

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล้วยไข่

2.1.1 พันธุ์กล้วยไข่

กล้วยไข่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ คือ *Musa acuminata* (AA) (Wongniam et al., 2010) กรมวิชาการเกษตร (2551) กล่าวว่าพันธุ์กล้วยไข่มี 2 สายพันธุ์ คือกล้วยไข่สายพันธุ์กำแพงเพชร และกล้วยไข่พระตะบอง พันธุ์ที่นิยมปลูกเป็นการค้า คือกล้วยไข่สายพันธุ์กำแพงเพชร ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. กล้วยไข่สายพันธุ์กำแพงเพชร

ลักษณะกาบใบเป็นสีน้ำตาลหรือชอกโกแลต ร่องก้านใบเปิดและขอบก้านใบขยายออก ใบมีสีเขียวอ่อน ไม่มีนวล ก้านเครือมีขนาดเล็ก ผิวเปลือกผลบาง ผลเล็ก เนื้อมีสีเหลือง รสชาติหวาน

2. กล้วยไข่พระตะบอง

ลักษณะกาบใบเป็นสีน้ำตาลปนดำ สีของใบเข้มกว่าสายพันธุ์กำแพงเพชร รสชาติจะออกหวานอมเปรี้ยว และผลมีขนาดใหญ่กว่ากล้วยไข่สายพันธุ์กำแพงเพชร

2.1.2 ประโยชน์ของกล้วยไข่

จิตรา ตระกูลนำเลื่อมใส (2541) กล่าวว่า กล้วยจัดอยู่ในวงศ์ *Musaceae* ลำดับ *Scitamineaceae* สกุล *Musa* เป็นพืชที่ชอบอากาศร้อนชื้น มีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบเอเชียตอนใต้ กล้วยรับประทานได้จัดอยู่ใน section *Eumusa* โดยถือกำเนิดมาจากกล้วยป่า 2 Species คือ *Musa acuminata* Colla (A genome) และ *M. balbisana* Colla (B genome) ซึ่งกล้วยป่าทั้งสองชนิดนี้มีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบ Indo-Malayan กล้วยกินได้ส่วนใหญ่มีการเจริญของผลเป็นแบบ Parthenocarpic คือผลสามารถเจริญขึ้นมาได้โดยไม่ต้องมีการผสมเกสรหรือไม่ต้องการการกระตุ้นของละอองเกสร มีลักษณะเป็นมันไม่มีเมล็ด จากการศึกษาพบว่ามีถิ่นเป็นตัวควบคุม และสามารถถ่ายทอดสู่รุ่นลูกหลานได้ กล้วยไข่ (*Musa* AA Group) จัดเป็นกล้วยรับประทานได้ชนิดหนึ่ง คุณค่าทางโภชนาการของกล้วยไข่แสดงดังตาราง 1 มีชื่อพ้องในภาษามาเลเซียคือ "Pisang Mas" ในภาษาอินโดนีเซีย คือ "Emas" ในชื่อภาษาไทยคือ "Kluai Khai" กล้วยไข่หนึ่งเครือมีประมาณ 7 หวี หนึ่งหวีมีประมาณ 14 ผล ผลค่อนข้างเล็ก เส้นผ่าศูนย์กลาง 2 - 3 เซนติเมตร ยาว 8 - 10 เซนติเมตร ก้านผลสั้น เนื้อสีครีม รสชาติหวานเปลือกค่อนข้างบางและเมื่อกล้วยสุกมีสีเหลืองสดใสแต่เมื่อกล้วยสุกเต็มที่ พบว่ามักเกิดจุดสีน้ำตาลเล็กๆ จำนวนมากกระจายอยู่ทั่วไปบนผิว และเมื่อกล้วยสุกอมมากการเกิดจุดตกกระจะชัดเจนเพิ่มขึ้น

ตาราง 1 คุณค่าทางโภชนาการของกล้วยไข่ จากน้ำหนัก 100 กรัม

| สารอาหาร (หน่วย) | ปริมาณ |
|---|--------|
| พลังงาน (กิโลแคลอรี; kcal) | 140 |
| ความชื้น (กรัม) | 62.8 |
| โปรตีน (กรัม) | 1.45 |
| คาร์โบไฮเดรต (กรัม) | 32.9 |
| ใยอาหารที่ย่อยง่าย (กรัม) | 0.4 |
| ใยอาหารที่ย่อยยาก (กรัม) | 1.9 |
| เถ้า (กรัม) | 0.7 |
| แคลเซียม (Ca) (มิลลิกรัม) | 5.0 |
| ฟอสฟอรัส (P) (มิลลิกรัม) | 23.0 |
| เหล็ก (มิลลิกรัม) | 1.0 |
| เบต้าแคโรทีน (ไมโครกรัม) | 271.0 |
| ไทอามีน (Thiamine หรือ Vitamin B1) (มิลลิกรัม) | 0.03 |
| ริโบฟลาวิน (Riboflavin หรือ Vitamin B2) (มิลลิกรัม) | 0.05 |
| ไนอาซิน (Niacin หรือ Vitamin B3) (มิลลิกรัม) | 1.4 |
| วิตามิน ซี (มิลลิกรัม) | 10.0 |
| วิตามิน อี (มิลลิกรัม) | 0.47 |

ที่มา : กองโภชนาการ (2551)

2.1.3 ดัชนีการเก็บเกี่ยว

รัชชชัย รัตนชเลศ และศิวาพร ธรรมดี (2542) กล่าวว่า การเก็บเกี่ยวผลกล้วยขึ้นอยู่กับตลาดที่นำกล้วยไปจำหน่าย คือถ้าเป็นตลาดภายในประเทศ เก็บเกี่ยวเมื่อผลแก่เต็มที่คือผลนั้นแทบมองไม่เห็นเหลี่ยม เมื่อผ่าตามขวางมีรูปร่างกลม แต่ถ้าเป็นตลาดต่างประเทศ ซึ่งต้องใช้เวลาในการขนส่งนาน เก็บเกี่ยวเมื่อผลยังมีเหลี่ยมชัดเจน การพิจารณาความแก่ของกล้วยนอกจากพิจารณาที่เหลี่ยมแล้วยังสามารถพิจารณาได้จากอายุนับจากวันออกปลี โดยพบว่ากล้วยไข่ที่เก็บเกี่ยวเพื่อจำหน่ายในตลาดภายในประเทศมักมีอายุนับจากวันออกปลีประมาณ 50 - 60 วัน คือมีความแก่ประมาณร้อยละ 70 - 80

ดวงจันทร์ เกรียงสุวรรณ (2543) กล่าวว่า นับวันจากระยะเริ่มปลูกลงหลุมไปประมาณ 320 วันหรือนับจากกล้วยออกปลี 50 - 60 วันหรือนับหลังจากตัดปลี 45 วันกล้วยไข่จะเจริญเติบโตเต็มที่และเริ่มแก่

เพชร บุตสีทา (2548) กล่าวว่า เมื่อกล้วยอายุได้ประมาณ 8 - 10 เดือนก็จะเริ่มออกป्लीและป्लीจะค่อยๆ คลี่กาบออกทีละกาบพร้อมๆ กับการเจริญเติบโตของผลกล้วย เมื่อติดผลแล้วเกษตรกรจะตัดป्लीทิ้งรวมระยะเวลาตั้งแต่เริ่มออกป्लीจนถึงตัดป्लीทิ้งประมาณ 15 วัน หลังจากตัดป्लीทิ้งแล้วประมาณ 45 วันกล้วยจะแก่เต็มที่

จริงแท้ ศิริพานิช (2549) กล่าวว่า การเก็บเกี่ยวเพื่อจำหน่ายในตลาดต่างประเทศมักเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่ผลมีอายุได้ 35 วันหลังจากกาบป्लीหุ้มหิวเปิดเต็มที่ซึ่งการเก็บเกี่ยวกล้วยไขเพื่อให้ได้ผลกล้วยไขที่มีความแก่ตามความต้องการพิจารณาจากลักษณะหลายด้าน

2.1.4 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างเกิดการสุกของผลกล้วย

จิตรา ตระกูลนำเลื่อมใส (2541) และชลิต เขาวงศ์ทอง (2548) กล่าวว่า ในระหว่างเกิดการสุกของผลกล้วยมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางชีวเคมีเกิดขึ้น ดังนี้คือ

2.1.4.1 การเปลี่ยนแปลงสีผิว

จิตรา ตระกูลนำเลื่อมใส (2541) กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงสีผิวโดยส่วนใหญ่แล้วในขณะที่กล้วยเกิดการสุก เปลือกจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ซึ่งขั้นตอนการสุกของกล้วยสามารถดูได้จากการเปลี่ยนแปลงของสีผิว ดังนี้คือ

ระยะที่ 1 ผิวเปลือกสีเขียว ผลแข็ง ไม่มีการสุก

ระยะที่ 2 ผิวเริ่มเปลี่ยนสีเขียว เป็นเหลืองเล็กน้อย

ระยะที่ 3 ผิวเปลี่ยนสีจากเขียวเป็นเหลืองมากขึ้นแต่ยังมีสีเขียวมากกว่า

สีเหลือง

ระยะที่ 4 ผิวเปลี่ยนสีจากเขียวเป็นเหลือง และมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว

ระยะที่ 5 ผิวเปลี่ยนเป็นสีเหลือง แต่ส่วนปลายผลยังเป็นสีเขียว

ระยะที่ 6 สีผิวทั้งผลมีสีเหลือง

ระยะที่ 7 ผิวมีสีเหลือง และเริ่มมีจุดสีน้ำตาลเล็กน้อย

ระยะที่ 8 ผิวมีสีเหลือง และมีจุดสีน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น

การเกิดสีเหลืองของเปลือกกล้วยเกิดจากเอนไซม์ Chlorophyllase เร่งปฏิกิริยาสลายคลอโรฟิลล์ที่มีอยู่ที่เปลือก ปริมาณคลอโรฟิลล์จึงค่อยๆ ลดลงในขณะที่กล้วยสุก ทำให้สามารถมองเห็นสีเหลืองของแคโรทีนอยด์ซึ่งประกอบด้วย เบต้าแคโรทีน แอลฟาแคโรทีนและลูทีนได้ชัดเจนยิ่งขึ้น และในขณะที่กล้วยสุกจะไม่มีการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้นซึ่งชี้ให้เห็นว่า ศักยภาพในการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์เกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพก่อนที่กล้วยจะเข้าสู่ระยะที่มีสีเขียวเต็มที่ (จิตรา ตระกูลนำเลื่อมใส, 2541 และชลิต เขาวงศ์ทอง, 2548)

2.1.4.2 การเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัส

ขณะที่เกิดการสุกผลกล้วยมีลักษณะอ่อนนุ่มมากขึ้นซึ่งเป็นผลเนื่องจาก เอนไซม์ Polygalacturonase (PG) และ Pectin Methylsterase (PME) เร่งปฏิกิริยาสลาย เพคติน (Pectin) ในผนังเซลล์และ Middle Lamella ให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้เพิ่มมากขึ้น (จิตรา ตระกูลนำเลื่อมใส, 2541)

2.1.4.3 การพัฒนารสชาติ

เมื่อผลกล้วยสุกแป้งถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาล ดังนั้นปริมาณน้ำตาลภายใน ผลจะเพิ่มขึ้น จึงทำให้เกิดรสหวาน นอกจากนี้ในขณะที่ผลกล้วยสุกยังก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของ กรดอินทรีย์เกิดกลิ่น ซึ่งมีผลทำให้ผลกล้วยที่สุกมีรสชาติดียิ่งขึ้น (จิตรา ตระกูลนำเลื่อมใส, 2541)

2.1.4.4 การสะสมน้ำตาล

แป้งเป็นส่วนประกอบหลักที่สำคัญของเนื้อกล้วย ในขณะที่กล้วยยังไม่สุกโดยพบว่าในกล้วยที่รับประทานผลสดมีแป้งประมาณร้อยละ 15 - 25 ในผลกล้วยในขณะที่ เกิดการสุก แป้งจะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาล โดยพบว่า กล้วยที่รับประทานสดมีแป้งเหลืออยู่ต่ำกว่า ร้อยละ 5 ดังนั้นปริมาณ Soluble Solids (SS) จึงมีแนวโน้มเช่นเดียวกับระดับของน้ำตาล นอกจากนี้ยังพบว่าการสะสมน้ำตาลและการเพิ่มขึ้นของ Soluble Solids (SS) ในผลกล้วยที่มี อายุมากกว่าเกิดขึ้นก่อนที่มีอายุน้อยกว่า (จิตรา ตระกูลนำเลื่อมใส, 2541)

2.1.4.5 กรดอินทรีย์และสารฟีนอลิก

กรดอินทรีย์เป็นปัจจัยที่ทำให้สมดุลของกรด และน้ำตาล มีผลต่อรสชาติ ที่เกิดขึ้นภายหลังการสุก กรดมาลิกซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ที่สำคัญที่มีอยู่ในกล้วยและในขณะที่เกิด การสุกกรดซิตริกจะเพิ่มมากขึ้นด้วย ส่วนประกอบฟีนอลิกจะเกิดการรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่ ที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งเป็นการลดความรุนแรงของการเกิดสีน้ำตาลที่อาจเกิดขึ้นได้ (จิตรา ตระกูลนำเลื่อมใส, 2541)

2.1.4.6 สารระเหยในการเกิดกลิ่นของกล้วยขณะสุก

การเกิดกลิ่นของกล้วยขณะสุกเป็นผลมาจากการสร้างสารผสมของสาร ระเหยขึ้นซึ่งประกอบด้วยสารระเหยไม่ต่ำกว่า 350 ชนิดโดยการสังเคราะห์ที่เพิ่มขึ้นนี้จะเกิดขึ้น ในช่วงท้ายของ climacteric ซึ่งเกิดร่วมกับการเพิ่มของการหายใจการเปลี่ยนแปลงแป้ง น้ำตาล และการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อในผลกล้วยสุกมีสารที่ให้กลิ่นของกล้วยที่สำคัญได้แก่ Eugenol ใน กล้วยสุก (จิตรา ตระกูลนำเลื่อมใส, 2541) นอกจากนี้ยังมีสารระเหยชนิดอื่น ได้แก่ เอมีลอะซิเตต (Banana Oil) เอมีลบิวทิเรต อะซีทิลดีไฮด์ เอทธานอลและเมทธานอล (ชลิต เขาวงศ์ทอง, 2548)

