บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

ศึกษาสมบัติของเมล็ดทุเรียนสองพันธุ์ คือพันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์ชะนี (ดังรูปที่ 9) ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมี สารต้านโภชนาการ สารพิษ และสมบัติเชิงหน้าที่ รวมถึงสมบัติของสตาร์ชจากเมล็ดทุเรียน

Figure 9 Durian seed samples.

4.1 ปริมาณผลผลิต

4.1.1 ปริมาณผลผลิตของฟลาวร์และสตาร์ช

เตรียมฟลาวร์ ฟลาวร์ที่กำจัดเมือก และสตาร์ช จากเมล็ดทุเรียนสดทั้ง 2 พันธุ์ตามวิธีการในข้อ 3.3.1.1, 3.3.1.2 และ 3.3.1.3 ตามลำดับ ลักษณะและปริมาณของผลผลิตที่ได้แสดงดังรูปที่ 10 และตารางที่ 5 ผลการทดลองที่ได้มีดังต่อไปนี้

Prince of Songkla University Pattani Campus

Figure 10 Durian seed flour, demucilaged flour and starch samples.

ฟลาวร์เมล็ดทุเรียนพันธุ์พื้นเมืองและชะนีมีลักษณะที่คล้ายกัน คือ มีลักษณะสีเหลืองเข้ม โดยปริมาณ NF (62.51 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้งของเมล็ดสด) น้อยกว่า CF (75.34 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้งของเมล็ดสด) ส่วนฟลาวร์ที่กำจัดเมือกออกจากเมล็ดทุเรียนทั้งสองพันธุ์มีลักษณะคล้ายกัน คือ มีลักษณะสีเหลืองอ่อน โดยปริมาณผลผลิตของ NDF คือ 23.30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้งของฟลาวร์ ซึ่งน้อยกว่าปริมาณของ CDF (25.49 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้งของฟลาวร์) ความแตกต่างของปริมาณผลผลิตอาจเนื่องจากพันธุ์ที่แตกต่างกัน ความสมบูรณ์ของเมล็ดและสภาวะแวดล้อมในการเจริญเติบโตของเมล็ด (Rahman *et al,* 1999)

สำหรับสตาร์ชที่สกัดจากฟลาวร์เมล็ดทุเรียนทั้งสองพันธุ์ก็มีลักษณะคล้ายคลึงเช่นกัน คือ มีลักษณะสีขาวบริสุทธิ์ โดยปริมาณ NS ที่ได้คือ 5.52 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้งของฟลาวร์ ซึ่งน้อยกว่าปริมาณของ CS (5.61 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้งของฟลาวร์) จากการศึกษาของ Tongdang (2008) พบว่า ปริมาณผลผลิตของสตาร์ชเมล็ดทุเรียนโดยใช้วิธีเดียวกันนี้ให้ปริมาณผลผลิต 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้งของเมล็ดสด ในขณะที่ Oates และ Powell (1996) สกัดสตาร์ชเมล็ดทุเรียนโดยใช้น้ำกลั่น โซเดียมคลอไรด์และโทลูอีน ให้ปริมาณผลผลิตเพียง 1.8-4.2 มิลลิกรัมต่อเมล็ด ทั้งนี้ความแตกต่างของปริมาณผลผลิตที่ได้ต่อเนื่องจากเทคนิคกระบวนการสกัดที่มีรายละเอียดที่แตกต่างกัน

จากผลการทดลองพบว่าในเมล็ดทุเรียนแต่ละพันธุ์ ปริมาณผลผลิตของฟลาวร์ที่กำจัดเมือกและสตาร์ชน้อยกว่าฟลาวร์ (ตารางที่ 4) เนื่องจากเมล็ดทุเรียนมีสารเมือกเป็นองค์ประกอบและถูกกำจัดในกระบวนการกำจัดเมือกและการสกัดสตาร์ช จึงทำให้ผลผลิตที่ได้มีปริมาณน้อยกว่าฟลาวร์

Table 4 Yield of durian samples in different forms.

Sample	Yield (%, db)
NF[1]	62.51
NDF[2]	23.30
NS[2]	5.52
CF[1]	75.34
CDF[2]	25.49
CS[2]	5.61

[1] based on fresh seed weight

[2] based on durian seed flour

4.1.2 ปริมาณสารเมือก

สกัดสารเมือกจากเมล็ดสดและฟลาวร์เมล็ดทุเรียนทั้งสองพันธุ์ ตามวิธีการในข้อ 3.3.1.4 ปริมาณผลผลิตที่ได้ แสดงดังตารางที่ 5 สารเมือกในเมล็ดสดทั้งสองพันธุ์มีปริมาณใกล้เคียงกัน คืออยู่ในช่วง 21.70-23.54 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเมล็ดสด และปริมาณเมือกลดลงเล็กน้อยเมื่อสกัดจากฟลาวร์ การศึกษาของ โอรส (2548) พบว่า สารเมือกที่สกัดได้จากหัวแยมสดสองชนิดมีปริมาณใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มลดลงเมื่อเตรียมจากฟลาวร์ โดยอาจเป็นไปได้ว่าสารเมือกในหัวแยมสดมีสมบัติในการละลายดี จึงทำให้เมือกออกมาได้มากกว่า ในขณะที่ฟลาวร์ที่ผ่านกระบวนการทำแห้ง ซึ่งความร้อนอาจทำให้สมบัติบางประการโดยเฉพาะการละลายของสารเมือกเปลี่ยนแปลงไป หรือในกระบวนการทำแห้งดังกล่าวอาจทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างสารเมือกกับองค์ประกอบอื่นๆในเม็ดสตาร์ช จึงทำให้สารเมือกถูกสกัดออกมาได้ในปริมาณที่น้อยกว่า

สารเมือกที่สกัดได้มีลักษณะเหนียว สามารถกระจายตัวและจับกับน้ำได้ ทำให้สารละลายที่ได้มีความหนืดสูงหรือมีลักษณะเป็นเจล จึงน่าจะเป็นสารกลุ่มไฮโดรคอลลอยด์ ในอุตสาหกรรมอาหารจึงอาจนำสารเมือกจากเมล็ดทุเรียนไปใช้ประโยชน์เป็นสารเพิ่มความคงตัว (stabilizer) สารเพิ่มความหนืด (thickener) อิมัลซิไฟเออร์, suspending agent, gelling agent, film-forming agent, encapsulating agent เป็นต้น ซึ่งหน้าที่ดังกล่าวจะช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีคุณภาพดีขึ้น เช่น มีลักษณะเนื้อและลักษณธปรากฏที่ดีและมีอายุการวางขายได้นาน (นิธิยา, 2545)

Prince of Songkla University Pattani Campus

Table 5 Mucilage contents of durian fresh seed and flour from two varieties.

Durian seed sample	Yield (%, db)
NFS[1]	21.70
NF[2]	19.87
CFS[1]	23.54
CF[2]	19.92

[1] based on fresh seed

[2] based on durian seed flour

4.2 องค์ประกอบทางเคมี สารต้านโภชนาการและสารพิษ

ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี (ปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน ใยอาหาร เถ้าและคาร์โบไฮเดรต) สารต้านโภชนาการ (ปริมาณสารยับยั้งทริปซินและสารยับยั้งอะไมเลส) และปริมาณสารพิษ (Cyclopropene fatty acid) มีผลการทดลอง ดังนี้

4.2.1 องค์ประกอบทางเคมี

เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีระหว่างพันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์ชะนี (ตารางที่ 6) ในรูปของ ฟลาวร์ พบว่า ปริมาณไขมัน เยื่อใย เถ้าและคาร์โบไฮเดรตของ NF และ CF ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนปริมาณโปรตีนพบว่า NF มีปริมาณโปรตีนสูงกว่า CF อย่างมีนัยสำคัญ (p <0.05) โดยจะเห็นว่ามีปริมาณโปรตีนอยู่ค่อนข้างสูง (7.16-8.56 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้งของฟลาวร์) สำหรับตัวอย่างในรูปของฟลาวร์ที่กำจัดเมือก พบว่า ปริมาณเถ้าของ CDF สูงกว่า NDF อย่างมีนัยสำคัญ (p <0.05) ซึ่งผลการศึกษาเป็นไปในทางตรงกันข้ามกับปริมาณคาร์โบไฮเดรต (CDF<NDF) ส่วนปริมาณไขมัน โปรตีนและเยื่อใยไม่ต่างกันทางสถิติ สำหรับตัวอย่างสตาร์ชทั้งสองพันธุ์มีปริมาณไขมัน โปรตีน เยื่อใยและเถ้าที่ไม่ต่างกันทางสถิติ ยกเว้นปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่พบว่า NS มีปริมาณสูงกว่า CS อย่างมีนัยสำคัญ

จากผลการศึกษาจะเห็นว่าโดยภาพรวมแล้ว เมล็ดทุเรียนทั้งสองพันธุ์มีองค์ประกอบทางเคมีในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้นปริมาณโปรตีนในฟลาวร์และเถ้าในรูปของฟลาวร์วที่กำจัดเมือกเท่านั้น ทั้งนี้ปริมาณของโปรตีนที่แตกต่างกันอาจเนื่องมาจากพันธุ์ที่แตกต่างกัน รวมทั้งสภาวะแวดล้อมในการเจริญและอาหารที่ได้รับของพืชจึงส่งผลให้ปริมาณโปรตีนมีความแตกต่างกัน ส่วนปริมาณเถ้าที่แตกต่างกัน บ่งชี้ได้ว่า CDF น่าจะมีแร่ธาตุมากกว่า NDF

รูปแบบของตัวอย่างที่แตกต่างกันมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมี (ไขมัน โปรตีน เยื่อใย เถ้าและคาร์โบไฮเดรต) อย่างมีนัยสำคัญ (p <0.05) ดังตารางภาคผนวกที่ ข. 1 และ ข. 2

Prince of Songkla University Pattani Campus

กล่าวคือ ในเมล็ดทุเรียนพันธุ์เดียวกันพบว่าฟลาวร์มีปริมาณไขมัน โปรตีน และเยื่อใยใกล้เคียงกับฟลาวร์ที่กำจัดเมือก โดยการกำจัดเมือกออกไปนั้นเป็นผลให้ปริมาณไขมัน โปรตีน และเยื่อใยหายไปเพียง 0.16, 1.83 และ 0.17 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น ในขณะที่ปริมาณไขมัน โปรตีน และเยื่อใยของสตาร์ชต่ำกว่าฟลาวร์และต่ำกว่าฟลาวร์ที่กำจัดเมือกอย่างมีนัยสำคัญ แต่ปริมาณคาร์โบไฮเดรตเป็นไปในทางตรงกันข้าม ทั้งนี้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่แตกต่างกันเป็นผลมาจากในฟลาวร์มีทั้งส่วนที่เป็นสตาร์ชและไม่ใช่สตาร์ชรวมอยู่ด้วย โดยผลการศึกษาเป็นไปในทำนองเดียวกันในเมล็ดทุเรียนทั้งสองพันธุ์ (ตารางที่ 7) ซึ่งความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีนี้เป็นลักษณะเฉพาะของเมล็ดทุเรียนแต่ละพันธุ์ สอดคล้องกับการศึกษาของ Chanapamokkhot และ Thonggngam (2007) ที่ได้ทำการศึกษาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของ ฟลาวร์และสตาร์ชจากข้าวฟ่าง พบว่า ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี (ไขมัน โปรตีน เยื่อใยและเถ้า) ของฟลาวร์ข้าวฟ่างมีมากกว่าสตาร์ชข้าวฟ่าง ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการในการเตรียมตัวอย่างเช่นกัน

จากผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของฟลาวร์ ฟลาวร์ที่กำจัดเมือกและสตาร์ชของเมล็ดทุเรียนทั้งสองพันธุ์ พบว่าสิ่งที่น่าสนใจคือ ฟลาวร์เมล็ดทุเรียนมีปริมาณโปรตีนสูงคือ 7.16-8.56 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้งของฟลาวร์ ซึ่งเป็นปริมาณใกล้เคียงกับ ฟลาวร์ข้าวสาลีชนิดที่ใช้ในการทำคุ๊กกี้ คือมีปริมาณ 11 เปอร์เซ็นต์ (Wanyo *et al.*, 2009) จึงอาจเป็นไปได้ในการใช้ฟลาวร์เมล็ดทุเรียนควบคู่กับฟลาวร์สาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้ (sweet biscuit) ซึ่งโดยปกติมีปริมาณโปรตีน 7-8.5 เปอร์เซ็นต์ (Radley, 1976) นอกจากนี้ฟลาวร์เมล็ดทุเรียนยังมีปริมาณเถ้าสูงด้วย ทั้งนี้เถ้าดังกล่าวก็คือแร่ธาตุ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 1 แล้ว โดยหากมีการศึกษาถึงชนิดและปริมาณแร่ธาตุต่างๆ ใน ฟลาวร์เมล็ดทุเรียนทั้งสองพันธุ์เพิ่มเติม ก็น่าจะช่วยในการอธิบายถึงสมบัติที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติมให้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

Prince of Songkla University Pattani Campus

Table 6 Chemical compositions of durian seed in comparison of varieties within the same form of sample.

