บทที่ 2
วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สตาร์ชทนย่อย (resistant Starch; RS)

2.1.1 ความหมายและประเภทของสตาร์ชทนย่อย

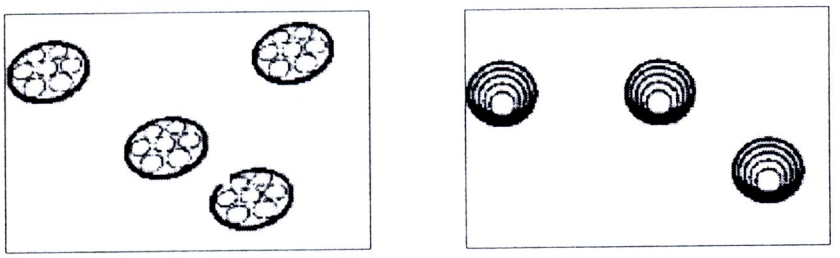
สตาร์ชทนย่อย หมายถึง สตาร์ชและผลิตภัณฑ์ของสตาร์ชที่ไม่สามารถย่อยสลายด้วยเอนไซม์และดูดซึมภายในลำไส้เล็กของมนุษย์ได้ สามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติแต่เป็นส่วนน้อย แบ่งตามลักษณะและแหล่งที่มาได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่ (เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญและกล้าณรงค์ ศรีรอด 2544 ก และ Englyst and others 1992)

1. สตาร์ชที่มีลักษณะทางกายภาพขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ (physically indigestible, physically inaccessible; RS ชนิดที่ 1) เกิดจากอะไมโลพลาสต์ของเมล็ดพืชหรือเมล็ดถั่วบดหยาบบางส่วนหรือทั้งเมล็ด ซึ่งเอนไซม์ไม่สามารถย่อยได้ เนื่องจากเม็ดแป้งอาจถูกห่อหุ้มอยู่ภายในร่างแหโปรตีนหรือถูกตรึงอยู่ภายในเซลล์หุ้มเมล็ดพืช (ภาพที่ 1ก) เมื่อผนังเซลล์ถูกทำลายด้วยการบดหรือการเคี้ยว เอนไซม์จะเข้าไปย่อยแป้งได้ ปริมาณสตาร์ชทนย่อยชนิดที่ 1 ได้รับผลกระทบจากกระบวนการแปรรูปอาหารและมีปริมาณลดลงหรือถูกกำจัดได้โดยการขัดสี

2. เม็ดสตาร์ชดิบที่ทนทานต่อการทำงานของเอนไซม์ (ungelatinized granules, RS granules; RS ชนิดที่ 2) ได้แก่ เม็ดสตาร์ชมันฝรั่งดิบ เม็ดสตาร์ชกล้วยดิบ และเม็ดสตาร์ชจากเมล็ดถั่ว ความสามารถในการทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างตามธรรมชาติของเม็ดแป้ง โดยเม็ดสตาร์ชไม่มีรูหรือมีช่องเปิดให้เอนไซม์เข้าไปในเม็ดแป้ง (ภาพที่ 1ข) แต่เมื่อเกิดเจลาติไนซ์ของสตาร์ชจะทำให้เอนไซม์สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยากับเม็ดแป้งได้มากขึ้น

3. สตาร์ชคืนตัว (retrograded starch ; RS ชนิดที่ 3) เกิดจากการคืนตัวของสตาร์ชหลังจากเกิดเจลาติไนซ์เซชั่นแล้วทำให้สตาร์ชเย็นลง แอมิโลสและแอมิโลเพคตินเกิดการจัดเรียงตัวกันอีกครั้งเป็นโครงสร้างผลึกที่แข็งแรง จึงมีความทนต่อการย่อยของเอนไซม์มากขึ้น (ภาพที่ 2) โดยสตาร์ชทนย่อยส่วนใหญ่ที่จัดอยู่ในประเภท Retrograded starch ได้แก่ อาหารที่ผ่านการให้ความร้อนจนแป้งเกิดการเจลาติไนซ์ ในขณะที่เม็ดแป้งพองตัวทำให้ส่วนของแอมิโลสในน้ำแป้งหลุดออกมา เมื่อถูกทำให้เย็นตัวลงจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ได้ผลึกแป้งที่แข็งแรงและทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ ดังนั้นแป้งที่มีอัตราส่วนของแอมิโลสสูงกว่าจะสามารถเกิดการคืนตัวได้มากกว่าแป้งที่มีแอมิโลสต่ำ

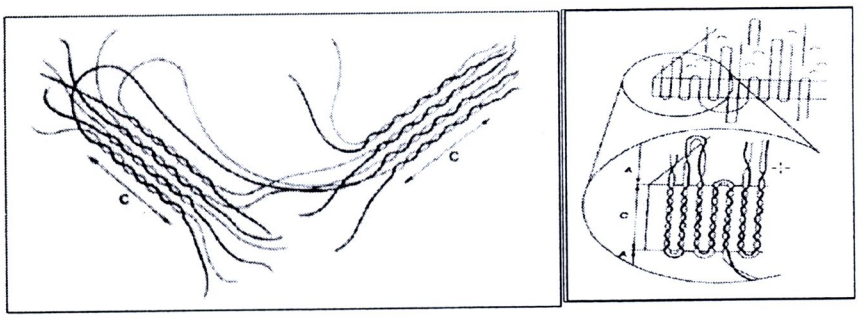
4. สตาร์ชที่ถูกดัดแปรโดยวิธีเคมี (chemical modified starch; RS ชนิดที่ 4) เกิดจากการดัดแปรสตาร์ชโดยใช้สารเคมี ทำให้มีความทนทานต่อการย่อยของเอนไซม์ (ภาพที่ 3)



ก ข

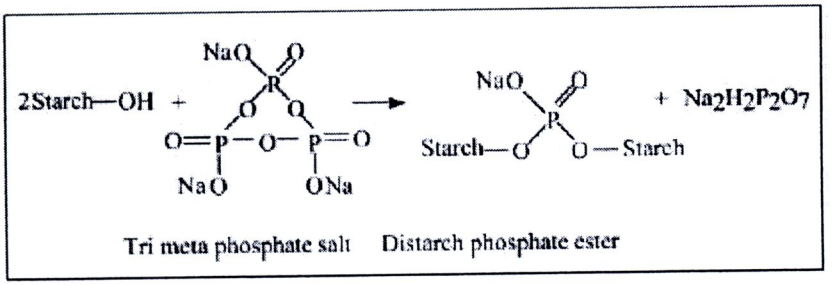
ภาพที่ 1 โครงสร้างของสตาร์ชทนย่อยชนิดที่ 1 (ก) และชนิดที่ 2 (ข)

ที่มา: Sajilata and others (2006)



ภาพที่ 2 โครงสร้างของสตาร์ชทนย่อยชนิดที่ 3

ที่มา: Sajilata and others (2006)



ภาพที่ 3 โครงสร้างของสตาร์ชทนย่อยชนิดที่ 4

ที่มา: Sajilata and others (2006)

2.1.2 การผลิตสตาร์ชทนย่อย

สตาร์ชทนย่อยนอกจากจะสามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติแล้ว ยังสามารถเตรียมได้จากการดัดแปรแป้งโดยวิธีการต่างๆ ดังนี้ (เกื้อกูล ปียะจอมขวัญและกล้าณรงค์ ศรีรอด 2544 ข)

1. การคืนตัวของแป้ง โดยการให้ความร้อนแก่น้ำแป้งเพื่อทำให้แป้งสุก แล้วทิ้งให้น้ำแป้ง (paste) เย็นตัวลง โมเลกุลของแป้งที่ละลายออกมาจะเกิดการเรียงตัวใหม่ เป็นผลึกแป้งที่แข็งแรง และสามารถถูกย่อยด้วยเอนไซม์ได้น้อยลง วิธีนี้นิยมใช้กับแป้งที่มีปริมาณแอมิโลสสูง

2. การใช้เอนไซม์ในการย่อยแป้ง เพื่อช่วยเพิ่มอัตราการเกิดการคืนตัวของแป้ง เช่น เอนไซม์ α-amylase เพื่อลดขนาดโมเลกุลของแป้งได้เป็น maltodextrin การใช้เอนไซม์ในการตัดกิ่งพันธะ (debranching) เป็นต้น วิธีเหล่านี้เป็นการเพิ่มศักยภาพในการเตรียมสตาร์ชทนย่อยจากแป้งชนิดอื่นที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ

3. การใช้กระบวนการความร้อนชื้น (heat-moisture treatment) เป็นการเตรียมสตาร์ชทนย่อยของเม็ดแป้งที่ยังไม่ผ่านการทำให้สุกและมีความชื้นประมาณร้อยละ 20-45 นำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90-120 องศาเซลเซียส นานประมาณ 1-4 ชั่วโมง มีผลทำให้เม็ดแป้งเกิดการเปลี่ยนแปลงและจัดเรียงโครงสร้างภายในที่ทนทานต่อการย่อยของเอนไซม์ได้มากขึ้น

4. การใช้สารเคมีในการทำแป้งดัดแปร เช่น แป้ง acetylated, แป้ง hydroxypropylated และแป้ง cross-linked เป็นต้น

2.1.3 คุณประโยชน์ของสตาร์ชทนย่อย (Sajilata and others 2006)

1) สตาร์ชทนย่อยมีคุณสมบัติเทียบเท่าใยอาหาร (dietary fiber) สตาร์ชทนย่อยไม่สามารถถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ในลำไส้เล็ก จึงจัดเป็นองค์ประกอบของเส้นใยชนิดหนึ่ง สามารถใช้การวิเคราะห์แบบเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble dietary fiber) โดยใช้วิธี AACC (2000) ได้ และมีคุณประโยชน์ทางสรีระเหมือนเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (soluble dietary fiber) คือทำให้ระดับการย่อยและการเผาผลาญกลูโคสเกิดได้ช้าลง ซึ่งส่งผลดีต่อลำไส้ใหญ่ ป้องกันการเกิดโรคมะเร็งในลำไส้ใหญ่ ลดคอเลสเทอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในเลือด

2) อัตราการย่อยอาหารต่ำ (hypoglyceamic effects) อาหารที่มีสตาร์ชทนย่อย ทำให้มีอัตราการย่อยต่ำ โดยทั่วไปอาหารประเภทแป้งจะเกิดการย่อยเกือบทันทีหลังการบริโภคอาหาร แต่อาหารที่มีสตาร์ชทนย่อยจะเกิดการย่อยได้ช้าโดยเกิดขึ้นหลังจากรับประทานอาหารแล้ว 5-7 ชั่วโมง ดังนั้นสตาร์ชทนย่อยจึงมีค่าไกลซีมิค (glyceamic index) ต่ำ

3) เป็นสารพรีไบโอติก (prebiotic) เนื่องจากสตาร์ชทนย่อยที่ไม่ถูกย่อยและดูดซึมในลำไส้เล็ก จะถูกส่งผ่านมายังลำไส้ใหญ่และถูกหมักโดยจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ ทำให้เกิดกรดไขมันสายสั้น (short chain fatty acid) ได้แก่ อะซีเตท บิวทีเรท และโพรพิโอเนต กรดไขมันที่เกิดขึ้นจะช่วยให้สุขลักษณะของปลายลำไส้ใหญ่ดีขึ้น โดยกรดไขมันจะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำ

ให้เกิดโรค และช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตอย่างจำเพาะต่อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในระบบทางเดินอาหาร

4) ยับยั้งการสะสมไขมันและลดการสะสมคอเลสเทอรอล หลังการรับประทานอาหารที่มีสตาร์ชทนย่อย พบว่ามีการเกิดออกซิเดชั่นของไขมันเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แสดงให้เห็นถึงการลดการสะสมไขมันในระยะยาวได้ และในการศึกษากับหนูทดลองที่ให้อาหารที่มีสตาร์ชทนย่อย (มันฝรั่งดิบร้อยละ 25) พบว่าระดับคอเลสเทอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในเลือดลดลง

2.2 เผือก (สมศรี บุญเรือง และมาลินี พิทักษ์ 2537)

เผือกเป็นพืชหัวที่เป็นพืชอาหารและเป็นพืชเศรษฐกิจระดับท้องถิ่นที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง คนไทยนิยมบริโภคเผือกเพราะมีกลิ่นหอมและรสชาติดี หัวเผือกประกอบด้วยแป้งและแร่ธาตุต่างๆ ส่วนใบประกอบด้วยโปรตีนและแร่ธาตุ ใบเผือกสามารถนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ และมีเผือกบางประเภทที่ใช้ใบสำหรับบริโภคซึ่งหัวจะมีขนาดเล็กไม่เหมาะต่อการบริโภค ปัจจุบันเผือกกำลังเป็นที่ต้องการของตลาดต่างประเทศ เช่น ออสเตรเลีย ฮ่องกง ญี่ปุ่น เนเธอแลนด์ และมาเลเซีย