2.1.4.7 การสูญเสียน้ำ

การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของน้ำหนักเนื้อและเปลือกขณะที่เกิดการสุก มีผลอย่างยิ่งต่อการทำให้สถานภาพของน้ำภายในผลเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยพบว่าสัดส่วนของน้ำหนักเพิ่มขึ้นในขณะที่เกิดการสุก ซึ่งเห็นได้ชัดเจนในพันธุ์ที่มีเปลือกบาง การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดจากการคายน้ำและจากความแตกต่างของแรงดันของเหลว จึงทำให้ปริมาณน้ำในเปลือกลดลง ในขณะที่เกิดการสุก (จิตรา ตระกูลนำเลื่อมใส, 2541)

2.1.4.8 อัตราการหายใจ

ผลกล้วยเป็นผลไม้ชนิดบ่มให้สุกได้ (Climacteric Fruit) จะมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นเมื่อผลกล้วยเริ่มสุก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกปล่อยออกมาเล็กน้อยในช่วงผลกล้วยแก่และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อผลกล้วยสุก หลังจากนั้นจะลดลง แต่การทดลองยังมีระดับสูงกว่าเมื่อเริ่มแรก อัตราการหายใจจะเพิ่มขึ้นประมาณ 2 - 5 เท่า ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและสิ่งแวดล้อม เช่น ส่วนประกอบของบรรยากาศ (ชลิต เขาวงศ์ทอง, 2548)

2.1.4.9 การสังเคราะห์โปรตีน

กล้วยสุกมีการสังเคราะห์โปรตีนขึ้นมาใหม่ ซึ่งโปรตีนส่วนใหญ่ทำหน้าที่เป็นเอนไซม์เร่งปฏิกิริยาทางเคมีที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสารต่างๆ ในกระบวนการสุก (ชลิต เขาวงศ์ทอง, 2548)

2.1.5.10 ไขมัน

ในผลกล้วยมีปริมาณไขมันต่ำ ระหว่างการเจริญเติบโตและการสุกของผลกล้วยไม่พบว่ามีปริมาณไขมันเปลี่ยนแปลง ปริมาณไขมันบางชนิดมีปริมาณไขมันเพิ่มขึ้น เช่น อะโวคาโต และผลไม้บางชนิดจะมีน้ำตาลหรือซีผึ้งเกิดขึ้นที่ผิวนอกของเปลือกด้วย เช่น มะม่วง (ชลิต เขาวงศ์ทอง, 2548)

2.2 แป้ง

กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2550) กล่าวว่า แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในพืชชั้นสูง พบในคลอโรพลาสต์ (ในใบ) และในส่วนที่พืชใช้เป็นแหล่งเก็บอาหาร บทบาทสำคัญของแป้งคือ ใช้เป็นแหล่งอาหารพลังงานสูงของมนุษย์และจากสมบัติเฉพาะของแป้งจึงได้มีการนำแป้งมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อปรับปรุงสมบัติของอาหารทำให้เกิดเจล ควบคุมความคงตัว และเนื้อสัมผัสของอาหารจำพวกซอส ซุป และน้ำปรุงรสอาหาร ป้องกันเนื้อสัมผัสของอาหารเสียรูปเนื่องจากกระบวนการแช่แข็งและคืนรูปจากการแช่เยือกแข็ง (Freeze Thaw) สภาวะกรด การทำพาสเจอร์ไรเซชัน (Pasteurization) และสเตอริไรเซชัน (Sterilization) เป็นต้น

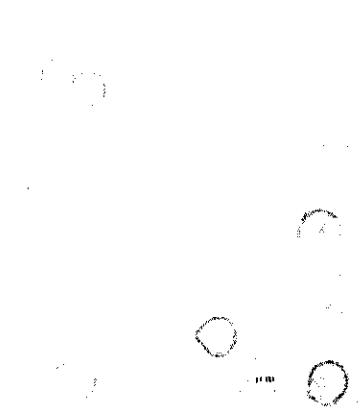
กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2550) กล่าวว่า แป้งหมายถึง คาร์โบไฮเดรตที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจนและออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่มีสิ่งอื่น เจือปน เช่น โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ น้อยมาก ส่วนแป้งที่ผลิตโดยทั่วไปยังมีส่วนประกอบอื่นๆ อยู่มาก เรียกว่า ฟลาว์ (Flour) ตัวอย่างเช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี เช่นเดียวกันกับแป้งข้าวเจ้าที่ยังมีโปรตีนร้อยละ 7 - 8 แต่เมื่อสิ่งเจือปนซึ่งหมายถึงโปรตีน ไขมัน เกลือแร่อื่นๆ ถูกสกัดออกไปจนเหลือแป้งบริสุทธิ์เป็นส่วนใหญ่จึงเรียกว่า แป้งสตาร์ช (Starch) เช่น Corn Starch, Wheat Starch เป็นต้น

นิธิยา รัตนานพนธ์ (2551) กล่าวว่า สตาร์ชเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลซูโครสและเป็นไฮโมพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่งที่พบมากในพืชที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสง พืชสะสมสตาร์ชไว้ตามส่วนต่างๆ เช่น หัว ราก เมล็ด ลำต้นและผล โดยรวมตัวกันอยู่เป็นเม็ดสตาร์ช ซึ่งสตาร์ชเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานสำคัญที่สุดแก่มนุษย์ สตาร์ชส่วนใหญ่ได้มาจากเมล็ดของธัญพืช เช่น ข้าวเจ้า ข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าวฟ่างและบางส่วนได้มาจากหัวและรากของพืช เช่น มันเทศ มันฝรั่งและมันสำปะหลัง เป็นต้น

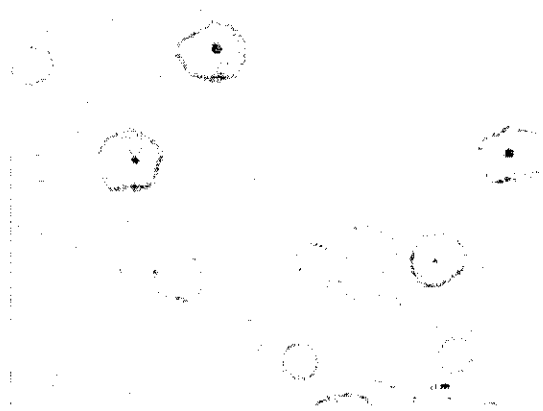
กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2550) กล่าวว่า การสังเคราะห์แป้งเกิดขึ้นในส่วนของพืชที่มีสีเขียว ซึ่งมีคลอโรฟิลล์ในการจับพลังงานจากแสงอาทิตย์ใช้คาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศและนำไปใช้ในการสร้างกลูโคสและออกซิเจน กระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) ระหว่างการสังเคราะห์แสงในเวลากลางวัน แป้งจะถูกเก็บไว้ที่ใบในรูปของเม็ดแป้งขนาด 1 ไมโครเมตร ในช่วงเวลากลางคืนแป้งจะถูกย่อยโดยเอนไซม์ได้เป็นน้ำตาลซูโครสและถูกส่งไปเก็บสะสมในรูปของแป้งที่ส่วนต่างๆ ของพืชเก็บไว้ในเมล็ด (ข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าวเจ้า ข้าวฟ่าง) เก็บในราก (มันสำปะหลัง) เก็บไว้ในหัว (มันฝรั่ง มันเทศ ท้าวยายม่อม) เก็บไว้ในลำต้น (สาธู สับปะรด) เป็นต้น

2.2.1 โครงสร้างการรวมตัวเป็นเม็ดแป้ง

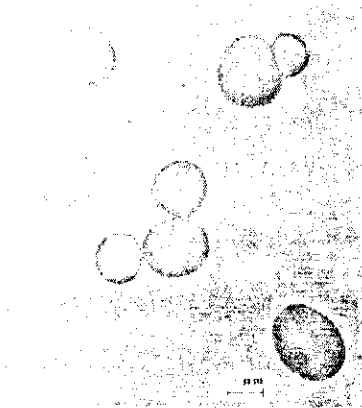
กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2550) กล่าวว่า แป้งที่พบในธรรมชาติพบอยู่ในรูปเม็ดแป้ง (granule) ขนาดเล็กโดยเมื่อตรวจลักษณะของเม็ดแป้งชนิดต่างๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา (ภาพ 1) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope) (ภาพ 2) พบว่า เม็ดแป้งจะมีขนาด รูปร่างและลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง



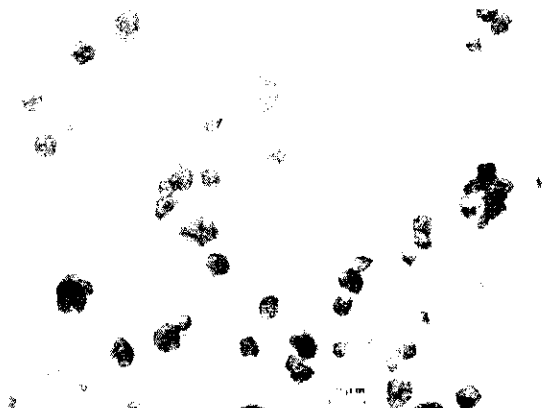
(ก) แป้งมันสำปะหลัง



(ข) แป้งข้าวโพด



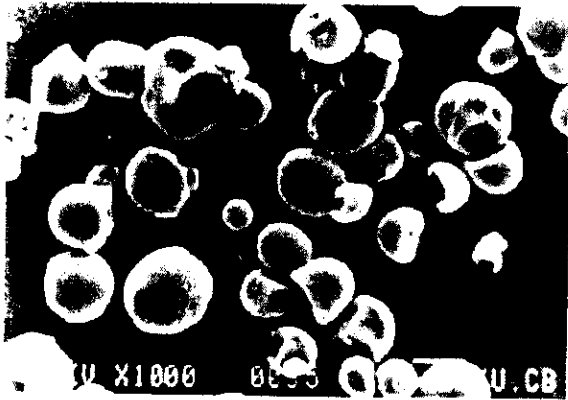
(ค) แป้งมันฝรั่ง



(ง) แป้งข้าวเจ้า

ภาพ 1 ขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้งชนิดต่างๆ เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ (กำลังขยาย 40 เท่า)

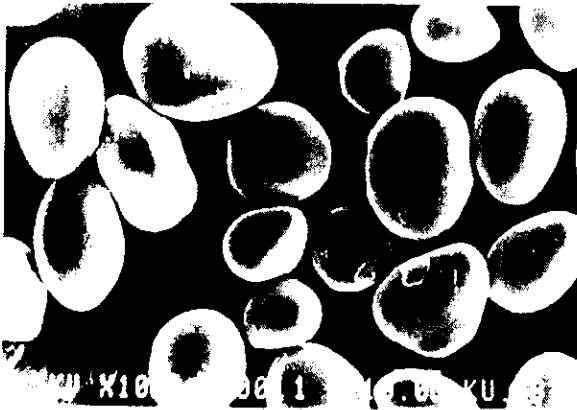
ที่มา : กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2550)



(ก) แป้งมันสำปะหลัง



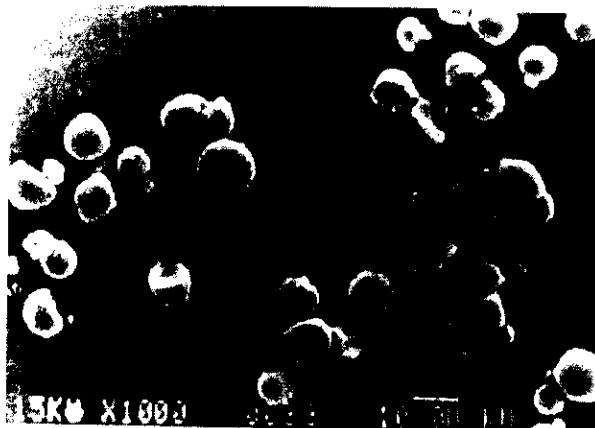
(ข) แป้งสาकु



(ค) แป้งสาकु



(ง) แป้งมันเทศ



(จ) แป้งเม็ดขนุน



(ฉ) แป้งข้าวเจ้า

ภาพ 2 ขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้งชนิดต่างๆ เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์

อิเล็กตรอนที่กำลังขยาย (ก)-(จ) 1,000 เท่า และ (ฉ) 3,000 เท่า

ที่มา : กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2550)

ขนาดและรูปร่างของเมล็ดแป้งชนิดต่างๆ แตกต่างกัน แป้งมันฝรั่งมีลักษณะเป็นรูปไข่ขนาดใหญ่ ถือได้ว่าใหญ่ที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งอุตสาหกรรมทั่วไปดังตาราง 2 ตาราง 2 ขนาดและรูปร่างของเมล็ดแป้งชนิดต่างๆ

| แหล่งแป้ง | ขนาด (ไมครอน) | รูปร่าง |
|----------------------|---------------|--|
| ข้าวสาลี | 2-35 | กลม ค่อนข้างรี |
| ข้าวโพด | 5-25 | กลมแบน มีหลายเหลี่ยม รูปร่างคล้ายแท่ง |
| ข้าวเจ้า | 3-5 | แบน มีเหลี่ยม |
| ข้าวบาร์เลย์ | 2-35 | กลม คล้ายไข่ |
| ข้าวฟ่าง | 15-35 | กลมแบนมีหลายเหลี่ยม |
| ข้าวโอต | 5-38 | กลมแบนมีหลายเหลี่ยม |
| ข้าวไรน์ | 10-50 | กลม ค่อนข้างรี |
| ลูกเดือย | 8-20 | กลมแบนมีหลายเหลี่ยม |
| ทริทีกัล (triticale) | 2-35 | กลม ค่อนข้างรี |
| มันฝรั่ง | 15-121 | กลม รูปไข่มีวงคล้ายเปลือกหอย |
| มันสำปะหลัง | 5-35 | กลม คล้ายไข่ที่มีรอยตัด |
| ท้าวยายม่อม | 13-70 | รูปไข่ |
| สาकु | 15-65 | รูปไข่ที่มีรอยตัด |

ที่มา : กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2550)