Sample form	Chemical compositions					
	Moisture	Lipid (%, db)	Protein (%, db)	Fiber (%, db)	Ash (%, db)	Carbohydrate (%, db)
NF	8.95±0.07[a]	0.64±0.05[a]	8.56±0.44[b]	0.92±0.18[a]	4.45±0.74[a]	76.46±0.94[a]
CF	9.69±0.39[a]	0.58±0.06[a]	7.16±0.18[a]	0.82±0.22[a]	4.45±0.32[a]	77.27±1.02[a]
NDF	8.38±0.25[a]	0.48±0.11[a]	6.73±0.89[a]	0.75±0.26[a]	2.04±0.08[a]	81.61±1.00[b]
CDF	9.85±0.15[b]	0.52±0.00[a]	6.55±0.61[a]	0.58±0.32[a]	3.81±0.06[b]	78.66±1.01[a]
NS	9.42±0.73[a]	ND	0.17±0.00[a]	0.13±0.1[a]	0.50±0.18[a]	89.72±0.63[b]
CS	10.98±0.01[a]	ND	0.17±0.00[a]	0.01±0.00[a]	0.53±0.04[a]	88.34±0.13[a]

Mean value ± standard deviation of triplicates.

Different letters in the same column are significantly different (p <0.05).

ND = not detect

Prince of Songkla University Pattani Campus

Table 7 Chemical compositions of durian seed in comparison of sample forms within the same variety.

Sample form	Chemical compositions					
	Moisture	Lipid (%, db)	Protein (%, db)	Fiber (%, db)	Ash (%, db)	Carbohydrate (%, db)
NF	8.95±0.07^{a}	0.64±0.05^{b}	8.56±0.44^{c}	0.92±0.18^{b}	4.45±0.74^{c}	76.46±0.94^{a}
NDF	8.38±0.25^{ab}	0.48±0.11^{a}	6.73±0.89^{b}	0.75±0.26^{b}	2.04±0.08^{b}	81.61±1.00^{b}
NS	9.42±0.73^{b}	ND	0.17±0.00^{a}	0.13±0.10^{a}	0.50±0.18^{a}	89.72±0.63^{c}
CF	9.69±0.39^{a}	0.58±0.06^{b}	7.16±0.18^{b}	0.82±0.22^{b}	4.45±0.32^{c}	77.27±1.02^{a}
CDF	9.85±0.15^{a}	0.52±0.00^{a}	6.55±0.61^{b}	0.58±0.32^{b}	3.81±0.06^{b}	78.66±1.01^{a}
CS	10.98±0.01^{b}	ND	0.17±0.00^{a}	0.01±0.00^{a}	0.53±0.04^{a}	88.34±0.13^{b}

Mean value ± standard deviation of triplicates.

Different letters in the same column are significantly different (p <0.05).

ND = not detect

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.2.2 สารต้านโภชนาการและสารพิษ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์สารต้านโภชนาการ 2 ชนิด คือ สารยับยั้งทริปซินและอะไมเลส และสารพิษ (Cyclopropene fatty acid) ซึ่งผลการศึกษา แสดงดังตารางที่ 9 และ 10

4.2.2.1 สารยับยั้งทริปซิน

ในการศึกษาผลของสารยับยั้งที่มีต่อการทำงานของเอนไซม์ทริปซิน เป็นการติดตามกิจกรรมที่ลดลงของเอนไซม์ทริปซิน สำหรับการตรวจสอบได้เลือก Benzoyl-DL-arginine-p-nitroanilide hydrochloride (BAPNA) เป็นสารตั้งต้น เมื่อ BAPNA ถูกย่อยสลายจากการทำงานของเอนไซม์ทริปซิน จะได้ Benzoyl-DL-arginine เป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถดูดกลืนแสงได้ที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร ดังนั้นในสภาวะที่มีสารยับยั้ง BAPNA จะถูกย่อยสลายเป็น Benzoyl-DL-arginine ได้ลดลง ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ลดลงตามไปด้วย (ณัชชา, 2550)

ปริมาณสารยับยั้งทริปซินของเมล็ดทุเรียนพันธุ์ชะนีสูงกว่าพันธุ์พื้นเมืองอย่างมีนัยสำคัญในตัวอย่างทุกรูปแบบ (p <0.05) ยกเว้นสตาร์ชที่มีปริมาณสูงกว่าแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 8) ทั้งนี้แม้ว่าปริมาณโปรตีนในรูปแบบที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกัน แต่อาจเนื่องจากความแตกต่างของพันธุ์ที่ทำให้ปริมาณสารยับยั้งทริปซินแตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบตัวอย่างที่ต่างกันในเมล็ดทุเรียนพันธุ์เดียวกัน (ตารางที่ 9) พบว่า รูปแบบของตัวอย่างมีผลต่อปริมาณทริปซินอย่างมีนัยสำคัญ (p <0.05) ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ ข. 3 กล่าวคือ ในเมล็ดทุเรียนพันธุ์เดียวกันพบว่า NFS>NF>NDF>NS (p <0.05) โดยผลการศึกษาเป็นไปในทำนองเดียวกันในเมล็ดทุเรียนพันธุ์ชะนี (ตารางภาคผนวกที่ ข. 4) จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าในเมล็ดทุเรียนมีปริมาณสารยับยั้งทริปซินสูงสุดและลดลงตามลำดับ หากพิจารณาถึงปริมาณโปรตีนของตัวอย่างเมล็ดทุเรียนทั้งสองพันธุ์ (ตารางที่ 7) จะเห็นได้ว่า เมล็ดสดมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าฟลาวร์ ฟลาวร์ที่กำจัดเมือกและสูงกว่าสตาร์ช นอกจากนี้ปริมาณสารยับยั้งทริปซินที่แตกต่างกัน น่าจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการเตรียมตัวอย่าง โดยเมื่อมีการเพิ่มกระบวนการในการเตรียมตัวอย่างส่งผลให้สารยับยั้งทริปซิน ซึ่งจัดเป็นโปรตีนชนิดหนึ่งอาจถูกทำลายได้ด้วยอุณหภูมิสูงหรือการละลายน้ำจากกระบวนการเตรียม กล่าวคือ ตัวอย่างฟลาวร์ผ่านกระบวนการทำแห้ง ตามด้วยขั้นตอนในการเตรียมฟลาวร์ที่กำจัดเมือกและสตาร์ช ซึ่งมีการกำจัดเมือก โปรตีนและไขมันออก อาจมีผลให้สารยับยั้งทริปซินถูกกำจัดหรือถูกทำลายไปได้

สารยับยั้งทริปซินอาจพบได้ในพืชชนิดอื่นๆ และมีปริมาณที่แตกต่างกันไป เช่น ในหัวแยมมีปริมาณ 4.3-20.9 มิลลิกรัมต่อกรัม (Bhandari and Kawabata, 2006) ในฟลาวร์เม็ดมะม่วงหิมพานต์ Bread nut และเมล็ดฟักทอง มีปริมาณ 2.5, 8.21 และ 11 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ (Fagbeni *et al.*, 2005)

4.2.2.2 สารยับยั้งอะไมเลส

การศึกษาปริมาณสารยับยั้งอะไมเลส ตามวิธีการของ Bernfeld (1955) เป็นการหาปริมาณสารยับยั้งอะไมเลสในสารละลายตัวอย่างที่สกัดได้จากเมล็ดทุเรียนทั้งสองพันธุ์ โดยการวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) หรือมอลโทส ซึ่งได้จากการย่อยแป้ง (soluble starch) ด้วยเอนไซม์ที่สกัดได้และวัดสีที่เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างหมู่รีดิวซ์ (reducing group) กับ 3,5-Dinitrosalisalicylic acid (DNS) ซึ่งให้สีแดงและสามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร

ปริมาณสารยับยั้งอะไมเลสของเมล็ดทุเรียนพันธุ์พื้นเมืองสูงกว่าพันธุ์ชะนีอย่างมีนัยสำคัญในตัวอย่างทุกรูปแบบ (p <0.05) ยกเว้นสตาร์ชที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 8) ทั้งนี้เนื่องจากสารยับยั้งอะไมเลสจากเมล็ดทุเรียนจัดเป็นสารยับยั้งอะไมเลสชนิดที่เป็นโปรตีน ซึ่งจากการศึกษาปริมาณโปรตีนพบว่าในพันธุ์พื้นเมืองมีปริมาณสูงกว่าพันธุ์ชะนี ส่งผลให้สารยับยั้งอะไมเลสในพันธุ์พื้นเมืองมีสูงกว่าพันธุ์ชะนี นอกจากนี้ความแตกต่างของพันธุ์อาจส่งผลให้ปริมาณสารยับยั้งอะไมเลสแตกต่างกันได้ เช่นในหัวแยม มีปริมาณสารยับยั้งอะไมเลส 78-147 หน่วยต่อกรัม (Bhandari and Kawabata, 2006)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบตัวอย่างที่แตกต่างกันในเมล็ดทุเรียนพันธุ์เดียวกัน (ตารางที่ 9) พบว่า รูปแบบของตัวอย่างมีผลต่อปริมาณสารยับยั้งอะไมเลสอย่างมีนัยสำคัญ (p <0.05) ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ ข. 3 กล่าวคือ ในเมล็ดทุเรียนพันธุ์เดียวกันพบว่า NFS>NF>NDF>NS (p <0.05) โดยผลการศึกษาเป็นไปในทำนองเดียวกันในเมล็ดทุเรียนพันธุ์ชะนี (ตารางภาคผนวกที่ ข. 4) ทั้งนี้การลดลงของปริมาณสารยับยั้งอะไมเลสในฟลาวร์ ฟลาวร์ที่กำจัดเมือกและสตาร์ช น่าจะเป็นเหตุผลเดียวกันกับการลดลงของสารยับยั้งทริปซิน

4.2.2.3 Cyclopropene fatty acid (CPFA)

ปริมาณ CPFA วิเคราะห์โดยสกัดไขมันจากตัวอย่างเมล็ดทุเรียนรูปแบบต่างๆ เพื่อวิเคราะห์สาร CPFA ซึ่งเป็นสารพิษ (Berry, 1980) ผลการศึกษา พบว่า ปริมาณ CPFA ของเมล็ดทุเรียนสดพันธุ์ชะนีสูงกว่าพันธุ์พื้นเมือง แต่ในตัวอย่างฟลาวร์และฟลาวร์ที่กำจัดเมือกของเมล็ดทุเรียนพันธุ์ชะนีต่ำกว่าพันธุ์พื้นเมือง (p <0.05) (ตารางที่ 8)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบตัวอย่างที่แตกต่างกันในเมล็ดทุเรียนพันธุ์เดียวกัน (ตารางที่ 9) พบว่า รูปแบบของตัวอย่างมีผลต่อปริมาณ CPFA อย่างมีนัยสำคัญ (p <0.05) ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ ข. 3 กล่าวคือ ในเมล็ดทุเรียนพันธุ์เดียวกันพบว่าปริมาณ CPFA ใน NFS>NF>NDF>NS (p <0.05) โดยผลการศึกษาเป็นไปในทำนองเดียวกันในเมล็ดทุเรียนพันธุ์ชะนี

(ตารางภาคผนวกที่ ข. 4) ซึ่งเมล็ดทุเรียนทั้งสองพันธุ์ ที่อยู่ในรูปเมล็ดสด ฟลาวร์และฟลาวร์ที่กำจัดเมือก มีปริมาณ CPFA อยู่ในช่วง 0.13-0.23, 0.1-0.12 และ 0.09 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนสตาร์ชยังไม่ได้มีการศึกษาเนื่องจากมีปริมาณไขมันน้อยมาก จึงไม่สามารถวัดปริมาณ CPFA ได้ ทั้งนี้เนื่องจาก CPFA เป็นกรดไขมันที่ประกอบด้วยกรดสเตอคูลิค (sterculic acid) และกรดมัลวาลิค (malvalic acid) ดังนั้นในขั้นตอนการบดร่อนฟลาวร์และขั้นตอนการสกัดเมือกในฟลาวร์ที่กำจัดเมือก รวมทั้งขั้นตอนการสกัดสตาร์ชจึงอาจทำให้กรดไขมันทั้งสองชนิดถูกทำลายหรือกำจัดไปได้ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวอาจทำให้ปริมาณสารพิษลดลงได้

จากการรายงานของ อำนวย (2527) ได้รายงานเกี่ยวกับข้อกำหนดของกระทรวงสาธารณสุข ซึ่งมีข้อกำหนดว่าต้องมีปริมาณ CPFA ไม่เกิน 0.4 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นเมล็ดทุเรียนทั้งสองพันธุ์ จึงน่าจะมีความปลอดภัยต่อการบริโภคได้ เนื่องจากมีปริมาณ CPFA น้อยกว่าที่กำหนด

Table 8 Antinutrient and CPFA contents of durian seed in comparison of varieties within the same form of sample.

