

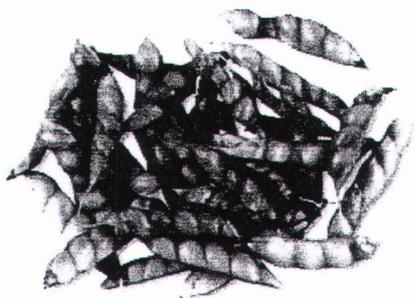
บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 ถั่วมะแฮะ (Pigeon pea)

ถั่วมะแฮะเป็นพืชตระกูลถั่วชนิดหนึ่งใน order Leguminosae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Cajanus cajan* ส่วนชื่อสามัญที่นิยมเรียก ได้แก่ red gram, pigeon pea, arhar, tur, congo pea และ no-eye pea เป็นต้น สำหรับชื่อภาษาไทยจะเรียกแตกต่างกันไปตามท้องถิ่นกล่าวคือ ภาคกลางเรียกว่า ถั่วแระหรือถั่วแม่ตาย ทางภาคเหนือเรียกว่า ถั่วมะแฮะต้นหรือถั่วมะแฮะ และทางภาคใต้เรียกว่า ถั่วแระด (วิเชียร วรพุทธพร, 2525)

ถั่วมะแฮะมีต้นกำเนิดในประเทศอินเดีย และแพร่กระจายไปยังเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ แอฟริกา และอเมริกา ปัจจุบันถั่วมะแฮะมีการปลูกและบริโภคกันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะประเทศที่อยู่ในเขตร้อนหรือกึ่งร้อน ลักษณะโดยทั่วไปของถั่วมะแฮะเป็นไม้พุ่มล้มลุกหรือยืนต้น สูงตั้งแต่ 2 ถึง 12 ฟุต ถั่วมะแฮะมีมากมายหลายพันธุ์ จึงมีลักษณะแตกต่างกันไปทั้งในด้านความสูง อายุเก็บเกี่ยว สี ขนาด รูปร่างของฝักและเมล็ด ซึ่งตัวอย่างของฝักถั่วมะแฮะ และต้นถั่วมะแฮะ แสดงได้ดังรูปที่ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ นอกจากนี้ถั่วมะแฮะยังมีคุณสมบัติพิเศษเหนือพืชอื่นหลายชนิดคือ มีความทนทานต่อความแห้งแล้ง และทนทานต่อกระแสดมแรงได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีระบบรากลึกจึงเหมาะที่จะปลูกในบริเวณแห้งแล้ง หรือบริเวณที่มีดินที่ไม่ค่อยอุดมสมบูรณ์ เช่น แถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (วิเชียร วรพุทธพร, 2525)



รูปที่ 2.1 ฝักถั่วมะแฮะ

ที่มา: แก้วตา ธัมอิน (ม.ป.ป.)



รูปที่ 2.2 ต้นถั่วมะแฮะ

ที่มา: แก้วตา รัมอิน (ม.ป.ป.)

ส่วนประกอบทางเคมีของเมล็ดถั่วมะแฮะประกอบไปด้วยโปรตีนประมาณ 22% คาร์โบไฮเดรต 40% ไขมัน 1.5% แร่ธาตุ 3.5% มีปริมาณแคลเซียม ฟอสฟอรัส และเหล็กสูง รวมทั้งวิตามินต่าง ๆ ยกเว้นพวกแอสคอร์บิกแอซิด จึงเหมาะที่จะใช้เป็นอาหารเสริมโปรตีนพวก ธัญพืช และพืชให้แป้งอื่น ๆ ซึ่งบริโภคกันมากในเขตร้อน เมื่อเปรียบเทียบกับโปรตีนจากสัตว์ รวมทั้งปลา พบว่าถั่วมะแฮะมีกรดอะมิโนเมทไทโอนีนและซีสตีโนในปริมาณต่ำ แต่ก็ยังมีกรดอะมิโน ทั้งสองสูงกว่าพวกธัญพืช และพืชบริโภคแป้งอื่น ๆ (กฤษฎา สัมพันธ์รักษ์, 2531)

2.2 แป้งและสตาร์ช

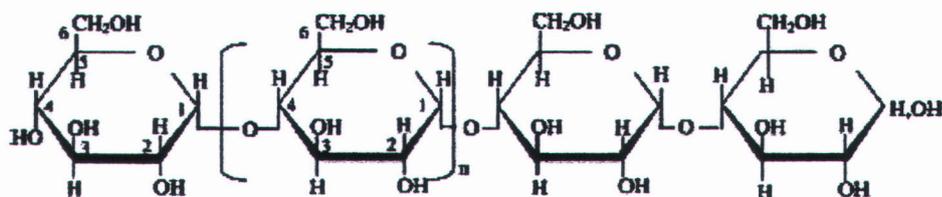
แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในพืชชั้นสูง พบในคลอโรพลาสต์ (ในใบ) และในส่วนที่พืชใช้เป็นแหล่งเก็บอาหาร เช่น เมล็ดและหัว คำว่า “แป้ง” หมายถึง คาร์โบไฮเดรตที่มีองค์ประกอบของ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่ มีสิ่งเจือปน เช่น โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ น้อยมาก โดยทั่วไปแป้งที่ยังมีส่วนประกอบอื่น ๆ อยู่มากจะเรียกว่า ฟลาวัวร์ (flour) แต่เมื่อสิ่งเจือปนอันได้แก่ โปรตีน ไขมัน เกลือแร่อื่น ๆ ถูกสกัดออกไป จนเหลือแป้งบริสุทธิ์เป็นส่วนใหญ่จะเรียกว่า สตาร์ช (starch) (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550) โดยส่วนใหญ่แล้วจะดูปริมาณ โปรตีนเป็นหลัก ซึ่งอาจดูได้จากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งถั่วเขียว ม.อ.ก. 948-2533 ที่กำหนดให้ต้องมีปริมาณโปรตีนต่ำกว่าร้อยละ 0.4

2.3 สมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ที่สำคัญของสตาร์ช

2.3.1 สมบัติทางเคมี

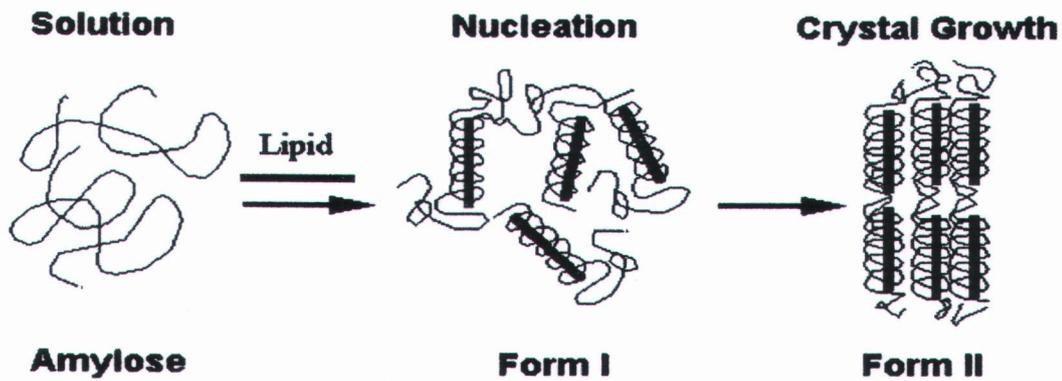
สตาร์ชเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่สำคัญในพืชอยู่ภายในเมล็ดสตาร์ช (Singh และคณะ, 2003) สตาร์ชเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6:10:5 มีสูตรเคมีทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ สตาร์ชประกอบไปด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ พอลิเมอร์เชิงเส้น (แอมิโลส) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง (แอมิโลเพกทิน) วางตัวในแนวรัศมี สตาร์ชจากแหล่งที่ต่างกันจะมีอัตราส่วนของแอมิโลส และแอมิโลเพกทินแตกต่างกัน จึงทำให้สตาร์ชแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ในสตาร์ชยังมีสารตัวกลาง ได้แก่ ไขมัน โปรตีน เป็นต้น ซึ่งไขมันที่รวมอยู่ในเมล็ดสตาร์ชจะไปลดความสามารถในการพองตัว การละลาย และความสามารถในการจับน้ำ และยังอาจรวมตัวกับแอมิโลสเกิดเป็น inert complex ทำให้เกิดฟิล์มที่มีลักษณะทึบแสงหรือขุ่น โปรตีนที่เกาะอยู่บริเวณพื้นผิวของเมล็ดสตาร์ช ทำให้เกิดประจุบนพื้นผิว ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับน้ำ อัตราการพองตัว และอัตราการเกิดเจลลิตีในซ์เปลี่ยนแปลงไป (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550)

แอมิโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4-glucosidic linkage (รูปที่ 2.3) เป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก มีความยืดหยุ่นและสามารถเคลื่อนที่ได้ จากการที่แอมิโลสประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก จึงทำให้สามารถจับกับโมเลกุลชนิดอื่นได้ด้วยพันธะไฮโดรเจน เช่น แอมิโลสจับกับแอมิโลเพกทินเป็นเกลียวคู่ (double helices) หรือเกลียวเดี่ยว (single helices) ทำให้เกิดโครงสร้างตาข่ายสามมิติ ซึ่งเป็นโครงสร้างที่แข็งแรง (Bowers, 1992) นอกจากนี้แอมิโลสยังสามารถจับกับไขมันเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (amylose-lipid-complex) ที่มีความเสถียร (รูปที่ 2.4) การทำลายสารประกอบเชิงซ้อนนี้ต้องใช้อุณหภูมิประมาณ $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Kugimiya, Donovan และ Wong, 1980)



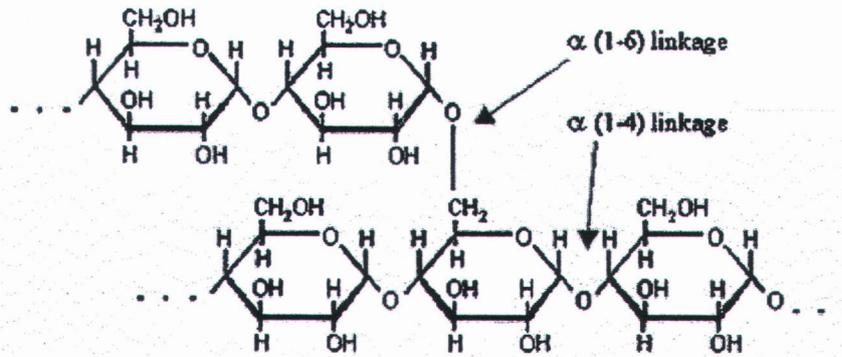
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของแอมิโลส

ที่มา: Julaino (1971)



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของสารประกอบเชิงซ้อนของแอมิโลสกับไขมัน
ที่มา: ดัดแปลงมาจาก Kugimiya และคณะ (1980)

แอมิโลเพกตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วย α -1,4-glucosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้น มีระดับขั้นการเกิดพอลิเมอร์ (degree of polymerization, DP) อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,6-glucosidic linkage (รูปที่ 2.5) แอมิโลเพกตินมีน้ำหนักมากกว่าแอมิโลสประมาณ 1,000 เท่า คือ ประมาณ 10^7 - 10^8 ดาลตัน เนื่องจากมีขนาดใหญ่กว่าและมีกิ่งสาขา ทำให้มีการคั่นตัวต่ำ นอกจากนี้แอมิโลเพกตินสามารถเกิดเกลียวคู่โดยใช้พันธะไฮโดรเจนและแรงแวนเดอร์วาลส์ในการเชื่อมต่อกัน กิ่งแอมิโลเพกตินภายในเม็ดสตาร์ชสามารถเกิดผลึกได้ ทั้งกิ่งที่อยู่ใกล้กันในกลุ่ม (cluster) เดียวกัน หรือเกิดขึ้นระหว่างกลุ่มที่ใกล้เคียงกัน (Hizukuri, 1986) ดังนั้นจึงทำให้แอมิโลเพกตินมีความสำคัญมากกว่าแอมิโลสทั้งด้านโครงสร้าง หน้าที่ และการนำไปใช้ โดยแอมิโลเพกตินเพียงอย่างเดียวสามารถรวมตัวกันทำให้เกิดโครงสร้างทั้งส่วนที่เป็นผลึก (crystalline region) และส่วนที่เป็นอสัณฐาน (amorphous region) ซึ่งรวมตัวเป็นเม็ดสตาร์ชได้ ส่วนแอมิโลสเพียงอย่างเดียวไม่สามารถเกิดส่วนที่เป็นผลึกได้ (Oates, 1997)



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของแอมิโลเพกติน

ที่มา: Julaino (1971)

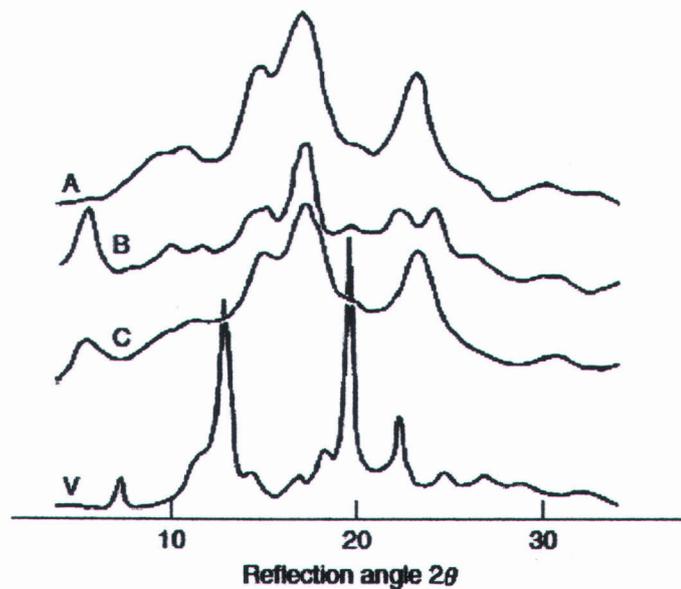
2.3.2 สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่