ปริมาณผลึกและโครงสร้างของแป้งแต่ละชนิด ซึ่งทั่วไปเมล็ดแป้งจะประกอบด้วยโมเลกุลของอะมิโลสและสายโซ่ยาวของอะมิโลเพกทิน เม็ดแป้งมีลักษณะโครงสร้างผลึก 3 แบบ ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นในการจัดเรียงตัวของโมเลกุลอะมิโลสและอะมิโลเพกทิน ถ้ามีการเรียงตัวหนาแน่นมากจะเกิดเป็นผลึกแบบ A (แป้งจากธัญพืชต่างๆ) ถ้าเรียงตัวกันหลวมๆ จะเกิดผลึกแบบ B (แป้งจากพืชหัว) ถ้าเกิดการเรียงตัวทั้งแบบ A และ B รวมกันจัดเป็นผลึกแบบ C (พืชจากตระกูลถั่ว) ดังตาราง 3

ตาราง 3 ปริมาณผลึกและโครงสร้างของแป้งแต่ละชนิด

| ชนิดแป้ง | ความเป็นผลึก (ร้อยละ) | อุณหภูมิการเกิดเจลลาทีในเซชัน (องศาเซลเซียส) | ปริมาณอะมิโลส (ร้อยละ) |
|------------------|--------------------------|---|---------------------------|
| โครงสร้าง A | | | |
| ข้าวโอ๊ต | 33 | 60.7 | 23 |
| ข้าวไรน์ | 34 | 61.3 | 26 |
| ข้าวสาลี | 36 | 63.5 | 23 |
| ข้าวเหนียว | 37 | 64.5 | nd |
| ข้าวฟ่าง | 37 | 72.2 | 25 |
| ข้าวเจ้า | 38 | 70.0 | 17 |
| ข้าวโพด | 40 | 71.3 | 27 |
| ข้าวเหนียว | 40 | 72.2 | 0 |
| เผือกแช่ชชื่น | 45 | 79.4 | 16 |
| อะมิโลเตกซ์ทริน | 48 | 88.5 | nd |
| โครงสร้าง B | | | |
| ข้าวโพดอะมิโลเมส | 15 - 22 | 86.0 | 55 - 75 |
| สาคุ | 26 | 70.5 | 28 |
| มันฝรั่ง | 28 | 67.3 | 22 |
| โครงสร้าง C | | | |
| มันเทศ | 38 | 70.0 | 20 |
| มันสำปะหลัง | 38 | 66.0 | 18 |

nd ไม่มีข้อมูล

ที่มา : กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2550)

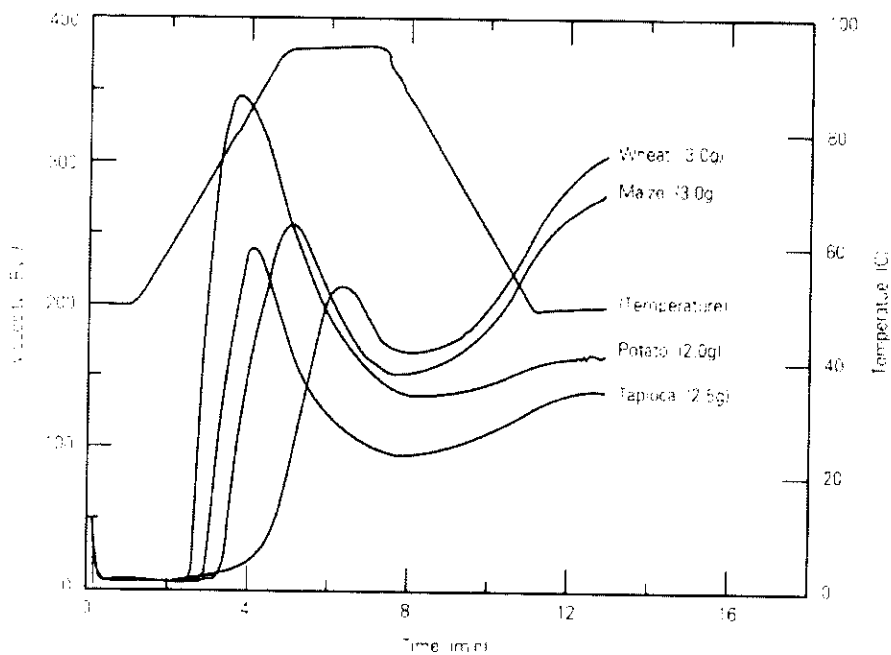
2.2.2 ความหนืด

2.2.2.1 ปัจจัยการเกิดความหนืด

กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2550) กล่าวว่า ความหนืดเป็นสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญของแป้ง เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความหนืดของแป้ง ได้แก่ ชนิดของแป้งและการดัดแปรแป้งด้วยวิธีต่างๆ

1. ชนิดของแป้ง

แป้งแต่ละชนิดมีสมบัติความหนืดแตกต่างกันไป ความหนืดที่เกิดขึ้นของน้ำแป้ง เมื่อให้ความร้อนและมีการกวนหรือคนอย่างสม่ำเสมอ จากอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ไปถึง 95 องศาเซลเซียส และคงที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2.5 นาที จึงลดอุณหภูมิลงเป็น 50 องศาเซลเซียส อีกครั้ง จะเห็นว่าแป้งแต่ละชนิดจะให้ลักษณะ (Profile) ของความหนืดแตกต่างกัน โดยวัดจากเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (Rapid Visco Analyzer, RVA) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งแต่ละชนิดแสดงดังภาพ 3 ส่วนเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็วแสดงดังภาพ 4



ภาพ 3 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวสาลี แป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง และแป้งมันสำปะหลัง

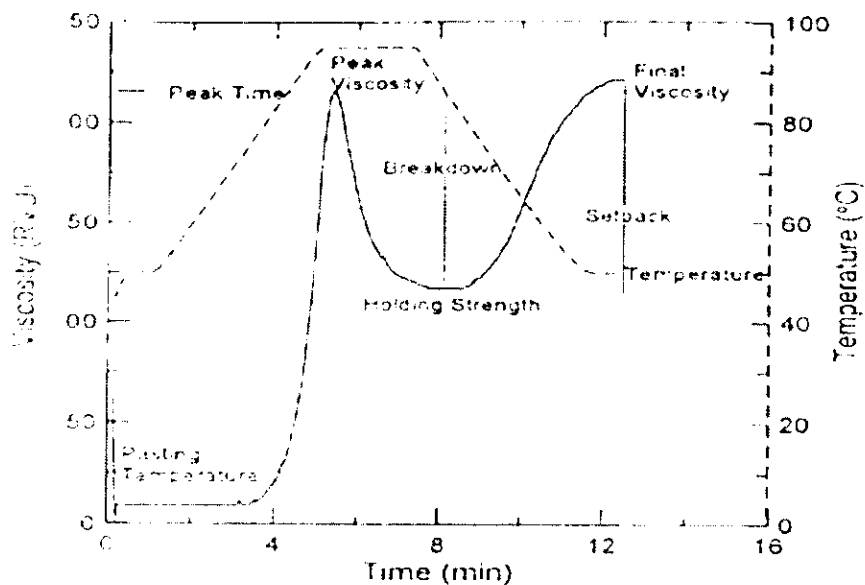
ที่มา : กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2550)



ภาพ 4 เครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA)

ที่มา : ดุษฎี อุตภาพ และน้องนุช เจริญกุล (2551)

ดุษฎี อุตภาพ และน้องนุช เจริญกุล (2551) กล่าวว่า Rapid Visco Analyzer (RVA) เป็นเครื่องมือสำหรับประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่จะต้องพิจารณาความหนืดขณะที่ให้ความร้อน คุณสมบัติพิเศษคือ มีความสามารถในการเปลี่ยนระดับอุณหภูมิ สามารถทำให้ร้อนและเย็นได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว สามารถรักษาอุณหภูมิให้คงที่ได้จึงทำให้สามารถหาลักษณะการเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting Curve) ได้ภายในเวลาสั้น (13 นาที) เนื่องจากมีกลไกการส่งผ่านความร้อนที่ใช้ปริมาณตัวอย่างน้อย กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA แสดงดังภาพ 5



ภาพ 5 กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA

ที่มา : ดุษฎี อุตภาพ และน้องนุช เจริญกุล (2551)

ค่าที่เครื่องแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ ในหน่วยร้อยละ หรือ RVU ดังนี้

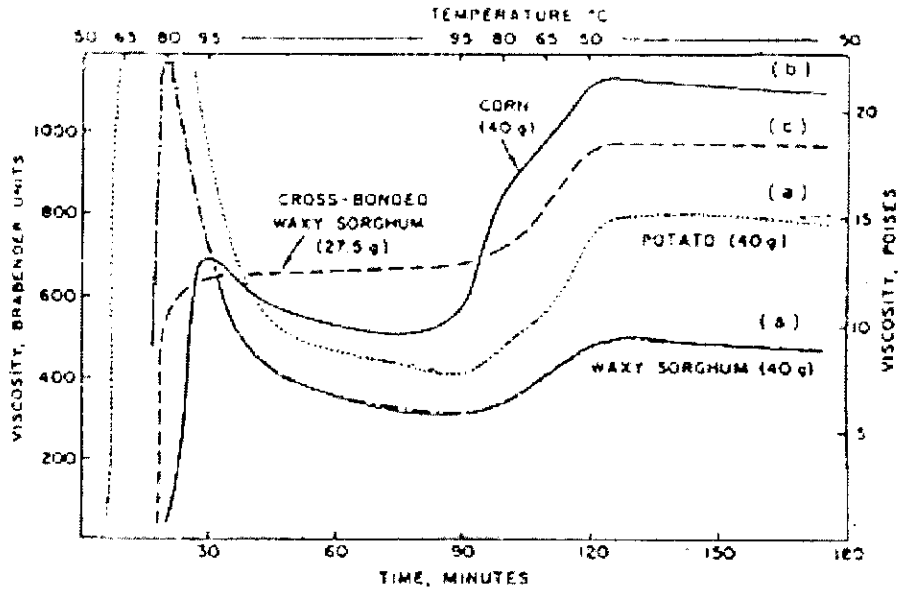
- (1) Peak Time : เวลาที่เกิดจุดสูงสุด (Peak) ของความหนืด มีหน่วยเป็นนาที
- (2) Pasting Temperature : อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด หรือมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้น 2 RVU ในเวลา 20 วินาที มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส
- (3) Peak Temperature : อุณหภูมิที่เกิดจุดสูงสุด (Peak) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส
- (4) Peak Viscosity : ความหนืดที่จุดสูงสุด มีหน่วยเป็น RVU
- (5) Holding Strength : ความหนืดที่ต่ำที่สุดระหว่างการทำเย็น มีหน่วยเป็น RVU
- (6) Breakdown : ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็น RVU
- (7) Final Viscosity : ความหนืดสุดท้ายของการทดลอง มีหน่วยเป็น RVU
- (8) Setback From Peak : ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดที่จุดสูงสุด (Peak) มีหน่วยเป็น RVU
- (9) Setback From Trough : ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็น RVU

ตาราง 4 สมบัติความหนืดของแป้งแต่ละชนิดเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA

| แป้ง | Pasting Temperature | Peak Viscosity | Breakdown | Setback | Paste type | Paste clarity |
|------------------------|---------------------|----------------|-----------------|-----------------|------------|---------------|
| ข้าวสาลี | 52-65 | ต่ำ | ต่ำ/ ปานกลาง | ปานกลาง | สั้น | ทึบแสง |
| ข้าวโพด | 62-72 | ปานกลาง | ปานกลาง | สูง | สั้น | ทึบแสง |
| ข้าวโพดข้าว- เหนียว | 63-72 | สูง | สูง | ต่ำ | ยาว | โปร่งแสง |
| ข้าวฟ่าง | 68-78 | ปานกลาง | ปานกลาง | สูง | สั้น | ทึบแสง |
| ข้าวเจ้า | 61-78 | ปานกลาง | ต่ำ/สูง | ปานกลาง/ สูง | สั้น | ทึบแสง |
| มันสำปะหลัง | 50-68 | สูง | สูง | ต่ำ | ยาว | โปร่งแสง |
| มันฝรั่ง | 56-69 | สูง | สูง | ปานกลาง | ยาว | โปร่งแสง |
| สาเก | 60-72 | สูง | สูง | ต่ำ | ยาว | โปร่งแสง |

ที่มา : ดุษฎี อุตภาพ และน้องนุช เจริญกุล (2551)

ดุษฎี อุตภาพ และน้องนุช เจริญกุล (2551) รายงานว่าจากการแบ่งประเภทของแป้ง ตามกราฟแสดงความหนืด ตามวิธีของ Schoch และ Maywald (1968) สามารถแบ่งรูปความหนืดของแป้งสุกที่วัดด้วยเครื่อง Brabender Viscoamylograph ตามกำลังการพองตัวของแป้ง แบ่งเป็น 4 แบบ แสดงดังภาพ 6



ภาพ 6 รูปแบบความหนืดของแป้งสุกชนิดต่างๆ เมื่อแบ่งตามกำลังการพองตัว
ที่มา : ดุษฎี อุตภาพ และน้องนุช เจริญกุล (2551)

- แบบ a ลักษณะของกราฟที่ได้จากเม็ดแป้งที่มีการพองตัวสูง (High-Swelling Starches) ได้แก่ แป้งมันฝรั่ง (Potato Starch) แป้งข้าวฟ่าง (Waxy Sorghum Starch) แป้งจากธัญพืช เมื่อให้ความร้อนแก่แป้ง เม็ดแป้งจะมีการพองตัวสูง ทำให้แรงที่ยึดกันภายในโมเลกุลอ่อนตัวลง เม็ดแป้งจะกระจายตัวออกเมื่อได้รับแรงเฉือน ลักษณะกราฟของความหนืดจึงสูงขึ้นแล้วลดลงอย่างรวดเร็วระหว่างการต้มสุก

- แบบ b กราฟของเม็ดแป้งที่มีการพองตัวปานกลาง (Moderate-Swelling Starches) ได้แก่ แป้งจากธัญพืชต่างๆ เม็ดแป้งไม่พองตัวมากถึงขั้นกระจายตัวออก จึงได้ลักษณะกราฟความหนืดจึงสูงขึ้นน้อยกว่า และเกิดการสลายตัวระหว่างการต้มสุกน้อยกว่า

- แบบ c กราฟของเม็ดแป้งที่มีการพองตัวจำกัด (Restricted-Swelling Starches) ได้แก่ แป้งถั่วต่างๆ และแป้งครอสลิงหรือพันธะข้าม (Cross-Linked หรือ Cross-Bonded) วิธีครอสลิงทำให้การพองตัวและการละลายของเม็ดแป้งลดลง ทำให้เม็ดแป้งที่พองตัวมีเสถียรภาพมากขึ้น ลักษณะกราฟของความหนืดจึงไม่ปรากฏเป็นยอดสูงสุด มีค่าความหนืดสูงซึ่งอาจจะคงที่หรือเพิ่มขึ้นระหว่างการต้มสุก

