บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 กระจับ

กระจับเป็นพืชน้ำชนิดหนึ่งที่มีฝักใช้รับประทานได้ อยู่ในวงศ์(Family) Trapaceae หรือวงศ์กระจับ ตำราบางเล่มใช้ชื่อวงศ์ว่า Hydrocaryaceae มีเพียงสกุล(Genus) เดียว คือ *Trapa* เป็นคำย่อมาจาก calcitrapa ซึ่งเป็นอาวุธโบราณที่มีลักษณะเป็นหนามยื่นออกมา ตรงกับลักษณะของผลที่มีเขาคล้ายหนาม แยกเป็นพันธุ์(Species) ต่าง ๆ ได้ 30 ชนิด (Ahmad และ Singh, 1998, สุชาดา ศรีเพ็ญ, 2542)

กระจับ(*Trapa* spp.) มีชื่อสามัญว่า Water Chestnut เช่นเดียวกับแห้ว (Herklots, 1972) แต่ชื่อวิทยาศาสตร์ต่างกัน โดยแห้วมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Eleocharis dulcis* syn. *E. tuberosa* นอกจากนี้แห้วยังมีชื่อสามัญอีกชื่อ คือ Chinese Water-Chestnut ซึ่งแตกต่างจากกระจับ (Vanghan และ Geissler, 1997)

2.1.1 ลักษณะทั่วไปของกระจับ

กระจับเป็นพืชน้ำที่มีอายุปีเดียว ลำต้นเป็นสายยาวทอดตามระดับน้ำ ลำต้นยึดดินในระยะที่เป็นต้นอ่อน เมื่อแก่ลำต้นจะขาดลอย มีรากแตกตามข้อ กลุ่มใบลอยอยู่เหนือน้ำโดยมีก้านใบพองออกช่วยในการลอยตัว ผลกระจับเรียกว่า ฝัก มี 2 หรือ 4 เขา เปลือกนอกเมื่อแก่จัด มีสีดำแข็ง ปอกเปลือกออกได้ยาก ตากแห้งทำเชื้อเพลิงได้ เมล็ดมีสีขาว รสมัน ใช้ประกอบอาหารได้ โดยนากระจับและต้นกระจับแสดงดังภาพที่ 2.1 ก. และ 2.2 ข.

ใบ ใบของกระจับเป็นใบเดี่ยว มี 2 แบบ คือ ใบเหนือน้ำ มีแผ่นใบและก้านใบชัดเจน ใบมีรูปร่างคล้ายสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน แตกออกจากลำต้นแบบตรงกันข้ามรอบลำต้นส่วนยอด ขอบใบหยัก ด้านบนใบมีสีเขียวเข้มเรียบเป็นมัน ท้องใบ ก้านใบและเส้นใบมีขนสีน้ำตาลปนแดง เห็นเส้นใบชัดเจน ก้านใบบางส่วนจะพองป่อง (inflated petiole) ภายในมีลักษณะคล้ายฟองน้ำ ช่วยให้ใบลอยตัวเหนือผิวน้ำ และเมื่อต้นเจริญเต็มที่ใบชุดนี้จะกระดกชูเหนือน้ำเล็กน้อยเรียกลักษณะนี้ว่า ใบตั้งกระทง ส่วนใบใต้น้ำจะแตกเป็นฝอยเล็ก ๆ เหมือนรากจากข้อของลำต้น ออกแบบตรงข้าม สีเขียว ยาวเรียวเป็นพู่คล้ายขนนก

ลำต้น เป็นเถายาว ภายในลำต้นมีช่องอากาศ ยอดของลำต้น คือ กลุ่มใบที่ลอยอยู่ที่ผิวน้ำ ลำต้นแตกกอได้โดยมีไหล

ดอก เป็นดอกสมบูรณ์เพศ สีขาว เป็นดอกเดี่ยว เกิดตามซอกใบเหนือน้ำ ส่วนของดอกประกอบด้วยกลีบเลี้ยง 4 กลีบ ซึ่งต่อไปเจริญเป็นเขา อาจเป็น 2 เขา หรือ 4 เขาแล้วแต่ชนิดของกระจับ

ผล ผลเดี่ยวแบบเปลือกชั้นในแข็ง (drupe) เปลือกชั้นนอกและกลีบเลี้ยงเปลี่ยนแปลงเป็นเขา เรียกส่วนผลว่า ฝัก ภายในมีเมล็ด เป็นส่วนที่ใช้รับประทาน ประกอบด้วยใบเลี้ยงขนาดใหญ่ 1 ใบและมีขนาดเล็กเป็นเกล็ดอีก 1 ใบ

การปลูกและการเก็บเกี่ยว กระจับสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี แต่ส่วนใหญ่นิยมปลูกในฤดูฝน เพื่อจะได้มีน้ำให้กระจับเจริญเติบโตเต็มที่ บริเวณที่ปลูกกระจับไม่ควรมีร่มเงาบัง ควรได้รับแสงเต็มที่ การปลูกทำได้ 2 แบบ คือ การใช้เถาหรือใช้ไหล ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมกันมาก โดยเถาที่ปลูกต้องเป็นเถาอ่อน สังเกตจากใบจะบาง เล็ก มีสีน้ำตาลแดง นำมารวมกัน 2-3 เถา มัดเป็นปมแล้วคีบตรงปมกดลงไปในดิน ส่วนอีกแบบ คือ การใช้ฝัก โดยฝักที่ใช้ปลูกต้องทำการเพาะเสียก่อน จนต้นกระจับ อายุประมาณ 1 เดือน จึงนำมาปลูกโดยใช้เท้ากดฝักกระจับที่เพาะแล้วลงไปในดิน กระจับจะใช้เวลาปลูกจนถึงออกดอกประมาณ 3 เดือน เก็บเกี่ยวผลผลิตชุดแรกได้หลังจากปลูกไปประมาณ 5 เดือนหรืออาจจะสังเกตจากใบกระจับมีสีเหลืองปนเล็กน้อย เกษตรกรจะใช้เรือเก็บฝักกระจับ ช่วงเวลาเก็บแต่ละครั้งห่างกันประมาณ 7-10 วันถ้ากระจับเจริญเติบโตดี สามารถเก็บได้ 5-6 ครั้ง จนต้นกระจับโทรม โดยปกติพื้นที่ 1 ไร่ จะให้ผลผลิตประมาณ 60,000-70,000 ฝัก ซึ่งราคาขายกิโลกรัมละ 8-10 บาท ใน 1 กิโลกรัมจะมีกระจับประมาณ 40 ฝัก จึงนับว่ากระจับเป็นพืชที่เสริมรายได้ให้แก่เกษตรกรที่มีถิ่นที่อยู่ใกล้แหล่งน้ำตามธรรมชาติได้เป็นอย่างดี (เฉลิมพล ไหลรุ่งเรือง, 2537)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก. นากระจับ

ข. ต้นกระจับ

ภาพที่ 2.1 นากระจับและลักษณะทั่วไปของต้นกระจับ ก. นากระจับ ข. ต้นกระจับ

2.1.2 การจำแนกชนิดของกระจับ

จากการศึกษาเรื่องกระจับในประเทศไทย มีการจำแนกกระจับได้ 3 พันธุ์ (สวิง นาถไตรภพ และคณะ, 2527, สุชาดา ศรีเพ็ญ, 2542) ดังนี้

1. **กระจับเขาแหลม** ลักษณะผลมีเขาแหลมสอง 2 ข้าง นิยมปลูกกันมากในประเทศไทย เรียกว่า กระจับ บางท้องถิ่นเรียกตามลักษณะเขาว่า เขาควาย เพราะเขาแหลมโค้งลงคล้ายเขาควาย ดังภาพที่ 2.2 ก.

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Trapa bispinosa* Roxb. Var. *incisa* Franch. & Sav
ชื่อพ้อง *T. incisa* Sieb & Zucc., *T. bicornis* Osb.
ชื่ออื่น water chestnut, tinghara nut, singhara nut, water caltrops

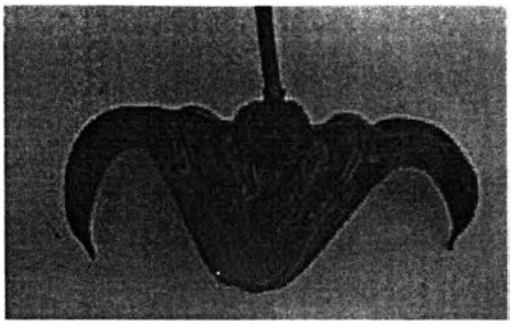
2. **กระจับเขาทู่** มีลักษณะและขนาดของส่วนต่าง ๆ ใกล้เคียงกับกระจับเขาแหลมมาก ยกเว้นผลที่มีเขา 2 ข้างมีลักษณะมนทู่ ดังภาพที่ 2.2 ข.

ชื่อวิทยาศาสตร์ *T. bicornis* Osb. Var. *cochinchinensis* (Lour.) Gluck ex Steen.
ชื่ออื่น ling nut, water caltrops

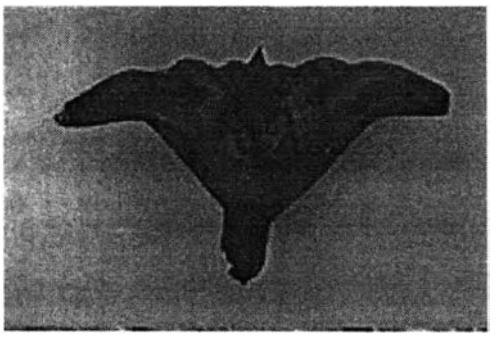
3. **กระจับสี่เขาหรือกระจ่อม** ลักษณะผลมีเขาแหลมสี่ 4 เขา แต่ขนาดผลเล็กกว่ากระจับมาก พบตามแหล่งน้ำในภาคกลาง ภาคเหนือและภาคอีสานนำมารับประทานแต่ไม่นิยมกันมากนัก นิยมปลูกเป็นไม้ประดับ มีอายุหลายปี ดังภาพที่ 2.2 ค.

