บทที่ 2
แป้ง

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในพืชชั้นสูง พบในคลอโรพลาสต์ (ในใบ) และในส่วนที่พืชใช้เป็นแหล่งเก็บอาหาร เช่น เมล็ดและหัว เป็นต้น มนุษย์ได้รับแป้งจากพืชที่แตกต่างกันตามภูมิประเทศในโลก ทางด้านทวีปอเมริกาเหนือ/กลาง จะมีข้าวโพด ข้าวสาลีเป็นแหล่งให้แป้งที่สำคัญ ทางยุโรปมีมันฝรั่ง และแถบเอเชีย แอฟริกา มีข้าวและมันสำปะหลัง เป็นต้น แต่แป้งที่สำคัญที่มีการใช้กันทั่วโลก คือแป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง แป้งข้าวสาลีและแป้งมันสำปะหลัง แป้งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในโภชนาการของมนุษย์ อาหารส่วนใหญ่จะมีแป้งเป็นองค์ประกอบหลักของทุกชนชาติ เช่น ข้าว ขนมปัง ก๋วยเตี๋ยว และพาสต้า เป็นต้น [1]

ถึงแม้ว่าบทบาทที่สำคัญของแป้งคือ ใช้เป็นแหล่งอาหารพลังงานสูงของมนุษย์ แต่จากคุณสมบัติเฉพาะของแป้ง จึงได้มีการนำแป้งมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของอาหาร เอาแป้งไปละลายน้ำให้เป็นเจล เพื่อควบคุมความคงตัวและเนื้อสัมผัสของอาหารจำพวกซอส ซุปและน้ำปรุงรสอาหาร ป้องกันเนื้อสัมผัสของอาหารเสียรูป เนื่องจากกระบวนการแช่แข็งและคืนรูป (Freeze-thaw) สภาวะกรด การทำพาสเจอร์ไรเซชัน (Pasteurization) และสเตอริไลเซชัน (Sterilization) เป็นต้น นอกจากในอุตสาหกรรมอาหารแล้ว ยังมีการนำแป้งมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมกาว และอุตสาหกรรมแป้งดัดแปร เป็นต้น

คำว่า "แป้ง" ในการผลิตนั้น หมายถึง คาร์โบไฮเดรตที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่ มีสิ่งอื่นเจือปน เช่น โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ น้อยมาก

แป้งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. แป้งที่ผลิตโดยทั่วไปซึ่งยังมีส่วนประกอบอื่นๆอยู่มาก จะเรียกว่า ฟลาวร์ (Flour) ตัวอย่างเช่น แป้งข้าวโพด แป้งข้าวสาลี ถ้ายังมีส่วนประกอบของโปรตีนสูง ก็จะจัดอยู่ในประเภทฟลาวร์ เรียกว่า corn flour, wheat flour เช่นเดียวกับแป้งข้าวเจ้าที่ยังมีโปรตีน 7 ถึง 8% ก็เรียกว่า rice flour เป็นต้น
2. แป้งสตาร์ช (Starch) ซึ่งหมายถึง แป้งที่ได้จากการกำจัดสิ่งเจือปนอันหมายถึงโปรตีน ไขมัน เกลือแร่อื่นๆ ถูกสกัดออกไป จนเหลือแป้งบริสุทธิ์เป็นส่วนใหญ่ เช่น corn starch, wheat starch เป็นต้น สำหรับแป้งมันสำปะหลังที่ผลิตในประเทศไทย ปัจจุบันผลิตโดยกรรมวิธีที่ทันสมัย มีความบริสุทธิ์ของแป้งสูง จัดเป็นแป้งสตาร์ช (Cassava starch) และเนื่องจากแป้งสตาร์ชมีความบริสุทธิ์สูง จึงถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในรูปของสารเคมีในการ

ทำปฏิกิริยาต่างๆมากมาย ในบางครั้ง เราเรียกแป้งสตาร์ชที่ยังไม่ได้ถูกทำการดัดแปรหรือแปรรูปว่า แป้งดิบ (Raw starch หรือ Native starch) ซึ่งจะตรงกันข้ามกับแป้งที่ถูกดัดแปรหรือแปรรูปแล้ว ซึ่งนิยมเรียกว่าโมดิไฟด์สตาร์ช (Modified starch) หรือแป้งดัดแปร

แป้งที่มีการนำมาใช้กันมากที่สุดในโลกคือ แป้งข้าวโพด เนื่องจากประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นผู้ผลิตรายใหญ่และมีการนำเทคนิคพันธุวิศวกรรมมาใช้ ทำให้เกิดความหลากหลายทางพันธุกรรมในข้าวโพด ส่งผลให้แป้งที่ผลิตได้มีคุณสมบัติต่างๆที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ผลพลอยได้จากการสกัดแป้งส่วนใหญ่จะเป็นโปรตีนและน้ำมัน ซึ่งมีมูลค่าสูงทางการค้า แต่ข้อเสียเปรียบที่สำคัญคือการทำการสกัดแป้งและแยกออกจากโปรตีนทำได้ยาก และแป้งที่สกัดได้ยังมีไขมันอยู่บ้าง (ประมาณ 1%) ซึ่งจะส่งผลกับคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ [1]