Sample	Trypsin inhibitor (mg/g sample)	α-Amylase inhibitor (unit/g sample)	CPFA (g/g sample)
NFS	5.11±0.10^{a}	9.97±0.37^{b}	1.3×10^{-3}±0.00^{a}
CFS	6.42±0.20^{b}	8.27±0.56^{a}	2.3×10^{-3}±0.00^{b}
NF	1.02±0.16^{a}	6.37±0.36^{b}	1.2×10^{-3}±0.00^{b}
CF	2.77±0.11^{b}	4.21±0.33^{a}	1.0×10^{-3}±0.00^{a}
NDF	0.69±0.06^{a}	1.58±0.12^{b}	9.3×10^{-4}±0.00^{b}
CDF	2.14±0.06^{b}	0.45±0.02^{a}	9.0×10^{-4}±0.00^{a}
NS	0.29±0.22^{a}	0.37±0.00^{a}	-
CS	0.37±0.06^{a}	0.38±0.00^{a}	-

Mean value ± standard deviation of triplicates.

Different letters in the same column are significantly different (p <0.05).

Prince of Songkla University Pattani Campus

Table 9 Antinutrient and CPFA contents of durian seed in comparison of sample form within the same variety.

Sample	Trypsin inhibitor (mg/g sample)	α-Amylase inhibitor (unit/g sample)	CPFA (g/g sample)
NFS	5.11±0.10^{d}	9.97±0.37^{d}	1.3×10^{-3}±0.00^{c}
NF	1.02±0.16^{c}	6.37±0.36^{c}	1.2×10^{-3}±0.00^{b}
NDF	0.69±0.06^{b}	1.58±0.12^{b}	9.3×10^{-4}±0.00^{a}
NS	0.29±0.22^{a}	0.37±0.00^{a}	-
CFS	6.42±0.20^{d}	8.27±0.56^{d}	2.3×10^{-3}±0.00^{c}
CF	2.77±0.11^{c}	4.21±0.33^{c}	1.0×10^{-3}±0.00^{b}
CDF	2.14±0.06^{b}	0.45±0.02^{b}	9.0×10^{-4}±0.00^{a}
CS	0.37±0.06^{a}	0.38±0.00^{a}	-

Mean value ± standard deviation of triplicates.

Different letters in the same column are significantly different (p <0.05).

จากผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่า ฟลาวร์ ฟลาวร์ที่ผ่านการสกัดเมือกและสตาร์ชมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจส่งผลให้สมบัติเชิงหน้าที่ของตัวอย่างทั้ง 3 รูปแบบของเมล็ดทุเรียนทั้งสองพันธุ์ ต่างกัน อย่างไรก็ตาม ในฟลาวร์และ ฟลาวร์ที่กำจัดเมือกมีสตาร์ชเป็นส่วนประกอบและน่าจะมีอิทธิพลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของตัวอย่างดังกล่าวอยู่ด้วย

4.3 สมบัติของสตาร์ชเมล็ดทุเรียน

เตรียมตัวอย่างสตาร์ชเมล็ดทุเรียนทั้งสองพันธุ์ตามวิธีการในข้อ 3.3.1.3 โดยสมบัติเฉพาะของสตาร์ชที่ได้ศึกษานอกเหนือจากสมบัติเชิงหน้าที่ ได้แก่ลักษณะรูปร่างของเม็ดสตาร์ช การกระจายตัวและขนาดของเม็ดสตาร์ช รูปแบบโครงสร้างผลึก ความหนืดอินทรินสิค การเกิดเจลาทิไนเซชั่นและการเกิดรีโทรเกรเดชั่น ผลการศึกษาเป็นดังต่อไปนี้

4.3.1 ปริมาณอะไมโลส

จากการศึกษาปริมาณอะไมโลสของสตาร์ชพบว่า NS มีปริมาณอะไมโลส 23.31 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ CS มีปริมาณต่ำกว่าคือ 22.86 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Tongdang (2008) ที่พบว่าสตาร์ชเมล็ดทุเรียนมีปริมาณอะไมโลส 22.64 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ผลการศึกษาของ Oates and Powell (1996) พบว่าสตาร์ชเมล็ดทุเรียนมีปริมาณ

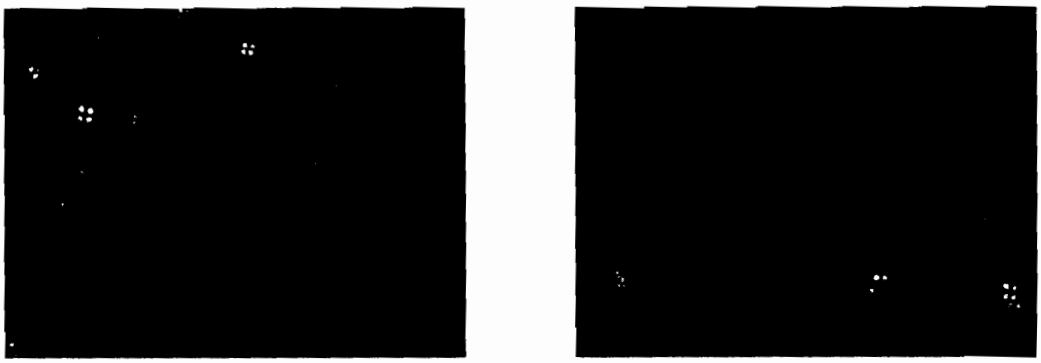
Prince of Songkla University Pattani Campus

อะไมโลสสูงกว่า คือ 25-29 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้มีการศึกษาปริมาณอะไมโลสในสตาร์ชของเมล็ดผลไม้ชนิดอื่นๆ เช่น สตาร์ชเมล็ดขนุน (32 เปอร์เซ็นต์) (Rengsutthi and Charoenrein, 2011) เมล็ดจำปาดะ(32 เปอร์เซ็นต์) (Tongdang, 2008) และเมล็ดมะม่วง (9-16 เปอร์เซ็นต์) (Kaur *et al.*, 2004) ความแตกต่างของปริมาณอะไมโลสในสตาร์ชแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับชนิดสตาร์ช ความแตกต่างของพันธุ์ สิ่งแวดล้อมในการเจริญของพืช วิธีการวิเคราะห์และองค์ประกอบอื่นในสตาร์ช

4.3.2 ลักษณะมอลตีสครอสและรูปร่างของเม็ดสตาร์ช

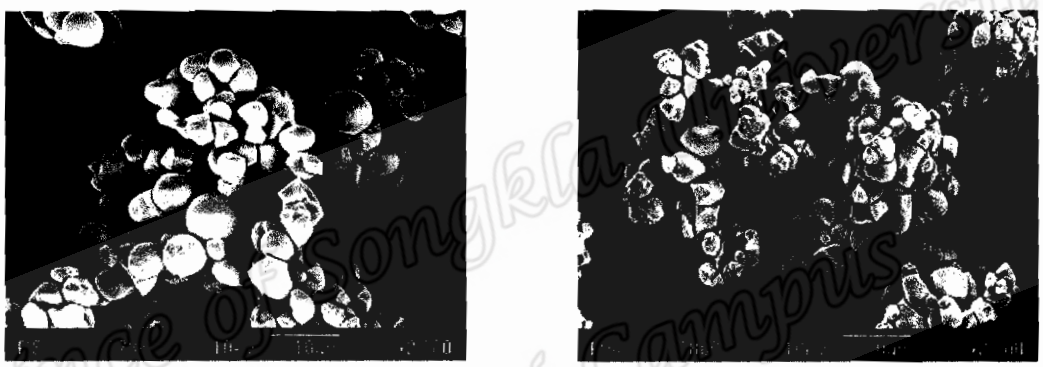
จากการศึกษารูปร่างของเม็ดสตาร์ชด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่มีแผ่นกรองแสงโพลาไรซ์ ดังรูปที่ 11 เห็นลักษณะกากบาท (มอลตีสครอส) ที่ชัดเจน เนื่องจากสตาร์ชมีสมบัติการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ (birefringence) ทำให้เห็นลักษณะกากบาทที่มีพื้นที่มืดและสว่าง โดยส่วนที่สว่างเป็นส่วนของโมเลกุลที่จัดเรียงตัวกันหนาแน่นหรือส่วนที่เป็นผลึกของสตาร์ช (Gallant *et al.*, 1997)

สำหรับรูปร่างของเม็ดสตาร์ช (รูปที่ 12) พบว่า เม็ดสตาร์ชเมล็ดทุเรียนทั้งสองพันธุ์มีรูปร่าง หลายเหลี่ยม(polygonal morphology) และครึ่งทรงกลมผสมกันอยู่ รวมทั้งเม็ดสตาร์ชมีการเกาะกลุ่มกัน (aggregate) อาจเนื่องจากสตาร์ชมีขนาดเล็ก เมื่อพิจารณารูปร่างของเม็ดสตาร์ชที่กำลังขยาย 5,000 เท่า จะสังเกตเห็นลักษณะพื้นผิวของเม็ดสตาร์ช NS มีพื้นผิวที่เรียบมากกว่าเม็ดสตาร์ช CS ซึ่งอาจแสดงให้เห็นว่าเม็ดสตาร์ชที่สกัดได้มีความสมบูรณ์และถูกทำลายในระหว่างขั้นตอนการสกัดน้อยกว่า จากผลการทดลองนี้ลักษณะของเม็ดสตาร์ชเมล็ดทุเรียนมีลักษณะคล้ายคลึงกับผลการศึกษาของ Tongdang (2008) และ Oates และ Powell (1995) สำหรับเม็ดสตาร์ชชนิดอื่นๆ ที่มีขนาดเล็ก (น้อยกว่า 10 ไมโครเมตร) เช่นเม็ดสตาร์ชเผือก (Jayakody *et al.*, 2008) และข้าว (Singh *et al.*, 2006) มีลักษณะคล้ายกันกับเม็ดสตาร์ชของเมล็ดทุเรียนคือครึ่งวงกลมและหลายเหลี่ยมเช่นกัน ในขณะที่เม็ดสตาร์ชเม็ดสตาร์ชที่สกัดจากเมล็ดขนุน จำปาดะ มีรูปร่างแตกต่างจากสตาร์ชเมล็ดทุเรียนคือ มีลักษณะเป็นรูประฆัง (Tongdang, 2008; Tulyathan *et al.*, 2002)

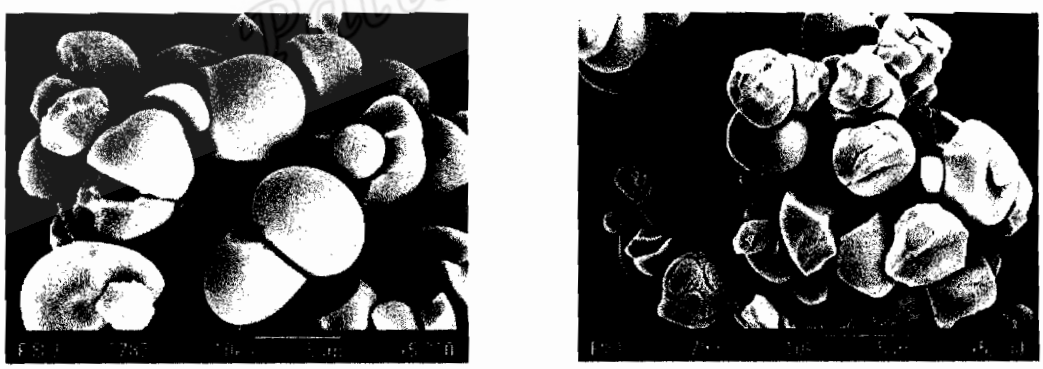


NS CS

Figure 11 Polarized light microscopic image of NS and CS (40x).