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Trapa natans L. var pumula Nakano*
ชื่อพ้อง *T. quadrispinosa* Roxb., *T. maximowiezil* Korsh.
ชื่ออื่น water caltrops, Jesuit's nut, ling nut กระจับสี่เขามะแง่ง

ในการทดลองใช้กระจับเขาแหลมเป็นวัตถุดิบเนื่องจากเป็นพันธุ์ที่มีการปลูกมากในประเทศไทย



ก. กระจับเขาแหลม



ข. กระจับเขาทู่

ค. กระจับสี่เขา

ภาพที่ 2.2 ฝักกระจับพันธุ์ต่าง ๆ ก. กระจับเขาแหลม ข. กระจับเขาทู่ ค. กระจับสี่เขา

2.1.3 การใช้ประโยชน์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระจับ

โดยทั่วไปในเมล็ดกระจับสดมีปริมาณสตาร์ชสูงถึงร้อยละ 16 โดยน้ำหนัก และมีโปรตีนอยู่ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก การรับประทานกระจับควรทำให้สุก เนื่องจากมีสารที่เป็นอันตรายต่อระบบหัวใจ แต่สามารถทำลายสารนี้ได้ถ้ามีการต้มเป็นเวลา 1 ชั่วโมง (Herklot, 1972, Vaughan และ Geissler, 1997)

กระจับเขาแหลม(*Trapa bispinosa* Roxb.) มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางใต้ของเอเชีย เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ อินเดีย ศรีลังกา แคชเมีย ปากีสฐาน แอฟริกาเขตร้อน(Tropical Africa) และแอฟริกาเหนือ(Northern Africa) เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกกันมากในภาคกลางของประเทศไทย เรียกว่า กระจับหรือเขาควาย ชาวอินเดีย ศรีลังกา เรียก สิงหารา นัท (singhara nut หรือ thinghara nut) ในประเทศอินเดียมีการขายกระจับทั้งแบบสดและต้ม ผลที่ไม่โตเต็มที่ เรียกว่า milky water chestnut มีการรับประทานทั้งแบบสดและทำให้สุก ผลที่แก่จัด ใช้ประกอบอาหารได้ทั้งคาวและหวาน ส่วนผลที่ทำแห้งจะขายเช่นเดียวกับพวกนัท หรือบดเป็นแป้งเรียกว่า แป้งสิงหารา (singhara flour) ใช้ทำขนมปังและขนมหวาน นอกจากนี้ชาวอินเดีย และชาวศรีลังกา นำผลกระจับมาบดสำหรับทำแป้งสี(gulal) สำหรับใช้ในพิธีทางศาสนา (The Holi festival) (Ahmad และ Singh,1998) และมีการแปรรูปเป็นกระจับกระป๋อง เช่น กระจับในน้ำ ในน้ำเกลือ ใน soyabean sauce (Kapur, 1980) ปัจจุบันประเทศไทยก็มีการผลิตกระจับกระป๋องจำหน่ายทั้งในประเทศและส่งออก (เฉลิมพล ไหลรุ่งเรือง, 2537)

กระจับเขาแหลม *Trapa bicornis* เรียกว่า ling หรือ ling kok เป็นชื่อพ้องของ กระจับเขาแหลม *Trapa bispinosa* Roxb. เจริญเติบโตอยู่ในประเทศจีน ญี่ปุ่น และเกาหลี มีการรับประทานโดยการต้ม(ชาวจีนนิยมรับประทานกระจับต้มในเทศกาลไหว้พระจันทร์) หรือเก็บรักษาโดยการแช่น้ำผึ้งหรือน้ำเชื่อม มีการทำแป้ง(flour) จากผลกระจับ เรียกว่า ling kok fan (Herklot, 1972) แป้งใช้ทำขนมปังและซุปได้(พัทธรา นาสารีย์, 2527) กระจับเป็นพืชที่มีความสำคัญในประเทศจีนมาตั้งแต่ก่อนศตวรรษที่ 20 (Vaughan และ Geissler, 1997)

ส่วนกระจับสี่เขา *Trapa natans* ซึ่งเป็นกระจับที่มีอยู่มากแถบยุโรป ได้มีรายงานว่าเคยใช้เป็นอาหารและใช้ในทางการแพทย์ด้วย(Heywood, 1978) แต่ในประเทศไทยไม่นิยมนำกระจับสี่เขามาเป็นอาหาร(สวิง นาถไตรภพ และคณะ, 2527) ในประเทศอิตาลีได้นำส่วนผลของกระจับสี่เขามาทำเป็นของที่ระลึก (Brouk, 1975 อ้างใน พัทธรา นาสารีย์, 2527) เช่นเดียวกับประเทศ

พม่า ที่มีการทำของที่ระลึกจากผลกระจับสี่เขาส่งออกไปยังประเทศอิตาลีด้วย (Ahmad และ Singh,1998) นอกจากนี้ยังมีกระจับสี่เขา *Trapa natans* L. หลายพันธุ์ที่เจริญเติบโตอยู่ตามธรรมชาติ ใน Saga ประเทศญี่ปุ่น แต่มีบางพันธุ์ที่ได้รับการส่งเสริมให้ปลูกกระจับในนาข้าวแทนการปลูกข้าวตามนโยบายลดการผลิตข้าว ซึ่งได้ใช้กระจับสำหรับการผลิต Shochu-brewing และใช้ประกอบอาหาร(Hizukuri และคณะ, 1988)

งานวิจัยที่ได้ศึกษาสมบัติของกระจับพันธุ์ต่าง ๆ ทั้งในส่วนของเมล็ดกระจับและสกัดเป็นสตาร์ช มีรายงานไว้ ดังนี้

Rodrigues และคณะ(1964) ศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของเมล็ดกระจับสดพันธุ์เขาแหลมที่ปลูกในประเทศอินเดีย เพื่อผลิตกระจับกระป๋อง พบว่าความแก่อ่อนของกระจับมีผลต่อคุณภาพของกระจับกระป๋องในน้ำเกลือ จากการแบ่งระดับความแก่อ่อนของเมล็ดกระจับ โดยใช้วิธีแช่เมล็ดกระจับในน้ำเกลือที่ความเข้มข้นต่าง ๆ สามารถแบ่งกระจับได้ 3 เกรด คือ กระจับอ่อน (under mature) กระจับแก่(mature) และกระจับแก่จัด(overmature) โดยกระจับอ่อนเป็นกระจับที่ลอยในน้ำเกลือเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ กระจับแก่เป็นกระจับที่จมในน้ำเกลือเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ แต่ลอยในน้ำเกลือเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ กระจับแก่จัดเป็นกระจับที่จมในน้ำเกลือเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์

จากการศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของเมล็ดกระจับ พบว่าเมื่อกระจับแก่มากขึ้น ปริมาณสตาร์ชและของแข็งที่ละลายได้ในแอลกอฮอล์ เพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณความชื้นและน้ำตาลลดลง ในขณะที่ความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อนำกระจับมาผลิตเป็นกระจับกระป๋องในน้ำเกลือ พบว่า กระจับแก่จัดซึ่งมีปริมาณสตาร์ชสูง(8.2-10.6%) จะให้กระจับกระป๋องที่มีเนื้อสัมผัสแข็งมาก ความหวานน้อย และน้ำเกลือมีลักษณะขุ่น ส่วนกระจับอ่อน จะให้กระจับกระป๋องที่มีขนาดเล็กและเนื้อสัมผัสนิ่มมาก ในขณะที่กระจับแก่จะให้กระจับกระป๋องที่มีคุณภาพดีที่สุด เนื้อสัมผัสแน่นและกลิ่นรสดี

จากงานวิจัยดังกล่าวจะเห็นได้ว่า กระจับแก่จัดไม่เหมาะในการนำไปผลิตกระจับกระป๋อง เนื่องจากจะให้กระจับกระป๋องที่มีคุณภาพต่ำ แต่น่าจะมีความเหมาะสมในการผลิตเป็นแป้งเนื่องจากมีปริมาณสตาร์ชสูง

พัทธรา นาสารีย์(2527) ได้รายงานผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกระจับพันธุ์เขาแหลม(*Trapa bispinosa* Roxb.) และกระพันธุ์เขาหู่(*Trapa bicornis* Osb. Var. *cochinchinensis*) โดยส่งตัวอย่างเมล็ดแห้งของกระจับ ชนิดละ 1 กิโลกรัม เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี โดยกองเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตร ให้ผลดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของกระจับพันธุ์เขาแหลมและเขาหู่

องค์ประกอบทางเคมี	กระจับเขาแหลม (*Trapa bispinosa* Roxb.)	กระจับเขาหู่(*Trapa bicornis* Osb. Var. *cochinchinensis*)[1]
ความชื้น(%)	8.30	8.40
โปรตีน(%)	14.17	10.52
น้ำมัน(%)	0.45	0.59
เถ้า(%)	2.96	2.46
กาก(%)	1.57	1.72
คาร์โบไฮเดรต(%)	72.55	76.31

[1]เปลี่ยนชื่อวิทยาศาสตร์ของกระจับเขาหู่จากต้นฉบับเดิมคือ *Trapa bicomis* Osb. เป็น *Trapa bicornis* Osb. Var. *cochinchinensis* เนื่องจากปัจจุบันชื่อ *Trapa bicmis* Osb. เป็นชื่อพ้องของกระจับเขาแหลม

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกระจับทั้ง 2 พันธุ์ ปรากฏว่า มีองค์ประกอบทางเคมีที่ใกล้เคียงกัน องค์ประกอบที่มีมากที่สุด คือ คาร์โบไฮเดรต โดยกระจับเขาแหลมมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำกว่าเล็กน้อย แต่มีปริมาณโปรตีนสูงกว่ากระจับเขาหู่ อย่างไรก็ตามกระจับทั้ง 2 พันธุ์ก็มีปริมาณโปรตีนสูง(10.52-14.17 %)ใกล้เคียงกับปริมาณโปรตีนในธัญพืช เช่น ข้าวโพดและข้าวสาลี (8-10 และ 8-13 % ตามลำดับ) (Knight, 1969) โดยมีงานวิจัยที่ได้ศึกษาการผลิตแป้ง (flour)จากแหล่งต่าง ๆ เช่น กล้วย เผือก เพื่อเป็นแหล่งแป้งชนิดใหม่ แต่เนื่องจากเป็นแป้งที่มีปริมาณโปรตีนต่ำ จึงมีข้อจำกัดด้านคุณค่าทางโภชนาการและส่งผลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ (functional property)บางประการของแป้ง(Godoy และคณะ, 1992) นอกจากนี้ยังมีรายงานด้านคุณค่าทางโภชนาการของกระจับไว้ว่า เป็นแหล่งเกลือแร่ที่ดีเมื่อเทียบกับอาหารชนิดอื่น ๆ (Murty, 1962)

ดังนั้นจึงคาดได้ว่าสามารถใช้กระจับเป็นวัตถุดิบในการผลิตแป้ง(flour)และเป็นแป้งที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง

เมล็ดกระจับมีปริมาณสตาร์ชอยู่ประมาณ 16 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก) โดยมีปริมาณสตาร์ชใกล้เคียงกับแหล่งของสตาร์ชในทางการค้าบางชนิด เช่น มันเท้ายายม่อม 17-20 เปอร์เซ็นต์ มันสำปะหลัง 24 เปอร์เซ็นต์(Corbishley และ Miller, 1984) มันฝรั่ง 13.5-22 เปอร์เซนต์(Mitch, 1984) มันฝรั่ง 16-30 เปอร์เซ็นต์ (Knigh, 1969) ดังนั้นกระจับจึงเป็นแหล่งสตาร์ชที่ดีอีกชนิดหนึ่ง มีผู้สนใจสกัดสตาร์ชจากกระจับพันธุ์ต่าง ๆ เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพ ดังนี้

ปริมาณอะมิโลส

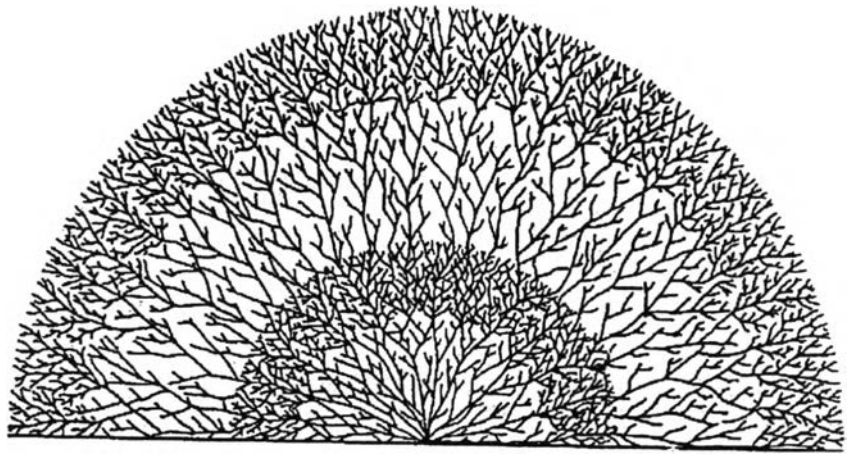
สตาร์ชประกอบด้วยพอลิเมอร์ 2 ชนิด คือ อะมิโลสและอะมิโลเพคติน ซึ่งทั้ง 2 ชนิด เป็นโฮโมพอลิเมอร์ คือ มีกลูโคสเป็นโมโนเมอร์เหมือนกัน โดยอะมิโลสเป็นพอลิเมอร์สายตรงที่ กลูโคสเรียงต่อกันด้วยพันธะ $\alpha(1,4)$ ส่วนอะมิโลเพคติน เป็นพอลิเมอร์ที่มีกิ่งก้าน ประกอบด้วยกลูโคสต่อเป็นโซ่ตรงด้วยพันธะ $\alpha(1,4)$ และทุก ๆ 20-30 หน่วยของพันธะ $\alpha(1,4)$ จะต่อด้วยพันธะ $\alpha(1,6)$ ทำให้มีลักษณะเป็นกิ่งก้าน ทั้งอะมิโลสและอะมิโลเพคตินรวมกันจะเท่ากับหรือมากกว่า 99 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแห้งของแป้ง ดังนั้นเมื่อทราบปริมาณสตาร์ช(starch) และปริมาณอะมิโลส จะสามารถหาค่าอะมิโลเพคตินได้ โดยทั่วไปพบว่าแป้งแต่ละชนิดมีอัตราส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพคตินแตกต่างกัน ทำให้สมบัติของแป้งแตกต่างกันด้วย

Murty(1962) รายงานการศึกษาปริมาณอะมิโลสของกระจับ(*Trapa bispinosa* Roxb.) ที่ปลูกในประเทศอินเดีย ปรากฏว่ามีปริมาณอะมิโลส 15 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ Hizukuri และคณะ (1988) รายงานไว้ว่า กระจับ(*Trapa natans* L. var. *bispinosa* Makino) ที่ปลูกในประเทศญี่ปุ่น มีปริมาณอะมิโลส 23 เปอร์เซ็นต์ และมีค่า iodine affinity ของสตาร์ช เป็น 4.95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lii และคณะ(1991) ที่ได้รายงานค่า iodine affinity ของสตาร์ชจากกระจับ(*Trapa natans* L.) ที่ปลูกในประเทศไต้หวัน ว่ามีค่า iodine affinity 5.07 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งใกล้เคียงสตาร์ชจากพืชตระกูลถั่ว เช่น สตาร์ชถั่วเขียวและถั่วแดง(6.70 และ 4.83 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) โดยกล่าวว่าแป้งที่เหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์วุ้นเส้นควรมีปริมาณอะมิโลสสูง หรือ มีค่า iodine affinity สูง (6-7 เปอร์เซนต์) ซึ่งเป็นลักษณะของสตาร์ชถั่วเขียว

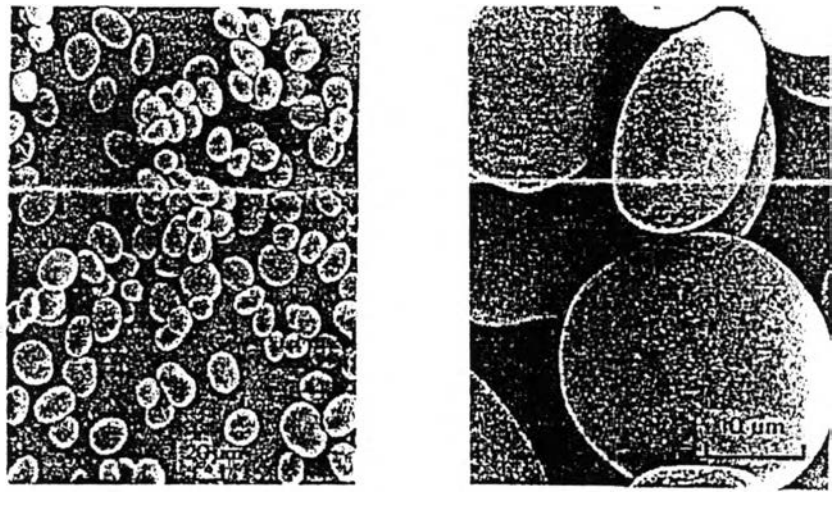
ลักษณะของเม็ดสตาร์ช

พืชมีการสะสมพลังงานในรูปของเม็ดสตาร์ช โดยเมื่อพืชสังเคราะห์แสงได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว จะมีกระบวนการลำเลียงน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวมารวมเป็นพอลิเมอร์ขนาดใหญ่ 2 ชนิด คือ อะมิโลส และอะมิโลเพคติน ในการสังเคราะห์เม็ดสตาร์ช พอลิเมอร์ของอะมิโลสและอะมิโลเพคตินจะจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ ตามแนวรัศมีของเม็ดแป้ง ดังภาพที่ 2.3 และ 2.5 โดยเริ่มขยายตัวจากนิวเคลียส เรียกว่า ไฮลัม(hilum) สตาร์ชแต่ละชนิดมีลักษณะรูปร่างและขนาดที่แตกต่างกัน ตั้งแต่เม็ดสตาร์ชที่มีขนาดเล็กที่สุดและมีรูปร่างหลายเหลี่ยมของแป้งข้าว จนถึงเม็ดสตาร์ชที่มีขนาดใหญ่ที่สุดและมีรูปร่างเป็นรูปไข่ของแป้งมันฝรั่ง โดยความแตกต่างของขนาดเม็ด สตาร์ชมีตั้งแต่ 2-100 μm (Oates, 1997) ซึ่งวิธีการตรวจสอบลักษณะของเม็ดสตาร์ชโดยใช้กล้องจุลทรรศน์เป็นวิธีที่รวดเร็วและง่ายที่สุด สามารถตรวจสอบลักษณะต่าง ๆ ได้ เช่น รูปร่าง ขนาด การกระจายตัวของขนาดเม็ดสตาร์ช และตำแหน่งของ hilum รวมทั้งสามารถตรวจสอบความเสียหายและการปนเปื้อนของแป้งชนิดอื่นได้อีกด้วย การตรวจสอบลักษณะเม็ดสตาร์ชด้วยกล้องจุลทรรศน์ สามารถทำได้ทั้งภายใต้แสงปกติ(normal light) และ ภายใต้แสงโพลาไรซ์ (polarized light) แต่อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ ถ้าผู้ใช้ไม่มีความชำนาญ ผลที่ได้อาจผิดพลาดได้และยังมีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถดูโครงสร้างพื้นผิวของเม็ดสตาร์ช เนื่องจากกำลังขยายไม่เพียงพอ ดังนั้น การใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด(Scanning Electron Microscope : SEM) สามารถตรวจสอบโครงสร้างพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชอย่างละเอียดได้ เนื่องจากมีกำลังขยายมากกว่าหลายร้อยเท่า สามารถดูเม็ดสตาร์ชที่มีขนาด 70 °A หรือเล็กกว่านั้นได้ ถ้าพบว่าสภาพพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชไม่เรียบหรือแตกร้าว จะส่งผลให้สมบัติทางกายภาพของสตาร์ชเปลี่ยนแปลงไป

Hizukuri และคณะ(1988) ศึกษาขนาดและรูปร่างของสตาร์ชกระจับ (*Trapa natans* L. var. *bispinosa* Makino) ที่ปลูกในประเทศญี่ปุ่น ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด(SEM) พบว่าเม็ดสตาร์ชส่วนใหญ่มีรูปร่างกลม(round) รูปไข่(elliptical) และรูปร่างคล้ายมันฝรั่ง(potato like) ดังแสดงในภาพที่ 2.4 มีขนาดความยาวอยู่ในช่วง 10-30 μm มีลักษณะพื้นผิวเรียบ ซึ่งให้ผลทำนองเดียวกับ Lii และคณะ(1991) โดยศึกษาลักษณะของเม็ดสตาร์ชจากกระจับ(*Trapa natans* L.) ด้วย SEM พบว่าเม็ดสตาร์ชส่วนใหญ่มีรูปร่างเป็นรูปไข่(elliptical) มีขนาดอยู่ในช่วง 10-40 μm และลักษณะพื้นผิวเรียบ



ภาพที่ 2.3 การจัดเรียงตัวภายในเม็ดสตาร์ชของอะมิโลสและอะมิโลเพคตินตามแนวรัศมีของเม็ดสตาร์ช(Charley, 1982)



ภาพที่ 2.4 ลักษณะรูปร่าง ขนาด และสภาพพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชจากกระจับด้วย SEM

