

บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 แป้ง

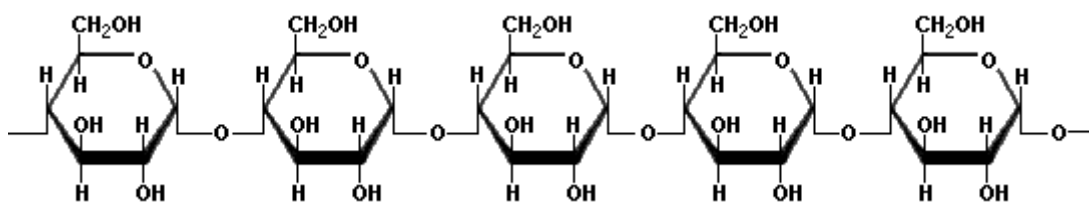
แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในพืชชั้นสูง พบในคลอโรพลาสต์ (ในใบ) และในส่วนที่พืชใช้เป็นแหล่งเก็บอาหาร เช่น เมล็ด และหัว มนุษย์ได้รับแป้งจากพืชแตกต่างกันตามภูมิประเทศในโลก ทางด้านทวีปอเมริกาเหนือ/กลาง จะมีข้าวโพด ข้าวสาลีเป็นแหล่งให้แป้งที่สำคัญ ทางยุโรป มีมันฝรั่ง และแถบเอเชีย แอฟริกา มีข้าว และมันสำปะหลังเป็นต้น แป้งที่สำคัญที่มีการใช้กันทั่วโลกคือ แป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง แป้งข้าวสาลี และแป้งมันสำปะหลัง แป้งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในด้านโภชนาการของมนุษย์ อาหารทั้งหมดส่วนใหญ่จึงมีแป้งเป็นองค์ประกอบหลักของทุกชนชาติ เช่น ข้าว ขนมปัง ก๋วยเตี๋ยว และพาสต้า เป็นต้น โดยคำว่า “แป้ง” ในการผลิตนั้น หมายถึงคาร์โบไฮเดรตที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เป็นส่วนใหญ่ มีสิ่งเจือปน เช่น โปรตีน ไขมัน และเกลือแร่อยู่น้อยมาก ส่วนแป้งที่ผลิตโดยทั่วไปที่ยังมีส่วนประกอบอื่นๆอยู่มากจะเรียกว่า ฟลาวัวร์ (Flour) เช่น แป้งข้าวโพด แป้งข้าวสาลี ถ้ายังมีส่วนประกอบของโปรตีนสูงก็จะจัดอยู่ในประเภทฟลาวัวร์ เรียกว่า Corn flour และ Wheat flour เช่นเดียวกับแป้งข้าวเจ้าที่มีโปรตีนร้อยละ 7 – 8 ก็เรียกว่า Rice flour แต่เมื่อสิ่งเจือปนอันหมายถึง โปรตีน ไขมัน เกลือแร่อื่นๆถูกสกัดแยกออกไป ทำให้แป้งบริสุทธิ์มากขึ้น จึงจะเรียกเป็นสตาร์ช (Starch) เช่น Corn starch และ Wheat starch เป็นต้น (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

2.1.1 องค์ประกอบภายในแป้ง (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรต ที่จะประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6 : 10 : 5 จะมีสูตรเคมีโดยทั่วไป คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคส ซึ่งประกอบด้วยหน่วยของน้ำตาลกลูโคสมาเชื่อมกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (Glucosidic linkage) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ทางด้านตอนปลายของสายพอลิเมอร์ที่มีหน่วยกลูโคสซึ่งมีหมู่แอลดีไฮด์ (Aldehyde group) เรียกว่าปลายรีดิวซิง (Reducing end group) แป้งจะประกอบด้วยพอลิเมอร์ 2 ชนิด คือ พอลิเมอร์เชิงเส้น (อะมิโลส) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง (อะมิโลเพกทิน) วางตัวในแนวรัศมี แป้งจากแหล่งที่ต่างกันจะมีอัตราส่วนของอะมิโลส และอะมิโลเพกทินที่แตกต่างกัน องค์ประกอบหลักภายในเม็ดแป้ง ได้แก่

2.1.1.1 อะมิโลส

อะมิโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคส คือประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิดแอลฟา-1,4 ($\alpha - 1,4$) ดังภาพที่ 2.1



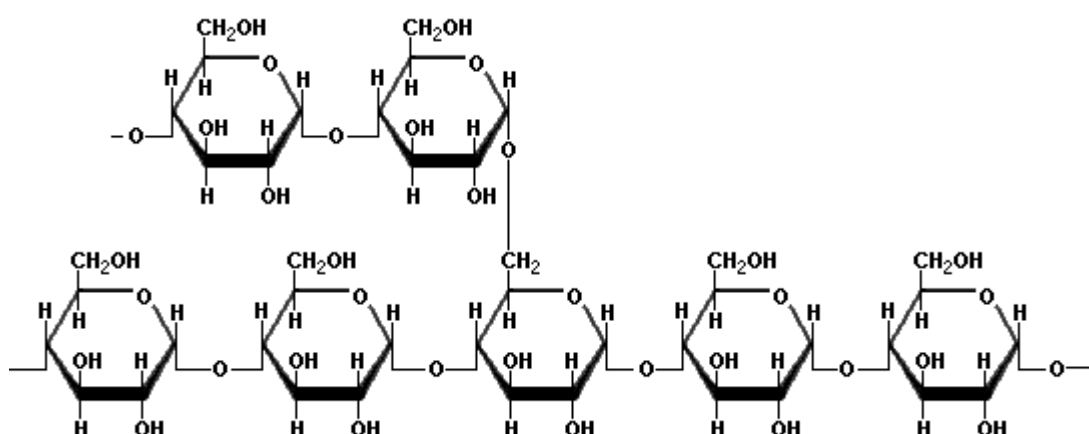
ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของอะมิโลส

ที่มา: ดัดแปลงจาก Tester (2004)

อะมิโลสในแป้งแต่ละชนิดมีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกันอยู่ในช่วง 10^5 ถึง 10^6 ดาลตัน และแป้งแต่ละชนิดมีขนาดโมเลกุล หรือระดับขั้นของการเกิดพอลิเมอร์ (Degree of polymerization, DP) ของอะมิโลสแตกต่างกัน แป้งที่มีโมเลกุลของอะมิโลสยาวจะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) ที่ลดลง ในธรรมชาติอะมิโลสมีกิ่งก้านอยู่บ้างแต่ไม่มาก อะมิโลสสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีน และให้สารสีน้ำเงิน ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะที่บ่งบอกถึงแป้งที่มีองค์ประกอบของอะมิโลส ตำแหน่งของอะมิโลสภายในเม็ดแป้งขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของแป้งอะมิโลสบางส่วนอยู่ในกลุ่มของอะมิโลเพกทิน แต่มีบางส่วนจะกระจายอยู่ทั้งในส่วนอสัณฐาน (Amorphous หรือ Gel phase) และส่วนผลึก (Crystalline)

2.1.1.2 อะมิโลเพกทิน

อะมิโลเพกทินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด α -1,4 และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้น มีขนาดโมเลกุลอยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด α -1,6 แสดงดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของอะมิโลเพกทิน

ที่มา: ดัดแปลงจาก Tester (2004)

หน่วยกลูโคสที่มีพันธะกลูโคซิดิกชนิด α -1,6 มีอยู่ประมาณร้อยละ 5 ของปริมาณ หน่วยกลูโคสในอะมิโลเพกทินทั้งหมด ขนาดโมเลกุลของอะมิโลเพกทินในแป้งแต่ละชนิดมีค่า ประมาณ 2 ล้านหน่วย อะมิโลเพกทินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่า ของอะมิโลส คือ ประมาณ 10^7 ถึง 10^9 ดาลตัน และมีอัตราในการคืนตัวต่ำ เนื่องจากอะมิโลเพกทินจะมีลักษณะ โครงสร้างเป็นกิ่งโดยลักษณะโครงสร้างแบบกิ่งของอะมิโลเพกทินประกอบด้วยสายโซ่ (Chain) 3 ชนิดคือ

1 สาย A (A-chain) มีการเชื่อมต่อกับสายอื่นที่ตำแหน่งเดียว และจะไม่มีกิ่ง เชื่อมต่อออกจากสายชนิดนี้ (Unbranched structure)

2 สาย B (B-chain) มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่นๆ 2 สาย หรือมากกว่าโครงสร้างอะมิโลเพกทินประกอบด้วยสาย A และสาย B ในอัตราส่วน 0.8-0.9: 1

3 สาย C (C-chain) เป็นสายแกนประกอบด้วยหมู่รีดิวซ์ 1 หมู่ในอะมิโลเพกทินแต่ละโมเลกุลประกอบด้วยสาย C 1 สาย เท่านั้น

2.1.1.3 สารตัวกลาง

สารตัวกลางมีเพียงส่วนน้อยในแป้งบางชนิด ซึ่งองค์ประกอบนี้มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่าอะมิโลเพกทิน แต่ใหญ่กว่าอะมิโลส (Rupp and Schwartz, 1988)

2.1.2 ส่วนประกอบอื่นๆภายในเม็ดแป้ง (กล้านรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

2.1.2.1 ส่วนที่ไม่ใช่แป้งที่แยกได้จากแป้ง (Particulate material) ได้แก่ โปรตีนที่ไม่ละลายน้ำ และผนังเซลล์ซึ่งจะมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตแป้ง

2.1.2.2 ส่วนที่ติดกับพื้นผิวของเม็ดแป้ง (Surface material) ซึ่งสามารถจะสกัดออกได้โดยไม่ทำลายแป้ง

2.1.2.3 ส่วนที่ติดอยู่ภายในเม็ดแป้ง (Internal components) สามารถแยกออกได้โดยการทำลายเม็ดแป้ง เช่น ไขมันในแป้งจากธัญพืช หมู่ฟอสเฟตในแป้งมันฝรั่ง และสารประกอบไนโตรเจนในแป้ง

2.1.3 ส่วนประกอบที่มีผลต่อลักษณะและคุณสมบัติของเม็ดแป้ง

2.1.3.1 ไขมัน

โดยส่วนใหญ่แป้งจะมีองค์ประกอบของไขมันอยู่ต่ำกว่าร้อยละ 1 ชนิดของไขมันที่มีอยู่ในแป้งมีผลต่อคุณสมบัติของแป้ง เช่น มีผลต่อความเหนียวของแป้ง อีกทั้งไขมันที่เกาะอยู่กับอะมิโลสยังทำให้ไม่สามารถหาปริมาณอะมิโลสในแป้ง โดยการวัดการเปลี่ยนแปลงสีเมื่ออะมิโลสทำปฏิกิริยากับไอโอดีน (Tester and Karkalas, 2001) ดังนั้นในการวิเคราะห์คุณสมบัติของแป้งจะต้องกำจัดไขมันโดยการสกัดด้วยตัวทำละลาย หรือย่อยสลายโดยใช้น้ำย่อย ไขมันภายในแป้งมีทั้งที่อยู่

บริเวณพื้นผิว และในเม็ดแป้ง ซึ่งประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) กรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) กลูโคลิปิด (Glucolipids) ฟอสโฟลิปิด (Phospholipids) และไขมันที่อยู่กระจายทั่วไปภายในเม็ดแป้ง โดยเชื่อมพันธะกับคาร์โบไฮเดรตแบบหลวมๆ แปรจากพืชหัว และจากถั่วไม่มีไขมันภายในเม็ดแป้ง ซึ่งแตกต่างจากแป้งจากธัญพืช (กล้านรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

2.1.3.2 ไนโตรเจน

ภายในแป้งมีส่วนประกอบของโปรตีนอยู่ต่ำกว่าร้อยละ 1 โดยโปรตีนเกาะอยู่บริเวณพื้นผิวของเม็ดแป้งทำให้มีผลกระทบต่อลักษณะของแป้ง คือทำให้เกิดประจุบนพื้นผิวเม็ดแป้ง มีผลต่อการกระจายของเม็ดแป้ง ทำให้แป้งมีอัตราการดูดซับน้ำ อัตราการพองตัว และอัตราการเกิดเจลลาตินในซ้เปลี่ยนแปลงไป ทำให้เกิดปฏิกิริยามอลดาร์ด (Maillard reaction) ระหว่างการทำปฏิกิริยากันของกรดอะมิโนกับน้ำตาลรีดิวซิง ทำให้ สี และกลิ่นของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งโดยส่วนใหญ่ปฏิกิริยาเช่นนี้จะเกิดกับแป้งจากธัญพืช เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนสูง (กล้านรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

