ถิรนนท์ คุณานพรัตน์ และคณะ, 2543)

การเกิด crust (crust formation) crust มีความสัมพันธ์กับการแพร่กระจายของน้ำมันเป็นอย่างมาก เนื่องจากพบว่าน้ำมันที่ถูกดูดซับเข้าไปในอาหารโดยส่วนใหญ่มักปรากฏอยู่ใน Crust

แรงตึงระหว่างผิว (interfacial tension) เมื่อเริ่มจุ่มอาหารในน้ำมัน น้ำมันที่เกาะที่ผิวหน้าอาหารมี interfacial tension ระหว่างผิวหน้าอาหารกับน้ำมันมากกว่าแรงตึงผิวระหว่างน้ำมันด้วยกันเอง เมื่อเวลาผ่านไป interfacial tension ระหว่างอาหารกับน้ำมันจะลดลงจนต่ำกว่าแรงตึงผิวระหว่างน้ำมันกับน้ำมันที่ผิวอาหารจึงเคลื่อนที่เข้าไปภายใน

ความพรุน (porosity) เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการดูดซับน้ำมันความพรุนเริ่มต้นของอาหารมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับปริมาณน้ำในอาหาร และในระหว่างการทอดทั้งความพรุนและความดูดซับน้ำมันจะเพิ่มขึ้นและมีผลต่อกัน

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำมันประกอบด้วย คุณภาพและองค์ประกอบของน้ำมัน การเสื่อมเสียของน้ำมันจะมากขึ้นเมื่อเวลาการทอดเพิ่มขึ้น คุณภาพและองค์ประกอบของน้ำมันจะเปลี่ยนไปตามระยะเวลาของการทอด แรงตึงผิวของน้ำมันจะลดลง น้ำมันจะสัมผัสกับอาหารมากขึ้น การดูดซับและอัตราการถ่ายเทความร้อนไปยังผิวของอาหารจะเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผิวของอาหารมีสีเข้มและแห้งก่อนที่จะสุก เกิดฟองมากขณะทอด น้ำมันมีความหนืดสูงขึ้นจึงเกาะติดกับผิวอาหารได้มากขึ้นทำให้อาหารทอดชุ่มไปด้วยน้ำมัน ในการทอดจะทำให้ไขมันเกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากน้ำที่ออกจากอาหารทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ออกซิเจนในอากาศทำปฏิกิริยากับน้ำมันทำให้เกิดการออกซิเดชัน และอุณหภูมิการทอดทำให้เกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากความร้อน การเกิดปฏิกิริยาเหล่านี้ทำให้เกิดสารต่างๆ ขึ้นทั้ง volatile และ nonvolatile ซึ่งจะอยู่ในน้ำมันทำให้น้ำมันเกิดการเสื่อมเสีย นอกจากนี้ยังมีสาร surfactant หลายชนิดที่ขึ้นในน้ำมันร้อน ซึ่งสารเหล่านี้มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน

ระหว่างน้ำมันและอาหารโดยลด Surface tension ของอาหาร ทำให้อาหารดูดซับน้ำมันได้มากขึ้น (ศรายุทธ์ สมประสงค์, 2551)

อุณหภูมิของการทอด อุณหภูมิของการทอดส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง 160 - 200 องศาเซลเซียส การทอดที่อุณหภูมิต่ำผลิตภัณฑ์จะมีการดูดซับน้ำมันมากกว่าการทอดที่อุณหภูมิสูงดังผลการวิจัย Maneerote *et al.*, (2009) พบว่าการทอด rice crackers โดยเติมผงปลาป่นแล้วนำไปทอดในอุณหภูมิ 200 220 และ 240 องศาเซลเซียส การดูดซับน้ำมันจะมีมากเมื่อทอดในอุณหภูมิที่ต่ำ และระยะเวลาที่นาน Pedreschi *et al.*, (2007) พบว่า potato chip ที่ผ่านกรรมวิธีทอด จะมีการดูดซับน้ำมันเพิ่มเมื่ออุณหภูมิในการทอดลดลงเพราะที่อุณหภูมิสูง กระบวนการทอดจะใช้เวลาสั้นและเปลือกนอกของผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะแข็งทึบ ทำหน้าที่เป็นตัวกั้นการแทรกซึมของน้ำมัน Kita *et al.*, (2007) พบว่าการทอด potato crisps ในช่วงอุณหภูมิ 150 - 190 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณน้ำมันใน potato crisps ลดลงเมื่ออุณหภูมิทอดสูงขึ้น โดยปริมาณน้ำมันลดลงประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออุณหภูมิ ทอดเพิ่มขึ้น 20 องศาเซลเซียส กมลทิพย์ สัจจอนันตกุล (ม.ป.ป.) ศึกษาผลของปริมาณอะมิโลสและสภาวะในการทอดต่อคุณลักษณะของแผ่นแป้งข้าวเจ้าทอด พบว่าการทอดที่อุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้แผ่นแป้งทอดมีแนวโน้มการดูดซับน้ำมันมากขึ้น

ระยะเวลาที่ใช้ทอด ระยะเวลาที่ใช้ในการทอดผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสมบัติ หรือลักษณะของผลิตภัณฑ์ว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ผู้บริโภคพอใจหรือไม่ Fan *et al.*, (1997) รายงานว่าอัตราการดูดซับน้ำมันจะเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงแรกของการทอดแล้วลดลงจนกระทั่งเวลาหนึ่งปริมาณน้ำมันในอาหารจะค่อนข้างคงที่

ปริมาณความชื้น ความชื้นเริ่มต้นสูงมีผลทำให้ปริมาณน้ำมันสูงโดยมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงระหว่างความชื้นเริ่มต้นกับปริมาณน้ำมันใน Potato chip ปริมาณความชื้นเริ่มต้นในอาหารจะมีผลต่อการดูดซับน้ำมันของอาหารระหว่างทอดโดยอาหารที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นสูงจะดูดซับน้ำมันมากกว่าอาหารที่มีความชื้นเริ่มต้นต่ำ Moreira *et al.*, (1997) เนื่องจากอาหารที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นสูง จะมีปริมาณน้ำระเหยออกจากอาหารและเหลือช่องว่างให้น้ำมันเข้าไปแทนที่ได้มากกว่าอาหารที่มีความชื้นเริ่มต้นต่ำ การลดการดูดซับน้ำมันอาจทำได้โดยการเติมไฮโดรคอลลอยด์ หรือกัมบางชนิดในส่วนผสมของอาหารเช่น อัลจีเนต เมทิลเซลลูโลสและไฮดรอกซีโพรพิล เมทิลเซลลูโลส เพราะจะช่วยทำให้อาหารอุ้มน้ำไว้ได้มากขึ้น ทำให้น้ำระเหยออกจากอาหารน้อยลง จึงสามารถลดการแทนที่ของน้ำมันในอาหารลง Maneerote *et al.*, (2009) พบว่าปริมาณความชื้นของ rice cracker ใส่ผงปลาป่นจะลดลงเมื่ออุณหภูมิทอดเพิ่มขึ้นโดยปริมาณความชื้น rice crackers ต่ำ หลังทอดนาน 60 วินาที ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส และ 240 องศาเซลเซียส ปริมาณความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วหลังทอดนาน 40 วินาที กมลทิพย์ สัจจอนันตกุล (ม.ป.ป.) พบว่าปริมาณอะมิโลส มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยเมื่อปริมาณอะมิโลสในแป้งเพิ่มขึ้นมีผลทำให้

ความชื้นของแผ่นแป้งข้าวเจ้าทอดมีแนวโน้มลดลง เมื่ออุณหภูมิในการทอดสูงขึ้นส่งผลให้ความชื้นของแผ่นแป้งข้าวเจ้าทอดมีแนวโน้มลด การทอดนานขึ้นมีผลทำให้ความชื้นของแผ่นแป้งทอดลดลง