อย่างไรก็ตามการตรวจสอบลักษณะเม็ดสตาร์ชด้วยกล้องจุลทรรศน์ภายใต้แสงปกติและ SEM ไม่สามารถแสดงโครงสร้างภายในเม็ดสตาร์ชได้ การตรวจสอบลักษณะเม็ดสตาร์ชภายใต้แสงโพลาไรซ์ สามารถแสดงการจัดเรียงตัวของโมเลกุลภายในเม็ดสตาร์ชได้ โดยพิจารณาจากลักษณะโครงสร้าง Birefringence ซึ่งเป็นคุณสมบัติในการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ของเม็ดสตาร์ช ทำให้เกิดแนวสีดำและแนวสีดำจะตัดกันที่ ไฮลัม(hilum) (จุดศูนย์กลางของการสังเคราะห์เม็ดสตาร์ช) โดยภายในเม็ดสตาร์ช สายพอลิเมอร์ของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินจะจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ ในแนวตั้งฉากกับพื้นผิวของเม็ดสตาร์ช โดยพื้นที่มืดที่เห็นภายใต้แสงโพลาไรด์

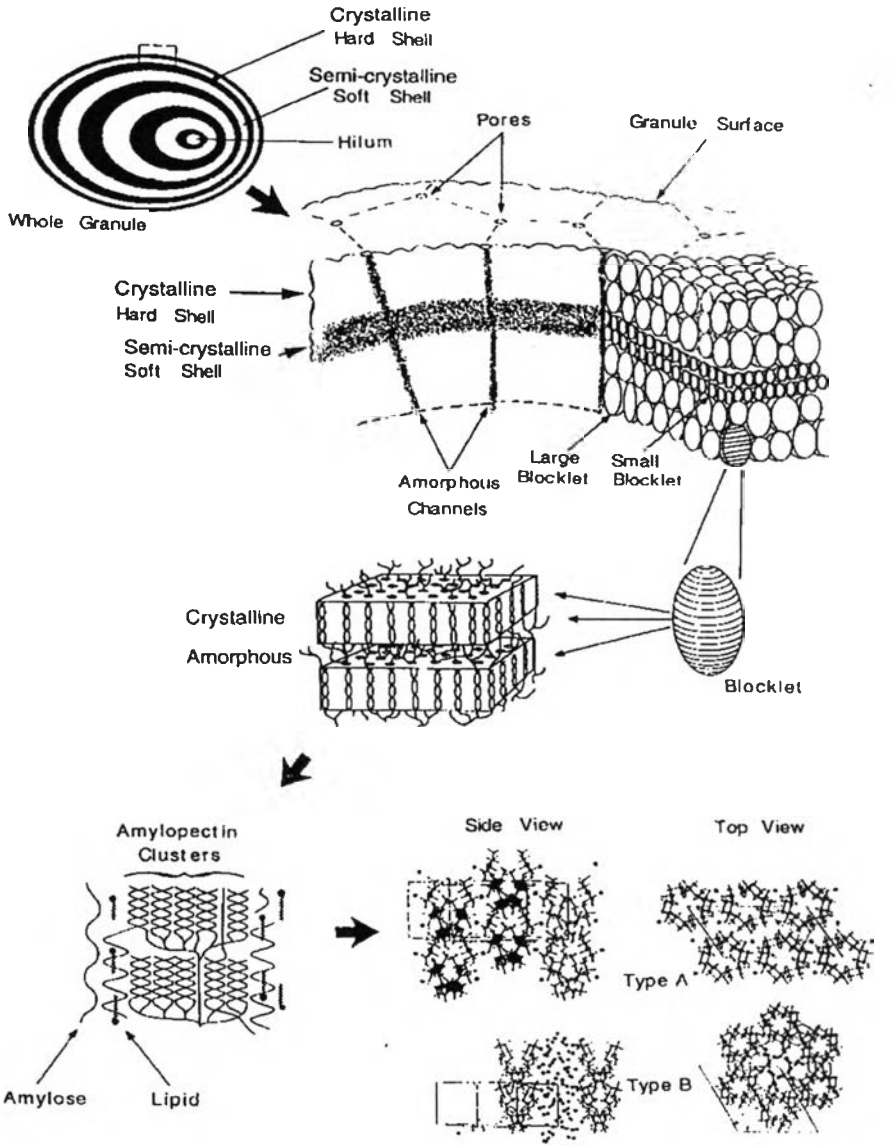
จะเป็นตำแหน่งเฉลี่ยของสายพอลิเมอร์ที่อยู่ในลักษณะตั้งฉากหรือขนานกับแสงโพลาไรซ์ แต่เนื่องจากพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชเป็นเส้นโค้ง ดังนั้นสายพอลิเมอร์บางสายที่ไม่อยู่ในลักษณะตั้งฉากหรือขนานกับระนาบแสงโพลาไรซ์ ทำให้สามารถบิดระนาบแสงและเห็นเป็นพื้นที่สว่างเกิดขึ้น โดยความเข้มของ Birefringece จะขึ้นอยู่กับความหนาของเม็ดสตาร์ช จำนวนและการจัดเรียงตัวของผลึกภายในเม็ดสตาร์ช ซึ่งการตรวจสอบลักษณะ Birefringence สามารถตรวจสอบความเสียหายของเม็ดสตาร์ชได้ หากโครงสร้างผลึกภายในเม็ดสตาร์ชถูกทำลาย ลักษณะ Birefringece จะหายไปด้วย

ลักษณะโครงร่างผลึกภายในเม็ดสตาร์ช

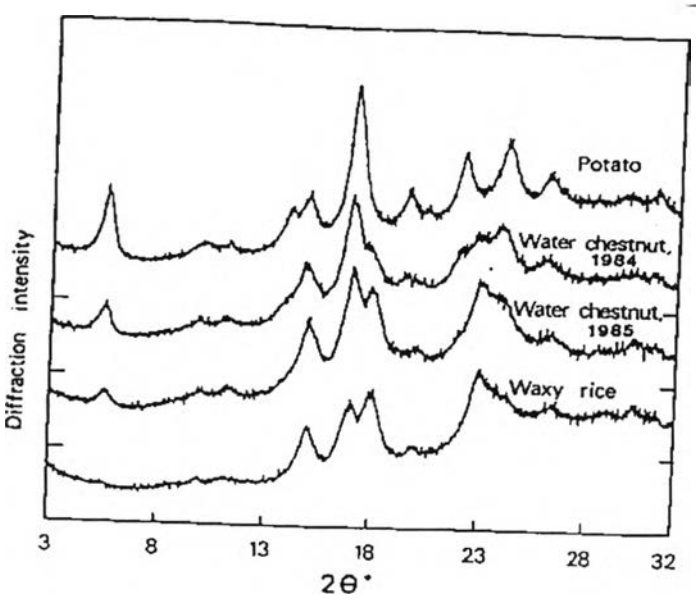
เม็ดสตาร์ชมีโครงสร้างภายในเป็น semi-crystalline คือ มีทั้งส่วนที่เป็นผลึก(crytalline) และส่วนอสัณฐาน(amorphous) ดังภาพที่ 2.5 เมื่อพอลิเมอร์สายตรงของอะมิโลสและ/หรืออะมิโลเพคตินมาเรียงขนานกัน จะเกิดพันธะไฮโดรเจนเชื่อมระหว่าง 2 สายหรือเกิดการรวมตัวกับน้ำ(hydrate bridge) เกิดเป็นพื้นที่ส่วนที่เรียกว่าผลึก หรือ ไมเซล(micelles) เชื่อมกันเป็นร่างแห 3 มิติ(3-dimention network) ด้วยพันธะไฮโดรเจน ความแข็งแรงของร่างแหขึ้นอยู่กับจำนวนโมเลกุลที่มาเชื่อมต่อกันและการจัดเรียงโมเลกุลของเม็ดแป้ง อาจกล่าวได้ว่าผลึกเกิดจากการจัดเรียงตัวของเกลียวอะมิโลเพคตินที่วางขนานกัน โดยทั่วไปส่วนผลึกภายในเม็ดสตาร์ชมีอยู่ประมาณ 15-45 เปอร์เซ็นต์ (Oates, 1997) โดยวัดความเป็นผลึกของเม็ดสตาร์ชได้ด้วย X-ray powder diffraction โดยสามารถแบ่ง X-ray diffraction pattern ของเม็ดสตาร์ชตามธรรมชาติได้ 3 แบบ คือ ผลึกแบบ A เกิดจากการจัดเรียงตัวภายในเม็ดสตาร์ชหนาแน่นมาก ได้แก่ สตาร์ชจากธัญพืชต่าง ๆ ผลึกแบบ B เกิดจากการเรียงตัวกันหลวม ๆ ภายในเม็ดสตาร์ช ได้แก่ พืชหัว เช่น มันฝรั่ง ผลึกแบบ C เกิดจากการจัดเรียงตัวภายในเม็ดสตาร์ชทั้งแบบ A และ B ได้แก่ สตาร์ชจากมันสำปะหลัง และ สตาร์ชจากพืชตระกูลถั่ว (Hoseney,1994) ส่วนผลึกของอะมิโลสที่เกิดร่วมกับองค์ประกอบอื่น ๆ จะให้ X-ray diffration psttern แบบ V เช่น อะมิโลสจะรวมตัวกับ ไขมัน เป็น amylose-lipid complex เกิดเป็นโครงสร้างผลึกอย่างอ่อนที่ไปเสริมความแข็งแรงให้แก่เม็ดสตาร์ช ทำให้เม็ดสตาร์ชจากธัญพืชพองตัวได้ช้า โดยในการพิจารณารูปแบบของผลึก X-ray diffraction pattern จะพิจารณาได้จากตารางมาตรฐานของ Zobel(1964) ดังตารางในภาคผนวก ก.22

Hizukuri และคณะ(1988) ได้ศึกษาในการศึกษาลักษณะโครงร่างผลึกของเม็ดสตาร์ชจากกระจับปลูกในปี 1984 และ 1985 ด้วย X-ray powder diffraction พบว่าสตาร์ชจากกระจับมีผลึก