แป้งข้าวสาลีและแป้งมันฝรั่งก็ได้มีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆอย่างแพร่หลาย การผลิตแป้งข้าวสาลีในปริมาณมากเนื่องจากความต้องการผลิตภัณฑ์ร่วมที่ได้จากการสกัดแป้งคือโปรตีนที่ถูกสกัดแยกออกมาหรือที่รู้จักกันในชื่อกลูเตน (Gluten) และการพัฒนาการนำแป้งข้าวสาลีมาใช้ประโยชน์ใหม่ๆในทวีปยุโรปอย่างต่อเนื่อง แต่ปัญหาที่สำคัญของข้าวสาลีคือ ขาดความหลากหลายทางพันธุกรรม อย่างไรก็ตาม เนื่องจากแป้งข้าวสาลีประกอบด้วยเม็ดแป้งขนาดต่างๆกัน 2 ขนาด (ขนาดใหญ่และขนาดเล็ก) ดังนั้นการทำแป้งให้บริสุทธิ์จึงยุ่งยากและมีผลกระทบกับคุณสมบัติแป้ง

ตลาดที่สำคัญของแป้งมันฝรั่งคือ ยุโรป การนำมาใช้ประโยชน์จะเป็นอุตสาหกรรมที่ไม่ใช่อาหารถึงเกือบ 50% เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวสาลี แป้งมันฝรั่งมีข้อได้เปรียบเนื่องจากมีปริมาณไขมันต่ำมาก [1] แต่ผลิตผลพลอยได้จากการสกัดแป้งมันฝรั่งมีมูลค่าน้อยกว่า และมันฝรั่งมีความหลากหลายทางพันธุกรรมน้อย ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญของมันฝรั่งเหมือนกับข้าวสาลี

ในอนาคต ถั่วจะเริ่มเป็นแหล่งให้แป้งที่สำคัญ ในเมล็ดถั่วจะมีแป้งเป็นส่วนประกอบสูงถึง 50% ที่เหลือจะเป็นโปรตีนและเยื่อใย ซึ่งมีมูลค่าทางการค้าสูง นอกจากนี้โครงสร้างของแป้งถั่วแตกต่างจากแป้งธัญพืชและมันฝรั่งคือ จะมีการละลายและพองตัวที่สูงกว่า สารละลายแป้งถั่วจะยังคงมีความหนืดสูงอยู่เมื่อผ่านการให้ความร้อนและทำให้เย็น และความหนืดจะคงตัวเมื่อเก็บสารละลายไว้ที่อุณหภูมิสูง [1] นอกจากนี้ยังมีความหลากหลายทางพันธุกรรมมากพอๆกับข้าวโพด

รูปแบบการใช้ประโยชน์จากแป้งในอุตสาหกรรมต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา อุตสาหกรรมหนึ่งในปัจจุบันอาจถูกแทนที่ด้วยอุตสาหกรรมหนึ่งที่กำลังพัฒนาต่อไปในอนาคตได้ การคิดค้นใหม่ๆทำให้เกิดความต้องการแป้งชนิดใหม่เพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น การผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ ทำให้มีความต้องการแป้งที่มีขนาดเล็กและมีปริมาณอะมิโลสสูง เกิดความพยายามที่จะเสาะแสวงหาแป้งชนิดใหม่ๆ ที่มีคุณสมบัตินั้น หรือการพยายามใช้เทคนิคต่างๆ ทางชีวเคมี พันธุวิศวกรรมทำการดัดแปรแป้งหรือพืชนั้นๆ ทำให้เกิดความก้าวหน้าทางวิชาการมากขึ้น

ตารางที่ 2.1 ผลผลิตของแป้งโดยรวมของโลกในปี พ.ศ. 2535 (หน่วย : พันตัน) [1]

ทวีปหรือประเทศ	แหล่งวัตถุดิบ						ปริมาณรวม	เปอร์เซ็นต์ของการผลิตทั่วโลก
	ข้าวโพด	มันเทศ	มันสำปะหลัง	ข้าวสาลี	มันฝรั่ง	อื่น ๆ		
อเมริกาเหนือ	13450	-	-	200	55	20	13725	41
สหรัฐอเมริกา	13200	-	-	50	50	20	13320	40
แคนาดา	250	-	-	150	5	-	405	1
ละตินอเมริกา	1000	-	330	-	-	-	1330	4
ประชาคมยุโรป	3400	-	-	1400	1200	-	6000	18
รัสเซียและยุโรปตะวันออก	300	-	-	-	300	-	600	2
อาฟริกา	-	-	20	-	-	-	20	<1
เอเชีย	3020	4165	3442	165	400	30	11222	34
จีน	-	4000	300	-	-	-	4300	13
ญี่ปุ่น	2500	120	-	150	400	-	3170	10
ไทย	-	-	1800	-	-	-	1800	5
อินโดนีเซีย	-	-	800	-	-	-	800	2
อินเดีย	200	-	350	-	-	-	550	2
เวียดนาม	-	-	90	-	-	-	90	<1
ฟิลิปปินส์	75	-	17	-	-	-	92	<1
มาเลเซีย	-	-	70	-	-	30	100	<1
ไต้หวัน	45	15	15	15	-	-	90	<1
เกาหลีใต้	200	30	-	-	-	-	230	1
ออสเตรเลีย	50	-	-	300	-	-	350	1
ปริมาณรวม	21220 64%	4165 13%	3792 11%	2065 6%	1955 6%	50 0%	33247 100%	100