2.2.1 ลักษณะทั่วไป

ลำต้น เผือกเป็นพืชหัวที่มีลำต้นใต้ดินสะสมอาหารเรียกว่า หัว ซึ่งเกิดจากการขยายของลำต้นใต้ดินพร้อมกับมีความยาวของปล้องลดลง เมื่อหัวมีขนาดใหญ่จะมีรากช่วยดึงหัวให้ลึกลงในดิน ที่ปลายรากเหล่านี้จะเกิดการพองโตขึ้นเป็นหัวย่อยที่มีขนาดเล็กหรือเรียกว่า ลูกเผือก ซึ่งจะทำหน้าที่ช่วยยึดลำต้น ช่วยดูดน้ำและแร่ธาตุ และสามารถใช้เป็นส่วนที่ขยายพันธุ์ได้ต่อไป

ใบ ใบเผือกมีรูปร่างคล้ายหูช้างหรือคล้ายหัวใจ ขนาดใบกว้างประมาณ 25-30 เซนติเมตร ยาว 35-45 เซนติเมตร ก้านใบยาว 45-150 เซนติเมตร เผือกต้นหนึ่งจะมีก้านใบประมาณ 12-18 ก้าน สีของก้านใบ ลักษณะใบและขอบใบจะแตกต่างกันไปตามพันธุ์ เช่น ก้านใบจะมีสีเขียวอ่อน เขียวเข้ม ม่วง หรือมีจุดสีม่วง ขอบใบเรียบหรือเป็นคลื่น ปลายใบอาจแหลมหรือมน ตัวใบอาจจะหนาและเป็นมัน หรือบางและด้าน เป็นต้น

ดอก มีลักษณะเป็นดอกช่อ และมีดอกย่อยเกาะติดกับก้านดอกเดียวกัน ดอกย่อยจะเริ่มบานจากดอกที่อยู่ล่างสุดขึ้นไปทางปลายช่อซึ่งไม่มีก้านดอกย่อย ดอกจะเกาะติดกับก้านดอกเดี่ยว ซึ่งลักษณะยาวและมีจานหุ้มช่อดอกไว้ ช่อดอกยาว 10-15 เซนติเมตร จำนวนช่อดอกประมาณ 5-15 ช่อต่อต้น ก้านของช่อดอกยาว 15-30 เซนติเมตร ดอกเผือกมีสีขาวครีม และสีเหลืองอ่อน แตกต่างกันไปตามพันธุ์ บางพันธุ์ออกดอกง่ายแต่บางพันธุ์ออกดอกยาก ทั้งนี้เผือกที่ปลูกในประเทศไทยส่วนใหญ่จะไม่ออกดอก

ผล ผลของเผือกมีขนาดเล็กเกาะกลุ่มอยู่ในก้านดอกเดียวกัน ผลมีสีเขียวเปลือกบาง เนื้อผลฉ่ำน้ำ เมื่อแก่มีสีน้ำตาลดำภายในผลจะมีเมล็ดเล็ก ๆ อยู่เป็นจำนวนมาก

2.2.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

เผือกมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า โคโลคาเซีย เอสคูเบนตา (แอล) ชอตต์ (*Colocacia esculenta* (L) Schott) อยู่ในตระกูลอะราเซีย (Aracea) สายพันธุ์ของเผือกมีมากกว่า 200 พันธุ์ โดยในประเทศไทยนั้นพบว่ามีหลายพันธุ์เช่นกัน หนังสือพันธุ์ไม้แห่งประเทศไทย เล่ม 1 ของกรมป่าไม้เรียกว่า ลกกะเซีย (lok-ka-sia) และมีชื่ออื่นๆอีก เช่น ยัวเทีย (yautia) และแทนเนีย (tannia) ลกกะเซียเป็นเผือกหัวเล็ก เนื่องมาจากหัวที่เป็นแกนใหญ่ไม่สะสมแป้ง จึงใช้เฉพาะส่วนหัวแขนง

2.2.3 ชนิดของเผือก

ในอดีตนักพฤกษศาสตร์ได้แบ่งเผือกออกเป็น 2 ชนิดคือ ซี แอนทิโควรุม (*C.antiquorum*) กับ ซี เอสคูเลนตา (*C.esculenta*) ต่อมาเมื่อได้ตรวจลักษณะอย่างละเอียดแล้ว จึงจัดเผือก 2 ชนิดเข้าไว้เป็นชนิดเดียวกัน คือ ซี เอสคูเลนตา คงแตกต่างกันที่พันธุ์เท่านั้น ปัจจุบันเผือกจึงแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. ประเภทเอดโด (eddoe) ได้แก่ ซี เอสคูเลนตา วาร์ แอนทิโควรุม (C.*esculenta* var. *antiquorum*) หรือ ซี เอสคูเลนตา วาร์ โกลบุลิเฟอรา (C.*esculentavar.* globulifera) เป็นเผือกที่มีลักษณะหัวไม่ใหญ่ และมีหัวเล็กล้อมรอบหลายหัว ทุกหัวรับประทานได้และใช้ทำพันธุ์ได้

2. ประเภทแดชีน (dasheen) ได้แก่ ซี เอสคูเลนตา วาร์ เอสคูเลนตา (C.esculenta var.*exculenta*) เป็นเผือกที่มีหัวขนาดใหญ่ และมีหัวขนาดเล็กๆล้อมรอบ หัวใหญ่ใช้รับประทาน ส่วนหัวเล็กมักใช้ทำพันธุ์ ยกตัวอย่างเช่น เผือกหอม ซึ่งเป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกกันโดยทั่วไปของไทย

มีการจำแนกเผือกในเมืองไทยไว้ 4 ชนิด ได้แก่

1. เผือกหอม เป็นชนิดหัวใหญ่ น้ำหนักหัวละประมาณ 2-3 กิโลกรัม มีหัวเล็กติดอยู่กับหัวใหญ่เล็กน้อย กาบใบใหญ่มีสีเขียว

2. เผือกเหลือง หัวขนาดย่อม หัวสีเหลือง

3. เผือกไม้หรือเผือกไหหลำ หัวมีขนาดเล็ก

4. เผือกตาแดง ที่ตาของหัวมีสีแดงเข้ม มีหัวเล็กๆติดอยู่รอบหัวใหญ่ เกาะกันเป็นกลุ่มจำนวนมาก กาบใบและเส้นใบมีสีแดง

ศูนย์วิจัยพืชสวนพิจิตรได้รวบรวมพันธุ์เผือกจากแหล่งต่างๆ ทั้งในและต่างประเทศประมาณ 50 พันธุ์ สามารถจำแนกพันธุ์เผือกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ดังนี้ (มาลินี พิทักษ์ 2539)

1. จำแนกเผือกตามกลิ่นของหัว แบ่งได้อีก 2 ประเภท คือ

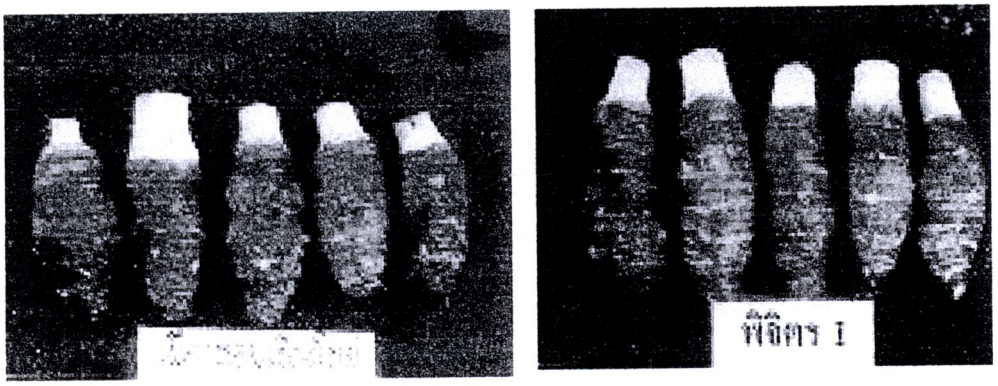
1.1 เผือกหอม เผือกชนิดนี้เวลาต้มหรือประกอบอาหารจะมีกลิ่นหอม ได้แก่ เผือกหอมเชียงใหม่ พันธุ์ พจ.016 พจ.08 และ พจ.019 เป็นต้น

1.2 เผือกชนิดไม่หอม เผือกชนิดนี้เวลาต้มหรือประกอบอาหารจะไม่มีกลิ่นหอม แต่ก็มีข้อดีตรงที่มีลักษณะเนื้อเหนียวแน่น น่ารับประทาน ได้แก่ เผือกพันธุ์ พจ.06 พจ.025 และ พจ. 012 เป็นต้น

2. การจำแนกเผือกตามสีของเนื้อ แบ่งได้อีก 2 ประเภท คือ

2.1 เผือกเนื้อสีขาวหรือสีครีม เผือกชนิดนี้เมื่อผ่าดูเนื้อที่อยู่ภายในจะพบว่า มีสีขาวหรือสีขาวครีม ได้แก่ เผือกพันธุ์ พจ.06 พจ.07 พจ.025 พจ.014 (เผือกบราซิล) พันธุ์ศรีปาลาวี (อินเดีย) และพันธุ์ศรีรัศมี (อินเดีย) เป็นต้น

2.2 เผือกเนื้อสีขาวปนม่วง เผือกชนิดนี้เมื่อผ่าหัว จะพบว่าเนื้อที่อยู่ภายในมีสีขาวลายม่วงปะปนอยู่ ซึ่งจะมีสีม่วงมากหรือน้อยแตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ ได้แก่ เผือกหอมเชียงใหม่ พันธุ์ พจ.016 พจ.08 พจ.05 และ พจ.020



ภาพที่ 4 เผือกหอมเชียงใหม่ (ซ้าย)และเผือกพันธุ์พิจิตร1 (ขวา)
ที่มา : มาลินี พิทักษ์ (2539)

2.2.4 การเก็บหัวและการรักษา

เผือกมีอายุการปลูกแตกต่างกันตั้งแต่ 6-10 เดือน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ที่ปลูก เผือกหอมที่ปลูกกันมากในประเทศไทยมีอายุประมาณ 6 เดือน เมื่อใบเริ่มเหลือง เหี่ยว แสดงว่าหัวเผือกเริ่มแก่สามารถทำการเก็บเกี่ยวได้ ซึ่งการเก็บเกี่ยวใช้วิธีถอนขึ้นทั้งต้นหรือใช้เสียมหรือจอบขุด มักขุดในระยะที่ไม่มีฝน เมื่อขุดขึ้นมาแล้วจะตัดใบและรากทิ้งเหลือแต่หัวเผือก ล้างให้สะอาดแล้วส่งเข้าสู่ตลาด แต่เผือกที่ไม่ต่อยอดจะมีอายุการเก็บที่ยาวนานกว่า เผือกมีน้ำหนักหัวละประมาณ 1-3 กิโลกรัม เก็บรักษาในที่แห้ง อากาศถ่ายเทสะดวก หัวเผือกที่เก็บไว้ควรเป็นหัวเผือกที่ไม่มีบาดแผล

อาจเก็บได้นาน 4-6 เดือน แต่ถ้าหากเก็บในห้องเย็นอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส สามารถเก็บได้นานถึง 6 เดือน

ประเทศไทยมีการปลูกเผือกอยู่ทั่วไปทุกภาคของประเทศ มีพื้นที่ปลูกเผือกทั้งประเทศปีละประมาณ 25,000-30,000 ไร่ ผลผลิตประมาณ 45,000-65,000 ตัน ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 2-2.5 ตันต่อไร่ จังหวัดที่เป็นแหล่งปลูกที่สำคัญ ได้แก่ เชียงใหม่ นครสวรรค์ พิษณุโลก นครราชสีมา สุรินทร์ สระบุรี อยุธยา สิงห์บุรี ปราจีนบุรี นครนายก นครปฐม ประจวบคีรีขันธ์ ราชบุรี สุพรรณบุรี ชุมพร และสุราษฎร์ธานี

2.2.5 ประโยชน์จากเผือก

หัวเผือกประกอบด้วยแป้งจำนวนมาก เนื้อสัมผัสละเอียด องค์ประกอบของหัวเผือกโดยประมาณ ได้แก่ ความชื้นร้อยละ 63-85 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 13-29 โปรตีนร้อยละ 1.4-3.0, ไขมันร้อยละ 0.16-0.36 ใยอาหารร้อยละ 0.60-1.18 เถ้าร้อยละ 0.6-1.3 และมีวิตามินซีประมาณ 7-9 มิลลิกรัม/น้ำหนักส่วนที่กินได้ 100 กรัม ไทอามีนประมาณ 0.8 มิลลิกรัม ไรโบฟลาวิน 0.04 มิลลิกรัม ไนอาซิน 0.9 มิลลิกรัม เม็ดแป้งที่พบในเผือกมีขนาดเล็กมาก แบ่งได้ประเภท ประเภทหนึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1-1.5 ไมครอน อีกประเภทหนึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3-4 ไมครอน ด้วยเหตุนี้แป้งเผือกจึงย่อยง่าย