NS CS



NS CS

Figure 12 SEM images of NS and CS starch granule with magnification of 2000x and 5000x.

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.3.3 การกระจายตัวและขนาดของเม็ดสตาร์ช

การศึกษาการกระจายตัวและขนาดของเม็ดสตาร์ช NS และ CS ด้วยเครื่อง Laser particle size analyzer พบว่า ส่วนมากมีการกระจายตัวของเม็ดสตาร์ชอยู่ในช่วง 1-10 ไมโครเมตร ดังนั้น NS และ CS จึงจัดเป็นสตาร์ชที่มีขนาดอนุภาคเล็ก (รูปที่ 13) และขนาดเฉลี่ยของ NS และ CS คือ 6.44 และ 8.35 ไมโครเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 10)

ผลการทดลองของ Tongdang (2008) ที่ศึกษาขนาดของเม็ดสตาร์ชเมล็ดทุเรียน (ไม่ระบุพันธุ์) พบว่ามีขนาดเฉลี่ยเท่ากับ 4.43 ไมโครเมตร เช่นเดียวกับการศึกษาของ Oat และ Powell (1995) ที่รายงานขนาดเฉลี่ยของเม็ดสตาร์ชที่เตรียมจากเมล็ดทุเรียนที่ไม่ระบุสายพันธุ์ว่ามีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 4.9 ไมโครเมตร เมื่อเปรียบเทียบขนาดเฉลี่ยของเม็ดสตาร์ชที่สกัดจากเมล็ดขนุน (6-9 ไมโครเมตร) (Mukprasirt and Sajjaanantakul, 2004) เมล็ดจำปาดะ (6.47 ไมโครเมตร) (Tongdang, 2008) และเมล็ดมะม่วง (15.8-16.3 ไมโครเมตร) (Sandhu and Lim, 2008) ซึ่งขนาดเฉลี่ยของเม็ดสตาร์ชเมล็ดทุเรียนมีความใกล้เคียงกับเม็ดสตาร์ชขนุนและจำปาดะ ในขณะที่เมื่อเปรียบเทียบขนาดเฉลี่ยของเม็ดสตาร์ชเผือก (3-20 ไมโครเมตร) (Aboubakar *et al.*, 2008) และข้าว (12.87 ไมโครเมตร) (Limwong *et al.*, 2004) ซึ่งมีลักษณะรูปร่างเหมือนกัน ก็มีขนาดเฉลี่ยใกล้เคียงกันเช่นกัน ทั้งนี้การที่เม็ดสตาร์ชมีความแตกต่างกันทั้งขนาด และรูปร่าง เนื่องมาจากพันธุกรรมที่แตกต่างกัน (Svegmark and Hermansson, 1993) โดยลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเม็ดสตาร์ชจากพืชแต่ละชนิดจะขึ้นอยู่กับ กระบวนการทางชีวเคมีในการสังเคราะห์สตาร์ช (Wang *et al.*, 2006) นอกจากนี้ ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเม็ดสตาร์ช ยังเป็นสมบัติเฉพาะของสตาร์ชจากพืชแต่ละชนิดที่มีความสำคัญ เนื่องจากเป็นสมบัติที่สามารถส่งผลให้เกิดความแตกต่างของสมบัติของสตาร์ชด้านกายภาพ เช่น ความสามารถในการละลาย การพองตัว ความหนืดและความสามารถในการอุ้มน้ำ (Singh *et al.*, 2003; Aprianita *et al.*, 2009)

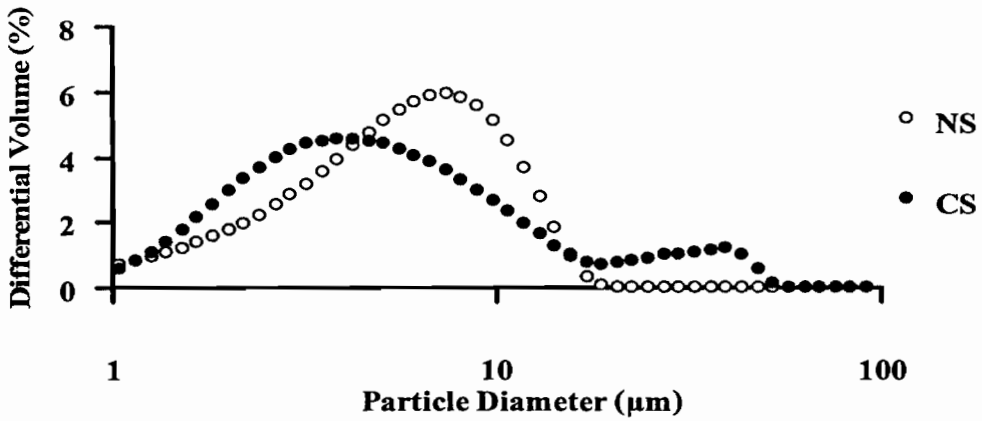


Figure 13 Granule size distributions of NS and CS.

Table 10 Granule size and fraction volume of NS and CS.

Sample	Starch granule size (μm)	Fraction volume (%)		
		0-1 μm	1-10 μm	10-100 μm
NS	6.44±3.71	3.06	82.96	13.98
CS	8.35±9.66	0.96	79.87	19.17

Mean value ± standard deviation of triplicates.

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.3.4 รูปแบบโครงสร้างผลึก

สตาร์ชดิบมีโครงสร้างเป็นกึ่งผลึก โดยโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินที่มีการจัดเรียงตัวในเม็ดสตาร์ชทั้งส่วนที่เป็นผลึกและส่วนที่เป็นอสัณฐาน จากการศึกษารูปแบบผลึกของ Zobel (1988) ด้วยเทคนิค X-ray diffraction พบว่า ผลึกแบบ A มีการเรียงตัวของโครงสร้างแบบหนาแน่นมาก มีพีคเกิดขึ้นที่มุมหักเห (diffraction angle) เท่ากับ 15°, 17°, 18° และ 22° 2θ ผลึกแบบ B มีการเรียงตัวกันหลวมๆ มีพีคที่มุมหักเห เท่ากับ 5.5°, 17°, 22° และ 24° 2θ และผลึกแบบ C ซึ่งเป็นการผสมกันระหว่างแบบ A และ B มีพีคที่มุมหักเห เท่ากับ 5.5°, 17°, 18°, 20° และ 23.5° 2θ การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างผลึกของ NS และ CS พบว่า ผลดิฟแฟรคโตแกรมที่ได้มีพีคที่มุมหักเหเท่ากับ 15°, 17°, 18° และ 22° 2θ (รูปที่ 14) ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับโปรไฟล์ของสตาร์ชเมล็ดขนุน ดังรูปที่ 15 (Rengsutthi and Charoenrein, 2011; Tulyathan *et al.*, 2002) ดังนั้นตามลักษณะโปรไฟล์ที่ได้จากการศึกษานี้รูปแบบโครงสร้างผลึกของ CS และ NS น่าจะเป็นแบบ A โครงสร้างผลึกของสตาร์ชที่มีความแตกต่างกันนั้นขึ้นอยู่กับการควบคุมลักษณะทางพันธุกรรมและ

สภาพภูมิอากาศในระหว่างที่พืชเจริญเติบโต นอกจากนี้อุณหภูมิและน้ำในระหว่างที่พืชเจริญเติบโตอาจมีผลต่อโครงสร้างผลึกได้ (Buléon *et bal.*, 1998) ในขณะที่เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของ NS และ CS เท่ากับ 17.44 และ17.95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าสตาร์ชเมล็ดขนุน (28.4 เปอร์เซ็นต์) (Rengsutthi and Charoenrein, 2011) และเมล็ดมะม่วง (35.4-38.3 เปอร์เซ็นต์) (Sandhu and Lim, 2008)

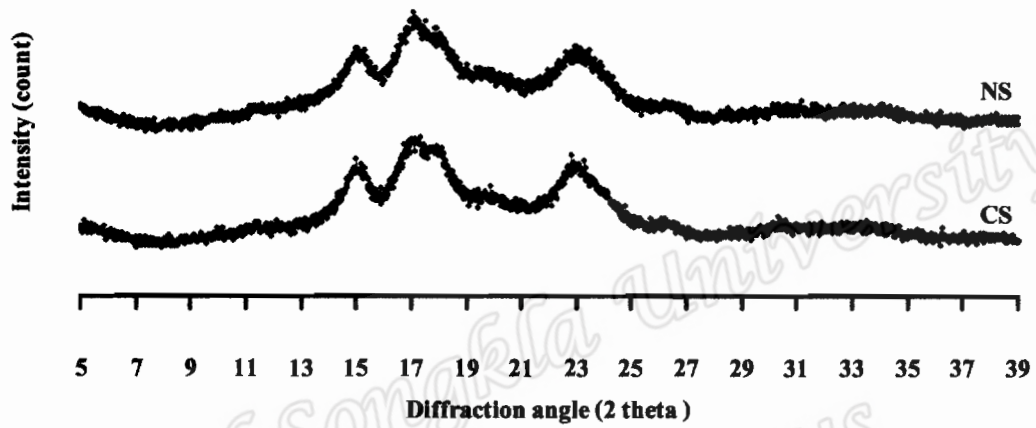


Figure 14 X-ray diffractogram of NS and CS.

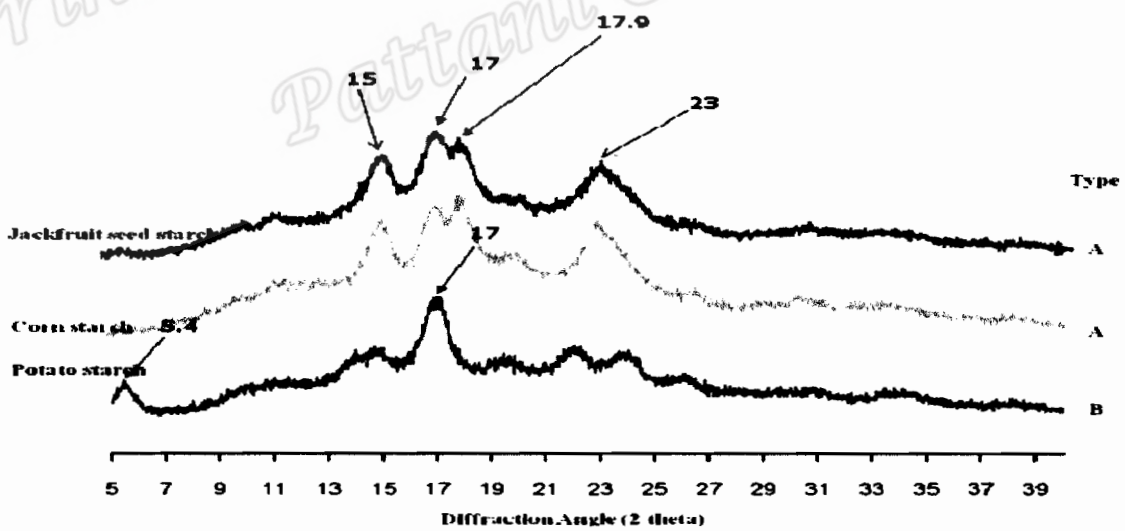


Figure 15 X-ray diffractogram of jackfruit seed starch.

Source: Rengsutthi and Charoenrein (2011).