2.3.2.1 ลักษณะของเม็ดสตาร์ช

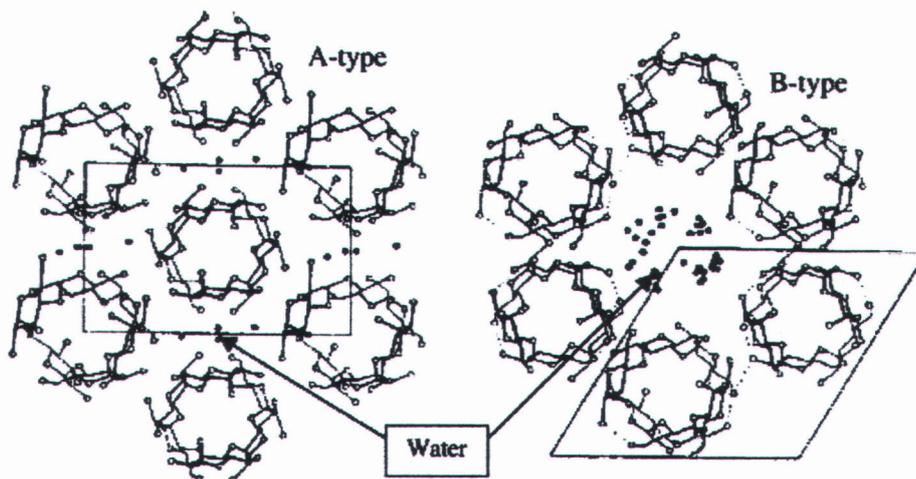
สตาร์ชส่วนใหญ่มีสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่ละลายในน้ำเย็น ขนาดและรูปร่างของเม็ดสตาร์ชแตกต่างกันไปตามชนิดของสตาร์ช (Oates, 1997) การตรวจสอบลักษณะของเม็ดสตาร์ชโดยใช้กล้องจุลทรรศน์เป็นวิธีที่รวดเร็วและง่ายที่สุด สามารถตรวจสอบลักษณะต่าง ๆ ได้ เช่น รูปร่าง ขนาด การกระจายตัวของขนาดเม็ดสตาร์ช และลักษณะไฮลัม (hilum) รวมทั้งตรวจสอบความเสียหายของเม็ดสตาร์ชที่สภาวะต่าง ๆ และการปนเปื้อนของสตาร์ชอีกชนิดหนึ่งได้ การตรวจสอบลักษณะเม็ดสตาร์ชโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ สามารถทำได้ทั้งภายใต้แสงปกติ (normal light) และภายใต้แสงโพลาไรซ์ (polarized light) อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ยังมีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถดูโครงสร้างพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชได้ เนื่องจากมีกำลังขยายไม่เพียงพอ การใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM) สามารถตรวจสอบโครงสร้างพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชได้อย่างละเอียด เนื่องจากมีกำลังขยายมากกว่าหลายร้อยเท่า ซึ่งสามารถดูพื้นผิวของเม็ดสตาร์ช ซึ่งมีรอยแตกหรือรอยร้าวของเม็ดสตาร์ชได้ (กัลลาณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550)

โครงสร้างสตาร์ชมีลักษณะเป็นโครงสร้างกึ่งผลึก (semi-crystalline) โดยโมเลกุลของแอมิโลสและแอมิโลเพกตินในเม็ดสตาร์ชสามารถจัดเรียงตัวกัน ทำให้เกิดโครงสร้าง 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นผลึก (crystalline) และส่วนที่เป็นอสัณฐาน (amorphous) สามารถตรวจสอบโครงสร้างผลึกเม็ดสตาร์ชด้วยวิธี Wide Angle X-ray Diffraction ได้ โดยสตาร์ชที่มีโครงสร้างผลึกต่างกันจะให้รูปแบบของรังสีเอกซ์ที่ต่างกัน แสดงดังรูปที่ 2.6 ซึ่งสตาร์ชโดยทั่วไปสามารถแบ่ง

โครงสร้างผลึกได้ 4 แบบ (Buléon และคณะ, 1998) คือ ผลึกแบบ A เป็นการจัดเรียงตัวของโครงสร้างแบบหนาแน่นมาก มีน้ำ 8 โมเลกุล ในโครงสร้าง พบในสตาร์ชจากธัญพืช ผลึกแบบ B มีการจัดเรียงตัวของโครงสร้างอย่างหลวม ๆ มีน้ำ 36 โมเลกุล ในโครงสร้าง พบในสตาร์ชจากพืชหัว ซึ่งรูปแบบการจัดเรียงตัวของโครงสร้างผลึกแบบ A และ B แสดงได้ดังรูปที่ 2.7 ผลึกแบบ C จะมีการจัดเรียงตัวแบบผสมกันระหว่างแบบ A และแบบ B กล่าวคือมีพีคที่ 5.73, 15.30, 17.30, 18.30 และ 23.50 พบในสตาร์ชจากพืชตระกูลถั่ว และอีกรูปแบบหนึ่งคือ ผลึกแบบ V เกิดจากแอมิโลสรวมตัวกับองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น แอมิโลสรวมตัวกับไขมันเป็น amylose-lipid complex เกิดโครงสร้างผลึกอย่างอ่อนที่ไปเสริมความแข็งแรงให้แก่เม็ดสตาร์ช ทำให้เม็ดสตาร์ชพองตัวได้ช้า



รูปที่ 2.6 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของสตาร์ชที่มีโครงสร้างผลึกแบบ A B C และ V
ที่มา: Zobel (1988b)



รูปที่ 2.7 รูปแบบ unit cells ของสตาร์ชที่มีโครงสร้างผลึกแบบ A และ B
ที่มา: Tester, Karkalas และ Qi (2004)

2.3.2.2 กำลังการพองตัว (Swelling power) และการละลาย (Solubility)

แอมิโลสและแอมิโลเพกตินจะเรียงตัวขนานกันตามแนวรัศมีภายในเม็ดสตาร์ช และแต่ละสายตึงติดกันด้วยพันธะไฮโดรเจนจากหมู่ไฮดรอกซิลของกลูโคสของแต่ละสายที่อยู่ใกล้ ๆ กัน ทำให้มีลักษณะคล้ายร่างแห ดังนั้นสตาร์ชดิบไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้เล็กน้อยที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตินเซชัน โดยทั่วไปเม็ดสตาร์ชสามารถดูดซับน้ำไว้ได้ประมาณ 25-30% และพองตัวได้น้อยมากจนไม่สามารถสังเกตได้ (Kerr, 1950) เมื่อสารละลายสตาร์ชได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตินเซชันในสภาวะที่มีน้ำอย่างเพียงพอและมีการกวนตลอดเวลา จะเกิดการถ่ายเทความร้อนและความชื้นให้แก่เม็ดสตาร์ช (Lii, Tsai และ Tseng, 1996) ทำให้พันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย ส่งผลให้สายของแอมิโลสและแอมิโลเพกตินคลายออกจากกัน หมู่ไฮดรอกซิลของกลูโคสแต่ละสายเป็นอิสระ โมเลกุลของน้ำเข้ามาทำปฏิกิริยาด้วยได้ เม็ดสตาร์ชจะดูดน้ำตลอดเวลาที่ได้รับความร้อน เป็นผลให้เม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัวเป็นหลายเท่าของขนาดเดิม และมีแอมิโลสละลายออกมาในน้ำที่อยู่บริเวณรอบ ๆ เม็ดสตาร์ช (Bowers, 1992) การละลาย ความหนืด และความใสของสารละลายสตาร์ชเพิ่มขึ้น birefringence ของเม็ดสตาร์ชจะหายไปเนื่องจากชั้นผลึกถูกทำลาย กำลังการพองตัวของสตาร์ชจะแสดงเป็นปริมาตรหรือน้ำหนักของเม็ดสตาร์ชที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเม็ดสตาร์ชพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำ ส่วนความสามารถในการละลายจะแสดงเป็นน้ำหนักของของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่แยกออกด้วยการปั่นเหวี่ยง นอกจากนี้ยังพบว่า การละลายและการพองตัวมี

ความสัมพันธ์กัน โดยทั่วไปพบว่าเมื่อเม็ดสตาร์ชพองตัวเพิ่มขึ้น จะเกิดรอยแตกบนเม็ดสตาร์ช ทำให้แอมิโลสหลุดออกมานอกเม็ดสตาร์ช ส่งผลให้การละลายสูงขึ้น (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550)