แป้งที่ผลิตกันทั่วโลก ส่วนใหญ่เป็นแป้งข้าวโพดที่ผลิตในอเมริกา สำหรับประเทศผู้ผลิตแป้งนั้นถือได้ว่าอเมริกาเป็นผู้ผลิตแป้งรายใหญ่ที่สุดของโลก รองลงมาคือกลุ่มประเทศตลาดร่วมยุโรป ซึ่งเป็นการผลิตแป้งมันฝรั่ง แป้งข้าวสาลี และแป้งข้าวโพด สำหรับประเทศไทยเป็นประเทศ

ที่ผลิตแป้งมันสำปะหลังมากที่สุดของโลกเช่นกัน (ตารางที่ 2.1) แป้งที่ผลิตได้จะถูกใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ หลายชนิดโดยตรง อุตสาหกรรมการผลิตสารให้ความหวาน (Corn syrup) เป็นอุตสาหกรรมแปรรูปแป้งที่ใหญ่ที่สุด และใช้บริโภคในสหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น เป็นหลัก รองลงมาคือการนำแป้งไปหมักเป็นแอลกอฮอล์ คาดว่าแอลกอฮอล์ทั้งหมดที่ผลิตในอนาคตจะได้มาจากการหมักแป้ง

สำหรับในประเทศไทย อุตสาหกรรมแป้งถือได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมแปรรูปทางเกษตรกรรมหลักของประเทศ แป้งที่ผลิตมากที่สุด คือ แป้งมันสำปะหลัง ซึ่งได้มีการผลิตเป็นแป้งคุณภาพสูง (มีสิ่งแปลกปลอมน้อย) ปัจจุบันมีโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังที่จดทะเบียนกับสมาคมการค้าอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังไทยอยู่ 41 โรงงาน [1] ปริมาณการผลิตซึ่งสำรวจในช่วง พ.ศ. 2530-2540 ประเทศไทยสามารถผลิตแป้งมันปะหลังได้ในปริมาณประมาณ 2 ล้านตันต่อปี ส่งออกจำหน่ายต่างประเทศประมาณ 1 ล้านตันต่อปี การใช้มันสำปะหลังในประเทศประมาณ 1 ล้านตันต่อปี

การผลิตแป้งอื่นๆ ในประเทศไทย เช่น แป้งข้าว ซึ่งผลิตในรูปของฟลาวร์ (Flour) เป็นอันดับรองลงมา กล่าวคือ มีการส่งออกแป้งข้าวเหนียวประมาณ 1,700,000 ตันต่อปี เส้นหมี่ก๋วยเตี๋ยวประมาณ 250,000 ตันต่อปี ส่วนแป้งข้าวโพดมีโรงงานผลิตเพียง 1 โรงงาน [1] มีกำลังการผลิตประมาณ 20,000 ตันต่อปี

แป้งที่ใช้กันมากในการบริโภคเป็นอาหารในประเทศคือ แป้งข้าวสาลี(ฟลาวร์) ซึ่งต้องนำข้าวสาลีเข้ามาแปรรูปเป็นแป้งประมาณปีละ 600,000 ตัน และนำเข้าในรูปของฟลาวร์ประมาณปีละ 30,000 ตัน [1]

2.1 องค์ประกอบหลักภายในเม็ดแป้ง

องค์ประกอบหลักภายในเม็ดแป้ง ได้แก่

1) อะมิโลส (Amylose)
2) อะมิโลเพกทิน (Amylopectin)
3) สารตัวกลาง (Intermediate material)