ใบและยอดเผือก ใช้รับประทานเป็นผักได้ มีวิตามินเอและวิตามินซีสูง ในใบมีวิตามินเอ 20,885 IU ต่อน้ำหนักส่วนที่กินได้ 100 กรัม มีวิตามิน 142 มิลลิกรัม/100กรัม ในยอดมีวิตามิน 335 IU ต่อ 100 กรัม มีวิตามินซี 8 มิลลิกรัม /100กรัม

เนื้อเผือกมีสีต่างๆกันตามชนิด มีลักษณะเนื้อเหนียวกว่ามันเทศ ส่วนใหญ่ใช้เป็นอาหาร เช่น ต้ม เผา อบ ทอด ตากแห้ง หรือใช้ทำขนมรับประทาน นอกจากนี้บางแห่งทำเป็นแป้งเพื่อทำขนมปัง เครื่องดื่ม ใช้เป็นอาหารเพื่อป้องกันโรคภูมิแพ้บางอย่างในทารก และใช้รักษาโรคเกี่ยวกับกระเพาะลำไส้ ใบอ่อน ก้านใบใช้รับประทานได้

2.3 แป้งและสตาร์ช

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในพืชชั้นสูง พบในคลอโรพลาสต์ (ใบ) และในส่วนที่พืชใช้เป็นแหล่งเก็บอาหาร เช่น เมล็ดและหัว คำว่า แป้ง ในทางอุตสาหกรรมนั้น หมายถึงคาร์โบไฮเดรตที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่ มีสิ่งเจือปนเช่น โปรตีน ไขมันและเกลือแร่น้อยมาก แต่ถ้ามีส่วนประกอบอื่นๆอยู่มาก เรียกว่า ฟลาวร์ (flour) ตัวอย่างเช่น แป้งข้าวโพด แป้งข้าวสาลี ซึ่งยังคงมีส่วนประกอบของโปรตีนอยู่สูง จึงถูกจัดอยู่ในประเภท ฟลาวร์ เรียกว่า corn flour, wheat flour แต่เมื่อโปรตีน ไขมันและเกลือแร่อื่นๆถูกสกัด

ออกไป จนเหลือแต่แป้งบริสุทธิ์เป็นส่วนใหญ่ จะเรียกว่า สตาร์ช (starch) (กล้าณรงค์ ศรีรอตและเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ 2546)

2.3.1 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพที่สำคัญของแป้ง

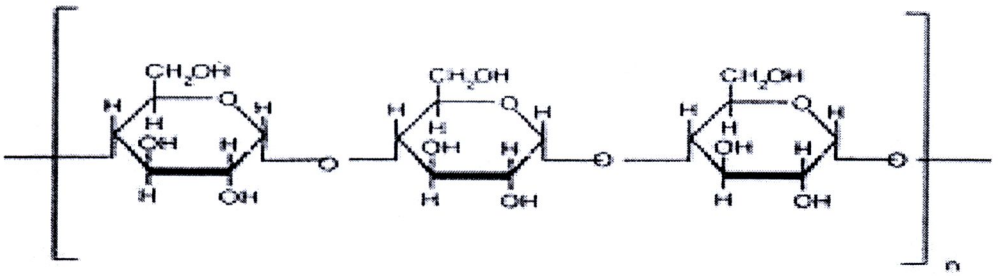
แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่งที่สะสมอยู่ในส่วนต่างๆของพืช โดยอาจแบ่งชนิดของแป้งได้ 3 ประเภท ตามแหล่งที่พบคือ แป้งจากธัญพืช เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี ถั่วเขียว แป้งจากราก หรือหัว เช่น มันเทศ มันฝรั่ง มันสำปะหลัง และแป้งจากลำต้น เช่น สาคู แป้งจากแต่ละแหล่งจะมีลักษณะสำคัญทางเคมีกายภาพเฉพาะตัว เช่น ขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้ง อุณหภูมิในการเกิดเจล (gelatinization temperature) การพองตัว (swelling) การเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) ความหนืดของแป้ง (viscosity) เป็นต้น คุณสมบัติดังกล่าวนี้ทำให้แป้งแต่ละชนิดมีความเหมาะสมในการใช้งานที่แตกต่างกัน (Richard 1968)

2.3.1.1 คุณสมบัติทางเคมี

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6:10:5 โดยแป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ พอลิเมอร์เชิงเส้น (แอมิโลส) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง (แอมิโลเพคติน) วางตัวในแนวรัศมี แป้งจากแหล่งที่ต่างกันจะมีอัตราส่วนของแอมิโลสและแอมิโลเพคตินแตกต่างกันไป ทำให้คุณสมบัติของแป้งแต่ละชนิดแตกต่างกันด้วย นอกจากนี้ในแป้งจะมีสารตัวกลาง ได้แก่ ไขมัน โปรตีน เถ้า เป็นต้น ซึ่งมีความสำคัญต่อคุณสมบัติของแป้ง โดยไขมันจะลดความสามารถในการพองตัว การละลาย และการจับตัวกับน้ำของแป้ง นอกจากนี้ยังส่งผลให้เกิดฟิล์มและแป้งเปียก (paste) ที่มีลักษณะทึบแสงหรือขุ่น เนื่องจากไขมันจะรวมตัวกับแอมิโลสเกิดเป็น inert complex และกรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งอยู่บริเวณพื้นผิวของเม็ดแป้งจะทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไนโตรเจนหรือโปรตีนจะเกาะอยู่บริเวณพื้นผิวของเม็ดแป้ง จะทำให้เกิดประจุบนพื้นผิวของเม็ดแป้งซึ่งมีผลต่อการกระจายของเม็ดแป้ง ทำให้แป้งมีอัตราการดูดน้ำ อัตราการพองตัว และอัตราการเกิดเจลาติไนซ์เปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้ยังทำให้เกิด maillard reaction ทำให้สีและกลิ่นของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงได้ โดยส่วนใหญ่ปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดขึ้นกับแป้งจากธัญพืช เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนสูง ส่วนเถ้าซึ่งเป็นส่วนที่เหลือจากการเผาไหม้โดยสมบูรณ์ของสารอนินทรีย์ เช่น โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม ปกติจะไม่มีผลต่อสมบัติของแป้ง (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ 2546)

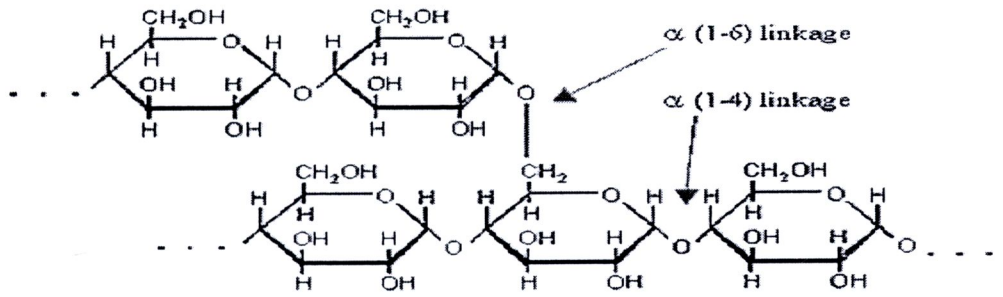
แอมิโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,4-glucosidic linkage (ภาพที่ 5) เป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล จำนวนมาก จึงทำให้สามารถจับโมเลกุลแป้งชนิดอื่นได้ด้วยพันธะไฮโดรเจน เช่น แอมิโลสจับกับแอมิโลเพคตินเป็นเกลียวคู่ (double helices) และเกลียวเดี่ยว (single helices) ทำให้เกิดโครงสร้างตา

ข่ายสามมิติ ซึ่งเป็นโครงสร้างที่แข็งแรง (Bowers 1992 อ้างถึงในมนทกานต์ เบญจพลากร 2549) นอกจากนี้แอมิโลสยังสามารถจับกับไขมันเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (amylose-lipid complex) ที่มีความคงทน การทำลายพันธะนี้ต้องใช้อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส (Kugimiya and others 1980)



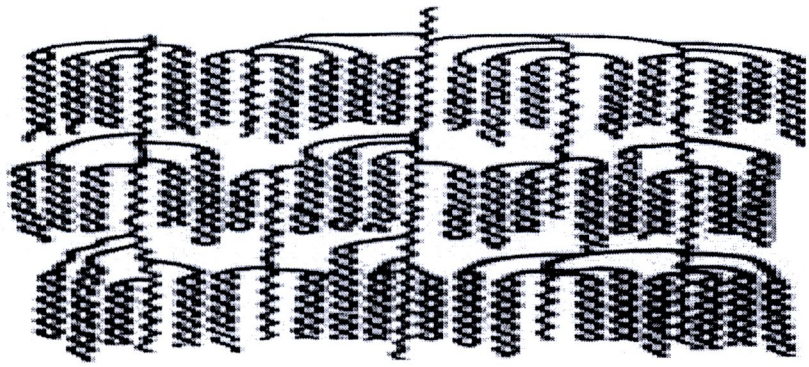
ภาพที่ 5 โครงสร้างของแอมิโลส
ที่มา: กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ (2546)

แอมิโลเพคตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,4-glucosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้น มีระดับขั้นการเกิดพอลิเมอร์ (degree of polymerization, DP) อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,6-glucosidic linkage (ภาพที่ 6) แอมิโลเพคตินมีน้ำหนักมากกว่าแอมิโลส ประมาณ 1,000 เท่า คือประมาณ 10^7-10^9 ดาลตัน เนื่องจากขนาดที่ใหญ่กว่าและมีกิ่งสาขาทำให้มีการคืนตัวต่ำ แอมิโลเพคตินสามารถเกิดเกลียวคู่ (ภาพที่ 7) โดยใช้พันธะไฮโดรเจนและแรงวันเดอร์วาลส์ในการเชื่อมต่อกัน กิ่งแอมิโลเพคตินภายในเม็ดแป้งสามารถเกิดผลึกได้ ทั้งกิ่งที่อยู่ใกล้กันในกลุ่ม (cluster) เดียวกัน หรือเกิดขึ้นระหว่างกลุ่มที่ใกล้เคียงกัน (Hizukuri 1986) ดังนั้นจึงทำให้แอมิโลเพคตินมีความสำคัญมากกว่าแอมิโลสทั้งด้านโครงสร้าง หน้าที่ และการนำไปใช้ โดยแอมิโลเพคตินเพียงอย่างเดียวสามารถรวมตัวกันได้ทำให้เกิดโครงสร้างทั้งส่วนที่เป็นผลึก (crystalline region) และส่วนที่เป็นอสัณฐาน (amorphous region) (ภาพที่ 8) ซึ่งรวมตัวเป็นเม็ดแป้งได้ ส่วนแอมิโลสเพียงอย่างเดียวไม่สามารถเกิดส่วนที่เป็นผลึกได้ (กล้าณรงค์ ศรีรอตและเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ 2546)



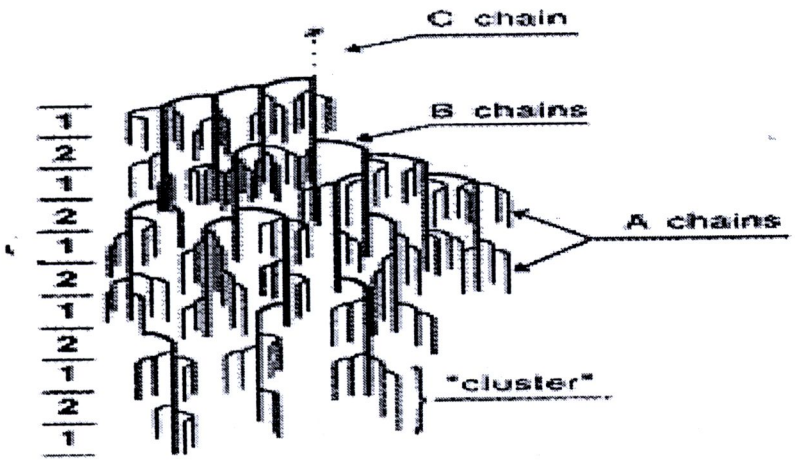
ภาพที่ 6 โครงสร้างของแอมิโลเพคติน

ที่มา: กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ (2546)



ภาพที่ 7 ลักษณะโครงสร้างเกลียวคู่ของแอมิโลเพคติน

ที่มา: Hizukuri (1986)