ปัจจัยที่มีผลต่อกำล้างการพองตัวและการละลายของสตาร์ช ได้แก่ ชนิดของสตาร์ช ขนาดเม็ดสตาร์ช ความแข็งแรงและลักษณะของร่างแหภายในเม็ดสตาร์ช เช่น อัตราส่วนของแอมิโลสและแอมิโลเพกติน จำนวนกิ่งก้านสาขา รวมถึงการจัดเรียงตัวและความยาวของสาขาในแอมิโลเพกติน สิ่งเจือปนในเม็ดสตาร์ชที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต เช่น ไขมัน โปรตีน ฟอสฟอรัส ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในสภาวะที่เกิดการพองตัว เป็นต้น (Leach, McCowen และ Schoch, 1959)

2.3.2.3 จลนศาสตร์การขยายขนาดของเม็ดสตาร์ช (Starch granule growth kinetics)

การศึกษาจลนศาสตร์การขยายขนาดเม็ดสตาร์ชเพื่อนำข้อมูลมาช่วยในการพิจารณาการเกิดเจลลิตีในเซชัน ในสภาวะที่มีน้ำเพียงพอและอุณหภูมิคงที่ การเกิดเจลลิตีในเซชันสามารถอธิบายได้ด้วย pseudo-first order reaction กล่าวคือ มีการเปลี่ยนแปลงเป็น 2 ช่วง แต่ช่วงสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงได้โดยใช้สมการ first order kinetic model (สมการที่ 2.1) (Lund และ Wirakartaksumah, 1984)

$$\frac{d[UG]}{dt} = -K_r[UG] \quad (2.1)$$

เมื่อ K_r คือ ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา

$[UG]$ คือ ปริมาณสตาร์ชที่ยังไม่เกิดการเจลลิตีในเซชัน

ภายใต้กระบวนการการเกิดเจลลิตีในเซชันที่อุณหภูมิคงที่ ขนาดเฉลี่ยของเม็ดสตาร์ชจะเพิ่มขึ้นจากขนาดเฉลี่ยของเม็ดสตาร์ชดิบ (D_0) จนถึงขนาดเฉลี่ยที่อิ่มตัว (equilibrium mean diameter, D_{er}) ก่อนที่เม็ดสตาร์ชจะเริ่มแตกออก การขยายขนาดของเม็ดสตาร์ช (X) ที่เวลาใด ๆ (t) สามารถแสดงดังสมการที่ (2.2) (Okechukwu และ Rao, 1996a: 1996b)

$$X = \frac{D_t - D_0}{D_{er} - D_0} \quad (2.2)$$

เมื่อ D_t คือ ขนาดเฉลี่ยของเม็ดสตาร์ชที่เวลาใด ๆ

ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา (K_r) หาได้จากการแทนที่ [UG] ในสมการ (2.1) ด้วย $1-X$ แล้วอินทิเกรต (integrate) จะได้สมการดังแสดงในสมการที่ (2.3)

$$\ln \left[\frac{D_{eT} - D_t}{D_{eT} - D_0} \right] = -K_r t \quad (2.3)$$

เมื่อสร้างกราฟลอการิทึม (logarithm) ของ $(D_{eT} - D_t / D_{eT} - D_0)$ กับเวลาแล้ว จะสามารถหาค่าอัตราการขยายขนาดของเม็ดสตาร์ช (K_r) ได้

ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิใด ๆ สามารถอธิบายได้ด้วยสมการอาร์เรเนียส (Arrhenius equation) (สมการที่ 2.4)

$$K_r = K_{rT} \exp(-E_a / RT) \quad (2.4)$$

เมื่อ K_{rT} คือ ค่าคงที่ (min^{-1})

E_a คือ พลังงานก่อกัมมันต์ (activation energy) (kJ mole^{-1})

R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส (gas constant) มีค่าเท่ากับ $8.314 \text{ J mole}^{-1} \text{ K}^{-1}$

T คือ อุณหภูมิ (เคลวิน)

เมื่อสร้างกราฟระหว่างส่วนกลับของอุณหภูมิ ($1/T, \text{K}^{-1}$) กับค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา (K_r) จะทำให้ทราบค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของการเกิดเจลลิตีโนเซชัน

2.3.2.4 ความหนืด

โดยทั่วไปสตาร์ชที่ไม่ผ่านการตัดแปรรจะไม่ละลายน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่า 50°C แต่ดูดซึมน้ำได้อย่างจำกัดและพองตัวได้เล็กน้อย การพองตัวของเม็ดสตาร์ชในช่วงแรกสามารถผันกลับได้ถ้าทำให้แห้ง (Phillips และ Williams, 2000) เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้น เม็ดสตาร์ชดูดซึมน้ำได้ในปริมาณมากขึ้น และพองตัวจนมีขนาดใหญ่กว่าเดิมหลายเท่า และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงจุดหนึ่ง เม็ดสตาร์ชจะเปลี่ยนแปลงจนกระทั่งอยู่ในสภาวะที่ผันกลับไม่ได้ ซึ่งเรียกว่าเกิดเจลลิตีโนเซชัน ซึ่งในขั้นนี้เม็ดสตาร์ชจะพองตัวอย่างรวดเร็ว มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และสูญเสีย birefringence เนื่องจากโครงสร้างผลึกถูกทำลายไป โมเลกุลของสารต่าง ๆ ในเม็ดสตาร์ชที่ละลายน้ำได้เริ่มซึมออกมา เป็นผลให้ความหนืดของระบบเพิ่มขึ้น เพราะโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลืออยู่รอบ ๆ เม็ดสตาร์ชเหลือน้อยลง ทำให้เม็ดสตาร์ชเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น ความหนืดจึงเริ่ม

เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว (Sanders, 1996) ซึ่งโมเลกุลของแอมิโลสที่หลุดออกมาเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อความหนืดของสารละลายสตาร์ช (Kokini, Shih และ Chedid, 1992)

