

การตรวจเอกสาร

ทุเรียนและเมล็ดทุเรียน

1. ทุเรียน (Durian) จัดเป็นไม้ผลเมืองร้อนมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Durio zibethinus Murray*. และมีชื่อในภาษาอื่นๆ เช่น ดูรี, ดูเรน (ภาษามาลาเลย์) ดูเรน (ภาษามอญ) เป็นต้น มีถิ่นกำเนิดในแถบร้อนทางภาคตะวันออกเฉียงใต้ของทวีปเอเชีย ได้แก่ ประเทศอินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ มาเลเซีย พม่าและไทย เป็นต้น (มูลนิธิวิวกีพีเดีย, มปป.) ทุเรียนเป็นผลไม้ที่มีกลิ่นเฉพาะตัว เนื่องจากมีส่วนผสมของสารประกอบกำมะถันรวมอยู่ด้วยในรูป ethyl hydrodisulfide และ dialkyl polysulfides หลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง $(C_2H_5)_2S_n$ ($n=2$ หรือ 3) สารเหล่านี้เป็นสารสำคัญที่ทำให้เนื้อของผลทุเรียนสุกมีกลิ่นเฉพาะ สารเหล่านี้จะไม่พบในเปลือกและเมล็ด ส่วนสารที่มีกลิ่นอื่นๆ เช่น ethyl acetate ซึ่งให้กลิ่นผลไม้ (fruity odor) ส่วนไขมันในเปลือก เนื้อผลและเมล็ด ประกอบด้วยกรด oleic และ palmitic เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังพบกรด stearic, linoleic และ linolenic อีกด้วย (สิรินาถ, 2542)

2. เมล็ดทุเรียน เป็นส่วนด้านในของทุเรียน มีเปลือกหุ้มอยู่ ถัดเข้าไปเป็นอาหารสำรอง (endosperm) และเป็น hypocotyls ซึ่งจะทอดยาวไปตามหัวท้ายของเมล็ด โดยลักษณะตรงกลางจะแบ่งออกเล็กน้อยและที่สำคัญที่สุดคือ เมล็ดนี้จะมีด้านข้างด้านบน โดยด้านบนจะงอกขึ้นเป็นลำต้น (shoot) ส่วนด้านล่างจะงอกเป็นราก (root) เสมอ ลักษณะของเมล็ดจะคล้ายระกำ ระยะเวลาที่เมล็ดแตกจากผลใหม่ๆ จะมีสีน้ำตาลปนชมพูอ่อนๆ แล้วเวลาต่อมาก็จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลไหม้ แต่หากทิ้งเมล็ดให้ได้รับแสงแดดเต็มที่และมีความชื้นสูง เมล็ดก็จะมีสีเกือบดำ ฝาดูจะเห็นเนื้อในสีขาว มีเมือกสีๆ อยู่ ขนาดของผลและเมล็ดของทุเรียนจะแตกต่างกันแล้วแต่ต้นที่ได้มา ซึ่งเมล็ดจะมีขนาดตั้งแต่เท่าหัวแม่มือจนถึงขนาดไข่ห่าน รูปร่างของเมล็ดก็แตกต่างกันด้วย หากเมล็ดมีลักษณะกลมเหมือนไข่ไก่ แสดงว่าทุเรียนผลนั้นมีเพียงเมล็ดเดียว บางเมล็ดมีรูปร่างแบนด้านหนึ่งและอีกด้านหนึ่งโค้งคล้ายหลังเต่า ก็แสดงว่าผลนั้นมี 2 เมล็ด ส่วนผลที่มีอกแหลม หลังเมล็ดโค้ง แสดงว่าทุเรียนผลนั้นมี 3 หรือ 4 เมล็ด (สมศักดิ์และคณะ, 2530)

3. คุณค่าทางอาหารของเมล็ดทุเรียน

จากการศึกษาของคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ (2554) พบว่า เมล็ดทุเรียน 1 เมล็ดให้พลังงาน 254.50 กิโลแคลอรี มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต 56 กรัม โปรตีน 2.9 กรัม ไขมัน 2.1 กรัม และใยอาหาร 1.9 กรัม ซึ่ง Amiza et al. (2004) กล่าวว่า เมล็ดทุเรียนนั้นมีคุณค่าทางอาหารสูงมาก รวมถึงปริมาณของเส้นใยอาหารที่สูงด้วย ขณะที่งานวิจัยของ Brown et al., (2001) ได้ศึกษาเมล็ดทุเรียนที่แก่เต็มที่พบว่า มีเม็ดแป้งชนิดอะไมโลสสูงถึง 78% (น้ำหนักแห้ง) มีโปรตีนประมาณ 7% และพบว่ามีไตรกลีเซอไรด์ในปริมาณที่ต่ำกว่า 1% นอกจากนี้จากรายงานวิจัยของ Amin et al. (2007)

พบว่าในเมล็ดทุเรียนมีปริมาณกัมสูง(water-soluble gums) เมื่อทำการสกัดและทำให้บริสุทธิ์แล้วจะ
ได้ปริมาณผลผลิตมากถึง 18% ซึ่งกัมจากเมล็ดทุเรียนนี้ให้ความหนืดที่สูงในสภาพธรรมชาติ และเมื่อ
วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลพบว่ามึน้ำตาล L-rhamnose Glucose และ D-galactose ในอัตราส่วน
3:9:1