- แบบ d กราฟของเม็ดแป้งที่มีการพองตัวน้อยมาก (Highly-Restricted Swelling Starches) ได้แก่ แป้งที่มีปริมาณอะมิโลสสูง เช่น แป้งข้าวโพดที่มีปริมาณอะมิโลสร้อยละ 55-80 (ไม่มีแสดงในภาพ)

2. การดัดแปร

การดัดแปรโดยวิธีทางกายภาพ เช่น สตาร์ชพรีเจลาทีไนซ์ (Pregelatinized Starch) สามารถกระจายตัวในน้ำเย็นหรือที่อุณหภูมิห้อง ให้ความหนืดได้ทันที เหมาะสมในการนำมาใช้ผลิตอาหารที่ไม่ต้องให้ความร้อน เช่น ขนมพุดดิ้ง น้ำเกรวี่ ซอส และไส้กึ่งสำเร็จรูปสำหรับอาหารประเภทพาย หรือครีมหน้าขนมต่าง ๆ

การดัดแปรด้วยกรดหรือดิวซ์ทรีไนเซชัน ให้ความหนืดขณะร้อนต่ำกว่าแป้งดิบ เจลที่ได้จะมีลักษณะใสและแข็งกว่าแป้งดิบ ใช้สำหรับผลิตลูกกวาด ทอฟฟี่

การดัดแปรแป้งด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน (Esterification) ได้แก่ แป้งเอสเทอร์ เช่น สตาร์ชแอซีเทต (Starch Acetate) และสตาร์ชฟอสเฟตโมโนเอสเทอร์ (Starch Phosphate Monoester) ซึ่งมีความหนืดสูงกว่าแป้งดิบและคงความหนืดไว้ได้ดี มีอุณหภูมิที่เกิดความหนืด (Pasting Temperature) ต่ำกว่าแป้งดิบ ลักษณะเจลใส คงตัวต่ออุณหภูมิต่ำในสภาวะการคั้นรูปจากการแช่เยือกแข็ง เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็ง หรืออาหารที่ต้องการความข้นหนืดและต้องเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำในระหว่างการขนส่งและการเก็บรักษา

การดัดแปรโดยวิธีครอสลิงกิง (Cross-Linking) แป้งที่ได้สามารถรักษาความหนืดไว้ได้ที่อุณหภูมิสูง เหมาะสมสำหรับใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋อง ซึ่งต้องการความหนืดต่ำในช่วงแรกเพื่อให้เกิดการนำความร้อนในกระป๋องเป็นไปอย่างรวดเร็วและใช้เวลาในการทำละลายเชื้อจุลินทรีย์น้อยลงผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความหนืดตามต้องการเมื่อเย็นลง

2.2.2.2 การเกิดเจลาทีไนเซชัน

กลัคนรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2550) โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl Groups) จำนวนมาก ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) แต่เนื่องจากเม็ดแป้งอยู่ในรูปของร่างแห (Micelles) ดังนั้น การจัดเรียงตัวลักษณะนี้จะทำให้เม็ดแป้งละลายในน้ำเย็นได้ยาก ดังนั้นในขณะที่แป้งอยู่ในน้ำเย็น เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย แต่เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายน้ำแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำแล้วพองตัว ส่วนผสมของน้ำแป้งจะมีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลืออยู่รอบๆ เม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น ทำให้เกิดความหนืด ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดเจลาทีไนเซชัน (Gelatinization) อุณหภูมิที่สารละลายเริ่มเกิดความหนืดเรียกว่า อุณหภูมิเริ่มเจลาทีไนซ์เมื่อตรวจวัดโดยเครื่องมือวัดความหนืด มักเรียกจุดนี้ว่า อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting Temperature) หรือเวลาที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting Time) ซึ่งจะแตกต่างกัน

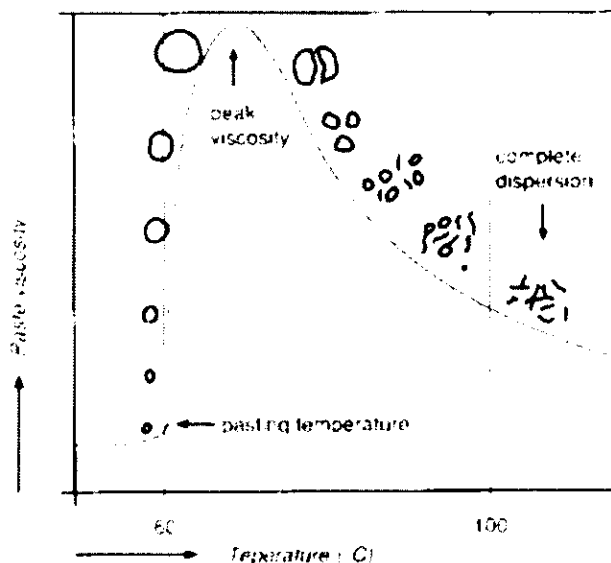
กันในแป้งแต่ละชนิด แป้งจากพืชหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่งจะมีอุณหภูมิเริ่มเจลาทีไนซ์ต่ำกว่าอุณหภูมิจากแป้งธัญพืช

ศุขยง อุตภาพ และน้องนุช เจริญกุล (2551) กล่าวว่า การเกิดเจลาทีไนเซชันของเม็ดแป้งแบ่งได้ 3 ระยะ (ดังภาพ 7) ดังนี้

ระยะที่ 1 เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเย็นได้อย่างจำกัดและเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เนื่องจากร่างแหระหว่างไมเซลล์ (Micelles) ยึดหยุ่นได้จำกัด ความหนืดของสารแขวนลอยจะไม่เพิ่มขึ้นจนเห็นได้ชัดเจน เม็ดแป้งยังคงรักษารูปร่างและโครงสร้าง เมื่อใส่สารเคมีหรือเพิ่มอุณหภูมิให้สารละลายน้ำแป้งจนถึงประมาณ 65 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิที่แท้จริงขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง) เมื่อเริ่มเข้าสู่ระยะที่ 2

ระยะที่ 2 เม็ดแป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็ว ร่างแหระหว่างไมเซลล์ภายในเม็ดแป้งจะอ่อนแอลง เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเข้ามามากและเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ เรียกว่าการเกิดเจลาทีไนเซชัน เม็ดแป้งมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและโครงสร้าง ความหนืดของสารละลายน้ำแป้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แป้งที่ละลายได้จะเริ่มละลายออกมา ซึ่งถ้าเหวี่ยงแยกส่วนใสและหยดสารละลายไอโอดีนลงในส่วนใสจะเกิดสีน้ำเงินขึ้น เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิต่อไปอีกจนเข้าสู่ระยะที่ 3

ระยะที่ 3 รูปร่างเม็ดแป้งจะไม่แน่นอน การละลายของแป้งจะเพิ่มขึ้น เมื่อนำไปทำให้เย็นจะเกิดเจล การเกิดเจลาทีไนเซชันของแป้งจะทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของแป้งสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆ ได้ดีขึ้น รวมทั้งพร้อมที่จะถูกย่อยด้วยน้ำย่อยต่างๆ ได้ดีกว่า

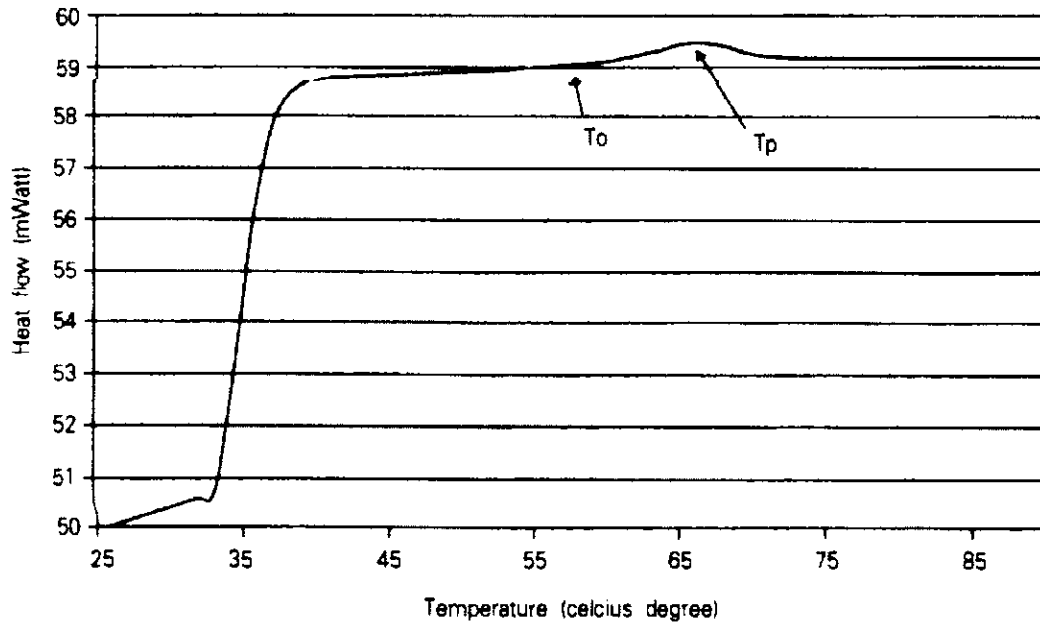


ภาพ 7 ระยะในการเกิดเจลาทีไนเซชันของเม็ดแป้ง

ที่มา : ศุขยง อุตภาพ และน้องนุช เจริญกุล (2551)

ศุภฎี อุดภาพ และน้องนุช เจริญกุล (2551) กล่าวว่า ความหนืดสูงสุดของสารละลายแป้งในระหว่างเจลาทีไนซ์จะแปรเปลี่ยนไปตามชนิดของแป้ง แป้งมันฝรั่งจะมีความหนืดสูง (Peak Viscosity) สูงที่สุด และมีความสามารถในการทำให้ข้นหนืด (Thickening Power) สูง ในขณะที่แป้งข้าวโพดและแป้งสาลีจะมีความหนืดสูงสุดต่ำ เนื่องจากเม็ดแป้งมีกำลังการพองตัวอยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณอะมิโลสและไขมันนอกจากนี้ระดับอุณหภูมิในการเกิดเจลาทีไนเซชันจะแตกต่างกันไปตามชนิดและองค์ประกอบของแป้ง เช่น ปริมาณไขมัน สัดส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพกทิน การจัดเรียงตัวและขนาดของเม็ดแป้ง เนื่องจากการจัดเรียงตัวของอะมิโลสและอะมิโลเพกทินภายในเม็ดแป้งมีความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอกันทำให้เม็ดแป้งมีขนาดต่างกัน แป้งชนิดต่างๆ มีลักษณะการเกิดเจลที่ต่างกันไป

กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2550) กล่าวว่า การเกิดเจลาทีไนซ์ไม่ได้เกิดเฉพาะอุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่ง แต่เกิดเป็นช่วงอุณหภูมิประมาณ 8 - 12 องศาเซลเซียส การตรวจสอบกระบวนการเจลาทีไนเซชันนอกจากการใช้การสังเกตการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เช่น Kolfer Gelatinization Temperature Range แล้วสามารถตรวจสอบโดยเครื่องมือที่วัดและบันทึกปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการซึ่งเครื่องมือที่นิยมในปัจจุบันนี้คือเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) ที่ใช้วัดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพหรือทางเคมีของวัสดุในรูปฟังก์ชันกับอุณหภูมิ ปกติพอลิเมอร์ต่างๆ ในรูปผลึกและอสัณฐานจะมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะได้เมื่อได้รับความร้อน แป้งก็เช่นเดียวกันในสภาพที่มีน้ำน้อย เมื่อให้ความร้อนจะมีอุณหภูมิหลอมละลาย (T_m) ที่สูงมาก กล่าวคือในช่วงของ 160 - 200 องศาเซลเซียส แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมากขึ้น อุณหภูมิของการหลอมละลายก็จะลดลง เมื่อปริมาณน้ำมีประมาณ 70 ส่วนหรือมากกว่าการหลอมละลายก็คือการเกิดเจลาทีไนเซชัน ช่วงของอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลง (Onset Temperature) และอุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงสูงสุด (Peak temperature) ของความร้อน คือช่วงอุณหภูมิของเจลาทีไนเซชัน สำหรับการวัดลักษณะของการเกิดเจลาทีไนเซชันของแป้งโดยใช้เครื่อง DSC จึงทำได้โดยการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างสารผสมแป้งกับน้ำในอัตรา 30/70 จนถึงอุณหภูมิที่คาดว่าเลยช่วงในการเกิดเจลาทีไนเซชันจะได้ Thermogram ซึ่งเป็นกราฟระหว่าง heat flow และอุณหภูมิ พลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลาทีไนเซชัน ได้จากพื้นที่ใต้กราฟหารด้วยน้ำหนักแป้งตัวอย่าง ตัวอย่างกราฟที่ได้จากเครื่อง DSC แสดงได้ดังภาพ 8 แป้งแต่ละชนิดจะมีช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาทีไนเซชันต่างกันดังตาราง 5



ภาพ 8 กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC ของสารผสม
 แป้งมันสำปะหลังกับน้ำ (30:70) (T_o = Onset Temperature, T_p = Peak Temperature
 ที่มา : กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2550)

ตาราง 5 ช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลลาทีโนเซชันของแป้งชนิดต่างๆ ที่มีน้ำอยู่มากพอโดยใช้
 DSC (DSC Gelatinization Temperature Ranges) ซึ่งจะเป็นค่าระหว่างเริ่มต้น (T_o)
 ถึงสูงสุด (T_p)

| แป้ง | อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) |
|-----------------------|-------------------------|
| แป้งข้าวโพด | 70 - 89 |
| แป้งมันฝรั่ง | 57 - 87 |
| แป้งสาลี | 50 - 86 |
| แป้งมันสำปะหลัง | 68 - 92 |
| แป้งข้าวโพดข้าวเหนียว | 68 - 90 |

ที่มา : กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2550)

2.2.2.3 การเกิดรีโทรเกรเดชัน

กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2550) กล่าวว่า เมื่อแป้ง
 ได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลลาทีโนเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไป จะทำให้เม็ดแป้ง
 พองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะมิโลสขนาดเล็กจะกระจัด
 กระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัว โมเลกุลอะมิโลสที่อยู่ใกล้กันจะ

เกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติ โครงสร้างใหม่สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการตูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียว คล้ายฟิล์มหรือผลึก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) หรือการคืนตัว (Setback) เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงไปอีกลักษณะการเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมาออกเจล ซึ่งเรียกว่า Syneresis ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้จะทำให้เจลมีลักษณะขาวขุ่นและมีความหนืดเพิ่มขึ้น

การคืนตัวของแป้งเปียกและสารละลายแป้งทำให้สารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้น มีลักษณะขุ่นและทึบแสงเกิดขึ้น ส่วนที่ไม่ละลายในแป้งเปียกที่ร้อนเกิดการตกตะกอนของอนุภาคแป้งที่ไม่ละลาย ทำให้เกิดเจลและโมเลกุลน้ำถูกบีบออกมาออกเจล ในการคืนตัวของแป้งเมื่อเกิดขึ้นอย่างช้าๆ จะเกิดการตกตะกอน เมื่อเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะทำให้เกิดเจลขุ่น (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550)

การคืนตัวของแป้งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ชนิดของแป้ง ความเข้มข้นของแป้ง กระบวนการให้ความร้อน กระบวนการให้ความเย็น อุณหภูมิ ระยะเวลา ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำและความเข้มข้นของแป้งสูง แป้งสามารถคืนตัวได้ดี ในช่วงค่าความเป็นกรดต่าง 5 - 7 แป้งสามารถคืนตัวได้เร็วที่สุด สำหรับค่าความเป็นกรด-ด่างที่สูงหรือต่ำกว่านี้แป้งจะคืนตัวได้ช้าลง ในการชะลอการคืนตัวของแป้งจะใช้เกลือที่มีประจุลบและบวก (Monovalent Anion และ Cation) แคลเซียมไนเตรท (Calcium Nitrate) และยูเรีย (Urea) (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550)

ปริมาณและขนาดของอะมิโลสมีความสำคัญต่อการคืนตัวของแป้ง แป้งที่มีปริมาณอะมิโลสสูงจะเกิดการคืนตัวได้มากและเร็วกว่าแป้งที่มีปริมาณอะมิโลเพกทินสูง อัตราในการคืนตัวจะสูงสุด (การละลายต่ำที่สุด) เมื่อขนาดโมเลกุล (Degree Of Polymerization) ของอะมิโลสเท่ากับ 100 - 200 อัตราการคืนตัวจะลดลงเมื่อโมเลกุลของอะมิโลสยาวหรือสั้นกว่านี้ ในการทำให้อะมิโลสที่คืนตัวกลับมาละลายได้อีกครั้งหนึ่งต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 100 - 160 องศาเซลเซียส อะมิโลเพกทินมีผลทำให้เกิดการคืนตัวน้อยมาก ดังนั้นแป้งแต่ละชนิดจะมีอัตราการคืนตัวที่แตกต่างกัน ในแป้งข้าวโพดข้าวเหนียวมีอัตราการคืนตัวของแป้งต่ำที่สุด เนื่องจากไม่มีอะมิโลส สำหรับแป้งข้าวโพดและแป้งสาลีมีอัตราการคืนตัวสูงกว่าแป้งมันฝรั่ง แป้งสาลีมีอัตราการคืนตัวสูงกว่าแป้งมันฝรั่ง แป้งมันสำปะหลัง เนื่องจากในแป้งธัญพืชมีปริมาณอะมิโลสสูง (ประมาณร้อยละ 28) มีอะมิโลสโมเลกุลเล็กและมีไขมันในปริมาณสูงทำให้เกิดการจับตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของอะมิโลสและไขมัน (Amylose-Lipid Complex) อัตราการคืนตัวของแป้งแต่ละชนิดดังตาราง 6 (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550)

ตาราง 6 อัตราการคืนตัวของแป้งแต่ละชนิด

| ชนิดของแป้ง | ร้อยละการตกตะกอนของส่วนที่ไม่ละลาย | | |
|-------------------|------------------------------------|--------|--------|
| | 5 วัน | 10 วัน | 30 วัน |
| แป้งมันฝรั่ง | 10 | 15 | 20 |
| แป้งข้าวโพด | 37 | 48 | 62 |
| แป้งสาลี | 45 | 48 | 52 |
| แป้งมันสำปะหลัง | 11 | 12 | 13 |
| แป้งข้าวโพดเหนียว | 0.2 | 0.5 | 1 |

ที่มา : กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2550)

กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2550) กล่าวว่า การตรวจสอบความสามารถในการเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) ของแป้งแต่ละชนิดอาจประมาณได้จากค่าการคืนตัว (Setback) ของแป้ง ซึ่งเป็นค่าผลต่างระหว่างความหนืดสุดท้ายกับความหนืดสูงสุด (Setback From Peak) หรือความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (Setback From Trough) โดยเครื่อง Brabender หรือ Rapid Visco Analyzer นอกจากนี้การเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งสามารถวัดได้โดยการใช้เครื่อง DSC โดยนำแป้งดิบไปหาค่าพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลาทีในเซชัน

2.2.3 ชนิดของแป้ง

2.2.3.1 แป้งสาลี

จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล (2552) กล่าวว่า แป้งสาลีเป็นแป้งที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ทุกชนิด ไม่มีแป้งชนิดอื่นที่ใช้แทนแป้งสาลีได้ ทั้งนี้เพราะแป้งสาลีมีโปรตีน 2 ชนิด ที่รวมกันอยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสมคือ กลูเตนิน (Glutenin) และไกลอะดีน (Gliadin) ซึ่งเมื่อแป้งผสมกับน้ำในอัตราส่วนที่ถูกต้องจะทำให้เกิดกลูเตน (Gluten) มีลักษณะเป็นยางเหนียว ยืดหยุ่นได้ กลูเตนนี้จะเป็นตัวเก็บก๊าซไว้ทำให้เกิดโครงสร้างที่จำเป็นของผลิตภัณฑ์และจะเป็นโครงสร้างแบบฟองน้ำเมื่อได้รับความร้อนจากตู้อบ

ข้าวสาลีที่นำมาไม่เป็นแป้งสาลี แบ่งเป็น 2 ประเภทตามความแข็งและสีของเมล็ดจัดเป็นข้าวสาลีชนิดแข็ง (Hard Wheat) กับข้าวสาลีชนิดอ่อน (Soft Wheat) (จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2552)

ข้าวสาลีชนิดแข็ง เมื่อนำมาโม่จะได้แป้งสาลีชนิดแข็ง ซึ่งเป็นแป้งที่มีโปรตีนสูงเหมาะสำหรับใช้ในการทำผลิตภัณฑ์พวกขนมปัง แป้งชนิดนี้มีโปรตีนที่มีคุณภาพดี

สามารถนวดผสมให้ได้ก่อนแบ่งที่มีความยืดหยุ่นดี ทนต่อสภาพการผสม การหมัก อุณหภูมิห้องและเครื่องผสม มีสมบัติในการอุ่มก๊าซที่ดี ซึ่งเป็นผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาตรดีด้วย มีรูและเนื้อสัมผัสที่ดี ก้อนโดที่ทำจากส่วนผสมของแป้งสาลีชนิดแข็งมีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้ดี (จิตธนา แจ่มเมฆ, อรอนงค์ นัยวิกุล, และปริศนา สุวรรณภรณ์, 2549)

ข้าวสาลีชนิดอ่อน เมื่อนำมาไม่จะได้แป้งสาลีชนิดอ่อนซึ่งมีโปรตีนต่ำ แป้งมีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้ต่ำกว่าแป้งชนิดแข็ง มีความทนทานต่อการผสมและการหมักต่ำไม่เหมาะสมในการทำขนมปังเพราะแป้งไม่สามารถนวดผสมให้เป็นก้อนโดได้ แต่เหมาะสำหรับใช้ทำผลิตภัณฑ์ขนมเค้กและคุกกี้ (จิตธนา แจ่มเมฆ, อรอนงค์ นัยวิกุล, และปริศนา สุวรรณภรณ์, 2549)

สำหรับแป้งสาลีชนิดทำขนมปังมีโปรตีนสูงถึงร้อยละ 12 - 14 ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพดี ไม่จากข้าวสาลีชนิดแข็งพวก Hard Red Spring หรือ Hard Red Winter ซึ่งเป็น ข้าวสาลีที่มีโปรตีนสูงและมีเถ้าร้อยละ 0.4 แป้งขนมปังควรมีการดูดซึมน้ำได้สูงและมีความทนทานต่อการผสมได้ดี หมายถึง สามารถยืดเวลาการผสมได้โดยที่กลูเตนไม่ฉีกขาด ใช้ทำผลิตภัณฑ์พวกขนมปังจืด ขนมปังหวานและผลิตภัณฑ์ที่ใช้หมักด้วยยีสต์ทุกชนิด ลักษณะของแป้งชนิดนี้ คือ เมื่อถูด้วยมือจะรู้สึกกระคายมือคล้ายมีกรวดหรือหยาบเหมือนทราย มีสีครีม เมื่อกดนิ้วลงไปบนแป้ง แป้งจะไม่เกาะตัวกัน แป้งชนิดนี้ใช้ยีสต์เป็นตัวที่ทำให้ขึ้นฟู (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550)

จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล (2552) กล่าวว่าแป้งสาลีที่ผลิตออกมาขายเพื่อการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่นั้นมี 3 ชนิดที่สำคัญคือ แป้งขนมปัง แป้งเค้กและแป้งอเนกประสงค์ ซึ่งแต่ละชนิดมีสมบัติและคุณลักษณะ รวมถึงการใช้ประโยชน์ต่างกันคือ

ก. แป้งขนมปัง มีโปรตีนสูงร้อยละ 12 - 14 ไม่จากข้าวสาลีชนิดแข็งพวก Hard Red Spring หรือ Hard Red Winter เป็นข้าวสาลีที่มีร้อยละของโปรตีนสูง ใช้ทำผลิตภัณฑ์พวกขนมปังจืด ขนมปังหวาน และผลิตภัณฑ์ที่ใช้หมักด้วยยีสต์ทุกชนิด ลักษณะของแป้งชนิดนี้คือ เมื่อถูด้วยมือจะรู้สึกคายมือคล้ายกรวด หรือหยาบเหมือนทราย มีสีครีม ไม่ขาว เมื่อกดนิ้วลงไปบนแป้ง แป้งจะไม่เกาะตัวกัน แป้งชนิดนี้ใช้ยีสต์ในการทำให้ขึ้นฟู

ข. แป้งอเนกประสงค์ มีโปรตีนสูงปานกลางร้อยละ 10 - 11 เป็นแป้งที่ได้จากการผสมข้าวสาลีชนิดแข็งกับชนิดอ่อนเข้าด้วยกันในสัดส่วนที่เหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น ขนมปังจืดและหวาน ขนมเค้กบางชนิด ปาท่องโก๋ บะหมี่ เพสตรี ใช้เวลาในการนวดแป้งน้อยกว่าขนมปัง ลักษณะของแป้งชนิดนี้จะมีลักษณะของแป้งขนมปังและแป้งเค้กรวมกัน สารที่ทำให้ขึ้นฟูสำหรับแป้งชนิดนี้สามารถใช้ได้ทั้งยีสต์และผงฟู

ค. แป้งเค้ก มีโปรตีนต่ำประมาณร้อยละ 7 - 9 ไม่จากข้าวสาลีชนิดอ่อนพวก Soft Wheat และ Soft Red Wheat ใช้ทำเค้ก คุกกี้ ลักษณะของแป้งเมื่อถูด้วยนิ้วมือจะรู้สึกอ่อนนุ่มเนียนละเอียด มีสีขาวกว่าแป้ง 2 ชนิดแรก เมื่อกดนิ้วลงไปบนแป้ง แป้งจะ

เกาะรวมกันเป็นก้อนและคงรอยนิ้วมือไว้ แบ่งชนิดนี้ใช้สารเคมีช่วยทำให้ขึ้นฟูเท่านั้น ไม่ใช่ยีสต์ ซึ่งสารเคมีก็ได้แก่ ผงฟู

1. องค์ประกอบของแป้งสาลี

จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล (2552) กล่าวว่าแป้งสาลีที่ได้จากการไม่โดยแยกส่วนของแป้งในเอนโดสเปิร์มออกมาแล้ว จะประกอบด้วยองค์ประกอบต่างๆ โดยเฉลี่ยดังนี้ คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 70 โปรตีนร้อยละ 11.5 น้ำตาลร้อยละ 1 ความชื้นร้อยละ 1.5 แร่ธาตุ (ถ้ามี) ร้อยละ 0.4 ไขมันร้อยละ 1 และอื่นๆ ร้อยละ 2 ดังได้กล่าวแล้วว่าแป้งสาลีนั้นมีสมบัติเฉพาะที่ไม่เหมือนกับแป้งชนิดอื่น คือ ในแป้งสาลีประกอบด้วยโปรตีนซึ่งเมื่อผสมกับน้ำหรือของเหลวชนิดอื่นแล้วจะได้กลูเตน ซึ่งเป็นสารที่มีลักษณะเหนียว เป็นยางและยืดหยุ่นได้ กลูเตนประกอบด้วยกลูเตนินและไกลอะติน ในอัตราส่วนเท่าๆ กัน กลูเตนินจะทำให้โดหรือก้อนแป้งผสมมีกำลังที่จะอุ้มก๊าซที่ขึ้นฟูไว้ได้ ซึ่งเป็นโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ส่วนไกลอะตินนั้นทำให้กลูเตนมีสมบัติในการยืดตัวและยืดหยุ่นได้ นั่นคือกลูเตนินให้ความแข็งแรงตัวกับกลูเตนส่วนไกลอะตินซึ่งเป็นสารที่อ่อนและเหนียวจะเป็นตัวเชื่อม ดังนั้นไกลอะตินจะติดอยู่กับกลูเตนินและป้องกันไม่ให้กลูเตนินถูกล้างออกไปในกระบวนการสกัดกลูเตน

2. คุณลักษณะของแป้งสาลี

จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล (2552) กล่าวว่า เพื่อที่จะทำผลิตภัณฑ์ให้ได้ผลดี ควรใช้แป้งที่มีลักษณะดังต่อไปนี้