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.3.5 ความหนืดอินทรินสิค (Intrinsic viscosity)

ความหนืดอินทรินสิค เป็นลักษณะเฉพาะของโมเลกุลของโพลิเมอร์ในตัวทำละลาย ซึ่งบ่งชี้ถึงปริมาตรของโพลิเมอร์เมื่ออุ้มตัวทำละลายไว้ และเคลื่อนที่โดย hydrodynamic และยังบ่งชี้ถึงขนาดและรูปร่างของโมเลกุล (Tanglertpaibul and Rao, 1987) ผลการทดลอง พบว่า NS มีความหนืดอินทรินสิค 0.14 มิลลิลิตรต่อกรัม ซึ่งสูงกว่าของ CS (0.114 มิลลิลิตรต่อกรัม) (p <0.05) ตามลำดับ ดังนั้น NS จึงน่าที่จะมีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่า CS

ปัจจัยที่ส่งผลต่อความหนืดอินทรินสิค คือ ขนาดของเม็ดสตาร์ชที่พองตัวเมื่อมีการดูดซับน้ำและเกิดเจลาทิไนซ์ (Launay *et al.*, 1986) รวมทั้งความเป็นไอออนของสารละลาย โดยสตาร์ชและประจุบวกของสารละลายจะแทรกเข้าไปอยู่ในสายโมเลกุลของสตาร์ช แทนที่ไฮโดรเจนที่ถูกผลักไปอยู่ในเฟสน้ำ เป็นผลให้เกิดการคลายตัวของโมเลกุลสตาร์ช ทำให้ปริมาตรของสตาร์ชที่อุ้มตัวทำละลายสูงขึ้น ความหนืดจึงเพิ่มขึ้น (Islam *et al.*, 2001)

4.3.6 การเกิดเจลาทิไนเซชั่น

เจลาทิไนเซชั่นเกิดขึ้นเมื่อมีความร้อนและน้ำมากพอที่จะทำให้โมเลกุลภายในเม็ดสตาร์ชแตกออกมา (Tester, 1997) ซึ่งอุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนเซชั่นของสตาร์ชเป็นดัชนีบ่งชี้ถึงความสมบูรณ์ของผลึกภายในสตาร์ช ในขณะที่เอนทัลปีเป็นดัชนีบ่งชี้ปริมาณความเป็นผลึก ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเครื่อง Different scanning calorimetry (Tester and Morrison, 1990) สำหรับการศึกษาอุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนเซชั่นและค่าเอนทัลปีของ NS และ CS (ตารางที่ 11) พบว่าช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนเซชั่นของ NS ต่ำกว่า CS (p <0.05) โดยอยู่ในช่วง 71.63-79.85 และ 74.26-83.09 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยที่ T_o และ T_c แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่ใกล้เคียงสตาร์ชเมล็ดขนุน 56.96-76.76 องศาเซลเซียส (Mukprasirt and Sajjaanantakul, 2004) เมื่อเปรียบเทียบค่าเอนทาลปี พบว่า NS และ CS ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยอยู่ในช่วง 14.40-14.63 จูลต่อกรัม ทั้งนี้ปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนเซชั่น คือ ปริมาณอะไมโลส และความเป็นผลึกของสตาร์ช แต่จากการศึกษาพบว่า CS มีปริมาณอะไมโลสต่ำกว่า NS เล็กน้อย ในขณะที่ CS มีปริมาณความเป็นผลึกสูงกว่า NS สอดคล้องกับการศึกษาของ Noda *et al.* (2003) ที่พบว่าสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำกลับมีช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนเซชั่นและค่าเอนทัลปีสูงกว่าสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงกว่า เนื่องจากสตาร์ชข้าวที่มีอะไมโลสต่ำและมีค่าความเป็นผลึกสูง ค่าเอนทัลปีจะสูงขึ้นด้วย ทั้งนี้สตาร์ชที่มีความเป็นผลึกสูงย่อมที่จะมีการจัดเรียงโมเลกุลที่มีระเบียบสูง (high molecule order) ส่งผลให้อุณหภูมิในการจลาทิไนเซชั่นและค่าเอนทาลปีสูงขึ้น (Cooke and Gidley, 1992; Iturriaga *et al.*, 2004)

Prince of Songkla University Pattani Campus

Table 11 Gelatinization temperatures and enthalpy of NS and CS.

Varieties	Temperature (°C)			T_c-T_o (°C)	ΔH (Enthalpy, J/g)
	T_o	T_p	T_c		
NS	71.63±0.01[a]	76.02±0.05[a]	79.85±0.05[a]	8.22	14.40±1.20[a]
CS	74.26±0.15[b]	78.65±0.12[b]	83.09±0.12[b]	8.83	14.63±0.49[a]

Mean value ± standard deviation of triplicates.

Different letters in the same column are significantly different (p <0.05).

4.3.7 การเกิดรีโทรเกรเดชั่น

การเกิดรีโทรเกรเดชั่นของเจลสตาร์ชเกิดจากการที่โมเลกุลของสตาร์ชจัดเรียงตัวกันใหม่เป็นโครงสร้างที่เป็นระเบียบเพิ่มขึ้นเพื่อเข้าสู่โครงสร้างที่เป็นผลึก (Atwell *et al.*, 1988; Perdon *et al.*, 1999) และเมื่อนำเจลของสตาร์ชที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำมาให้ความร้อนอีกครั้ง (ด้วยเครื่อง DSC) จะเกิดพีคของการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่ช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนเซชั่น พีคดังกล่าวบ่งชี้ถึงการเกิดรีโทรเกรเดชั่นของสตาร์ช ส่วนค่าเอนทาลปีในการเกิดรีโทรเกรเดชั่น บ่งชี้ถึงพลังงานที่ใช้ในการทำลายโครงสร้างผลึกที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเกิดรีโทรเกรเดชั่น จากการศึกษาการเกิดรีโทรเกเดชั่นของเจล NS และ CS โดยเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 7 วัน พบว่า เจล CS มีค่า ΔH_R และอัตราการเกิดรีโทรเกรเดชั่นสูงกว่าเจลสตาร์ช NS อย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 12) โดยพบว่าช่วงอุณหภูมิของการเกิดรีโทรเกรเดชั่นของเจลสตาร์ชทั้งสองพันธุ์อยู่ที่ 48-67 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนเซชั่น แสดงว่าการเรียงตัวของผลึกที่เกิดรีโทรเกรเดชั่นไม่หนาแน่นและแข็งแรงเท่าการเรียงตัวของผลึกโครงสร้างเดิมของเม็ดสตาร์ชดิบ (Sandhu and Singh, 2007) โมเลกุลอะไมโลสมีผลต่อการเกิดรีโทรเกรเดชั่นของสตาร์ช อย่างไรก็ตาม จากผลการศึกษานี้ แม้ว่า CS จะมีปริมาณอะไมโลสต่ำกว่า แต่มีอัตราการเกิดรีโทรเกเดชั่นสูงกว่า NS ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากความยาวของสายโมเลกุลอะไมโลส กล่าวคือ สายโมเลกุลอะไมโลสที่สั้นจะกลับมาจัดเรียงตัวได้เร็วกว่าและเกิดโครงสร้างที่แข็งแรงกว่าโมเลกุลสายยาว (Hoover and Senayake, 1996) ซึ่งในที่นี้อาจเป็นไปได้ว่าสายโมเลกุลอะไมโลสของ CS สั้นกว่าของ NS

Table 12 Retrogradation properties of NS and CS.

Varieties	Temperature (°C)			ΔH_R	%R
	T_o(°C)	T_p(°C)	T_e(°C)	(Enthalpy, J/g)	
NS	49.88±0.32[a]	58.32±0.12[a]	67.00±0.47[a]	6.09±0.02[a]	42.51±3.31[a]
CS	48.68±1.25[a]	58.47±0.37[a]	66.94±0.53[a]	6.61±0.11[b]	52.43±2.64[b]

Mean value ± standard deviation of triplicates.

Different letters in the same column are significantly different (p <0.05)

4.4 สมบัติเชิงหน้าที่ของเมล็ดทุเรียน

ศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ (กำลังการพองตัว ความสามารถในการละลาย ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความหนืด การขับน้ำออกจากเจล สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเจล ความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมัน ความสามารถในการเกิดอิมัลชันและการรักษาความคงตัวของอิมัลชัน) ของฟลาวร์เปรียบเทียบกับฟลาวร์ที่กำจัดเมือกและสตาร์ช ของเมล็ดทุเรียนพันธุ์พื้นเมืองและชะนี ผลการศึกษาเป็นดังต่อไปนี้

4.4.1 กำลังการพองตัว

ผลการศึกษากำลังการพองตัวของฟลาวร์เมล็ดทุเรียนพันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์ชะนี (รูปที่ 16) พบว่า ในตัวอย่างรูปแบบเดียวกัน เมล็ดทุเรียนพันธุ์ชะนีมีค่ากำลังการพองตัวสูงกว่าของพันธุ์พื้นเมือง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณโปรตีนของฟลาวร์พันธุ์ชะนีมีปริมาณต่ำกว่าพันธุ์พื้นเมือง ทำให้โอกาสที่โปรตีนจะมีผลต่อการยับยั้งการพองตัวของตัวอย่างพันธุ์ชะนีมีต่ำกว่าพันธุ์พื้นเมือง (Wang and Seib, 1996) สอดคล้องกับการศึกษาของ Chanapamokkhot และ Thongngam (2007) พบว่า ฟลาวร์ข้าวฟ่างพันธุ์ที่มีโปรตีนน้อยกว่าจะมีกำลังการพองตัวมากกว่า แต่ในสตาร์ชพบว่า CS มีค่ากำลังการพองตัวต่ำกว่า NS อาจเนื่องจากโครงสร้างส่วนผลึกที่เกิดจากสายโซ่ของอะไมโลเพคตินของ CS มีขนาดใหญ่กว่า NS ดังนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจึงทำให้โครงสร้างส่วนผลึกนี้เพิ่มความเสถียร และมีผลในการลดการพองตัวของเม็ดสตาร์ช (Miao *et al.*, 2009)

เมื่อพิจารณากำลังการพองตัวของฟลาวร์ ฟลาวร์ที่กำจัดเมือกและสตาร์ชของเมล็ดทุเรียน (รูปที่ 16) พบว่ากำลังการพองตัวของ NF>NDF>NS ซึ่งเป็นไปในทำนองเดียวกันในพันธุ์ชะนี ทั้งนี้เนื่องจาก ฟลาวร์เมล็ดทุเรียนมีองค์ประกอบที่เป็นสารเมือกในปริมาณที่ค่อนข้างสูง ซึ่งสารเมือกเป็นสารจำพวกชอบน้ำ (hydrophilic) มีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำได้ดี ทำให้สารละลายที่ได้มีความหนืดเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นก็จะสามารถดูดซับน้ำได้มากขึ้น (นิธิยา, 2545)

Prince of Songkla University Pattani Campus

ทำให้มีความหนืดเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้การให้ความร้อนแก่สตาร์ชหรือฟลาวร์ที่มีสารไฮโดรคอลลอยด์อยู่อาจทำให้เกิดการขยายของรูพรุน (submicropores) ของเม็ดสตาร์ช ซึ่งทำให้ฟลาวร์มีการพองตัวมากขึ้น (Christianson, 1982) ส่วน ฟลาวร์ที่กำจัดเมือกที่มีกำลังการพองตัวมากกว่าสตาร์ชนั้นอาจเป็นไปได้ว่ายังมีสารเมือกอยู่จนสอดคล้องกับเหตุผลดังที่กล่าวมา ส่วนปริมาณที่หลงเหลือจะมีอยู่มากน้อยแค่ไหนนั้นน่าจะมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป การเติมสารในกลุ่มไฮโดรคอลลอยด์ (เพคตินและคาราจีแนน) ส่งผลให้กำลังการพองตัวของสตาร์ชเพิ่มสูงขึ้น (Babic *et al.*, 2006) การเติมสารเมือกที่สกัดจากมันเทศลงในสตาร์ชมันเทศ พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้กำลังการพองตัวเพิ่มสูงขึ้นด้วย (Huang *et al.*, 2010)

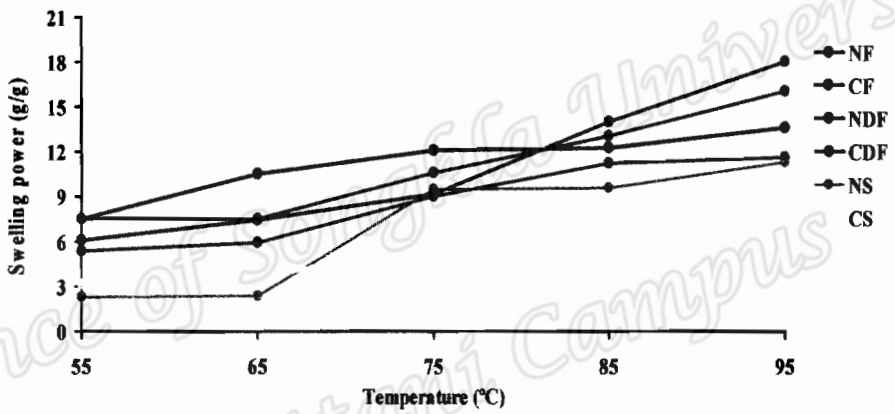


Figure 16 Swelling power at different temperature of flour, demucilaged flour and starch of 2 durian seed varieties.