4. การใช้ประโยชน์ของเมล็ดทุเรียน

ประชาชนในท้องถิ่นในประเทศมาเลเซียและอินโดนีเซียนำเมล็ดของทุเรียนมา
รับประทานในลักษณะนำมาหนึ่ง คั่ว หรือทอดในน้ำมันมะพร้าว เนื้อในมีลักษณะคล้ายเผือกหรือมัน
เทศ แต่เหนียวกว่า ในเกาะชวาจะหั่นเมล็ดทุเรียนบาง ๆ และปรุงด้วยน้ำตาลเหมือนขนมฉาบน้ำตาล
เมล็ดทุเรียนที่ยังไม่ได้ปรุงสุกนั้นมีพิษจากกรดไขมันไซโคลโพรเพน (Cyclopropene fatty acid) จึงไม่
ควรรับประทานเมล็ดดิบ จากรายงานการวิจัยของ Berry (2008) พบว่าการทำให้เมล็ดสุกด้วยความ
ร้อนสามารถลดปริมาณของกรดไขมัน Malvalic acid และ Sterculic acid ได้ ประมาณ 22% และ
19% ตามลำดับ

สำหรับในประเทศไทย คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
ธัญบุรี (2554) ได้ทำปิสกิตหน้าเมล็ดทุเรียนกรอบ โดยนำเมล็ดทุเรียนมาปอกเปลือกนออกออก นำมา
ผ่าครึ่งตามแนวยาว แล้วหั่นแนวขวางประมาณ 1 มม. ก่อนนำไปลวกในน้ำเกลือ 30 วินาที และ เทใส่
กระชอนเปิดน้ำเย็นให้ไหลผ่าน ทิ้งให้สะเด็ดน้ำ นำใส่ถาดเกลี่ยให้บาง นำเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ
65 องศาเซลเซียส 5 ชั่วโมง เมล็ดทุเรียนที่อบแห้งนำมาปรุงรสก่อนทำให้สะเด็ดน้ำ และนำเมล็ด
ทุเรียนที่ได้ลงทอดในน้ำมันไฟแรงปานกลางประมาณ 3 นาที ตักขึ้นใส่กระดาษซับน้ำมันทิ้งให้เย็น

แป้ง

1. ความสำคัญของแป้ง

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในพืชชั้นสูง พบในคลอโรพลาสต์ และในส่วนที่พืชใช้เป็น
แหล่งเก็บอาหาร เช่น เมล็ดและหัว แป้งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในโภชนาการของมนุษย์ อาหาร
ทั้งหมดส่วนใหญ่จะมีแป้งเป็นองค์ประกอบหลักของทุกชนิด เช่น ข้าว ขนมปัง ก๋วยเตี๋ยว และ
พาสต้า เป็นต้น

บทบาทที่สำคัญของแป้งคือ ใช้เป็นแหล่งอาหารพลังงานสูงของมนุษย์ แต่จาก
คุณสมบัติเฉพาะของแป้งจึงได้มีการนำแป้งมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของ
อาหาร เช่น ทำให้เกิดเจล ควบคุมความคงตัวและเนื้อสัมผัสของอาหารจำพวกซอส ซุปและ น้ำปรุงรส
อาหาร ป้องกันเนื้อสัมผัสของอาหารเสียรูปเนื่องจากกระบวนการแช่แข็งและคืนรูปจากเยือกแข็ง
(freeze-thaw) สภาวะกรด การทำพาสเจอร์ไรเซชัน (pasteurization) และสเตอริไรเซชัน
(sterilization) เป็นต้น นอกจากนี้ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารแล้ว ยังมีการนำแป้งมาใช้ประโยชน์ใน

อุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรม-กาว และอุตสาหกรรมแป้งตัดแปร เป็นต้น

คำว่า “แป้ง” ในการผลิตนั้น หมายถึง คาร์โบไฮเดรตที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่ มีสิ่งอื่นเจือปน เช่น โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ น้อยมาก ส่วน แป้งที่ผลิตโดยทั่วไปที่ยังมีส่วนประกอบอื่นๆ อยู่มาก จะเรียกว่า ฟลาวัวร์ (flour) ตัวอย่างเช่น แป้งข้าวโพด แป้งข้าวสาลี ถ้ายังมีส่วนประกอบของโปรตีนสูง ก็จะจัดอยู่ในประเภทฟลาวัวร์ เรียกว่า corn flour, wheat flour เช่นเดียวกันกับแป้งข้าวเจ้าที่ยังมีโปรตีน 7 ถึง 8% ก็เรียกว่า rice flour แต่เมื่อสิ่งเจือปนอันหมายถึงโปรตีน ไขมัน เกลือแร่อื่นๆ ถูกสกัดออกไป จนเหลือแป้งบริสุทธิ์เป็นส่วน ใหญ่จึงเรียกว่าเป็นแป้งสตาร์ช (starch) เช่น corn starch, wheat starch เป็นต้น (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2546)

2. ชนิดของแป้ง

แป้งแต่ละชนิดมีรูปแบบในการพองตัวและการละลายแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาตามความสามารถในการพองตัวและการละลายของแป้งแล้ว สามารถแบ่งแป้งออกเป็น 3 ชนิด คือ แป้งจากธัญพืช แป้งจากส่วนราก และแป้งจากส่วนหัว

