บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พันธุ์ทุเรียน

ทุเรียนจัดเป็นไม้ผลยืนต้น และเป็นไม้ผลในสกุล Durio มีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบคาบสมุทรมลายู (Malay Archipelago) อันได้แก่ อินโดนีเซีย มาเลเซีย และภาคใต้ของไทย แพร่กระจายอยู่ในแถบอินโดจีน และแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีการปลูกอย่างกว้างขวาง ตั้งแต่ประเทศศรีลังกา พม่าตอนใต้ ฟิลิปปินส์ตอนใต้ จนถึงชวา (ทรงพล, 2551; มนตรี, 2545; Voon, 2007) และยังกระจายไปทางตอนเหนือของมลรัฐควีนส์แลนด์ (Queensland) และมลรัฐนอร์ทเทิร์นเทอริทอรี่ (Northern Territory) ของประเทศออสเตรเลีย รวมทั้งมลรัฐฟลอริดาและฮาวายของประเทศสหรัฐอเมริกา (ทรงพล, 2551) ทุเรียนที่สามารถบริโภคได้มีเพียง 6 พันธุ์ (Voon, 2007) คือ *D. graveolens* Becc. (ทุเรียนขั้วติด) *D. Kutejensis* Becc. (ทุเรียนรากขา) *D. testudinarium* Becc. (ทุเรียนเต่า) *D .dulicis* Becc. (ทุเรียนป่า) *D. oxleyanus* Griffith (ทุเรียนขนยาว) *D. zibethinus* Murr. (ทุเรียนบ้าน) (ทรงพล, 2551)

ทุเรียนของไทยดั้งเดิมมีเพียง 5 พันธุ์ (ได้แก่ พันธุ์ลวง การะเกด ทองสุก ทองย้อยเดิม และกำปั่น) ซึ่งเป็นพันธุ์ของทุเรียนบ้าน (*D. zibethinus* Murr.) ปลูกทั่วไปตามแหล่งต่างๆ ต่อมามีการปรับปรุงและแพร่กระจายพันธุ์สู่รุ่นลูกหลานเป็นทุเรียนพันธุ์ต่างๆ ซึ่งหลังจากการปรับปรุงพันธุ์แล้วได้พันธุ์ทุเรียนที่มีความสำคัญในเชิงการค้าจำนวน 5 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์หมอนทอง ชะนี ก้านยาว กระดุม และพื้นเมือง โดยทุเรียนแต่ละพันธุ์มีความแตกต่างกันในเรื่องของรูปทรงต้น ขนาดใบ ลักษณะดอก ลักษณะผล รูปทรงของผล ขนาดผล ลักษณะเนื้อ สีเนื้อ ความหนาเนื้อ ปริมาณเนื้อ กลิ่น รสชาติ ลักษณะเมล็ด ขนาด และจำนวนเมล็ดต่อผล (ทรงพล, 2551)

2.2 โครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของต้นและผลทุเรียน

ทุเรียนเป็นไม้ผลยืนต้น ที่มีโครงสร้างทางสัณฐาน ประกอบด้วย ลำต้น มีเปลือกสีเทาเข้ม เปลือกแข็งหนา มีสะเก็ดขรุขระ มีรอยแตกเป็นทางยาว ใบเป็นใบเดี่ยว โดยรูปใบเรียวคล้ายรูปใบหอก ขอบเรียบ ใบด้านบนมีสีเขียวเข้ม ด้านล่างสีเหลืองน้ำตาล มีขนสีขาวสั้นๆ ลักษณะคล้ายกำมะยี่ ดอกทุเรียนเป็นดอกสมบูรณ์เพศ หนึ่งช่อดอกมีประมาณ 1-45 ดอก กลีบดอกมีสีขาวอมเหลือง (ประพัฒน์, 2502; มนตรี, 2545) ทุเรียนเป็นผลเดี่ยว มีขนาดค่อนข้างใหญ่ โดยผลอาจมี

Prince of Songkla University Pattani Campus

น้ำหนักถึง 8 กิโลกรัม ยาวถึง 30 เซนติเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร รูปร่างมีหลายแบบแล้วแต่พันธุ์ เช่น กลม กลมรี รูปขวด ก้นป้าน กลมท้ายตัดหัว-ท้ายแหลม เป็นต้น สีของผลมีตั้งแต่ สีเขียวจนถึงน้ำตาลปนเขียว ผลประกอบด้วยส่วนที่เป็นเปลือก 55-66 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เป็นเมล็ด 12-15 เปอร์เซ็นต์ และส่วนที่เป็นเนื้อบริโภคได้ 22-30 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับพันธุ์เป็นสำคัญ ตามปกติผลหนึ่งมี 5 พู พูหนึ่งมีตั้งแต่ 1-5 เมล็ด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์ โดยส่วนประกอบของผลทุเรียนมี 5 ส่วน ดังนี้ (ประพัฒน์, 2502; สิรินาถ, 2542; มนตรี, 2545; Ketsa *et al.*, 1999)

1. ก้านผลหรือขั้วผล ซึ่งมีขนาดและความยาวแล้วแต่พันธุ์

2. ปลิง เป็นส่วนที่อยู่ถัดจากก้านผลเป็นส่วนที่ติดมาจากต้น เมื่อผลแก่ปลิงจะหลุดออกจากก้าน

3. เปลือกลักษณะเป็นหนามรูปพิรามิด

4. เนื้อผล ทุเรียนจัดอยู่ในกลุ่มผลไม้ประเภท Pulpy fruit คือ มีเนื้อมาก น้ำน้อย (กุลกัญญา, 2548) สีของเนื้อผลมีหลายสี เช่น ขาว เหลืองจำปา และเหลืองส้ม ตามชนิดของพันธุ์ เมื่อทุเรียนเริ่มแก่ เนื้อจะเริ่มนิ่มและเมื่อทุเรียนเริ่มสุกจะมีกลิ่นรสเฉพาะ เนื่องจากเนื้อของผลสุกจะมีสารประกอบของกำมะถันอยู่ด้วยในรูป ethyl hydrodisulfide และ dialkyl polysulfides หลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ethyl disulfide สารเหล่านี้เป็นสารสำคัญที่ทำให้เนื้อของผลทุเรียนสุกมีกลิ่นเฉพาะ โดยสารเหล่านี้จะไม่พบในเปลือกและเมล็ด (สิรินาถ, 2542; Chin *et al.*, 2008)

5. เมล็ดผลทุเรียน 1 ผลอาจมีจำนวน 25 เมล็ด (ประพัฒน์, 2502; Brown, 1997) โดยทั่วไป เมล็ดทุเรียนมีลักษณะเป็นรูปกลมรีคล้ายระกำ ยาวประมาณ 5-7 เซนติเมตร กว้างประมาณ 2-4 เซนติเมตร เมล็ดสดอาจมีน้ำหนักมากที่สุดประมาณ 40 กรัม (Berry, 1980) จัดเป็นเมล็ดไม้ผลที่มีขนาดใหญ่ ขนาดของผลและเมล็ดของทุเรียน จะแตกต่างกัน ซึ่งเมล็ดจะมีขนาดตั้งแต่เท่าหัวแม่มือจนถึงขนาดไข่ห่าน รูปร่างของเมล็ดก็แตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์และการบำรุงรักษา (สิรินาถ, 2542)

2.3 เมล็ดทุเรียน

เมล็ดทุเรียนมีส่วนประกอบที่สำคัญ ดังนี้

1. เยื่อหุ้มเมล็ด เป็นส่วนที่อยู่นอกสุดของเมล็ด โดยทั่วๆ ไปเปลือกนอกจะแข็งแรง ส่วนเปลือกในจะบางหรือเป็นเยื่อ เปลือกหุ้มเมล็ดนี้ทำหน้าที่ป้องกันอันตรายให้กับเอมบริโอที่อาจจะถูกรบกวนได้จากสิ่งแวดล้อมโดยธรรมชาติ ซึ่งอาจเป็นแมลง รา หรือ แบคทีเรีย ที่ทำให้เมล็ดไม่สามารถงอกได้ (Berry, 1980; Brown, 1997)

Prince of Songkla University Pattani Campus

2. เอมบริโอ เป็นส่วนสำคัญที่จะเจริญเป็นต้นพืช ประกอบด้วย ใบเลี้ยง (Seed leabes or cotyledons) ทำหน้าที่สะสมอาหาร hypocotyls เป็นส่วนของเอมบริโอที่อยู่เหนือตำแหน่งใบเลี้ยง ที่จะเจริญเป็นลำต้น และราก (rudimentary root or radicle) เป็นส่วนล่างสุดของเอมบริโอ อยู่ต่อจาก hypocotyls ลงมา ซึ่งต่อไปจะเจริญเป็นราก (ประพัฒน์, 2502; Brown, 1997)

3. เอนโดสเปิร์ม เป็นเนื้อเยื่อที่มีอาหารสะสมไว้สำหรับการเจริญเติบโตของเอ็มบริโอ อาหารส่วนใหญ่เป็นประเภทแป้ง โปรตีนและไขมัน (ประพัฒน์, 2502; Brown, 1997)

2.4 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดทุเรียน

ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี ขึ้นอยู่กับสภาพของเมล็ดทุเรียน เช่น บดทั้งเมล็ด รวมเยื่อหุ้ม หรือปอกเยื่อหุ้มออกมา เมล็ดทุเรียนมีองค์ประกอบ คือ ความชื้น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน วิตามินและแร่ธาตุ (ตารางที่ 1) นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วย สารต้านออกซิเดชัน (Antioxidant) สารพิษ และสารต้านโภชนาการ

2.4.1 คาร์โบไฮเดรต

โดยทั่วไปแล้วพืชเกือบทุกชนิดจะสะสมสตาร์ชไว้ในเมล็ดเพื่อเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตหรือเป็นแหล่งอาหารสำหรับต้นอ่อนเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต สำหรับเมล็ดทุเรียน นอกจากมีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบแล้วยังมีโพลีแซคคาร์ไรด์และเส้นใย (fiber) ประกอบอยู่ด้วย ดังรายละเอียดต่อไปนี้

- เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส จะสะสมอยู่บริเวณเยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat) โดยเซลลูโลสพบได้ในเยื่อหุ้มเมล็ดของผัก ผลไม้และรำข้าว ส่วนเฮมิเซลลูโลสพบในเยื่อหุ้มเมล็ดของธัญพืชและมันฝรั่ง แต่ในเมล็ดทุเรียนยังไม่พบข้อมูลที่แน่ชัดถึงปริมาณที่เกิดขึ้น (อดิศักดิ์, 2543)

- กัม กระจายอยู่ทั่วไปในเอนโดสเปิร์มของเมล็ด เช่น โลคัสบีนกัมที่พบในพืชตระกูลที่ให้ฝัก (*Ceratonia siliqua* L.) ในขณะที่กัวร์กัมสามารถพบในเมล็ดของต้นกัวร์ (*Cyamopsis tetragonolobus*) ที่ประกอบไปด้วยกาแลคโตแมนแนน (galactomannan) (อดิศักดิ์, 2543) ส่วนในเมล็ดทุเรียนพบกัมที่ประกอบด้วยน้ำตาล glucose, D-galactose และ L-rhamnose (Amin *et al.*, 2007)

Amin *et al.* (2007) ได้ทำการศึกษาการสกัดและสมบัติของกัมจากเมล็ดทุเรียน ผลการทดลองพบว่า กัม (crude gum) ที่ได้จากการสกัดไขมันออกมีปริมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ และมีสีน้ำตาลอ่อน โดยกัมเมล็ดทุเรียนมีปริมาณเถ้าสูงถึง 29.8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งประกอบด้วยแร่ธาตุชนิดแคลเซียม สังกะสี และ แมงกานีส ในปริมาณที่สูงกว่ากัมทางการค้า (กัมอะราบิค กัวร์กัมและแซนแทนกัม) ในขณะที่ผลศึกษาความหนืดของสารละลายกัมเมล็ดทุเรียนที่ความเข้มข้น

Prince of Songkla University Pattani Campus

1 เปอร์เซ็นต์ด้วยเครื่อง Rheometer พบว่า สารละลายกัมเมล็ดทุเรียนที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณความหนืด 65 mPa s ที่อุณหภูมิ 29.8 องศาเซลเซียส โดยที่ shear rate เท่ากับ 1000 s^{-1} และผลการวิเคราะห์น้ำตาลจากการไฮโดรไลซ์กัมเมล็ดทุเรียนด้วยเทคนิค PC และ HPLC พบว่ากัมจากเมล็ดทุเรียนประกอบด้วยน้ำตาล glucose D-galactose และ L-rhamnose ในอัตราส่วน 3:9:1

Table 1 Chemical compositions of fresh seed and flour of durian seeds.

Chemical compositions	Fresh seed[a] (% wb)	Flour[b] (% db)
Moisture	51.50	11.56
Lipid	0.40	1.33
Protein	2.60	4.62
Carbohydrate	43.60	80.81
Fiber	*	0.12
Ash	1.90	1.56
Calcium (mg/g)	17	*
Phosphorus (mg/g)	68	*
Iron (mg/g)	1	*
Sodium (mg/g)	3	*
Potassium (mg/g)	962	*
Beta-carotene (mg/g)	$2.50x10^{-6}$	*
Riboflavin (mg/g)	0.05	*
Niacin (mg/g)	0.9	*

Source: [a]Leung *et al.*, 1972 อ้างอิงโดย Brown, 1997; [b]สิรินาถ (2542)

* not determined

2.4.2 โปรตีน

เมล็ดทุเรียนสดมีโปรตีนในปริมาณ 2.6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยกว่าของเมล็ดขนุนสด ซึ่งมี 6.6 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเปียก (Leung *et al.*, 1972 อ้างอิงโดย Brown, 1997; Akinmutimi, 2006) ในขณะที่ ฟลาวร์เมล็ดทุเรียนมีปริมาณโปรตีนมากกว่าฟลาวร์เมล็ดขนุนคือ 4.62 และ 0.38 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (สิรินาถ, 2542; ฉันทนา และคณะ, 2547)

Prince of Songkla University Pattani Campus

2.4.3 ไขมัน

เมล็ดทุเรียนสดและฟลาวร์เมล็ดทุเรียนมีไขมันในปริมาณที่ต่ำคือ 0.40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเปียก และ 1.33 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง (Leung *et al.*, 1972 อ้างอิงโดย Brown, 1997; สิรินาถ, 2542) โดยมีกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักคือ กรดปาล์มมิติก กรดโอเลอิก และกรดไลโนเลอิก รวมทั้งยังปรากฏกรดไขมันชนิด กรดสเตอคูลิค (sterculic acid) และกรดมัลวาลิค (malvalic acid) ในปริมาณ 12.20, 8.34, 6.50, 15.72 และ 38.53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Berry, 1980)

สิทธิวัฒน์ และนริสรา (2543) ศึกษาปริมาณไขมันจากเมล็ดทุเรียน พบว่า ไขมันที่สกัดได้จากเมล็ดทุเรียนมีปริมาณ 0.18 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันในประเภทกรดปาล์มิติก กรดสเตียริก กรดโอเลอิกและกรดไลโนเลอิก ในปริมาณ 41.2, 19.2, 27.7 และ 9.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

2.4.4 สารแอนติออกซิแดนท์ (Antioxidant)

สิทธิวัฒน์ และนริสรา (2543) ได้ทำการศึกษาผลของการใช้สารละลายเมธานอล คลอโรฟอร์มและเฮกเซน ในการสกัดสารต้านออกซิเดชัน ในเมล็ดทุเรียน พบว่าสารสกัดที่สกัดด้วยเมธานอลสามารถสกัดสารต้านออกซิเดชันในเมล็ดทุเรียนได้ดีที่สุด ตามด้วยคลอโรฟอร์มและเฮกเซน ตามลำดับ เนื่องจากสารละลายเมธานอลมีความเป็นขั้วมากที่สุด จึงแสดงความเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารสกัดได้มากที่สุด โดยสารสกัดที่สกัดด้วยสารละลายเมธานอลที่ความเข้มข้น 6.7 ไมโครกรัม/กรัมน้ำมัน สามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันถั่วเหลืองได้ ซึ่งสารสกัดสามารถทนความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ได้นานถึง 12 วัน และจากการศึกษาดังกล่าวได้เพียงข้อสันนิษฐานขั้นต้นเท่านั้นว่าสารต้านออกซิเดชันที่สกัดได้น่าจะเป็นสารประกอบฟีนอล

2.4.5 สารพิษ

เมล็ดทุเรียนมีปริมาณไขมันน้อยมาก แต่จากการรายงานของ Berry (1980) พบว่าเมล็ดทุเรียนมีกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบอยู่หลายชนิด ซึ่งรวมไปถึง CPE-FAS (cyclopropene fatty acid) โดยกรดไขมันชนิดนี้พบได้มากในเมล็ดของพืชน้ำมันที่อยู่ในลำดับ Malvales ซึ่งเมล็ดทุเรียนก็จัดอยู่ในลำดับนี้เช่นกัน (Berry, 1980) CPE-FAS เป็นกรดไขมันที่พบอยู่ในกลุ่มของฟอสโฟลิปิดที่พบได้มากในพืช แบคทีเรียและ parasitic protozoa โดย CPE-FAS จะประกอบด้วยกรดสเตอคูลิค (sterculic acid; 9,10-methyleneoctadec-9-cnoic acid) และกรดมัลวานิค (malvanic acid, 8,9-methyleneheptadec-8-enoic acid) (Velíšek and Cejpek, 2006) กรดไขมันชนิดนี้จึงเป็น

Prince of Songkla University Pattani Campus

สาเหตุสำคัญของโรคมะเร็งในปลาเทราท์ (rainbow trout) และ โรคหลอดเลือดแดงห้องล่างซ้ายของหัวใจที่เกิดการแข็งตัวในกระต่าย (Berry, 1980) ในขณะที่ยังไม่พบรายงานอันตรายจากการบริโภคเมล็ดทุเรียนในคนรวมทั้งปริมาณของ CPE-FAS ที่ทำให้เกิดอันตรายในคน

ปริมาณ Cyclopropene fatty acid สามารถลดลงได้ง่ายด้วยความร้อนและการเกิดปฏิกิริยา polymerization (Berry, 1980) หรืออาจเป็นปฏิกิริยาเคมีชนิดอื่นๆ เช่น oxidation, hydrolysis หรือ isomerization เป็นต้น ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวนี้จะเกิดขึ้นในระหว่างการทอดด้วยวิธีการทอดแบบน้ำมันท่วม (deep frying) ที่อุณหภูมิสูงกว่า 200 องศาเซลเซียส (Hanus *et al.*, 2008)

2.4.6 สารต้านโภชนาการ

ผลไม้และเมล็ดผลไม้เมืองร้อนประกอบด้วยสารอาหาร เช่น โปรตีน ไขมันและคาร์โบไฮเดรต นอกจากนี้ยังมีสารต้านโภชนาการหลายชนิด เช่น ออกซาเลท (oxalate) กรดไฟติค (phytic acid) เลคติน (lectin) สารยับยั้งอะไมเลส (amylase inhibitor) และสารยับยั้งทริปซิน (trypsin inhibitor) (Osabor *et al.*, 2009) แต่ยังไม่พบผลงานการวิจัยที่พบสารดังกล่าวในเมล็ดทุเรียน

สารยับยั้งทริปซิน (trypsin inhibitor) เป็นโปรตีนที่มีโมเลกุลขนาดเล็กที่พบอยู่ในเนื้อเยื่อพืชหลายชนิด ส่วนใหญ่จะพบได้ในทุกๆ ส่วนของพืชขึ้นอยู่กับชนิดของพืช แต่ส่วนใหญ่จะพบมาก ในส่วนของเมล็ดและพืชหัว (Wati *et al.*, 2009) ซึ่งสารยับยั้งทริปซินมีผลในการยับยั้งการย่อยโปรตีนในระบบการย่อยอาหาร รวมทั้งยังส่งผลต่อร่างกายในการนำโปรตีนจากอาหารไปใช้ประโยชน์ได้น้อยลง (Ee *et al.*, 2008) อย่างไรก็ตามในบางกรณีสารยับยั้งทริปซินอาจมีประโยชน์ เช่นในทางการเกษตร สารยับยั้งทริปซินเป็นส่วนหนึ่งในกลไกการป้องกันตัวเองของพืชจากแมลงที่เป็นศัตรูพืชได้ (Srinivasan *et al.*, 2005)