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

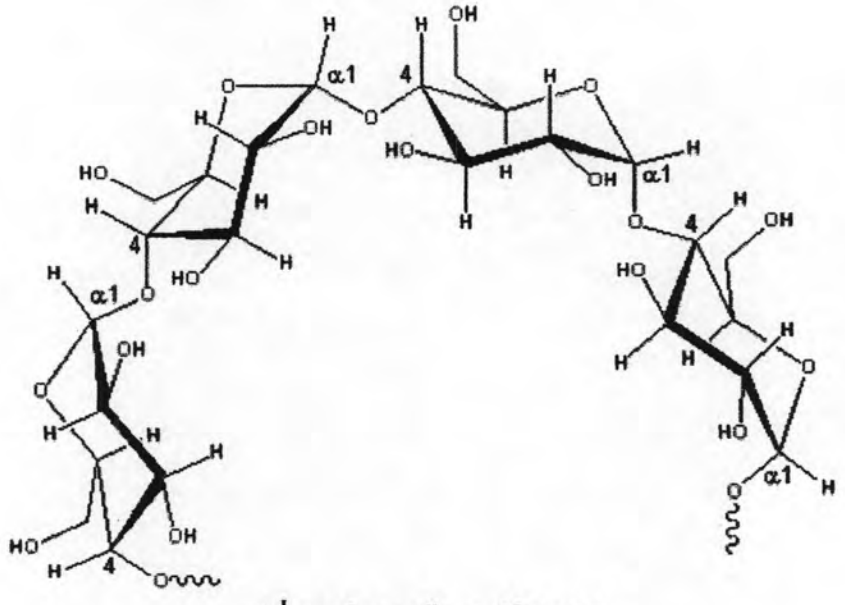
อัตราส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพกทินแตกต่างกัน (ตารางที่ 2.2) ทำให้คุณสมบัติของแป้งแต่ละชนิดแตกต่างกัน

ตารางที่ 2.2 สมบัติที่สำคัญของอะมิโลสและอะมิโลเพกทิน [1]

สมบัติ	อะมิโลส	อะมิโลเพกทิน
ลักษณะโครงสร้าง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคสเกาะกันเป็นเส้นตรง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคสเกาะกันเป็นกิ่งก้าน
พันธะที่จับ	α-1,4	α-1,4 และ α-1,6
ขนาด	200-2000 หน่วยกลูโคส	มากกว่า 10000 หน่วยกลูโคส
การละลาย	ละลายน้ำได้น้อยกว่า	ละลายน้ำได้ดีกว่า
การทำปฏิกิริยากับไอโอดีน	สีน้ำเงิน	สีแดงม่วง
การจับตัว	เมื่อให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้จะจับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง	ไม่จับตัวเป็นแผ่นแข็ง

2.1.1 อะมิโลส

อะมิโลสเป็นโพลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,4-glucosidic linkage



รูปที่ 2.1 โครงสร้างอะมิโลส [4]

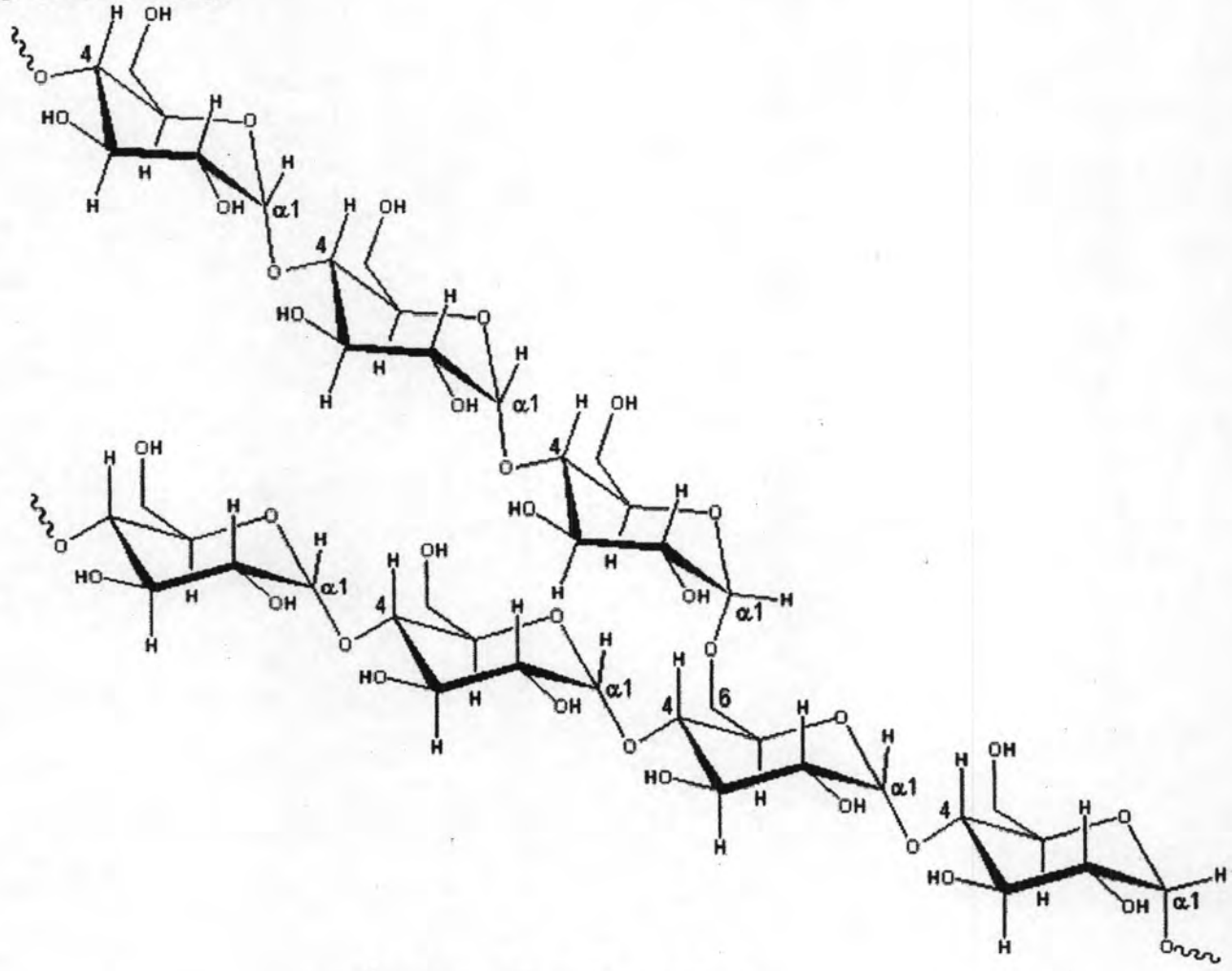
อะมิโลสสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีน และสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ เช่น butanol, fatty acid, surfactant, phenol และ hydrocarbon สารประกอบเชิงซ้อนเหล่านี้จะไม่ละลายในน้ำ โดยอะมิโลสจะพันเป็นเกลียวล้อมรอบสารประกอบอินทรีย์ [1]