(1) แป้งจากธัญพืช มีรูปแบบการพองตัวและการละลาย 2 ชั้น แสดงถึงแรงของพันธะภายในเม็ดแป้งที่แตกต่างกัน 2 ชนิด คือ พันธะบริเวณผลึก และบริเวณอสัณฐานของเม็ดแป้ง แป้งจำพวกนี้มีจำนวนพันธะสูงสุด แต่มีกำลังการพองตัวและการละลายต่ำสุดเนื่องจากมีปริมาณ อะมิโลสสูง ซึ่งอะมิโลสจะทำให้โครงสร้างร่างแหในเม็ดแป้งแข็งแรงขึ้น ทำให้พองตัวได้ต่ำ

(2) แป้งจากส่วนรากหรือส่วนกลางลำต้น (pith) เช่น แป้งมันสำปะหลัง มีการ พองตัวเพียงชั้นเดียว กำลังการพองตัวและการละลายมีค่าสูงกว่าแป้งจากธัญพืช เนื่องจากมีจำนวนพันธะ น้อยกว่า แป้งจากส่วนรากจะเกิดเจลาตินไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำกว่าแป้งจากธัญพืช

(3) แป้งจากส่วนหัว เช่น แป้งมันฝรั่ง จะมีการพองตัวสูงเนื่องจากพันธะภายใน ร่างแหอ่อนแอ นอกจากนี้หมู่ฟอสเฟตภายในแป้งมันฝรั่งยังทำให้เกิดการพองตัวสูงขึ้น เนื่องจาก สามารถก่อให้เกิดแรงผลักดันทางไฟฟ้าได้ การพองตัวในแป้งจากส่วนหัวจะเกิดเพียงชั้นเดียว และ เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ รูปแบบนี้จะ เป็นลักษณะของแป้งที่เป็นพอลิอิเล็กโทรไลต์ (polyelectrolyte)

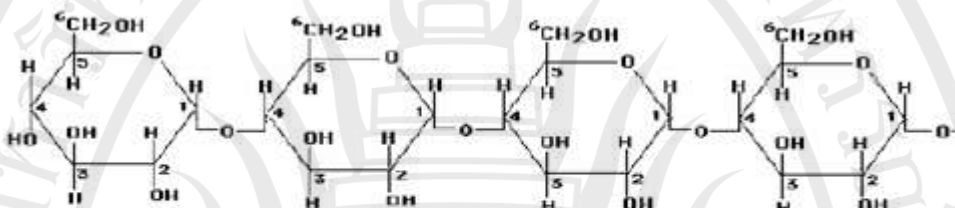
3. สมบัติของแป้ง (Properties Starch)

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยคาร์บอน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6 : 1 : 5 มีสูตรเคมีโดยทั่วไป คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคส ซึ่งประกอบด้วย anhydroglucose unit เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ glucosidic linkage ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ทางด้านตอนปลายของสายพอลิเมอร์มีหน่วยกลูโคสที่มีหมู่แอลดีไฮด์ (aldenhyde group) เรียกว่า reducing end group แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ พอลิเมอร์เชิงเส้น (อะมิโลส) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง

(อะมิโลเพกติน)วางตัวในแนวรัศมี แปรจากแหล่งที่ต่างกันจะมีอัตราส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินแตกต่างกัน ทำให้คุณสมบัติของแป้งแต่ละชนิดแตกต่างกัน (กล้าณรงค์ และเกื้อกุล, 2543)

1. อะมิโลส

อะมิโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4-glucosidic linkage ดังรูปที่ 1



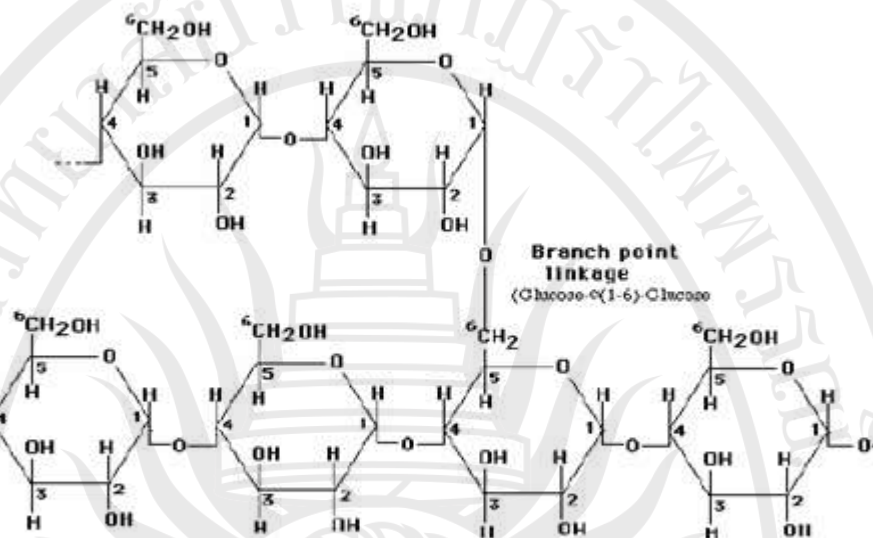
รูปที่ 1 โครงสร้างอะมิโลส

ที่มา : กล้าณรงค์ และเกื้อกุล (2543)

อะมิโลสสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีน และสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ เช่น butanol , fatty acid , surfactant , phenol และ hydrocarbon สารประกอบเชิงซ้อนเหล่านี้จะไม่ละลายในน้ำ โดยอะมิโลสจะพันเป็นเกลียวล้อมรอบสารประกอบอินทรีย์ นอกจากนี้ อะมิโลสที่รวมตัวกับไอโอดีนจะให้สีน้ำเงิน ซึ่งใช้เป็นลักษณะเฉพาะที่บ่งบอกถึงแป้งที่มีองค์ประกอบของอะมิโลส ตำแหน่งของอะมิโลสภายในเม็ดแป้งขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของแป้ง อะมิโลสบางส่วนอยู่ในกลุ่มของอะมิโลเพกติน บางส่วนกระจายอยู่ทั้งในส่วนอสัณฐาน (amorphous) และส่วนผลึก (crystalline) อะมิโลสที่มีขนาดใหญ่จะพบเป็นเกลียวคู่กับอะมิโลเพกติน อยู่ใจกลางเม็ดแป้ง สำหรับอะมิโลสขนาดเล็กจะพบอยู่ตามขอบเม็ดแป้ง โครงสร้างของอะมิโลส เมื่ออยู่ในสารละลายจะมีหลายรูปแบบ คือ ลักษณะเป็นเกลียวม้วน (helix) เกลียวที่คลายตัว (interrupted helix) หรือ ม้วนอิสระ (random coil) ในสารละลายที่อุณหภูมิห้อง อะมิโลสอยู่ในลักษณะเป็นเกลียวม้วนหรือเกลียวที่คลายตัว อะมิโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 6,500 ถึง 160,000 มีโมเลกุลเป็นม้วนอิสระและจะไม่ละลายในสารละลาย สำหรับอะมิโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 6,500 อาจจะมีบางส่วนละลายได้ โมเลกุลจะอยู่ในลักษณะเกลียวคู่ที่แข็ง

2. อะมิโลเพกติน

อะมิโลเพกตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4-glucosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้น มี DP อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,6-glucosidic linkage ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 โครงสร้างอะไมโลเพกติน
ที่มา : กล้าณรงค์และเกื้อกุล (2543)

หน่วยกลูโคสที่มีพันธะ α -1,6-glycosidic linkage มีอยู่ประมาณ 5 % ของปริมาณหน่วยกลูโคสในอะไมโลเพกตินทั้งหมด DP ของอะไมโลเพกตินในแป้งแต่ละชนิดจะมีค่าประมาณ 2 ล้านหน่วย อะไมโลเพกตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1000 เท่าของอะมิโลส คือ ประมาณ 10^7 ถึง 10^9 ดาลตัน และมีอัตราในการคืนตัวต่ำ เนื่องจากอะไมโลเพกตินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่ง

ลักษณะโครงสร้างแบบกิ่งของอะไมโลเพกตินประกอบด้วยสาย (chain) 3 ชนิด คือ

2.1 สาย A (A - chain) เชื่อมต่อกับสายอื่นที่ตำแหน่งเดียว ไม่มีกิ่งเชื่อมต่อออกจากสายชนิดนี้ (unbranched structure)

2.2 สาย B (B - chain) มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่นๆ 2 สายหรือมากกว่า โครงสร้างอะไมโลเพกตินประกอบด้วยสาย A และสาย B ในอัตราส่วน 0.8 - 0.9: 1

2.3 สาย C (C - chain) แบบสายแกนซึ่งประกอบด้วยหมู่รีดิวซ์ซึ่ง 1 หมู่ ในอะไมโลเพกตินแต่ละโมเลกุล ประกอบด้วยสาย C หนึ่งสายเท่านั้น

อะไมโลเพกตินถือว่ามีควมสำคัญมากกว่าอะมิโลส ทั้งด้านโครงสร้าง หน้าที่ และการนำไปใช้ ดังนั้น เมื่ออะไมโลเพกตินเพียงอย่างเดียวสามารถรวมตัวเพื่อสร้างเม็ดแป้งได้ ปริมาณของอะมิโลสและอะไมโลเพกตินที่แตกต่างกันทำให้สมบัติของแป้งแตกต่างกัน(กล้าณรงค์และเกื้อกุล, 2543) คุณสมบัติของอะมิโลสและอะไมโลเพกตินสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1 ดังนี้ (กล้าณรงค์และเกื้อกุล, 2543)

ตารางที่ 1 สมบัติที่สำคัญของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน

คุณสมบัติ	อะไมโลส	อะไมโลเพกติน
ลักษณะโครงสร้าง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคส เกาะกันเป็นเส้นตรง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคส เกาะกันเป็นกิ่งก้าน
พันธะที่จับ ขนาด	α -1,4 200- 2000 หน่วยกลูโคส	α -1,4 และ α -1,6 มากกว่า 10000 หน่วยกลูโคส
การละลาย	ละลายน้ำได้น้อยกว่า	ละลายน้ำได้ดีกว่า
การทำปฏิกิริยากับไอโอดีน	สีน้ำเงิน	สีแดงม่วง
การจับตัว	เมื่อให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้จะจับ ตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง	ไม่จับตัวเป็นแผ่นแข็ง