รูปทรงของอาหารและความพรุนของอาหาร ปริมาณน้ำมันมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับพื้นที่ผิวของอาหาร ซึ่งหน้าที่ขรุขระเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้พื้นที่ทำให้พื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น ทำให้ดูดซับน้ำมันได้มากขึ้น รูปทรงของอาหารและความพรุนของอาหาร (ศรายุทธ์ สมประสงค์, 2551) รูปทรงของอาหารในที่นี้หมายถึงอัตราส่วนต่อพื้นที่ผิวปริมาตรของอาหารที่มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงมีแนวโน้มที่จะดูดซับน้ำมันได้มากกว่าอาหารที่มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรต่ำ ซึ่งส่งผลต่อการพองหรือความพรุนของอาหาร (ศรายุทธ์ สมประสงค์, 2551 อ้างอิงจาก Math *et al.*, 2004) รายงานว่าเปอร์เซ็นต์การขยายตัวของเส้นผ่าศูนย์กลางของ papad จะเพิ่มขึ้นเมื่อทอดที่อุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนี้ความหนาของชิ้นอาหารจะมีผลต่อปริมาณน้ำมันในอาหารทอด (ศรายุทธ์ สมประสงค์, 2551 อ้างอิงจาก Krokida *et al.*, 2000) พบว่าปริมาณน้ำมันในชิ้นมันฝรั่งจะลดลง เมื่อความหนาของชิ้นมันฝรั่งแห้งเพิ่มขึ้น (ปิยะพร ภัทรกิจ กัจจ, 2547 อ้างอิงจาก Pinthus *et al.*, 1995) ศึกษาสูตรและสภาวะการทอดที่เหมาะสมของแป้งชุบทอด พบว่าความพรุนของอาหารก่อนทอดมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับสัดส่วนของปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับในอาหารต่อปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากอาหาร นอกจากนี้ความพรุนของอาหารที่ทอดแล้วและปริมาณน้ำมันในอาหารทอดจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาทอด

องค์ประกอบของอาหาร เช่น การเติม powdered cellulose และ methyl cellulose มีผลต่อการลดปริมาณน้ำมันของโดนัท และ falafel ball Maneerote *et al.*, (2009) พบว่าปริมาณผงปลาป่นที่ใส่ใน rice crackers ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนน้ำมันจะลดลงเมื่อมีการเพิ่มปริมาณผงปลาป่น และเมื่อทอดนานพบว่าความชื้นลดลงมากในช่วง 20 - 40 วินาทีและจะลดลงอย่างช้าๆ หลังจาก 60 วินาที ระยะเวลาของการทอดที่นานขึ้นจะส่งผลต่อปริมาณน้ำมันใน Rice crackers ความแข็งแรงของเจล gell-strength มีผลอย่างมากต่อการสูญเสียความชื้นและปริมาณน้ำมันโดยเมื่อ gel-strength เพิ่มขึ้นการสูญเสียความชื้นและปริมาณน้ำมันจะลดลง surface treatment หรือการเคลือบอาหาร เช่น การจุ่ม การสเปรย์ อาหารที่จะทอดด้วย hydrocolloid มีผลในการลด ปริมาณน้ำมัน เนื่องจากจะป้องกันอาหารไม่ให้สูญเสียความชื้น

การเตรียมตัวอย่างก่อนทอด เช่น การลวก การแช่แข็ง การอบแห้งช่วยลดการดูดซับน้ำมันได้ แต่การทำแห้งแบบเยือกแข็งทำให้การดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้น (อิรณันท์ คุณานพรัตน์และคณะ, 2544) ศึกษาอิทธิพลของปริมาณอะไมโลสที่มีต่อการดูดซับน้ำมันของโดทอดแบบจุ่ม จากการทดลองพบว่ากลไกการดูดซับน้ำมันของโดเกิดจากการแทนที่ความชื้น การดูดซับน้ำมันอาหารชิ้นใหญ่เกิดจากการแทนที่ความชื้น อาหารทอดควรมีความชื้นเริ่มต้นต่ำ

ตาราง 2.1 ปริมาณน้ำมันเฉลี่ยในอาหารทอดบางชนิด

ชนิดอาหาร	ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย (g/100g edible portion)
potato chips	37.5
tortilla chips	23.4
donuts	22.9
fried tofu	20.2
onion rings	18.7
chicken, battered/breaded, light meat	18.1
french fries	17.1
shrimp, breaded	15.2
fish fillet, battered/breaded	12.3l

ที่มา: Dana and Saguy (2006) ; อ้างอิงมาจาก ศรายุทธ์ สมประสงค์ (2551)

ดารณี คล้ายเครือ (2550) ศึกษาเทคนิคสำหรับการลดปริมาณน้ำมันดูดซับของผลิตภัณฑ์แผ่นกล้วยหลังทอด พบว่าการลดระดับความดันในขณะสลัดเหวี่ยงน้ำมันภายหลังการทอดส่งผลให้สามารถลดปริมาณการดูดซับน้ำมันและปริมาณความชื้นได้ทั้งในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทอดในสภาวะปกติและสุญญากาศ วิจิตร ครุปัญญมาตย์ (2537) ศึกษาสภาวะที่มีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ผักทอดกรอบด้วยเครื่องทอดสุญญากาศ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ยอมรับได้ในทางการค้าของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว พบว่าควรมีความชื้นน้อยกว่า 5% และในผลิตภัณฑ์พบว่าควรมีปริมาณน้ำมันน้อยกว่า 20%

2.3.3 ไขมันและน้ำมันสำหรับทอดอาหาร

น้ำมันที่ใช้สำหรับทอดอาหารที่นิยมใช้กันมาก คือ น้ำมันหมู และน้ำมันพืชชนิดต่างๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความนิยมของผู้บริโภค น้ำมันพืชที่บรรจุขวดจำหน่าย เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันรำข้าว น้ำมันมะกอก น้ำมันข้าวโพด หรือน้ำมันงา นอกจากนี้ยังมีน้ำมันพืชผสมที่บรรจุขวดจำหน่ายด้วย เช่น น้ำมันถั่วเหลืองผสมกับน้ำมันรำข้าว หรือผสมกับน้ำมันเมล็ดนุ่น เป็นต้น

การเลือกชนิดของน้ำมัน การทอดอาหารที่ต้องใช้น้ำมันมาก ๆ หากเลือกใช้น้ำมันพืชที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง เมื่อมีการใช้ความร้อนสูงมากหรือใช้น้ำมันทอดอาหารซ้ำหลาย ๆ ครั้ง วิตามินอีถูกทำลายหมดทำให้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวถูกออกซิไดซ์และเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชัน ได้ง่าย โดยเฉพาะ การทอดอาหารที่มีน้ำมันมากมีผลทำให้มีกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นและเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของน้ำมัน เกิดสารประกอบชนิดใหม่ขึ้น ซึ่งเป็นสารพิษต่อร่างกาย และบางชนิดก็เป็นสารก่อมะเร็ง (นิธิยา รัตนปณนธ์, 2548)

ในการทอดอาหารไขมันหรือน้ำมันจะเป็นตัวนำความร้อนทำให้อาหารสุก และช่วยหล่อลื่นไม่ให้อาหารติดกับภาชนะขณะทอด ทำให้อาหารมีสีและเพิ่มรสชาติ สมบัติของน้ำมันทอดอาหารที่ดีต้องมีความคงตัว มีจุดหลอมเหลวต่ำ ทนทานต่อความร้อนได้ถึงอุณหภูมิประมาณ 162-190 องศาเซลเซียส และต้องมีสมบัติสัมพันธ์กับอาหารที่ใช้ทอด เพราะกลิ่นและรสชาติของไขมันหรือน้ำมันจะติดไปกับอาหารที่ทอดแล้วการใช้ไขมันหรือน้ำมันในการทอดอาหาร ระหว่างที่น้ำมันได้รับความร้อนและขณะทอดจะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นกับโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอล ทำให้เกิดการสลายตัวที่มีความซับซ้อนเกิดขึ้น เนื่องจาก thermolytic และ oxidative reaction ซึ่งจะมีผลกระทบต่อคุณค่าทางโภชนาการของไขมันและน้ำมัน ไขมันและน้ำมันที่ผ่านความร้อนสูงอาจทำให้เกิดความเป็นพิษได้ (toxic effect) นอกจากนี้คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของน้ำมันและอาหารที่ทอดในน้ำมัน การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับไขมันและน้ำมันในขณะทอดอาหารที่เห็นได้ชัด คือ น้ำมันมีสีคล้ำมากขึ้น มีความหนืดเพิ่มขึ้น จุดเกิดควันลดลง และเกิดฟองมากขึ้น (นิธิยา รัตนานนท์, 2548) จุดเกิดควันของไขมันและน้ำมันขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ปริมาณของกรดไขมันอิสระพื้นที่ผิวของไขมันและน้ำมันที่สัมผัสกับอากาศขณะทอด ระยะเวลาของไขมันและน้ำมันที่ถูกใช้ทอดและสารอื่นๆที่เจือปนอยู่ในน้ำมัน การที่ไขมันและน้ำมันมีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำจะมีอุณหภูมิของจุดเกิดควันสูง และจุดเกิดควันจะลดลงเมื่อมีปริมาณกรดไขมันอิสระในไขมันหรือน้ำมันเพิ่มขึ้น ดังนั้นน้ำมันใหม่กับน้ำมันที่ผ่านการใช้มาแล้วจึงมีจุดเกิดควันต่างกันโดยที่น้ำมันที่ผ่านการใช้มาแล้วจะมีจุดเกิดควันต่ำกว่าน้ำมันใหม่ (นิธิยา รัตนานนท์, 2548)