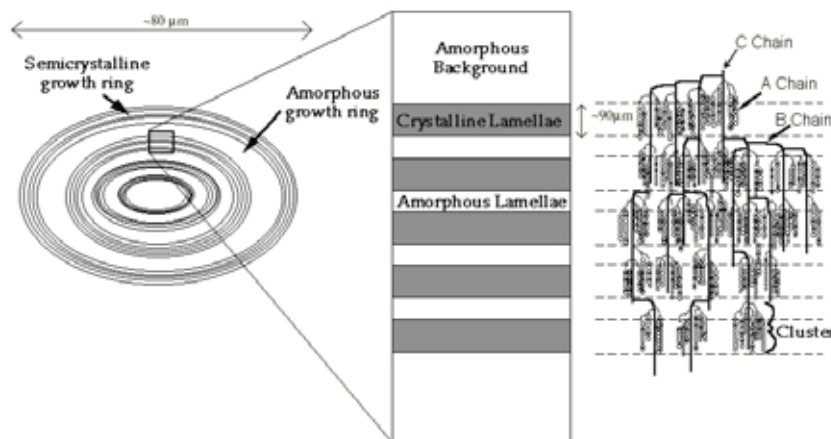
2.1.3.3 แร่ธาตุ

แป้งโดยทั่วไปมีองค์ประกอบของแร่ธาตุต่างๆ เช่น โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และแคลเซียม โดยส่วนใหญ่ไม่เกินร้อยละ 0.4 โดยเฉพาะฟอสฟอรัสซึ่งเป็นแร่ธาตุที่มีผลต่อคุณสมบัติของแป้งมากที่สุด และพบว่าในแป้งที่มีปริมาณของฟอสฟอรัสมากจะช่วยให้แป้งมีความเหนียวมากขึ้น และยังสามารถพัฒนาความแข็งแรงของเจล (Moorthy, 2002)

2.1.4 โครงสร้างและการรวมตัวเป็นเม็ดแป้ง (กล้านรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

แป้งที่พบในธรรมชาติจะพบอยู่ในรูปเม็ดแป้ง (Granule) ขนาดเล็กแต่เมื่อตรวจดูลักษณะของเม็ดแป้งชนิดต่างๆด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดา และแบบอิเล็กตรอนพบว่าเม็ดแป้งจะมีขนาด รูปร่าง และลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับแหล่งของแป้งนั้นๆ เม็ดแป้งมีโครงสร้างเป็นแบบกึ่งผลึก (Semi-Crystalline) โดยโมเลกุลของอะมิโลส และอะมิโลเพกทินจะจัดเรียงตัวในเม็ดแป้งเป็นโครงสร้างทั้งส่วนที่เป็นผลึก และส่วนอสัณฐาน ดังภาพที่ 2.3 ส่วนสายโซ่สั้นของอะมิโลเพกทินจะจัดเรียงตัวลักษณะเกลียวม้วนคู่ (Double helices) ซึ่งบางส่วนจะเกิดเป็นโครงสร้างที่เป็นผลึก ส่วนอสัณฐานของเม็ดแป้งจะประกอบด้วยโมเลกุลของอะมิโลส และสายโซ่ยาวของอะมิโลเพกทิน เม็ดแป้งจะมีลักษณะโครงสร้างผลึก 3 แบบ ขึ้นกับความหนาแน่นในการจัดเรียงตัวของเกลียวคู่ ถ้าเกิดการเรียงตัวหนาแน่นมากจะเกิดเป็นผลึกแบบ A (แป้งจากธัญพืชต่างๆ) ถ้าเรียงตัวกันหลวมๆจะเกิดผลึกแบบ B (แป้งจากพืชหัว) และถ้าเกิดการรวมตัวทั้งแบบ A และแบบ B จะรวมกันจัดเป็นแบบ C (แป้งจากพืชตระกูลถั่ว) ส่วนโครงสร้างผลึกที่ต่างกันจะให้ลักษณะการกระจายตัว

ของแสงต่างกัน ซึ่งสามารถตรวจสอบโครงสร้างชนิดของเม็ดแป้งได้โดยเทคนิครังสีเอ็กซ์เรย์ (Wide angle x-ray diffraction, WAXS) แป้งที่มีโครงสร้างผลึกต่างกันจะให้รูปแบบของการหักเหรังสีเอ็กซ์เรย์ (X-ray diffraction) ต่างกันด้วย



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างแบบกึ่งผลึกของเม็ดแป้ง

ที่มา: ดัดแปลงจาก Tester (2004)

2.2 มันเทศ (Sweet potato)

มันเทศกำเนิดมาจาก *Ipomoea trifida* ซึ่งมีจำนวนโครโมโซม $2n=90$ เป็นมันเทศชนิดหนึ่งจากประเทศเม็กซิโก มันเทศพันธุ์นี้มีเถาเลื้อยเล็ก มีขน และเลื้อยพัน หัวใช้รับประทานไม่ได้ ส่วนมันเทศอีกพันธุ์หนึ่งซึ่งรับประทานได้นั้นพบในประเทศเวเนซุเอลา และประเทศในเขตร้อนของทวีปอเมริกา เกิดจากการผสมพันธุ์ระหว่าง *Ipomoea trifida* และ *Ipomoea batatas* ซึ่งต่างก็มีจำนวนโครโมโซม $2n=90$ และให้ลูกผสมชั่วที่ 1 ที่ไม่เป็นหมัน การปลูกมันเทศพันธุ์นี้เพื่อบริโภคนั้นสันนิษฐานว่าเริ่มทางตอนใต้ของประเทศเม็กซิโก สำหรับประเทศไทยสันนิษฐานว่าชาวจีนที่เข้ามาติดต่อค้าขายในสมัยกรุงศรีอยุธยาเป็นราชธานี เป็นผู้เริ่มนำมาปลูกเพื่อใช้บริโภคหลังจากนั้นจึงแพร่ไปยังจังหวัดต่างๆทั่วประเทศ โดยชาวจีนเรียกมันเทศว่า ฮวงกั่ว ชาวพื้นเมืองในอเมริกาได้เรียกว่า Batatas ชาวยุโรปเอาสำเนียงที่ชาวพื้นเมืองเรียกมาใช้จึงเพี้ยนไปเป็น Potato แต่เนื่องจากมีอยู่ 2 ชนิดคือ ชนิดหวาน และไม่หวาน ชนิดหวานจึงเรียกว่า Sweet potato (มันเทศ) และชนิดไม่หวานเรียกว่า Irish potato (มันฝรั่ง) เนื่องจากได้มีผู้นำมันชนิดนี้ไปปลูกในประเทศไอร์แลนด์ สหราชอาณาจักรมาก่อน (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2542)

มันเทศมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Ipomoea batatas* (L.) Lamk อยู่ในวงศ์ Convolvulaceae ลำต้นมีลักษณะเป็นเถาเลื้อยไปตามผิวดิน มันเทศแต่ละพันธุ์จะมีสีของหัวมีตั้งแต่สีขาว เหลือง น้ำตาลแดง และม่วง สีของเนื้อจะมี สีขาว เหลือง ส้ม และม่วง (พิรศักดิ์ วรสุนทรโรสด, 2544) รูปร่างขนาด

และผิวของหัว รูปร่างของใบ ความลึกของราก ระยะเวลาการสุกแก่ ความต้านทานโรคแตกต่างกันไปในมันเทศแต่ละสายพันธุ์ (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2542)

2.2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมันเทศ

2.2.1.1 ราก

มันเทศมีระบบรากแบบรากฝอย (Fibrous root system) รากเกิดจากข้อของลำต้นที่ใช้ปลูก หรือลำต้นที่เจริญทอดไปตามผิวดินเรียกว่า Adventitious root รากนี้จะสะสมอาหาร และขยายเป็นหัวขนาดใหญ่อยู่ใต้ผิวดินจนถึงลึก 40 เซนติเมตร มันเทศต้นหนึ่งอาจมีหัวมากกว่า 50 หัว (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2542) รูปร่างหัวมีตั้งแต่เล็กเรียวยาวไปจนถึงรูปร่างกลม ผิวหัวอาจเรียบหรือหยาบขรุขระ และมักจะมีรากแขนง (Lateral root หรือ Secondary root) หัวมันเทศจะประกอบไปด้วยเนื้อเยื่อที่ค่อนข้างซับซ้อนเมื่อตัดตามขวางจะพบการเรียงตัวของเนื้อเยื่อเป็นชั้นดังนี้ ชั้นนอกสุดเรียกว่า Periderm ซึ่งเป็นชั้นของเซลล์ผิวชั้นนอก (Epidermal cell) ถัดเข้าไปเป็นชั้นเซลล์พารენไคมา (Parenchyma cell) เป็นที่สะสมแป้ง มีท่อน้ำยาง (Latex tube) ท่อน้ำปฐมภูมิ (Primary xylem) และท่ออาหาร (Phloem) ซึ่งเป็นส่วนที่สร้างท่อลำเลียงทุติยภูมิ (Secondary vascular element) และพารენไคมาที่สะสมแป้ง (Storage parenchyma) หัวมันเทศใช้ขยายพันธุ์ได้ เมื่อปลูกยอดอ่อนจะเจริญออกมาจากตา (Adventitious bud) ที่อยู่ด้านบนของหัว (กฤษฎา สัมพันธารักษ์, 2541)

2.2.1.2 ลำต้น

เป็นประเภทเถาเลื้อย เนื้ออ่อน และมีน้ำยางสีขาว โดยธรรมชาติมันเทศเป็นพืชยืนต้น แต่มันเทศปลูกเป็นพืชล้มลุก เถามีความยาว 1.2 – 3.0 เมตร บางพันธุ์เป็นพุ่ม ลำต้นอ่อนมีขนละเอียดปกคลุม เมื่อแก่ผิวจะเรียบ (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2542) และมีรูเล็กๆเรียกว่าเลนทิเซล (Lenticel) อยู่ทั่วไป สีของลำต้นแตกต่างกันไปตามพันธุ์ มีสีตั้งแต่เขียวอ่อน ไปจนถึงสีม่วง (กฤษฎา สัมพันธารักษ์, 2541)

2.2.1.3 ใบ

เป็นใบเดี่ยวเกิดเวียนรอบต้น (Spiral) มีการจัดเรียงตัว (Phyllotaxy) เท่ากับ 2/5 ขนาดและรูปร่างใบแตกต่างกันไปตามพันธุ์ แม้ภายในต้นเดียวกันใบก็อาจไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับอายุ แผ่นใบของใบแรกๆ มีลักษณะเป็นรูปหัวใจ ที่มีปลายใบยาวแหลม ใบส่วนมากเป็นรูปไข่ขอบใบมีรอยหยักที่ค่อนข้างลึก ใบมีขนาด 5-15 x 5-15 เซนติเมตร ก้านใบ (Petiole) ยาวด้านบนเป็นร่อง โคนก้านใบโป่งเล็กน้อย ความยาวของก้านใบแตกต่างกันไปตามพันธุ์ตั้งแต่ 5-30 เซนติเมตร มีต่อมน้ำหวาน (Nectary gland) เล็กๆ 2 ต่อมอยู่ตรงส่วนที่ก้านใบติดกับแผ่นใบใบมีสีเขียว หรือม่วง เส้นกลางใบ และด้านหลังแผ่นใบบางครั้งมีสีม่วง (กฤษฎา สัมพันธารักษ์, 2541)

2.2.1.4 ดอก

ดอกของพืชในวงศ์นี้จะมีลักษณะคล้ายกับดอกของพืชในวงศ์ Solanaceae ช่อดอกมันเทศเป็นแบบ Raceme เกิดตามมุมใบ ดอกประกอบด้วยกลีบดอกที่มีฐานเชื่อมติดกันเป็นรูปกรวยปลายแยกเป็น 5 แฉกคล้ายดอกผักบุ้ง กลีบดอกมีสีชมพูปนม่วง มีเกสรตัวผู้ 5 อันแยกเป็นอิสระ ก้านเกสรตัวผู้ยาวไม่เท่ากัน รังไข่มี 2 ลอกลูก แต่ละลอกลูกมี 1-2 ออวูล บางดอกมี 4 ลอกลูก เนื่องจากการแบ่งตัวผิดปกติ ยอดเกสรตัวเมียแยกเป็น 2 แฉก มันเทศที่ปลูกในเขตอบอุ่นไม่มีดอก ส่วนที่ปลูกในเขตร้อนจะออกดอกแต่ไม่ค่อยติดเมล็ด อาจเป็นเพราะพันธุ์เหล่านั้นเป็นหมันเนื่องจากใช้ลำต้นขยายพันธุ์ติดต่อกันเป็นเวลานาน (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2542)

2.2.1.5 ผลและเมล็ด

ผลเป็นแบบ Capsule เมื่อแห้งจะแตก เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 – 8 มิลลิเมตร ผลหนึ่งมี 4 ลอกลูก แต่ละลอกลูกมี 2 เมล็ด ผลหนึ่งๆ จะมี 8 เมล็ด แต่เป็นเมล็ดที่สมบูรณ์เพียง 1 – 2 เมล็ดเท่านั้น เมล็ดมีขนาดเล็ก ยาวประมาณ 3 มิลลิเมตร มีสีน้ำตาลปนขาว ด้านหนึ่งผิวเรียบมีรอยที่เกิดจากออวูลหลุดออกไปเรียกว่า Hilum และมีรูเล็กๆ (Micropyle) อยู่ ส่วนอีกด้านหนึ่งเป็นเปลือกเมล็ดมีเชื้อหุ้มเมล็ด (Seed coat หรือ Testa) หนามาก (กฤษฎา สัมพันธ์รักษ์, 2541) เมล็ดมันเทศมีการพักตัว เนื่องจากเมล็ดค่อนข้างหนา และน้ำซึมผ่านได้ยาก เมล็ดมีการงอกแบบ Epigeal germination (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2542)

2.2.2 การเจริญเติบโตและการพัฒนาการ (ฟิสิกส์ วรศุทโรสถ, 2544)