โครงสร้างของอะมิโลสแสดงดังรูปที่ 2.1 นอกจากนี้อะมิโลสที่รวมตัวกับไอโอดีนจะให้สีน้ำเงิน ซึ่งใช้เป็นลักษณะเฉพาะที่บ่งบอกถึงแป้งที่มีองค์ประกอบของอะมิโลส

ตำแหน่งของอะมิโลสภายในเม็ดแป้งขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของแป้ง อะมิโลสบางส่วนอยู่ในกลุ่มของอะมิโลเพกทิน บางส่วนกระจายอยู่ทั้งในรูปแบบอสัณฐาน (Amorphous) และผลึก (Crystalline)

2.1.2 อะมิโลเพกทิน

อะมิโลเพกทินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,4-glulcosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้นนั้นมี Degree of polymerization (DP) อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,6-glulcosidic linkage



รูปที่ 2.2 โครงสร้างอะมิโลเพกทิน [4]

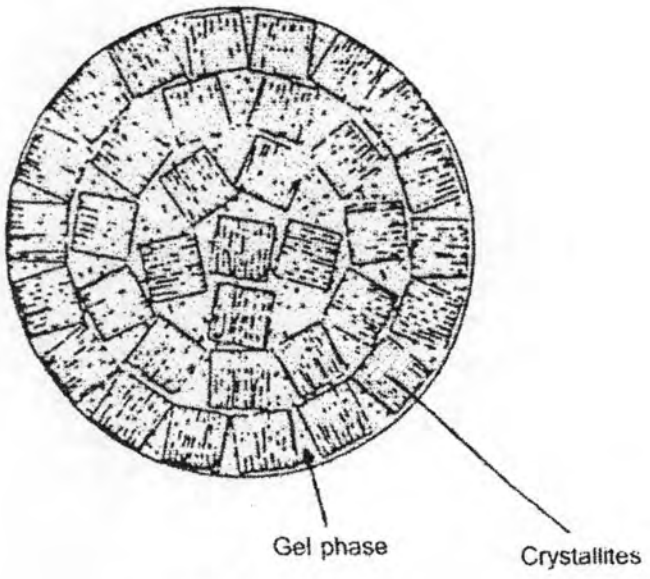
โครงสร้างของอะมิโลเพกทินแสดงดังรูปที่ 2.2 อะมิโลเพกทินถือว่ามีความสำคัญมากกว่าอะมิโลส ทั้งด้านโครงสร้าง หน้าที่ และการนำไปใช้ ดังนั้นเมื่อมีอะมิโลเพกทินเพียงอย่าง

เดียวสามารถรวมเพื่อสร้างเม็ดแป้งได้ ปริมาณของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินที่แตกต่างกันทำให้สมบัติของแป้งแตกต่างกัน [1]

2.2 โครงสร้างเม็ดแป้ง

แป้งที่พบในธรรมชาติจะพบอยู่ในรูปเม็ดแป้ง (Granule) ขนาดเล็ก โดยเมื่อตรวจดูลักษณะของเม็ดแป้งชนิดต่างๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมชาติ และกล้อง Scanning Electron Microscope พบว่า เม็ดแป้งจะมีขนาด รูปร่าง และลักษณะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับแหล่งของแป้งนั้นๆ