2.1 สีของแป้ง (Color) สีของแป้งมีผลต่อคุณภาพอย่างหนึ่งของผลิตภัณฑ์ แป้งที่ดีควรมีสีขาว ถ้าหากมีสีอื่นปน เช่น สีเหลืองอ่อนของเซนโทฟิลล์หรือสีครีมจะทำให้ขนมปังมีเนื้อใน (Crumb) ที่มีสีไม่ดี ดังนั้นแป้งที่ไม่ออกมาจึงควรผ่านการฟอกสีก่อน

2.2 กำลังของแป้ง (Strength) หมายถึงพลังที่แป้งสามารถจะอุ้มก๊าซที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักได้ดี เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีการขึ้นฟูและมีปริมาตรดี

2.3 ความทนต่อสภาพต่างๆ ของแป้ง (Tolerance) หมายถึงลักษณะของแป้งที่มีความสามารถทนต่อสภาพการผสมนานๆ ทนต่อการรีดและกระบวนการอื่นๆ โดยที่กลูเตนไม่ฉีกขาดความทนต่อสภาพต่างๆ นี้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับกลูเตนแป้งที่มีความทนต่อสภาพต่างๆ สูงจะหมักได้นานและได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาตรดี

2.4 ความสามารถในการดูดซึมน้ำของแป้งสูง (High Water Absorption) หมายถึงแป้งที่มีคุณลักษณะในการดูดซึมน้ำได้มากพอที่จะทำให้คุณภาพของแป้งยังคงสภาพที่ดีอยู่ ผลของการที่แป้งดูดซึมน้ำได้มากจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาตรมากขึ้น เนื้อในขนมปังไม่แห้ง ทำให้มีคุณภาพในการเก็บและการกินที่ดี

2.5 ความสม่ำเสมอเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันของแป้ง (Uniformity) หมายถึงความสม่ำเสมอในสี ขนาดของแป้งและทั่วไป ถ้าแป้งขาดความสม่ำเสมอแล้วจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ทำแต่ละครั้งไม่เหมือนกัน จึงควรทำการตรวจสอบก่อนที่จะทำผลิตภัณฑ์ทุกครั้ง

นอกจากนี้ กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2550) ได้สรุปสมบัติของแป้งสาลีไว้แสดงดังตาราง 7

ตาราง 7 สมบัติของแป้งสาลี

| สมบัติ | ปริมาณ |
|--|------------|
| ขนาดเม็ดแป้ง (ไมครอน) | 1 - 40 |
| ปริมาณอะมิโลส (ร้อยละ) | 24 - 27 |
| ขนาดของอะมิโลส (Degree Of Polymerization) | 800 - 1600 |
| อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting Temperature, องศาเซลเซียส) | 77 |
| ความหนืดสูงสุด (Peak Viscosity, RVU) | 65 |
| ความหนืดสุดท้าย (Final Viscosity, RVU) | 270 |
| ความหนืดต่ำสุด (Trough Viscosity, RVU) | 60 |
| อุณหภูมิเริ่มต้นเกิดเจลลาทีไนซ์ (Onset Temperature, T _o , องศาเซลเซียส) | 48 - 50 |
| อุณหภูมิสุดท้ายเกิดเจลลาทีไนซ์ (Conclusion Temperature, T _c , องศาเซลเซียส) | 59 - 62 |

ที่มา : กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2550)

2.2.3.2 แป้งข้าวโพด

กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2550) กล่าวว่าแป้งข้าวโพดจัดเป็นแป้งที่มีมากที่สุดในโลก ผลิตจากข้าวโพด (Corn หรือ Maize) ที่มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Zea mays* L. อยู่ในวงศ์ Gramineae มีต้นกำเนิดในทวีปอเมริกาแล้วกระจายไปยังทวีปแอฟริกา อินเดีย ออสเตรเลีย และประเทศในยุโรปที่มีอากาศอบอุ่น ข้าวโพดมีหลายพันธุ์ เช่น หัวแข็ง (Dent) หัวบุบ (Flint) ปอปป (Pop) แป้ง (Flour) หวาน (Sweet) และข้าวเหนียว (Waxy) และมีสมบัติแสดงดังตาราง 8

ตาราง 8 สมบัติของแป้งข้าวโพด

| สมบัติ | ปริมาณ |
|---|--------|
| ขนาดเม็ดแป้ง (ไมครอน) | 3 - 26 |
| ปริมาณอะมิโลส (ร้อยละ) | 28 |
| ขนาดของอะมิโลส (Degree Of Polymerization) | 800 |
| อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting Temperature, องศาเซลเซียส) | 79.18 |
| ความหนืดสูงสุด (Peak Viscosity, RVU) | 217.13 |
| ความหนืดสุดท้าย (Final Viscosity, RVU) | 195.21 |
| ความหนืดต่ำสุด (Trough Viscosity, RVU) | 145.67 |
| อุณหภูมิเริ่มต้นเกิดเจลที่ไนซ์ (Onset Temperature, T _o , องศาเซลเซียส) | 49 |
| อุณหภูมิสุดท้ายเกิดเจลที่ไนซ์ (Conclusion Temperature, T _c , องศาเซลเซียส) | 67 |

ที่มา : กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2550)

2.2.3.3 แป้งข้าว

กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2550) กล่าวว่า ข้าวเจ้าหรือ *Oryza sativa* L. มีต้นกำเนิดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีหลายพันธุ์ได้แก่ พันธุ์อินดิกา (*O. sativa indica*) ปลูกมากในแถบมรสุม ซึ่งมีฝนตกชุกและแสงแดดเพียงพอ และพันธุ์จาปอนิกา (*O. sativa japonica*) ปลูกในพื้นที่เขตอบอุ่น ข้าวที่ใช้ในกระบวนการผลิตจะเป็นข้าวหักหรือข้าวเกรตสองที่ไม่เหมาะต่อการบริโภคโดยตรง แป้งข้าวเจ้ามีการใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่างๆ มากมาย ใช้เป็นส่วนประกอบของแป้งฝุ่นในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งแป้งฝุ่นสำหรับเด็กเนื่องจากแป้งข้าวไม่มีพิษไม่มีสารระคายเคืองและใช้เป็นสารทำให้แข็ง (Laundry Stiffening Agent) ในการซักผ้า สมบัติแป้งข้าวเจ้าตั้งแสดงดังตาราง 9

ตาราง 9 สมบัติของแป้งข้าวเจ้า

| สมบัติ | ปริมาณ |
|---|-------------|
| ขนาดเม็ดแป้ง (ไมครอน) | 6.8 |
| ปริมาณอะมิโลส (ร้อยละ) | 18 - 27 |
| ขนาดของอะมิโลส (Degree Of Polymerization) | 900 - 1,100 |
| อุณหภูมิเริ่มต้นเกิดเจลลาทีไนซ์ (Onset Temperature, T_o , องศาเซลเซียส) | 60 |
| อุณหภูมิสุดท้ายเกิดเจลลาทีไนซ์ (Conclusion Temperature, T_c , องศาเซลเซียส) | 77 |

ที่มา : กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550

2.2.3.4 แป้งมันฝรั่ง

กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2550) กล่าวว่ามันฝรั่ง (Potato) มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Solanum tuberosum* อยู่ในตระกูล *Solanaceae* ปลูกมากในแถบอเมริกาและยุโรปเหนือ องค์ประกอบในหัวมันฝรั่งจะขึ้นกับพันธุ์ พื้นที่เพาะปลูก ลักษณะการปลูก อายุของหัวมัน และการเก็บรักษา สมบัติของแป้งมันฝรั่งแสดงดังตาราง 10

ตาราง 10 สมบัติของแป้งมันฝรั่ง

| สมบัติ | ปริมาณ |
|---|---------------|
| ขนาดเม็ดแป้ง (ไมครอน) | 37.9 - 50 |
| ปริมาณอะมิโลส (ร้อยละ) | 22.2 |
| ขนาดของอะมิโลส (Degree Of Polymerization) | 2,000 - 5,000 |
| อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting Temperature, องศาเซลเซียส) | 61 |
| ความหนืดสูงสุด (Peak Viscosity, RVU) | 2,500 |
| ความหนืดสุดท้าย (Final Viscosity, RVU) | 630 |
| ความหนืดต่ำสุด (Trough Viscosity, RVU) | 340 |
| อุณหภูมิเริ่มต้นเกิดเจลลาทีไนซ์ (Onset Temperature, T_o , องศาเซลเซียส) | < 57.4 |
| อุณหภูมิสุดท้ายเกิดเจลลาทีไนซ์ (Conclusion Temperature, T_c , องศาเซลเซียส) | 67 |

ที่มา : กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2550)

2.2.3.5 แป้งมันเทศ

กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2550) กล่าวว่ามันเทศ (Sweetpotato) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ipomoea batata* อยู่ในตระกูล *Convolvulaceae* เป็นพืชที่เจริญเติบโตและให้ผลผลิตของหัวค่อนข้างสูงในสภาพดินฟ้าอากาศของประเทศไทยในหัวมันเทศมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูง ในเกาะฟิลิปปินส์บางเกาะใช้มันเทศเป็นอาหารประจำวัน

ชาวจีนใช้มันเทศทำเส้นก๋วยเตี๋ยว ใช้หุงต้มรวมกับข้าวซึ่งทำให้ข้าวมีรสดีขึ้นและใช้เลี้ยงสัตว์ ในหัวมันเทศมีแป้งอยู่ประมาณร้อยละ 14 - 28 ขึ้นอยู่สายพันธุ์ สมบัติของแป้งมันเทศแสดงดังตาราง 11

ตาราง 11 สมบัติของแป้งมันเทศ

| สมบัติ | ปริมาณ |
|---|---------|
| ขนาดเม็ดแป้ง (ไมครอน) | 9 - 15 |
| ปริมาณอะมิโลส (ร้อยละ) | 18 - 21 |
| ขนาดของอะมิโลส (Degree Of Polymerization) | 4,100 |
| อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting Temperature, องศาเซลเซียส) | 82.7 |
| ความหนืดสูงสุด (Peak Viscosity, RVU) | 380 |
| ความหนืดสุดท้าย (Final Viscosity, RVU) | 230 |
| ความหนืดต่ำสุด (Trough Viscosity, RVU) | 170 |
| อุณหภูมิเริ่มต้นเกิดเจลลาทีไนซ์ (Onset Temperature, T_o , องศาเซลเซียส) | 60 - 67 |
| อุณหภูมิสุดท้ายเกิดเจลลาทีไนซ์ (Conclusion Temperature, T_c , องศาเซลเซียส) | 70 - 77 |
| เอนทาลปี (Enthalpy) | 10 - 16 |

ที่มา : กล้านรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2550)

2.2.3.6 แป้งจากต้นรากสาคุ

กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2550) กล่าวว่า Arrowroot (*Maranta arundinacea*) มีชื่อเรียกว่า ต้นรากสาคุ Arrowroot เป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดในอเมริกาใต้ พืชสองชนิดที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน คือ arrowroot มีภาษาพื้นเมืองว่า Zulu และ Amaranth มีภาษาพื้นเมืองว่า Sagu เนื่องจากพืชสองชนิดนี้มีลักษณะใกล้เคียงกันมาก เป็นไปได้ว่าเราจะได้เรียกชื่อ arrowroot ว่า Sagu มาจากเหตุผลนี้และไม่เกี่ยวข้องกันกับลำต้นปาล์มสาคุ (*Metroxylonsagu*) และส่วนของ Arrowroot ที่เก็บแป้งเป็นส่วนราก (Rhizome) เป็นส่วนที่ขยายพันธุ์ได้ Arrowroot เป็นพืชล้มลุก อายุ 1 ปี ในฤดูร้อน ใบจะแห้ง หยุดการเจริญ สามารถเก็บเกี่ยวได้ เมื่อฝนตกต้นใหม่ก็จะงอกเจริญเติบโตต่อไป เม็ดแป้งมีขนาด 15 - 70 ไมครอน ซึ่งใหญ่กว่าขนาดเม็ดแป้งมันสำปะหลังซึ่งมีขนาด 5 - 15 ไมครอน สามารถสกัดแป้งได้ร้อยละ 25 - 30 แป้ง Arrowroot จะให้แป้งเปียกที่ใสและสามารถใช้แทนแป้งมันสำปะหลังได้ โดยพบว่าสามารถให้แป้งเปียกที่มี ความหนืดมากกว่าแป้งมันสำปะหลัง สมบัติของแป้งสาคุแสดงดังตาราง 12

ตาราง 12 สมบัติของแป้งสาคู

| สมบัติ | ปริมาณ |
|---|---------|
| ขนาดเม็ดแป้ง (ไมครอน) | 18 - 50 |
| ปริมาณอะมิโลส (ร้อยละ) | 18 |
| ขนาดของอะมิโลส (Degree Of Polymerization) | 3,430 |
| อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting Temperature, องศาเซลเซียส) | 76.20 |
| ความหนืดสูงสุด (Peak Viscosity, RVU) | 420 |
| ความหนืดสุดท้าย (Final Viscosity, RVU) | 271 |
| ความหนืดต่ำสุด (Trough Viscosity, RVU) | 188 |
| อุณหภูมิเริ่มต้นเกิดเจลลาทีไนซ์ (Onset Temperature, T_o , องศาเซลเซียส) | 61 - 65 |
| อุณหภูมิสุดท้ายเกิดเจลลาทีไนซ์ (Conclusion Temperature, T_c , องศาเซลเซียส) | 65 - 74 |
| เอนทาลปี (Enthalpy) | 18 - 20 |

ที่มา : กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2550)

2.2.3.7 แป้งข้าวฟ่าง

กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2550) กล่าวว่าข้าวฟ่าง (Sorghum) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Sorghum bicolor* Moench. อยู่ในวงศ์ *Gramineae* เป็นพืชล้มลุกมีลักษณะคล้ายข้าวโพดในระยะตั้งแต่งอกจนถึงก่อนออกดอก สามารถปลูกได้ในพื้นที่แห้งแล้งบางแห่งเรียกว่า Milo, Milo Maize หรือ Kaffir Corn ข้าวฟ่างมีต้นกำเนิดจากแอฟริกา มี 4 ประเภท ได้แก่ ข้าวฟ่างที่มีเมล็ดมากนำมาแปรรูปได้ ข้าวฟ่างหวานใช้เลี้ยงสัตว์ ข้าวฟ่างไม่หวานใช้ทำไม้กวาดหรือเลี้ยงสัตว์ และข้าวฟ่างหญ้าใช้เลี้ยงสัตว์ ซึ่งแป้งข้าวฟ่างสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายด้านแตกต่างกันตามท้องถิ่น เช่น ในอินเดียนำแป้งข้าวฟ่างที่บดทั้งเมล็ด บั่นและกดเป็นแผ่นกลมบางแล้วนำไปปิ้งหรือทอดหรืออบ ชาวจีนนำแป้งข้าวฟ่างไปทำขนมปัง เป็นต้น สมบัติของแป้งข้าวฟ่างแสดงดังตาราง 13