X-ray diffraction pattern แบบ Cc และ Ca ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 2.6 โดย ผลึกแบบ Cc เป็นผลึกที่มีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลภายในเม็ดสตาร์ชระหว่างแบบ A และ B ในขณะที่ ผลึกแบบ Ca คือ ผลึกที่มีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลภายในเม็ดสตาร์ชแบบ C ที่ใกล้เคียงผลึกแบบ A โดยพบว่าที่กระจับพันธุ์เดียวกันแต่ปีที่ปลูกต่างกัน ให้ลักษณะโครงสร้างผลึกภายในเม็ดสตาร์ชต่างกัน ได้ตั้งข้อสังเกตว่าอาจเกิดจากอุณหภูมิในช่วงที่ปลูกกระจับในแต่ละปีแตกต่างกัน โดยปี 1985 มีอุณหภูมิสูงกว่าปี 1984 โดยควบคุมการปลูกในนาเดียวกัน และปลูกในช่วงเวลาเดียวกัน คือปลูกในฤดูใบไม้ผลิและเก็บเกี่ยวในฤดูหนาว



ภาพที่ 2.5 ลักษณะโครงร่างผลึกภายในเม็ดสตาร์ชและ X-ray diffraction pattern **ของผลึกแบบ** A **และ** B (Gallant **และคณะ**, 1997)



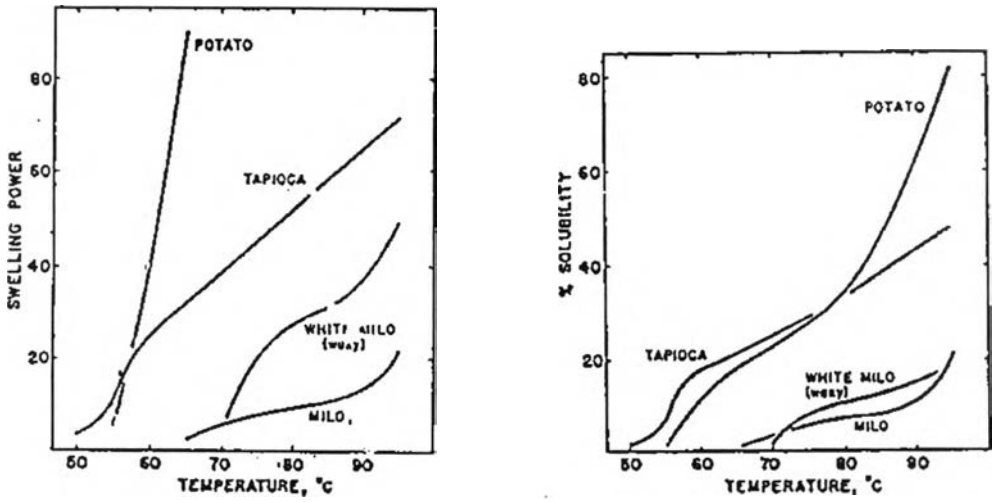
ภาพที่ 2.6 X-ray diffractogram **ของสตาร์ชจากกระจับ**(*Trapa natans* L. var. *bispinosa* Makino) **ที่ปลูกในปี** 1984 **และ** 1985

กำลังการพองตัว(Swelling power) **และ การละลาย**(Solubility)

กำลังการพองตัวและการละลายเป็นสมบัติการดูดซับน้ำของสตาร์ช โดยปกติสตาร์ชไม่ละลายในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนต์ เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลของสตาร์ชที่อยู่ใกล้กัน แต่จะดูดซึมน้ำไว้ได้ประมาณ 25-30 เปอร์เซ็นต์ และมีการพองตัวน้อยมากจนไม่สามารถสังเกตได้(Kerr, 1950) แต่เมื่ออุณหภูมิสูงกว่าช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนต์ พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย โมเลกุลน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ เม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัว โมเลกุลของอะมิโลสและอะมิโลเพคตินที่มีขนาดเล็กและเป็นอิสระกระจายตัวออกมาจากเม็ดแป้งทำให้เกิดสภาพการละลาย กำลังการพองตัวของแป้งจะแสดงเป็นปริมาตรหรือน้ำหนักของเม็ดสตาร์ชที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด เมื่อเม็ดสตาร์ชพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำ สำหรับความสามารถในการละลายจะแสดงเป็นน้ำหนักของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลายได้ (Schoch, 1964)

Hizukuri และคณะ(1988) ได้ศึกษากำลังการพองตัวและการละลายของสตาร์ชกระจับจากพันธุ์ *Trapa natants* L. var. *bispinosa* Makino ที่อุณหภูมิต่าง ๆ คือ 50- 90 องศาเซลเซียส โดยแสดงกราฟความสัมพันธ์ของกำลังการพองตัวและการละลายที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่า รูปแบบ

กำลังการพองตัวและการละลายของสตาร์ชจากกระจับ ในช่วงเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส สตาร์ชมีการพองตัวและการละลายน้อย แต่ช่วงหลังจากอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส กำลังการพองตัวและการละลายก็สูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าสตาร์ชมีการพองตัวแบบ 2 ขั้น ซึ่งสตาร์ชจากกระจับมีรูปแบบการพองตัวและการละลายที่ต่ำใกล้เคียงกับ สตาร์ชข้าวโพด โดยมีค่าสูงกว่าสตาร์ชข้าวโพดเพียงเล็กน้อย Leachและคณะ(1959) ได้ศึกษาโครงสร้างเม็ดสตาร์ชที่ส่งผลต่อกำลังการพองตัวและการละลายของสตาร์ช ดังแสดงในภาพที่ 2.7 โดยพบว่า สตาร์ชจากธัญพืช มีรูปแบบกำลังการพองตัวและการละลาย 2 ขั้น แสดงถึงพันธะภายในเม็ดแป้งที่แตกต่างกัน 2 ชนิด คือ พันธะบริเวณผลึก และบริเวณสัณฐานของเม็ดแป้ง โดยมีการกำลังการพองตัวและการละลายต่ำเนื่องจากมีปริมาณอะมิโลสสูง ส่วนสตาร์ชจากส่วนราก เช่น มันสำปะหลัง มีการพองตัวขั้นเดียว โดยมีกำลังการพองตัวและการละลายสูงกว่าสตาร์ชจากธัญพืช ส่วนสตาร์ชจากพืชหัว เช่น มันฝรั่ง มีการพองตัวขั้นเดียว มีการพองตัวสูงและพองตัวที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวภายในอ่อนแอ และหมู่ฟอสเฟตภายในสตาร์ชทำให้เกิดการพองตัวสูงขึ้น เนื่องจากสามารถก่อให้เกิดแรงผลักทางไฟฟ้าได้



ภาพที่ 2.7 รูปแบบกำลังการพองตัวและการละลายของสตาร์ชชนิดต่าง ๆ

สมบัติด้านความหนืด

ความหนืดเป็นสมบัติเฉพาะตัวของสตาร์ช เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เมื่อแป้งได้รับความร้อนจะดูดซึมน้ำและพองตัวขยายใหญ่ขึ้น น้ำบริเวณรอบ ๆ เม็ดสตาร์ชน้อยลง ทำให้เม็ดสตาร์ชเคลื่อนไหวยาก จึงมีความหนืดเกิดขึ้น การหาความหนืดของสตาร์ช มีหลายวิธี แต่ที่ใช้กันแพร่หลายมากที่สุด คือ การใช้ Brabender viscoamylograph ซึ่งสามารถติดตามความหนืดตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงตลอดการให้ความร้อนและทำให้เย็น(heating and cooling cycle)

Hizukuriและคณะ(1988) ได้รายงานสมบัติด้านความหนืด(Pasting properties)ของสตาร์ชกระจับ จากการวิเคราะห์ด้วย Brabender viscoamylograph ที่ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ ในตัวทำละลาย 2 ชนิด คือ น้ำ และ 3-methy-1-butanol เมื่อใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย พบว่า อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด(pasting temperature) เป็น 71 องศาเซลเซียส โดยมีค่าใกล้เคียงกับ Kuzu starch แต่มีค่าต่ำกว่าสตาร์ชข้าวโพด และลักษณะกราฟของสตาร์ชกระจับเป็นกราฟที่มีลักษณะความหนืดต่ำ(ความหนืดสูงสุด 310 B.U.) ความหนืดคงที่ในระหว่างการให้ความร้อน จึงไม่มีช่วง Breakdown และความหนืดเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อทำให้เย็น โดยลักษณะกราฟที่มีความหนืดต่ำนี้มีลักษณะใกล้เคียงกับสตาร์ชจากธัญพืช เช่น สตาร์ชข้าวสาลีและสตาร์ชข้าวโพด แต่เมื่อใช้ 3-methy-1-butanol เป็นตัวทำละลาย พบว่า กราฟที่ได้มีความหนืดสูงกว่าการใช้น้ำเป็นตัวทำละลายเล็กน้อย ซึ่งให้ผลแตกต่างจากสตาร์ชจากธัญพืช ดังนั้น การที่สตาร์ชกระจับมีลักษณะความหนืดต่ำ อาจเกิดจากโครงสร้างภายในโมเลกุลมีความแข็งแรงสูง ไม่ได้เกิดจากผลของปริมาณไขมันที่มีอยู่ในสตาร์ช

Lii และคณะ(1991) ได้รายงานสมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชกระจับ โดยวิเคราะห์ด้วย Brabender viscoamylograph พบว่า มีรูปแบบความหนืดแบบสตาร์ชที่มีการพองตัวน้อย (restricted swelling type) หรือ แบบ C กราฟที่ได้ไม่มีความหนืดสูงสุด(peak viscosity)

Schoch และ Maywald (1968) ได้แบ่งรูปแบบความหนืดของสตาร์ชที่วัดด้วย Brabender viscoamylograph ตามกำลังการพองตัวของเม็ดสตาร์ช ได้เป็น 4 แบบ ดังภาพที่ 2.5 โดย

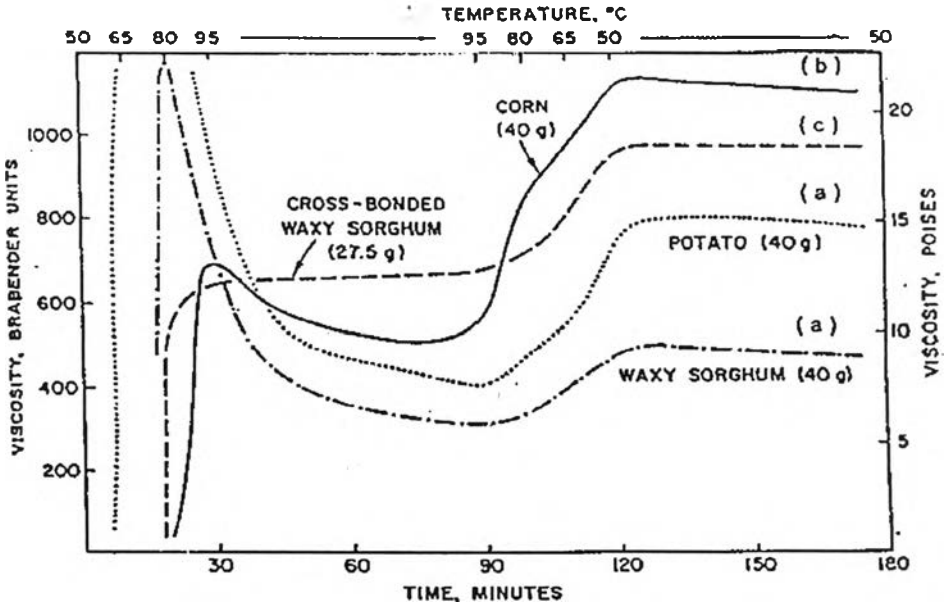
แบบ a เป็นกราฟของเม็ดสตาร์ชที่มีรูปแบบที่มีกำลังการพองตัวสูง(high-swelling starches) เช่น สตาร์ชมันฝรั่ง สตาร์ชข้าวฟ่าง สตาร์ชจากธัญพืช เมื่อให้ความร้อนแก่สตาร์ช เม็ด