เม็ดแป้งมีโครงสร้างเป็น semi-crystalline โดยโมเลกุลของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินจะจัดเรียงตัวในเม็ดแป้ง เป็นโครงสร้างทั้งรูปแบบที่เป็นผลึก (Crystalline) และรูปแบบอสัณฐาน (Amorphous) หรือ gel phase ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างเม็ดแป้ง [1]

ส่วนสายโซ่สั้นของอะมิโลเพกทินจะจัดเรียงตัวในลักษณะเกลียวคู่ (Double helices) ซึ่งบางส่วนจะเกิดเป็นโครงสร้างที่เป็นผลึก ส่วนที่เป็นอสัณฐานของเม็ดแป้งจะประกอบด้วยโมเลกุลของอะมิโลส และสายโซ่ยาวของอะมิโลเพกติน

สารตัวกลางมีเพียงส่วนน้อยในเม็ดแป้ง องค์ประกอบนี้มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่าอะมิโลเพกทิน แต่ใหญ่กว่าอะมิโลส [1] สารตัวกลางนี้มีลักษณะเป็นเชิงกึ่งเช่นเดียวกับอะมิโลเพกทิน ปริมาณและโครงสร้างของสารตัวกลางขึ้นอยู่กับชนิดและอายุการเก็บเกี่ยวของพืช [1]

2.3 ส่วนประกอบอื่นๆ ภายในเม็ดแป้ง

ส่วนประกอบอื่นๆ ภายในเม็ดแป้ง แบ่งออกเป็น

1. particulate material คือ ส่วนที่ไม่ใช่แป้งที่แยกได้จากแป้ง ได้แก่ โปรตีนที่ไม่ละลายและผนังเซลล์ ซึ่งจะมีผลกระทบต่อการผลิตแป้ง
2. surface material คือ ส่วนที่ติดกับพื้นผิวของเม็ดแป้ง สามารถสกัดออกได้โดยไม่ต้องทำลายเม็ดแป้ง เช่น เยื่อหุ้มอะไมโลพลาสต์ เป็นต้น
3. internal component คือ ส่วนที่ติดอยู่ภายในเม็ดแป้ง สามารถแยกออกได้โดยการทำลายเม็ดแป้ง เช่น ไขมันในแป้งจากธัญพืช หมู่ฟอสเฟตในแป้งมันฝรั่ง และสารประกอบไนโตรเจนในแป้ง เป็นต้น

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของแป้งแต่ละชนิด [1]

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
แป้งข้าวสาลี	14	0.8	0.4	0.15	0.06
แป้งมันสำปะหลัง	13	0.1	0.1	0.2	0.01
แป้งข้าวโพดข้าวเหนียว	13	0.2	0.25	0.07	0.007
แป้งข้าวฟ่าง	13	0.7	0.3	0.08	-
แป้งข้าวเจ้า	-	0.8	0.45	0.5	0.1
แป้งสาคู	-	0.1	0.1	0.2	0.02
แป้ง amylomaize	13	0.4	-	0.2	0.07
แป้งมันเทศ	13	-	-	0.1	-

ส่วนประกอบอื่นที่มีผลต่อลักษณะและคุณสมบัติของเม็ดแป้งที่สำคัญ ได้แก่ ไขมัน โปรตีน เถ้า ฟอสฟอรัส ซึ่งมีปริมาณแตกต่างกันในแป้งแต่ละชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2.3

2.3.1 ไขมัน

โดยส่วนใหญ่ แป้งจะมีองค์ประกอบของไขมันต่ำกว่า 1% ชนิดของไขมันที่มีอยู่ในแป้งมีผลต่อคุณสมบัติของแป้ง เช่น มีผลต่อความหนืดของแป้ง เป็นต้น

ไขมันภายในแป้งมีทั้งที่อยู่บริเวณพื้นผิวของเม็ดแป้ง ซึ่งประกอบด้วย triglyceride, free fatty acid, glucolipid, phospholipids และไขมันที่อยู่กระจายทั่วไปภายในเม็ดแป้ง โดยเชื่อมพันธะกับคาร์โบไฮเดรตอย่างหลวมๆ แป้งจากพืชหัวและพืชถั่วไม่มีไขมันภายในเม็ดแป้ง สำหรับ