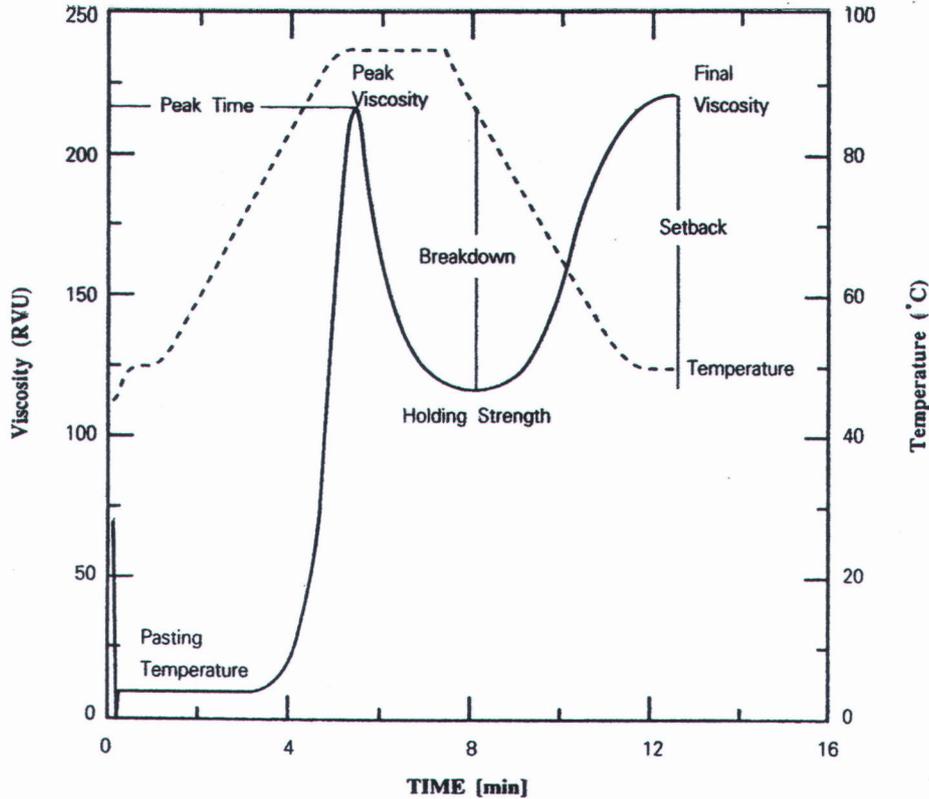
การเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารละลายสตาร์ชสามารถตรวจวัดได้หลายวิธี และเครื่องมือที่ใช้ในการวัดมีหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดมีหลักการทำงานและการอ่านค่าความหนืดที่ต่างกัน เช่น เครื่องวัดความหนืดแบบ Brookfield viscometer Brabender amylograph Capillary viscometer และ Rapid visco analyzer (RVA) ซึ่ง RVA เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้วัดความหนืดของสตาร์ช (Phillips และ Williams, 2000) ข้อดีของเครื่อง RVA คือ สามารถเปลี่ยนระดับอุณหภูมิทำให้ร้อนและเย็นได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ รักษาอุณหภูมิให้คงที่ได้ ทำให้ได้กราฟการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (pasting curve) ภายในเวลาประมาณ 13 นาที เนื่องจากมีกลไกการส่งผ่านความร้อนได้ดี และใช้ปริมาณตัวอย่างน้อย (กล้าณรงค์ ศิริรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550) นอกจากนี้ยังเป็นเครื่องมือที่สามารถใช้ศึกษาการเกิดเจลลิตินในเซชัน และรีโทรเกรเดชันได้อีกด้วย (Phillips และ Williams, 2000) ตัวอย่างกราฟการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดแสดงดังรูปที่ 2.8 ความหนืดของสตาร์ชขึ้นอยู่กับความเข้มข้นเริ่มต้นของสตาร์ช สมบัติทางกายภาพและเคมีของเม็ดสตาร์ช เช่น ขนาดของเม็ดสตาร์ช การกระจายตัวของเม็ดสตาร์ช อัตราส่วนระหว่างแอมิโลสและแอมิโลเพกติน และปริมาณแร่ธาตุ (Singh และคณะ, 2003)

ค่าที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด มีดังนี้ (Newport scientific, 2007)

1. Pasting temperature คือ อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด หรือมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้น 2 RVU ในเวลา 20 วินาที มีหน่วยเป็น °C
2. Peak temperature คือ อุณหภูมิเกิดความหนืดสูงสุด หรืออุณหภูมิที่เกิดพีค มีหน่วยเป็น °C
3. Peak time คือ เวลาที่เกิดความหนืดสูงสุด หรือเวลาที่เกิดพีคของความหนืด มีหน่วยเป็นนาที
4. Peak viscosity คือ ความหนืดที่จุดสูงสุด มีหน่วยเป็น RVU หรือ cP
5. Breakdown คือ ค่าความแตกต่างของความหนืดสูงสุด และความหนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็น RVU หรือ cP
6. Final viscosity คือ ความหนืดสุดท้ายของการทดลอง มีหน่วยเป็น RVU หรือ cP
7. Setback from peak คือ ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดที่จุดสูงสุด มีหน่วยเป็น RVU หรือ cP



8. Setback from trough คือ ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็น RVU หรือ cP



รูปที่ 2.8 ค่าต่าง ๆ ที่วัดได้จากเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA)

ที่มา: Newport scientific (2007)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่.....1-8-ก.ค.....2555.....
เลขทะเบียน.....247862.....
เลขเรียกหนังสือ.....

2.3.2.5 การเกิดเจลาตินในเซชัน (Gelatinization)

การเกิดเจลาตินในเซชันเป็นกระบวนการที่แสดงถึงการพองตัว และการดูดซึมน้ำของเม็ดสตาร์ชในขณะที่ได้รับความร้อน ซึ่งสารละลายสตาร์ชจะมีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้น สตาร์ชแต่ละชนิดมีการเกิดเจลาตินในเซชันที่แตกต่างกัน อุณหภูมิในการเกิดเจลาตินในเซชันของสตาร์ชแต่ละชนิดไม่เท่ากัน (กล้าณรงค์ ศรีวรรต และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550) การเกิดเจลาตินในเซชันเป็นการทำลายโครงสร้างผลึกภายในเม็ดสตาร์ช โดยการให้ความร้อนแก่เม็ดสตาร์ชในสถานะที่มีน้ำอย่างเพียงพอ โมเลกุลน้ำสามารถแพร่เข้าไปในส่วนอสัณฐานของเม็ดสตาร์ชได้ก่อน ทำให้พันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโมเลกุลสตาร์ชในส่วนอสัณฐานอ่อนแอลง (Kaletune และ Breslaure, 2003) เม็ดสตาร์ชเริ่มเกิดการพองตัว แรงแย่งเหนียวระหว่างสายโมเลกุลในโครงสร้าง

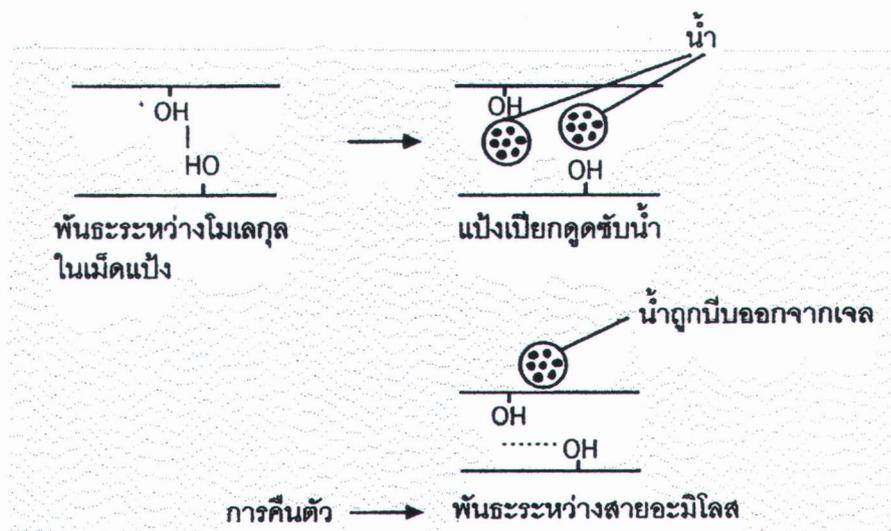
ผลึกอ่อนแอลง เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโมเลกุลสตาร์ชถูกทำลาย น้ำจึงสามารถเข้าไปในส่วนโครงสร้างผลึก ทำให้เม็ดสตาร์ชดูดน้ำได้มากขึ้นพร้อมกับพองตัวขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชสลายไป เกิดเป็นการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ พร้อมกับโมเลกุลแอมิโลสที่แพร่ออกมานอกเม็ดสตาร์ช (Whistler และ BeMiller, 1999) เม็ดสตาร์ชเริ่มเกิดเจลาตินในเซชันที่บริเวณไฮลัมในบริเวณส่วนออสชันฐาน เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีพันธะไฮโดรเจนอ่อนแอ ส่วนโครงสร้างผลึกเป็นตัวขัดขวางการเกิดเจลาตินในเซชันของเม็ดสตาร์ช (Kim และคณะ, 1995) ปรากฏการณ์ทั้งหมดนี้เรียกว่า การเกิดเจลาตินในเซชัน