ภาพที่ 8 ลักษณะโครงสร้างแอมิโลเพคตินที่ประกอบด้วยส่วนผลึกและส่วนอสัณฐาน

1= ส่วนผลึก, 2= ส่วนอสัรฐาน

ที่มา: Robin and others (1974)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 12 มี.ค. 2556
เลขทะเบียน 208843
เลขเรียกหนังสือ

อัตราส่วนของปริมาณแอมิโลสต่อแอมิโลเพคตินมีผลต่อการพองตัวของเม็ดแป้ง ความเหนียวและความใสของแป้งเปียกที่ได้หลังจากการเกิดเจล ทั้งนี้มีผลต่อเนื้อสัมผัสเนื่องจากสมบัติของแอมิโลสและแอมิโลเพคตินมีความแตกต่างกัน คือแอมิโลสเป็นส่วนที่ละลายน้ำได้ดี เมื่อต้มในน้ำจะหนืดน้อยกว่า แต่ขุ่นมากกว่า ส่วนแอมิโลเพคตินจะข้นหนืดและใสกว่า เมื่อทิ้งไว้ให้เย็นแอมิโลสจะเกิดเจลได้ ส่วนแอมิโลเพคตินจะไม่เกิดเจล แป้งที่มีแอมิโลสสูงจะมีอุณหภูมิในการพองตัวสูงกว่าปกติเมื่อทำให้เกิดการพองตัวอย่างสมบูรณ์ การคืนตัวของแป้งที่มี แอมิโลสน้ำหนักโมเลกุลต่างกันจะให้ผลที่ต่างกัน (Whistler and Smart 1953) โดยแอมิโลสที่มีขนาดเล็กเกินไป จะมีการเคลื่อนที่อยู่เสมอ การจัดเรียงตัวใหม่เกิดได้ลำบาก การคืนตัวจึงเกิดได้ยาก แต่ถ้ามีขนาดใหญ่เกินไป การคืนตัวจะเกิดอย่างเชื่องช้าเนื่องจากโมเลกุลเคลื่อนที่ลำบาก

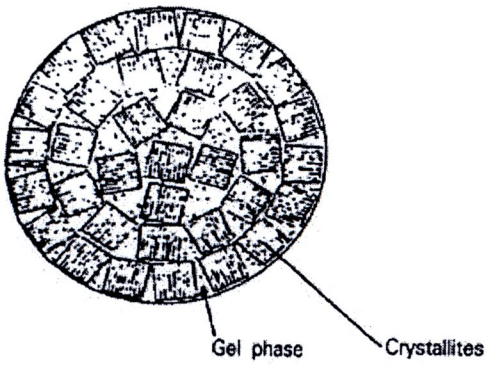
2.3.1.2 สมบัติทางกายภาพ

1) ลักษณะของเม็ดแป้ง

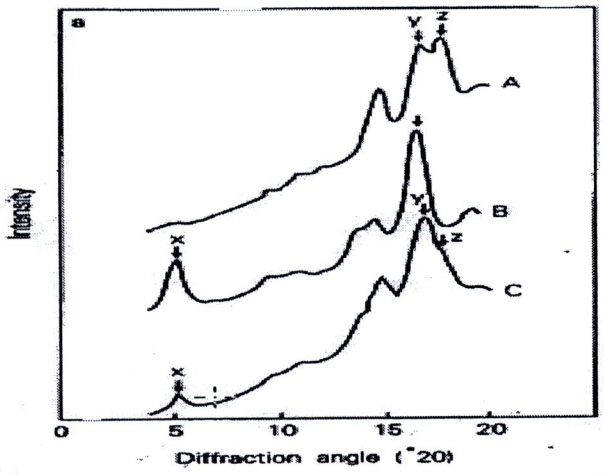
แป้งส่วนใหญ่มีสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่ละลายในน้ำเย็น ขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้ง (granule) แตกต่างกันไปตามชนิดของแป้ง (Oates 1997) โดยเม็ดแป้งของข้าวมีขนาดเล็กที่สุด และมีรูปร่างหลายเหลี่ยม ส่วนเม็ดแป้งมันฝรั่งมีขนาดใหญ่ที่สุด และมีรูปร่างเป็นรูปไข่ การตรวจสอบลักษณะของเม็ดแป้งโดยใช้กล้องจุลทรรศน์เป็นวิธีที่รวดเร็วและง่ายที่สุด สามารถตรวจสอบลักษณะต่างๆได้ เช่น รูปร่าง ขนาด การกระจายตัวของเม็ดแป้ง และตำแหน่งของไฮลัม (hilum) รวมทั้งสามารถตรวจสอบความเสียหายและการปนเปื้อนของแป้งชนิดอื่นได้อีกด้วย การตรวจสอบลักษณะเม็ดแป้งด้วยกล้องจุลทรรศน์สามารถทำได้ทั้งภายใต้แสงปกติและภายใต้แสงโพลาไรซ์ (polarized right) อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ถ้าผู้ใช้ไม่มีความชำนาญผลที่ได้อาจผิดพลาดและยังมีข้อจำกัด คือไม่สามารถดูโครงสร้างพื้นผิวของเม็ดแป้งได้ เนื่องจากกำลังขยายไม่เพียงพอ การใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (scanning electron microscope : SEM) สามารถตรวจสอบโครงสร้างพื้นผิวของเม็ดแป้งได้อย่างละเอียด เนื่องจากมีกำลังขยายมากกว่าหลายร้อยเท่า และสามารถดูพื้นผิวของเม็ดแป้งซึ่งมีรอยแตกหรือรอยร้าวของเม็ดแป้งได้ (กล้าณรงค์ ศรีรอตและเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ 2546)

แป้งที่พบในธรรมชาติอยู่ในรูปเม็ดแป้งขนาดเล็กซึ่งมีโครงสร้างกึ่งผลึก (semicrystalline) โดยโมเลกุลของแอมิโลสและแอมิโลเพคตินจัดเรียงตัวในเม็ดแป้งเป็นโครงสร้างทั้งส่วนที่เป็นผลึก (crystalline) และส่วนที่เป็นอสัณฐาน (amorphous) (ภาพที่ 9) จากการตรวจสอบโครงสร้างผลึกเม็ดแป้งด้วยเครื่อง Wide Angle X-ray Diffraction (ภาพที่ 10) พบว่าเม็ดแป้งโดยทั่วไปสามารถแบ่งตามลักษณะโครงสร้างผลึกได้ 3 แบบ คือ ผลึกแบบ A เป็นการเรียงตัวของโครงสร้างแบบหนาแน่น

มาก มี peak ขึ้นที่มุมหักเห (diffraction angle) 17° และ 17.9° พบในแป้งจากธัญพืช ผลึกแบบ B มีการเรียงตัวกันหลวมๆ มี peak ขึ้นที่มุมหักเห 5.6° และ 17° พบในแป้งจากพืชหัว และผลึกแบบ C จะมีการเรียงตัวแบบผสมกันระหว่างแบบ A และแบบ B (5.6°, 17° และ 17.9°) พบในแป้งจากพืชตระกูลถั่ว (Hoseney 1994 อ้างถึงในมนทกานต์ เบญจพลากร 2549) ส่วนผลึกของแอมิโลสที่เกิดร่วมกับองค์ประกอบอื่นๆ จะให้ X-ray diffraction pattern แบบ V เช่น แอมิโลสรวมตัวกับไขมันเป็น amylose-lipid complex เกิดโครงสร้างผลึกอย่างอ่อนที่ไปเสริมความแข็งแรงให้แก่เม็ดแป้ง นอกจากนี้โครงสร้างผลึกของเม็ดแป้งสามารถเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับการปฏิบัติต่อเม็ดแป้ง เช่น การดัดแปรแป้งด้วยวิธีต่างๆ



ภาพที่ 9 บริเวณส่วนผลึก และส่วนอสัณฐานของเม็ดสตาร์ช
ที่มา : กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ (2546)



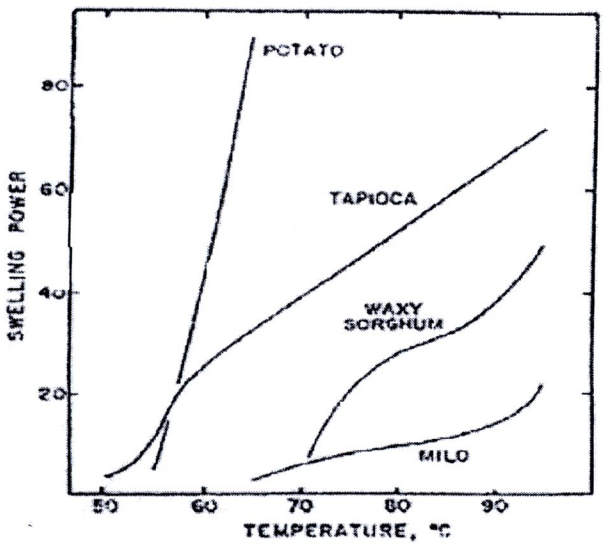
ภาพที่ 10 รูปแบบการหักเหรังสีเอ็กซเรย์ของเม็ดสตาร์ชที่มีโครงสร้างผลึกที่ต่างกัน
(A) สตาร์ชข้าวโพด ผลึกแบบ A, (B) สตาร์ชมันฝรั่ง ผลึกแบบ B
และ (C) สตาร์ชถั่ว ผลึกแบบ C
ที่มา : Bogracheva and others (1998)

2) กำลังการพองตัว (swelling power) และการละลาย (solubility)

แป้งดิบไม่ละลายน้ำหรือละลายได้เล็กน้อยที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาติไนซ์ เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งที่อยู่ใกล้ๆ โดยทั่วไปเม็ดแป้งสามารถดูดซับน้ำในบรรยากาศได้จนเกิดความสมดุลระหว่างความชื้นภายในเม็ดแป้งกับความชื้นในบรรยากาศ ปริมาณน้ำที่ดูดซับจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ แป้งส่วนใหญ่เมื่อเกิดสมดุลภายใต้บรรยากาศปกติจะมีความชื้นร้อยละ 10-17 ที่อุณหภูมิต่ำ แป้งสามารถดูดน้ำได้ประมาณร้อยละ 25-30 และมีการพองตัวน้อยมากจนไม่สามารถสังเกตได้ (Kerr 1950 อ้างถึงในมนทกานต์ เบญจพลากร 2549) การให้ความร้อนแก่น้ำแป้งทำให้พันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดแป้งจะดูดน้ำตลอดเวลาที่ให้ความร้อน พองตัวเป็นหลายเท่าของขนาดเดิมและมีโมเลกุลแอมิโลสละลายออกมาในน้ำที่อยู่บริเวณรอบๆเม็ดแป้ง (Bowers 1992 อ้างถึงในมนทกานต์ เบญจพลากร 2549) ความสามารถในการพองตัวของเม็ดแป้งแสดงเป็นปริมาตรหรือน้ำหนักของเม็ดแป้งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเม็ดแป้งพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำ สำหรับความสามารถในการละลายจะแสดงเป็นน้ำหนักของของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่แยกออกด้วยการปั่นเหวี่ยง พบว่าการละลายและการพองตัวมีความสัมพันธ์กัน เมื่อแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นจะเกิดรอยแตกบนเม็ดแป้ง ทำให้แอมิโลสละลายออกมานอกเม็ดแป้งส่งผลให้การละลายสูงขึ้น (กล้าณรงค์ ศรีรอตและเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ 2546)

แป้งแต่ละชนิดมีรูปแบบการพองตัวต่างกัน (ภาพที่ 11) โดยแป้งมันฝรั่งมีการพองตัวอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิต่ำแสดงว่าพันธะระหว่างโมเลกุลอ่อน (weak bonding forces) ส่วนแป้งมันสำปะหลังจะเริ่มพองตัวที่อุณหภูมิเดียวกับแป้งมันฝรั่งแต่การพองตัวจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ สันนิษฐานได้ว่าแรงพันธะภายในเม็ดสตาร์ชมันสำปะหลังมีช่วงกว้างมากกว่าแรงพันธะของแป้งมันฝรั่ง อย่างไรก็ตามแป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลังมีการพองตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับแป้ง waxy sorghum และแป้ง milo แสดงว่าพันธะระหว่างโมเลกุลอ่อน ทั้งนี้เนื่องจาก ionizable esterified phosphate ช่วยเสริมการพองตัวโดยลักษณะการพองตัวเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและเร็ว เป็นลักษณะการพองตัวแบบขั้นเดียว (single-stage swelling) ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของแป้งที่เป็นพอลิอิเล็คโตรไลท์ กล่าวคือพันธะไฮโดรเจนในเม็ดสตาร์ชมันฝรั่งบางส่วนปรากฏอยู่ที่ hydration water bridge แทนที่จะอยู่ร่วมในโมเลกุลเม็ดสตาร์ชอย่างแข็งแรง (Leach, 1965 อ้างถึงในมนทกานต์ เบญจพลากร 2549) ส่วนแป้งจากธัญพืช เช่น white milo (waxy sorghum) และ milo มีการพองตัวที่อุณหภูมิสูงกว่าแป้งจากพืชหัวและราก ซึ่งการพองตัวจะขยายขึ้นอย่างช้าๆ ถึงแม้อุณหภูมิจะเพิ่มมากขึ้นก็ตาม แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอีกการพองตัวจะเกิดเร็วขึ้นซึ่งเป็นลักษณะ