ตาราง 13 สมบัติของแป้งข้าวฟ่าง

| สมบัติ | ปริมาณ |
|---|---------|
| ขนาดเม็ดแป้ง (ไมครอน) | 4 - 25 |
| ปริมาณแป้ง (ร้อยละ) | 88 |
| ปริมาณอะมิโลส (ร้อยละ) | 28 |
| ปริมาณอะมิโลเพกทิน (ร้อยละ) | 72 |
| ช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีไนซ์ (องศาเซลเซียส) | 68 - 75 |
| กำลังพองตัวที่ 95 องศาเซลเซียส | 22 |
| ความสามารถในการละลายที่ 95 องศาเซลเซียส | 22 |
| ความถ่วงจำเพาะ | 1.5 |
| น้ำหนักต่อ 1 ลูกบาศก์ฟุต (ปอนด์) | 44 - 45 |

ที่มา : กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2550)

2.2.3.8 แป้งพุทธรักษากินได้

อรวินท์ ชยาภัม และคณะ (2551) กล่าวว่าพุทธรักษากินได้ (Edible Canna) หรือชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Canna edulis* มีลักษณะคล้ายกับพุทธรักษาประดับทั่วไป แต่มีดอกเล็กกว่า มีส่วนเหง้าใต้ดินที่มีขนาดใหญ่และสะสมแป้งไว้มาก ในแถบเอเชียพบในประเทศจีน ไต้หวัน เวียดนามและไทย การบริโภคส่วนใหญ่จะนำเอาเหง้ามาสกัดแป้งแล้วนำมาผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวหรือโบเมียงเป็นต้น ด้วยสมบัติของแป้งพุทธรักษาที่มีปริมาณอะมิโลสร้อยละ 21 - 28

กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2550) กล่าวว่า พุทธรักษากินได้เป็นพืชหัวมีดอกเล็กมาก แต่มีส่วนหัว (Rhizome) ใหญ่ *Canna edulis* เป็นพืชดั้งเดิมของกลุ่มประเทศอเมริกาใต้ที่เรียกว่า Adean Crop รู้จักกันในชื่อว่า Achira และได้แพร่หลายไปยังประเทศอื่น ๆ รวมทั้งมีชื่ออื่นๆที่รู้จักกันอีกมากเช่น Sugu ในประเทศเวเนซุเอลา และ Queensland Arrow Root ในกลุ่มประเทศเอเชีย

เนื่องจาก *Canna* ขึ้นได้ดีในที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลมากและอากาศหนาวเย็น จึงมีปลูกกันมากในประเทศจีน ญี่ปุ่นและแพร่กระจายเข้ามาในประเทศไทย ในบางท้องที่รู้จักกันในชื่อว่า สาคุจิน การบริโภคหรือการใช้ประโยชน์ปัจจุบันมีมากที่สุดที่ประเทศจีนและเวียดนามซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารสกัดแป้งแบบคริวเรื่อนแล้วนำมาทำโบเมียงก๋วยเตี๋ยว เป็นต้น

2.2.4 การผลิตแป้งกล้วย

ปิยวรรณ ศุภวิทิตพัฒนา (2544) ศึกษาชนิดของกล้วยและวิธีการผลิตแป้งจากกล้วยโดยศึกษากล้วย 2 ชนิด คือกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอม วิธีการผลิตแป้งจากกล้วยศึกษา 2 วิธี คือการบดแบบแห้งและวิธีการบดแบบเปียก พบว่าลักษณะของเม็ดแป้งกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมมีลักษณะของเม็ดแป้งยาวรี แต่เม็ดแป้งกล้วยน้ำว้ามีขนาดใหญ่กว่า เม็ดแป้งที่ได้จากวิธีการผลิตแบบเปียกมีลักษณะของเม็ดแป้งสมบูรณ์กว่าแป้งกล้วยที่ได้จากวิธีการผลิตแบบแห้งจากการวัดความหนืดด้วยเครื่องอะไมโลกราฟพบว่าชนิดกล้วยและวิธีการผลิตไม่มีผลต่อค่าความหนืดสูงสุดของแป้งกล้วย แต่แป้งกล้วยจากกล้วยน้ำว้ามีค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส สูงกว่าแป้งกล้วยหอม ส่วนปริมาณผลผลิตของแป้งจากกล้วยน้ำว้ามีค่าสูงกวากกล้วยหอม และผลิตโดยการผลิตแบบเปียกให้ปริมาณผลผลิตสูงกว่าการบดแบบแห้งสมบัติทางเคมีของแป้งกล้วยพบว่าชนิดของกล้วยไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใยและเถ้าของแป้ง แต่แป้งจากกล้วยน้ำว้ามีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงกว่าแป้งจากกล้วยหอม ส่วนวิธีการผลิตไม่มีผลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ความชื้น โปรตีน และไขมัน แป้งที่ได้จากวิธีการผลิตแบบเปียกมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่าแต่ปริมาณเส้นใยและเถ้าต่ำกว่าแป้งที่ได้จากวิธีการผลิตแบบแห้งซึ่งจากสมบัติของแป้งโดยรวมพบว่าควรผลิตแป้งกล้วยจากกล้วยน้ำว้าโดยวิธีการผลิตแบบเปียก

มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด (2545) กล่าวว่า กล้วยดิบเป็นผลิตผลที่นำมาใช้ประโยชน์ได้เช่นกัน เนื่องจากมีคาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในรูปสตาร์ชปริมาณสูงจึงเหมาะต่อการทำแป้งกล้วยมีผู้ทดลองทำแป้งกล้วยน้ำว้าดิบและนำไปใช้ประโยชน์ในการทำผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด โดยการแทนที่แป้งชนิดอื่นบางส่วนในการทำขนม เช่น การศึกษาผลของการนึ่งที่มีต่อการยอมรับขนมเค้กและคุกกี้ที่ผลิตจากแป้งสาลีที่มีการทดแทนด้วยแป้งกล้วยร้อยละ 30 - 50 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากแป้งกล้วยที่ไม่ผ่านการนึ่งได้รับการยอมรับมากกว่า

สุดาทิพย์ อินทร์ชื่น (2545) ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกล้วยจากกล้วยน้ำว้า (*Musa* (ABB group) 'Kluai Nam Wa') พบว่าการเก็บเกี่ยวกล้วยเพื่อใช้ในการผลิตแป้ง สามารถใช้การวัดความยาวเส้นรอบวง ร่วมกับการพิจารณาเหลี่ยมของผลและการนับจำนวนวันหลังจากออกปลี เป็นดัชนีได้ การทำแห้งโดยการผึ่งแดดมีผลทำให้แป้งกล้วยมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดสูงกว่าการทำแห้งโดยใช้ตู้อบแห้ง เมื่อนำมาตรวจสอบคุณสมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) พบว่าแป้งกล้วยที่ทำแห้งโดยใช้ตู้อบแห้งมีค่าPeak Viscosity, Holding Strength และ Breakdown สูงกว่าแป้งกล้วยที่ทำแห้งโดยการผึ่งแดด เมื่อนำแป้งกล้วยมาวิเคราะห์ทางเคมี แป้งกล้วยที่ผลิตจากกล้วยที่มีความแก่มากขึ้นจะมีปริมาณโปรตีน เถ้า น้ำตาลทั้งหมดสูงขึ้น ในขณะที่ปริมาณเยื่อใยและคาร์โบไฮเดรตมีปริมาณลดลง สตาร์ชและอะมิโลสมีปริมาณสูงที่สุด เมื่อกกล้วยมีความแก่ร้อยละ 90 โดยแป้งกล้วยประกอบด้วยสตาร์ชและอะมิโลสประมาณร้อยละ 60 - 66 และร้อยละ 21 - 23 ตามลำดับ

รูปร่างของเม็ดแป้งกล้วยเมื่อทดสอบด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) เป็นรูปไข่และมีรูปร่างไม่แน่นอนขนาด 27 - 45 ไมโครเมตร จากการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของแป้งกล้วยพบว่าเมื่อระยะเวลาความแก่ของกล้วยมากขึ้น เม็ดแป้งมีขนาดใหญ่มากขึ้น ความคงทนต่อแรงเฉือน และความสามารถในการดูดซับน้ำ (Water Absorption Index) มีแนวโน้มลดลง ส่วนความสามารถในการละลายน้ำและความคงทนต่อการแช่แข็งและการละลาย (Freeze-Thaw Stability) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แป้งกล้วยที่ผลิตจากกล้วยน้ำว้าที่ความแก่ร้อยละ 90 และร้อยละ 80 มีค่า Peak Viscosity, Holding Strength, Break Down, Final Viscosity และ Set Back สูงกว่ากล้วยที่มีความแก่ร้อยละ 100 และร้อยละ 70 ตามลำดับ แป้งกล้วยมี Peak Temperature ประมาณ 88 องศาเซลเซียส Peak Time ประมาณ 8 นาที และ Pasting Temperature ประมาณ 80 องศาเซลเซียส

Ovando-Martinez *et al.* (2009) ผลิตแป้งกล้วยโดยนำกล้วยมาปอกเปลือกและสไลด์ขนาด 1 เซนติเมตร นำไปแช่ในสารละลายกรดซิตริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 นำกล้วยไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นำมาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 เมช และเก็บรักษาไว้ในที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส บรรจุในถุงพลาสติกที่ปิดสนิท

กระบวนการผลิตแป้งกล้วยมีทั้งแบบบดแห้ง และแบบบดเปียก การผลิตแป้งกล้วยโดยวิธีการแบบบดแห้งแสดงดังตาราง 14 และวิธีการแบบบดเปียกแสดงดังตาราง 15

ตาราง 14 วิธีการแบบบดแห้ง

| ปิยวรรณ ศุภวิทิตพัฒนา (2544) | Food and Fertilizer Technology Center (2005) |
|--|--|
| 1. นำกล้วยไข่มาชั่งน้ำหนัก และล้างน้ำให้สะอาด | 1. นำกล้วยออกจากหวี |
| 2. นำไปนึ่งในลังถึงที่อุณหภูมิน้ำเดือดเป็นเวลา 2 นาที | 2. นึ่งด้วยไอน้ำประมาณ 10 นาที ทำให้เนื้อกล้วยเหนียว, สีเนื้อแป้งดีขึ้น และง่ายต่อการปอกเปลือก |
| 3. ปอกเปลือกกล้วยออกให้หมด นำกล้วยที่ปอกแล้วไปชั่งน้ำหนักเนื้อกล้วยที่เหลือ ทำการสไลด์กล้วยเป็นแผ่นด้วยที่ไสผัก และผลไม้ | 3. นำกล้วยมาปอกเปลือก และนำมาหั่นเป็นแผ่นบาง |
| 4. เตรียมสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.25 แล้วเติมกรดซิตริกร้อยละ 0.5 นำกล้วยแช่ในสารละลาย เป็นเวลา 20 นาที แล้วล้างน้ำ | 4. นำกล้วยที่หั่นมาแช่ในกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 5 ประมาณ 30 นาที เมื่อครบเวลาเทน้ำออก |
| 5. นำเข้าอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกว่าจะแห้ง | 5. ผึ่งแดดโดยวางบนตะแกรงพลาสติก จนกระทั่งมีความชื้นเหลืออยู่ร้อยละ 10 |
| 6. นำไปบดด้วยเครื่องบด | 6. โม่ หรือบดให้ละเอียด และร่อน |
| 7. ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช | 7. ทำการบรรจุและเก็บรักษาไว้ในที่แห้ง |
| | Ijarotimi (2008) |
| | 1. นำกล้วยล้างทำความสะอาด / คัดเลือก |
| | 2. ปอกเปลือกกล้วยออก หั่นกล้วยเป็นแผ่นบางๆ |
| | 3. อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 24 ชั่วโมง |
| | 4. นำมาบดให้ละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.4 มิลลิเมตร |

ที่มา : ปิยวรรณ ศุภวิทิตพัฒนา (2544)

Food and Fertilizer Technology Center (2005)

Ijarotimi (2008)

ตาราง 15 วิธีการแบบบดเปียก

| ปิยวรรณ ศุภวิทิตพัฒนา (2544) | Nwokocho and Williams (2009) |
|--|---|
| 1. นำกล้วยไปล้างน้ำให้สะอาด นำไปปอกเปลือกแล้วแช่ด้วยสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้นร้อยละ 0.125 ที่ใส่กรดซัลฟิวริกลงไปร้อยละ 0.5 เพื่อปรับให้มีความเป็นกรดต่างประมาณ 3 แช่ไว้เป็นเวลา 20 นาที แล้วล้างน้ำ | 1. หั่นกล้วยเป็นรูปลูกบาศก์ขนาด 5-6 ลูกบาศก์เซนติเมตร นำมาล้างในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ |
| 2. นำกล้วยไปนึ่งที่อุณหภูมิน้ำเดือดเป็นเวลา 2 นาที | 2. บดด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้ โดยเติมน้ำ 5 เท่าของน้ำหนักกล้วยแล้วกรอง ล้างด้วยน้ำจนกระทั่งน้ำที่ใช้ล้างสะอาด |
| 3. หั่นเป็นชิ้นๆ แช่ในสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้นร้อยละ 0.125 โดยใช้เป็น 2 เท่าของเนื้อกล้วย | 3. นำสตาร์ชไปปั่นแยกด้วยความเร็วรอบ 5,000 รอบ/นาที นาน 30 นาที เทส่วนของเหลวทิ้ง และนำสตาร์ชส่วนที่ตกตะกอนมาเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 และล้างซ้ำด้วยน้ำกลั่นหลายๆ ครั้งจนกระทั่งน้ำที่ล้างมีสภาพเป็นกลาง (ตรวจสอบด้วยกระดาษลิตมัส) |
| 4. นำกล้วยที่แช่สารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ ไปปั่นให้ละเอียดแล้วแช่ไว้ในตู้เย็นเวลาหนึ่งคืน | 4. นำสตาร์ชมาผึ่งแดด และเก็บใส่ภาชนะที่ป้องกันอากาศเข้า |
| 5. นำไปกรองน้ำออก แล้วเข้าอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกว่าจะแห้ง | |
| 6. แล้วมาบดด้วยเครื่องบดให้ละเอียด | |
| 7. ร้อนด้วยตะแกรงขนาด 100 เมช | |