แป้งจากธัญพืช เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี เป็นต้น มีไขมันภายในเม็ดแป้ง ซึ่งมีสมบัติและปริมาณไขมันแตกต่างกัน ในแป้งข้าวโพดมีไขมัน 0.6 ถึง 0.8% ประกอบด้วย free fatty acid 62% และ lysophospholipid 38% สำหรับแป้งข้าวสาลีมีไขมัน 0.8 ถึง 1.2% น้ำหนักแห้ง ประกอบด้วย monoacyl lysophospholipids 86 ถึง 94% กรดไขมันที่สำคัญของ lysophospholipid คือกรดไขมันอิ่มตัวคาร์บอน 16 อะตอม (Palmitic) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวคาร์บอน 18 อะตอม (Linoleoc acid) monoacyl lipid เหล่านี้สามารถจับตัวเชิงซ้อนกับอะมิโลสได้ ในขณะที่ diacyl และ triacyl lipid ไม่สามารถจับตัวเช่นนี้ได้ ความสัมพันธ์ของปริมาณอะมิโลสกับปริมาณไขมันในข้าวโพดชนิดต่างๆ พบว่า ข้าวโพดข้าวเหนียวซึ่งมีปริมาณอะมิโลสต่ำจะมีไขมันต่ำ สำหรับข้าวโพดที่มีปริมาณอะมิโลสสูงจะมีไขมันสูงกว่าปกติเช่นกัน [1] ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ปริมาณอะมิโลสและปริมาณไขมันในข้าวโพดพันธุ์ต่างๆ [1]

	พันธุ์ข้าวโพด		
	พันธุ์ข้าวเหนียว	พันธุ์ปกติ	พันธุ์อะมิโลสสูง
ปริมาณอะมิโลส (%)	0.2-1.5	27-31	40-47
ปริมาณไขมัน (mg/g แป้ง)			
กรดไขมันอิสระ	3-13	380-546	581-681
lysophospholipids	2-13	184-347	396-486

ไขมันที่รวมอยู่ในเม็ดแป้งจะมีผลกระทบต่อลักษณะและคุณสมบัติของแป้ง โดยจะลดความสามารถในการพองตัว การละลาย และการจับตัวกับน้ำของแป้ง เมื่อเกิดฟิล์มและแป้งเปียก (Paste) ไขมันจะรวมตัวกับอะมิโลสเกิดเป็น inert complex ทำให้ฟิล์มและแป้งเปียกมีลักษณะทึบแสงหรือขุ่น นอกจากนี้ กรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งอยู่บริเวณพื้นผิวเม็ดแป้งจะทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ เนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน แต่สำหรับไขมันที่รวมตัวเชิงซ้อนกับอะมิโลสจะไม่ก่อให้เกิดกลิ่น เนื่องจากสามารถต้านทานการเกิดออกซิเดชันได้ แป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งข้าวสาลี เป็นต้น มีกลิ่นแรงกว่าแป้งข้าวโพดข้าวเหนียว แป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันฝรั่ง เนื่องจากมีองค์ประกอบของไขมันสูง

2.3.2 ไนโตรเจน (โปรตีน)

ภายในแป้งมีส่วนประกอบของโปรตีนอยู่ต่ำกว่า 1% โดยโปรตีนจะเกาะอยู่บริเวณพื้นผิวของเม็ดแป้ง ทำให้เกิดผลกระทบต่อลักษณะของแป้งคือ ทำให้เกิดประจุลบบนพื้นผิวเม็ดแป้ง มีผลกระทบต่อการกระจายของเม็ดแป้ง ทำให้แป้งมีอัตราการดูดซับน้ำ อัตราการพองตัว และอัตราการเกิดเจลาติไนซ์ (กระบวนการสารละลายแป้งเกิดความหนืด) เปลี่ยนแปลงไป ทำให้เกิด

maillard reaction คือ การทำปฏิกิริยาของกรดอะมิโนกับน้ำตาลรีดิวซิง ทำให้สีและกลิ่นของผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนแปลงไป (โดยส่วนใหญ่ปฏิกิริยาเช่นนี้เกิดกับแป้งจากธัญพืช เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนสูง)

2.3.3 เถ้า

แป้งโดยทั่วไปมีองค์ประกอบของสารอนินทรีย์ เช่น โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม เป็นต้น สามารถวิเคราะห์หาปริมาณของสารอนินทรีย์ได้จากส่วนที่เหลือหรือเถ้าจากการเผาไหม้โดยสมบูรณ์ ปริมาณเถ้าในแป้งมันฝรั่งจะสัมพันธ์กับหมู่ฟอสฟอรัสในแป้ง สำหรับเถ้าในแป้งจากธัญพืชจะสัมพันธ์กับปริมาณฟอสโฟลิปิด [1]

2.3.4 ฟอสฟอรัส

แป้งส่วนใหญ่มีองค์ประกอบของฟอสฟอรัสอยู่น้อยกว่า 0.1% โดยแป้งจากธัญพืชมีฟอสฟอรัสในรูป phospholipid ประมาณ 0.02 ถึง 0.06% และสำหรับแป้งจากพืชหัวและราก เช่น แป้งจากมันฝรั่ง เป็นต้น มีองค์ประกอบของฟอสฟอรัสประมาณ 0.3 ถึง 0.4% ฟอสฟอรัสภายในแป้งอยู่ในรูปฟอสเฟต เชื่อมกับหมู่ไฮดรอกซิลที่ C_3 และ C_6 ของหน่วยกลูโคส [1] แป้งมันฝรั่งมีองค์ประกอบของฟอสฟอรัส จึงทำให้มีประจุพื้นผิวเป็นลบ แรงผลักระหว่างประจุลบจะทำให้แป้งมันฝรั่งมีคุณสมบัติพองตัวง่าย และมีความหนืดสูงกว่าแป้งชนิด [1]