การพองตัวแบบสองขั้น (two-stage swelling) แสดงว่าภายในเม็ดสตาร์ชมีแรงพันธะอยู่สองลักษณะ คือพันธะแรงอ่อนจะคลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 75 องศาเซลเซียส และพันธะแข็งแรงจะคลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 85 องศาเซลเซียสขึ้นไป (Leach 1965 อ้างถึงในมนทกานต์ เบญจพลากร 2549)



ภาพที่ 11 รูปแบบการพองตัวของแป้งต่างชนิด
ที่มา : Leach (1965 อ้างถึงในมนทกานต์ เบญจพลากร 2549)

นอกจากนี้ความสามารถในการพองตัวและการละลายของแป้งยังขึ้นอยู่กับจำนวนโมเลกุลแอมิโลสและแอมิโลเพคตินของแป้ง ความแข็งแรงและลักษณะของร่างแหภายในเม็ดแป้ง เช่น จำนวนกิ่งก้านสาขา การจัดเรียงและความยาวของสาขาในแอมิโลเพคตินรวมถึงน้ำหนักโมเลกุลของแอมิโลสและแอมิโลเพคติน สารเจือปนในเม็ดแป้งที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต เช่น ไขมัน โปรตีน ฟอสฟอรัส ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในสภาวะที่เกิดการพองตัว เป็นต้น (Leach and others 1959)

3) การเกิดเจลาติไนเซชัน (gelatinization)

การเกิดเจลาติไนเซชันเป็นกระบวนการที่แสดงถึงการพองตัว และการดูดซึมน้ำของเม็ดแป้งในขณะที่ได้รับความร้อน โดยน้ำแป้งจะมีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้น การศึกษาการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งทำให้ทราบถึงอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชัน ซึ่งนำไปใช้ในการกำหนดการให้ความร้อนต่อแป้งที่นำไปใช้ นอกจากนี้การศึกษาด้วยเครื่องมือบางชนิด เช่น Brabender Visco Analyzer หรือ Rapid Visco Analyzer (RVA) ยังทำให้ทราบ heating-cooling cycle ของแป้งซึ่งมีประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมอาหารที่ใช้แป้งเป็นองค์ประกอบ แป้งแต่ละชนิดมีการเกิดเจลาติไนเซชันที่แตกต่างกัน อุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งแต่ละชนิดไม่เท่ากัน

โดยส่วนใหญ่แป้งจากพืชหัวจะมีการเกิดเจลาติไนเซชันที่อุณหภูมิต่ำกว่าแป้งจากพืชชนิดอื่น เช่น แป้งมันฝรั่ง เนื่องจากแป้งชนิดนี้มีฟอสฟอรัสอยู่ด้วยทำให้เกิดประจุผลักเม็ดแป้งให้ออกจากกัน และเม็ดแป้งมีขนาดใหญ่ทำให้พองตัวได้ง่าย เม็ดแป้งจึงมีการพองตัวได้เร็วขึ้นส่งผลให้เกิดเจลาติไนเซชันได้เร็วขึ้น ส่วนแป้งข้าวโพด แป้งข้าวฟ่างและแป้งข้าวเจ้า มีอุณหภูมิเจลาติไนเซชันสูง เนื่องจากแป้งดังกล่าวมีปริมาณไขมันสูงและมีขนาดเล็กกว่าแป้งมันฝรั่ง ไขมันสามารถรวมตัวกับแอมิโลสได้ทำให้โครงสร้างแข็งแรงขึ้น การพองตัวจึงลดลงและทำให้เกิดเจลาติไนเซชันช้าลง (กล้าณรงค์ ศรีรอตและเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ 2546)

RVA เป็นเครื่องมือสำหรับประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ต้องพิจารณาความหนืดขณะที่ให้ความร้อน หลักการทำงานคล้าย Brabender Visco Analyzer แต่มีคุณสมบัติพิเศษ คือสามารถเปลี่ยนระดับอุณหภูมิให้ร้อนและเย็นได้อย่างรวดเร็ว มีความแม่นยำ และสามารถรักษาอุณหภูมิให้คงที่ได้ ทำให้การหา pasting curve ใช้เวลาน้อยลงเนื่องจากมีกลไกการให้ความร้อนที่ดีกว่า และใช้ปริมาณตัวอย่างน้อยกว่า (Thiewes and Steeneken 1997) เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของผลการวิเคราะห์ความหนืดของสตาร์ชด้วยเครื่อง RVA และเครื่อง Brabender Visco Analyzer พบว่ามีความสัมพันธ์กันสูง ($r = 0.94$) ในทุกจุดที่เปรียบเทียบ ยกเว้นจุดที่แสดงการเกิด final viscosity จะมีความสัมพันธ์กันต่ำ ($r = 0.74$) ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดการคืนตัวของแป้งต้องใช้ระยะเวลามาก (Haasse and others 1995) สำหรับการศึกษา heating-cooling cycle พบว่า RVA ใช้ตัวอย่างน้อยกว่าสามารถทำซ้ำได้และใช้เวลาวิเคราะห์สั้นกว่า ซึ่งเวลาที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ heating-cooling cycle คือ 13 นาที โดยมีอัตราการให้ความร้อน 12 องศาเซลเซียสต่อนาที และอัตราทำให้เย็น 12 องศาเซลเซียสต่อนาที โดยแป้งธัญพืชส่วนใหญ่ เช่น แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด แป้งข้าวฟ่าง จะมี gelatinization temperature สูงกว่าแป้งจากพืชหัว เช่นแป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง (กล้าณรงค์ ศรีรอตและเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ 2546) ทั้งนี้คุณสมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชอาจแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของพืชแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชชนิดต่างๆ[a]

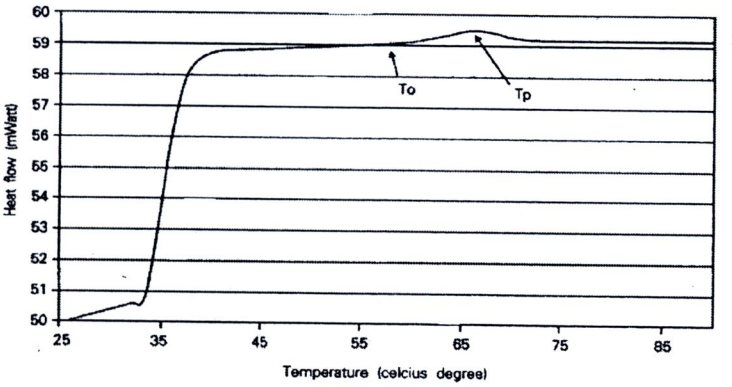
Type	Pasting temperature	Peak viscosity	Setback
Normal maize	82.0	152	74
Waxy maize	69.5	205	16
du Waxy maize	75.7	109	22
ae Waxy maize	83.2	162	40
Waxy rice	64.1	205	16
Sweet rice	64.6	219	28
Normal rice	79.9	113	64
Wheat	88.6	104	79
Cattail millet	74.2	201	128
Chinese taro	73.1	171	73
Tapioca	67.6	173	46

[a]ความเข้มข้นของสตาร์ช 8% (w/w, db)

ที่มา: Jane and others (1996)

การเกิดเจลาติไนเซชันไม่ได้เกิดเฉพาะอุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่งแต่เกิดเป็นช่วงอุณหภูมิประมาณ 8-12 องศาเซลเซียส (Schoch and Mayward 1968) การตรวจสอบกระบวนการเจลาติไนเซชันนอกจากการสังเกตจากการเปลี่ยนแปลงการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เช่น Kofler gelatinization temperature range แล้ว สามารถตรวจสอบโดยเครื่องมือที่วัดและบันทึกปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการ ซึ่งเครื่องมือที่นิยมใช้ในปัจจุบันนี้คือ เครื่อง differential Scanning Calorimeter (DSC) ซึ่งวัดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพหรือทางเคมีของวัสดุในรูปฟังก์ชันกับอุณหภูมิ ปกติพอลิเมอร์ต่างๆในรูปผลึก และอสัณฐานจะมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะได้เมื่อได้รับความร้อน แป้งก็เช่นเดียวกันในสภาพที่มีน้ำน้อย เมื่อให้ความร้อนจะมีอุณหภูมิหลอมละลาย (T_m) ที่สูงมาก กล่าวคือในช่วงของ 160-200 องศาเซลเซียส แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมากขึ้น อุณหภูมิของการหลอมละลายจะลดลง เมื่อมีปริมาณน้ำประมาณ 70 ส่วนหรือมากกว่า การหลอมละลายก็คือการเกิดเจลาติไนเซชัน ช่วงของอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลง (onset temperature, T_0) และอุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงสูงสุด (peak temperature, T_p) คือช่วงอุณหภูมิของเจลาติไนเซชัน สำหรับการวัดลักษณะของการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งด้วยเครื่อง DSC ทำได้โดยการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างสารผสมแป้งกับน้ำในอัตราส่วน 30 ต่อ 70 จนถึงอุณหภูมิที่คาดว่าเลยช่วงในการเกิดเจลาติไนเซชัน จะได้ thermogram ซึ่งเป็นกราฟระหว่าง heat flow และอุณหภูมิ พลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลาติไนเซชัน (enthalpy, ΔH) ได้จากพื้นที่ใต้กราฟหารด้วย

น้ำหนักตัวอย่างแป้ง ตัวอย่างกราฟที่ได้จากเครื่อง DSC แสดงได้ดังภาพที่ 12 แป้งแต่ละชนิดจะมีช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันต่างๆกัน (Swinkels 1985) ดังตารางที่ 2



ภาพที่ 12 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC

(T_0 = Onset temperature, T_p = Peak temperature)

ที่มา : วันชัย โชคชัยไพศาลและคณะ (2541 อ้างถึงในมนทกานต์ เบญจพลากร 2549)

ตารางที่ 2 ช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งชนิดต่างๆที่วัดด้วยเครื่อง DSC

แป้ง	ช่วงอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
แป้งข้าวโพด	70-89
แป้งมันฝรั่ง	57-87
แป้งสาลี	50-86
แป้งมันสำปะหลัง	68-92
แป้งข้าวโพดเหนียว	68-90

ที่มา: Swinkels (1985)

4) การคืนตัวของแป้ง (retrogradation)

เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลาติไนเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไป จะทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของแอมิโลสขนาดเล็กจะกระจัดกระจายออกมาทำให้ความหนืดของสารละลายน้ำแป้งลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัวลง โมเลกุลของแอมิโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดโครงสร้างร่างแหสามมิติ โครงสร้างใหม่นี้สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืด (viscosity) คงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียวคล้ายฟิล์มหรือผลึก เรียก

ปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัว (setback) (Smith 1979 อ้างถึงในมนทกานต์ เบญจพลากร 2549) เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงไปอีก ลักษณะการเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมานอกเจล ซึ่งเรียกว่า syneresis ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้จะทำให้เจลมีลักษณะขาวขุ่นและมีความหนืดเพิ่มขึ้น (กล้าณรงค์ ศรีรอตและเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ 2546)

การเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ชนิดของแป้ง ความเข้มข้นของแป้ง กระบวนการให้ความร้อน กระบวนการให้ความเย็น อุณหภูมิ ระยะเวลา ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของสารละลาย ปริมาณและขนาดของแอมิโลส แอมิโลเพคติน และองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆในแป้ง ในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำและความเข้มข้นของแป้งสูง แป้งสามารถเกิดรีโทรเกรเดชันได้ดีในช่วง pH 5-7 สำหรับช่วง pH ที่สูงหรือต่ำกว่านี้แป้งจะเกิดรีโทรเกรเดชันได้ช้าลง ซึ่งการชะลอการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งทำได้โดยการเติมเกลือที่มีประจุลบและบวก (monovalent anion และ cation) แคลเซียมไนเตรท (calcium nitrate) และยูเรีย (urea) (Swinkels 1985)