สารยับยั้งอะไมเลส เป็นสารที่สามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลส ผลที่ตามมาทำให้การย่อยคาร์โบไฮเดรตหรือสตาร์ชในน้ำลายและลำไส้เล็กเป็นไปอย่างช้าๆ ส่งผลให้การดูดซึมน้ำตาลเข้าสู่กระแสเลือดเป็นไปอย่างช้าๆ โดยอาจเป็นผลดีต่อผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวานและผู้ที่ต้องการลดน้ำหนัก (นิธิยา, 2545) สารยับยั้งอะไมเลสมีอยู่ 2 ประเภท คือ ชนิดที่เป็นโปรตีน (พบได้ในพืชชั้นสูงสามารถยับยั้งเอนไซม์ α-amylase ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมและแมลง รวมทั้งเมล็ดและพืชหัว (Mehrabadi *et al.*, 2010) เช่น ข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าวบาร์เลย์ ข้าวไรย์ ข้าวฟ่าง ถั่วและเผือก) (นิธิยา, 2545) และชนิดที่ไม่เป็นโปรตีน ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์และมีอยู่หลายชนิด ได้แก่ acarbose, iso-acarbose, acarviosine-glucose, hibiscus acid และ cyclodextrin (Harsawasdi *et al.*, 2000; Farias *et al.*, 2007)

Prince of Songkla University Pattani Campus

2.4.7 องค์ประกอบอื่นๆ

องค์ประกอบอื่นๆ ที่พบในเมล็ดทุเรียนได้แก่วิตามิน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นวิตามินบี 3 (ไนอะซีน) ส่วนเบตา-แคโรทีน พบในปริมาณที่ต่ำที่สุด ในขณะที่จุลธาตุ (micronutrient) ที่พบมากที่สุดคือ ฟอสฟอรัส แคลเซียม โซเดียม ตามลำดับ ในขณะที่เหล็ก พบในปริมาณน้อยที่สุด (Leung *et al.*, 1972 อ้างอิงโดย Brown, 1997)

2.5 สตาร์ชเมล็ดทุเรียน

2.5.1 สมบัติทางเคมีของสตาร์ชเมล็ดทุเรียน

2.5.1.1 องค์ประกอบทางเคมี

Tongdang (2008) รายงานองค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชเมล็ดทุเรียนจากเมล็ดทุเรียนสด พบว่ามีปริมาณคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เถ้า และความชื้น 87.24, 0.09, 0.01, 0.48 และ 12.18 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

2.5.1.2 อะไมโลส

อะไมโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นสายยาวที่ประกอบด้วย glucopyranose unit เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,4 glucosidic linkage (Karim *et al.*, 2000) ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยมีปริมาณ D-glucose unit ตั้งแต่ 500-1,200 หน่วย (Buleon *et al.*, 1998) และมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 10^5-10^6 ดาลตัน ซึ่งสัมพันธ์กับค่า DP (degree of polymerization) ที่มีอยู่ 1,000-10,000 หน่วยกลูโคส อาจจะพบพันธะ α-1,6 glucosidic linkage บนสายอะไมโลส ซึ่งทำให้เป็นกิ่งขึ้น แต่พบในปริมาณน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นผลมาจากพันธะ α-1,6 glucosidic linkage มีองศาของความเป็นกิ่ง (degree of branching) ต่ำ รวมทั้งมีโครงสร้างสายโซ่เพียง 3-11 หน่วยกลูโคส โดยประมาณใน D-glucose unit 200-700 หน่วยต่อโมเลกุล ทั้งนี้การที่องศาของความเป็นกิ่งมีอยู่ต่ำเป็นผลให้ความสามารถในการละลายของอะไมโลสมีแนวโน้มที่จะไม่ละลายเมื่อโครงสร้างกิ่งผลึกมีการเกาะรวมตัวกัน โดยขึ้นอยู่กับตำแหน่งของสายโซ่ภายในโครงสร้างด้วย (Copeland *et al.*, 2009)

อะไมโลสสามารถทำปฏิกิริยากับไอโอดีนและสารประกอบอินทรีย์หลายชนิด ได้แก่ บิวทานอล กรดไขมัน ฟีนอล สารลดแรงตึงผิวหลายชนิดและไฮโดรคาร์บอน ได้สารประกอบเชิงซ้อนซึ่งไม่ละลายน้ำ โดยอะไมโลสจะอยู่ในรูปพันเกลียว (helix coil) ล้อมรอบสารประกอบอินทรีย์เหล่านี้ สารประกอบเชิงซ้อนของอะไมโลสและไอโอดีนจะให้สีน้ำเงิน ซึ่งใช้เป็นลักษณะเฉพาะที่บ่งบอกถึงแป้งที่มีอะไมโลสเป็นองค์ประกอบ (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2550)

Prince of Songkla University Pattani Campus

ตำแหน่งของอะไมโลสภายในเม็ดสตาร์ชขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของสตาร์ช อะไมโลสบางส่วนอยู่ในกลุ่มของอะไมโลเพคติน บางส่วนกระจายอยู่ทั้งในส่วนอสัณฐานและส่วนผลึก นอกจากนี้ตำแหน่งของอะไมโลสภายในเม็ดสตาร์ชยังขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของสตาร์ชด้วยเช่นกัน โดยสาเหตุที่สตาร์ชมีปริมาณของอะไมโลสต่างกันนั้น เนื่องมาจากกิจกรรมของเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ในการสังเคราะห์สตาร์ช เช่น กลุ่มเอนไซม์สตาร์ชซินเทส (starch synthase) แหล่งที่มาของพืช กระบวนการสกัดสตาร์ชและวิธีการวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส เช่น วิธีการทำให้เกิดสี (colorimetric method) (Singh *et al.*, 2003) การวัดปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพคตินโดยสารประกอบเชิงซ้อนของอะไมโลส-อะไมโลเพคติน-ไอโอดีน ที่ 6 ความยาวคลื่นและคำนวณปริมาณโดยใช้ multicomponent analysis (Jarvis and Walker, 1993) การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC (Differential Scanning Calorimeter) (Sievert and Holm, 1993) การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPSEC (High Performance Size Exclusion Chromatography) (Kennedy *et al.*, 1992)

Oates and Powell (1995) ได้ศึกษาปริมาณอะไมโลสในสตาร์ชเมล็ดทุเรียนด้วย 2 เทคนิค คือ วิธีการทำให้เกิดสี (colorimetric method) และ การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPSEC (High Performance Size Exclusion Chromatography) พบว่า การใช้เทคนิควิธีการทำให้เกิดสีแสดงปริมาณอะไมโลสประมาณ 25.2-29 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เทคนิคการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPSEC แสดงปริมาณอะไมโลสประมาณ 23.1-28.3 เปอร์เซ็นต์

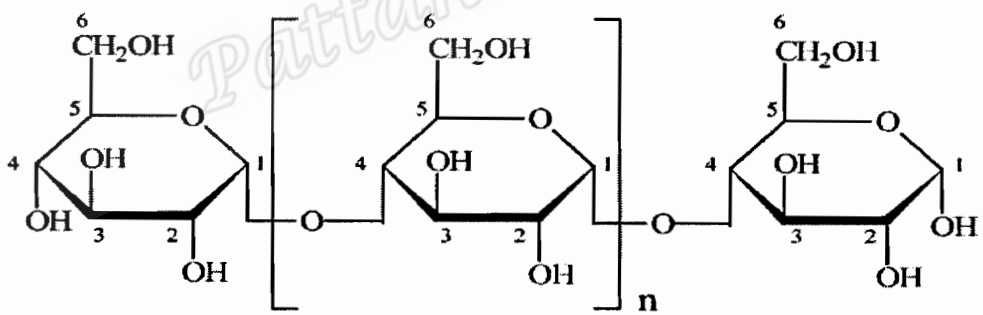


Figure 1 Amylose molecule structure.

Source: Herrero-Martinez *et al.* (2004)

Prince of Songkla University Pattani Campus

2.5.1.3 อะไมโลเพคติน

อะไมโลเพคตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส โดยประกอบด้วย glucopyranose unit เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,4 glucosidic linkage ที่ตำแหน่งของ glucopyranose ทุกๆ 20-30 หน่วยโดยประมาณจะปรากฏตำแหน่งของสายกิ่งขึ้น ซึ่งสายของ α-D-(1,4)-glucopyranosyl unit จะเชื่อมต่อที่ตำแหน่ง C-6 hydroxymethyl ของกลูโคสด้วยพันธะ α-1,6 glucosidic linkage โดยพันธะ α-1,6 glucosidic linkage จะมีอยู่ประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณ glucopyranose unit ในอะไมโลเพคตินทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 2 อะไมโลเพคตินเป็นอีกหนึ่งพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากที่สุดในจำพวกพอลิเมอร์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ (Karim *et al.*, 2000) โดยมีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 10^8 ดาลตัน และมีค่า DP (degre of polymerization) ที่อาจจะมากกว่า 10^7 หน่วยกลูโคส (Copeland *et al.*, 2009)

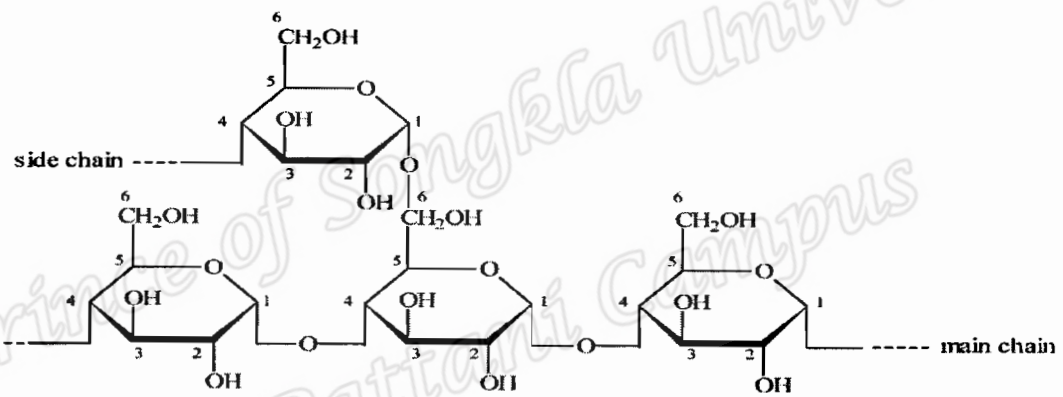


Figure 2 Amylopectin molecule structure.