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลาตินในเซชัน ได้แก่ ขนาดและรูปร่างของเม็ดสตาร์ช ปริมาณแอมิโลส ความเป็นผลึกของเม็ดสตาร์ช ปริมาณโปรตีนและไขมัน (Hamaker และ Griffin, 1990) วิธีการสกัดสตาร์ช ความเข้มข้นของสตาร์ช วิธีที่ใช้ศึกษาการเกิดเจลาตินในเซชัน (Kim และคณะ, 1995) โครงสร้างของโมเลกุลแอมิโลเพกติน ปริมาณฟอสฟอรัส อัตราส่วนระหว่างแอมิโลสและแอมิโลเพกติน (Tester, 1997) เป็นต้น

การเกิดเจลาตินในเซชันไม่ได้เกิดเฉพาะที่อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่ง แต่เกิดเป็นช่วงอุณหภูมิประมาณ 8 ถึง 12 °C (Schoch และ Mayward, 1968) การตรวจสอบกระบวนการเกิดเจลาตินในเซชันอาจสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ โดยการใช้ Kofler hot stage microscope (Maaruf และคณะ, 2001) นอกจากนี้ยังสามารถตรวจสอบโดยเครื่องมือที่วัดและบันทึกปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการ ซึ่งเครื่องมือที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือ เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) ซึ่งวัดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพหรือทางเคมีของวัตถุในรูปของฟังก์ชันกับอุณหภูมิ หลักการทำงานของเครื่อง DSC คือ วัดความแตกต่างของพลังงานที่ให้กับตัวอย่างและตัวอย่างอ้างอิง (reference) ส่วนใหญ่แล้วตัวอย่างอ้างอิงจะเป็นภาชนะใส่ตัวอย่าง (pan) เปล่า เมื่อถึงอุณหภูมิที่ตัวอย่างเปลี่ยนสถานะ ตัวอย่างต้องดูดหรือคายพลังงานเพื่อใช้ในการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว เครื่องจะวัดพลังงานที่ตัวอย่างดูดหรือคายออกมา (enthalpy: ΔH) ลักษณะของเส้นกราฟความร้อน (thermogram) สามารถบ่งบอกได้ว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาดูด (endothermic) หรือคายความร้อน (exothermic) (Karim, Norziah และ Seow, 2000) ค่าที่ได้จากการวัดตัวอย่างด้วยเครื่อง DSC มีดังนี้ อุณหภูมิเริ่มเกิดเจลาตินในเซชัน (onset temperature: T_o) อุณหภูมิที่ทำให้เกิดเจลาตินในเซชันสูงสุด (peak temperature: T_p) อุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลาตินในเซชัน (conclusion temperature: T_c) และเอนทัลปี (enthalpy: ΔH)

2.3.2.6 การเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation)

เมื่อสตาร์ชได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลลิตีในเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไป เม็ดสตาร์ชจะพองตัวเพิ่มมากขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของแอมิโลสขนาดเล็กจะกระจัดกระจายออกมา ให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัวลงโมเลกุลของแอมิโลสและแอมิโลเพกตินที่แขวนลอยอยู่นั้นไม่เสถียร เพื่อทำให้ระบบมีความเสถียรมากขึ้น โมเลกุลเหล่านี้จึงพยายามจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล (Hoseney, 1998; Sasaki, Yasui และ Matsuki, 2000) โดยการพันกันเป็นเกลียวคู่ (double-helix) สายเกลียวคู่สามารถรวมตัวกันจนเป็นโครงร่างผลึกสามมิติ โครงสร้างใหม่นี้สามารถอุ้มน้ำและไม่มี การดูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียวคล้ายฟิล์มหรือผลึก เรียกว่าปรากฏการณ์รีโทรเกรเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัว (setback) (Smith, 1979) เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงไปอีก ลักษณะการเรียงตัวของโครงร่างจะแน่นมากขึ้น โมเลกุลของน้ำอิสระที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมานอกเจล ซึ่งเรียกว่า syneresis ปรากฏการณ์การเกิดรีโทรเกรเดชันและ syneresis จะทำให้เจลมีลักษณะขาวขุ่นและมีความหนืดเพิ่มขึ้น (กล้าณรงค์ ศิริรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550) กลไกการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 กลไกการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ช

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก Fruton และ Simmonds (1958)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดรีโทรเกรเดชัน ได้แก่ ชนิดของสตาร์ช ความเข้มข้นของสตาร์ช กระบวนการให้ความร้อน กระบวนการให้ความเย็น อุณหภูมิ ระยะเวลา ความเป็นกรด-เบสของสารละลาย ปริมาณและขนาดของแอมิโลสและแอมิโลเพกติน และองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ในสตาร์ช เป็นต้น (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549)

ปริมาณและขนาดของแอมิโลสมีความสำคัญต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ช สตาร์ชที่มีปริมาณแอมิโลสสูงจะเกิดรีโทรเกรเดชันได้มากและเร็วกว่าสตาร์ชที่มีปริมาณแอมิโลเพกตินสูง อัตราในการเกิดรีโทรเกรเดชันจะสูงสุด (การละลายต่ำสุด) เมื่อ DP ของแอมิโลสเท่ากับ 100 ถึง 200 อัตราการเกิดรีโทรเกรเดชันจะลดลงเมื่อโมเลกุลของแอมิโลสยาวหรือสั้นกว่านี้ ในการทำให้แอมิโลสที่คืนตัวกลับมาละลายได้อีกครั้งหนึ่งต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 100 ถึง 160 °C แอมิโลเพกตินมีผลทำให้เกิดการรีโทรเกรเดชันน้อยมาก ดังนั้นสตาร์ชแต่ละชนิดจะมีอัตราการเกิดรีโทรเกรเดชันแตกต่างกัน (Swinkels, 1985)

2.3.2.7 สมบัติทางการไหล (Rheology properties)

สมบัติทางการไหล (Rheology properties) เป็นการศึกษาการเปลี่ยนรูปหรือสมบัติการไหลของวัตถุเมื่อวัตถุได้รับแรงกระทำภายนอกที่เรียกว่า ความเค้น (stress: σ) เป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอะตอมที่เคลื่อนที่ไปขณะที่ถูกแรงกระทำ ซึ่งเรียกว่า ความเครียด (strain: ϵ) การเปลี่ยนแปลงนี้อาจจะอยู่ในรูปของการยืดตัวหรือหดตัว ขึ้นอยู่กับลักษณะของแรงที่มากกระทำ เช่น แรงกด เป็นต้น

โมดูลัส คือ ความลาดชันเชิงเส้นของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นกับความเครียด (รูปที่ 2.10) ซึ่งค่าโมดูลัสเป็นค่าที่บ่งบอกความยืดหยุ่นของวัตถุ (elasticity) ตามกฎของ Hooke โดยทั่วไปวัตถุที่เป็นของแข็งจะมีสมบัติเป็น elastic เนื่องจากของแข็งเมื่อได้รับความเค้น จะสามารถเปลี่ยนรูปร่างได้ และหากความเค้นที่ให้แก่ของแข็งมีค่าน้อยกว่าค่า yield value รูปร่างของของแข็งจะสามารถกลับสู่สภาวะเดิมก่อนที่ได้รับความเค้นได้โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้าง ของแข็งที่มีพฤติกรรมลักษณะนี้จะเรียกว่าเป็น Hookean solid