ปริมาณและขนาดของแอมิโลสมีความสำคัญต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้ง แป้งที่มีปริมาณแอมิโลสสูงจะเกิดรีโทรเกรเดชันได้มากและเร็วกว่าแป้งที่มีปริมาณแอมิโลเพคตินสูง อัตราการเกิดรีโทรเกรเดชันจะสูงสุด (การละลายต่ำสุด) เมื่อ DP ของแอมิโลสเท่ากับ 100-200 อัตราการเกิดรีโทรเกรเดชันจะลดลงเมื่อโมเลกุลขอแอมิโลสยาวหรือสั้นกว่านี้ ในการทำให้แอมิโลสที่คืนตัวกลับมาละลายได้อีกครั้งหนึ่งต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 100-160 องศาเซลเซียส แอมิโลเพคตินมีผลทำให้การเกิดรีโทรเกรเดชันน้อยมาก ดังนั้นแป้งแต่ละชนิดจะมีอัตราการเกิดรีโทรเกรเดชันที่แตกต่างกัน ในแป้งข้าวโพดเหนียวจะมีอัตราการคืนตัวของแป้งต่ำที่สุดเนื่องจากไม่มีแอมิโลสในแป้งข้าวโพดเหนียว สำหรับแป้งข้าวโพดและแป้งสาลีจะมีอัตราการเกิดรีโทรเกรเดชันสูงกว่าแป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลัง เนื่องจากแป้งธัญพืชมีปริมาณแอมิโลสสูง (ประมาณร้อยละ 28) แอมิโลสโมเลกุลเล็ก และมีไขมันในปริมาณสูงทำให้เกิดการจับตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของแอมิโลสและไขมัน (amylose-lipid complex) (กล้าณรงค์ ศรีรอตและเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ 2546)

2.4 เส้นก๋วยเตี๋ยว

2.4.1 ความหมายของเส้นก๋วยเตี๋ยว

เส้นก๋วยเตี๋ยว หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากข้าวเจ้าที่นำมาโม่ หรือแป้งข้าวเจ้า ซึ่งอาจมีแป้งชนิดอื่นผสมอยู่ด้วยก็ได้ ทำให้เป็นแผ่นบาง นึ่งให้สุก ตัดเป็นเส้น มีความหนาสม่ำเสมอไม่เกิน 0.7

มิลลิเมตร มีสีขาวนวล ไม่มีกลิ่นหืน นิ่มและเหนียว ไม่เกาะติดกัน (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 2533)

2.4.2 ชนิดของผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยว

วิภา สุโรจนเมธากุล (2541) ได้จำแนกก๋วยเตี๋ยวตามลักษณะของเส้นได้ 4 ชนิด

1) ก๋วยเตี๋ยวสด เป็นก๋วยเตี๋ยวที่ได้จากการนำแผ่นก๋วยเตี๋ยวมาตัดเป็นเส้นโดยไม่ผ่านการทำแห้ง อาจเป็นเส้นเล็กขนาด 0.4-0.5 เซนติเมตร หรือเส้นใหญ่ขนาด 1.5-2.5 เซนติเมตร โดยมีความชื้นประมาณร้อยละ 62-64 เป็นก๋วยเตี๋ยวที่เก็บได้ไม่นาน ต้องรับประทานภายใน 1-2 วัน

2) ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กกึ่งแห้ง เป็นก๋วยเตี๋ยวที่ผ่านการผึ่งลมมาบ้างแล้ว เพื่อลดความชื้น ก๋วยเตี๋ยวชนิดนี้มีความชื้นประมาณร้อยละ 37 เก็บได้ 1-2 วันเท่านั้น

3) ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กแห้ง เป็นก๋วยเตี๋ยวที่มีการตัดเป็นเส้น และทำให้แห้งจนมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 13 ทำให้สามารถเก็บรักษาได้นานในสภาวะที่เหมาะสม

4) แผ่นก๋วยจั๊บ เป็นก๋วยเตี๋ยวที่นึ่งให้สุกเพียงครึ่งเดียวของความหนา และตัดให้มีขนาด 3.0-3.5 เซนติเมตร มักเป็นรูปสามเหลี่ยม โดยมีความชื้นประมาณร้อยละ 12 เมื่อนำมาต้มสุกจะม้วนเป็นหลอด

2.4.3 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว

1) ข้าวท่อน/ปลายข้าว

ข้าวที่ใช้ผลิตก๋วยเตี๋ยวมีผลต่อคุณภาพเส้นก๋วยเตี๋ยวมาก โดยปกติแล้วข้าวที่ใช้ควรเป็นข้าวเจ้าที่มีปริมาณแอมิโลสสูงร้อยละ 27-33 (ณรงค์ นิยมวิทยา 2538) เป็นข้าวเก่าที่เก็บไว้แล้วอย่างน้อย 4 เดือน เพื่อดูดน้ำได้มากขึ้นซึ่งเป็นไปอย่างช้าๆ และต้องผ่านการขัดสีสูงเป็นข้าวขาวพิเศษ จะให้ก๋วยเตี๋ยวที่มีคุณภาพดี เช่น ข้าวพันธุ์เหลืองประทิว, ขาว-500, กข1 และกข3 โดยปกติข้าวที่นำมาผลิตเป็นแป้งข้าวเจ้าแล้วมีความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 10-14 (อรวรรณ เดหสุขเจริญ 2529)

2) น้ำ

น้ำที่ใช้ในการผลิตควรเป็นน้ำสะอาดเหมาะสำหรับบริโภค ปราศจากสารแขวนลอย มีความกระด้างต่ำ มีคลอรีน 0.2-0.5 ppm มีความเป็นกรด-เบสระหว่าง 5-7 มีเกลือแคลเซียม หรือแมกนีเซียมเหมาะสม ซึ่งจะทำให้เส้นก๋วยเตี๋ยวมีความเหนียวสูงที่สุด ถ้ามีเหล็ก หรือสารแขวนลอยอยู่จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำ (ณรงค์ นิยมวิทยา 2538)

3)สารเคมีที่ใช้ในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว

3.1) ฟอสเฟต

หมู่ฟอสเฟตจะเข้าแทนที่ไฮดรอกซิลของคาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ด้วยปฏิกิริยาฟอสฟอรีเลชัน ทำให้สตาร์ชมีคุณสมบัติพองตัวง่าย มีความหนืดสูง ใสมากขึ้น มีความคงตัว และคงทนต่อการคืนตัวได้ดี มีเนื้อสัมผัสเหนียว ยึดเกาะได้ดี และมีอุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนซ์ต่ำลง (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ 2546)

ผลของการเติมฟอสเฟตทำให้ความหนืดของแป้งข้าวเจ้าลดลง เนื่องจากเกิดแรงผลักระหว่างหมู่ฟอสเฟตเอสเทอร์ ซึ่งมีผลต่อพันธะไฮโดรเจน (อรพรรณ กัลปนายุทธ 2547)

3.2) โซเดียมคลอไรด์

ผลของการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่มีผลต่อข้าวเจ้าที่มีปริมาณแอมิโลสสูง โดยใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 2 และ 5 เมื่อเติมเกลือลงไปในสตาร์ชจากเมล็ดแอเมอแรนต์ (amaranth) ที่มีผลต่อการเกิดรีโทรเกรเดชัน เนื่องจากเกลือที่เติมลงไปจะไปแข่งขันกับโมเลกุลของสตาร์ชในการจับตัวกับโมเลกุลน้ำ นอกจากนี้อิออนของเกลือยังเกิดพันธะไอออนิกกับโมเลกุลของสตาร์ชกับน้ำ ทำให้โมเลกุลของสตาร์ชเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ยากขึ้น (อรพรรณ กัลปนายุทธ 2547)

2.4.4 กรรมวิธีการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว

1) การทำความสะอาด ล้าง และแช่ข้าว

เนื่องจากข้าวที่ใช้เป็นข้าวเก่า อาจมีสิ่งปนเปื้อนมาก ในอุตสาหกรรมการผลิตก๋วยเตี๋ยวจึงมักทำความสะอาดขั้นต้นโดยแยกเศษกระสอบ ฝุ่น ผง หิน แมลง และดอกหญ้าออกไปก่อน แล้วจึงนำข้าวมาล้างน้ำเพื่อแยกส่วนของรำละเอียด และฝุ่นที่ไม่สามารถแยกได้ในขั้นตอนแรกออก ขณะล้างข้าวอาจมีการขัดข้าวโดยใช้ใบกวน โดยทั่วไปจะล้างข้าวประมาณ 2-3 ครั้ง การล้างข้าวขึ้นกับคุณภาพของปลายข้าว ถ้าข้าวมีสีคล้ำมากอาจใช้สารเคมีจำพวกเมตาไบซัลไฟต์ประมาณร้อยละ 0.1 ผสมในน้ำล้างข้าวจะช่วยให้สีข้าวขาวขึ้นและยังเป็นการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่อาจติดมากับข้าวกับน้ำด้วย

ในขั้นตอนการล้างควรใช้อัตราส่วนของข้าว : น้ำ ให้เหมาะสมโดยให้น้ำท่วมข้าวเพียงเล็กน้อยหรือประมาณ 1:2.5 ส่วน คนข้าวบ้างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการล้างแต่ไม่ควรคนตลอดเวลาเพราะจะทำให้เมล็ดข้าวแตกออกมากับน้ำมาก ดังนั้นในการล้างแต่ละครั้งจึงควรทำอย่างรวดเร็ว ซึ่งเมื่อล้างข้าวเสร็จแล้วควรแช่ข้าวไว้อีกประมาณ 1-2 ชั่วโมง เพื่อให้ข้าวดูดน้ำเข้าไปในเมล็ด เป็นการเพิ่มความชื้นให้เมล็ดข้าวนิ่มโม่ง่ายและเม็ดแป้งแตกได้ง่ายขึ้นเมื่อทำการโม่

2) การโม่ข้าว

การโม่ข้าวเป็นการทำให้เม็ดแป้งและองค์ประกอบอื่นๆ หลุดออกและแตกออกจากกันและยังมีผลทำให้เซลล์ที่หุ้มเม็ดแป้งแตกออกด้วย โดยปริมาณเม็ดแป้งที่แตกขึ้นกับวิธีการโม่ ในระบบอุตสาหกรรมการผลิตก๋วยเตี๋ยวจะใช้วิธีการโม่เปียกโดยใช้โม่หิน ซึ่งการโม่วิธีนี้จะทำให้เม็ดแป้งถูกบดได้ละเอียดและแตกตัวได้มาก ขณะบดข้าวต้องเติมน้ำลงไปเพื่อลดอุณหภูมิขณะโม่ไม่ให้สูงเกินไปและแป้งที่ได้จะมีคุณภาพดีไม่บูดง่าย แต่ปริมาน้ำที่เติมต้องเหมาะสม โดยทั่วไปจะมีสัดส่วนข้าว : น้ำประมาณ 2:1 ไม่ควรใช้น้ำมากเพราะข้าวจะผ่านหน้าโม่ออกไปเร็ว โดยฟันโม่จะกระทบกัน แป้งที่ได้จะหยาบและเสียเวลาในการนำกลับมาโม่ใหม่ แต่ถ้าใช้น้ำน้อยเกินไปข้าวจะติดอยู่ในโม่มาก หน้าโม่จะไม่บดกันต้องใช้แรงมากในการโม่และโม่ได้ช้าลง น้ำแป้งที่ผ่านเครื่องโม่จะไหลผ่านตระแกรงร่อนที่มีรูเปิดขนาด 40-60 mesh เพื่อกรองและแยกอนุภาคแป้งที่ไม่ละเอียดหรือสิ่งปนเปื้อนที่ผสมกับน้ำแป้งออกไป น้ำแป้งที่ได้ (ร้อยละ 90 ของปริมาณน้ำแป้งมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 66.30 μm) จะตั้งทิ้งไว้ 1-3 ชั่วโมง โดยแป้งที่จะนำมาทำเส้นใหญ่จะใช้เวลาแช่นานกว่าแป้งที่จะนำมาทำเส้นเล็ก เนื่องจากเส้นใหญ่ต้องการความนุ่มนวลมากกว่าเส้นเล็ก ขณะแช่น้ำแป้งจะต้องคนแป้งเป็นระยะเพื่อไม่ให้แป้งตกตะกอนและยังช่วยให้แป้งดูดน้ำได้ดี น้ำแป้งจะข้นหนืดเนื่องจากน้ำอิสระถูกดูดเข้าไปในโมเลกุลของเม็ดแป้ง ทำให้เม็ดแป้งพองตัวและแตกง่ายเมื่อนำไปนึ่ง ขั้นตอนการโม่ให้เป็นแป้ง ทำให้ 3 วิธีคือ (อรอนงค์ นัยวิกุล 2547)