Source: Herrero-Martinez *et al.* (2004)

เนื่องจากอะไมโลเพคตินเป็นพอลิเมอร์ที่มีขนาดใหญ่ และมีความเป็นกิ่งสูง การศึกษาความเป็นกิ่งของอะไมโลเพคติน จึงจำเป็นต้องมีการแยกประเภทของลักษณะกิ่งของอะไมโลเพคติน โดย Hizukuri (1986) ได้เสนอ cluster model (รูปที่ 3) ที่รวมไปถึงอะไมโลเพคตินสายสั้นที่มีการก่อตัวเป็นเกลียวคู่และเกี่ยวโยงกันอยู่ภายในคลัสเตอร์ (cluster) ซึ่งโครงสร้างของคลัสเตอร์จะประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นผลึกและอสัณฐาน ในการอธิบายโครงสร้างของอะไมโลเพคติน โดยแบ่งสายโซ่แบบ polymodal ประกอบด้วยสาย A (A-chain) ซึ่งเป็นสายโซ่ที่สั้นที่สุด (DP เท่ากับ 6-12) เชื่อมต่อกับสายอื่นที่ตำแหน่งเดียวด้วยพันธะ α-1,6 และไม่มีกิ่งเชื่อมต่อออกจากสายโซ่ชนิดนี้ ส่วนสาย B (B-chain) เป็นสายโซ่ที่มีสายโซ่ A หรือสายโซ่ B อื่นต่อเป็นกิ่งอยู่บนสายโซ่ ซึ่งสายโซ่ B สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อย B1, B2, B3 และ B4 โดยการแบ่ง

Prince of Songkla University Pattani Campus

จะขึ้นอยู่กับความยาวของสายโซ่และระยะห่างของคลัสเตอร์ โดย B4 เชื่อมต่อกัน 4 คลัสเตอร์ (DP เท่ากับ 104-140) B3 เชื่อมต่อกัน 3 คลัสเตอร์ (DP เท่ากับ 69-75) B2 เชื่อมต่อกัน 2 คลัสเตอร์ (DP เท่ากับ 42-48) และ B1 เชื่อมต่อกัน 1 คลัสเตอร์ (DP เท่ากับ 20-24) (Hoover, 2010) และสาย C (C-chain) เป็นสายโซ่หลักสายหนึ่งเท่านั้นในแต่ละโมเลกุลของอะไมโลเพคติน ซึ่งประกอบด้วยหมู่รีดิวซิง 1 หมู่ (Whistler and Bemiller, 1999)

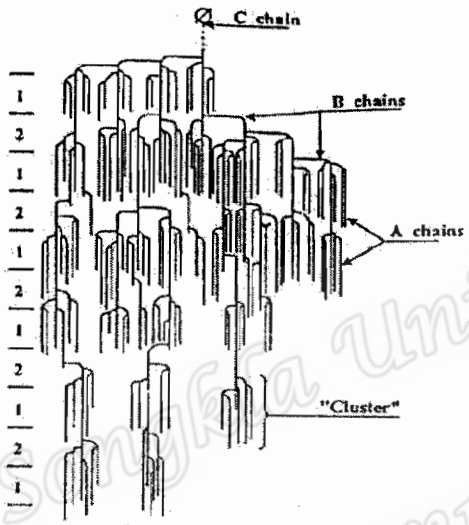


Figure 3 Model of amylopectin branch chains.

Source: Robin *et al.* (1974)

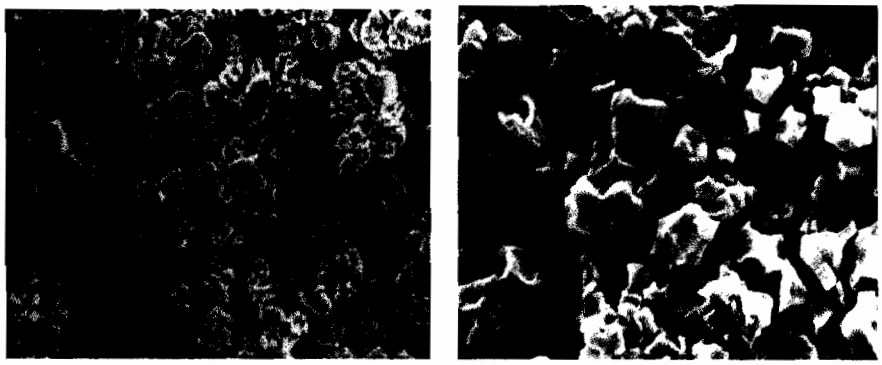
Prince of Songkla University Pattani Campus

2.5.2 สมบัติด้านโครงสร้าง

2.5.2.1 รูปร่าง ลักษณะและขนาดของเม็ดสตาร์ช

สตาร์ชถูกสะสมอยู่ในรูปของเม็ดสตาร์ช (starch granule) ที่มีขนาดเล็ก สามารถตรวจสอบเพื่อดูลักษณะของเม็ดสตาร์ชโดยใช้ Scanning Electron Microscope (SEM) โดยรูปร่างลักษณะและขนาดของสตาร์ชจากแต่ละแหล่งมีความแตกต่างกัน

สตาร์ชเมล็ดทุเรียนจัดเป็นพืชที่มีเม็ดสตาร์ชขนาดเล็ก จากการใช้ SEM ตรวจสอบเม็ดสตาร์ชของสตาร์ชเมล็ดทุเรียน พบว่าเม็ดสตาร์ชของเมล็ดทุเรียนมีรูปร่างลักษณะหลายๆ เหลี่ยม (polygonal) มีการจัดเรียงตัวอยู่เป็นกลุ่มเช่นเดียวกับสตาร์ชจากเผือก (รูปที่ 4) เม็ดสตาร์ชมีขนาดเฉลี่ย 4.3 ไมโครเมตร (Tongdang, 2008; Oates and Powell, 1996) โดยมีขนาดใกล้เคียงกับเม็ดสตาร์ชจากเผือก (4.4 ไมโครเมตร) (Aboubakar *et al.*, 2008) แต่มีขนาดเล็กกว่าเม็ดสตาร์ชจากจำปาดะ (6.47 ไมโครเมตร) (Tongdang, 2008) สตาร์ชเมล็ดขนุน (10 ไมโครเมตร) (Rengsutthi and Charoenrein, 2011) และถั่วเขียว (19.7 ไมโครเมตร) (Chang *et al.* 2006) แสดงดังรูปที่ 4



(a) (b)

Figure 4 SEM images of starch granule with magnification of 1000x

(a) Durian seed starch (Tongdang, 2008); (b) Taro starch (Aboubakar *et al.*, 2008)

Prince of Songkla University Pattani Campus

2.5.2.2 โครงสร้างของผลึก

เม็ดสตาร์ชมีโครงสร้างเป็น semi-crystalline ซึ่งเกิดจากการเรียงตัวกันของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินทั้งในส่วนที่เป็นผลึกและส่วนที่เป็นอสัณฐานของเม็ดสตาร์ช สตาร์ชมีรูปแบบผลึก 2 แบบ ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นในการจัดเรียงตัวของโมเลกุล ได้แก่ แบบ A และแบบ B และหากผลึกอยู่ในลักษณะที่กำกึ่งระหว่างแบบ A และแบบ B จะเรียกว่าแบบ C โดยโครงสร้างผลึกแบบ A มีการจัดเรียงตัวของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินอย่างหนาแน่นมาก เนื่องจากมีโมเลกุลของน้ำน้อยมาก (Tester *et al.*, 2004) ซึ่งมีเพียง 8 โมเลกุล ในขณะที่แบบ B มีการจัดเรียงตัวแบบหลวมๆ เนื่องจากมีโมเลกุลของน้ำมากกว่า แบบ A ถึง 36 โมเลกุลอยู่ตรงกลางของเซลล์ (Buleon *et al.*, 1998) แสดงดังรูปที่ 5 ซึ่งการตรวจสอบรูปแบบโครงสร้างผลึกด้วยเครื่อง XRD สำหรับรูปแบบโครงสร้างผลึกแบบ A จะเกิดการหักเหของรังสีเอกซ์เรย์ที่พีค 15°, 17°, 18° และ 22° 2θ พบได้ในแป้งจากธัญพืช ส่วนรูปแบบโครงสร้างผลึกแบบ B เกิดการหักเหของรังสีเอกซ์เรย์ที่พีค 5.5°, 17°, 22° และ 24° 2θ พบในแป้งจากพืชหัว และกล้วย และถ้าเกิดการเรียงตัวผสมกันระหว่างแบบ A และ B รวมกัน จัดเป็นรูปแบบโครงสร้างผลึกแบบ C เกิดการหักเหของรังสีเอกซ์เรย์ที่พีค 5.5°, 17°, 18°, 20° และ 23.5° 2θ พบในแป้งจากพืชตระกูลถั่ว (Sajilata et al., 2006; Zobel *et al.*, 1988) นอกจากนี้ยังมีผลึกแบบ V (V-type starch) เป็นลักษณะของการเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะไมโลสกับกรดไขมันและโมโนกลีเซอไรด์ ซึ่งเกิดในระหว่างการเกิดเจลาทิไนเซชั่น โดยพบไม่บ่อยในสตาร์ชดิบ (Buléon *et al.*, 1998) ดังรูปที่ 6