ตามปกติมีการปลูกมันเทศเป็นพืชล้มลุกอายุสั้น นิยมใช้ยอดเป็นวัสดุปลูก มีการเจริญเติบโตของรากจากส่วนข้อที่ฝังอยู่ใต้ดินจากส่วนฐานของตาตามซอกใบภายในประมาณ 2 วันหลังปลูก รากที่ออกจากข้อเจริญเติบโตไปเป็นรากฝอยอยู่เป็นกระจุก มีการแตกยอดใหม่จากส่วนข้อของยอดที่ใช้ปลูก มีรากงอกจากส่วนข้อที่สัมผัสกับดิน การสะสมอาหารในรากที่อยู่ในบริเวณชั้นบนของผิวดินลึกไม่เกิน 30 เซนติเมตร มีลักษณะเป็นหัว 3-12 หัวต่อดัน ทั้งบนยอดที่ใช้เป็นวัสดุปลูก และบนเถาที่ทอดยาวไปตามผิวดิน อายุการปลูกมันเทศตามปกติ 3-7 เดือนขึ้นอยู่กับพันธุ์ และสภาพแวดล้อมสามารถจำแนกการเจริญเติบโตออกเป็น 3 ระยะ คือระยะเริ่มต้นมีการเจริญของระบบรากย่อยจำนวนมาก โดยมีการเจริญเติบโตของส่วนเถาเพียงเล็กน้อย และระยะกลางมีการเจริญเติบโตของเถา และใบเป็นจำนวนมากเริ่มลงหัว สำหรับระยะสุดท้ายเป็นระยะขยายตัวของหัวมีการเจริญเติบโตของเถา และรากเพียงเล็กน้อย พื้นที่ใบรวมมีค่าคงที่ และลดลงในระยะต่างๆ สำหรับหัวสามารถงอกต้นใหม่ได้ทันที หลังการเก็บเกี่ยวจากส่วนเชื้อเจริญที่ทำหน้าที่ลำเลียงอาหาร และน้ำ โดยเฉพาะในส่วนปลายของเถาที่ติดกับหัวเมื่อนำมาเก็บรักษา หัวแก่ที่เก็บไว้สามารถแตกหน่อจากส่วนกลาง และปลายของหัว

มันเทศสามารถปลูกในดินสภาพต่างๆ สภาพดินที่เหมาะสมมีสภาพเป็นดินร่วนปนทราย ดินชั้นล่างมีลักษณะเป็นดินเหนียว ระบายน้ำดี มันเทศไม่ทนนานต่อสภาพน้ำท่วมขัง ตามปกติทำการปลูกบนสันเนินเล็กๆ หรือสันร่อง ค่า pH ของดินที่เหมาะสม 5.6-6.6 แต่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพดินที่เป็นกรดมีค่า pH ลดต่ำลงถึง 4.2 การปลูกมันเทศสามารถปลูกได้ตลอดปีหากไม่มีปัญหาความแห้งแล้ง ในบริเวณที่มีช่วงแล้งยาวนานการปลูกในช่วงต้นฤดูฝนให้ผลดีที่สุด สำหรับการเก็บเกี่ยวมันเทศนั้นจะไม่มีกำหนดแน่นอน ทั้งนี้แตกต่างกันไปตามพันธุ์ วิธีการเพาะปลูก และสภาพภูมิอากาศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้โดยทั่วไปทำการเก็บเกี่ยวหลังปลูก 3-4 เดือน

2.2.3 การจำแนกพันธุ์ของมันเทศ (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ , 2542)

2.2.3.1 พันธุ์เบา

อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 90 วัน หลังปลูก เช่น กัวเตมาลา พม.02 นส.25 และโนนนาถ

2.2.3.2 พันธุ์กลาง

อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 120 วัน เช่น หัวยี่สิบ 1 ไทจง หัวโตแดง โอกูด แม่โจ้ และหัวโตขาว

2.2.3.3 พันธุ์หนัก

อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 150 วัน เช่น Centenial L89 L₄-116 L₃-64 และ Rose Centenial

2.2.4 องค์ประกอบทางเคมีของมันเทศ

คุณค่าทางอาหาร และองค์ประกอบทางเคมีของมันเทศ จะแตกต่างกันไปตามแต่ละสายพันธุ์ แต่จะมีความแปรปรวนค่อนข้างมาก อันเป็นผลมาจากการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมและวิธีการในการเพาะปลูก (พีรศักดิ์ วรสุนทรโรสด, 2544) โดยแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของหัวมันเทศสดพันธุ์ต่างๆ

สายพันธุ์	ความชื้น (% db)	แป้ง (% db)	โปรตีน (% db)	ไขมัน (% db)	เถ้า (% db)	เส้นใย (% db)
เกษตร (เนื้อสีเหลือง)	71.79±2.70	70.53±0.98	4.21±0.03	0.24±0.02	2.94±0.03	3.27±0.12
ไข่ (เนื้อสีส้ม)	72.12±1.69	65.62±0.64	2.48±0.04	0.41±0.01	2.11±0.01	3.54±0.09
ต่อเผือก (เนื้อสีม่วง)	67.77±3.07	63.98±1.09	2.44±0.04	0.49±0.03	3.30±0.13	3.43±0.06

ที่มา: กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ (2535)

2.3 กระบวนการผลิตแปรงมันเทศ

กระบวนการผลิตแปรงมันเทศโดยทั่วไป เริ่มต้นด้วยการล้างทำความสะอาดสิ่งสกปรกหรือสิ่งเจือปนที่ติดมากับมันเทศออกก่อนโดยใช้น้ำเปล่า ทำการปอกเปลือก แล้วนำมันเทศมาล้างด้วยน้ำอีกครั้งเพื่อกำจัดเอาเปลือกออกจากหัวมันเทศ หัวมันเทศที่ผ่านการปอกเปลือกแล้วบางครั้งอาจมีโรค หรือแมลงทำลายบางส่วนของหัวก็ต้องการตัดเอาส่วนนั้นออก (Villareal and Griggs, 1982) จากนั้นนำมันเทศมาลดขนาดโดยหั่นเป็นแผ่นบาง แท่ง หรือลูกบาศก์ ในขั้นตอนนี้ชิ้นมันเทศอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสีน้ำตาลบางส่วน เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีอยู่ในมันเทศ และเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Jangchud *et al.*, 2003) ซึ่งสำหรับปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เกิดขึ้น นอกจากจะส่งผลกระทบต่อสีของชิ้นมันเทศแล้ว ยังส่งผลกระทบต่อแปรงมันเทศที่ได้ด้วย ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีที่จะยับยั้ง หรือป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในชิ้นมันเทศ โดยอาจแช่ชิ้นมันเทศในน้ำภายหลังจากการหั่นทันที และใช้เวลาในการแช่แตกต่างกัน คือ 30 60 และ 90 นาที ตามลำดับ พบว่าการใช้เวลาในการแช่ชิ้นมันเทศในน้ำสามารถช่วยกำจัดสารที่สามารถละลายน้ำได้ คือ สารโพลีฟีนอล (Polyphenol) ซึ่งทำให้เกิดสีน้ำตาลกับชิ้นมันเทศ แต่อย่างไรก็ตามการแช่ชิ้นมันเทศในน้ำอาจมีผลต่อการลดลงของสารอาหาร เนื่องจากการแช่น้ำทำให้เชื้อหุ้มผนังเซลล์เกิดเปลี่ยนแปลงไป มีผลทำให้สารอาหารต่างๆละลายในน้ำได้ (Owori and Hagenimana, 2000) ดังนั้นเพื่อป้องกันการสูญเสียสารอาหารไปกับน้ำที่แช่มันเทศจึงอาจใช้สารเคมีชนิดต่างๆโดย สุภารัตน์ เรืองมณีไพฑูรย์ และคณะ (2528) ได้ทำการศึกษานิตสารเคมีต่างๆที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของมันเทศ โดยนำมันเทศพันธุ์เกษตรและพันธุ์ไข่ที่ปอกเปลือกหั่นเป็นแผ่นหนา 0.5 เซนติเมตร แช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.5 กรดซิตริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.05 และสารละลายโซเดียมแอสซิดไฟโรฟอสเฟต ที่มีอัตราส่วน 3:1 ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.4 นาน 30 นาที พบว่าการใช้สารละลายทั้ง 3 ชนิด สามารถช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นมันเทศได้ดี แต่สำหรับการใช้สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์จะป้องกันการเปลี่ยนแปลงสี และรักษาสีของแปรงให้คงอยู่ได้ดีกว่าการใช้สารละลายตัวอื่น และยังช่วยลดการสูญเสียปริมาณวิตามินซีในระหว่างกระบวนการแปรรูปได้ดีที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าความร้อนสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส โดยการให้ความร้อนกับชิ้นมันเทศในการลวก โดยจะใช้เวลาที่แตกต่างกันคือ 3 4 5 6 และ 7 นาที ตามลำดับ และที่ระดับเวลาต่างๆจะใช้อุณหภูมิของน้ำที่ลวกแตกต่างกันคือ 75 80 85 และ 90 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่า การนำชิ้นมันเทศมาลวกในน้ำที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที สามารถทำลายเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสได้ (ศิริพร โอวาทพารพร, 2532)

ภายหลังจากขั้นตอนการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในชิ้นมันเทศแล้ว จะต้องนำชิ้นมันเทศมาผ่านการลดขนาด และลดความชื้นโดยการใช้ตู้อบลมร้อน หรือตากแดด แต่อย่างไรก็ดีจะต้องควบคุมไม่ให้อุณหภูมิที่ใช้ในการลดความชื้นเกิน 65 องศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมิสูงทำ

ให้เกิดการเสียสภาพของโปรตีน และอาจทำลายเม็ดแป้งได้ (Owori and Hagenimana, 2000) จากนั้นจะบดชิ้นมันเทศแห้งโดยอาจทำการบดมากกว่า 1 ครั้ง โดยเริ่มจากการบดหยาบแล้วตามด้วยการบดละเอียด และนำมันเทศแห้งที่บดแล้วมาร้อน โดยมากนิยมใช้ตะแกรงร้อนที่มีขนาดรูตะแกรง 100 เมส (กุลยา ลิมรุ่งเรืองรัตน์, 2535) เก็บรักษาแป้งในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท เช่นถุงโพลีเอทิลีน หรือถุงโพลีโพรพิลีน และเก็บในที่แห้งหรือที่อุณหภูมิห้อง (กุลยา ลิมรุ่งเรืองรัตน์, 2535) หรือที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 5-10 องศาเซลเซียส (Jangchud *et al.*, 2003) สำหรับกระบวนการผลิตแป้งมันเทศอาจใช้สภาวะที่แตกต่างกันออกไปดังต่อไปนี้

ศิริพร โอวาทพารพร (2532) ได้ทำการศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแป้งมันเทศ โดยเริ่มจากการนำมันเทศมาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือก แล้วแช่ในสารละลายกรดซิตริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 จากนั้นนำมาหั่นเป็นลูกบาศก์ขนาด 1 เซนติเมตร แล้วนำมวลวกที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง หรือจนชิ้นมันเทศมีความชื้นร้อยละ 6-7 แล้วจึงนำมวลขนาดด้วยการบดโดยใช้ Pin mill และใช้รูตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร จะได้แป้งมันเทศที่มีลักษณะเป็นผงสีเหลืองจากสมุดเทียบสีมีลเซลค่าสีที่อ่านได้เท่ากับ 5Y/9/2

กุลยา ลิมรุ่งเรืองรัตน์ (2535) ทำการเตรียมแป้งมันเทศจากมันเทศ 4 สายพันธุ์ คือ เกษตรกระต่าย ไข่ และต่อเผือก โดยเริ่มจากการนำหัวมันเทศสดมาล้าง และปอกเปลือกตามด้วยการแช่ในสารละลายกรดซิตริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.5 เป็นเวลานาน 30 นาที จากนั้นจะตัดเป็นชิ้นหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร แล้วนำมาแช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.5 นาน 2 นาที จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง และบดร่อนผ่านตะแกรงที่มีขนาดรูตะแกรง 100 เมส ลักษณะของแป้งมันเทศที่เตรียมได้จะมีสีแตกต่างกันไปตามสีตั้งต้นของวัตถุดิบ

Brabet และคณะ (1997) ทำการศึกษากการเตรียมแป้งมันเทศโดยนำมันเทศมาล้าง และทำความสะอาด จากนั้นนำมาหั่นให้มีความหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร แล้วนำมาทำแห้งโดยใช้ Freeze dryer บดและร่อนผ่านตะแกรงที่มีรูตะแกรงขนาด 425 ไมครอน จะได้แป้งมันเทศที่มีความละเอียดมากแล้วทำการเก็บแป้งมันเทศที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสในถุงโพลีเอทิลีนที่ปิดสนิท

Reungmanee-paitoon (1997) ได้ทำการศึกษาการเตรียมแป้งมันเทศโดยการนำมันเทศมาล้างทำความสะอาดแล้วปอกเปลือกจากนั้นหั่นให้มีขนาดกว้าง 4 มิลลิเมตร ยาว 4 มิลลิเมตร แล้วนำมาอบแห้งโดยใช้ Cabinet air dryer ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4-5 ชั่วโมง แล้วนำชิ้นมันเทศแห้งมาบดโดยใช้ Pin mill หรือ Hammer mill จะได้แป้งมันเทศที่มีความละเอียดมาก

Owori และ Hagenimana (2000) ได้ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของกระบวนการผลิตที่มีต่อคุณภาพของแป้งมันเทศที่เตรียมได้จากการศึกษาพบว่า การเตรียมแป้งมันเทศเริ่มจากการล้าง และปอกเปลือก หลังจากนั้นทำการหั่นให้มีขนาดหนา 6 เซนติเมตร และทำการแช่ชิ้นมันเทศที่หั่นได้มา