3. ส่วนประกอบอื่นๆ ภายในเม็ดแป้ง

ส่วนประกอบอื่นที่มีผลต่อลักษณะและคุณสมบัติของเม็ดแป้งที่สำคัญ ได้แก่ ไขมัน โปรตีน เถ้า และฟอสฟอรัส ซึ่งมีปริมาณแตกต่างกันในแป้งแต่ละชนิดดังตารางที่ 2 (กล้าณรงค์และเกื้อกุล, 2543)

3.1 ไขมัน

โดยส่วนใหญ่แป้งจะมีองค์ประกอบของไขมันอยู่ต่ำกว่า 1 % ชนิดของไขมันที่มีอยู่ในแป้งมีผลต่อคุณสมบัติของแป้ง เช่น มีผลต่อความเหนียวของแป้ง ดังนั้น ในการวิเคราะห์คุณสมบัติของแป้งจะต้องกำจัดไขมันออกจากแป้งโดยสกัดด้วยตัวทำละลายหรือย่อยสลายโดยใช้น้ำย่อย

ไขมันภายในแป้งมีทั้งที่อยู่บริเวณพื้นผิวของเม็ดแป้ง ซึ่งประกอบด้วย triglyceride free fatty acid glucolipids phospholipids และไขมันที่อยู่กระจายทั่วไปภายในเม็ดแป้ง โดยเชื่อมพันธะกับคาร์โบไฮเดรตอย่างหลวม ๆ แป้งจากพืชหัวและจากถั่วไม่มีไขมันภายในเม็ดแป้ง สำหรับแป้งจากธัญพืช เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี มีไขมันภายในเม็ดแป้งซึ่งมีสมบัติและปริมาณไขมันแตกต่างกัน ไขมันที่รวมอยู่ในเม็ดแป้งจะส่งผลกระทบต่อลักษณะและคุณสมบัติของแป้ง โดยจะลดความสามารถในการพองตัว การละลาย และการจับตัวกับน้ำของแป้ง เมื่อเกิดฟิล์มและแป้งเปียก (paste) ไขมันจะไม่อึดตัวซึ่งอยู่บริเวณพื้นผิวของเม็ดแป้งจะทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ เนื่องมาจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน แต่สำหรับไขมันที่รวมตัวเชิงซ้อนกับอะมิโลสจะไม่ก่อให้เกิดกลิ่น เนื่องจากสามารถต้านทานการเกิดออกซิเดชันได้ แป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งข้าวสาลี มีกลิ่นแรงกว่า แป้งข้าวโพดข้าวเหนียว แป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันฝรั่ง เนื่องจากมีองค์ประกอบของไขมันสูง (กล้าณรงค์และเกื้อกุล, 2543)

ตารางที่ 2 องค์ประกอบของแป้งชนิดต่างๆ

ชนิดแป้ง	ความชื้น 65% RH , 20°C	% ไขมัน	% โปรตีน	% เถ้า	%ฟอสฟอรัส
แป้งข้าวโพด	13	0.6	0.35	0.1	0.015
แป้งมันฝรั่ง	19	0.05	0.06	0.4	0.08
แป้งสาลี	14	0.8	0.4	0.15	0.06
แป้งมันสำปะหลัง	13	0.1	0.1	0.2	0.01
แป้งข้าวโพดข้าว เหนียว	13	0.2	0.25	0.07	0.007
แป้งข้าวฟ่าง					
แป้งข้าวเจ้า	13	0.7	0.3	0.08	-
แป้งสาคุ	-	0.8	0.45	0.5	0.1
แป้ง	-	0.1	0.1	0.2	0.02
amylomaize	13	0.4	-	0.2	0.07
แป้งมันเทศ	13	-	-	0.1	-

3.2 ไนโตรเจน (โปรตีน)

ภายในแป้งมีส่วนประกอบของโปรตีนอยู่ต่ำกว่า 1 % โดยโปรตีนจะเกาะอยู่บริเวณพื้นผิวของเม็ดแป้ง ทำให้เกิดผลกระทบต่อลักษณะของแป้ง คือ ทำให้เกิดประจุบนพื้นผิวเม็ดแป้ง มีผลต่อการกระจายของเม็ดแป้ง ทำให้แป้งมีอัตราการดูดซับน้ำ อัตราการพองตัว และอัตราการเกิดเจลลาติไนซ์เปลี่ยนแปลงไป ทำให้เกิด maillard reduction ระหว่างการทำปฏิกิริยาของกรดอะมิโนกับน้ำตาลรีดิวซิง สีและกลิ่นของผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนแปลงไป (โดยส่วนใหญ่ปฏิกิริยาเช่นนี้เกิดขึ้นกับแป้งจากธัญพืช เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนสูง) (กล้าณรงค์และเกื้อกุล, 2543)

3.3 เถ้า

แป้งโดยทั่วไปมีองค์ประกอบของสารอนินทรีย์ เช่น โซเดียม โปแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม สามารถวิเคราะห์หาปริมาณได้จากส่วนที่เหลือหรือเถ้าจากการเผาไหม้ โดยสมบูรณ์ ปริมาณเถ้าในแป้งมันฝรั่งจะสัมพันธ์กับหมู่ฟอสฟอรัสในแป้ง สำหรับเถ้าในแป้งจากธัญพืชจะสัมพันธ์กับปริมาณฟอสฟอรัส (กล้าณรงค์และเกื้อกุล, 2543)