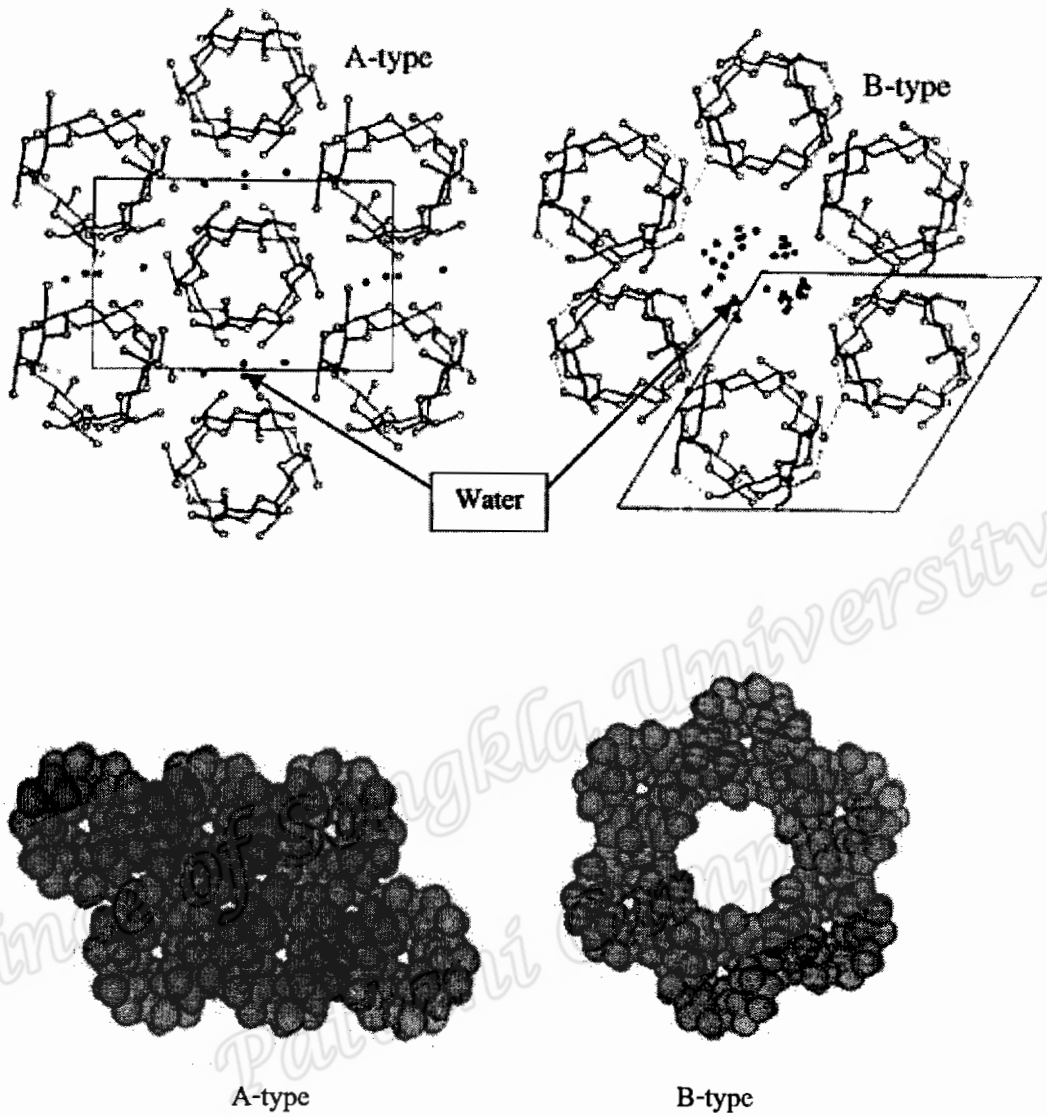


Figure 5 A- and B-type of crystalline structures.

Source : Buleon *et al.* (1998); Tester *et al.* (2004)

ทั้งนี้แป้งที่มีโครงสร้างผลึกต่างกันจะให้ลักษณะของดิฟแฟรคโตแกรมต่างกัน เนื่องจากโครงสร้างของผลึกที่ต่างกันจะทำให้ลักษณะการกระจายตัวของแสง X-ray ต่างกัน (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2550) ในปัจจุบันยังไม่พบรายงานการศึกษารูปแบบโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชจากเมล็ดทุเรียน

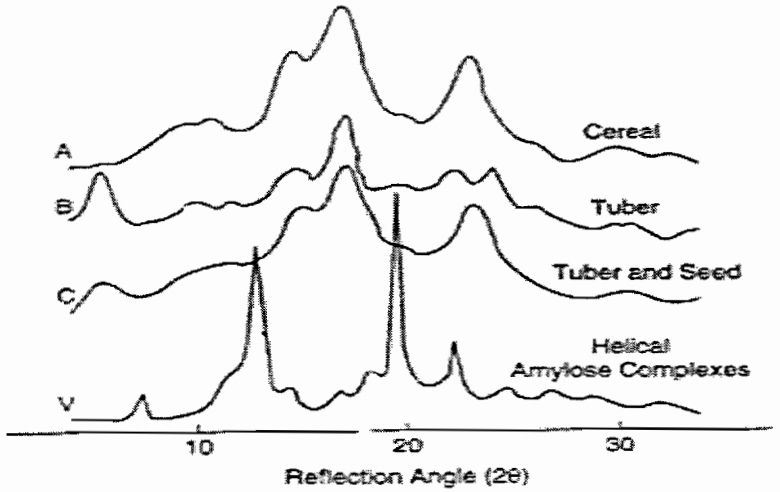


Figure 6 X-ray diffraction patterns of starch.

Source: Zobel (1988)

2.5.3 สมบัติเชิงหน้าที่

2.5.3.1 กำลังการพองตัวและการละลาย

ภายในเม็ดสตาร์ชมีสายของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินที่เรียงตัวขนานกันตามแนวรัศมี และแต่ละสายจะดึงดูดกันด้วยพันธะไฮโดรเจนจากหมู่ไฮดรอกซิลของกลูโคสของแต่ละสายที่ใกล้ๆ กัน ทำให้มีลักษณะคล้ายร่างแหและเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงมาก (Leach *et al.*, 1959) เมื่อโมเลกุลของสตาร์ชอยู่ในน้ำที่มีมากเกินพอและได้รับความร้อน ส่งผลให้โครงสร้างผลึกแตกออกและโมเลกุลของน้ำสามารถเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระอันเนื่องมาจากพันธะไฮโดรเจนที่ถูกทำลายไป เป็นผลให้เม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัวและการละลายเพิ่มขึ้น (Singh, 2003) ดังนั้นการพองตัวและการละลายจึงขึ้นอยู่กับองค์ประกอบภายในเม็ดสตาร์ชและโครงสร้างของเม็ดสตาร์ช ซึ่งองค์ประกอบภายในเม็ดสตาร์ชได้แก่ ปริมาณอะไมโลส อะไมโลเพคตินและไขมัน (Tester and Morrison, 1990) ขนาดและรูปร่างของเม็ดสตาร์ช (Kaur *et al.*, 2004) รวมทั้งความแข็งแรงและคุณลักษณะในร่างแหของไมเซล ที่เป็นความสัมพันธ์ของปริมาณอะไมโลสของสตาร์ช (Akanbi *et al.*, 2009) กำลังการพองตัวของเม็ดสตาร์ชจะแสดงเป็นปริมาตรหรือน้ำหนักของตะกอนแป้งที่ได้ เมื่อแป้งมีการพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำต่อน้ำหนักแห้งของแป้ง สำหรับความสามารถในการละลายจะแสดงเป็นร้อยละของน้ำหนักของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลายอยู่ในส่วนใสที่แยกได้ต่อน้ำหนักแป้งเริ่มต้น ซึ่งวิเคราะห์ได้โดยตรงจากการนำส่วนใสไปทำให้แห้งและชั่งน้ำหนัก (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2550)

Tongdang (2008) ได้ทำการศึกษากำลังการพองตัวและความสามารถในการละลายของสตาร์ชเมล็ดทุเรียน เมล็ดจำปาดะและเมล็ดขนุนเปรียบเทียบกับสตาร์ชเมล็ดถั่วเขียว พบว่า

Prince of Songkla University Pattani Campus

กำลังการพองตัวและความสามารถในการละลายมีอัตราเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดยกำลังการพองตัวของสตาร์ชเมล็ดทุเรียนและสตาร์ชเมล็ดถั่วเขียวจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจาก 55 เป็น 75 องศาเซลเซียส และจะค่อยๆเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนถึง 95 องศาเซลเซียส โดยกำลังการพองตัวของสตาร์ชเมล็ดทุเรียนจะเกิดที่อุณหภูมิต่ำกว่าสตาร์ชเมล็ดถั่วเขียว ในทางตรงกันข้าม กำลังการพองตัวของสตาร์ชเมล็ดจำปาดะและเมล็ดขนุนจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ที่อุณหภูมิ 55-75 องศาเซลเซียส แต่จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 75 องศาเซลเซียส และเพิ่มขึ้นจนถึง 95 องศาเซลเซียส ส่วนความสามารถในการละลายของสตาร์ชเมล็ดทุเรียนและสตาร์ชเมล็ดถั่วเขียวจะเพิ่มขึ้นจากที่อุณหภูมิ 55 เป็น 75 องศาเซลเซียส โดยจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 65 เป็น 75 องศาเซลเซียส ส่วนสตาร์ชเมล็ดจำปาดะและเมล็ดขนุนจะค่อยๆละลายอย่างช้าๆ แต่การละลายจะกลับเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายหลังอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส

Oates และ Powell (1996) ศึกษากำลังการพองตัวและความสามารถในการละลายของสตาร์ชเมล็ดทุเรียนเปรียบเทียบกับสตาร์ชจากเมล็ดมะม่วง เงาะ ขนุนและลำไย พบว่า กำลังการพองตัวของสตาร์ชเมล็ดทุเรียนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส คิดเทียบเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าสตาร์ชเมล็ดมะม่วง ขนุน ลำไยและเงาะ ตามลำดับ (46, 40, 32.4 และ 20.9 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่ความสามารถในการละลายของสตาร์ชทุกชนิดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส อยู่ในช่วง 18-22.5 เปอร์เซ็นต์