ศรายุทธ์ สมประสงค์ (2551) ศึกษาผลของอุณหภูมิและการใช้น้ำมันทอดซ้ำต่อการดูดซับน้ำมัน เนื้อสัมผัส และสีของข้าวเกรียบกุ้งทอด พบว่าอุณหภูมิทอดที่สูงขึ้นจะทำให้ไขมันปาล์มหลังการทอดมีสีคล้ำที่เข้มข้น การใช้น้ำมันทอดซ้ำ 4 ซ้ำไม่ส่งผลต่อการดูดซับน้ำมัน และความแข็งของข้าวเกรียบกุ้งทอด

2.3.3.1 ผลของความร้อนต่อน้ำมันและอาหารทอด

การให้ความร้อนแก่น้ำมันที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานทำให้น้ำมันเกิดออกซิเดชันได้เนื่องจากมีความชื้นและออกซิเจนเคลื่อนที่ออกมาจากอาหารระหว่างทอด นอกจากนั้นยังเกิดสารระเหยประเภทคาร์บอนิล กรดไฮดรอกซี กรดคีโตน และให้น้ำมันมีสีคล้ำและมีกลิ่นเหม็น โมเลกุลของน้ำมันจะเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชันในสภาพไม่มีออกซิเจนและให้โพลิเมอร์ที่มีโมเลกุลสูงหรือให้สารประกอบไซคลิกทำให้น้ำมันมีความหนืดสูงขึ้น ซึ่งมีผลไปลดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวระหว่างการทอดและทำให้อาหารดูดซับน้ำมันมากขึ้น ทำให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ เพราะวิตามินที่ละลายได้ในไขมันเกิดการออกซิไดซ์เรตินอล แครอทินอยด์ และโทโคเฟอรอลถูกทำลายไป (วิล รังสาดทอง, 2545) การเสื่อมสภาพของไขมันและน้ำมันในระหว่างการทอดสามารถป้องกันได้ในระดับหนึ่ง ได้แก่ ไม่ควรใช้ให้ความร้อนจนน้ำมันมีอุณหภูมิสูงเกินไป เพราะจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและ ไฮโดรไลซิสได้เร็วเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ควรลดความชื้นของอาหารก่อนทอดให้เหมาะสมเพราะ

ความชื้นจะเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมัน การใช้ เครื่องทอดและระบบน้ำมันควรทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอ หลีกเลี่ยงการใช้วัสดุที่เร่งอัตราการเกิดออกซิเดชัน ใช้อัตราส่วนของน้ำมันต่ออาหารที่เหมาะสม (ศรีสุวรรณ นฤนาทวงศ์สกุล, 2547) ส่วนผลของความชื้นต่ออาหารทอดจะมีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร นอกจากนี้เมื่อใช้น้ำมันที่มีจุดที่เป็นควันต่ำในการทอดทำให้อาหารดูดซับน้ำมันมากขึ้นเพราะไม่สามารถใช้อุณหภูมิสูงในการทอดได้ คุณสมบัติของน้ำมันที่มีความเหมาะสมคือต้องมีจุดที่เป็นควันสูงเพราะอุณหภูมิสูงมีผลต่อการสลายเป็นควันและให้สารพิษ (ศศิเกษม ทองยงค์ และพรณี เดชคำแหง, 2530)

2.3.3.2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่สำคัญของน้ำมันและอาหารทอด

ในการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของผลิตภัณฑ์อาหารในรูปแบบต่างๆ ขึ้นอยู่กับลักษณะของผลิตภัณฑ์และความพอใจของผู้บริโภค การทดสอบคุณสมบัติทางเคมีได้แก่ ปริมาณความชื้นและน้ำมันในผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปผลกระทบของปริมาณความชื้นต่ำจะมีผลทำให้อายุการเก็บนานขึ้น ปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์น้อยจะเกิดการเหม็นหืนได้ช้า อายุการเก็บ นานขึ้น นอกจากนี้ยังไม่เกิดการเปลี่ยนในปากเมื่อรับประทาน ส่วนการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพที่ทดสอบคือ คุณสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัส (texture) และสี (color)

ความหนืด อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำมัน ปกติจะพบว่าความหนืดของน้ำมันพืชจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เพราะที่อุณหภูมิสูงจะมีการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเพิ่มขึ้น และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลจะลดลง จึงทำให้ความหนืดลดลง และพบว่าความหนืดของน้ำมันพืชจะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ทอด เพราะการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและโพลิเมอร์ไรเซชัน (ศรายุทธ สมประสงค์, 2551) ความหนืดของไขมันและน้ำมันจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไตรเอซิลกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ความหนืดของไขมันและน้ำมันจะลดลงเมื่อจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น และเมื่ออุณหภูมิของไขมันหรือน้ำมันเพิ่มขึ้น (นิธิยา รัตนพานนท์, 2549)

เนื้อสัมผัส (texture) คุณลักษณะของเนื้อสัมผัสมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เนื้อสัมผัสของอาหารเกิดจากปริมาณความชื้นและปริมาณไขมัน โปรตีน โครงสร้างจำพวกคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ เซลลูโลส แป้งและเพคติน การเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสในอาหารหรือการพอร์มตัว แตกตัวของอิมัลชัน หรือการเกิดไฮโดรไลซิสของคาร์โบไฮเดรต (วิจิตร ทรัพย์บุญมาตย์, 2537) อาหารเมื่อผ่านการทอดจะมีเนื้อสัมผัสที่กรอบนอก นุ่มในหรือกรอบทั่วทั้งชิ้น การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของอาหารโดยทั่วไปจะเป็นการใช้แรงหรือความเค้นกระทำลงบนอาหาร แล้ววัดผลที่ผิดรูปซึ่งเกิดในอาหาร การผิดรูปนี้อาจเป็นลักษณะที่ไม่สามารถคืนสู่สภาพเดิมได้ หรือสามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ (ศรายุทธ สมประสงค์, 2551 อ้างอิงจาก อรุณี อภิชาติสร่างกูร, 2548) ในการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของอาหารทอดส่วนใหญ่มักจะวิเคราะห์กันที่ค่าความแข็ง (hardness) ซึ่งหมายถึงแรงที่ทำให้เกิดการผิดรูปหรือค่าความเปราะ (brittleness) หมายถึงแรงที่ทำให้วัสดุแตก การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสโดยวิธี

compression test จะนิยมใช้วัดค่าความแข็งของอาหารโดยวิธีเจาะทะลุ โดยจะทำการเจาะลงในตัวอย่าง และวัดแรงต้านที่เกิดขึ้น ค่าความแข็งจะเป็นค่าแรงสูงสุดของการกดครั้งแรก เมื่ออาหารเริ่มแตกค่านี้อาจลดลง ส่วนค่าความเปราะจะเป็นจุดแรกของแรงที่ลดลงในการกดครั้งแรก

การทำให้เกิดการพองตัว อาหารที่แปรรูปแล้วต้องการให้เกิดการพองตัวมีหลายอย่าง ได้แก่ ข้าวเกรียบว่าว ข้าวแต่น ข้าวพอง โดยหลักการพองตัวของเมล็ดข้าวหรือแป้งมี 2 แบบ คือ การทำให้พองตัวในบรรยากาศ และการลดความดันของอาหารร้อนให้ต่ำลง โดยวิธีทำให้พองมีหลายวิธี ได้แก่ การอัดด้วยความดันสูง การอัดแบ่งไว้ระหว่างแผ่นโลหะ การใช้เตาอบ การใช้สุญญากาศ การใช้ไมโครเวฟ การใช้ลมร้อนและการทอด (จริยา คุณะวิภากร, 2542 อ้างอิงจาก นพมาศ พิมจุฬา, 2547)