3.4 ฟอสฟอรัส

แป้งส่วนใหญ่มีองค์ประกอบของฟอสฟอรัสอยู่น้อยกว่า 0.1 % โดยแป้งจากธัญพืชมีฟอสฟอรัสในรูป phospholipid ประมาณ 0.02 ถึง 0.06 % และสำหรับแป้งจากพืชหัวและราก เช่น แป้งจากมันฝรั่ง มีองค์ประกอบของฟอสฟอรัสประมาณ 0.3 ถึง 0.4 % ฟอสฟอรัสภายในแป้งอยู่ในรูปฟอสเฟตเชื่อมกับหมู่ไฮดรอกซิลที่ C3 และ C6 ของหน่วยกลูโคส แป้งมันฝรั่งมีองค์ประกอบของฟอสฟอรัสจึงทำให้มีประจุพื้นผิวเป็นลบ แรงผลักระหว่างประจุลบจะทำให้แป้งมันฝรั่งมีคุณสมบัติพองตัวง่าย และมีความหนืดสูงกว่าแป้งชนิดอื่นๆ (กล้าณรงค์ และเกื้อกุล, 2543)

4. ความหนืด

ความหนืดเป็นสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญของแป้ง เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความหนืดของแป้ง ได้แก่ ชนิดของแป้ง แป้งแต่ละชนิดมีคุณสมบัติความหนืดแตกต่างกันไป ความหนืดที่เกิดขึ้นของน้ำแป้ง เมื่อให้ความร้อนและมีการกวนหรือคนอย่างสม่ำเสมอ การแบ่งรูปแบบความหนืดของแป้งสูงที่วัดด้วยเครื่อง Brabender Viscoamylograph ตามกำลังการพองตัวของแป้งสามารถแบ่งได้ 4 แบบ ดังนี้

แบบ a : กราฟจากเมล็ดแป้งที่มีกำลังการพองตัวสูง (high-swelling starches) เช่น แป้งมันฝรั่ง (potato starch) แป้งข้าวฟ่าง (waxy sorghum starch) แป้งจากธัญพืช เมื่อให้ความร้อนแก่แป้ง เม็ดแป้งจะมีกำลังการพองตัวสูง ทำให้แรงที่ยึดกันภายในโมเลกุลอ่อนตัวลง เม็ดแป้งกระจายตัวออกเมื่อได้รับแรงเฉือน ลักษณะกราฟความหนืดจึงสูงขึ้นแล้วลดลงอย่างรวดเร็วระหว่างการต้มสุก

แบบ b : กราฟจากเมล็ดแป้งที่มีกำลังการพองตัวปานกลาง (moderate-swelling starches) ได้แก่ แป้งจากธัญพืชต่างๆ เม็ดแป้งไม่พองตัวมากถึงขั้นกระจายตัวออก จึงได้ลักษณะกราฟความหนืดที่สูงขึ้นน้อยกว่าและเกิดการสลายตัวระหว่างการต้มสุกน้อยกว่า

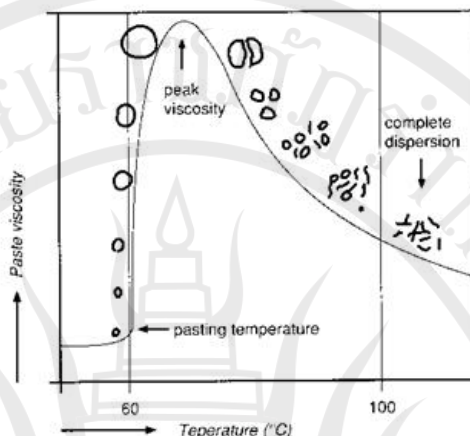
แบบ c : กราฟจากเมล็ดแป้งที่มีการพองตัวน้อย (restricted-swelling starches) ได้แก่ แป้งจากถั่วต่างๆ และแป้งครอสลิงหรือพันธะข้าม (cross-linked หรือ cross bonded) วิธีครอสลิงทำให้การพองตัวและการละลายของเม็ดแป้งลดลง ทำให้เม็ดแป้งที่พองตัวมีเสถียรภาพมากขึ้น ลักษณะกราฟความหนืดจึงไม่ปรากฏเป็นยอดสูงสุด มีค่าความหนืดสูงซึ่งอาจจะคงที่หรือเพิ่มขึ้นระหว่างต้มสุก

แบบ d : กราฟจากเมล็ดแป้งที่มีการพองตัวน้อยมาก (highly-restricted swelling starches) ได้แก่ แป้งที่มีปริมาณอะมิโลสสูง เช่น แป้งข้าวโพดอะมิโลเมสซึ่งมีอะมิโลส 50 ถึง 80%