Mukprasirt และ Sajjaanantakul (2004) ศึกษากำลังการพองตัวและการละลายของฟลาวร์เมล็ดขนุนที่อยู่ในรูปฟลาวร์จากการโม่เปียก ฟลาวร์ที่บดแห้งและสตาร์ชเปรียบเทียบกับสตาร์ชดัดแปรทางการค้า พบว่า ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ฟลาวร์วและสตาร์ชเมล็ดขนุนมีกำลังการพองตัวต่ำกว่าสตาร์ชดัดแปรทางการค้า ซึ่งฟลาวร์เมล็ดขนุนที่อยู่ในรูปฟลาวร์จากการโม่เปียก ฟลาวร์ที่บดแห้งและสตาร์ชมีกำลังการพองตัวเท่ากับ 9.32, 8.61 และ 10.54 กรัมต่อกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับความสามารถในการละลายของฟลาวร์วและสตาร์ชเมล็ดขนุนต่ำกว่าสตาร์ชดัดแปรทางการค้า โดยฟลาวร์เมล็ดขนุนที่อยู่ในรูปฟลาวร์จากการโม่เปียก ฟลาวร์ที่บดแห้งและสตาร์ชมีความสามารถในการละลายเท่ากับ 19.64, 17.08 และ 20.59 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Prince of Songkla University Pattani Campus

2.5.3.2 ความหนืด

ความหนืดเป็นสมบัติที่มีความสำคัญของแป้งและมีผลต่อการนำไปใช้ประโยชน์ เป็นสารให้ความข้นหนืดหรือสารยึดเกาะ (Wickramasinghe *et al.*, 2009) เมื่อน้ำแป้งที่มีการให้ความร้อนและมีการกวนเกิดขึ้นนั้นส่งผลให้เม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัวจนกระทั่งเม็ดสตาร์ชแตกออก จนทำให้โมเลกุลอะไมโลสหลุดออกมา ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความหนืด (BeMiller, 2007) ปัจจุบันการวัดการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งนิยมใช้เครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) ซึ่งมีข้อดีคือเครื่องมือนี้สามารถเปลี่ยนระดับอุณหภูมิ ทั้งการทำให้ร้อนและเย็นได้อย่างแม่นยำ นอกจากนี้สามารถรักษาอุณหภูมิให้คงที่ในการทดลองนั้นและใช้ตัวอย่างในปริมาณน้อย เมื่อน้ำแป้งได้รับความร้อนจะดูดซับน้ำและพองตัวขยายใหญ่ขึ้น ขณะเดียวกันน้ำที่เหลืออยู่รอบๆ ลดน้อยลงทำให้เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยาก แป้งจะเกิดเจลาทิไนเซชั่น มีผลทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่มีความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ซึ่งเป็นจุดที่เม็ดแป้งมีการพองตัวเต็มที่ การเพิ่มอุณหภูมิและมีการกวนภายใต้แรงเฉือน (shear force) ที่คงที่ค่าหนึ่งต่อไปอีกจะมีผลทำให้โครงสร้างภายในแตกออกทำให้ความหนืดลดลง และเมื่อลดอุณหภูมิลงจะเกิดรีโทรเกรเดชั่น มีผลทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นอีกซึ่งเป็นความหนืดที่เกิดจากการจัดเรียงตัวใหม่ของโมเลกุลอะไมโลสที่ละลายออกมาจากเม็ดแป้ง ลักษณะของกราฟความหนืดที่วัดด้วย RVA (Newport Scientific, 1998) แสดงดังรูปที่ 7

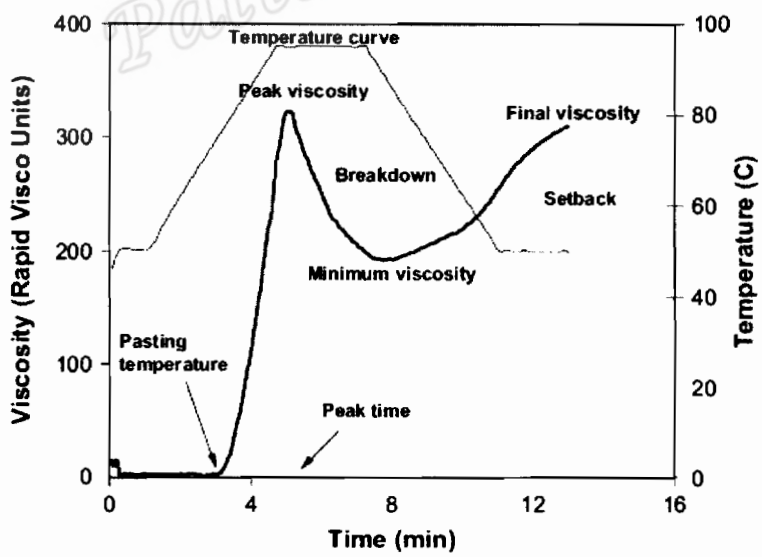


Figure 7 RVA profile of starch.

Source: Copeland *et al.* (2009)

Prince of Songkla University Pattani Campus

Tongdang (2008) ศึกษาคุณสมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชที่สกัดได้จากเมล็ดผลไม้ที่มีกลิ่นของไทยสามชนิด คือ เมล็ดจำปาดะ เมล็ดขนุนและเมล็ดทุเรียนเปรียบเทียบกับสตาร์ชเมล็ดถั่วเขียว ด้วยเครื่อง RVA พบว่า ช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนเซชั่น (pasting temperature) ของสตาร์ชเมล็ดถั่วเขียวและสตาร์ชเมล็ดทุเรียนมีค่าใกล้เคียงกันแต่ต่ำกว่าสตาร์ชเมล็ดขนุนและสตาร์ชเมล็ดจำปาดะที่อุณหภูมิ 74, 76, 86 และ 82 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชตัวอย่าง พบว่า ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ของสตาร์ชเมล็ดถั่วเขียว เมล็ดจำปาดะ เมล็ดทุเรียนและเมล็ดขนุน คือ 5089.2, 3307, 2847 และ 2705 mPa s ตามลำดับ ซึ่งความหนืดสูงสุดของสตาร์ชทั้งสี่ชนิดนี้จะมีความแตกต่างกัน จากผลของค่าความหนืดสูงสุดนั้น เมื่อเม็ดสตาร์ชพองตัวสูงสุดก็จะเกิดการแตกตัวทำให้ความหนืดลดลงเรียกว่าค่าความหนืดต่ำสุด (trough viscosity) ซึ่งค่าความหนืดต่ำสุดของสตาร์ชเมล็ดจำปาดะและเมล็ดขนุนจะคล้ายกันแต่มีค่าความแตกต่างของ Break down เมื่อทำการลดอุณหภูมิลง พบว่าความหนืดของสตาร์ชเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเกิดรีโทรเกรเดชั่น ช่วงนี้เรียกว่า ค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ซึ่งสตาร์ชเมล็ดถั่วเขียวมีค่าความหนืดสุดท้าย คือ 4232.1 mPa s ดังนั้นแล้วสตาร์ชเมล็ดขนุนและเมล็ดทุเรียนจะมีความทนต่อแรงกวนได้ เพราะมีค่า Breakdown ต่ำกว่าสตาร์ชชนิดอื่นๆ

ปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าความหนืดสูงสุด ค่าความหนืดต่ำสุด ค่าความหนืดสุดท้าย ค่าการคืนตัวและค่า Breakdown แตกต่างกัน คือสัดส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน ขนาดของเม็ดสตาร์ช ปริมาณไขมัน การใช้ความร้อนสูงหรือมีการใช้แรงกลมาก (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2550)

2.5.3.3 การเกิดเจลาทิไนเซชั่น

เจลาทิไนเซชั่น เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อเม็ดสตาร์ชอยู่ในน้ำที่มากพอและได้รับความร้อน ซึ่งจากกระบวนการดังกล่าวทำให้เกิดลักษณะที่สำคัญ คือ พันธะไฮโดรเจนเกิดการคลายตัวและถูกทำลาย มีผลให้เม็ดสตาร์ชสามารถจับกับโมเลกุลของน้ำทำให้เกิดการพองตัว ซึ่งโครงสร้างหลักของเม็ดสตาร์ชที่ถูกทำลายและเม็ดสตาร์ชแตกมีผลให้อะไมโลสสายสั้นที่อยู่ภายในเม็ดสตาร์ชหลุดออกมาและเกิดความหนืดในรูปของแป้งเปียกขึ้น (Tester *et al.*, 2004) จากกระบวนการเกิดเจลาทิไนเซชั่นนี้ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหลายๆ อย่าง คือ การสูญเสียความเป็นผลึก จึงทำให้สูญเสียสมบัติการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ (birefringence) การเปลี่ยนแปลงพลังงานและสถานะ (Donovan, 1979; Hoover and Hadziyev, 1981; Jenkins and Donald, 1998; Waigh *et al.*, 2000 Hoover, 2001; Hoover, 2010)

Prince of Songkla University Pattani Campus

การตรวจสอบอุณหภูมิเจลาติไนซ์สามารถทำได้ด้วยการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนที่ใช้ในการทำลายโครงสร้างของสตาร์ชในระหว่างการเกิดเจลาทิไนเซชั่นด้วยเครื่อง DSC (Differential Scanning Calorimeter) ทำให้ทราบถึงค่าอุณหภูมิเริ่มต้นในการเปลี่ยนแปลง (Onset, T_o) ค่าอุณหภูมิสูงสุด (Midpoint, T_p) ค่าอุณหภูมิสุดท้าย (Conclusion, T_c) และค่าพลังงานเอนทาลปี (Enthalpy, ΔH) (Hoover *et al.*, 2001) ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลาทิไนเซชั่น คือ ปริมาณอะไมโลส ขนาด รูปร่างและการกระจายตัวของเม็ดสตาร์ช รวมทั้งการจัดเรียงตัวของอะไมโลสและอะไมโลเพคทินในเม็ดสตาร์ช (Miao *et al.*, 2009) นอกจากนี้ปริมาณโปรตีน ไขมัน (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2550) วิธีการสกัดสตาร์ช (Kim *et al.*, 1995) สภาวะในการปลูก สภาวะในการเก็บรักษา (Maaruf *et al.*, 2001) ก็มีผลต่ออุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนเซชั่นเช่นกัน