กรรมวิธีในการทำให้เมล็ดข้าวพองตัว (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547 อ้างอิงจาก Robert, 1955) ได้จัดสิทธิบัตรกรรมวิธีการทำให้เมล็ดข้าวพองตัว และเกิดเจลาตินไนซ์ โดยนำข้าวสารมาแช่น้ำให้ข้าวมีความชื้นเป็น 30% นำข้าวสารไปนึ่งไอน้ำภายใต้ความดันที่ประมาณ 1-15 psi เป็นเวลา 5-20 นาที แล้วทำให้แห้ง อุณหภูมิต่ำจนมีความชื้นประมาณ 8-14% เมล็ดข้าวจะหดตัว และมีลักษณะใส หรือใช้วิธีทำให้เมล็ดข้าวด้วยความร้อนสูงก็จะทำให้เมล็ดข้าวหุงสุกมีรูพรุน ต่อมาจึงนำข้าวหุงสุกที่แห้งไปทำให้พองด้วยไอน้ำและลมร้อนที่ 200-260 องศาเซลเซียส อัตราความเร็วลมจากไอน้ำจะต้องเหมาะสมที่ทำให้เมล็ดข้าวหุงสุกพองขึ้น เมื่อคืนรูปข้าวหุงสุกนี้จะใช้เวลาเพียง 2-3 นาที

อรอนงค์ นัยวิกุล (2547) ได้อ้างวิธีการผลิตข้าวเกรียบตามกรรมวิธีของชาวญี่ปุ่นจะทำจากข้าวเจ้าเรียกทั่วไปว่า เซมเบ (sembei) และทำจากข้าวเหนียวเรียกว่า อะราเร (arare) มีหลักการผลิตคล้ายคลึงกับข้าวเกรียบของไทยที่ทำจากแป้งข้าวเจ้า จะแตกต่างกันในขั้นตอนการทำ ให้แห้งโดยเซมเบ จะคล้ายข้าวเกรียบของไทยที่อบในตู้อบ 70 องศาเซลเซียส ให้ความชื้นลดจากเริ่มต้น 43% เหลือเพียง 22% ส่วนอะราเรต้องอบในตู้อบ 60 องศาเซลเซียส 2-3 วัน สำหรับขั้นตอนการทำ ให้สุกนั้นข้าวเกรียบของไทยใช้วิธีทอดหรืออบ โดยนิยมทอดมากกว่าอบ ส่วนของญี่ปุ่นใช้วิธีทอดในน้ำมันปาล์มที่ 240 องศาเซลเซียส หรืออย่างต่ำ 370 องศาเซลเซียส โดยนิยมย่างมากกว่าทอด

วิเชียร วรพุทธพร และคณะ (2551) ศึกษาการพองตัวของผลิตภัณฑ์อาหารเข้าจากข้าวเม่าที่ทอดในน้ำมัน โดยใช้อุณหภูมิในการทอด 200 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วินาที พบว่าการทอดโดยใช้อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วินาที และสะเด็ดน้ำมันแล้ว ได้ข้าวเม่าอาหารเข้าที่มีการพองตัวดีที่สุด

ความกรอบ (crispness) Suderman and Cunningham (1983) ศึกษาแป้งขึ้นและขนมปัง พบว่า ปริมาณอะไมโลสมีความสัมพันธ์กับความกรอบของผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดโดยแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจึงมีอุณหภูมิเจลาตินในเซชันสูงซึ่งช่วยให้น้ำที่ผสมในแป้งหรือในชิ้นอาหารมีโอกาสได้รับความร้อนและระเหยออกมาได้มากกว่าที่แป้งจะเกิดเป็นเจลเคลือบขึ้นอาหารทำให้แป้งที่เคลือบอยู่หลังจากทอดสุกแล้วดูดซับน้ำจากชิ้นอาหารได้น้อยลง จึงยังคงมีความกรอบมากกว่าแป้งที่มีอุณหภูมิเจลาตินในเซชันต่ำ ดังนั้น แป้งที่มีอะไมโลสสูงจึงช่วยให้ผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดมีความกรอบสูงขึ้นแต่ต้องมี

อัตราส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพกตินในระดับที่เหมาะสม ไม่สูงเกินไปเนื่องจากถ้ามีอะไมโลสสูงเกินไป ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะแข็งกระด้างจนผู้บริโภคไม่ยอมรับ (ปิยะพร ภัทรกิจกำจร, 2547)

ตาราง 2.2 อัตราการพองตัวของแป้งชนิดต่าง ๆ

แหล่งสตาร์ช	อัตราการพองตัว
ข้าวเหนียว	100.0
ข้าวเจ้า	10.8
มันฝรั่ง	17.0
มันฝรั่งหวาน	15.5
มันสำปะหลัง	10.8
ข้าวโพด	9.2

ที่มา: Lu and Luh (1991) ; อ้างอิงมาจาก นพมาศ พิมจุฬา (2547)

ถิรนนท์ คุณานพรัตน์ (2544) ; อ้างอิงจาก ปิยะพร ภัทรกิจกำจร (2547) ศึกษาอิทธิพลของปริมาณอะไมโลสที่มีต่อการดูดซับน้ำมันของโดทอดแบบจุ่ม พบว่าแป้งทอดที่มีช่วงอะไมโลสอยู่ในช่วงร้อยละ 40–60 ให้ค่าความกรอบมากและดูดซับน้ำมันน้อยแต่มีความแข็งเพิ่มขึ้นตามปริมาณอะไมโลสที่เพิ่มขึ้น ซึ่งการวิจัยใช้แป้งข้าวโพดอะไมโลสสูงเป็นส่วนผสมหลัก กมลทิพย์ สัจจานันตกุล (ม.ป.ป.) ศึกษาผลปริมาณอะไมโลสและสภาวะในการทอดต่อคุณลักษณะของแผ่นแป้งข้าวเจ้าทอด พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการทอดสูงขึ้นส่งผลให้ความชื้นของแผ่นแป้งข้าวเจ้าทอดมีแนวโน้มลดลง

สีของอาหารทอด สีเป็นสมบัติทางกายภาพอย่างหนึ่งของอาหารและเป็นปัจจัยสำคัญที่ผู้บริโภคจะใช้ในการตัดสินใจเลือกซื้ออาหารร่วมกับลักษณะปรากฏอื่นๆ นอกจากนี้สีของอาหารยังใช้ชี้บ่งถึงการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นในอาหารได้ด้วย เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล หรือการเกิดปฏิกิริยาคาราเมลไรด์เซชัน (นิธิยา รัตนานนท์, 2539) โดยทั่วไปพบว่าเมื่อทอดอาหารเป็นเวลานานขึ้นสีของอาหารทอดจะมีสีเข้มขึ้น ปัจจัยส่วนใหญ่ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์อาหารทอดคือชนิดของแป้งที่ใช้เป็นส่วนผสม การใช้อุณหภูมิการทอดที่สูง การใช้เวลาในการทอดที่นานทำให้ปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันเกิดขึ้นมากจนอาจทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลเข้ม

Hunter system Hunter (1952) เป็นระบบการวัดสีที่พัฒนาจากเครื่องวัดสี Tristimulus system ขึ้นมาเป็นเครื่องวัดสีแบบ Hunter system ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีราคาถูก มีความเหมาะสม และสามารถวัดค่าได้รวดเร็ว จึงเป็นที่ยอมรับในอุตสาหกรรมอาหารเครื่องวัดแบบ

Hunter system ประกอบด้วยวงจร 3 ชุด และมีชุดกรองแสง รวมทั้ง photocell ที่สามารถให้ค่า X, Y, Z ได้ใกล้เคียงกับระบบ C.I.E system โดยค่าที่ระบบนี้วัดออกมาคือ L^* , a^* , b^*

ค่า Hunter Rd (diffuse reflectance) หรือค่า L^* (lightness) ค่าที่อ่านได้จากมืดสุดไปสว่างสุด (0–100)