4.4.2 ความสามารถในการละลาย

ผลการศึกษาความสามารถในการละลายของตัวอย่างเมล็ดทุเรียนในรูปแบบเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 17 พบว่า ฟลาวร์และสตาร์ชของเมล็ดทุเรียนพันธุ์พื้นเมืองมีค่าความสามารถในการละลายสูงกว่าพันธุ์ชะนี ทั้งนี้เนื่องจาก NF มีปริมาณโปรตีนมากกว่า CF โดยฟลาวร์ที่มีกำลังการพองตัวต่ำจะมีค่าการละลายสูง อาจจะเนื่องจากมีการละลายของ soluble protein ด้วย (Chanapamokkhot and Thongngam, 2007) ในขณะที่ความสามารถในการละลายของ NS ที่สูงกว่า CS สัมพันธ์กับกำลังการพองตัว (รูปที่ 16) โดย NS มีกำลังการพองตัวสูงกว่า CS ส่งผลให้ความสามารถในการละลายสูงขึ้นด้วย ส่วน DNF และ DCF กลับมีความสามารถในการละลายที่ไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของฟลาวร์ที่กำจัดเมือกทั้งสองพันธุ์ไม่แตกต่างกัน ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีในฟลาวร์ที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต เช่น โปรตีน ไขมัน หรือ

Prince of Songkla University Pattani Campus

องค์ประกอบอื่นๆ ที่สามารถละลายน้ำได้ อาจละลายปนออกมาในปริมาณที่ไม่แตกต่างกัน ทำให้ความสามารถในการละลายไม่แตกต่างกัน (Tester and Morrison, 1990)

เมื่อพิจารณาความสามารถในการละลายของฟลาวร์ ฟลาวร์ที่กำจัดเมือกและสตาร์ชของเมล็ดทุเรียนในแต่ละพันธุ์ (รูปที่ 17) พบว่า ความสามารถในการละลายของ NF>NS >NDF ซึ่งเป็นไปในทำนองเดียวกันพันธุ์ชะนี จากผลการทดลอง พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความสามารถการละลายเพิ่มขึ้นด้วย โดยฟลาวร์มีความสามารถในการละลายสูงกว่าสตาร์ชและสูงกว่าฟลาวร์ที่กำจัดเมือก ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากในฟลาวร์มีองค์ประกอบที่เป็นสารเมือก ซึ่งสารเมือกสามารถละลายน้ำได้ดี ทำให้ได้ความสามารถในการละลายของฟลาวร์สูงกว่าฟลาวร์ที่กำจัดเมือกและสตาร์ช

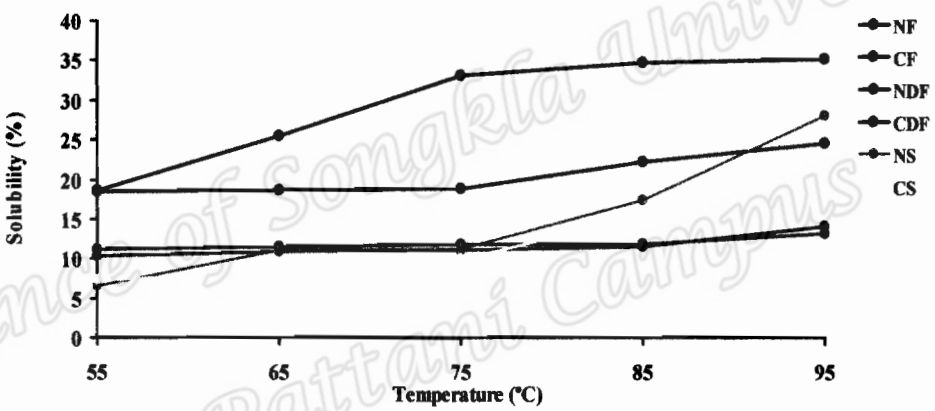


Figure 17 Solubility of flour, demucilaged flour and starch of 2 durian seed varieties.

4.4.3 การเปลี่ยนแปลงความหนืด

ความหนืดจัดเป็นสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญของแป้ง เป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของแป้งในสภาวะสารละลาย และมีการเพิ่มและลดอุณหภูมิตามเวลาที่กำหนด พร้อมทั้งมีการกวนตลอดเวลาของการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA ตัวอย่างโปรไฟล์แสดงการเปลี่ยนแปลงความหนืดของตัวอย่างเมล็ดทุเรียน แสดงดังรูปที่ 18

จากโปรไฟล์การเปลี่ยนแปลงความหนืดของตัวอย่างฟลาวร์ ฟลาวร์ที่กำจัดเมือกและสตาร์ชของเมล็ดทุเรียนทั้งสองพันธุ์มีลักษณะคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ เมื่อตัวอย่างอยู่ในสภาวะสารละลาย พร้อมทั้งมีการกวนเป็นเวลา 1 นาที โดยยังไม่มีการให้ความร้อนแก่ตัวอย่าง ซึ่งไม่ปรากฏความหนืด ทั้งนี้เนื่องจากเป็นช่วงที่เม็ดสตาร์ชเริ่มมีการดูดซับน้ำเข้าไปภายในโมเลกุล (Collado and Corke, 2003) โมลกุลของน้ำเกิดอันตรกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน ด้วยพันธะไฮโดรเจน ทำให้เม็ดสตาร์ชเริ่มเกิดการพองตัว (Tester *et al.*, 1997)

Prince of Songkla University Pattani Campus

ทั้งนี้โดยปกติแล้วสตาร์ชไม่สามารถละลายได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนเซชั่น ทำให้ดูดซับน้ำได้อย่างจำกัดและมีการพองตัวแบบผันกลับได้ (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2550) สอดคล้องกับผลการทดลองในส่วนของการพองตัวและการละลาย โดยในช่วงอุณหภูมิ 55-75 องศาเซลเซียส ตัวอย่างฟลาวร์ ฟลาวร์ที่กำจัดเมือกและสตาร์ชของเมล็ดทุเรียนทั้งสองพันธุ์มีค่ากำลังการพองตัวและการละลายต่ำ ดังนั้นจึงไม่เกิดความหนืดขึ้น ทั้งนี้เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 95 องศาเซลเซียส ซึ่งใช้เวลาประมาณ 4 นาที จะเริ่มปรากฏกราฟการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากเม็ดสตาร์ชสามารถดูดน้ำมากขึ้น ทำให้การพองตัวเพิ่มขึ้นอีกหลายเท่าตัว (Singh *et al.*, 2003) โดยในช่วงการเพิ่มอุณหภูมินี้มีการให้แรงกวนจากใบพัดด้วย ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น (Lund, 1984) เนื่องจากเกิดการเสียดสีกับเม็ดสตาร์ชข้างเคียงจึงทำให้ความหนืดเพิ่มสูงขึ้น จนกระทั่งถึงความหนืดจุดวิกฤติ ซึ่งเม็ดสตาร์ชจะเกิดการพองตัวแบบไม่สามารถผันกลับได้ และเริ่มเกิดความหนืดขึ้นอย่างรวดเร็ว (Phillips and Williams, 2000) อุณหภูมิที่สารละลายเริ่มเกิดความหนืด เรียกว่า อุณหภูมิเริ่มเกิดเจลาทิไนเซชั่น ซึ่งได้ค่าของอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature, PT) หรือเวลาที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting time) (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2550) โดยความหนืดที่เพิ่มขึ้นของระบบ เนื่องจากอะไมโลสที่แพร่ออกมาจากเม็ดสตาร์ช (Tester *et al.*, 1997)

การเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 95 องศาเซลเซียส ทำให้เม็ดสตาร์ชมีการพองตัวเต็มสูงสุด ส่งผลให้ความหนืดสูงสุด เกิดเป็นกราฟความหนืดสูงสุด (peak viscosity, PV) การเพิ่มอุณหภูมิดังกล่าวนี้ส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลภายในเม็ดสตาร์ชมีความอ่อนแอมาก (Greenwood, 1979) ในขณะที่ใบพัดยังคงกวนที่ระดับอุณหภูมิดังกล่าวอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน 5 นาที ทำให้เม็ดสตาร์ชแตกออก โมเลกุลของเม็ดสตาร์ชออกมามากขึ้น เม็ดสตาร์ชสูญเสียโครงสร้างและเกิดการเรียงตัวไปในทิศทางเดียวกับการกวนของใบพัด ทำให้ความหนืดลดลง (breakdown, BD) (Takahashi and Seib, 1988) เมื่อลดอุณหภูมิจาก 95 องศาเซลเซียส เป็น 50 องศาเซลเซียส นาน 4 นาที ทำให้โมเลกุลของสตาร์ชที่อยู่ใกล้กัน เกิดการเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติโครงสร้างใหม่ที่สามารถอุ้มน้ำได้ รวมทั้งไม่มีการดูดน้ำเข้ามาในโครงสร้างอีก (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2550) ทำให้ความหนืดของตัวอย่างเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้ง การเปลี่ยนแปลงความหนืดนี้เป็นผลจากการที่โมเลกุลของสตาร์ชสามารถเคลื่อนที่และจัดเรียงตัวใหม่อีกครั้ง เรียกปรากฏการณ์ดังกล่าวว่า การเกิดรีโทรเกรเดชั่น (smith, 1979) ทำให้ได้ค่าการคืนตัว (setback, SB) และการลดอุณหภูมิลงนี้จะคงไว้เป็นเวลานาน 6 นาที จนสิ้นสุดการวิเคราะห์ ทำให้ได้ค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity, FV) (ไพลำภา, 2550)

เมื่อพิจารณาค่าความหนืดโดยเปรียบเทียบตัวอย่างของเมล็ดทุเรียนระหว่างสองพันธุ์ที่มีรูปแบบเดียวกัน (ตารางที่ 13) พบว่า ตัวอย่างในรูปของฟลาวร์ที่กำจัดเมือกและสตาร์ช

ไม่มีความแตกต่างทางสถิติในทุกพารามิเตอร์ของ RVA ส่วนในรูปของฟลาวร์ พบว่า ค่าความหนืด (PV, TV, FV) มีความแตกต่างกันทางสถิติ ดังนั้นแล้ว สมบัติด้านความหนืดของเมล็ดทุเรียนทั้งสองพันธุ์ (ในรูปแบบตัวอย่างที่เหมือนกัน) โดยภาพรวม มีความใกล้เคียงกันมาก