ที่มา : ปิยวรรณ ศุภวิทิตพัฒนา (2544)

Nwokocho and Williams (2009)

2.3 แป้งชุบทอด

แป้งชุบทอดหรือแป้งสำหรับประกอบการทอด หมายถึง แป้งที่ผสมกับส่วนประกอบอื่นใช้ชุบอาหารก่อนนำไปทอด เพื่อให้กรอบ (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2534)

2.3.1 ประเภทของแป้งชุบทอด

วนิดา เผอญุโซค (2547) และปิยวรรณ ฉ่ำมิ่งขวัญ (2549) กล่าวว่าแป้งชุบทอดแบ่งเป็น 2 พวกใหญ่ๆ คือชนิดที่มีและไม่มีสารช่วยให้ฟู

1. ชนิดที่ไม่มีสารช่วยให้ฟู (Conventional Or Unleavened Batter) เป็นแป้งชุบทอดที่มีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นแป้งข้าวสาลี (wheat flour-based) แป้งข้าวโพด (Corn Flour-Based) สตาร์ชที่ผ่านการแปรสภาพ หรือสตาร์ชที่ไม่ผ่านการแปรสภาพ (Starch-Based) และแป้งชุบทอดโดยทั่วไปที่มีส่วนผสมของนมและไข่จะถูกจัดไว้ในกลุ่มนี้ (ปิยวรรณ ฉ่ำมิ่งขวัญ, 2549)

2. ชนิดที่มีสารช่วยให้ฟู (Tempura Or Leavened Batter) มีส่วนผสมที่คล้ายกับชนิดแรกแต่แตกต่างกันที่มีส่วนผสมของสารช่วยให้ฟู (Leavening Agent) (ปิยวรรณ ฉ่ำมิ่งขวัญ, 2549)

2.3.2 ส่วนผสมของแป้งชุบทอด

วนิดา เผอญุโซค (2547) และปิยวรรณ ฉ่ำมิ่งขวัญ (2549) กล่าวว่าส่วนผสมทั่วไปของแป้งชุบทอดแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ตามปริมาณและหน้าที่ คือส่วนผสมหลักและส่วนผสมรอง

1. ส่วนผสมหลัก ได้แก่ แป้ง แป้งที่นิยมใช้ คือ แป้งสาลีอเนกประสงค์ซึ่งมีโปรตีนประมาณร้อยละ 10 - 11 และแป้งขนมปังซึ่งมีโปรตีนสูงประมาณร้อยละ 12 - 14 นอกจากแป้งสาลีแล้วแป้งชนิดอื่นที่ใช้เป็นส่วนผสมในแป้งชุบทอด ได้แก่ แป้งข้าวโพดประมาณร้อยละ 4 - 14 แป้งข้าวเจ้าประมาณร้อยละ 4 - 9 นอกจากนี้อาจมีแป้งมันสำปะหลัง หรือแป้งข้าวเหนียว ปริมาณแป้งที่ใช้เป็นแป้งชุบทอดจะใช้ประมาณร้อยละ 80 - 90 ของส่วนผสมทั้งหมด ซึ่งแป้งในส่วนผสมนี้เป็นแหล่งที่ให้สตาร์ชและโปรตีน น้ำนับเป็นส่วนผสมหลักที่ใช้และใช้ในปริมาณใกล้เคียงกับแป้ง น้ำช่วยปรับความชื้นหนืดและทำให้เกิดเจลลิตีในเซชันของเม็ดสตาร์ชในสูตรของแป้งชุบทอดจะมีอัตราส่วนของของแข็ง 1.5 - 2.0 ส่วนต่อน้ำ 1 ส่วนถ้าปริมาณของแข็งมากจะช่วยให้ส่วนผสมเคลือบได้หนาขึ้นและลอกได้ง่ายกว่าการเคลือบแบบบาง

2. ส่วนผสมรอง ได้แก่ นม เวย์ แป้งถั่วเหลือง ไข่ ผงฟู สตาร์ช เกลือ น้ำตาล กัม เครื่องเทศ เป็นต้น ซึ่งส่วนผสมนี้จะทำหน้าที่ให้กลิ่นรส ปรับสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งชุบทอด และ/หรือเสริมคุณค่าทางอาหาร

2.3.3 คุณสมบัติที่ต้องการของแป้งชุบทอด

วนิดา เผอญุโซค (2547) และปิยวรรณ จำมิ่งขวัญ (2549) กล่าวว่า

1. ความกรอบ เป็นสมบัติสำคัญของแป้งชุบทอด โดยปัจจัยที่มีผลต่อความกรอบ ดังนี้

1.1 องค์ประกอบของแป้งที่เป็นส่วนผสม อัตราร่วนของอะมิโลสต่ออะมิโลเพกทินมีผลต่ออุณหภูมิแป้งสุกและการเกิดเจลเคลือบชั้นอาหาร แป้งที่มีปริมาณอะมิโลสสูงช่วยให้ผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดมีความกรอบสูงขึ้น แต่ต้องมีอัตราส่วนของอะมิโลสต่ออะมิโลเพกทินในระดับที่เหมาะสมไม่สูงเกินไป เนื่องจากปริมาณอะมิโลสที่สูงมากจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะแข็งกระด้างจนผู้บริโภคไม่ยอมรับ (ปิยวรรณ จำมิ่งขวัญ, 2549) แต่ถ้าแป้งมีปริมาณของอะมิโลสต่ำและอะมิโลเพกทินปริมาณสูง จะทำให้แป้งที่ชุบอาหารมีโครงสร้างที่มีน้ำหนักเบาและเปราะ (วนิดา เผอญุโซค, 2547) ส่วนองค์ประกอบอื่นที่สำคัญในแป้งที่มีผลต่อความกรอบของผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอด ได้แก่โปรตีน เนื่องจากโปรตีนมีผลต่ออุณหภูมิแป้งสุกและทำให้เกิดโครงสร้างที่แข็งแรง แป้งที่มีโปรตีนสูงมีผลทำให้อุณหภูมิแป้งสุกสูงขึ้นระดับโปรตีนในแป้งชุบทอดที่เหมาะสมอยู่ระหว่างร้อยละ 9 - 11 ถ้ามีระดับสูงกว่าร้อยละ 11 ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะแข็งเกินไป แต่ถ้าน้อยกว่าร้อยละ 9 มีแนวโน้มที่ทำให้เกิดลักษณะปรากฏที่เป็นจุด (ปิยวรรณ จำมิ่งขวัญ, 2549)

1.2 วิธีการให้ความร้อน วิธีที่นิยมใช้คือ การทอดโดยให้น้ำมันท่วมชิ้นอาหาร (deep-fat frying) ซึ่งควรควบคุมอุณหภูมิของน้ำมันที่ใช้ทอดให้อยู่ระหว่าง 150 - 220 องศาเซลเซียส เพราะถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 150 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์จะมีความพองกรอบน้อยลง แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 220 องศาเซลเซียส จะเกิดปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันเร็วขึ้นทำให้ผิวด้านนอกของผลิตภัณฑ์เกิดสีน้ำตาลอย่างรวดเร็ว น้ำในชิ้นอาหารระเหยออกไปได้น้อย ความกรอบของผลิตภัณฑ์จะลดลง (ปิยวรรณ จำมิ่งขวัญ, 2549) และการทอดแบบน้ำมันท่วมโดยทั่วไปจะทำให้การยืดยืดลดลงเนื่องจากชิ้นอาหารภายในเกิดการหดตัวจากการได้รับความร้อน ดังนั้นอาจทำให้ชิ้นอาหารที่จะนำมาชุบทอดนั้นสุกบางส่วนก่อนชุบแป้งจะทำให้การยืดยืดเกาะดีขึ้น (วนิดา เผอญุโซค, 2547)

1.3 ส่วนผสมอื่นๆ เช่น ไข่ แป้งแปรสภาพ หรือกัมบางชนิดมีผลทำให้ความกรอบของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น (ปิยวรรณ จำมิ่งขวัญ, 2549)

2. การพองตัว (Puffing) ของแป้งชุบทอดเกิดเนื่องจากการพองตัวของเม็ดแป้งและผงฟูที่ผสมอยู่ในแป้งชุบทอด

2.1 การพองตัวโดยสมบัติของแป้ง เกิดจากเม็ดแป้งพองตัว (Swelling) และการดูดน้ำ (Hydration) เมื่อได้รับความร้อน น้ำแปรสภาพเป็นไอน้ำเมื่อได้รับความร้อนสูงทำให้ขยายตัวหรือพองตัวออก และอัตราส่วนของอะมิโลสต่ออะมิโลเพกทินมีความสัมพันธ์กับ

ระดับการพองตัวโดยตรง แป้งที่มีอะมิโลเพกทินสูงจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีการพองตัวดีแต่เปราะบาง (ปิยวรรณ นำมิ่งขวัญ, 2549)

2.2 สารช่วยให้ขึ้นฟู ผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้สารช่วยให้ขึ้นฟู (Leavened Product) จะมีความเบา รูพรุน (Porous) และอ่อนนุ่ม (Spongy) ให้คุณภาพของเนื้อสัมผัสที่ดี ตรงกับความต้องการ มักมีการใช้ส่วนผสมของขนมปังหรือแป้งชุบทอดอาหารสำหรับอาหารทอดซึ่งสารช่วยให้ฟูจะเกิดโครงสร้างที่เป็นรูพรุนและความกรอบในผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วยไบคาร์บอเนตซึ่งเป็นสารที่ให้คาร์บอนไดออกไซด์และกรดซึ่งเป็นตัวควบคุมการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากไบคาร์บอเนตในสภาวะที่มีน้ำ (ปิยวรรณ นำมิ่งขวัญ, 2549)

2.3.4 ความสามารถในการเกาะติดผิวอาหาร

วนิดา เผอิญโชค (2547) และปิยวรรณ นำมิ่งขวัญ (2549) กล่าวว่า แป้งชุบทอดมักมีปัญหาในเรื่องความสามารถในการเกาะติดผิวอาหาร ซึ่งเป็นคุณภาพที่สำคัญประการหนึ่งของผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอด เนื่องจากมีผลต่อลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ และมีผลต่อความสูญเสียทางด้านเศรษฐกิจ ความสามารถในการเกาะติดขึ้นอาหารขึ้นอยู่กับความหนืดของแป้งชุบทอด ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการเกาะติดผิวอาหารมีดังนี้

1. องค์ประกอบของแป้งที่เป็นส่วนผสม

แป้งแต่ละชนิดมีความสามารถในการเกาะติดผิวอาหารแตกต่างกัน แป้งชนิด Waxy ซึ่งมีอะมิโลเพกทินปริมาณสูง เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดเป็นเจลที่มีความหนืดมากกว่า แป้งที่มีอะมิโลสสูง แต่ถ้าหากปริมาณอะมิโลเพกทินสูงจะทำให้แป้งที่ชุบอาหารมีโครงสร้างที่เปราะและมีน้ำหนักเบา หลุดจากชิ้นอาหารได้ง่ายหลังทอด (วนิดา เผอิญโชค, 2547) และการชุบอาหารลงในน้ำแป้งสุกที่มีความข้นหนืดจะทำให้การเกาะติดของน้ำแป้งสุก บนชิ้นอาหารนั้นดีขึ้น

2. ปริมาณน้ำที่ใช้ผสม

ความหนืดของแป้งชุบทอดมีความสัมพันธ์อย่างมากกับการเกาะติดของส่วนผสมบนชิ้นอาหาร ถ้าใช้อัตราส่วนของน้ำต่ำ ๆ จะทำให้แป้งชุบทอดมีความหนืดสูงขึ้น ทำให้ความสามารถในการเกาะติดผิวอาหารสูงขึ้นเช่นกัน แต่อาจมีผลทำให้การเกิดเจลาทีนในเซชันของเม็ดสตาร์ชไม่สมบูรณ์ ส่วนการเติมน้ำปริมาณมากทำให้ความหนืดลดลง การเกาะติดก็จะลดลง จึงนิยมเติมสตาร์ชตัดแปรด้วยวิธีพ่นระข้ามลงไปเพื่อปรับปรุงความหนืดให้เหมาะสม

3. วิธีการให้ความร้อน

การทำให้ชิ้นอาหารสุกบางส่วนก่อนชุบแป้งจะทำให้ชิ้นอาหารมีการหดตัวก่อน เมื่อชุบแป้งแล้วนำไปทอดการหดตัวของชิ้นอาหารจะลดลงทำให้การแยกตัวของชิ้นอาหารจากเปลือกแป้งลดลง

2.3.5 สีของอาหารหลังทอด

ปิยวรรณ ฉำมิ่งขวัญ (2549) กล่าวว่า สีของผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดผู้บริโภคส่วนมากยอมรับผลิตภัณฑ์ที่มีสีน้ำตาลทอง (Golden Brown) เนื่องจากปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันเป็นการเปลี่ยนแปลงโดยเกิดไฮโดรไลซิสของน้ำตาลในแป้งจนได้ Monosaccharide แล้วเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันจนได้สารสีน้ำตาลเมื่อนำไปทอดที่อุณหภูมิสูง สารตั้งต้นในปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันเกิดจากน้ำตาลในแป้ง และการย่อยสลายโมเลกุลสตาร์ชเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 150 องศาเซลเซียส ปัจจัยที่มีผลต่อสีมีดังนี้

1. ชนิดของแป้งที่เป็นส่วนผสม แหล่งของโปรตีนและน้ำตาลซึ่งเกี่ยวข้องกับแป้งที่เป็นส่วนผสม แป้งผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับสตาร์ชข้าวโพดจะให้ผลิตภัณฑ์ สีน้ำตาลแวววาว แป้งสาลีทำให้เกิดสี Grayish-Brown ในขณะที่แป้งผสมระหว่าง Waxy Corn Starch กับ Corn Starch จะให้สีจางกว่า ส่วนแป้งมันฝรั่งจะให้สีน้ำตาลทอง

2. วิธีการให้ความร้อน การทอดที่อุณหภูมิสูงและเวลานานจะทำให้ปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันเกิดขึ้นมาก จนทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลเข้ม จนผู้บริโภคไม่ยอมรับ