ค่า Hunter a^* ค่าที่อ่านได้น้อยที่สุดไปมากที่สุด มีค่าจากสีเขียวถึงแดง (-, +)

ค่า Hunter b^* ค่าที่อ่านได้น้อยที่สุดไปมากที่สุด มีค่าจากสีน้ำเงินเป็นสีเหลือง (-, +)

Krokida *et al.* (2001); อ้างมาจาก ศราวุธ สมประสงค์ (2541) พบว่า ในการทอด french fries เป็นระยะเวลานานขึ้น ค่า L (ความสว่าง) จะมีแนวโน้มลดลง ค่า a (สีเขียว-สีแดง) และค่า b (สีน้ำเงิน-สีเหลือง) จะเพิ่มขึ้นดังนั้นการทอดจึงทำให้อาหารมีสีเข้มขึ้น

ศราวุธ สมประสงค์ (2541) ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการดูดซับน้ำมัน เนื้อสัมผัส และสีของข้าวเกรียบกุ้งทอด และสีของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดที่อุณหภูมิ 160 170 180 190 และ 200 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิการทอดสูงขึ้น ค่าสี L^* ของข้าวเกรียบกุ้งลดลง ในขณะที่ค่าสี a^* ของข้าวเกรียบทอดเพิ่มขึ้น และค่าสี b^* ของข้าวเกรียบกุ้งทอดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการทอดและพบว่าการใช้อุณหภูมิทอดที่สูงขึ้น ทำให้สีของน้ำมันปาล์มเข้มขึ้นด้วย

2.4. การทำแห้ง

การทำแห้งหมายถึงการลดความชื้นเพื่อกำจัดน้ำส่วนใหญ่ที่อยู่ในอาหารโดยการระเหยน้ำหรือระเหิดของน้ำแข็ง สิ่งที่มีบทบาทสำคัญต่อการทำแห้งผลิตภัณฑ์ คือ น้ำที่มีอยู่ในอาหาร ซึ่งเป็นส่วนประกอบ หลักของอาหารทุกชนิด เนื่องจากอาหารจะมีน้ำอยู่ประมาณร้อยละ 65–95 ของน้ำหนักรวมของอาหาร นอกจากนี้การอบแห้งยังเป็นการกำจัดความชื้นออกจากอาหาร วัตถุประสงค์ที่สำคัญในการอบแห้งเพื่อเก็บรักษาถนอมผลิตภัณฑ์ให้มีอายุการเก็บนาน ช่วยลดปริมาณของผลิตภัณฑ์เพื่อสะดวกในการขนส่ง เนื่องจากการขนส่งผลิตภัณฑ์บางชนิดในสภาพสดจะกินเนื้อที่การดูแลรักษาลำบาก (สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2529)

ระบบการทำแห้งแบบใช้เครื่องทำแห้งแบบตู้ (cabinet, tray or compartment drier) เป็นเครื่องมือทำแห้งลมร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งทำงานที่บรรยากาศ ลักษณะเครื่องมือจะเป็นตู้บุนวมมีภาคสำหรับใส่อาหารเรียงเป็นชั้นอยู่ภายใน ลมร้อนจะถูกบังคับให้ไหลเวียนโดยพัดลม การหมุนเวียนของอากาศอาจจะเป็นในแนวนอนขนานกับภาคใส่อาหาร หรือในแนวตั้ง ผ่านทะลุภาคใส่อาหาร ความเร็วของลมร้อนที่นิยมใช้สำหรับการเคลื่อนที่ในแนวนอนคือ 2 – 5 เมตร/วินาที ส่วนการเคลื่อนที่ในแนวตั้งนิยมใช้ปริมาณอากาศร้อน 0.5 – 1.25 ลบ.ม/วินาที ต่อ ตร.ม ของพื้นที่หน้าตัดของภาคแหล่งความร้อนที่ใช้อาจเป็นการเผาไหม้ของก๊าซ ไอน้ำ หรือจากขดลวดให้ความร้อนไฟฟ้า

(พีรยา โชติถนอม, ม.ป.ป.) การอบแห้งแบบตู้หรือห้องอบ อาศัยหลักการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อน (Air convection) โดยการทำให้อากาศร้อนแล้วไหลผ่านอาหารภายในตู้หรือห้องอบแล้วพาเอาไอน้ำที่ระเหยจากอาหารออกไป (สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2529) ระบบการอบแห้งชนิดนี้ จะใช้ถาดหรือวัตถุอื่นที่สามารถให้ผลิตภัณฑ์อาหารสัมผัสอากาศร้อนในห้องปิด การเคลื่อนที่ของอากาศเหนือผลิตภัณฑ์ด้วยความเร็วค่อนข้างสูง เครื่องอบแห้งชนิดนี้ใช้เงินลงทุน และค่าดูแลรักษาต่ำ แต่การควบคุมดูแลยาก และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่สม่ำเสมอ จึงต้องการการหมุนถาด เพื่อช่วยปรับปรุงการอบแห้งให้สม่ำเสมอขึ้น นอกจากนี้ประสิทธิภาพการทำงานของตู้อย่างขึ้นอยู่กับความหนาของอาหารที่จะอบแห้งในเครื่อง โดยพบว่าถ้าลมร้อนผ่านเข้าไปยังชั้นของอาหารที่ไม่หนาแน่นมาก พื้นที่ผิวสัมผัสของอาหารกับลมร้อนก็จะได้เกือบทุกด้าน

วิเชียร วรพุทธพร และคณะ (2551) ศึกษาอุณหภูมิในการอบแห้งผลิตภัณฑ์อาหารเข้าจากข้าวเม่าโดยใช้อุณหภูมิ 3 ระดับ ที่อุณหภูมิ 50 55 และ 60 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 60 องศาเซลเซียส และพบว่าการพองตัวหลังทอดมีค่าสูงสุดและมีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของข้าวเม่าหลังทอดต่ำสุด

2.5. ปัจจัยที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

อายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ มีปัจจัยที่ควรคำนึงถึง ดังนี้

2.5.1 ชนิดของผลิตภัณฑ์ เช่น ผู้บริโภคสามารถยอมรับคุณภาพสินค้าได้แค่ไหน ผลิตภัณฑ์มีความไวในการทำปฏิกิริยากับแสง ออกซิเจนหรือสภาวะแวดล้อมต่างๆ ได้เร็วหรือช้าอย่างไร และความต้องการอื่นๆ ของผู้บริโภค

2.5.2 ภาชนะบรรจุ เช่น มีความทนทานต่อสภาวะแวดล้อม การกระแทกระหว่างการขนส่งสามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ ความชื้นและ แสง เพื่อให้ทำปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์ภายในภาชนะบรรจุได้ช้าลง เป็นต้น ตัวอย่างชนิดที่ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง เช่น KOP และ PP

ถุง KOP (polyvinylidene chloride coated oriented polypropylene) (ทวีชา โลหะนะ, กุลวดี ครอบพานิชย์ และไพสิน ผู้พัฒน์, ม.ป.ป. : สืบค้นเมื่อ 21 มีนาคม 2554, จาก <http://ifrp.d.ku.ac.th/staff/cc/cc287.pdf>) มาจากพลาสติกประเภทลามิเนต มีโพลีเมอร์พลาสติกหลายชั้น มีการประทับติดที่เป็นเนื้อพลาสติกหลายอย่าง ได้แก่ PVDC (polyvinylidene chloride) เคลือบกับฟิล์ม OPP (oriented polypropylene)

PVDC ทำหน้าที่หลักในการใช้เคลือบเพื่อป้องกันความชื้นและกลิ่นรสซึมผ่านเข้าออกมาจากบรรจุภัณฑ์ที่ปิดสนิท โดยปกติของฟิล์มแล้วตัวมันเองจะเป็นรูและเกิดกระบวนการออสโมซิส ซึ่งจะยอมให้อากาศและความชื้นผ่านซึ่งมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งการเคลือบฟิล์มด้วย PVDC จะช่วยลดการเกิดปัญหาดังกล่าวได้ แต่ไม่สามารถป้องกันการซึมผ่านเข้าสู่บรรจุภัณฑ์ได้ทั้งหมดอย่างสิ้นเชิง ซึ่งต้องพิจารณาอัตราการซึมผ่านของสารเหล่านั้น เช่น อัตราการซึม