เม็ดแป้งจะมีคุณสมบัติทำให้เกิดการบิดของระนาบโพลาไรซ์ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่ามีโครงสร้างแบบ birefringence จาก X-ray diffraction pattern แสดงให้เห็นว่า ในเม็ดแป้งมีโครงสร้างที่เป็นผลึกอยู่ 25 ถึง 50% ในแป้งจากหัวหรือราก ส่วนอะมิโลเพกทินจะมีโครงสร้างบางส่วนเป็นผลึก และส่วนอะมิโลสจะอยู่เป็นแบบอสัณฐาน สำหรับแป้งจากธัญพืช ส่วนอะมิโลเพกทินจะรวมตัวกันเป็นผลึก ส่วนอะมิโลสจะรวมตัวกับไขมันเป็น amylase-lipid complex เกิดเป็นโครงสร้างผลึกอย่างอ่อน ที่เสริมความแข็งแรงให้แก่เม็ดแป้ง ทำให้เม็ดแป้งจากธัญพืชพองตัวได้ช้า

เม็ดแป้งมันฝรั่งมีลักษณะเป็นรูปไข่ขนาดใหญ่ ถือได้ว่าใหญ่ที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งอุตสาหกรรมทั่วไป เม็ดแป้งข้าวสาลีมี 2 ขนาดคือ ขนาดใหญ่กับขนาดเล็ก เม็ดแป้งขนาดเล็กจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 10 ไมครอน เม็ดแป้งขนาดใหญ่มีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 10 ถึง 45 ไมครอน มีอยู่ในแป้งข้าวสาลีประมาณ 20% โดยปริมาณ แต่มีน้ำหนักถึง 90% ของแป้งข้าวสาลี ส่วนเม็ดแป้งมันสำปะหลังมีขนาดปานกลาง (25μm) ขนาดใกล้เคียงกับเม็ดแป้งข้าวโพด

ตารางที่ 2.5 ขนาด รูปร่างและลักษณะเม็ดแป้งชนิดต่างๆ [1]

แหล่งแป้ง	ขนาด (ไมครอน)	รูปร่าง
ข้าวสาลี	2-35	กลม ค่อนข้างรี
ข้าวโพด	5-25	กลม แบน มีหลายเหลี่ยม รูปร่างคล้ายแท่ง
ข้าวเจ้า	3-5	แบน มีหลายเหลี่ยม
ข้าวบาร์เลย์	2-35	กลม คล้ายไข่
ข้าวฟ่าง	15-35	กลม แบนมีหลายเหลี่ยม
ข้าวโอต	5-8	กลม แบนมีหลายเหลี่ยม
ข้าวไรน์	10-50	กลม ค่อนข้างรี
ลูกเดือย	8-20	กลม แบนมีหลายเหลี่ยม
Triticale	2-35	กลม ค่อนข้างรี
มันฝรั่ง	15-121	กลม รูปไข่มีวงคล้ายเปลือกหอย
มันสำปะหลัง	5-35	กลม คล้ายไข่ที่มีรอยตัด
ท้าวยายม่อม	13-70	รูปไข่
สาคู	15-65	รูปไข่ที่มีรอยตัด

ตารางที่ 2.5 แสดง ขนาด รูปร่าง และลักษณะของเม็ดแป้งแต่ละชนิด โครงสร้างของเม็ดแป้งมีพื้นผิวไม่เรียบ มีบางส่วนของสายยื่นออกไป พื้นผิวของเม็ดแป้งมีส่วนของปลายสายอะมิโลสและอะมิโลเพกทินยื่นออกไปเป็นจุดเริ่มต้นของชั้นที่เจริญต่อไป โมเลกุลของอะมิโลเพกทินที่เจริญไม่เต็มที่เป็นแหล่งของสารตัวกลาง (Intermediate material)

จากการศึกษาโครงสร้างของเม็ดแป้งพบว่า รูบริเวณพื้นผิวของเม็ดแป้งที่สามารถให้น้ำและโมเลกุลเล็กๆ ผ่านได้ เป็นแบบอสัณฐานที่แทรกเข้าไปภายในเม็ดแป้ง เกิดเป็น gel phase อยู่ระหว่างช่องของส่วนผลึกที่ขนานกัน โมเลกุลขนาดไม่เกิน 1000 ดาลตัน (ดาลตัน คือ หน่วยของมวลสาร เท่ากับมวลอะตอมของไฮโดรเจน หรือ 1.67×10^{-24} กรัม) สามารถผ่านได้ จาก Transmission Electron Microscopy (TEM) พบว่า ช่องเปิดบนพื้นผิวของเม็ดแป้งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1-0.3 μm มีช่องภายในขนาด 0.07-0.1 μm [1]