เมื่อเปรียบเทียบความหนืดของฟลาวร์ ฟลาวร์ที่กำจัดเมือกและสตาร์ชเมล็ดทุเรียนพันธุ์พื้นเมือง (ตารางที่ 14) พบว่า ค่าความหนืด (PV, TV, BD และ FV) ของ NF>NS> NDF (p <0.05) พันธุ์ชะนีก็ให้ผลในทำนองเดียวกัน (ตารางภาคผนวกที่ ข. 6) ทั้งนี้การที่ฟลาวร์มีค่าความหนืด (PV, TV, BD และ FV) สูงกว่าสตาร์ชและสูงกว่าฟลาวร์ที่กำจัดเมือก ทั้งนี้สารเมือกในฟลาวร์น่าจะมีบทบาทสำคัญต่อค่าความหนืด กล่าวคือ มีความสามารถในการจับกับน้ำได้ ซึ่งการให้ความร้อนแก่ระบบ ส่งผลให้สารเมือกมีความสามารถในการจับกับน้ำได้ดีขึ้น ในขณะเดียวกันเม็ดสตาร์ชก็เกิดการพองตัว จนเมื่อเม็ดสตาร์ชแตกก็จะส่งผลให้อะไมโลสถูกปลดปล่อยออกมาจากเม็ดสตาร์ช (Morris, 1990) และน่าจะเกิดอันตรกิริยากับสารเมือก (Christianson *et al.*, 1981) ดังนั้นเมื่อเม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัว ตามอุณหภูมิที่ให้ไปแก่ระบบ ส่งผลให้ความเข้มข้นรวมของโมเลกุลสูงขึ้น ทำให้ความหนืดของ ฟลาวร์สูงกว่าสตาร์ชและสูงกว่าฟลาวร์ที่กำจัดเมือก ส่วนค่า TV, BV และ FV ของฟลาวร์สูงกว่าสตาร์ชและฟลาวร์ที่กำจัดเมือก เนื่องจากสารเมือกอาจจะไปช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับอะไมโลสที่หลุดออกมาจากเม็ดสตาร์ชและอนุภาคที่พองตัวอยู่ (อะไมโลเพคติน) (Liu *et al.*, 2003) ในขณะที่ค่า SB พบว่า NS>NDF>NF ทั้งนี้บ่งชี้ได้ว่าฟลาวร์สามารถทนต่อแรงเฉือนและมีอัตราการคืนตัวต่ำกว่าสตาร์ช (Chanapamokkhot and Thongngam, 2007) ส่วนค่า peak time พบว่าฟลาวร์และฟลาวร์ที่กำจัดเมือกไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่มีสูงกว่าสตาร์ชอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) เช่นเดียวกับในเมล็ดทุเรียนพันธุ์ชะนี ทั้งนี้อาจเนื่องจาก ฟลาวร์และฟลาวร์ที่กำจัดเมือกมีปริมาณไขมันและโปรตีนมากกว่าสตาร์ช ส่งผลให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับ อะไมโลสได้ ทำให้โครงสร้างของเม็ดสตาร์ชมีความแข็งแรงมากขึ้นและเกิดการยับยั้งการพองตัวของเม็ดสตาร์ช ดังนั้นจึงต้องใช้เวลาในการเปลี่ยนแปลงของความหนืดสูงกว่าสตาร์ช

เมื่อเปรียบเทียบความหนืดของฟลาวร์และสตาร์ชเมล็ดทุเรียนพันธุ์พื้นเมือง (ตารางที่ 14) พบว่า ฟลาวร์ที่กำจัดเมือกมีค่าความหนืด (PV, TV, BD, FV และ SB) ต่ำกว่าสตาร์ชอย่างมีนัยสำคัญ พันธุ์ชะนีก็ให้ผลในทำนองเดียวกัน (ตารางภาคผนวกที่ ข. 6) ทั้งนี้เป็นผลจากการกำจัดไขมันและโปรตีนออก โดยจากการศึกษาปริมาณไขมันและโปรตีนพบว่าฟลาวร์ที่กำจัดเมือกมีปริมาณไขมันและโปรตีนสูงกว่าสตาร์ช ทำให้ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความหนืดต่ำกว่าสตาร์ช เนื่องจากโปรตีนมีส่วนในการขัดขวางการพองตัว ส่วนไขมันอาจรวมตัวกับอะไมโลสเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่แข็งแรงทำให้ความหนืดของพบว่าฟลาวร์ที่กำจัดเมือกต่ำกว่าสตาร์ช

จากการศึกษา จะเห็นว่าสารเมือก ซึ่งน่าจะเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ที่อยู่ในฟลาวร์มีผลในการส่งเสริมให้ความหนืดของฟลาวร์สูงขึ้น มีการศึกษาเพื่ออธิบาถึงกลไกการเปลี่ยนแปลงของระบบที่ประกอบด้วยสตาร์ชและสารไฮโดรคอลลอยด์ โดยกมลวรรณ (2548) ได้เปรียบเทียบรูปแบบจำลองของระบบที่ประกอบด้วยสตาร์ชและน้ำในสภาวะที่มีการเติมและไม่เติมแซนแทนกัมหรือคาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลสทั้งก่อนให้ความร้อนและหลังจากเย็นตัวลง โดยจากรูปแบบการจำลองนี้ได้อธิบายว่า เมื่อให้ความร้อนแก่สตาร์ชในระบบที่มีน้ำอย่างเดียวสตาร์ชจะเกิดเจลาทิไนเซชั่นและมีโมเลกุลของอะไมโลสแทรกออกมา เมื่อระบบลดอุณหภูมิลงจะส่งผลให้อะไมโลสฟอร์มตัวเป็นร่างแหรอบๆ เม็ดสตาร์ชที่พองตัว โดยมีการอุ้มน้ำเอาไว้ทำให้เกิดเป็นโครงสร้างเจลขึ้น (รูปที่ 19) แต่ในระบบที่มีการเติมแซนแทนกัม (ที่ความเข้มข้น 0.02 และ 0.04 เปอร์เซ็นต์) หรือคาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลส (ที่ความเข้มข้น 0.05 และ 0.10 เปอร์เซ็นต์) ส่งผลให้ความหนืดเพิ่มของระบบเพิ่มขึ้น โดยไฮโดรคอลลอยด์เหล่านี้จะไปมีผลทำให้การเคลื่อนที่ของโมเลกุลอะไมโลสเป็นไปอย่างจำกัด เกิดการเชื่อมต่อของโมเลกุลอย่างรวดเร็วด้วยการเกิดอันตรกิริยาของโมเลกุลทั้งภายในและภายนอกโมเลกุล ด้วยเหตุผลนี้ส่งผลให้โครงสร้างเจล (รูปที่ 19) ที่ประกอบด้วยโครงสร้างหลักหรือเฟสต่อเนื่อง (continuous phase) เกิดจากการฟอร์มเจลที่แข็งแรงของอะไมโลส โดยส่วนของแซนแทนกัมหรือคาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลสเป็นตัวเติม (gelled filler) หรือเฟสกระจาย (dispersed phase)

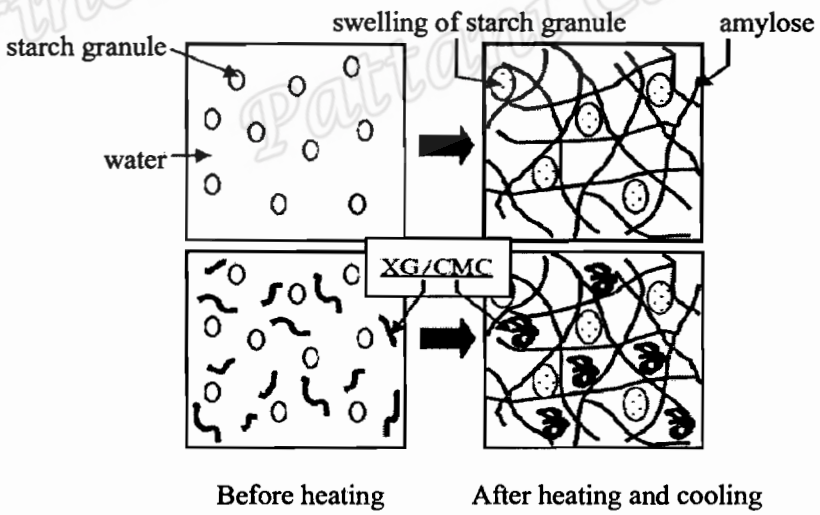


Figure 19 The swelling model of starch paste and starch paste (added xanthangum or carboxymethyl cellulose) before and after heating and cooling.

Source: Isarakarn (2005)

Prince of Songkla University Pattani Campus

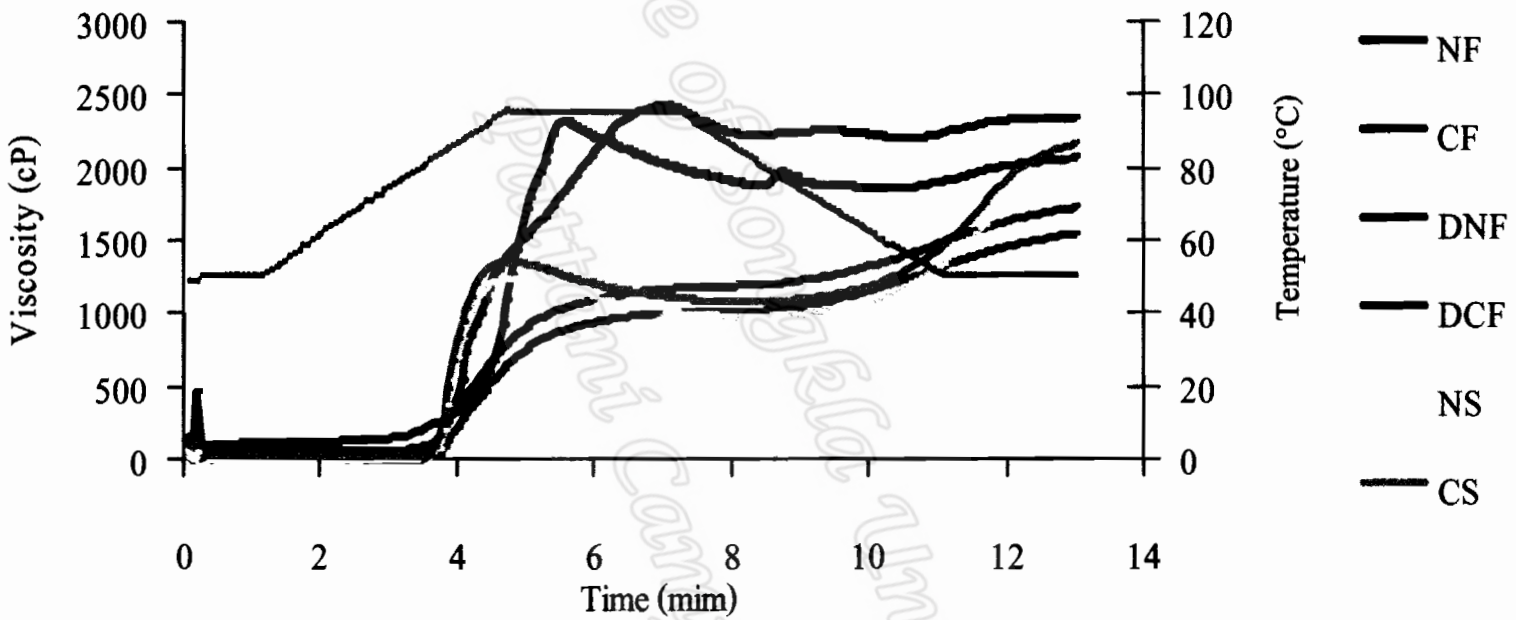


Figure 18 RVA pasting profiles of flour, demucilaged flour and starch of 2 durian seed varieties.

Prince of Songkla University Pattani Campus

Table 13 RVA parameters of durian seed samples, in comparison of two varieties within the same sample form.

Sample form	Viscosity (cP)					Peak time	Pasting temperature
	Peak	Trough	Breakdown	Final	Setback	(min)	(°C)
NF	2258.33±53.51[a]	1854.00±30.26[a]	404.33±36.96[a]	2093.33±2.51[a]	189.33±14.15[a]	5.88±0.40[a]	81.56±0.87[a]
CF	2406.00±16.46[b]	2085.00±60.53[b]	354.00±20.40[a]	2334.00±9.84[b]	249.00±56.00[a]	7.00±0.00[b]	81.63±0.02[a]
NDF	1073.00±11.35[a]	1011.66±13.0[a]	59.66±4.72[a]	1587.66±32.34[a]	592.33±58.50[a]	6.06±0.46[a]	81.58±0.87[a]
CDF	1093.33±15.69[a]	1035.33±15.37[a]	58.00±2.00[a]	1642.00±26.96[a]	606.00±11.59[a]	7.00±0.00[a]	81.63±0.02[a]
NS	1302.66±15.53[a]	1044.00±10.00[a]	261.66±3.78[a]	2016.33±33.00[a]	1027.66±12.42[a]	4.35±0.38[a]	81.68±0.05[a]
CS	1332.66±11.37[a]	1061.00±6.24[a]	271.67±6.65[a]	2124.00±25.86[a]	1063.00±22.00[a]	4.77±0.04[a]	81.46±0.53[a]

Mean value ± standard deviation of triplicates.