2.1) การโม่แห้ง เป็นการนำข้าวหักที่ผ่านระบบการทำความสะอาดในระบบแห้งด้วยเครื่องแยกชนิดต่างๆแล้วเข้าสู่เครื่องโม่ หรือบดแห้ง ได้เป็นแป้งผง จากนั้นร่อนผ่านเครื่องร่อนให้มีขนาดสม่ำเสมอ (180 μm) เนื่องจากวัตถุดิบเป็นปลายข้าวที่เป็นผลพลอยได้จากการสีข้าวสารดังนั้นจึงมักมีสิ่งเจือปนอยู่มาก แป้งที่ได้จึงมีความสะอาดต่ำ เมล็ดข้าวยังมีความแกร่งอยู่มากทำให้ยากลำบากที่จะทำให้แตกละเอียด แป้งที่ได้จากการโม่แห้งจึงมักเป็นแป้งหยาบ นอกจากนี้ไข่แมลงที่ติดมากับเมล็ดข้าวยังสามารถพัฒนาเป็นหนอนเมื่อเก็บไว้ช่วงระยะเวลาไม่นาน อีกทั้งไขมันที่เหลือในเมล็ดข้าวเกิดปฏิกิริยาออกเดชัน (oxidation reaction) ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนง่าย ในประเทศไทยจึงไม่นิยมใช้แป้งข้าวชนิดโม่แห้ง แต่ในต่างประเทศบางประเทศมีรายงานการใช้แป้งชนิดนี้ทำขนมปัง เค้ก และขนมอบกรอบ (งามชื่น คงเสรี 2541)

2.2) การโม่เปียก หรือโม่น้ำเป็นวิธีการที่ใช้ในการผลิตแป้งข้าวเป็นส่วนใหญ่โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศไทย เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นข้าวหักซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการสีข้าว โดยยังมีสิ่งเจอปนมากต้องทำความสะอาดด้วยเครื่องแยกชนิดต่างๆ และต้องล้างด้วยน้ำให้สะอาดหลายๆครั้งจนน้ำใส หลังจากนั้นจึงแช่ข้าวต่อไป เพื่อให้ข้าวดูดซับน้ำ และเมล็ดข้าวอ่อนตัวลงทั้งนี้อาจใช้เวลา 3-4 ชั่วโมง แล้วจึงระบายน้ำออกให้ข้าวสะเด็ดน้ำ หลังจากนั้นจึงนำข้าว

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

เข้าเครื่องโม่หินแบบจานซึ่งใช้ไฟฟ้าในการทำงานของเครื่อง โม่ข้าวหักพร้อมกับน้ำในปริมาณที่เหมาะสม ทำให้ได้น้ำแป้งที่ละเอียดสม่ำเสมอ ต่อจากนั้นจึงแยกน้ำออกจากแป้ง ได้ก้อนแป้งที่แห้งมีความชื้นประมาณร้อยละ 40 ทำการตีป่นก้อนแป้งให้เป็นผงก่อน จึงผ่านเข้าเครื่องอบแป้งให้แห้ง ในสมัยก่อนการลดความชื้นมักใช้แสงแดดซึ่งต้องใช้เวลานาน และมักมีกลิ่นเปรี้ยวที่เกิดจากปฏิกิริยาการหมัก ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมนิยมเป่าด้วยลมร้อนอุณหภูมิสูง ซึ่งประหยัดเวลาและทำให้แป้งมีคุณภาพดีขึ้น แต่การใช้อุณหภูมิสูงทำให้ผิวนอกของก้อนแป้งบางส่วนสุก และคุณภาพของแป้งต่างจากวิธีการเดิมซึ่งเป็นแป้งดิบ เมื่อลดความชื้นของแป้งลงถึงระดับที่ต้องการ (ประมาณร้อยละ 9-10) จึงนำแป้งแห้งนี้ไปโม่อีกครั้งให้เป็นผง และร่อนให้มีขนาดสม่ำเสมอ และมีความละเอียดตามต้องการ โดยทั่วไปประมาณ 180 μm มีความชื้นไม่เกิน 13% เนื่องจากเทคโนโลยีการผลิตแป้งโดยวิธีโม่เปียกนี้มีการพัฒนาต่อเนื่องมาช้านาน แป้งที่ผ่านการผลิตแบบโม่เปียกจึงเป็นแป้งที่มีคุณภาพดี และมีสิ่งเจือปนน้อย (งามชื่น คงเสรี 2541)

2.3) การโม่แบบผสมมีขั้นตอนการโม่คล้ายคลึงกับวิธีการโม่เปียกในช่วงล้างข้าวหัก และแช่ข้าวหักจนนิ่มต่อจากนั้นนำข้าวหักขึ้นจากน้ำแช่ให้สะเด็ดน้ำ แล้วผ่านไปยังเครื่องอบให้ข้าวแห้งระดับหนึ่ง(ประมาณร้อยละ 15-17) จึงนำข้าวหักเข้าบด หรือโม่แบบแห้ง ตามวิธีการโม่แห้งจนได้แป้งแห้งผ่านเข้าเครื่องร่อน แป้งที่ได้จากการโม่แบบผสมมีความละเอียดน้อยกว่าชนิดโม่เปียก ในปัจจุบันนิยมใช้ในการผลิตแป้งข้าวเหนียวสำหรับทำขนมโก๋ (งามชื่น คงเสรี 2541)

3) การปรับความเข้มข้นของน้ำแป้ง

ส่วนผสมของน้ำแป้งที่โม่ได้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเหนียวของเส้นก๋วยเตี๋ยวปริมาณน้ำที่ใช้ต้องพิจารณาจากชนิดและลักษณะของข้าว เช่น ความเก่าของข้าว และปริมาณอะมิโลส โดยทั่วไปแล้วความเข้มข้นของน้ำแป้งในการผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นสด ควรมีปริมาณของแข็งร้อยละ 38-40 โดยน้ำหนักแห้ง สำหรับการผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นแห้งความเข้มข้นของน้ำแป้งจะสูงกว่าเส้นสด น้ำแป้งจะมีความหนืดและแรงตึงผิวที่เหมาะสม ทำให้น้ำแป้งติดกับลูกกลิ้งด้วยความหนาที่พอดี ขณะป้อนน้ำแป้งลงบนสายพาน เพื่อเข้าสู่อุโมงค์นึ่ง (วิภา สุโรจนเมธากุล 2541)

4) การนึ่ง

ทำได้ 2 แบบ คือ แบบพื้นบ้านดั้งเดิมคล้ายการทำข้าวเกรียบปากหม้อ โดยการใช้ผ้าขาวบางขึงบนกระทะที่ต้มน้ำจนเดือด แล้วตักน้ำแป้งเทบนผ้าขาวบาง ละเลงให้มีความหนาพอเหมาะ นึ่งประมาณ 1 นาที ใช้ไม้แซะ ยกแผ่นก๋วยเตี๋ยวสุกมาพาดบนที่ตากทำด้วยไม้ไผ่สาน นำไปตากแดดประมาณ 4-5 ชั่วโมง โดยวิธีนี้นิยมทำเป็นอุตสาหกรรมครัวเรือน เช่น การทำเส้นหมี่โคราช เส้นจันทร์ หรือก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กสด หรือแห้ง (อรอนงค์ นัยวิกุล 2547)

อีกวิธีหนึ่งซึ่งนิยมทำเป็นอุตสาหกรรมขนาดกลาง และขนาดใหญ่ คือการใช้เครื่องนึ่ง เริ่มจากการใช้เครื่องดูดน้ำแป้งขึ้นไปไว้ในถังที่มีเครื่องกวนตลอดเวลา เพื่อไม่ให้แป้งตกตะกอน ปลายถังมีท่อเปิดเพื่อปล่อยน้ำแป้งให้ติดลูก ปาดน้ำแป้งลงบนสายพานลำเลียงที่ทำด้วยแผ่นโลหะปลอดสนิมหรือแผ่นผ้าใบ จากนั้นผ่านเข้าไปในตู้ซึ่งมีลักษณะเป็นอุโมงค์ยาวประมาณ 30 ฟุต ใช้เวลานึ่งประมาณ 3 นาที แป้งที่ออกมาจะสุกพอดี (อรอนงค์ นัยวิกุล 2547) ระหว่างแป้งที่เคลื่อนที่ในอุโมงค์จะมีน้ำมันพืชหยดเป็นระยะๆ เพื่อให้เส้นมัน ลื่น ไม่ติดสายพาน ไม่ควรใช้น้ำมันมากเกินไป จะทำให้อายุการเก็บก๋วยเตี๋ยวสั้นลง เพราะเกิดกลิ่นเหม็นหืนได้ (วิภา สุโรจนเมธากุล 2541)

5) การผึ่งลมหรืออบแห้ง

เมื่อแผ่นแป้งสุกเคลื่อนออกจากอุโมงค์ไอน้ำ และเคลื่อนสู่สายพานซึ่งมีลักษณะเป็นซี่ตะแกรง ต้องผึ่งลมโดยใช้พัดลมเป่าให้แผ่นก๋วยเตี๋ยวเย็นตัวลง เพื่อให้เจลมีความแข็งแรง และเหนียวมากขึ้น เกาะยึดเป็นแผ่นได้ดี ไม่ติดกัน จากนั้นนำมาวางเรียงซ้อนกัน และบ่มไว้ประมาณ 6-12 ชั่วโมง เพื่อให้ความชื้นกระจายออกจนเท่ากันทั้งแผ่น การทำให้เย็นตัวควรเป็นไปอย่างช้าๆ เพื่อช่วยให้แผ่นก๋วยเตี๋ยวมีความชื้นเข้าสู่สมดุลได้เป็นอย่างดี แผ่นก๋วยเตี๋ยวจะมีความหนืดเหนียวและใส ซึ่งเป็นผลเนื่องจากเกิดการคืนตัวของสตาร์ชในแป้งข้าว ถ้านำแผ่นก๋วยเตี๋ยวไปตัดเป็นเส้นได้ก๋วยเตี๋ยวเส้นสดที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 60-64 และมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (water activity, Aw) เท่ากับ 0.96-0.98 (วิภา สุโรจนเมธากุล 2541)

6) การตัดเส้น

นำแผ่นก๋วยเตี๋ยวที่บ่มแล้วไปเข้าเครื่องตัดเส้นก๋วยเตี๋ยว โดยความกว้างของเส้นขึ้นอยู่กับขนาดของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ สำหรับก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กมีขนาด 0.4-0.5 เซนติเมตร ส่วนก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่มีขนาด 1.5-2.5 เซนติเมตร (อรอนงค์ นัยวิกุล 2547)

7) การอบหรือตากแดดจนแห้ง

นำเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ตัดแล้วม้วนตามขนาดที่บรรจุ ตากบนแผงไม้ไผ่ประมาณ 1 วัน ระวังให้เส้นแห้งสม่ำเสมอ และทั่วถึงทั้งข้างนอกและข้างใน หรือนำเข้าตู้อบให้มีความชื้นเหลือเพียงร้อยละ 10-12 (อรอนงค์ นัยวิกุล 2347)

8) การบรรจุหีบห่อ

ก๋วยเตี๋ยวเส้นสดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณความชื้นสูง อายุการเก็บจึงสั้นมาก ภาชนะบรรจุที่ใช้ต้องสามารถเก็บรักษาความชื้นในเส้นให้มากที่สุด เพราะถ้าความชื้นลดลงทำให้คุณภาพเปลี่ยนไป ในท้องตลาดปัจจุบันใช้ใบตองห่อ และทับด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์อีกชั้นหนึ่ง หรือใช้ถุงพลาสติกใส สำหรับก๋วยเตี๋ยวแห้งก่อนเก็บเส้นเล็กแห้งลงภาชนะบรรจุ ควรให้เส้นแห้งเย็นสนิทก่อนอย่างน้อย 1 ชั่วโมง เพื่อกันการเกิดไอน้ำในถุงหลังปิดผนึก เพราะถ้ามีไอในถุงจะทำ

ให้เก็บรักษาเส้นแห้งไว้ได้ไม่นาน และอาจเกิดกลิ่นหรือเชื้อราบนเส้น ถุงพลาสติกที่ใช้ควรเป็นชนิดที่ยอมให้อากาศผ่านเข้าออกได้บ้าง เช่น ถุงโพลิเอทิลีน (PE) และโพลิโพรพิลีน (PP) แล้วควรบรรจุถุงลงกล่องกระดาษแข็งอีกชั้นหนึ่ง เพื่อกันการแตกหักของเส้นก๋วยเตี๋ยว (วิภา สุโรจนเมธากุล 2541)