สตาร์ชจะมีกำลังการพองตัวสูง ทำให้แรงที่ยึดกันภายในโมเลกุลอ่อนตัวลง เม็ดสตาร์ชแตกออกเมื่อได้รับแรงเฉือน ลักษณะกราฟความหนืดจึงสูงชันแล้วลดลงอย่างรวดเร็วระหว่างการต้มสุก

แบบ b เป็นกราฟของเม็ด สตาร์ชที่มีรูปแบบที่มีกำลังการพองตัวปานกลาง (moderate-swelling starches) ได้แก่สตาร์ชจากธัญพืชต่าง ๆ เม็ดสตาร์ชไม่พองตัวมากจนถึงขั้นแตกออก จึงได้ลักษณะกราฟความหนืดที่สูงชันน้อยกว่าและเกิดการสลายตัวระหว่างการต้มสุกน้อยกว่า

แบบ c เป็นกราฟของเม็ด สตาร์ชที่มีรูปแบบที่มีกำลังการพองตัวน้อย(restricted-swelling starches) ได้แก่ สตาร์ชจากถั่ว เช่น ถั่วเขียว และสตาร์ชแบบครอสลิงหรือครอสบอนด์ วิธีครอสลิงจะทำให้การพองตัวและการละลายของเม็ดสตาร์ชลดลง เม็ดแป้งที่พองตัวมีเสถียรภาพมากขึ้น ลักษณะกราฟความหนืดจึงไม่ปรากฏยอดสูงสุด(peak viscosity) ระหว่างต้มสุกความหนืดอาจคงที่หรือสูงขึ้น

แบบ d กราฟของเม็ดสตาร์ชที่มีการพองตัวน้อยมาก(highly-restricted swelling starches) ได้แก่ สตาร์ชที่มีปริมาณอะมิโลสสูง เช่น amylomize starch ซึ่งมีอะมิโลสสูงถึง 50-80 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีแสดงในภาพ 2.8 เนื่องจากสตาร์ชไม่เกิดการพองตัวจึงไม่ปรากฏความหนืด



ภาพที่ 2.8 รูปแบบความหนืดของสตาร์ชชนิดต่าง ๆ เมื่อแบ่งตามกำลังการพองตัว

ความสามารถในการย่อยด้วยเอนไซม์ amylase

ความสามารถในการย่อยเม็ดสตาร์ชของเอนไซม์ amylase ขึ้นอยู่กับ ชนิดของสตาร์ชและคุณสมบัติของเอนไซม์ โดยทั่วไปสตาร์ชจากธัญพืชถูกย่อยด้วยเอนไซม์ amylase ได้มากที่สุด โดยเฉพาะสตาร์ชจากข้าวโพดข้าวเหนียว(waxy corn starch) และสตาร์ชจากข้าวเหนียว(waxy rice starch) ในขณะที่สตาร์ชมันฝรั่งถูกย่อยได้น้อยที่สุด Hizukuri และคณะ(1988) ได้รายงานความสามารถในการย่อยสตาร์ชจากกระจับด้วยเอนไซม์ α-amylase และ glucoamylase พบว่าเอนไซม์ทั้ง 2 ชนิด มีความสามารถในการย่อยสตาร์ชกระจับได้ต่ำกว่าสตาร์ชมันเทศและอยู่ระหว่างสตาร์ชข้าวโพดและสตาร์ชมันฝรั่ง โดนย่อยสตาร์ชมันฝรั่งได้น้อยที่สุด

จะเห็นได้ว่าจากรายงานการใช้ประโยชน์และงานวิจัยของกระจับพันธุ์ต่าง ๆ ยังไม่มีงานวิจัยในส่วนของการผลิตแป้ง(flour)กระจับ รวมทั้งการศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งกระจับ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้สนใจศึกษาการผลิตแป้งกระจับ รวมทั้งการสกัดสตาร์ชจากกระจับพันธุ์เขาแหลมที่มีการปลูกกันมากในประเทศ เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของสตาร์ชกระจับ สำหรับใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานและเป็นแนวทางการใช้ประโยชน์ของแป้งกระจับได้มากยิ่งขึ้น

2.2 แป้ง(flour)

คำว่าแป้งโดยทั่วไปใช้เรียกผลิตภัณฑ์แป้งได้ทั้ง ฟลาวร์(flour) และ (starch) โดยฟลาวร์และสตาร์ชมีองค์ประกอบทางเคมีต่างกัน จึงส่งผลให้มีสมบัติและการใช้ประโยชน์ได้แตกต่างกันด้วย ทั้งฟลาวร์และสตาร์ชได้จากการแปรรูปสารคาร์โบไฮเดรตที่พืชเก็บไว้ตามส่วนต่าง ๆ ในรูปของสตาร์ช โดยอาศัยหลักการลดขนาด(size reduction)หรือการโม่(milling) เช่นเดียวกัน แต่การผลิตสตาร์ชมีขั้นตอนที่สกัดเอาเฉพาะสตาร์ช โดยกำจัดส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น โปรตีน ไขมัน เส้นใย ออกไปให้ได้มากที่สุด โดยอาจใช้สารเคมีช่วยในการสกัดให้สตาร์ชบริสุทธิ์ ส่วนการผลิตฟลาวร์ มีเพียงการโม่เพื่อลดขนาดและแยกขนาด ดังนั้นส่วนประกอบในฟลาวร์จะมีสตาร์ชเป็นส่วนประกอบหลักและมีองค์ประกอบอื่น ๆ ปนอยู่มากหรือมีองค์ประกอบเคมีเท่ากับที่มีในวัตถุดิบเดิมเกือบทั้งหมด

หอสมุดกลาง ... วิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สตาร์ชเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในพืชชั้นสูง ได้จากการสังเคราะห์แสงของพืช โดยเก็บอยู่ในรูปของ เม็ดสตาร์ช (starch granule) พืชสะสมสตาร์ชไว้ตามส่วนต่าง ๆ เช่น เมล็ด ราก หัว ลำต้นและผล เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงาน ดังนั้น จึงมีแป้งอยู่มากมายตามธรรมชาติ แต่แหล่งที่ใช้ผลิตแป้งในเชิงการค้าส่วนใหญ่ได้จากเมล็ด โดยเฉพาะเมล็ดธัญพืช เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลีและข้าว นอกจากนี้ยังได้จากส่วนหัวและราก เช่น มันฝรั่ง มันสำปะหลัง มันเทศ จากลำต้น เช่น สาคู อย่างไรก็ตามภูมิประเทศบนโลกที่แตกต่างกัน ส่งผลให้พืชที่ใช้เป็นแหล่งผลิตแป้งที่สำคัญในแต่ละพื้นที่แตกต่างกันด้วย โดยทวีปอมริกาเหนือ/กลาง มีข้าวโพดและข้าวสาลีเป็นแหล่งแป้งที่สำคัญ ทาง ยุโรปมีมันฝรั่งและแถบเอเชีย แอฟริกา มีข้าวและมันสำปะหลัง เป็นต้น

สำหรับประเทศไทยอุตสาหกรรมแป้งถือว่าเป็นอุสาหกรรมการแปรรูปที่สำคัญของประเทศ โดยแป้งที่มีการผลิตมากที่สุด คือ แป้งมันสำปะหลัง(flour/starch tapioca) อันดับรองลงมา คือ แป้งข้าว(rice flour) ส่วนแป้งข้าวโพดมีโรงงานงานผลิตเพียง 1 โรง จากการสำรวจปี 2540 (กล้า ณรงค์, 2542) แต่แป้งที่มีการบริโภคกันมากในประเทศ คือ แป้งสาลี(wheat flour) ซึ่งต้องนำเข้าแป้งสาทีมาแปรรูปเป็นแป้งปีละ 600,000 ตัน และนำเข้าในรูปแป้ง(flour) ปีละ 30,000 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2538) ซึ่งมีงานวิจัยที่ศึกษาการใช้แป้งที่มีในประเทศเพื่อทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมอบ เพื่อเป็นแนวทางการใช้ประโยชน์จากแป้งที่มีในประเทศได้มากยิ่งขึ้น

ปัจจุบันความต้องการแป้งชนิดใหม่มีมากขึ้น เช่น การผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ ต้องการแป้งที่มีขนาดเม็ดแป้งเล็กและมีปริมาณอะมิโลสสูง ดังนั้นเพื่อให้ได้แป้งที่มีสมบัติตามต้องการ นอกจากการดัดแปรแป้งแล้ว ยังมีการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งจากแหล่งต่าง ๆ ที่มีอยู่ในประเทศ เพื่อเป็นทางเลือกใหม่ในการใช้ประโยชน์จากแป้งได้มากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม แป้งแต่ละชนิดมีสมบัติที่แตกต่างกัน นอกจากชนิดของแป้งและยังขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น สายพันธุ์ สภาพการเพาะปลูก ฤดูกาล ความแก่อ่อน และยังขึ้นอยู่กับการผลิตอีกด้วย (อรวรรณ เคหสุขเจริญ, 2529)

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาทั้งการผลิตฟลาวร์และสตาร์ช ดังนั้นต่อไป เมื่อกล่าวถึงฟลาวร์จะใช้คำว่า แป้งแทน และในกรณีที่กล่าวถึงสตาร์ชจะใช้ทับศัพท์ว่า สตาร์ช

การผลิตแป้งหรือสตาร์ชมีขั้นตอนสำคัญที่เหมือนกันคือ การลดขนาด(size reduction) หรือการโม่(milling)

2.3 การโม่(milling)