ผ่านของไอน้ำและออกซิเจน คุณสมบัติที่สำคัญของ PVCD คือ (มยุรี ภาคลำเจียก, 2540) มีความมันวาวสูงมีความเหนียวสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ค่าการต้านแรงดึงและค่าการต้านแรงกระแทกมีความทนทานต่อสารเคมี ยกเว้น ต่างแก่ เอสเทอร์และคีโตน ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ ก๊าซและกลิ่นต่าง ๆ ได้ดีมาก ป้องกันการซึมผ่านของไขมันและน้ำมันได้ดี ปิดผนึกด้วยความร้อนได้ดีที่อุณหภูมิ 120 - 160 องศาเซลเซียส มีความปลอดภัยใช้กับอาหารและยาได้ การมีคุณสมบัติเด่นในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซออกซิเจนจึงช่วยป้องกันการเสื่อมเสียของอาหารได้ดี สามารถเลือกฟิล์มที่ใช้เคลือบได้อย่างกว้างขวาง ใช้กับฟิล์มพลาสติกได้หลายชนิด ไม่สูญเสียคุณสมบัติได้ง่ายระหว่างการพับหรือระหว่างการลามิเนต โดยสามารถต้านการพับและการโค้งงอได้ดี PCVD มีคุณสมบัติของคลอรีนสูง จึงมีลักษณะเป็นผลึกสูงและต้านทานการซึมผ่านของออกซิเจนและก๊าซอื่น ๆ รวมทั้งไอน้ำ กลิ่นรส สารระเหยต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี

OPP โดยทั่วไปพบว่าถูกใช้เป็นวัสดุที่ใช้ผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ และมักถูกเคลือบด้วยวัสดุอื่นทั้งสองด้านหรือด้านเดียวของฟิล์ม เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติด้านการปิดผนึกด้วยความร้อน และเพื่อให้ต้านทานการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและไอน้ำ หรือก๊าซอื่นๆ ได้ดี ฟิล์ม OPP หลายชนิดมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ซึ่งมีข้อดีคือมีความทนทานสูงต่อการซึมผ่านของทั้งแสงและไอน้ำและเพื่อความสวยงามและดึงดูดความสนใจ (Keller, 1991 : สืบค้นเมื่อ 27 มีนาคม 2554, จาก <http://freepatentsonline.com/5019447.pdf>) วัสดุที่ใช้เคลือบฟิล์ม เช่น อคริลิก (acrylic) PVDC หรือ PVOH เพื่อเน้นสมบัติการป้องกันของฟิล์ม เทคนิคต่างๆของการผลิต เช่น โคเอกซ์ทรูชัน (coextrusion) การลามิเนต และการเมตาลไลเซชัน โดยทำการผลิตให้เป็นฟิล์มหลายชั้นที่มีคุณสมบัติของการป้องกันต่าง ๆ ที่ออกแบบเพื่อสามารถป้องกันผลิตภัณฑ์ได้ และมีอายุการเก็บที่ต้องการ ฟิล์ม OPP มักใช้เป็นบรรจุภัณฑ์แผ่นมันฝรั่งทอดกรอบที่ต้องการ ซึ่งป้องกันออกซิเจนและแสงที่ดี (เพื่อป้องกันการเหม็นหืนจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน) และไอน้ำ (เพื่อป้องกันการดูดซับความชื้นและเพื่อความกรอบ) (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2549)

ตาราง 2.3 อัตราการซึมผ่านของออกซิเจนและไอน้ำของฟิล์ม OPP บางชนิด

ชนิดของ OPP	OTR* ($\text{cm}^3/\text{m}^2 \text{ day atm}$) ณ $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ และ 90% r.h.	WVTR* ($\text{g}/\text{m}^3 \text{ day}$) ณ 38°C และ 90% r.h.
ใส, $30 \mu\text{m}$	<1500	<5.5
เคลือบ acrylic ทั้ง 2 ด้าน, $30 \mu\text{m}$	650	4.0
Metallized, $30 \mu\text{m}$	<120	<0.8
เคลือบ PVCD ทั้งสองด้าน, $28 \mu\text{m}$	16	5.0
Metallized/ acrylic coted, $21 \mu\text{m}$	1-2	1.0-1.5

* OTR คือ oxygen transmission rate, WVTR คือ water vapour transmission rate

ที่มา : Reily and Man (1994) ; อ้างอิงมาจาก รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. (2549)

ถุง PP (polypropylene)

เป็นพลาสติกที่มีคุณสมบัติคือไม่ยอมให้น้ำมันและไขมันซึมผ่าน ยอมให้ก๊าซและไอน้ำซึมผ่านต่ำมาก มีความเหนียวและความยืดหยุ่นสูง ขึ้นรูปทรงได้ง่าย นิยมนำมาทำถุงร้อนหรือเย็นสามารถนำเข้าไมโครเวฟได้ และทนต่ออุณหภูมิร้อนเย็นได้ไม่เกิน - 30 ถึง 130 องศาเซลเซียส นอกจากถุง PP ทนความร้อนได้สูงจึงถูกนำไปใช้ทำถังใส่เนยเทียม ภาชนะใส่ผลิตภัณฑ์นมและแก้วน้ำ เป็นต้น (วุฒิชัย นาครักษา, 2533) วิเชียร วรพุทธพรและคณะ (2551) ศึกษาภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์ในภาชนะบรรจุ 2 ประเภท ได้แก่ ถุงพลาสติก KOP และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ลามิเนต ที่มีการใช้วัตถุติดออกซิเจน และไม่ใช้ เป็นเวลา 60 วัน โดยทำการวัดปริมาณความชื้น เปอร์เซ็นต์ไขมัน ผลการวิเคราะห์ของผลิตภัณฑ์ข้าวเม่าอาหารเช้าที่เก็บรักษาเป็นเวลา 35 วัน มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ผลการวิเคราะห์ค่า TBA ของผลิตภัณฑ์ข้าวเม่าอาหารเช้าที่เก็บรักษาเป็นเวลา 60 วัน พบว่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์ต่ำที่ไม่มีการเหม็นหืนของไขมันและผลจากการทำนายอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ในสภาวะเร่งพบว่าผลิตภัณฑ์ข้าวเม่าอาหารเช้าแบบธรรมดา ซึ่งเก็บในถุงอะลูมิเนียมที่ใช้วัตถุติดออกซิเจน มีอายุการเก็บรักษาได้นานถึง 266 วัน (ประมาณ 8 เดือน) โดยผลิตภัณฑ์ยังคงได้รับการยอมรับ การใช้วัตถุติดออกซิเจนช่วยให้สามารถป้องกันการเหม็นหืนซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีของออกซิเจนที่เหลืออยู่ในถุงบรรจุและไขมันในผลิตภัณฑ์อะลูมิเนียมจะใช้ได้ดีกว่าถุงพลาสติก KOP เนื่องจากสามารถป้องกันแสงสว่างที่เป็นตัวกระตุ้นการหืนของไขมันได้

ตาราง 2.4 คุณสมบัติบางประการของพลาสติก PP และ PVDC

Plastic material	Density (kg/m ³)	Water absorption (24h) (%)	WVTR* (30°C, 90% r.h.) (g/25μm/m ² d)	OTR* (23/25°C, 50% r.h.) (cm ³ /25μm/m ² d. atoms)	Printability	Transparenc y	Resistance to sunlight (outdoors)
Polypropylene (homopolymer)	900-910	0.01-0.03	11	2400-3800	poor	fair	poor
Polypropylene (copolymer)	890-910	0.03	-	-	good	fair-good	poor-fair
Polyvinylidene chloride copolymer	1640-1740	0.1	0.3-3	0.5-9	good	good	poor