2.4.5 คุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยว

1) คุณภาพทางฟิสิกส์

คุณภาพทางฟิสิกส์ของเส้นก๋วยเตี๋ยวตามที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2533) กำหนด คือ ต้องมีขนาดเส้นใกล้เคียงกัน มีความสม่ำเสมอ สีขาวนวลสม่ำเสมอ และมีกลิ่นรสตามธรรมชาติ ไม่มีกลิ่นหืน หรือกลิ่นไม่พึงประสงค์อื่น ปกติสีของเส้นก๋วยเตี๋ยวมีความแตกต่างกันขึ้นกับคุณภาพข้าวที่ใช้ในการผลิต โดยข้าวที่มีโปรตีนสูงทำให้เส้นก๋วยเตี๋ยวมีสีคล้ำ ในขณะที่ข้าวที่มีโปรตีนต่ำจะมีสีขาวนวล สีเหลืองคล้ำนี้เกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างกรดอะมิโนกับน้ำตาลให้สารประกอบสีน้ำตาล ซึ่งสีเหลืองจะเกิดมากขึ้นถ้าใช้น้ำที่มีคุณสมบัติเป็นเบส การขัดขาวมีผลต่อสีของก๋วยเตี๋ยวมาก ข้าวที่ผ่านการขัดขาวทำให้โปรตีนถูกกำจัดออกไปมาก ส่งผลให้ก๋วยเตี๋ยวมีสีขาวขึ้น (ณรงค์ นิยมวิทยา 2538)

2) คุณภาพทางเคมี

ก๋วยเตี๋ยวอบแห้งโดยทั่วไปมีองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกับข้าวที่ใช้ผลิต คือ มีโปรตีนร้อยละ 7.14, ไขมันร้อยละ 0.89, คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 91.12 และใยอาหารร้อยละ 0.35 (ณรงค์ นิยมวิทยา 2538) โดยมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 12 มีอะฟลาทอกซินไม่เกิน 20 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และอนุญาตให้ใช้วัตถุเจือปนอาหาร ได้แก่ โซเดียม หรือโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ หรือ โซเดียม หรือโพแทสเซียมไฮโดรเจนซัลไฟต์ หรือซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในปริมาณที่เหมาะสม แต่ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เหลือในก๋วยเตี๋ยวต้องไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สำนักงานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 2533)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้แป้งทนย่อย ในผลิตภัณฑ์อาหาร

ปัจจุบันนี้ในอุตสาหกรรมอาหารนิยมใช้สตาร์ชทนย่อยเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์แทนการใช้ใยอาหารจากแหล่งอื่นมากขึ้น เนื่องจากสตาร์ชทนย่อย จะมีการอุ้มน้ำต่ำจึงสามารถใช้เป็นแหล่งใยอาหารสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นต่ำ เช่น คุกกี้ ขนมปังกรอบ ผลิตภัณฑ์ธัญชาติสำเร็จรูป เป็นต้น เมื่อใช้สตาร์ชทนย่อยในอาหารพบว่าจะไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านรสชาติ และไม่ทำให้เนื้อสัมผัสของอาหารมีลักษณะหยาบเหมือนกับการใช้ใยอาหารจากแหล่งอื่นๆ จึง

เหมาะสมต่อกระบวนการผลิตและคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์พวกขนมอบ นอกจากนี้สตาร์ชทนย่อยยังให้ปริมาณบิวทีเรทสูงกว่าแหล่งใยอาหารอื่นๆ จึงมีประโยชน์มากกว่า จากคุณสมบัติที่เหนือกว่าใยอาหารจากแหล่งอื่นๆ ประกอบกับความนิยมของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพและความเป็นไปได้ในเชิงเทคโนโลยีการผลิต ทำให้แนวโน้มการใช้แป้งทนย่อยในผลิตภัณฑ์อาหารเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เพราะสตาร์ชทนย่อยเป็นแป้งที่สามารถใช้การวิเคราะห์แบบ total dietary fiber (TDF) โดยใช้วิธีของ AOAC ซึ่งในประเทศสหรัฐอเมริกาใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยเอนไซม์ (enzymatic-gravimetric) ที่กำหนดให้ใช้จาก Nutrition Labeling and Education Act (NLEA) และใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่ออ้างถึงปริมาณเส้นใยอาหารได้ สตาร์ชทนย่อยที่ผลิตจำหน่ายในทางการค้าเพื่อใช้เป็นส่วนผสมอาหารเพื่อสุขภาพ มีคุณลักษณะไม่แตกต่างจากแป้งหรือสตาร์ชทั่วไป คือ ผงละเอียด สีขาว ไม่มีรสชาติ นำไปใช้ผสมกับส่วนผสมอื่นได้ง่าย โดยไม่ทำให้เนื้อสัมผัสอาหารหรือรูปร่างของผลิตภัณฑ์อาหารเปลี่ยนแปลง และสามารถบริโภคได้อย่างปลอดภัย โดยปริมาณสตาร์ชทนย่อย ที่แนะนำต่อวันเพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อสุขภาพ คือประมาณ 20 กรัม

Nutrition Labeling and Education Act (NLEA) ได้กำหนดการระบุบนฉลากอาหารสำหรับอาหารที่มีใยอาหารไว้ว่า อาหารที่สามารถระบุได้ว่าเป็นแหล่งของใยอาหารสูงได้ต้องมีปริมาณใยอาหารเท่ากับ 2.5 กรัมต่อหน่วยบริโภค หรือ TDF เท่ากับร้อยละ 5 และจะระบุว่ามีใยอาหารสูงได้ต้องมีปริมาณใยอาหาร เท่ากับ 5 กรัมต่อหน่วยบริโภค (หน่วยบริโภคขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร) หรือ TDF เท่ากับร้อยละ 10 (Sajilata and others 2006)

การใช้สตาร์ชทนย่อย ในผลิตภัณฑ์ขนมปัง

ขนมปังใยอาหารสูงที่ใช้ใยอาหารจากแหล่งอื่นๆ เช่น เซลลูโลส ข้าวโอ๊ต และข้าวสาลี มักจะมีสีค่อนข้างเข้ม ปริมาตรต่ำเกินไป เนื้อสัมผัสหยาบ และมีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์จากธัญพืช ดังนั้นการใช้สตาร์ชทนย่อย เป็นส่วนผสมในการทำขนมปัง จะได้ขนมปังที่มีสีขาวขึ้น ปริมาตรสูงขึ้น เนื้อสัมผัสและความรู้สึกในปากดีเมื่อเทียบกับใยอาหารทั่วไป และยังคงมีเส้นใยอาหารสูง (5 กรัม/50 กรัม หรือ TDF เท่ากับร้อยละ 10) ใน the American Institute of Baking ได้ศึกษาการเติมใยอาหารหรือสตาร์ชทนย่อยในส่วนของโด และเติมน้ำเพิ่มมากขึ้นทำให้ได้โดที่มีความหนืดเหมือนเดิม โดยการเติมสตาร์ชทนย่อย โดมีการดูดซับน้ำต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับใยอาหารทั่วไป (Yue and Waring 1998) และมีการใช้สตาร์ชทนย่อยจาก corn และ tapioca เป็นส่วนผสมในขนมปัง ทำให้ปริมาณใยอาหารไม่ละลายน้ำและใยอาหารรวม เพิ่มขึ้น ซึ่งมากที่สุดถึง 6.30 กรัม/100กรัม จึงเห็นได้ว่าเป็นแนวทางในการเพิ่มคุณค่าทางใยอาหารให้แก่ขนมปัง (Jaroslaw Korus and others 2009)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

การใช้สตาร์ชทนย่อย ในแครกเกอร์

แครกเกอร์ที่มีสตาร์ชทนย่อยเป็นส่วนประกอบเพื่อเป็นแหล่งของใยอาหาร พบว่ามีเนื้อสัมผัสที่ไม่แข็งเมื่อเทียบกับใยอาหารจากธัญพืชและมีความกรอบมากกว่าแครกเกอร์ที่มีใยอาหารจากข้าวโอ๊ต หรือข้าวสาลีเป็นส่วนผสม และมีค่าคะแนนเฉลี่ยความชอบโดยรวมไม่ต่างจากตัวอย่างควบคุม (Yue and Waring 1998)

การใช้สตาร์ชทนย่อย ในเค้กและมัฟฟิน

การทดสอบโดยใช้ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าเค้กและมัฟฟินที่มีสตาร์ชทนย่อยเป็นส่วนผสมให้กลิ่นรสที่ดีกว่าใยอาหารจากข้าวโอ๊ตและจากข้าวโอ๊ตผสมสตาร์ชทนย่อย นอกจากนี้มัฟฟินสูตรที่มีสตาร์ชทนย่อย มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มกว่าและหลังจากการเก็บ 2 สัปดาห์ มัฟฟินที่มีสตาร์ชทนย่อย มีการสูญเสียน้ำน้อยกว่ามัฟฟินสูตรที่ใช้ใยอาหารทั่วไป ทำให้มีความชื้นในช่วงการเก็บมากกว่ามัฟฟินสูตรอื่น (Yue and Waring 1998)

การใช้สตาร์ชทนย่อย ในอาหารเช้าที่ทำจากธัญพืช

การใช้สตาร์ชทนย่อยเป็นส่วนผสมกับใยอาหารอื่นๆ ในอาหารเช้าที่ทำจากธัญพืช โดยมีใยอาหารรวม (TDF) ร้อยละ 40 (Novelose 240) ประกอบด้วยสูตรที่มีสตาร์ชทนย่อยเพียงอย่างเดียว และที่ใช้ร่วมกับใยอาหารจากข้าวโอ๊ตในอัตราส่วน 50/50 และ 25/75 ตามน้ำหนัก อาหารเช้าที่ทำจากธัญพืชที่มีสตาร์ชทนย่อยเพียงอย่างเดียวมีปริมาตรการขยายตัวดีที่สุด รองลงมาคือตัวอย่างที่มีส่วนผสมของสตาร์ชทนย่อยร้อยละ 75 และ 50 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสตาร์ชทนย่อยสามารถช่วยปรับปรุงการขยายตัวของอาหารเช้าจากธัญพืชได้ (Yue and Waring 1998)

การใช้สตาร์ชทนย่อย ในพาสต้า

การใช้สตาร์ชทนย่อย เป็นส่วนประกอบในพาสต้า พบว่าพาสต้าที่มีสตาร์ชทนย่อยมากถึงร้อยละ 15 ในระหว่างผ่านการอัดพอง ไม่มีผลกระทบต่อสมบัติทางวิทยากระแส (rheology) ของโด หรือมีน้อยมากและพาสต้าที่ได้จะมีค่าความเป็นสีขาวสูงกว่าและให้เนื้อสัมผัสที่แน่นกว่าตัวอย่างควบคุมและเวลาที่ใช้ในการทำให้สุกเหมือนกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ได้เติมใยอาหาร (Yue and Waring 1998)

การใช้สตาร์ชทนย่อย ในเส้นสปาเกตตี

การใช้สตาร์ชทนย่อยเป็นส่วนผสมในเส้นสปาเกตตีเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมและที่มีส่วนผสมจากรำข้าว โดยเปรียบเทียบคุณภาพในการหุงต้ม พบว่าเส้นสปาเกตตีที่มีการเติมสตาร์ชทนย่อยจะใช้เวลาในการให้ความร้อนนานกว่าและอุณหภูมิในการเกิดเจลสูงกว่าเส้นสปาเกตตีที่ใส่รำข้าวและสูตรควบคุม ซึ่งเวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อเนื้อสัมผัสของเส้นสปาเกตตีในด้านความแข็ง การเกาะตัว ความเหนียว และการเคี้ยวอย่างมีนัยสำคัญ (Sozer and others 2007)

การใช้สตาร์ชทนย่อย ในผลิตภัณฑ์คุกกี้

Aparicio-Saguilan and others (2007) ศึกษาเกี่ยวกับการใช้สตาร์ชทนย่อย ที่ได้จากแป้งกล้วยนำมาเป็นส่วนผสมในการผลิตคุกกี้ ทดสอบการยอมรับ วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและทดสอบการย่อย พบว่าสูตรที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด คือสูตรที่มีอัตราส่วน แป้งสาลีต่อแป้งกล้วย เท่ากับ 85 ต่อ 15 เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม พบว่าไม่มีความแตกต่างองค์ประกอบทางเคมีของคุกกี้ พบว่าคุกกี้ที่มีสตาร์ชทนย่อย เป็นส่วนประกอบมีปริมาณเถ้าและไขมัน แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับตัวอย่างควบคุม (แป้งสาลีร้อยละ 100) อัตราการเกิดไฮโดรไลสิสที่ใช้ในการทำนายดัชนีไกลซีมิค (glyceamix index) ในคุกกี้ที่มีสตาร์ชทนย่อยมีค่าเป็น 60.53 ซึ่งต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่มีค่าเป็น 77.62 สตาร์ชทนย่อยจากแป้งกล้วยจึงเป็นวัตถุดิบที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้เพื่อลดพลังงานและลดดัชนีไกลซีมิค (glyceamix index) ได้