5. การเกิดเจลาตินในเซชัน

โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl groups) จำนวนมาก ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีคุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) แต่เนื่องจากเม็ดแป้งอยู่ในรูปของร่างแห (micelles) ดังนั้นการจัดเรียงตัวลักษณะนี้จะทำให้เม็ดแป้งละลายในน้ำเย็นได้ยาก ดังนั้นในขณะที่แป้งอยู่ในน้ำเย็นเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย แต่เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายน้ำแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำแล้วพองตัว ส่วนผสมของน้ำแป้งจะมีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลืออยู่รอบๆ เม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น ทำให้เกิดความหนืด ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดเจลาตินในเซชัน (gelatinization) อุณหภูมิที่สารละลายเริ่มเกิด ความหนืดเรียกว่า อุณหภูมิเริ่มเจลาตินในซ์ เมื่อตรวจวัดโดยเครื่องมือวัดความหนืด มักจะเรียกจุดนี้ว่า อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) หรือเวลาที่เริ่มเปลี่ยนแปลง ความหนืด (pasting time) ซึ่งจะแตกต่างกันในแป้งแต่ละชนิด แป้งจากพืชหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่งจะมีอุณหภูมิเริ่มเจลาตินในซ์ต่ำกว่าอุณหภูมิจากแป้งธัญพืช

การเกิดเจลาตินในเซชันของเม็ดแป้งแบ่งได้ 3 ระยะ (รูปที่ 3) คือ ระยะแรกเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเย็นได้อย่างจำกัดและเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เนื่องจากร่างแหระหว่าง micelles ยึดหยุ่นได้จำกัด ความหนืดของสารแขวนลอยจะไม่เพิ่มขึ้นจนเห็นได้ชัด เม็ดแป้งยังคงรักษารูปร่างและโครงสร้าง birefringence เมื่อเริ่มเข้าสู่ระยะที่ 2 เม็ดแป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็ว ร่างแหระหว่างไมเซลล์ ภายในเม็ดแป้งจะอ่อนแอลง เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเข้ามามากและเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ เรียกว่า เจลาตินในเซชัน เม็ดแป้งจะเปลี่ยนรูปร่างและโครงสร้าง birefringence ความหนืดของสารละลายน้ำแป้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แป้งที่ละลายได้ จะเริ่มละลายออกมา เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิต่อไปอีกจนเข้าสู่ระยะที่ 3 รูปร่างของเม็ดแป้งจะไม่แน่นอน การละลายของแป้งจะเพิ่มขึ้น เมื่อนำไปทำให้เย็นจะเกิดเจล การเกิดเจลาตินในเซชันของแป้ง จะทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของแป้งสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆ ได้ดีขึ้น รวมทั้งพร้อมที่จะถูกย่อยด้วยน้ำย่อยต่างๆ ได้ดีกว่า (กล้าณรงค์และเกื้อกุล, 2543)



รูปที่ 3 แสดงระยะในการเกิดเจลลาตินเซชันของเม็ดแป้ง
ที่มา : กล้าณรงค์และเกื้อกุล (2543)

6. การเกิดรีโทรเกรเดชัน

เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลลาตินเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไป จะทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะมิโลส ขนาดเล็กจะกระจัดกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัว โมเลกุลอะมิโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจับเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติ โครงสร้างใหม่นี้สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียว คล้ายฟิล์มหรือฟลิก เรียกว่าปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัว (setback) (Smith, 1979) เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงไปอีกลักษณะการเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมานอกเจล ซึ่งเรียกว่า syneresis ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้จะทำให้เจลมีลักษณะขรุขระและมีความหนืดเพิ่มขึ้น

การคืนตัวของแป้งเปียกและสารละลายแป้งทำให้สารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้น มีลักษณะขุ่นและทึบแสง เกิดขึ้นส่วนที่ไม่ละลายในแป้งเปียกที่ร้อน เกิดการตกตะกอนของอนุภาคแป้งที่ไม่ละลาย ทำให้เกิดเจล และโมเลกุลน้ำถูกบีบออกมานอกเจล ในการคืนตัวของแป้งเมื่อเกิดขึ้นอย่างช้าๆ จะเกิดการตกตะกอน เมื่อเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะทำให้เกิดเจลขุ่น

การคืนตัวของแป้งขึ้นอยู่กับหลายประการ ได้แก่ ชนิดของแป้ง ความเข้มข้นของแป้ง กระบวนการให้ความร้อน กระบวนการให้ความเย็น อุณหภูมิ ระยะเวลา ความเป็นกรด-เบส (pH) ของสารละลาย ปริมาณและขนาดของอะมิโลส อะมิโลเพกทิน และองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ในแป้ง ในสถานะที่อุณหภูมิต่ำและความเข้มข้นของแป้งสูง แป้งสามารถคืนตัวได้ดี ในช่วง pH 5-7 แป้งสามารถคืนตัวได้เร็วที่สุด สำหรับช่วง pH ที่สูงหรือต่ำกว่านี้แป้งจะคืนตัวได้ช้าลง ในการชะลอการคืน

ตัวของแป้งจะใช้เกลือที่มีประจุลบและบวก (monovalent anion และ cation), แคลเซียมไนเตรท (calcium nitrate) และยูเรีย (urea) (Swinkels, 1985)