* OTR คือ oxygen transmission rate, WVTR คือ water vapour transmission rate

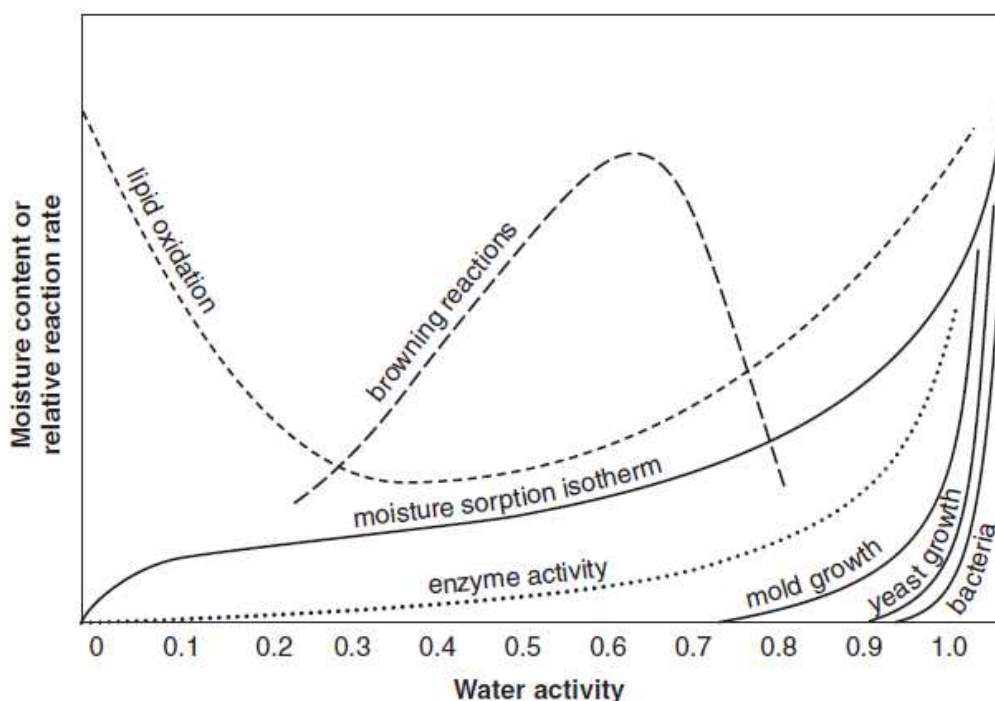
ที่มา : ดัดแปลงจาก F.A. Paine and H.Y Paine (1992 : 69)

2.5.3 สภาพการเก็บรักษา เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และแสง มีผลต่อการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์

การศึกษาอายุการเก็บรักษาอายุการเก็บรักษาได้มีการศึกษาจากปัจจัยคุณภาพที่คาดว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาดังนี้ (ณัฏฐา เปี่ยมคล้า, 2547)

ปริมาณความชื้น (moisture content) เป็นปัจจัยคุณภาพที่ทำให้สูญเสียความกรอบและอาจทำให้เกิดเชื้อรา อีกทั้งยังทำให้ปฏิกิริยาเคมีภายในอาหารเกิดเร็วขึ้น เช่น การเหม็นหืน การเปลี่ยนสีน้ำตาล เป็นต้น ผลิตภัณฑ์อาหารทอดกรอบ ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบและขนมอบจากธัญชาติที่กำหนดไว้ไม่เกิน 3.0 และ 4.0% (มอก.701-2530 และมอก.1534-2541) ตามลำดับ และ ณัฏฐา เปี่ยมคล้า, 2547 อ้างอิงมาจาก Beuchat, 1981 กล่าวว่าตามมาตรฐานของประเทศอังกฤษกำหนดไว้ว่าปริมาณความชื้นในมันฝรั่งทอดควรมีประมาณ 3-5%

ค่า water activity (a_w) เป็นปัจจัยคุณภาพที่บ่งบอกถึงการเน่าเสียของอาหารทอดโดยค่า water activity เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณน้ำในอาหารทอดที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้และมีผลทางอ้อมกับคุณภาพด้านความกรอบของผลิตภัณฑ์อาหารทอดกรอบ



ภาพประกอบ 2.5 ปริมาณน้ำอิสระและความคงตัวของอาหาร

ที่มา : ดัดแปลงจาก Labuza, T.P. (1970 : 618-635)

สี่ เป็นปัจจัยที่บ่งบอกถึงคุณภาพของอาหาร เช่น ลักษณะปรากฏ ความแก่อ่อน ความสุก ความสด และการเน่าเสียของอาหาร หรือคุณภาพที่บ่งบอกถึงการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลชนิดที่ไม่อาศัยเอนไซม์

ปฏิกิริยาการหืนในอาหาร เป็นการเสื่อมเสียเนื่องจากปฏิกิริยาเคมีที่เกิดในอาหารพวกไขมันและน้ำมัน รวมทั้งอาหารที่มีไขมันและน้ำมันเป็นองค์ประกอบ ซึ่งเกิดเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ค่าบ่งชี้การหืนหืนของผลิตภัณฑ์ เช่น ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value) ค่าทีบีเอ (thiobarbituric acid value) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความหืนของผลิตภัณฑ์ หรือเป็นปัจจัยคุณภาพที่บ่งบอกถึงการสูญเสียด้านกลิ่นรสของอาหารทอดกรอบ จากการศึกษาของไพศาล วุฒิงานงค์ และคณะ, 2543 ; อ้างอิงมาจาก ญญา เปี่ยมคล้า, 2547 พบว่าผลิตภัณฑ์ทุเรียนทอดกรอบจะมีกลิ่นหืนเมื่อมีค่า TBA เพิ่มขึ้นถึง 1.6 มิลลิกรัมมาโลนัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมน้ำมัน ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันซึ่งอยู่ในอาหารทอดนั้น กลไกของปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน แบ่งออกเป็นสามขั้น ขั้นที่ 1 คือขั้นเริ่มต้น กรดไขมันจะถูกกระตุ้นให้เกิดอนุมูลอิสระ ด้วยแสง ความร้อน และโลหะ ทำให้มีการแตกพันธะระหว่าง C-H มีการดึงไฮโดรเจนอะตอมออกจากโมเลกุลซึ่งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น จะไปรวมตัวกับออกซิเจนเกิดเป็นสารเปอร์ออกไซด์ (peroxide, $\text{LOO}^\bullet$) ซึ่งจะสามารถวัดได้ด้วยวิธี Linoleic acid thiocyanate method สารเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นสามารถทำปฏิกิริยากับ เพอร์สคลอไรด์ (FeCl_2) ให้กลายเป็นเพอร์ริคลอไรด์ (FeCl_3) ที่มีสีแดง และจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเข้าสู่ขั้นตอนเนื่อง โดยสามารถสังเกตได้จากการที่ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างควบคุมมีค่าลดลง โดยเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นสามารถไปดึงไฮโดรเจนจากกรดไขมันอื่นๆ แล้วเกิดสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (LOOH) และอนุมูลอิสระตัวใหม่วิวนกันไป จึงเรียกว่าขั้นตอนเนื่อง ขั้นนี้จะก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์มากมายหลายชนิด เช่น สารประกอบคาร์บอนิล ได้แก่ อัลดีไฮด์และคีโตน จัดเป็นผลิตภัณฑ์ทุติยภูมิ ซึ่งจะนิยมวิเคราะห์ค่าอัลดีไฮด์ เช่น สารมัลโลนัลดีไฮด์ (malonaldehyde) ด้วยวิธี thiobarbituric acid method โดยสารมัลโลนัลดีไฮด์จะทำปฏิกิริยากับ thiobarbituric acid ให้สีชมพู และสารชนิดนี้จะสามารถถูกออกซิไดซ์ไปเป็นผลิตภัณฑ์ทุติยภูมิที่เป็นสารจำพวกกรดคาร์บอกซิลิกที่สามารถวัดด้วยค่า acid value จนไม่มีโมเลกุลให้ทำปฏิกิริยาต่อไป จะเข้าสู่ขั้นจบ

การเปลี่ยนแปลงทางด้านจุลินทรีย์ (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2549) การเสื่อมเสียของอาหารเนื่องจากจุลินทรีย์อาจเรียกว่าการเน่าเสีย จุลินทรีย์ทำให้อาหารเน่าเสียได้โดยการเจริญเติบโตเพิ่มจำนวน และทำให้ส่วนประกอบทางกายภาพและทางเคมีของอาหารนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลง หากจุลินทรีย์นั้นเป็นจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคกับมนุษย์ อาจเป็นอันตรายและทำให้ผู้บริโภคเกิดการเจ็บป่วยหรือเกิดเป็นพิษขึ้น แต่ถ้าจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียนั้นไม่ทำให้เกิดโรคกับมนุษย์แต่ก็ทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพและอยู่ในสภาพไม่น่ารับประทาน อย่างไรก็ตามการเน่าเสียของอาหารจากจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ทำให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค และยากที่จะป้องกัน