Tongdang (2008) ศึกษาการเกิดเจลาทิไนเซชั่นของสตาร์ชที่สกัดได้จากเมล็ดผลไม้ที่มีกลิ่นของไทยสามชนิด คือ เมล็ดจำปาดะ เมล็ดขนุนและเมล็ดทุเรียนเปรียบเทียบกับสตาร์ชเมล็ดถั่วเขียว พบว่า สตาร์ชเมล็ดขนุน มีช่วงอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลาทิไนเซชั่นอยู่ในช่วงระหว่าง 81.3-87.0 องศาเซลเซียส ตามด้วยสตาร์ชเมล็ดจำปาดะ เมล็ดทุเรียน และสตาร์ชเมล็ดถั่วเขียว โดยที่สตาร์ชเมล็ดขนุนและสตาร์ชเมล็ดจำปาดะ มีช่วงของการเกิดเจลาทิไนเซชั่น (ΔT) แคบกว่าสตาร์ชเมล็ดทุเรียน และสตาร์ชเมล็ดถั่วเขียว แสดงดังรูปที่ 8 ในขณะที่เอนทัลปีของสตาร์ชเมล็ดขนุนและเมล็ดจำปาดะมีค่าที่สูงกว่าสตาร์ชเมล็ดทุเรียน และสตาร์ชเมล็ดถั่วเขียว พลังงานส่วนใหญ่เป็นที่ต้องการในการเกิดเจลาติไนซ์ของเม็ดสตาร์ชของเมล็ดขนุนและเมล็ดจำปาดะมากกว่าเม็ดสตาร์ชจากเมล็ดทุเรียน และเมล็ดถั่วเขียว ซึ่งแสดงถึงความแข็งแรงของพันธะของโมเลกุลในเม็ดสตาร์ชจากเมล็ดขนุนและเมล็ดจำปาดะ ดังนั้น สตาร์ชทั้งสี่ชนิด จึงสามารถแบ่งเป็นสองกลุ่ม คือ กลุ่มแรกเป็นกลุ่มที่เกิดเจลาทิไนเซชั่นที่อุณหภูมิสูง (เม็ดสตาร์ชจากเมล็ดขนุนและเมล็ดจำปาดะ) และกลุ่มที่สองเป็นกลุ่มที่เกิดเจลาทิไนเซชั่นที่อุณหภูมิต่ำ (เม็ดสตาร์ชจากเมล็ดทุเรียน และเมล็ดถั่วเขียว)

Oates และ Powell (1996) ศึกษาอุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนเซชั่นของสตาร์ชเมล็ดทุเรียนเปรียบเทียบกับสตาร์ชของเมล็ดมะม่วง เงาะ ขนุนและลำไย พบว่าสตาร์ชของเมล็ดทุเรียนมีช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนเซชั่น (66.5 องศาเซลเซียส) สูงกว่าสตาร์ชเมล็ดขนุน (65.8 องศาเซลเซียส) แต่ต่ำกว่าสตาร์ชเมล็ดมะม่วง ลำไยและเงาะ ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับค่าเอนทาลปี พบว่าสตาร์ชของเมล็ดทุเรียนมีค่าเอนทาลปี (9.45 จูลต่อกรัม) สูงกว่าสตาร์ชเมล็ดขนุน (2.87 จูลต่อกรัม)

Rengsutthi และ Charoenrein (2008) ศึกษาอุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนเซชั่นของสตาร์ชเมล็ดขนุนเปรียบเทียบกับสตาร์ชข้าวโพดและมันฝรั่ง พบว่า อุณหภูมิในการเกิด

เจลาทิไนเซชั่นของสตาร์ชเมล็ดขนุนสูงกว่าสตาร์ชข้าวโพดและมันฝรั่ง ซึ่งสตาร์ชเมล็ดขนุนได้ปรากฏพีคการดูดกลืนความร้อนในกระบวนการเกิดเจลาทิไนเซชั่นถึง 2 พีค โดยพีคแรกเกิดในช่วงอุณหภูมิ 63.1-73.3 องศาเซลเซียส และพีคที่สองเกิดในช่วงอุณหภูมิ 79.6-90.2 องศาเซลเซียส และมีค่าเอนทาลปีเท่ากับ 5.7 และ 8.4 จูลต่อกรัม ในขณะที่สตาร์ชข้าวโพดและมันฝรั่งเกิดพีคเดียวที่ช่วงอุณหภูมิ 67.8-79.3 และ 62.3-73.3 องศาเซลเซียส และมีค่าเอนทาลปีเท่ากับ 22.9 และ 30.9 จูลต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งอาจเนื่องมาจากรูปร่าง ขนาดและการกระจายตัวของเม็ดสตาร์ชมีความหลากหลาย ซึ่งจากการศึกษาเพิ่มเติม พบว่า การกระจายตัวของขนาดเม็ดสตาร์ชมี 2 กลุ่ม ที่มีขนาดแตกต่างกัน

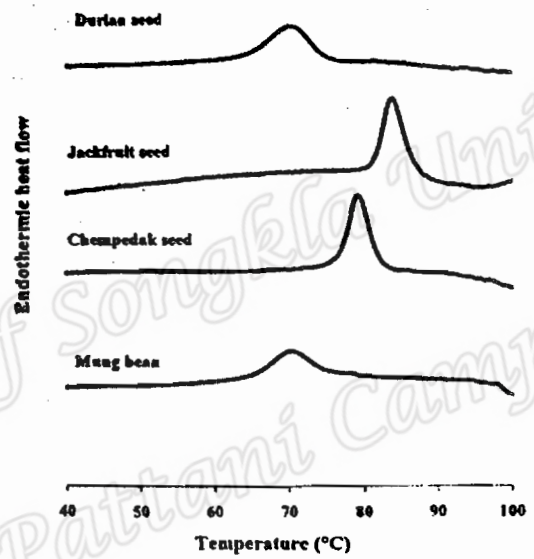


Figure 8 DSC gelatinized thermograms of durian seed, jackfruit seed, chempedak seed and mung bean starchs.

Source: Tongdang (2008)

2.5.3.4 การเกิดรีโทรเกรเดชั่น

กระบวนการเกิดรีโทรเกรเดชั่น (retrogradation) หรือการคืนตัว เกิดขึ้นหลังจากสตาร์ชเกิดเจลาทิไนเซชั่น โดยหากมีการลดอุณหภูมิหรือปล่อยให้แป้งเปียกเย็นตัว โมเลกุลอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ เกิดเป็นร่างแหสามมิติโครงสร้างใหม่ ส่งผลให้มีความหนืดเพิ่มขึ้นและเกิดลักษณะเจลเหนียว (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2550) และเมื่อลดอุณหภูมิต่ำลงไปอีก ลักษณะการจัดเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้น ทำให้โมเลกุลของน้ำอิสระที่อยู่ภายในเม็ดแป้งถูกบีบตัวออกมานอกเจล เรียกปรากฏการนี้ว่า Syneresis (Karim *et al.*, 2000)

Prince of Songkla University Pattani Campus

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดรีโทรเกรเดชั่นของสตาร์ช ได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณและขนาดของโมเลกุล ความเป็นกรด-เบส (Doremus *et al.*, 1951)

การตรวจสอบความสามารถในการเกิดรีโทรเกรเดชั่นของสตาร์ชแต่ละชนิดอาจประมาณได้จากค่าการคืนตัว (setback) หรือความหนืดสุดท้ายของสตาร์ช จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA นอกจากนี้การเกิดรีโทรเกรเดชั่นของสตาร์ชสามารถวัดการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่เกิดขึ้น โดยการใช้เครื่อง DSC ซึ่งเป็นการบันทึกค่าพลังงานที่ใช้ทำลายโครงสร้างจากการเกิดรีโทรเกรเดชั่นเทียบกับพลังงานของการเกิดเจลาทิไนเซชั่นของตัวอย่างสตาร์ชชนิดเดียวกัน (Sandhu and Singh, 2007)

2.6 แนวทางการนำฟลาวร์และสตาร์ชมาใช้ประโยชน์

จากการค้นคว้าข้อมูล พบว่ามีการใช้ประโยชน์จากเมล็ดทุเรียนในทางเกษตรกรรม เช่น การนำไปทำเมล็ดพันธุ์ ปุ๋ย เป็นต้น มีรายงานการนำเมล็ดทุเรียนไปใช้ประโยชน์ด้านอาหาร รวมทั้งทางเภสัชกรรมน้อยมาก แนวทางการนำเมล็ดทุเรียนมาใช้ประโยชน์ในด้านดังกล่าวอาจเตรียมให้อยู่ในรูปของสตาร์ชหรือฟลาวร์ก่อนที่จะสามารถนำไปแปรรูปหรือใช้ประโยชน์

2.6.1 วิธีการเตรียมสตาร์ชและฟลาวร์จากเมล็ดทุเรียน

Oates และ Powell (1996) ได้สกัดสตาร์ชจากเมล็ดทุเรียน โดยใช้วิธีของ Schoch และ Maywald (1968) ด้วยการปอกเปลือกสีน้ำตาลออก แช่ในน้ำทิ้งไว้ทั้งคืน ล้างให้สะอาด และบดด้วยเครื่องบดโดยใช้ความเร็วต่ำ เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นจึงนำมากรองผ่านตะแกรงขนาด 80 ไมโครเมตร นำสตาร์ชล้างด้วยน้ำสะอาด 3 ครั้งก่อนที่จะสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ และโทลูอีนเข้มข้น 0.02 เปอร์เซ็นต์ แล้วจึงนำส่วนที่เป็นสตาร์ชมาล้างด้วยน้ำและอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งให้ผลผลิตเป็นสตาร์ชจากเมล็ดทุเรียนประมาณ 3 มิลลิกรัมต่อกรัมเมล็ด ปริมาณผลผลิตที่ได้มีความแตกต่างกันทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง คือ วัตถุดิบ (พันธุ์ สภาวะแวดล้อมในการเพาะปลูกและก่อนการเก็บเกี่ยว) กระบวนการผลิต (วิธีการผลิต น้ำหรือสารเคมีที่ใช้ในการสกัด)

Tongdang (2008) ได้ทำการสกัดสตาร์ชจากเมล็ดทุเรียนโดยการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ แล้วบดให้ละเอียด กรองและล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์จำนวน 3 ครั้ง นำส่วนของตะกอนแป้งที่ได้มาผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.05 โมลาร์ และปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ 1600×g นาน 15 นาที แยกส่วนที่เป็นสารละลายสีเหลืองด้านบนทิ้งก่อนนำตะกอนแป้งมาล้างด้วยน้ำสะอาด แล้วจึงใช้สารละลายไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ เพื่อปรับให้เป็นกลาง นำส่วนของตะกอนแป้ง