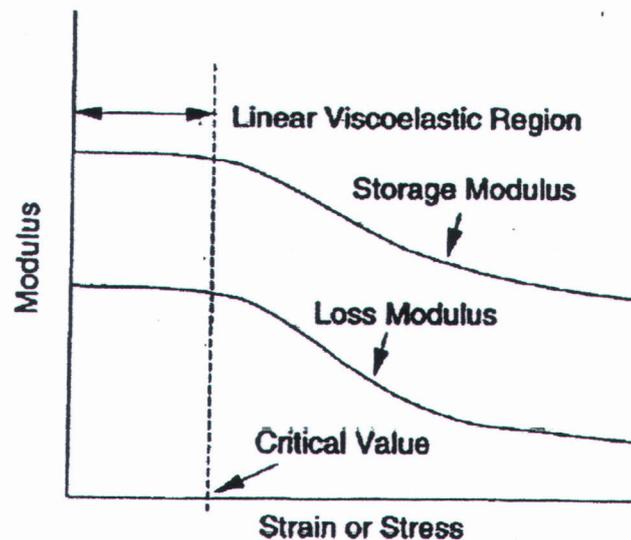


รูปที่ 2.10 โมดูลัสของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด
ที่มา: Steffe (1992)

ในวัตถุที่เป็นของแข็งมักจะมีพฤติกรรมตามกฎของ Hooke ในช่วงที่มีการให้ค่าความเค้นต่ำ แต่มีค่าความเครียดสูง วัตถุจะมีการเบี่ยงเบนจากกฎของ Hooke โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากอาหารส่วนใหญ่จะมีลักษณะที่เรียกว่า viscoelastic

Viscoelastic คือ วัตถุที่มีทั้งสมบัติที่แสดงลักษณะของของไหล (viscous) และสมบัติแบบยืดหยุ่นของของแข็ง (elastic) ซึ่งเมื่อมีแรงเฉือน (shear stress) มากระทำต่อวัตถุดังกล่าวที่ระดับความเครียดหนึ่ง แล้วถอนแรงเฉือนออกทันที วัตถุพวก viscoelastic จะไม่คืนตัวกลับสภาพเดิม ณ จุดเริ่มต้นที่ยังไม่มีแรงเค้นเฉือนมากระทำทันทีเหมือนลักษณะการยืดหยุ่นของของแข็ง แต่จะค่อย ๆ คืนตัวกลับมา

การแสดงพฤติกรรมของวัตถุพวก viscoelastic จะขึ้นอยู่กับสมบัติยืดหยุ่นและสมบัติที่เป็นลักษณะของของไหลที่มีอยู่ในวัตถุ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับฟังก์ชันของเวลาที่ใช้ในการทำให้วัตถุเสียรูป การวิเคราะห์ลักษณะของวัตถุพวก viscoelastic จะทดสอบในช่วงที่เป็น linear viscoelastic range (รูปที่ 2.11) linear viscoelastic range คือ ช่วงที่วัตถุแสดงลักษณะยืดหยุ่น หรือวัตถุมีความสามารถในการคืนตัวกลับสู่สภาพเดิม หลังจากที่มีการถอนแรงที่ให้แก่วัตถุ นอกจากนี้ยังพบว่าเจลที่มีความแข็งแรง (strong gel) จะมีช่วง linear viscoelastic range กว้างกว่าเจลอ่อน (weak gel) (Steffe, 1992)



รูปที่ 2.11 ช่วง Linear viscoelastic range

ที่มา: Steffe (1992)

สตาร์ชเมื่อเกิดเจลาติไนเซชันเป็นเจลแล้วจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของ mechanical behavior ซึ่งเจลจะแสดงลักษณะของ viscoelastic คือจะมีสมบัติที่เป็นทั้ง viscous และ elastic (Karim และคณะ, 2000) ลักษณะของเจลที่เป็น viscoelastic ดังกล่าว สามารถติดตามหรือตรวจสอบได้โดยการทดสอบสมบัติทางไหลของเจล (rheological testing) dynamic oscillatory test เป็นการทดสอบสมบัติ viscoelastic ของเจล โดยที่ไม่ทำให้โครงสร้างของเจลถูกทำลายไป สามารถวิเคราะห์ผลได้โดยสังเกตจากค่าต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

G' (storage modulus) แสดงถึงลักษณะที่เป็น solid หรือ elastic ซึ่งวัดในรูปของพลังงานที่ถูกสะสมอยู่ในวัตถุนั้น ๆ ต่อ 1 รอบ ของการเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (deformation)

G'' (loss modulus) แสดงถึงลักษณะที่เป็น liquid หรือ viscous ซึ่งวัดในรูปของพลังงานที่สูญเสียไป (ในรูปของความร้อน) ของวัตถุนั้น ๆ ของ 1 รอบ ของการเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง

ค่า G' และ G'' มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง หรือ strain (γ_0) แสดงได้ดังนี้ (สมการ 2.5 และ 2.6) (Steffe, 1992)

$$G' = \frac{(\sigma_0) \cos \delta}{\gamma_0} \quad (2.5)$$

$$G'' = \frac{(\sigma_0) \sin \delta}{\gamma_0} \quad (2.6)$$

$$\text{โดย } \sigma_0 = \text{Generated stress} = G' \gamma_0 \sin (\omega t) + G'' \gamma_0 \cos (\omega t)$$

$$\gamma_0 = \text{Strain amplitude}$$

$$\omega = \text{Angular frequency}$$

$$t = \text{time}$$

วัตถุที่มีค่า G' มากกว่า G'' จะมีสมบัติคล้ายเป็นของแข็ง (solid-like) ซึ่งถ้ามีการเสียรูปจะมีลักษณะของความยืดหยุ่นและสามารถคืนรูปได้ แต่ถ้าวัตถุนั้นมีค่า G'' มากกว่า G' วัตถุจะมีสมบัติคล้ายเป็นของเหลว (liquid-like) ค่าของ G' และ G'' จะขึ้นอยู่กับความถี่ ความเข้มข้น อุณหภูมิ และความเค้น แต่ถ้าค่าของความเค้นอยู่ในช่วง linear viscoelastic range ค่า G' และ G'' จะไม่ขึ้นกับความเค้น นอกจากนี้ยังสามารถวิเคราะห์สมบัติ viscoelastic ของเจลได้จากค่า G^* (complex modulus) η^* (complex viscosity) และ $\tan (\delta)$ (loss tangent) ได้ ดังนี้ (สมการ 2.7, 2.8 และ 2.9)

$$G^* = \frac{(\sigma_0)}{\gamma_0} = \{(G')^2 + (G'')^2\}^{1/2} \quad (2.7)$$

$$\eta^* = \frac{G''}{\omega} \quad (2.8)$$

$$\tan (\delta) = \frac{G''}{G'} \quad , 0 \leq \delta \leq \pi \quad (2.9)$$

2.4 ผลของขนาดเม็ดสตาร์ชต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่

สตาร์ชที่มีอยู่ในธรรมชาติจะมีลักษณะรูปร่างของเม็ดสตาร์ชขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดทางพฤกษศาสตร์ และมีขนาดแตกต่างกันไป ตั้งแต่สตาร์ชที่มีขนาดเล็กมาก ได้แก่ สตาร์ชจากข้าวเจ้า ข้าวโอ๊ต จนกระทั่งสตาร์ชที่มีเม็ดสตาร์ชขนาดใหญ่ ได้แก่ สตาร์ชจากมันฝรั่ง และสตาร์ชจากกล้วย ซึ่งขนาดของเม็ดสตาร์ชจะมีผลต่อลักษณะทางเคมีกายภาพของสตาร์ช ได้แก่ องค์ประกอบของสตาร์ช กระบวนการเกิดเจลลิตีโนเซชัน กำลังการพองตัวและการละลาย อัตราส่วนของแอมิโลสต่อแอมิโลเพกติน รวมไปถึงน้ำหนักโมเลกุลและโครงสร้างของสตาร์ชอีกด้วย (Lindeboom,