ปริมาณและขนาดของอะมิโลสมีความสำคัญต่อการคืนตัวของแป้ง แป้งที่มีปริมาณอะมิโลสสูง จะเกิดการคืนตัวได้มากและเร็วกว่าแป้งที่มีปริมาณอะมิโลสเพกทินสูง อัตราในการคืนตัวจะสูงสุด (การละลายต่ำที่สุด) เมื่อขนาดโมเลกุล (degree of polymerization) ของอะมิโลสเท่ากับ 100 ถึง 200 อัตราการคืนตัวจะลดลงเมื่อโมเลกุลของอะมิโลสยาวหรือสั้นกว่านี้ ในการทำให้อะมิโลสที่คืนตัว กลับมาละลายได้อีกครั้งหนึ่งต้องใช้อุณหภูมิถึง 100 ถึง 160 องศาเซลเซียส อะมิโลสเพกทินจะมีผล ทำให้เกิดการคืนตัวน้อยมาก ดังนั้นแป้งแต่ละชนิดจะมีอัตราการคืนตัวที่แตกต่างกัน ในแป้งข้าวโพด เหนียวจะมีอัตราการคืนตัวของแป้งต่ำที่สุด เนื่องจากไม่มีอะมิโลสในแป้งข้าวโพดเหนียว สำหรับแป้ง ข้าวโพดและแป้งสาลีจะมีอัตราการคืนตัวสูงกว่าแป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลัง เนื่องมาจากในแป้ง ธัญพืชมีปริมาณอะมิโลสสูง (ประมาณร้อยละ 28) มีอะมิโลสโมเลกุลเล็ก และมีไขมันในปริมาณสูงทำให้เกิดการจับตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของอะมิโลสและไขมัน (amylase-lipid complex) (กล้าณรงค์ และเกื้อกุล, 2546)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บัวณา และคณะ (2548) ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์จากแป้งข้าว กล้อง โดยศึกษาปริมาณการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวกล้องและปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการผลิต บะหมี่ โดยในแป้ง 100 กรัม ใช้อัตราส่วนแป้งสาลีต่อแป้งข้าวกล้อง 60:40 70:30 และ 80:20 และน้ำ 45 50 และ 55 กรัม ตามลำดับ จากการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส โดยการให้ คะแนนความชอบ (Hedonic Scaling Test) ของผู้ทดสอบ จำนวน 20 คน พบว่า ผู้บริโภคให้การ ยอมรับบะหมี่ที่ผลิตจากอัตราส่วนแป้งสาลีและแป้งข้าวกล้อง 80 กรัมต่อ 20 กรัม และน้ำ 45 กรัม จากนั้นจึงปรับปรุงคุณภาพเส้นบะหมี่ด้วยการใส่กัวร์กัมเป็นสารยึดเกาะ โดยศึกษาปริมาณกัวร์กัม 3 ระดับ คือ 0.1 0.2 และ 0.3 ของน้ำหนักแป้ง พบว่าบะหมี่ที่มีกัวร์กัมร้อยละ 0.2 ของน้ำหนักแป้งมีผู้ ทดสอบให้การยอมรับมากที่สุด จากนั้นวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 2 ไขมันร้อยละ 0.09 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 41 เถ้าร้อยละ 0.6 เส้นใยร้อยละ 0.4 และความชื้น ร้อยละ 59

สิรินาถ (2542) ได้ทำการศึกษาเรื่องการนำเมล็ดทุเรียนมาผลิตเป็นแป้งเมล็ดทุเรียน และ ศึกษาสมบัติในด้านต่างๆ รวมทั้งการนำแป้งจากเมล็ดทุเรียนไปใช้ประโยชน์ในการผลิตเค้กเนยและ คุกกี้ พบว่าแป้งที่ผลิตได้จากเมล็ดทุเรียนมีค่าสีดังนี้คือ L^* เท่ากับ 89.50 a^* เท่ากับ 0.67 และ b^* เท่ากับ 7.09 มีปริมาณโปรตีน ไขมัน เส้นใย เถ้า คาร์โบไฮเดรต และความชื้น เท่ากับร้อยละ 4.62 1.33 0.12 1.56 80.81 และ 11.56 ตามลำดับ และจากการนำแป้งเมล็ดทุเรียนมาทดแทนแป้งสาลี

ในผลิตภัณฑ์เค้กเนยและคุกกี้ พบว่าสามารถทดแทนได้ในปริมาณร้อยละ 20 และ 30 (โดยน้ำหนัก แป้งสาลี) ตามลำดับ โดยมีผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยรวมไม่แตกต่างจากสูตรต้นแบบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

สุภารัตน์ (2547) ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และกายภาพในด้านสีของบะหมี่จากแป้งถั่วเขียว พบว่าบะหมี่จากแป้งถั่วเขียวมีองค์ประกอบทางเคมีด้านความชื้น ไขมัน โปรตีน แล็กซีนไย และ คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 30.44 0.45 11.80 1.22 0.38 และ 56.12 ตามลำดับ ส่วนค่าสี L^* a^* และ b^* เท่ากับ 65.80 0.70 และ 25.85 ตามลำดับ จากนั้นนำแป้งถั่วเขียวที่ผลิตได้มาทำการศึกษาอัตราส่วนการใช้แป้งถั่วเขียวทดแทนแป้งสาลีในระดับร้อยละ 10:90 20:80 30:70 และ 40:60 ตามลำดับ แล้วนำมาทำการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น ความเหนียว ยืดหยุ่น ความเรียบเนียนของผิวเส้น และความชอบรวม พบว่าผู้ทดสอบให้การยอมรับบะหมี่จากแป้งถั่วเขียวในสูตรที่ 3 มากที่สุด ซึ่งอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับบะหมี่ในสูตรที่ 1 สูตรที่ 2 และสูตรที่ 3