แช่น้ำทันที เป็นเวลา 90 นาที จากนั้นทำแห้งชิ้นมันเทศโดยการตากแดด และนำมาบดโดยใช้ Disk laboratory mill แป้งมันเทศที่เตรียมได้จะมีสี และกลิ่นที่ดี

อัจฉรา คลวิทยาคุณ (2544) ได้ทำการเตรียมแป้งมันเทศ โดยการนำหัวมันเทศสดมาล้างทำความสะอาด และปอกเปลือก หั่นให้มันเทศมีขนาดเล็กลงด้วยเครื่องสับซอยผัก และผลไม้ จากนั้นนำชิ้นมันเทศมาแช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร 2 นาที แล้วล้างด้วยน้ำสะอาด และอบแห้งที่ตู้อบลมร้อน (Tray dryer) ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 6-7 ชั่วโมง และนำมาบดด้วย Pin mill และนำมาร่อนผ่านตะแกรงที่มีรูตะแกรงขนาด 80 เมส เพื่อให้แป้งมันเทศละเอียดขึ้นแล้วบรรจุใส่ถุงโพลีโพรพิลีนเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ธีรวัฒน์ เทพใจกาศ (2545) เตรียมแป้งมันเทศโดยนำหัวมันเทศสดมาล้างทำความสะอาด จากนั้นสะอาดแล้วปอกเปลือก แช่น้ำเพื่อป้องกันการสัมผัสอากาศ และลดโอกาสการเกิดการออกซิเดชัน และนำมันเทศมาหั่นให้เป็นแผ่นหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องสไลด์ต่อมา นำชิ้นมันเทศมาแช่ในสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ (KMS) ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.3 และนำชิ้นมันเทศมาลวกเป็นเวลา 2 นาที หรือ 5 นาที (ยุทธนา พิมพ์ศิริ, 2545) จากนั้นนำชิ้นมันเทศมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5-8 ชั่วโมง หรือจนกว่าชิ้นมันเทศจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 7 ± 2 จากนั้นนำมาบด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมส แล้วนำแป้งมันเทศที่แห้งใส่ถุงโพลีโพรพิลีนที่ปิดสนิทแล้วเก็บในที่อุณหภูมิ $5-10$ องศาเซลเซียส

Osundahunsi และคณะ (2003) ทำการเตรียมแป้งมันเทศ โดยใช้พันธุ์มันเทศเปลือกสีแดง และขาว การเตรียมแป้งมันเทศจะเริ่มจากการล้าง และปอกเปลือก จากนั้นนำมาหั่นเป็นแผ่นแช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.2 ต่อมาอาจนำมาลวกเป็นเวลา 2 นาที แล้วทำแห้ง และบดจนได้แป้งมันเทศที่ละเอียดเก็บในภาชนะปิดสนิทในที่แห้ง

2.4 กระบวนการผลิตสตาร์ชมันเทศ

2.4.1 กระบวนการผลิตสตาร์ชมันเทศแบบไม่เปียก (Wet milling)

กระบวนการผลิตสตาร์ชมันเทศแบบไม่เปียก เริ่มต้นจากนำมันเทศสดล้างทำความสะอาด เพื่อกำจัดสิ่งสกปรก (Chen *et al.*, 2003) จากนั้นปอกเปลือก เพื่อกำจัดเชื้อรา หรืออาจไม่ปอกเปลือกก็ได้ และนำชิ้นมันเทศมาลดขนาดโดยการหั่นเป็นชิ้นลูกบาศก์ที่มีขนาด 2-5 เซนติเมตร (Jangchud *et al.*, 2003) หรือหั่นเป็นแผ่นบาง (Chen *et al.*, 2003) จากนั้นนำมันเทศมาบดรวมกับน้ำ หรืออาจจะมีการเติมสารเคมีที่สามารถจะพัฒนาคุณลักษณะของสตาร์ชได้ในขั้นตอนนี้ เช่น การเติมสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.075 (เวชยันต์ ธนบดีภัทร, 2532) สำหรับเครื่องมือที่ใช้ไม่บดอาจใช้ Waring blender (Jangchud *et al.*, 2003; Toyama *et al.*, 2003) โดยอัตราส่วนของเนื้อมันเทศต่อน้ำที่นิยมมากคือ 1 ต่อ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (สายสุนีย์ เบญจ

เทพานันท์, 2546; สุภารัตน์ เรื่องมณีไพฑูรย์, 2542) และทำการปั่นผสมเพียงครั้งเดียวใช้เวลาไม่เกิน 2 นาที แต่ถ้าใช้อัตราส่วนของน้ำมันลงเช่น 1:1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร อาจเพิ่มจำนวนครั้งการปั่นให้มากขึ้น โดยเมื่อแยกน้ำแป้งออกจากกากมันเทศแล้วจะต้องเติมน้ำในอัตราส่วน 2 หรือ 5 เท่าของกากที่แยกมาได้แล้วปั่นให้เข้ากันจนกว่าจะล้างน้ำแป้งออกจากกากหมด ทำเช่นนี้อีก 1-2 ครั้ง (Brabet *et al.*, 1997; Collado *et al.*, 1999) หลังจากนั้นจะต้องแยกกากมันเทศออกจากร์น้ำแป้ง โดยใช้ตะแกรงที่มีรูตะแกรงขนาดต่างๆโดยที่นิยมคือ 150 เมส และ 200 เมส (Ishiguro *et al.*, 2003) ต่อมาน้ำแป้งที่ได้มาตกตะกอนตามธรรมชาติ โดยตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 3-5 ชั่วโมง (Jangchud *et al.*, 2003; Walter *et al.*, 2000) หรืออาจจะมีการใช้เครื่องเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Decanter centrifugal separator) จากนั้นล้างสตาร์ชด้วยน้ำประมาณ 2-3 ครั้ง และตกตะกอนที่มีสีเหลืองหรือน้ำตาลด้านบนออกตลอดเวลา สตาร์ชที่ได้สุดท้ายจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 33-40 (สุภารัตน์ เรื่องมณีไพฑูรย์ และคณะ, 2533) และทำให้สตาร์ชมีความชื้นต่ำลงโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่มีอุณหภูมิประมาณ 50-60 องศาเซลเซียส ประมาณ 5 – 6 ชั่วโมง หรือจนมีความชื้นประมาณร้อยละ 10 (สุภารัตน์เรื่องมณีไพฑูรย์ และคณะ, 2533; เวชยันต์ ธนบดิภัทร, 2532) และบดสตาร์ชด้วย Pin mill (สุภารัตน์ เรื่องมณีไพฑูรย์ และคณะ, 2530) หรือใช้เครื่อง Ultracentrifugal (สุภารัตน์ เรื่องมณีไพฑูรย์, 2542) และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมส (เวชยันต์ ธนบดิภัทร, 2532) หรือ 120 เมส และนำสตาร์ชที่ได้เก็บในที่แห้ง และเก็บในบรรจุภัณฑ์ที่ปิดมิดชิดเช่น ถุงโพลีโพรพิลีน หรือถุงโพลีเอทิลีน (Jangchud *et al.*, 2003) สำหรับหลักการผลิตสตาร์ชมันเทศโดยวิธีการโม่แบบเปียกจะได้สตาร์ชที่มีสีขาว และละเอียดมาก ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้สภาวะในการเตรียมสตาร์ชมันเทศแบบเปียกแตกต่างกันออกไปดังต่อไปนี้

Brabet และคณะ (1997) ได้ศึกษาการเตรียมสตาร์ชมันเทศโดยการล้าง และหั่นมันเทศเป็นแผ่นบาง จากนั้นนำมันเทศที่หั่นแล้ว ปั่นผสมใน Blender โดยใช้อัตราส่วนของน้ำมันต่อน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นเวลา 2 นาที ที่ความเร็วสูงสุด แล้วนำมากรองแยกกากโดยใช้ผ้ากรอง และนำกากที่แยกได้ผสมน้ำในอัตราส่วน 1 ต่อ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรแล้วทำการปั่นผสมอีกครั้งก่อนนำมากรองผ่านตะแกรงที่มีรูตะแกรงขนาด 250 ไมครอน และปรับปริมาณน้ำแป้งที่กรองได้เป็น 4 ลิตรแล้วตั้งตกตะกอนเป็นเวลา 3 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง และเทน้ำใสด้านบนทิ้งแล้วล้างด้วยน้ำ 2 ลิตร และกรองผ่านตะแกรงที่มีรูตะแกรงขนาด 75 ไมครอนแล้วตั้งตกตะกอนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำขั้นตอนนี้อีก 3 ครั้งโดยไม่ต้องกรอง จากนั้นนำสตาร์ชที่ได้มาอบแห้งที่ 40-45 องศาเซลเซียส โดยใช้ Force air oven เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วบดโดยใช้ครก และร่อนผ่านตะแกรงที่มีรูตะแกรงขนาด 250 ไมครอน เก็บสตาร์ชในถุงโพลีเอทิลีนที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส

Collado และคณะ (1999) ได้ศึกษาการเตรียมสตาร์ชมันเทศ โดยการล้าง และหั่นชิ้นมันเทศให้มีขนาดเล็ก นำไปปั่นผสมโดยใช้ Blender ในอัตราส่วนของน้ำมันต่อน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นเวลา 2 นาทีที่ความเร็วปานกลาง จากนั้นกรองผ่านผ้ากรอง และแยก

กากมันเทศมาผสมกับน้ำในอัตราส่วนกากมันเทศต่อน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และทำการปั่นผสมเป็นเวลา 2 นาที โดยขั้นตอนการล้างน้ำแป้งออกจากกากนี้จะทำอีกครั้งหนึ่งแล้ว นำน้ำแป้งมากรองผ่านตะแกรงขนาด 250 เมส และทำการตกตะกอนเป็นเวลา 2-3 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 27-30 องศาเซลเซียส จากนั้นเทส่วนสารละลายใสด้านบนทิ้ง และล้างสตาร์ชที่ได้ด้วยน้ำอีกครั้งแล้ว กรองผ่านตะแกรงที่มีรูตะแกรงขนาด 250 เมส ตั้งตกตะกอนที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส โดยทำขั้นตอนข้างต้นอีกครั้งแต่ไม่ต้องกรอง และทำแห้งสตาร์ชที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสข้ามคืน และนำมาตั้งที่อุณหภูมิห้อง 4 ชั่วโมงก่อนเก็บใส่ถุงโพลีเอทิลีน

สายสุณีย์ เบญจเทพานันท์ (2546) ศึกษาการเตรียมสตาร์ชมันเทศ โดยนำมันเทศมาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือก และหั่นเป็นชิ้นขนาด 1 เซนติเมตร และนำมาลดขนาดด้วยการนำมาสับให้ละเอียดด้วยเครื่องสับผสม จากนั้นนำมาบดเพื่อสกัดสตาร์ช โดยการใช้การโม่เปียกด้วยอัตราส่วนเนื้อมันเทศต่อน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร แล้วกรองแยกกากมันเทศออกจากน้ำแป้ง และนำน้ำแป้งมาทำการตกตะกอน 1 ชั่วโมง ต่อมานำสตาร์ชที่ได้มาทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง จากนั้นนำสตาร์ชที่แห้งแล้วมาบด และร่อนผ่านตะแกรงที่มีขนาดรูตะแกรง 100 เมส

Osundahunsi และคณะ (2003) ศึกษาการเตรียมสตาร์ชมันเทศ โดยนำมันเทศที่มีเปลือกสีแดง และเปลือกสีขาว มาล้าง และปอกเปลือก แช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.2 นำมาสับผสม และกรองแยกกากตามด้วยการตกตะกอนเทสารละลายส่วนใสด้านบนทิ้ง และทำการล้างสตาร์ชด้วยน้ำอีกครั้ง นำสตาร์ชที่ได้มาอบแห้งโดยใช้เตาอบอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ในขั้นตอนสุดท้ายนำสตาร์ชที่ได้มาบดให้ละเอียดเก็บในภาชนะที่ปิดมิดชิด

Jangchud และคณะ (2003) ศึกษาการเตรียมสตาร์ชมันเทศ โดยจะนำหัวมันเทศสดมาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือก และหั่นให้เป็นลูกบาศก์ขนาด 2-3 เซนติเมตร นำมาแช่ในสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.3 เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำมาปั่นใน Waring blender ที่ความเร็วต่ำ 2 นาที จากนั้นกรองผ่านถุงผ้าที่มีขนาดรู 80 เมส และตามด้วยการกรองผ่านตะแกรงที่มีรูตะแกรงขนาด 120 เมส และทำการตกตะกอนเป็นเวลา 3-5 ชั่วโมง ขึ้นต่อมาเทส่วนสารละลายใสด้านบนทิ้ง นำสตาร์ชที่ได้มาล้างน้ำแล้วตกตะกอนโดยในขั้นตอนนี้ทำ 3 ครั้ง จากนั้นนำสตาร์ชที่ได้อบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16-24 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาบด และร่อนผ่านตะแกรงที่มีรูตะแกรงขนาด 120 เมส เก็บในถุงโพลีเอทิลีนที่อุณหภูมิ 5-10 องศาเซลเซียส

2.4.2 กระบวนการผลิตสตาร์ชมันเทศแบบโม่แห้ง (Dry milling)

กระบวนการผลิตสตาร์ชมันเทศแบบโม่แห้ง เริ่มโดยการนำมันเทศมาล้างทำความสะอาด และปอกเปลือก นำมาหั่นเป็นชิ้นบางทำให้แห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 ± 5 องศาเซลเซียส