Chang และ Tyler, 2004) Madsen และ Christensen (1996) พบว่า ความหนืดของเพสต์สตาร์ชขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพและเคมีของเม็ดสตาร์ช เช่น ขนาดเฉลี่ยและการกระจายของขนาดเม็ดสตาร์ช อัตราส่วนของแอมิโลสต่อแอมิโลเพกติน และปริมาณเกลือ เป็นต้น

Tang และคณะ (2001) แยกสตาร์ชบาร์เลย์ออกเป็น 3 ขนาด คือ ขนาดใหญ่ (18.4 ไมครอน) ขนาดกลาง (12.3 ไมครอน) และขนาดเล็ก (2.2 ไมครอน) และศึกษาสมบัติการเกิดเจลลิตีในเซชันของสตาร์ชทั้ง 3 ขนาด พบว่า ค่า onset temperature (T_o) ของเม็ดสตาร์ชขนาดใหญ่จะมีค่าสูงกว่าเม็ดสตาร์ชขนาดกลางและขนาดเล็ก ส่วนค่า conclusion temperature (T_c) ของเม็ดสตาร์ชขนาดเล็กจะมีค่าสูงกว่าเม็ดสตาร์ชขนาดใหญ่และขนาดกลาง และค่า enthalpy of gelatinization ของเม็ดสตาร์ชขนาดใหญ่มีค่าสูงกว่าเม็ดสตาร์ชขนาดกลางและขนาดเล็ก และนอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Tang, Watanabe และ Mitsunaga (2002) ที่ได้ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ช normal barley และ waxy barley 3 ขนาด พบว่า กำลังการพองตัวของสตาร์ชจะมีค่าสูงขึ้นตามขนาดของเม็ดสตาร์ชที่มีขนาดเล็กลง

Singh และ Kaur (2004) ได้ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของเม็ดสตาร์ชขนาดเล็ก (5-20 ไมครอน) ขนาดกลาง (25-40 ไมครอน) และขนาดใหญ่ (40-85 ไมครอน) ที่ได้จากการแยกสตาร์ชมันฝรั่ง พบว่า สตาร์ชมันฝรั่งที่มีขนาดเม็ดสตาร์ชแตกต่างกันมีสมบัติที่แตกต่างกัน โดยเม็ดสตาร์ชมันฝรั่งขนาดใหญ่จะมีกำลังการพองตัวต่ำกว่า แต่มีปริมาณแอมิโลสสูงกว่าเม็ดสตาร์ชที่มีขนาดเล็ก นอกจากนี้เม็ดสตาร์ชที่มีขนาดใหญ่และขนาดกลางจะมีลักษณะรูปร่างของเม็ดแป้งเป็นรูปวงรี หรือรูปเหลี่ยมคล้ายลูกบาศก์ ในขณะที่เม็ดสตาร์ชที่มีขนาดเล็กจะมีลักษณะรูปร่างของเม็ดสตาร์ชเป็นรูปทรงกลม หรือวงรี ในการศึกษาช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลลิตีในเซชัน พบว่า ช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลลิตีในเซชันจะมีค่าสูงขึ้นตามขนาดเม็ดสตาร์ชที่เล็กลง ส่วนค่า enthalpy of gelatinization จะมีค่าลดลงตามขนาดเม็ดสตาร์ชที่เล็กลง ในการวิเคราะห์ตัวแปรของลักษณะทางการไหล เช่น G' , G'' จะมีค่าสูงขึ้นตามขนาดเม็ดสตาร์ชที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

Noda และคณะ (2005) ได้ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชมันฝรั่ง 3 ขนาด คือ ขนาดใหญ่ (39.9-43.7 ไมครอน) ขนาดเล็ก (20.3-23.4 ไมครอน) และขนาดเล็กมาก (13.2-14.0 ไมครอน) พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และโซเดียม มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามขนาดของเม็ดสตาร์ชที่มีขนาดเล็กลง ขนาดของเม็ดสตาร์ชไม่ได้มีอิทธิพลอย่างมากต่อปริมาณแอมิโลส และสมบัติการเกิดเจลลิตีในเซชันที่ศึกษาโดยใช้เครื่อง DSC และพบว่าเม็ดสตาร์ชที่มีขนาดเล็กกว่าจะมีค่า peak viscosity และค่า breakdown ต่ำกว่าเม็ดสตาร์ชที่มีขนาดใหญ่ แต่เม็ดสตาร์ชที่มีขนาดเล็กจะมีค่า peak temperature สูงกว่าเม็ดสตาร์ชขนาดใหญ่

Huang และคณะ (2007) ได้ศึกษาสมบัติของสตาร์ช 3 ชนิด คือ yellow pea, cowpea และ chickpea โดยแยกสตาร์ชออกเป็น 3 ขนาด พบว่า ขนาดของเม็ดสตาร์ชจะมีผลต่อพฤติกรรม

ทางด้านการเกิดเพสต์และการพองตัว โดยที่เม็ดสตาร์ชที่มีขนาดเล็กจะมีกำลังการพองตัว และ peak viscosity สูงกว่าเม็ดสตาร์ชขนาดใหญ่

ผลของการศึกษาขนาดของเม็ดสตาร์ชต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้ เช่น Chen, Schols และ Voragen (2003b) พบว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากสตาร์ชมันฝรั่งและสตาร์ชมันเทศที่มีเม็ดสตาร์ชขนาดเล็กจะมีคุณภาพดีกว่าก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากสตาร์ชที่มีเม็ดสตาร์ชขนาดใหญ่ ซึ่งเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำมาจากเม็ดสตาร์ชขนาดเล็กจะมีความยาวของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ยาวกว่า มีความโปร่งแสงมากกว่า และมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีกว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากเม็ดสตาร์ชขนาดใหญ่ ซึ่งผลการทดลองที่ได้ี้มีความสอดคล้องกับผลการทดลองของ Huang และ Lai (2010) ที่ได้ศึกษาสตาร์ชในกลุ่มธัญพืชที่มีขนาดเม็ดสตาร์ชต่าง ๆ กัน โดยนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ white salted noodles ซึ่งจากการทดลองนี้พบว่า ขนาดของเม็ดสตาร์ชเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อสมบัติทางการไหลของโดเส้นก๋วยเตี๋ยว ทั้งนี้โดที่ทำจากเม็ดสตาร์ชขนาดเล็กจะสามารถดูดซับน้ำได้เป็นจำนวนมากในระหว่างการเตรียมโด และเม็ดสตาร์ชจะเกิดการจับตัวกันแน่นภายในร่างแหกลูเตน

นอกจากนี้ยังมีการนำข้อมูลผลของขนาดเม็ดสตาร์ชต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ ได้อีก เช่น Lindeboom และคณะ (2004) กล่าวว่า สตาร์ชที่มีขนาดเล็กและมีช่วงการกระจายของขนาดที่แคบสามารถนำไปใช้ในการผลิตกระดาษพิมพ์ และแผ่นพลาสติกได้ดี นอกจากนี้ยังเป็นตัว binder และ carrier ของส่วนประกอบในเครื่องสำอางได้ดีอีกด้วย ส่วนสตาร์ชที่มีขนาดใหญ่จะเหมาะกับการใช้เป็นตัวเคลือบอย่างหนา 1 ชั้น และสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ และอุตสาหกรรมสิ่งทอได้เช่นกัน