การลดขนาด(size reduction) หรือ การย่อยขนาด(comminution) เป็นการใช้แรงกลทำให้วัตถุมีขนาดเล็ก เหมาะสมต่อการใช้งาน นอกจากนี้ยังมีคำอื่น ๆอีกที่มีความหมายทำนองเดียวกันคือ grinding, distintegration, pulverization, crushing และ dispersion แต่คำที่ค่อนข้างทันสมัยและเป็นที่ยอมรับในปัจจุบันคือ Milling (ไกรสีห์ อัมพรายน์, 2543)

วัตถุประสงค์ของการลดขนาดในกระบวนการผลิตทางอาหาร (Brennan และคณะ, 1976) มีดังนี้

1. เพื่อสกัดเอาส่วนประกอบที่ต้องการออกจากโครงสร้างหลัก เช่น การโม่เมล็ดข้าวสาลีเพื่อเอาส่วนที่เป็นแป้ง(flour) หรือบดผลไม้เพื่อเอาส่วนที่เป็นน้ำผลไม้
2. เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดตามต้องการ เช่น การผลิตน้ำตาล icing การเตรียมเครื่องเทศ การผลิตช็อกโกแลตในขั้นตอนการบดละเอียด(refinning) ซึ่งต้องมีการบดส่วนผสมให้มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 20-30 ไมครอน ถ้ามีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 35 ไมครอน เมื่อบริโภคจะรู้สึกถึงความหยาบของเนื้อช็อกโกแลต ถ้าอนุภาคเล็กเกินไปเวลารับประทานจะรู้สึกเหมือนกับเป็นเมือก
3. เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวของของแข็ง โดยมีดีผลต่อกระบวนการผลิตอาหาร เช่น
   - ลดเวลาในการทำแห้ง(drying time)
   - เพิ่มอัตราการสกัด (extraction rate)
   - ลดเวลาในการผลิต(process time) การทำให้สุก(cooking) การลวก(blanching)
4. ช่วยในการผสม(mixing or blending) ส่วนประกอบให้เข้ากัน ซึ่งมีความสำคัญในการผสมสูตรอาหารต่าง ๆ ส่วนผสมในเค้ก เป็นต้น

แรงกลที่ใช้ในการโม่ โดยทั่วไปมี 3 ลักษณะ (Fellows, 1990) คือ

1. แรงกดหรือแรงบีบ(Compression Force) เหมาะสำหรับการลดขนาดวัตถุดิบที่แข็งมาก และมีขนาดใหญ่ โดยสามารถลดขนาดได้อย่างหยาบ ๆ
2. แรงกระแทกหรือแรงทุบ(Impact Force) เหมาะสำหรับวัตถุดิบที่แข็งมากหรือแข็งปานกลาง มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก สามารถลดขนาดได้ทั้งแบบหยาบ ปานกลางและละเอียด

3. แรงเฉือนหรือแรงเสียดสี(Shear or Attrition Force) เหมาะสำหรับวัตถุที่ไม่แข็งมาก สามารถโม่วัตถุดิบให้มีขนาดเล็กจนเป็นผงละเอียด ในการลดขนาดลงจากเดิมมาก ๆ ควรค่อย ๆ ลดขนาดลง โดยลดขนาดซ้ำด้วยเครื่องมือเดิมหรือใช้เครื่องมือลดขนาดชนิดอื่นร่วมด้วย

ปัจจัยที่มีผลต่อการโม่ ได้แก่

1. ความแข็งของสาร คุณสมบัติที่ต่างกันทำให้ประสิทธิภาพในการโม่ต่างกัน ก่อนการโม่ถ้าทราบดัชนีความแข็งของสารจะเป็นประโยชน์มาก
2. เวลาในการโม่
3. การสึกของเครื่องโม่ เช่น ถ้าโม่ด้วย บอลล์ มิลล์(Ball mill)อาจมีการปนเปื้อนจากการสึกของเครื่องโม่ ประมาณ 0.1 เปอร์เซ็นต์
4. อุณหภูมิระหว่างการโม่ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นอาจส่งผลต่อสมบัติของสารได้
5. ความชื้น การโม่แห้งจะไวต่อความชื้น ถ้าความชื้นสูงจะทำให้อัตราการโม่ลดลง

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกลและเครื่องมือที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมอาหาร แสดงดังตารางที่ 2.2 (Brennan และคณะ,1976) เครื่องโม่ที่ใช้โดยทั่วไปในอุตสาหกรรมอาหารมีอยู่หลายชนิด โดยเครื่องมือแต่ละชนิดก็เหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน รวมทั้งขนาดของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ก็แตกต่างกันด้วย ซึ่งเครื่องโม่ที่ใช้ในการลดขนาดผลิตภัณฑ์อาหารแบบต่าง ๆ และขนาดของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ สรุปได้ดังตารางที่ 2.3 (Fellows,1990)

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกลและเครื่องมือที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมอาหาร

แรง(force)	หลักการ	เครื่องโม่
Compression	Compression	Crushing rolls
Impact	Impact	Hammer mill
Shear	Attritive	Disc attrition mill

ที่มา : Brennan และคณะ(1976)

ตารางที่ 2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการลดขนาดผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่าง ๆ และขนาดของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้

เครื่องมือ	ชนิดของผลิตภัณฑ์[a]					ความละเอียด[b]			
	1	2	3	4	5	a	b	c	d
Slicers			*	*	*	*			
Dicers			*	*	*	*			
Shredders				*	*	*	*		
Blowl choppers			*	*	*		*	*	
Pre-crushers	*			*	*		*		
Hammer mill	*	*		*	*		*	*	
Fine impact mill	*			*	*		*	*	*
Classifier mill	*				*				*
Air jet mills	*	*			*				*
Ball mill		*							*
Disc mills	*							*	*
Roller mills	*			*	*			*	*
Pulpers				*				*	*

[a] 1=soft, brittle, crystalline; 2=hard, abrasive; 3=elastic, tough, cuttable; 4=fibrous; 5=heatsensitive greasy

[b] a=coarse lump; b=coarse grits; c=medium fine to fine; d=fine to ultrafine

ที่มา : Fellows(1990)

2.4 ผลของวิธีการโม่ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้ง(flour)

มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตแป้งและผลของวิธีการโม่ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งชนิดต่าง ๆ ดังนี้

Godoy และคณะ(1992) ได้ศึกษาผลของการลวกต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งเผือก โดยมีการเตรียมวัตถุดิบก่อนนำไปผลิตแป้ง ดังนี้ หั่นเผือกที่ทำความสะอาดและปอกเปลือกแล้ว เป็นชิ้นขนาด 50mmX5mm นำมาลวกที่อุณหภูมิต่าง ๆ คือ ลวกที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8.3 นาที และลวกที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที โดยศึกษาเปรียบเทียบกับเผือกที่ไม่ลวก จากนั้นนำไปตากแห้งจนมีความชื้น 10-12 เปอร์เซ็นต์ โม่โดยวิธีโม่แห้งร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4-6 องศาเซลเซียส โดยมีวัตถุประสงค์ในการลวกเพื่อป้องกันปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในวัตถุดิบ ซึ่งมีผลต่อสีของแป้งที่ได้ จากการทดลองพบว่า การลวกมีผลให้ปริมาณน้ำตาลและปริมาณเถ้าในแป้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$) บ่งชี้ได้ว่าสารอาหารมีการสูญเสียไปกับน้ำที่ใช้ลวก การลวกที่ 100 องศาเซลเซียส มีผลให้ปริมาณโปรตีนในแป้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการเสียสภาพของโปรตีน และมีผลให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตและเส้นใยเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยให้ผลเช่นเดียวกับรายงานของ Meiners และคณะ(1976) และ Pawae และ Ingle(1988) ซึ่งได้ศึกษาผลของการลวกที่มีต่อองค์ประกอบทางเคมีของแป้งจากถั่วเมล็ดแห้งชนิดต่าง ๆ และ moth bean ตามลำดับ

นอกจากนี้ยังพบว่าการลวกมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของแป้ง โดยการลวกที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส มีผลให้แป้งที่ได้มีค่าการดูดซับน้ำ(water absorption) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$) โดยให้ผลทำนองเดียวกับ del Rosario และ Flores(1981) ที่ศึกษาผลของการลวกต่อสมบัติของแป้งถั่วเขียว Pawar และ Ingle(1988) ได้รายงานไว้ว่าความร้อนมีผลให้ ค่าการดูดซับน้ำของแป้งเพิ่มขึ้น อาจเกิดจากสมบัติของคาร์โบไฮเดรต โดยเมื่อแป้งได้รับความร้อนจะเกิดการเจลาติไนซ์และเส้นใยเกิดการพองตัว ทำให้ค่าการดูดซับน้ำสูงขึ้น ในขณะที่การลวกมีผลต่อการลดลงของค่าการดูดซับไขมัน ความสามารถในการเกิดโฟม(foam capacity) ความคงตัวของโฟม(foam stability) และ whippability แต่อย่างไรก็ตามแป้งเผือกที่ผลิตได้จากทุกวิธีก็มีค่าการดูดซับน้ำและน้ำมัน สูงกว่าแป้งสาลีซึ่งคาดว่าแป้งเผือกน่าจะใช้เป็น binder ที่ดีในสูตรอาหารที่มีน้ำและไขมันสูง เช่น ขนมปัง เค้กและเส้นก๋วยเตี๋ยว แต่แป้งเผือกมีข้อจำกัด คือมีปริมาณโปรตีนต่ำ ดังนั้นการเสริมโปรตีนลงไปจะสามารถช่วยปรับปรุงสมบัติของแป้งเผือกเพื่อสามารถเปรียบเทียบกับแป้งสาลีได้

Jumduang และ Mohamad(1994) ได้ศึกษาการผลิตแป้งข้าวเหนียวจากการโม่ 2 วิธี คือ การโม่แห้งและการโม่เปียก โดยมีวิธีการ ดังนี้ การโม่แห้ง ทำได้โดยนำข้าวเหนียวที่ปอกเปลือกแล้วมาบดด้วย double-disc stone mill ในการโม่จะปรับระยะระหว่างจานโม่ 2 ครั้ง โดยครั้งแรกจะเป็นการโม่หยาบ ครั้งที่ 2 เป็นการโม่ละเอียด ส่วนการโม่เปียกทำได้โดยนำข้าวเหนียวที่แยกเปลือกแล้วมาทำความสะอาดและแช่น้ำไว้ค้างคืน จากนั้นจึงแยกน้ำออกและโม่กับน้ำ 2 รอบ โดยโม่ด้วย double-disc stone mill เช่นเดียวกัน นำน้ำแป้งที่ได้ไปแยกน้ำออกโดยใช้แรงอัดจาก screw press แล้วจึงอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วนำแป้งที่ได้มาบดด้วย double-disc stone mill อีกครั้ง