เป็นเวลา 5 – 8 ชั่วโมง หรือจนมีความชื้นร้อยละ 7 ± 2 (ยุทธนา พิมพ์ศิริผล, 2545; ชีรวัดน์ เทพใจ กาศ, 2545) เมื่อได้มันเทศแผ่นแห้งแล้วอาจนำมาลดขนาดโดยใช้ Hammer mill หรือ Pin mill หรือ อาจไม่ต้องบดก็ได้ หลังจากขั้นตอนนี้จะนำแป้งมันเทศ หรือมันเทศแผ่นแห้งมาสกัดสตาร์ชออก โดยใช้แป้งมันเทศหรือมันเทศแห้งต่อ น้ำหรือตัวทำละลายในอัตรา ส่วนเท่ากับ 1: 3 (Tulyathan *et al.*, 2002) 1: 6 (Zhao and Whistler, 1994) หรือ 1: 5 (Lim *et al.*, 1992) ต่อมาทำการบดผสมแป้งมันเทศกับตัวทำละลาย หรือน้ำโดยใช้ Waring blender เพื่อให้ส่วนผสมเข้ากันดี (วุฒิชัย นาครักษา, 2529; Zhao and Whistler, 1994) และนำส่วนผสมมากรองผ่านตะแกรงขนาด 200 เมส เพื่อกำจัด เศษ หรือกากของมันเทศออก (Abera and Rakshit, 2003) จากนั้นทำการตกตะกอนแป้งโดยใช้การปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) ความเร็วรอบ 8,000 รอบต่อนาที 30 นาที (วุฒิชัย นาครักษา, 2529) หรือ 10,000 รอบต่อนาที 5 นาที (Zhou *et al.*, 2003) หลังจากขั้นตอนนี้ต้องกำจัด โปรตีน และสิ่งที่ไม่ละลายโดยการตกตะกอนสีเหลืองครีม หรือสีน้ำตาลที่ตกตะกอนอยู่ด้านบนของสตาร์ชออกมา แล้วล้างสตาร์ชด้วยน้ำหลายๆครั้ง อาจทำการล้าง 2 ครั้ง (วุฒิชัย นาครักษา, 2529) หรือ 3 ครั้ง (Abera and Rakshit, 2003) และนำสตาร์ชที่ได้มาทำแห้งโดยการใช้อุณหภูมิร้อน ที่อุณหภูมิ 50–60 องศาเซลเซียส ประมาณ 5–6 ชั่วโมง หรือจนมีความชื้นประมาณร้อยละ 10 (สุภา รัตน์ เรืองมณีไพฑูรย์ และคณะ, 2533) เมื่อได้สตาร์ชที่แห้งแล้วนำมาบดลดขนาดสตาร์ชอาจใช้ Hammer mill หรือ Pin mill และทำให้ขนาดอนุภาคสตาร์ชมีขนาดใกล้เคียงกัน โดยอาจจะร่อนผ่านตะแกรงที่มีขนาดรูตะแกรงเท่ากับ 100 เมส (เวชยันต์ ธนบดีภัทร, 2532) จากนั้นเก็บสตาร์ชที่ได้ในที่แห้ง หรือเก็บในบรรจุภัณฑ์ที่ปิดมิดชิดเช่น ถุงโพลีโพรพิลีน หรือถุงโพลีเอทิลีน (Jangchud *et al.*, 2003) สำหรับหลักการผลิตสตาร์ชจากพืชหัวโดยวิธีการไม่แบบแห้ง โดยทั่วไปจะใช้สภาวะที่แตกต่างกันออกไปดังต่อไปนี้

วุฒิชัย นาครักษา (2529) ได้ทำการเตรียมสตาร์ชจากแป้งเผือก โดยเริ่มจากการนำเผือกมา ล้างปอกเปลือก และหั่นเป็นชิ้นจากนั้นตากแดด และบดเพื่อให้ได้แป้งเผือกแล้วนำมาแป้งเผือกที่ได้มา เดิมตัวทำละลาย หรือน้ำ โดยอัตราส่วนแป้งเผือกต่อตัวทำละลาย หรือน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 4 โดย น้ำหนัก จากนั้นปั่นผสมแล้วจึงนำไปปั่นเหวี่ยงโดยใช้ความเร็วรอบ 8,000 รอบต่อนาทีอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที นอกจากนั้นต้องแยกโปรตีนและกากออก โดยตักบริเวณตะกอนสี เหลืองน้ำตาลด้านบนชั้นสตาร์ชทิ้งแล้วล้างสตาร์ชด้วยน้ำ 2 ครั้ง แล้วปั่นเหวี่ยงโดยใช้ความเร็วรอบ 8,000 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที หลังจากนั้นนำสตาร์ชเผือกมาอบที่ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 6-8 ชั่วโมงแล้วร่อนผ่านตะแกรงที่มีรูตะแกรงขนาด 95 เมส จะได้ สตาร์ชจากแป้งเผือกที่ละเอียด

Garcia และคณะ (1998) ศึกษาการเตรียมสตาร์ชมันเทศโดยเริ่มจากขั้นตอนการเตรียมมันเทศแผ่นแห้ง โดยการนำมันเทศมาล้างทำความสะอาดจากนั้นทำแห้งโดยใช้ Freeze dryer และนำ มันเทศแผ่นแห้งมาปั่นผสมกับน้ำนาน 30 วินาที และกรองผ่านตะแกรงที่มีขนาดรูตะแกรง 140 เมส

แล้วปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 10,000 xg 16 นาที ที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส และเทส่วนสารละลายใส ด้านบนทิ้ง แล้วเติมน้ำล้างสตาร์ชอีก แล้วกรองผ่านตะแกรงที่มีขนาดรูตะแกรง 140 ไมครอน และทำการปั่นเหวี่ยง โดยในขั้นตอนนี้จะทำทั้งหมด 4 ครั้ง จากนั้นตักตะกอนนาน 4 ชั่วโมงแล้วตักเอาตะกอน เหลือทางด้านบนชั้นสตาร์ชทิ้งทำแห้งสตาร์ชที่อุณหภูมิห้องและเก็บสตาร์ชที่ได้ในขวดแก้วที่ปิดสนิท

Olomo และคณะ (2003) ศึกษาการสกัดสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง โดยเริ่มจากการเตรียมแป้งมันสำปะหลังโดยการอบแห้งแบบใช้แสงแดด ตามด้วยการใช้ตู้อบที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ต่อมานำแป้งมันสำปะหลังมาบด และร่อนผ่านตะแกรงที่มีรูตะแกรงขนาด 300 ไมครอน แล้วชั่งแป้งมันสำปะหลังมา 70 กรัมผสมน้ำ 500 มิลลิลิตร จากนั้นกรองของผสมผ่านตะแกรงที่มีรูตะแกรงขนาด 250 ไมครอน แล้วตั้งตักตะกอนเป็นเวลา 8 ชั่วโมง และเทส่วนสารละลายใสด้านบนทิ้งพร้อมกับการเติมน้ำใหม่ เพื่อล้างสตาร์ชต่อมากำจัดน้ำออกจากสตาร์ช โดยใช้ Screw press อบสตาร์ชที่ได้ในตู้อบอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส จนแห้ง และบด หลังจากนั้นเก็บในที่แห้งในภาชนะปิดสนิท

Abera และ Rakshit (2003) ได้ศึกษาการเตรียมสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังโดยการนำแป้งมันสำปะหลังมา 333 กรัมผสมกับน้ำ 400 มิลลิลิตร จากนั้นกรองผ่านตะแกรงที่มีรูตะแกรงขนาด 200 ไมครอน แล้วทำการตักตะกอนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ต่อมาเทส่วนสารละลายใสด้านบนทิ้งแล้วล้างสตาร์ชด้วยน้ำอีก 3 ลิตร เป็นจำนวน 3 ครั้ง เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกออก จากนั้นทำแห้งสตาร์ชที่ได้โดยใช้อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส นาน 18 ชั่วโมง จนสตาร์ชที่ได้มีความชื้นร้อยละ 11-12 โดยน้ำหนักเปียก แล้วจึงบด และร่อนสตาร์ชผ่านตะแกรงที่มีรูตะแกรงขนาด 200 ไมครอน แล้วเก็บสตาร์ชที่ได้ใส่ในถุงโพลีเอทิลีน และเก็บที่อุณหภูมิห้อง

2.5 การทำให้แป้งและสตาร์ชมีความบริสุทธิ์

กระบวนการสกัดสตาร์ช หรือการทำแป้งให้มีความบริสุทธิ์นั้น มีสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาคือ ปริมาณโปรตีนที่หลงเหลือในสตาร์ช เพราะไม่สามารถที่จะควบคุมปริมาณโปรตีนที่หลงเหลืออยู่ในสตาร์ชได้ เนื่องจากปริมาณโปรตีนจะแปรผันไปตามชนิดของวัตถุดิบ อีกทั้งโปรตีนสามารถจะเกาะแน่นติดกับเม็ดสตาร์ช ดังนั้นการกำจัดโปรตีนออกโดยไม่ทำลายสตาร์ชที่มีอยู่จึงเป็นเรื่องยาก (Baldwin, 2001) นอกจากนี้ปริมาณโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในสตาร์ชยังบ่งบอกถึงคุณภาพของสตาร์ชด้วยโดยสตาร์ชที่มีคุณภาพสูงจะต้องมีปริมาณโปรตีนในปริมาณที่ต่ำ (Biss and Cogan, 1996) ดังนั้นจึงมีการใช้วิธีต่างๆในการกำจัดโปรตีนออกจากสตาร์ชของพืชชนิดต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.5.1 การใช้สารเคมี

การแยกสตาร์ชออกจากโปรตีนหรือการทำให้สตาร์ชมีความบริสุทธิ์มากขึ้นโดยใช้สารเคมี จะมีหลักการดังต่อไปนี้ (Guraya *et al.*, 2003; Chiou *et al.*, 2002)

2.5.1.1 การใช้สารเคมีในการแยกสตาร์ชที่เกาะกับโปรตีน โดยใช้สารเคมีในการทำให้สตาร์ชที่เกาะกับโปรตีนแยกออกจากกัน อย่างไรก็ตามวิธีนี้จะก่อให้เกิดการรวมตัวของโปรตีนที่เหลืออยู่จึงทำให้ส่งผลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ช

2.5.1.2 การใช้สารเคมีในการละลายโปรตีน โดยใช้สารเคมีละลายโปรตีนออกมาจึงจะสามารถแยกสตาร์ชออกจากโปรตีนได้ง่ายขึ้น แต่จะมีข้อควรระวัง คือ สารเคมีที่ใช้จะต้องไม่ทำให้คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชเปลี่ยนแปลงไป

สำหรับสารเคมีที่ใช้ในการสกัดสตาร์ชนั้นอาจใช้เพียงชนิดเดียว หรือหลายชนิดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดมากขึ้น โดยทั่วไปมักจะใช้สารเคมีดังต่อไปนี้

1 สารประเภทซัลไฟต์

เนื่องจากซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) สามารถช่วยแยกสตาร์ชออกจากองค์ประกอบอื่นๆที่มาเกาะติดแบบแน่นๆหรือหลวมๆ และแยกสตาร์ชออกจากสิ่งแปลกปลอมต่างๆได้โดยง่าย (Grace, 1977) เพราะว่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะขัดขวางการเกาะของโปรตีนที่อยู่รอบๆสตาร์ช โดยจะมีการทำลายพันธะไดซัลไฟด์ (Disulfide bond) ทั้งที่มีอยู่ภายใน และภายนอกโมเลกุลของโปรตีนให้แตกออกได้โดยง่าย (Ji et al., 2004) หรืออาจสร้างสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างประจุของไบซัลไฟต์กับโปรตีนที่มีความเสถียร (Boundy et al., 1967) จึงทำให้สามารถแยกโปรตีนออกจากสตาร์ชได้ นอกจากนี้ยังพบว่าสารประกอบพวกซัลไฟต์ยังสามารถช่วยป้องกันสีทำให้คุณภาพด้านสีของสตาร์ชดีขึ้น (Grace, 1977) และยังยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ซึ่งเป็นการลดการทำลายของจุลินทรีย์ที่มีต่อสตาร์ชได้อีกด้วย (Cobishley, 1984) และได้มีการใช้สารประเภทซัลไฟต์สกัดสตาร์ชจากพืชหัว โดยการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชเผือกเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม ซึ่งมีการใช้ตัวทำละลาย คือน้ำ และสารละลายโซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3) ที่มีความเข้มข้น 0.025 นอร์มอล เพื่อใช้ในการสกัดสตาร์ชจากแป้งเผือก และจะใช้อัตราส่วนของแป้งเผือก 1 ส่วนต่อตัวทำละลาย 4 ส่วนโดยน้ำหนัก จากการศึกษาจะพบว่าการใช้สารละลายโซเดียมซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 0.025 นอร์มอล สามารถจะสกัดสตาร์ชออกจากองค์ประกอบอื่นๆได้มากที่สุด โดยสตาร์ชเผือกที่ได้จะประกอบด้วยสตาร์ชร้อยละ 78.25 และโปรตีนร้อยละ 3.73 และจากผลจากภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์แบบสแกน แสดงให้เห็นว่าเม็ดแป้งของเผือกเกาะติดอยู่กับองค์ประกอบส่วนอื่นๆมากกว่าสตาร์ชเผือกที่ได้มีผ่านการใช้สารเคมีในการสกัด (วุฒิชัย นาครักษา, 2529) นอกจากนี้ Umerie และคณะ (1997) ได้ทำการศึกษาการสกัดสตาร์ชจาก *Cyperus esculentus* ซึ่งเป็นพืชหัวชนิดหนึ่ง โดยใช้สารละลายโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.8133 กรัม ต่อน้ำ 1 ลิตร เป็นตัวสกัดสตาร์ชออกมา จากการศึกษาพบว่าจะสามารถสกัดสตาร์ช ออกมาได้ร้อยละ 20.51 คิดในน้ำหนักฐานแห้ง สตาร์ชจาก *Cyperus esculentus* ที่ได้อาจมีสีขาว ขนาดของเม็ดแป้งใกล้เคียงกับเม็ดแป้งของสตาร์ชข้าว ซึ่งจะมีปริมาณเถ้า และความชื้นเป็นไปตามมาตรฐานของความปลอดภัยของสตาร์ชที่ไม่ได้มีการดัดแปร และมีการใช้สารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในการสกัดสตาร์ชจากธัญพืช โดยได้มี

การใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.2 และ 0.25 ในการสกัดสารจากข้าวฟ่าง พบว่าปริมาณสารที่ได้มีปริมาณมากอีกทั้งสารที่ได้ก็มีสีขาวมาก (Yang and Sieb, 1996) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Wang และคณะ (2000) ที่ได้ศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการสกัดสารจากข้าวฟ่าง โดยใช้สารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ร่วมกับเอนไซม์ และกรดแลคติก พบว่าการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ร่วมกับกรดแลคติกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ในการสกัดสารจากข้าวฟ่าง ทำให้สารจากข้าวฟ่างที่ได้มีปริมาณสารสูงอีกทั้งมีปริมาณโปรตีนต่ำ และสีของสารจากข้าวฟ่างที่ได้มีสีขาวมาก นอกจากนี้ Spigno และคณะ (2003) ได้ทำการศึกษาผลของกระบวนการผลิต คือ สารละลายที่ใช้แช่เมล็ดข้าว ได้แก่ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ โดยใช้เวลาในการแช่ 6 และ 12 ชั่วโมง สำหรับอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่ คือ 30 องศาเซลเซียส และ 50 องศาเซลเซียส ที่มีต่อปริมาณ และความบริสุทธิ์ของสารจากข้าวที่ได้จากการศึกษาพบว่าการสกัดสารจากข้าวโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.2 และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.3 จะให้ปริมาณสารจากข้าวที่สกัดได้สูงที่สุด เมื่อแช่เมล็ดข้าวที่ 6 ชั่วโมง และอุณหภูมิของการแช่ คือ 30 องศาเซลเซียส ในขณะที่ปริมาณโปรตีนที่หลงเหลืออยู่ในสารจากข้าวจะมีปริมาณต่ำสุด เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการแช่เมล็ดข้าวในสารละลาย หรือเพิ่มเวลาในการแช่ เมล็ดข้าวในสารละลายมากขึ้น และเมื่อทำการเปรียบเทียบการใช้สารประเภทซัลไฟต์ กับสารเคมีชนิดอื่นโดย Sajeev และคณะ (2003) ศึกษาการใช้สารเคมีที่มีชนิด และความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ในระหว่างการสกัดสารจากแป้งมันสำปะหลังเพื่อเป็นการเพิ่มอัตราการตกตะกอน ความขาว และการเกาะตัวกันของสารขณะตกตะกอน นอกจากนี้ยังจะศึกษาผลของสารเคมีที่มีต่อความหนืดของสารมันสำปะหลังที่ได้ โดยการศึกษาได้ใช้สารเคมี คือ สารเคมีประเภทกรด ได้แก่ กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) สารเคมีประเภทสารฟอกสี และสารเคมีที่ทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดซ์ ได้แก่ โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ และโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaOCl) นอกจากนี้ยังใช้ Alum ด้วย จากการศึกษพบว่าสารฟอกสีพวกโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ที่มีความเข้มข้น 3.12 mM และโซเดียมไฮโปคลอไรท์จะไม่มีผลต่อการคัดแปรคุณสมบัติทางด้านความหนืด และจะให้ผลดีต่อการตกตะกอนของสาร โดยปราศจากผลกระทบต่อคุณภาพของสารมันสำปะหลัง

2 สารเคมีประเภทต่าง

สำหรับสารเคมีประเภทต่าง ก็เป็นที่นิยมนำมาสกัดสารเช่นกัน เนื่องจากค่าที่มีความเข้มข้นต่ำ มีผลต่อการทำลายพันธะไดซัลไฟด์ของโปรตีนที่มาเกาะอยู่กับสาร ทำให้โปรตีนสามารถหลุดออกจากสารได้ (Florence, 1980) ซึ่งได้มีการศึกษาการสกัดสารจาก Amaranth โดยวิธีไม่เปียก โดยใช้สารละลายต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 แช่ Amaranth ทั้งที่ปอกเปลือก และไม่ปอกเปลือกก่อนทำการสกัดสาร จากการศึกษพบว่าสาร

Amaranth ที่สกัดได้มีความบริสุทธิ์มาก โดยมีปริมาณโปรตีนหลงเหลืออยู่เพียงร้อยละ 0.2 ในสตาร์ชที่สกัดได้จาก Amaranth ทั้งที่ปอกเปลือก และไม่ปอกเปลือก แต่อย่างไรก็ตาม พบว่าสตาร์ชที่สกัดได้จาก Amaranth ที่ยังไม่ได้ปอกเปลือกจะมีปริมาณสูงกว่าสตาร์ชที่สกัดได้จาก Amaranth ที่ผ่านการปอกเปลือกแล้ว โดยมีปริมาณสตาร์ชที่สกัดได้ถึงร้อยละ 52 เมื่อเทียบกับปริมาณสตาร์ชใน Amaranth ที่มีอยู่เดิม คือร้อยละ 62 ซึ่งเนื่องมาจากสตาร์ชไม่ได้สูญเสียไประหว่างการแช่เมล็ด Amaranth สำหรับ Amaranth ที่ยังไม่ได้ปอกเปลือก (Myers and Fox, 1994) นอกจากนี้มีการใช้โซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอลในการสกัดโปรตีนออกจากแป้งถั่วเขียว โดยจากการศึกษาพบว่าสามารถสกัดโปรตีนจากแป้งถั่วเขียวได้มากถึงร้อยละ 90 (ชัยญานรณ์ สิริเลิศ, 2540) ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับ วุฒิชัย นาครักษา (2526) ที่ได้ใช้โซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอลในการสกัดโปรตีนออกจากถั่วเขียวได้สูงถึงร้อยละ 92.45 นอกจากนี้ Sathe และ Salunkhe (1981) ได้ศึกษาการสกัดโปรตีนออกจากแป้งถั่ว Great northern bean (*Phaselolus vulgaris* L.) โดยใช้สารละลายเกลือหลายชนิด จากการศึกษพบว่าการใช้สารละลายเกลือโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้นต่ำ คือร้อยละ 0.5 ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เวลา 24 ชั่วโมง สามารถสกัดโปรตีนออกจากแป้งถั่ว Great northern bean ได้มากที่สุด

สำหรับการใช้สารเคมีประเภทอัลไฟด์ หรือสารเคมีประเภทด่างร่วมกับสารเคมีชนิดอื่นก็ยังได้ผลดีในการสกัดสตาร์ชเช่นเดียวกันโดย Villareal และ Griggs (1982) พบว่าการผลิตสตาร์ชมันเทศ ตั้งแต่กระบวนการบดจนถึงการร้อนเอาสตาร์ชมันเทศออกมาจะต้องทำให้เป็นด่างที่ pH ประมาณ 8.6 โดยใช้น้ำปูนขาว (Lime water) เพื่อจะตกตะกอนสารเจือปน และสารละลายสี จากนั้นจึงฟอกจางสีสตาร์ชมันเทศโดยใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์ และเข้าเครื่องเหวี่ยงเอาน้ำออก ทำแห้งในเตาอบแบบสูญญากาศจนมีความชื้นประมาณร้อยละ 12 นำมาบดร่อน และบรรจุใส่ถุง จากการสกัดสตาร์ชมันเทศ พบว่าจะได้สตาร์ชมันเทศประมาณร้อยละ 20–26 โดยน้ำหนักเปียก และคุณสมบัติของสตาร์ชมันเทศที่ได้จะมีความเหนียวระหว่างสตาร์ชมันฝรั่ง และสตาร์ชมันสำปะหลัง นอกจากนี้ได้มีการศึกษาผลของการแช่เมล็ดข้าวโพดในสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ที่มีความเข้มข้น 2500 ppm และแช่เมล็ดข้าวโพดในสารละลายผสมระหว่างซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้น 2500 ppm กับร้อยละ 0.5 โดยปริมาตรต่อปริมาตรของกรดแลคติกและศึกษาผลของสารเคมีต่อปริมาณสตาร์ชที่สกัดได้ และปริมาณโปรตีนที่หลงเหลือในสตาร์ชข้าวโพดที่ผ่านการสกัดแบบไม่เปียก จากการศึกษพบว่าสามารถสกัดสตาร์ชข้าวโพดโดยแช่เมล็ดข้าวโพดในสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ที่มีกรดแลคติกผสมอยู่จะได้ปริมาณของสตาร์ชข้าวโพดสูงถึงร้อยละ 77 และสตาร์ชข้าวโพดยังมีปริมาณโปรตีนหลงเหลืออยู่ในปริมาณน้อยคือร้อยละ 3.5 ทั้งนี้เนื่องจากกรดแลคติกจะช่วยเพิ่มการละลายของโปรตีน ทำให้สามารถแยกโปรตีนออกจากสตาร์ชข้าวโพดได้มาก (Pérez et al., 2001)

2.5.2 การใช้การลดขนาด

วิธีการบดเนื้อมันเทศ และการแยกให้สตาarchมันเทศมีความละเอียดมากขึ้น รวมถึงขั้นตอนการตกตะกอนสตาarchย่อมมีผลต่อปริมาณ และคุณภาพของสตาarchมันเทศที่สกัดได้ จากการศึกษาพบว่าถ้าต้องการเพิ่มคุณภาพของสตาarchมันเทศควรเลือกใช้ Saw tooth milling ที่มีความเร็ว 1,000 รอบต่อนาที และแยกให้สตาarchมันเทศมีความละเอียดโดยร่อนสตาarchมันเทศผ่านตะแกรงขนาด 120 เมส จากนั้นทำการตกตะกอนสตาarchมันเทศโดยใช้สารละลายที่มีความเป็นกรด สำหรับในกรณีที่ต้องการอัตราการสกัดสตาarchมันเทศที่สูงขึ้น ควรใช้วิธีการบดเนื้อมันเทศโดย Hammer mill ที่ความเร็ว 4,200 รอบต่อนาที จากนั้นทำการแยกสตาarchมันเทศให้มีความละเอียดโดยการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 120 เมส และทำการตกตะกอนสตาarchมันเทศโดยใช้วิธีการตั้งตกตะกอนตามธรรมชาติ (Jianjun, 2004)

2.5.3 การปรับความหนาแน่น

อาศัยหลักของความหนาแน่นที่แตกต่างกันย่อม ส่งผลต่อการตกตะกอนได้เร็วแตกต่างกันออกไป โดย Guraya และคณะ (2003) ทำการศึกษาการใช้วิธีทางกายภาพในการสกัดสตาarchข้าว โดยใช้ Density Gradient System หลากหลายแบบ และศึกษาผลของวิธีการสกัดสตาarchข้าวที่มีต่อปริมาณ และความบริสุทธิ์ของสตาarchข้าว รวมถึงคุณสมบัติ Pasting properties ด้วย โดยในการศึกษาได้ใช้ Density Gradient System 3 ชนิด คือ CeCl_4 , $\text{NaCl} / \text{Sucrose}$ และ $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ จากการศึกษาพบว่าการใช้ Density Gradient System สามารถช่วยให้สตาarchข้าวที่ได้มีปริมาณโปรตีนต่ำ เนื่องจาก Density Gradient System สามารถช่วยแยกโปรตีนไม่ให้จับตัวกับสตาarchข้าว และยังพบอีกว่ายิ่งเพิ่มความหนาแน่นของ Density Gradient Solution จะช่วยเพิ่มความหนาแน่นให้กับสตาarchข้าวทำให้สตาarchข้าวสามารถที่จะแยกตัวออกจากโปรตีนมากขึ้น และจากการศึกษาพบว่าซีเซียมคลอไรด์ (CeCl_4) จะสามารถใช้ในการสกัดสตาarchข้าวได้สูงที่สุด คือประมาณร้อยละ 91.2

2.5.4 การใช้เอนไซม์

Lumdubwong และ Seib (2000) ได้ศึกษาการสกัดสตาarchจากแป้งข้าวที่ผ่านการเตรียมแป้งข้าวแบบการไม่เปียก โดยใช้การย่อยของเอนไซม์โปรติเอสในสภาวะเป็นด่าง เปรียบเทียบกับการสกัดสตาarchจากแป้งข้าว โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ จากการศึกษาพบว่าการย่อยแป้งข้าวโดยใช้ร้อยละ 1.1 ของเอนไซม์โปรติเอสที่ pH เท่ากับ 10 เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ทำให้สามารถสกัดสตาarchข้าวได้มากถึงร้อยละ 95 และสตาarchข้าวที่ได้จะมีปริมาณของโปรตีนหลงเหลืออยู่ประมาณร้อยละ 0.5 และพบว่าสตาarchข้าวที่ได้มีปริมาณมากกว่าสตาarchข้าวที่สกัดได้จากโซเดียมไฮดรอกไซด์ถึงร้อยละ 10 อีกทั้งยังมีลักษณะเป็นสีขาว มีปริมาณไขมันมากกว่า แต่จะมีความหนืดน้อยกว่า นอกจากนี้ Verwimp และคณะ (2004) ได้ศึกษาการสกัดสตาarchข้าวไรย์ และลักษณะเฉพาะของสตาarchข้าวไรย์ที่ได้ จากการศึกษาการสกัดสตาarchจากแป้งข้าวไรย์โดยแบ่งเป็นการสกัดสตาarchข้าวไรย์

โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กับแป้งข้าวไรย์ที่ยังไม่ได้แยกไขมันออกส่วนอีกวิธี คือ การสกัดสตาร์ชโดยใช้เอนไซม์โปรเนส (Pronase) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กับแป้งข้าวไรย์ทั้งที่แยก และไม่แยกไขมันออก ซึ่งทั้ง 2 วิธีข้างต้น จะทำให้สตาร์ชข้าวไรย์มีความบริสุทธิ์มากขึ้น จากการศึกษาพบว่า การใช้เอนไซม์โปรเนส ทำให้สตาร์ชข้าวไรย์มีอุณหภูมิในการเกิดเจลต่ำกว่าสตาร์ชข้าวไรย์ที่สกัดโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ การกำจัดไขมันออกก่อนสกัดสตาร์ชข้าวไรย์ด้วยเอนไซม์โปรเนส ทำให้สตาร์ชข้าวไรย์ที่ได้มีความหนืดสุดท้ายที่สูงขึ้น และปริมาณของสตาร์ชข้าวไรย์ที่สกัดได้โดยใช้เอนไซม์โปรเนส ทั้งจากแป้งข้าวไรย์ที่แยก และไม่แยกไขมันออกเท่ากับร้อยละ 79.8 และ 80.9 ซึ่งมากกว่าปริมาณสตาร์ชข้าวไรย์ที่แยกได้โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งมีค่าร้อยละ 42.2

2.5.5 การใช้วิธีต่างๆร่วมกัน

สำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดสตาร์ชนั้น อาจใช้วิธีการต่างๆร่วมกัน โดย Chiou และคณะ (2002) ได้ทำการศึกษาเพื่อพัฒนาวิธีการสกัดสตาร์ชข้าว และทำให้สตาร์ชข้าวบริสุทธิ์ โดยปราศจากการทำลายโครงสร้างของสตาร์ชข้าว ซึ่งพบว่า การที่จะทำให้สตาร์ชข้าวบริสุทธิ์โดยปราศจากการทำลายโครงสร้างของสตาร์ชข้าว ควรจะกำจัดโปรตีนออกโดยใช้เอนไซม์โปรติเอส (Protease) และการกำจัดไขมันโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์เช่น เมทานอล และ เอทานอล นอกจากนี้ Wang และ Wang (2004) ได้ศึกษาการสกัดสตาร์ชข้าวโดยใช้ Neutral protease และการใช้ Neutral protease ร่วมกับการใช้ High intensity ultrasound ในการสกัดสตาร์ชข้าว จากการศึกษาพบว่า ปริมาณของสตาร์ชข้าวที่ได้จากการสกัดโดยใช้ Neutral protease อย่างเดียวจะมีค่าประมาณ ร้อยละ 62.5-71.8 มีปริมาณโปรตีนที่เหลืออยู่ในสตาร์ช ร้อยละ 0.53-0.88 และมีสตาร์ชข้าวที่ถูกทำลายร้อยละ 0.99-1.81 นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณของสตาร์ชข้าวที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 79.8-86.7 ปริมาณโปรตีนเป็นร้อยละ 0.50-0.96 และมีสตาร์ชข้าวที่ถูกทำลายร้อยละ 0.98 - 1.87 เมื่อใช้ Neutral protease ร่วมกับการใช้ High intensity ultrasound และพบว่าความหนืดของสตาร์ชข้าวจะเพิ่มขึ้นภายหลังจากใช้ High intensity ultrasound

2.5.6 การเปรียบเทียบวิธีการทำให้สตาร์ชบริสุทธิ์วิธีต่างๆกับการใช้สารเคมี

Lim และคณะ (1992) ได้ทำการศึกษาการสกัดสตาร์ชออกจากแป้งข้าวโอ๊ตโดยใช้วิธีที่แตกต่างกันคือ การใช้แรงตัดที่สูง (High shear) ภายหลังจากการแช่น้ำของแป้งข้าวโอ๊ต การใช้แรงตัดต่ำ (Low shear) ภายหลังจากการย่อยด้วยเอนไซม์โปรติเอส และวิธีสุดท้ายคือ การใช้แรงตัดต่ำที่ความเป็นด่างสูงๆ จากการศึกษาจะพบว่า การสกัดสตาร์ชออกจากแป้งข้าวโอ๊ตโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ทำให้สตาร์ชข้าวโอ๊ตที่สกัดได้มีปริมาณโปรตีนต่ำที่สุดสำหรับวิธีการใช้เอนไซม์โปรติเอสในการย่อย และวิธีการใช้แรงตัดที่สูงภายหลังจากการแช่น้ำของแป้งจะเป็นวิธีที่ได้ช้ากว่า และมีปริมาณโปรตีนหลงเหลืออยู่มาก กว่า และพบว่า สตาร์ชข้าวโอ๊ตที่สกัดได้จากการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์จะมีความหนืดสูงสุด (Pasting peak)

ที่เลื่อนออกไป และจะเพิ่มความหนืดของสตาร์ชข้าวโอ๊ตมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เคลเจียมไฮดรอกไซด์

2.6 สารเคมีที่ใช้ในการสกัดสตาร์ชมันเทศ

2.6.1 โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate : Na_2CO_3)

โซเดียมคาร์บอเนต หรือโซดาแอช คือ เกลือที่เกิดจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เป็นด่างแก่กับกรดคาร์บอนิกซึ่งเป็นด่างอ่อน ทำให้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตในน้ำมีสมบัติเป็นด่าง (นิธิยา รัตนพานนท์, 2545) จะมีลักษณะเป็นผงหรือก้อนแข็งสีเทาขาวเมื่อสัมผัสกับอากาศจะค่อยๆ ดูดซับน้ำ (ประมาณร้อยละ 15) มีคุณสมบัติคือมีมวลโมเลกุล 105.99 ความหนาแน่น 2.533 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีจุดหลอมเหลว 851 องศาเซลเซียส ผลึกมีโครงสร้างแบบ Monoclinic ใช้ในการลดความกระด้างของน้ำ ผงซักฟอก และเป็นสารปรุงแต่งอาหารสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารได้มากมาย เช่น ใช้ในการไฮโดรไลซิสโปรตีน นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการผลิตเนยเทียม และสตาร์ช ผลของการสัมผัสสารนี้เป็นเวลานานจะมีอันตรายต่อผิวหนัง ทำให้เกิดการอักเสบของผิวหนังจนเกิดเป็นแผลอักเสบ แต่อย่างไรก็ตามความอันตรายของสารโซเดียมคาร์บอเนตจะไม่เกิดขึ้น เมื่อใช้ในปริมาณที่เหมาะสม แต่การรับประทานเข้าไปเกินปริมาณที่กำหนดคือมากกว่า 15 กรัมอาจทำให้มีโอกาสดูดซับน้ำจนอันตรายถึงชีวิตได้ (Gerhard and Scheider , 1999)

2.6.2 สารซัลไฟต์ (วินัด ภูมินาถ, 2002)

2.6.2.1 ชนิดและคุณสมบัติของสารซัลไฟต์

สารซัลไฟต์ที่นำมาใช้ในอาหารตามเอกสารของ Food Chemical Codex มีหลายชนิดซึ่งจะได้แก่ โซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3) โพแทสเซียมซัลไฟต์ (K_2SO_3) โซเดียมไบซัลไฟต์ (NaHSO_3) โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) โพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$) หรือในรูปของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)

2.6.2.2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของซัลเฟอร์ไดออกไซด์

แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นแก๊สไม่เกิดเปลวไฟ ไม่มีสี มีกลิ่นฉุนทำให้ไอระเหย หายใจไม่ออก เป็นของเหลวที่อุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียส แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ใช้ในการถนอมอาหารได้จากการเผาสารซัลเฟอร์ หรือจากซัลเฟอร์ไดออกไซด์สภาพเหลวสามารถละลายน้ำได้ เกลือซัลไฟต์เมื่อละลายน้ำจะให้กรดซัลฟูรัส (H_2SO_3) ไบซัลไฟต์ไอออน (HSO_3^-) และ ซัลไฟต์ไอออน (SO_3^{2-})

2.6.2.3 วัตถุประสงค์และบทบาทของการนำสารซัลไฟต์ไปใช้ประโยชน์

- 1 ช่วยยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์ และไมเอนไซม์ (Enzyme and Non-enzyme browning reaction) โดยการเปลี่ยนสีเกิดสีน้ำตาลของอาหารที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลกับโปรตีน หรือกรดอะมิโน ที่ผ่านกรรมวิธีผลิตที่ต้องใช้ความร้อนประมาณ 85 องศาเซลเซียส เกิดเป็นสาร Melanoidin มีสีน้ำตาลอัตราการเกิดจะเพิ่มขึ้นถ้าสารมีความเข้มข้นสูงขึ้น 10 องศาเซลเซียส อัตราการเกิดจะเพิ่มขึ้น 3-5 เท่า การเติมสารซัลไฟต์ลงไปจะช่วยให้โปรตีนกับน้ำตาลไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาต่อกัน
- 2 เป็นวัตถุกันหืน เนื่องจากสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นรีดิวซิงที่แรงทำหน้าที่เสมือนสาร Antioxidant สามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนในอาหารที่มีไขมัน จึงช่วยลดการเกิดกลิ่นหืน และการเสื่อมสภาพของอาหารได้
- 3 ป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์พวกแบคทีเรีย ยีสต์ และรา เช่นป้องกันการเกิดโรคจุดดำ (Black spot) ของกุ้งสด
- 4 ใช้ในการยืดอายุการเก็บถนอมรักษาอาหาร และผลิตภัณฑ์อาหารให้นานขึ้น ช่วยยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย และสปอร์ของรา
- 5 ป้องกันการสูญเสียวิตามินซี ระหว่างกระบวนการผลิต เนื่องจากสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นรีดิวซิงที่แรงกว่า ทำให้ลดการสูญเสียวิตามินซีได้มากขึ้น
- 6 เป็นสารฟอกสี ทำให้สีขาวขึ้น หรือช่วยคงสภาพรักษาสีของแคโรทีนให้ยาวนานขึ้น

2.6.2.4 ปริมาณการบริโภค

องค์การอนามัยโลก ได้กำหนดปริมาณของสารซัลไฟต์ที่ยอมให้บริโภค (Acceptance daily intake, ADI) ในรูปของสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ระดับ 0.7 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักร่างกาย 1 กิโลกรัมต่อวัน

2.7 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และคุณลักษณะทางกายภาพของสตาร์ชมันเทศ

2.7.1 ลักษณะของเม็ดแป้ง (Starch morphology)

แป้งที่พบในธรรมชาติจะอยู่ในรูปของเม็ดแป้งที่มีรูปร่าง และขนาดแตกต่างกันไปตามชนิดของแป้ง ลักษณะต่างๆของเม็ดแป้งตรวจสอบได้โดยการส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ซึ่งเป็นวิธีที่รวดเร็ว และง่ายที่สุด โดยสามารถตรวจสอบลักษณะของเม็ดแป้ง ได้แก่ รูปร่าง ตำแหน่งของ Hilum (ตำแหน่งที่แขนของ Maltese cross ตัดกันภายใต้แสงโพลาไรซ์) และการกระจายตัวของขนาดของเม็ดแป้ง รวมทั้งการตรวจสอบความเสียหายของเม็ดแป้งที่สภาวะต่างๆ และการป่นเปื้อนของแป้ง

อีกชนิดหนึ่งได้ นอกจากนี้ในกรณีที่ต้องการดูโครงสร้างพื้นผิวอย่างละเอียดของเม็ดแป้งสามารถใช้ Scanning Electron Microscopy (SEM) ซึ่งมีกำลังขยายมากกว่ากล้องจุลทรรศน์ ถึงหลายร้อยเท่า (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

แป้งจากพืชหัวจะมีขนาดเม็ดแป้งตั้งแต่ 1-110 ไมครอน ขึ้นกับแหล่งที่มาโดยส่วนใหญ่มีลักษณะเม็ดแป้งเป็นรูปไข่ กลม หลายเหลี่ยม รวมถึงมีรูปร่างไม่แน่นอน (Hoover, 2001) จากการศึกษาของ เวชยันต์ ธนปศิกัทร (2532) พบว่าสตาร์ชมันเทศพันธุ์พื้นเมืองที่ปลูกในประเทศไทยจะมีรูปร่างเป็นรูปไข่ วงกลม และรูปหลายเหลี่ยม แต่ โดยส่วนใหญ่เป็นรูปหลายเหลี่ยม มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5-25 ไมครอน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Jangchud และคณะ (2003) ที่ศึกษขนาด และรูปร่างของเม็ดแป้งของมันเทศพันธุ์ไข่ และพันธุ์นิโกร พบว่ามีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเม็ดแป้งเท่ากับ 3-27 ไมครอน และมีลักษณะเป็นรูปวงกลม ไข่ และรูปหลายเหลี่ยมรวมกัน นอกจากนี้ Walter และคณะ (2000) ได้ทำการศึกษาสตาร์ชมันเทศพันธุ์ที่มีความชื้นสูง และต่ำ พบว่าเม็ดแป้งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3-60 ไมครอน ซึ่งมีค่ามากกว่าการศึกษาข้างต้นแต่มีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ Takeda และคณะ (1986) ซึ่งได้ทำการศึกษาสตาร์ชมันเทศ และพบว่าเม็ดแป้งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2-72 ไมครอน และมีรูปร่าง กลม หลายเหลี่ยม รูปไข่ และรูปประจักษ์