ที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จากการผลิตสตาร์ชจากเมล็ดทุเรียน พบว่า ผลผลิตที่ได้มีค่าประมาณ 10.1 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักเมล็ดสด เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณผลผลิตของสตาร์ชจากเมล็ดถั่วเขียว เมล็ดขนุน และเมล็ดจำปาดะ ที่มีปริมาณ 18.9, 18.2 และ 17.5 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักเมล็ดสด ทั้งนี้ปริมาณของสตาร์ชที่แตกต่างกันนั้นขึ้นอยู่กับชนิดและพันธุ์ของวัตถุดิบ สภาวะแวดล้อมในการเพาะปลูก ก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว และกระบวนการผลิต

สิรินาถ (2542) ได้ศึกษาการผลิตฟลาวร์จากเมล็ดทุเรียนพันธุ์ลวง โดยการนำเมล็ดทุเรียน ทำความสะอาด ปอกเปลือกสีน้ำตาลออกและแยกเอา hypocotyls ออก หั่นเนื้อเมล็ดทุเรียนหนา 2 มิลลิเมตร ล้างเนื้อเมล็ดด้วยสารละลายสารส้มอิ่มตัวและล้างด้วยน้ำสะอาด แช่เนื้อเมล็ดในสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ล้างด้วยน้ำสะอาด นำเนื้อเมล็ดปั่นผสมกับสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ความเข้มข้น 0.075 เปอร์เซ็นต์ ล้างด้วยน้ำสะอาดบีบน้ำออก อบแห้งที่ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง บดให้ละเอียดและผ่านตะแกรงร่อนขนาด 120 เมช ได้ผลผลิต 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณเมล็ดทุเรียนทั้งหมด

2.6.2 การประยุกต์ใช้ฟลาวร์หรือสตาร์ชจากเมล็ดทุเรียน

Amin *et al.* (2007) รายงานว่าฟลาวร์จากเมล็ดทุเรียนสามารถใช้ร่วมกันกับอาหารได้หลากหลายชนิดเช่น เค้ก คุ้กกี้ ซุป เทมปุระ เป็นต้น รวมทั้งยังสามารถใช้ทดแทนฟลาวร์ข้าวสาลีหรือเป็นสารให้ความหนืด และด้วยความตระหนักถึงสมบัติของความหนืดจากเมือกของเมล็ดทุเรียนทำให้ในประเทศมาเลเซียนำสมบัติดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ด้วยการนำมาทำซอสหวานที่เรียกว่า "serawa durian" ซึ่งเตรียมจากการนำเนื้อทุเรียนและเมล็ดทุเรียนมาต้มพร้อมกับน้ำกะทิและน้ำตาลทรายแดง เพื่อเพิ่มความหนืดให้กับน้ำกะทิ

สิรินาถ (2542) ศึกษาการนำฟลาวร์จากเมล็ดทุเรียนพันธุ์ลวงที่นำเปลือกหุ้มเมล็ดออกแล้วไปใช้ประโยชน์โดยการทดแทนฟลาวร์สาลีในผลิตภัณฑ์เค้กเนยและคุกกี้ พบว่าฟลาวร์เมล็ดทุเรียนพันธุ์ลวงที่นำมาใช้ทดแทนฟลาวร์สาลีในผลิตภัณฑ์เค้กเนยและคุกกี้ สามารถทดแทนได้ในปริมาณ 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักฟลาวร์สาลี) ตามลำดับ โดยมีผลความชอบรวมไม่แตกต่างจากสูตรต้นแบบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ค่าสีของผลิตภัณฑ์เค้กเนยและคุ้กกี้พบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีการทดแทนฟลาวร์สาลีด้วย ฟลาวร์เมล็ดทุเรียนในปริมาณที่สูงขึ้นจะมีสีของผลิตภัณฑ์เข้มขึ้นเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์สูตรต้นตำรับ และองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์เค้กเนยและคุกกี้ที่ผ่านการทดแทนด้วยฟลาวร์เมล็ดทุเรียนมีองค์ประกอบใกล้เคียงกันกับสูตรต้นแบบ ยกเว้นปริมาณโปรตีนที่มีแนวโน้มลดต่ำลงเมื่อฟลาวร์เมล็ดทุเรียนมีปริมาณเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากฟลาวร์เมล็ดทุเรียนมีปริมาณโปรตีนต่ำกว่าฟลาวร์สข้าวสาลี

Prince of Songkla University Pattani Campus

แต่ปริมาณโปรตีนที่ลดลงไม่ได้มีผลทำให้การยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคในด้านต่างๆ เช่น สี กลิ่น รสชาติ และความชอบรวมลดลง

สนั่นและคณะ (2541) ศึกษาคุณสมบัติการเป็นสารยึดเกาะและสารช่วยกระจายตัวในเม็ดยาของฟลาวร์ลูกเดือย เผือก มันเทศและเมล็ดทุเรียน ผลการทดลองพบว่าการเป็นสารยึดเกาะในยาเม็ดของฟลาวร์ทั้ง 4 ชนิด ซึ่งมีปริมาณอะไมโลเพคตินสูงกว่าฟลาวร์ข้าวโพดที่ถูกนำมาใช้เป็นฟลาวร์เปรียบเทียบ โดยจะแสดงคุณสมบัติในการเป็นสารยึดเกาะที่ดีในยาเม็ด ซึ่งให้ compressibility (คุณสมบัติในด้านการหดตัวของเม็ดยาเมื่อมีแรงกด) ที่ดีกว่าฟลาวร์ข้าวโพด อย่างไรก็ตามฟลาวร์ทั้งสี่ชนิดมีคุณสมบัติในการส่งเสริมให้เกิดการแตกตัวของเม็ดยา เพียงแต่น้อยกว่าฟลาวร์ข้าวโพด และให้ weight of variation ของเม็ดยาที่ใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาคุณสมบัติในการเป็น disintegrant (สารที่ช่วยแตกตัวซึ่งมีคุณสมบัติในการพองตัวที่ดี) พบว่าฟลาวร์ทุกชนิดให้การแตกตัวเร็วในเม็ดยาที่เตรียมไม่ต่างจากฟลาวร์ข้าวโพดอย่างมีนัยสำคัญ มีเพียงฟลาวร์เผือกที่ให้การแตกตัวของเม็ดยาช้ากว่าฟลาวร์ชนิดอื่นๆ ทั้งนี้อาจเนื่องจากฟลาวร์เผือกมีขนาดของเม็ดสตาร์ชเล็กที่สุด

2.7 สารทดแทนไขมัน

สารทดแทนไขมันเป็นส่วนผสมที่ใช้เพื่อทดแทนการใช้ไขมันในอาหาร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดค่าพลังงานของอาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ (Koca and Metin, 2004) Food and Drug Administration (FDA) ของประเทศอเมริกา ได้กำหนดสารทดแทนไขมันไว้ 3 ประเภทตามแหล่งที่มาคือ สารที่ผลิตจากโปรตีน (protein-based substitute) ไขมัน (fat-based substitute) และคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate-based substitute) (Bastin, 1997) สารในกลุ่มคาร์โบไฮเดรต ส่วนมากจะเป็นโพลิแซคคาร์ไรด์ ได้แก่ เซลลูโลส กัม เดกซ์ทริน เยื่อใย มอลโตเดกซ์ทริน สตาร์ชและโพลีเดกซ์ตริน เมื่อเติมลงไปในอาหารจะเพิ่มปริมาตร และความหนืดส่งผลให้เกิดความรู้สึกเมื่ออยู่ในปากคล้ายคลึงกับไขมัน ยิ่งไปกว่านั้นยังมีผลต่อระบบอิมัลชันและคุณสมบัติของโครงสร้าง (American Dietetic Association, 1998) นอกจากนี้ยังให้พลังงานต่ำกว่าไขมัน การผลิตสารที่เป็นตัวแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ต่างๆ ทำได้ค่อนข้างยาก เพราะจากสมบัติของไขมันที่ไปมีผลทั้งทางฟิสิกส์ของอาหารและปฏิกิริยาทางด้านเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตอาหาร เช่น ช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์ขนมอบมีความนุ่ม โดยทำหน้าที่เป็นตัวหล่อลื่น (lubricant) ป้องกันไม่ให้เกิดการพัฒนาของกลูเตนมากไปในช่วงการขึ้นรูป และไขมันช่วยเพิ่มปริมาตรระหว่างการอบ โดยการช่วยกักเก็บฟองอากาศไว้ในก้อนโด (dough) นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันการเคลื่อนที่ของน้ำจากโปรตีนไปยังเม็ดสตาร์ช ชะลอการสุกของแป้งจึงป้องกันการแข็งตัวของผลิตภัณฑ์ได้ (Anon, 1989)

Prince of Songkla University Pattani Campus

2.8 การประยุกต์ใช้แป้งที่มีอนุภาคขนาดเล็กเป็นสารทดแทนไขมัน

อนุภาคของสตาร์ชที่มีขนาดเล็กประมาณ 2 ไมโครเมตร หรือมีขนาดใกล้เคียงกับขนาดของเม็ดไขมัน สามารถนำมาใช้เป็นสารทดแทนไขมันในอาหารได้ โดยขนาดอนุภาคของเม็ดสตาร์ชมีบทบาทสำคัญในการกำหนดรสชาติและความรู้สึกเมื่ออยู่ในปากคล้ายคลึงกับไขมัน (Daniel and Whistler, 1990) อนุภาคของสตาร์ชที่มีขนาดเล็กจะมีโครงสร้างผลึกสูง เมื่อนำมาทดสอบการละลายจะได้สารละลายที่มีลักษณะเป็นครีมที่มีความเสถียรเป็นระยะเวลานาน เนื่องจากขนาดอนุภาคที่เล็กมากจึงทำให้ยากแก่การตกตะกอน เมื่อทดสอบความสามารถในการเป็นสารทดแทนไขมัน พบว่าอนุภาคของสตาร์ชที่มีขนาดเล็กสามารถรวมตัวอยู่ในเฟสของน้ำและเฟสน้ำมันได้ ขนาดอนุภาคที่เล็กมากทำให้ครีมที่ได้มีเนื้อเนียนเรียบ และมีลักษณะเนื้อสัมผัสและความรู้สึกเมื่ออยู่ในปากใกล้เคียงกับไขมัน (Jane *et al.*, 1992)

Prince of Songkla University Pattani Campus