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของแป้งข้าวเหนียวที่ผลิตได้จากการโม่แห้งและโม่เปียก โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบกับแป้งข้าวเหนียวจากการโม่เปียกที่ผลิตขายในท้องตลาด พบว่าในแป้งที่มีขนาดอนุภาคเท่ากัน(<106 μm) แป้งที่ได้จากการโม่แห้งมีค่าการดูดซับน้ำสูงกว่าแป้งที่ผลิตได้จากวิธีการอื่น เนื่องจากการโม่แห้งมีผลให้เม็ดสตาร์ชมีความเสียหาย โดยอาจเกิดการแตกหรือเจลาติไนต์ไปบางส่วนเนื่องจากความร้อนที่เกิดในระหว่างการโม่

ในการศึกษาสมบัติด้านความหนืดด้วย Brabender viscoamylograph พบว่าในแป้งที่มีขนาดอนุภาคเท่ากัน(<106 μm) แป้งที่ได้จากการโม่แห้งแสดงลักษณะความหนืดต่ำที่สุด แต่เมื่อศึกษาผลของขนาดอนุภาคของแป้งต่อสมบัติด้านความหนืด พบว่า ในการโม่เปียก แป้งที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าจะมีความหนืดต่ำกว่าแป้งที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า เนื่องจากอนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะขัดขวางการพองตัวของเม็ดสตาร์ช ซึ่งให้ผลตรงข้ามกับการโม่แห้ง โดยแป้งที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าจะมีความหนืดต่ำกว่า เนื่องจากในการโม่แห้ง แป้งที่มีขนาดอนุภาคเล็กอาจมีส่วนของเม็ดแป้งที่ถูกทำลายได้อยู่มากกว่า โดยในระหว่างการโม่แห้งด้วย double-disc stone mill อาจมีผลให้เม็ดสตาร์ชถูกทำลายหรือเกิดเจลาติไนซ์ได้

เมื่อนำแป้งข้าวเหนียวที่ผลิตได้มาผลิตข้าวเกรียบว่าว พบว่า คุณภาพของข้าวเกรียบว่าวที่ทำจากแป้งข้าวเหนียวโม่เปียก มีคุณภาพใกล้เคียงข้าวเกรียบว่าวที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียวในท้องตลาด โดยข้าวเกรียบว่าวที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียวโม่แห้งมีคุณภาพต่ำสุด และพบว่า ข้าวเกรียบว่าวที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียวโม่เปียกที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า จะได้ข้าวเกรียบที่มีคุณภาพดีกว่าแป้งข้าวเหนียวโม่เปียกที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า และให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้าน expansion ratio ไม่แตกต่างจากข้าวเกรียบว่าวที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียวในท้องตลาดทางสถิติ($p>0.01$) ในขณะที่ข้าวเกรียบว่าวที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียวโม่แห้งที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า

จะได้ข้าวเกรียบที่มีคุณภาพดีกว่าแป้งข้าวเหนียวโม่แห้งที่มีขนาดอนุภาคเล็ก จึงสรุปได้ว่า แป้งข้าวเหนียวที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตข้าวเกรียบว่าวที่ดีที่สุด คือ แป้งข้าวเหนียวโม่เปียกที่มีขนาดอนุภาคละเอียดหรือแป้งข้าวเหนียวโม่เปียกในท้องตลาด

Varavinit และ Shobsngob (1996) ศึกษาการผลิตแป้งกล้วยจากกล้วยดิบ โดยเปรียบเทียบผลการแช่แข็งกล้วยดิบและไม่แช่แข็ง ก่อนนำไปผลิตแป้ง พบว่าแป้งกล้วยที่ผลิตจากแป้งดิบที่แช่แข็ง มีสีขาว ในขณะที่แป้งกล้วยที่เตรียมจากกล้วยดิบที่ไม่แช่แข็งมีสีออกน้ำตาล เนื่องจากในระหว่างการแช่แข็ง เอนไซม์ polyphenol oxidase ได้ถูกทำลายไปบางส่วน ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจึงเกิดขึ้นน้อยกว่า นอกจากนี้ได้ศึกษาผลของการโม่ 2 วิธี คือ การโม่แป้งและโม่เปียก พบว่า การโม่แห้งมีผลให้ได้ปริมาณผลผลิตสูงกว่าวิธีการโม่เปียกและให้สีของแป้งกล้วยที่ขาวกว่าการโม่เปียก เนื่องจากในการโม่แห้ง กล้วยดิบถูกทำให้แห้งก่อนนำมาโม่ ซึ่งในระหว่างการอบแห้งเอนไซม์ ได้ถูกทำลายไป ส่วนการโม่เปียก เอนไซม์ polyphenol oxidase ที่มีอยู่ สามารถเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้เมื่อมีการโม่กับน้ำ

Chen และคณะ(1999) ได้ศึกษาวิธีการโม่ 6 วิธี ในการผลิตแป้งข้าวเหนียว โดยศึกษาการโม่ 3 แบบ คือ การโม่เปียก การโม่แห้ง และการโม่กึ่งแห้ง และใช้เครื่องโม่ 5 ชนิด โดยจะได้วิธีการโม่ 6 วิธี ดังนี้ 1)การโม่แห้งด้วย turbo mill 2) การโม่แห้งด้วย cyclone mill 3) การโม่แห้งด้วย hammer mill 4)การโม่กึ่งแห้งด้วย plate mill 5) การโม่กึ่งแห้งด้วย hammer mill 6) การโม่เปียกด้วย stone mill

ในการโม่แบบกึ่งแห้งมีวิธีการ ดังนี้ แช่เมล็ดข้าวที่มีความชื้น 30 เปอร์เซ็นต์ ในน้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเหวี่ยงแยกน้ำออกที่ความเร็วรอบ 2000 rpm ประมาณ 1 นาที จากนั้นจึงบดด้วย hammer mill หรือ plate mill อบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องสาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อลดความชื้นให้ต่ำกว่า 13 เปอร์เซ็นต์

การโม่เปียกมีวิธีการดังนี้ แช่เมล็ดข้าวในน้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำมาโม่ในน้ำ 4 เท่า ด้วย double-disc stone mill เหวี่ยงแยกน้ำออกโดยใช้ความเร็วรอบ 2000 rpm นำแป้งไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องสาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อลดความชื้นให้ต่ำกว่า 13 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดลองพบว่า การโม่แห้งจะให้แป้งที่มีองค์ประกอบทางเคมีสูงกว่าวิธีการโม่อย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญ($p<0.05$) การโม่เปียกจะให้แป้งที่มีขนาดอนุภาคละเอียดที่สุด(10-30μ)

และแป้งมีความขาวสูงสุด โดยพบว่าขนาดอนุภาคของเม็ดแป้งมีความสัมพันธ์ใน ทางลบ(r = -0.77)อย่างมีนัยสำคัญ($p<0.01$) จึงบอกได้ว่าอนุภาคของแป้งมีผลต่อสีของแป้ง นอกจากนี้ยังพบว่า การโม่ด้วย hammer mill จะให้แป้งที่มีขนาดอนุภาค(100-300 μm)ใหญ่ที่สุด ในขณะที่การโม่ด้วย cyclone mill และ turbo mill ให้แป้งที่มีการกระจายของขนาดอนุภาคมากกว่าการโม่ด้วยเครื่องโม่อื่น ๆ และแป้งข้าวเหนียวที่ได้จากการโม่เปียกมีค่าการละลายเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ในขณะที่การโม่ด้วย grinding mill (plate mill) มีผลให้การละลายของแป้งสูงที่สุด อาจเกิดจากเม็ดสตาร์ชที่ถูกทำลายในระหว่างการโม่(Arisaka และคณะ, 1992; Chen, 1995) ได้ศึกษาสมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวเหนียวด้วย RVA (Rapid visco analyser) พบว่า การโม่แห้งด้วย hammer mill มีผลให้อุณหภูมิเริ่มต้นการเกิดเจลลาติไนซ์สูงที่สุด ในขณะที่การโม่แบบกึ่งแห้งด้วย grinding mill ให้แป้งที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นการเกิดเจลลาติไนซ์ และค่า setback ต่ำที่สุด จากผลการทดลองที่ได้จึงสรุปได้ว่า วิธีโม่และชนิดของเครื่องโม่มีผลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียว

Piacquadio และคณะ(2000) ได้เปรียบเทียบการผลิตแป้งข้าวโพดจากวิธีโม่ 2 แบบ คือ การโม่แห้งและการโม่เปียก โดยการโม่แห้ง จะนำเมล็ดข้าวโพดมาโม่ด้วย hammer mill ในขณะที่การโม่เปียกจะทำการแช่เมล็ดข้าวโพดในน้ำกลั่น 1 ชั่วโมง แล้วจึงทำแห้งที่อุณหภูมิห้อง(20-25 องศาเซลเซียส)เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ก่อนนำไปโม่กับน้ำ และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 หรือ 55 องศา เป็นเวลา 48 ชั่วโมง พบว่า การโม่แห้งจะให้แป้งข้าวโพดที่มีองค์ประกอบทางเคมีสูงกว่าการโม่เปียก และในการศึกษาผลความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนซ์ ต่อความสามารถในการย่อยด้วยเอนไซม์ พบว่า เอนไซม์มีความสามารถในการย่อยแป้งข้าวโพดที่ได้จากการโม่แห้ง ได้ดีกว่าแป้งข้าวโพดที่ได้จากการโม่เปียก โดยให้เหตุผลว่า การอบแป้งที่มีความชื้นสูงด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนซ์ จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในของเม็ดสตาร์ชให้มีเสถียรภาพมากขึ้น

จากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาข้นต้น จึงสรุปได้ว่า การเตรียมวัตถุดิบ การโม่และชนิดของเครื่องโม่มีผลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งที่ผลิตได้ ดังนั้นในการผลิตแป้งกระจับ จึงสนใจศึกษาผลของวิธีการโม่ที่มีต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งจากกระจับ โดยได้ศึกษาใน 3 ปัจจัย คือ การเตรียมวัตถุดิบ 2 วิธี ได้แก่ การแช่แข็งและการลวก การโม่ 2 แบบ ได้แก่ การโม่แห้งและการโม่เปียก และชนิดของเครื่องโม่ 2 ชนิด ได้แก่ Stone mill และ Ball mill