2.7.2 การเกิดเจลาตินในเซชัน (Gelatinization)

การเกิดเจลาตินในเซชันของเม็ดแป้งแบ่งได้เป็น 3 ระยะ คือ ระยะแรกเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเย็นได้อย่างจำกัด และเกิดฟองตัวแบบผันกลับได้เนื่องจากร่างแหระหว่างไมเซลล์ (Micelles) ยึดหยุ่นได้จำกัด ความหนืดของสารแขวนลอยจะไม่เพิ่มขึ้นจนเห็นได้ชัด เม็ดแป้งยังคงรักษารูปร่าง และโครงสร้างแบบที่เกิดการบิดแสงระนาบโพลาไรซ์ได้ (Birefringence) เมื่อมีการใส่สารเคมีหรือมีการเพิ่มอุณหภูมิกับสารละลายน้ำแป้งจนถึงอุณหภูมิประมาณ 65 องศาเซลเซียส(อุณหภูมิที่แท้จริงขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง) เมื่อเริ่มเข้าสู่ระยะที่ 2 เม็ดแป้งจะฟองตัวอย่างรวดเร็วร่างแหระหว่างไมเซลล์ภายในเม็ดแป้งจะอ่อนแอลงเนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเข้ามา และเกิดการฟองตัวแบบผันกลับไม่ได้ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการเกิดเจลาตินในเซชันเม็ดแป้งมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และโครงสร้างแบบที่เกิดการบิดแสงระนาบโพลาไรซ์ได้ความหนืดของสารละลายน้ำแป้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วแป้งที่ละลายได้ จะเริ่มละลายออกมาซึ่งถ้าเหวี่ยงแยกส่วนใส และหยดสารละลายไอโอดีนลงในส่วนใสจะเกิดสีน้ำเงินขึ้น เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิต่อไปอีกจนเข้าสู่ระยะที่ 3 รูปร่างเม็ดแป้งจะไม่แน่นอน การละลายของแป้งจะเพิ่มขึ้น เมื่อทำให้เย็นจะเกิดเจลาติน การเกิดเจลาตินในเซชันของแป้งจะทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของแป้ง สามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆ ได้ดีขึ้น รวมทั้งพร้อมที่จะถูกย่อยด้วยน้ำย่อยต่างๆ ได้ดีขึ้น ในปัจจุบันการตรวจสอบกระบวนการเกิดเจลาตินในเซชันอาจใช้เครื่องมือ คือ Differential Scanning Calorimeter (DSC) ซึ่งจะเป็นเครื่องมือที่วัดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของวัสดุในรูปฟังก์ชันกับอุณหภูมิ หลักการ

ทำงานของเครื่องจะให้ความร้อนแก่ตัวอย่างสารผสมเป้งกับน้ำในอัตราส่วน 30 ต่อ 70 จนถึงอุณหภูมิที่คาดว่าเลขช่วงในการเกิดเจลลิตในเซชัน จะได้ Thermogram ซึ่งเป็นกราฟระหว่าง Heat flow และอุณหภูมิ พลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลิตในเซชัน (ΔH , cal/g) ได้จากพื้นที่ใต้กราฟหารด้วยน้ำหนักเป้งตัวอย่าง (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

สตาร์ชมันเทศพันธุ์พื้นเมืองที่ปลูกในประเทศไทย พบว่ามีช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตอยู่ในช่วง 57-75 องศาเซลเซียส (เวชยันต์ ธนบดีภัทร, 2532) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Chen และคณะ (2003) ที่ศึกษาช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตของสตาร์ชมันเทศจากประเทศจีน พบว่ามีช่วงอยู่ระหว่าง 60-80 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ผลการศึกษาที่ได้ยังสอดคล้องกับ Toyama และคณะ (2003) ที่ได้ศึกษาช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตของสตาร์ชมันเทศ 8 สายพันธุ์ของญี่ปุ่น พบว่ามีช่วงอยู่ระหว่าง 70.4-74.3 องศาเซลเซียส

2.7.3 การดูดซับน้ำ การพองตัวและการละลาย

เมื่อมีการให้ความร้อนแก่สารละลายน้ำเป้ง เม็ดเป้งจะเกิดการพองตัว และบางส่วนของเป้งจะละลายออกมา กำลังการพองตัวของเป้งจะแสดงเป็นปริมาตรหรือน้ำหนักของเม็ดเป้งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด เมื่อเม็ดเป้งพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำ สำหรับความสามารถในการละลายจะแสดงเป็นน้ำหนักของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลายได้ (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

สตาร์ชมันเทศพันธุ์พื้นเมืองที่ปลูกในประเทศไทย พบว่ารูปแบบของการพองตัวเป็นแบบ 2 ช่วง (Two stage) โดยการพองตัวจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 70-80 องศาเซลเซียส แล้วการพองตัวจะมีอัตราเพิ่มลดลงหรือมีช่วงพัก (Relaxation stage) ในช่วง 80-90 องศาเซลเซียส แล้วจะกลับมาเพิ่มขึ้นอีกจนถึงอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส (เวชยันต์ ธนบดีภัทร, 2532) ซึ่งจะสอดคล้องกับการศึกษาของ Chen และคณะ (2003) ที่ศึกษาการพองตัวของสตาร์ชมันเทศจากประเทศจีนพบว่า การพองตัวเป็นแบบ 2 ช่วง แตกต่างกันตรงที่ สตาร์ชมันเทศจากประเทศจีนจะมีช่วงการพองตัวที่อุณหภูมิ 80-95 องศาเซลเซียส และมีช่วงพักที่ 65-75 องศาเซลเซียส

สตาร์ชมันเทศพันธุ์พื้นเมืองที่ปลูกในประเทศไทยพบว่าการละลายเป็นแบบ Log model นั่นคือมีการละลายเพิ่มขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิสูง แต่การละลายเมื่อถึงอุณหภูมิหนึ่งอัตราการละลายจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลง (เวชยันต์ ธนบดีภัทร, 2532) ซึ่งผลการศึกษานี้คล้ายกับผลการศึกษาของ Jangchud และคณะ (2003) ที่ศึกษาสตาร์ชมันเทศพันธุ์ไข่ และพันธุ์นิโกรแล้ว พบว่าสตาร์ชมันเทศจะมีการละลายเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น

2.7.4 ความหนืด

ความหนืดเป็นสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญของเป้ง เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความหนืดของเป้งได้แก่ ชนิดของเป้ง และการคัดแปรเป้งด้วยวิธีต่างๆ การ

วัดความหนืดสามารถกระทำได้หลายวิธี และเครื่องมือที่ใช้ในการวัดมีหลายชนิดแต่ละชนิดมีหลักการทำงาน และการอ่านค่าความหนืดต่างกันไปแต่วิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือ การใช้บราเบนเดอร์ วิสโคอะมิโลกราฟ (Brabender Viscoamylograph) โดยมีหลักการทำงานคือ การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งในระหว่างการทำให้อุ่นจนถึงขั้นการทำให้เย็น ติดตามผล และแสดงผลในรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด และอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ได้หน่วยความหนืดเป็น Brabender Unit (BU) สามารถเปลี่ยนเป็น Centripoise ได้โดยเทียบความหนืดของสารละลายแป้งสุกเข้มข้นร้อยละ 5 ความหนืด 500 BU เท่ากับ 2,700 Centripoise (Brautlecht, 1953)

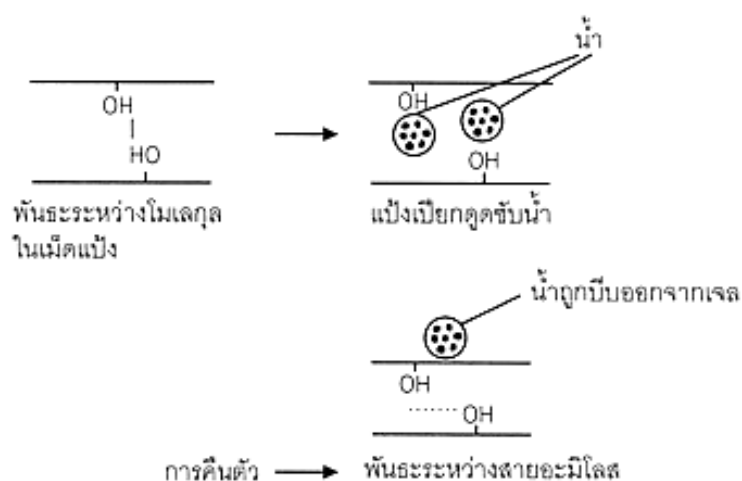
เมื่อเม็ดแป้งได้รับความร้อนจะดูดซึมน้ำ และพองตัวขยายใหญ่ขึ้น น้ำบริเวณรอบๆเม็ดแป้งเหลือน้อยลง ทำให้เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยาก เกิดความหนืดขึ้น อุณหภูมิที่กราฟเริ่มเกิดความหนืดเรียกว่า อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนค่าความหนืด (Pasting temperature) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นความหนืดจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่มีความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) เป็นจุดที่เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ และเวลาต่อไปอีก รวมทั้งมีการกวนอย่างต่อเนื่อง จะทำให้โครงสร้างภายในแตกออก ความหนืดลดลงต่อมาลดอุณหภูมิลง ทำให้เกิดการรีโทรเกรเดชัน ความหนืดจะเพิ่มขึ้นอีก ซึ่งเป็นความหนืดที่เกิดจากการเรียงตัวกันใหม่ของโมเลกุลอะมิโลสที่หลุดออกจากเม็ดแป้ง

เวซันต์ ธนปศิภัทร (2532) ได้ทำการศึกษาความหนืดของแป้งมันเทศโดยใช้ Brabender Viscoamylograph พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิการเกิดเจล ความหนืดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงจุดสูงสุด โดยค่าสูงสุดประมาณ 500-600 B.U. หลังจากนั้นความหนืดจะลดลงในช่วงให้ความร้อน (Heating cycle) จนถึง 95 องศาเซลเซียส เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พบว่าความหนืดมีแนวโน้มลดลงอีก และเมื่อลดอุณหภูมิเป็น 50 องศาเซลเซียส ในช่วง Cooling cycle ความหนืดก็จะเพิ่มขึ้น จาก Viscoamylograph ของแป้งมันเทศพบว่า ความหนืดที่เพิ่มขึ้นในช่วงให้ความร้อนจนถึงจุดสูงสุดของความหนืดเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วพิจารณาได้ว่าแรงยึดเหนี่ยวภายในเม็ดแป้งของมันเทศมีความสม่ำเสมอ ส่วนความหนืดของน้ำแป้งในช่วงหลังการรักษารูปร่าง 95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ลดลง กล่าวได้ว่าเม็ดแป้งมันเทศไม่มีเสถียรภาพที่ดีต่อการกวน คือ มีการเปลี่ยนแปลงความหนืดลดลงในช่วงให้ความร้อนขณะกวนมาก

2.7.5 การคืนตัว (Retrogradation)

เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลลาติไนเซชัน แล้วให้ความร้อนต่อไป ทำให้เม็ดแป้งพองตัวมากขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่ และแตกออก โมเลกุลของอะมิโลสขนาดเล็กจะกระจัดกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัวโมเลกุลอะมิโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจับเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติโครงสร้างใหม่ที่สามารอุ้มน้ำ และไม่มีการดูดน้ำเข้าอีกมีความหนืดคงตัวมากขึ้นเกิดลักษณะเจลเหนียวคล้ายฟิล์มหรือผลึก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการเกิดรีโทรเกรเดชันหรือการคืนตัว หรือ Setback

(Smith, 1979) เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงไปอีก ลักษณะการเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมานอกเจลซึ่งเรียกว่า Syneresis ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้จะทำให้เกิดเจลมีลักษณะขาวขุ่น และมีความหนืดเพิ่มขึ้นดังภาพที่ 2.4 สำหรับการตรวจสอบความสามารถในการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งแต่ละชนิดอาจหาได้จากค่า Setback ของแป้ง ซึ่งเป็นค่าผลต่างระหว่างความหนืดสุดท้ายกับความหนืดสูงสุด (Setback from peak) หรือความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (Setback from trough) โดยใช้เครื่อง Brabender Viscoamylograph (Smith, 1979)



ภาพที่ 2.4 แสดงการเกิดรีโทรเกรเดชัน

ที่มา: กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ (2546)

สตาร์ชแต่ละชนิดมีการคืนตัวในอัตราเร็วต่างกัน สตาร์ชจากธัญพืชจะคืนตัวได้เร็วกว่า สตาร์ชจากพืชหัวสำหรับสตาร์ชมันเทศมีอัตราการคืนตัวปานกลาง และมีรูปร่างคล้ายสตาร์ชจากธัญพืช แต่ใช้เวลาในการคืนตัวช้ากว่า (เวชยันต์ ธนบดีภัทร, 2532)