จุลินทรีย์ที่พบในอาหารและทำให้เกิดการเน่าเสียหรือทำให้เกิดอาหารเป็นพิษแบ่งได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ และทำให้อาหารเกิดการเสื่อมเสียดังนี้

การเสื่อมเสียของอาหารเนื่องจากแบคทีเรีย แบคทีเรียเป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวที่มีขนาดเล็กมาก สามารถเจริญเติบโตได้ในอาหารหลายชนิด บางชนิดสร้างสปอร์ที่ทนความร้อน ความเย็น สารเคมีและสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้ดี จึงเป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียของอาหาร โดยเฉพาะอาหารที่มีความชื้นสูงและมีความเป็นกรดเบสที่เป็นกลาง เช่น เนื้อสัตว์ ปลา นมไข่ เป็นต้น

การเสื่อมเสียของอาหารเนื่องจากยีสต์ ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็กและมักไม่อยู่เป็นเซลล์เดียว ต้องการน้ำและน้ำตาลเป็นแหล่งพลังงาน โดยยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์และเอทิลแอลกอฮอล์ ทำให้อาหารที่เน่าเสียจากยีสต์มีฟองแก๊ส และมีกลิ่นรสของแอลกอฮอล์ที่คล้ายกับกลิ่นหมัก ยีสต์ส่วนใหญ่เจริญได้ในสภาวะที่เป็นกรด จึงมักทำให้อาหารที่มีความเป็นกรดหรือมีน้ำตาลสูงเกิดการเสื่อมเสีย เช่น น้ำผลไม้ น้ำเชื่อม กากน้ำตาล เป็นต้น

การเสื่อมเสียของอาหารเนื่องจากรา ราเป็นจุลินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่ มีลักษณะเป็นเส้นสาย (filament) สามารถเจริญเติบโตได้ในอาหารหลายชนิด คือ ราอาจเจริญได้ทั้งในอาหารที่เป็นกรด เช่น มะนาว อาหารที่เป็นกลาง เช่น ขนมหั้ว เนื้อสัตว์ และอาหารที่มีปริมาณน้ำตาลสูง เช่น แยม เยลลี่ เป็นต้น อาหารที่เสื่อมเสียจากเชื้อราส่วนมากมักเก็บไว้ในที่ค่อนข้างมืด อับชื้น เมื่อราขึ้นในอาหารจะสามารถมองเห็นเป็นเส้นใยที่มีลักษณะคล้ายปุยนุ่มสีขาว เขียว ดำ หรืออื่น ๆ ขึ้นกับชนิดของเชื้อรา เชื้อราบางชนิดเมื่อขึ้นในอาหารแล้วมักสร้างสารพิษที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคอาหารนั้นด้วย สารพิษจากเชื้อราเรียกว่า ไมโคทอกซิน (micotoxin) ที่รู้จักกันดีคือ อะฟลาทอกซิน (aflatoxin) โอคราทอกซิน (ochratoxin) พบในถั่วลิสง ข้าว ข้าวโพด

จุลินทรีย์ที่มักทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งและทอดกรอบเกิดการเสื่อมเสียส่วนมากคือ รา เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่มีค่าวอเตอร์แอกติวิตีต่ำ (a_w ของข้าวตังรสจืดประมาณ 0.243) โดยประกาศของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ เรื่องเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหารฉบับที่ 2 ประกาศเมื่อวันที่ 28 กันยายน 2552 กำหนดให้อาหารซึ่งอยู่ในหมวดอาหารพร้อมบริโภคประเภทอาหารปรุงสุกหรืออาหารที่ผ่านกรรมวิธีการเก็บรักษา ได้แก่ อาหารที่ผ่านกระบวนการทำให้แห้ง อบหรือทอด เช่นอาหารอบกรอบ อาหารทอดกรอบ ต้องมีปริมาณน้ำอิสระในอาหาร (a_w) น้อยกว่า 0.86 จำนวนยีสต์และราน้อยกว่า 100 โคโลนีต่อกรัมของอาหาร

ตาราง 2.5 ค่าวอเตอร์แอกติวิตีและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในอาหาร

ช่วงของ a_w	จุลินทรีย์โดยทั่วไปที่ถูกระงับโดย a_w ในช่วงนั้น ๆ	ประเภทของอาหารทั่วไปที่พบ
1.00 – 0.95	<i>Pseudomonas</i> , <i>Escherichia</i> , <i>Proteus</i> , <i>Shigella</i> , <i>Klebsiella</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Clostridium perfringens</i> , some yeasts	อาหารสดที่เสื่อมเสียง่าย อาหารกระป๋อง ผัก เนื้อสัตว์ ปลาและนม ไข่รอก ขนบปัง อาหารที่ประกอบด้วยน้ำตาลซูโครส 40% หรือเกลือ 7%
0.95 – 0.91	<i>Salmonella</i> , <i>Vibrio parahaemolyticus</i> , <i>C. botulinum</i> , <i>Serratia</i> , <i>Lactobacillus</i> , <i>Pediococcus</i> , some molds, yeasts (<i>Rhodotorula</i> , <i>Pichia</i>)	ชีสบางชนิด (Cheddar, Swiss, Muenster, Provolone), เนื้อหมัก (แฮม), น้ำผลไม้เข้มข้นบางชนิด อาหารที่มีน้ำตาลซูโครสเป็นองค์ประกอบ 55% หรือเกลือแกง 12%
0.91 – 0.87	Many yeasts (<i>Candida</i> , <i>Torulopsis</i> , <i>Hansenula</i>), <i>Micrococcus</i>	ไส้กรอกหมัก (salami), สปอนจ์เค้ก, ชีสแข็ง, อาหารที่มียีสน้ำตาลซูโครสเป็นองค์ประกอบ 65% หรือเกลือแกง 15%
0.87 – 0.80	Most molds (mycotoxigenic penicillia), <i>Staphylococcus aureus</i> , most <i>Saccharomyces</i> (<i>bailii</i>) spp., <i>Debaryomyces</i>	น้ำผลไม้เข้มข้น นมข้นหวาน ไซรัปผลไม้ แป้ง ข้าว เค้กผลไม้
0.80 – 0.75	Most halophilic bacteria, mycotoxigenic aspergilli	แยม มาร์มาเลด (marmalade) มาร์ชเมลโล่ (marshmallows) มาร์ซิแพน (marzipan)
0.75 – 0.65	Xerophilic molds (<i>Aspergillus chevalieri</i> , <i>A. candidus</i> , <i>Wallemia sebi</i>), <i>Saccharomyces bisporus</i>	ข้าวโอ๊ต ความชื้น 10% (rolled oats) มาร์ชเมลโล่ (marshmallows) เยลลี่ กากน้ำตาล น้ำอ้อย ผลไม้แห้งบางชนิด ถั่ว
0.65 – 0.60	Osmophilic yeasts (<i>Saccharomyces rouxii</i>), few molds (<i>Aspergillus echinulatus</i> , <i>Monascus bisporus</i>)	ผลไม้แห้งที่มีความชื้น 15-20% ลูกกวาด บางชนิดและคาราเมล น้ำผึ้ง

ตาราง 2.5 ค่าวอเตอร์แอกติวิตีและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในอาหาร (ต่อ)

ช่วงของ a_w	จุลินทรีย์โดยทั่วไปที่ถูกยับยั้งโดย a_w ในช่วงนั้น ๆ	ประเภทของอาหารทั่วไปที่พบ
0.50	No microbial proliferation	พาสต้าความชื้นประมาณ 12% เครื่องเทศที่มีความชื้นประมาณ 10%
0.40	No microbial proliferation	ไข่ผงความชื้นประมาณ 5%
0.30	No microbial proliferation	คุกกี้ แครกเกอร์ ขนมปังป่น ที่มีความชื้นประมาณ 3-5%
0.20	No microbial proliferation	นมผงที่มีความชื้นประมาณ 2-3% ผักแห้ง ความชื้นประมาณ 5% คอร์นเฟล็ก (corn flakes) ความชื้นประมาณ 5% แค็กผลไม้ (fruit cake) คุกกี้ และแครกเกอร์

ที่มา : Beuchat (1981 : 345-349) ; อ้างอิงมาจาก Anthony. (1998 : 177-185)