Different letters in the same column are significantly different (p <0.05).

Prince of Songkla University Pattani Campus

Table 14 RVA parameters from durian seed samples, in comparison of three sample forms, within the same variety.

Sample form	Viscosity (cP)					Peak time	Pasting temperature
	Peak	Trough	Breakdown	Final	Setback	(min)	(°C)
NF	2258.33±53.51^{c}	1854.00±30.26^{c}	404.33±36.96^{c}	2093.33±2.51^{c}	189.33±14.15^{a}	5.88±0.40^{b}	81.56±0.87^{a}
NDF	1073.00±11.35^{a}	1011.66±13.00^{a}	59.66±4.72^{a}	1587.66±32.34^{a}	592.33±58.50^{b}	6.06±0.46^{b}	81.58±0.87^{a}
NS	1302.66±15.53^{b}	1044.00±10.00^{b}	261.66±3.78^{b}	2016.33±33.00^{b}	1027.66±12.42^{c}	4.35±0.38^{a}	81.68±0.05^{a}
CF	2406.00±16.46^{c}	2085.00±60.53^{c}	354.00±20.40^{c}	2334.00±9.84^{c}	249.00±56.00^{a}	7.00±0.00^{b}	81.63±0.02^{a}
CDF	1093.33±15.69^{a}	1035.33±15.37^{a}	58.00±2.00^{a}	1642.00±26.96^{a}	606.00±11.59^{b}	7.00±0.00^{b}	81.63±0.02^{a}
CS	1332.66±11.37^{b}	1061.00±6.24^{b}	271.67±6.65^{b}	2124.00±25.86^{b}	1063.00±22.00^{c}	4.77±0.04^{a}	81.46±0.53^{a}

Mean value ± standard deviation of triplicates.

Different letters in the same column are significantly different (p <0.05).

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.4.4 การขับน้ำออกจากเจล (Syneresis)

การขับน้ำออกจากเจลเป็นสมบัติที่ไม่พึงประสงค์ของฟลาวร์และสตาร์ชในการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมอื่นๆ เป็นดัชนีที่บ่งชี้ถึงระดับในการเกิดรีโทรเกรเดชั่นที่อุณหภูมิต่ำ (Wang *et al.*, 2010) โดยปริมาณการขับน้ำออกจากเจลสูงแสดงว่าเจลมีสามารถเกิดรีโทรเกรเดชั่นหรือมีการจัดเรียงตัวใหม่ของโมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบของสตาร์ชสูง ผลการศึกษาการขับน้ำออกจากเจลของ ฟลาวร์ ฟลาวร์ที่กำจัดเมือกและสตาร์ชเมล็ดทุเรียน แสดงดังตารางที่ 15 และ 16 ค่าการขับน้ำออกจากเจลของตัวอย่างในรูปของฟลาวร์ที่กำจัดเมือกและสตาร์ชของเมล็ดทุเรียนพันธุ์พื้นเมืองมีค่าสูงกว่า แต่ตัวอย่างในรูปของฟลาวร์จะมีค่าต่ำกว่าพันธุ์ชะนี

เมื่อพิจารณาการขับน้ำออกจากเจลของตัวอย่างต่างรูปแบบในพันธุ์เดียวกัน (ตารางที่ 16) พบว่ารูปแบบของตัวอย่างที่แตกต่างกันมีผลต่อการขับน้ำออกจากเจลอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางภาคผนวกที่ ข. 7) กล่าวคือการขับน้ำออกจากเจลของพันธุ์พื้นเมือง NF>NS>NDF (p <0.05) ซึ่งเป็นไปในทำนองเดียวกันในพันธุ์ชะนี (ตารางภาคผนวกที่ ข. 8)

โดยจะพบว่าฟลาวร์มีการขับน้ำออกจากเจลสูงกว่าสตาร์ชและสูงกว่าฟลาวร์ที่กำจัดเมือกอย่างมาก ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าในฟลาวร์ ซึ่งมีปริมาณสารเมือกอยู่สูงและสารเมือกดังกล่าวมีความสามารถในการจับกับน้ำได้สูงกว่าสตาร์ช (สังเกตได้จากค่าความหนืดสูงสุดของฟลาวร์ที่มีค่าสูงกว่าของสตาร์ชและสูงกว่าฟลาวร์ที่กำจัดเมือก) และเป็นไปได้ที่ลักษณะเจลของฟลาวร์จะเป็นเจลที่องค์ประกอบ 2 เฟส คือ เฟสที่เป็นสารเมือกและเฟสที่เป็นเจลสตาร์ช ขณะเดียวกันโมเลกุลของน้ำในเจลของสารเมือกอาจถูกขังอยู่ในระหว่างโครงข่ายของเจลและมีอยู่ในปริมาณที่สูง จึงถูกปลดปล่อยออกจากเจลได้ง่ายและในปริมาณที่สูง นอกจากนี้ยังพบว่า ฟลาวร์ที่กำจัดเมือกมีค่าการขับน้ำออกจากเจลต่ำกว่าสตาร์ช (ประมาณ 2 เท่า) น่าจะเป็นผลมาจากฟลาวร์ที่กำจัดเมือกมีปริมาณโปรตีนและไขมันที่มากกว่า ทำให้เกิดอันตรกิริยากับสตาร์ชระหว่างการเกิดเจลาทิไนเซชั่น ส่งผลให้การจัดเรียงตัวของโมเลกุลระหว่างเกิดเจลน้อยกว่าสตาร์ช

สำหรับตัวอย่างจากแหล่งอื่นๆ พบว่า ฟลาวร์เมล็ดขนุนมีปริมาณการขับน้ำออกจากเจล 59.04-61.85 เปอร์เซ็นต์ (Mukprasirt and Sajjaanantakul, 2003) ซึ่งใกล้เคียงกับของฟลาวร์เมล็ดทุเรียนในการศึกษานี้ ปริมาณการขับน้ำออกจากเจลของสตาร์ชเมล็ดทุเรียน (23.84-25.01 เปอร์เซ็นต์) จะน้อยกว่าของเจลสตาร์ชมันฝรั่ง กระจับและข้าวโพด (41.6, 73.2, 76.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) (Singh *et al.*, 2009) ทั้งนี้จะเห็นได้ฟลาวร์เมล็ดทุเรียนอาจไม่เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็ง แต่การนำสตาร์ชเมล็ดทุเรียนน่าจะเหมาะสมกว่า

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.4.5 ความแข็งของเจล

จากการเตรียมเจลของฟลาวร์ ฟลาวร์ที่กำจัดเมือกและสตาร์ชพบว่าฟลาวร์และสตาร์ชได้เจลที่ขึ้นรูปได้ง่ายและมีความคงตัวสูง ในขณะที่ CF จะเกิดเจลได้ช้ากว่า ซึ่งเจลที่ได้จะมีความคงตัวน้อยกว่า (รูปที่ 20) ทั้งนี้เจลที่เตรียมจากฟลาวร์และสตาร์ชเป็นองค์ประกอบ จะมีลักษณะแตกต่างกันไปตามชนิดและสมบัติของสตาร์ชที่เป็นแหล่งวัตถุดิบนั้นๆ

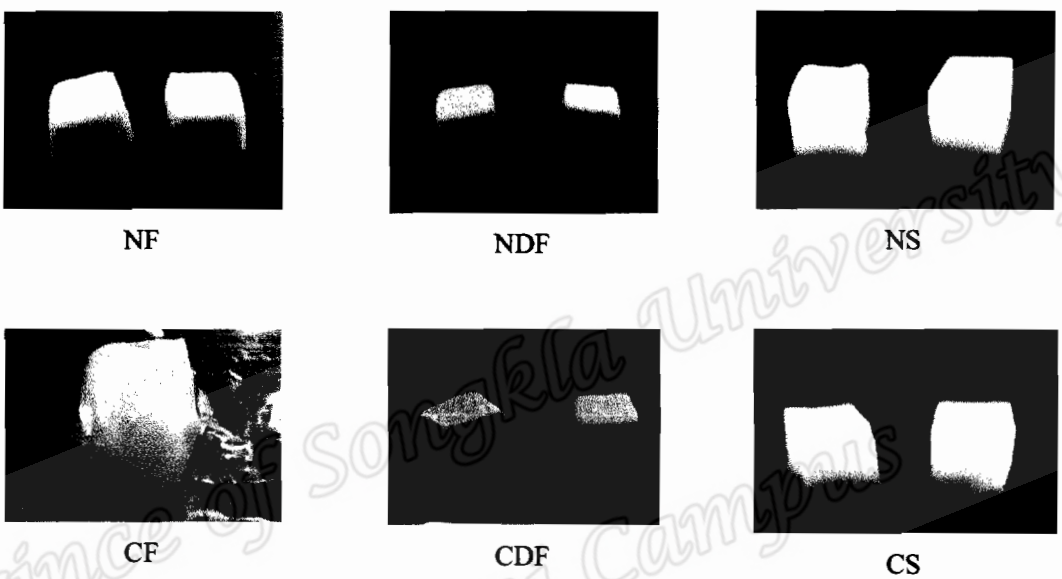


Figure 20 Gel of durian seed flours, demucilaged flours and starchs.

ความแข็งของเจลของเมล็ดทุเรียนพันธุ์พื้นเมืองสูงกว่าพันธุ์ชะนีอย่างมีนัยสำคัญในตัวอย่างทุกรูปแบบ (p <0.05) ยกเว้นสตาร์ชที่มีปริมาณต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ (p <0.05) (ตารางที่ 15) ทั้งนี้ความแข็งของเจลเป็นผลมาจากกระบวนการเกิดรีโทรเกรเดชั่น ซึ่งผลการศึกษาการเกิดรีโทรเกรเดชั่น พบว่า NS มีอัตราการเกิดรีโทรเกรเดชั่นต่ำกว่า CS ดังนั้นความแข็งของเจล NS จึงมีความแข็งต่ำกว่าเจล CS จากผลการศึกษาความแข็งในสตาร์ชทั้งสองพันธุ์พบว่าปริมาณอะไมโลสไม่สัมพันธ์กับความแข็งของเจล ซึ่งจากผลดังกล่าวแสดงว่าเจลสตาร์ช CS ที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำกว่าแต่ไม่ต่างกันทางสถิติ น่าจะมีความสามารถในการจับน้ำไว้ในโครงสร้างได้ดี เนื่องจาก CS อาจมีโครงสร้างอะไมโลเพคตินที่มีลักษณะกิ่งก้านสามารถจับน้ำไว้ในโครงร่างได้ดี ทั้งนี้ปริมาณอะไมโลสเพียงอย่างเดียว ไม่สามารถอธิบายถึงการเกิดรีโทรเกรเดชั่นได้อย่างชัดเจน เนื่องจากสตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสใกล้เคียงกันอาจมีความแตกต่างของความยาวกิ่งก้านของอะไมโลเพคติน (branch chain length distribution of amylopectin) ขนาดโมเลกุลอะไมโลส และค่าความเป็นผลึกที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ความสามารถในการละลายในน้ำของอะไมโลสและ

Prince of Songkla University Pattani Campus

อะไมโลเพคตินจะเกี่ยวข้องกับการพองตัวของเม็ดสตาร์ชและการเกิดโครงร่างเจล (gel network) ซึ่งส่งผลให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลสตาร์ชมีความแข็งขึ้น (Jane and Chen, 1992)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบตัวอย่างที่แตกต่างกันในเมล็ดทุเรียนพันธุ์เดียวกัน (ตารางที่ 16) พบว่า รูปแบบของตัวอย่างมีผลต่อความแข็งของเจลอย่างมีนัยสำคัญ (p <0.05) (ตารางภาคผนวกที่ ข. 7) กล่าวคือ ในเมล็ดทุเรียนพันธุ์พื้นเมือง พบว่า NF=NS>NDF (p <0.05) แต่ในขณะเดียวกันในเมล็ดพันธุ์ชะนี กลับพบว่า CS>CDF>CF (ตารางภาคผนวกที่ ข. 8)

ค่าความแข็งเป็นค่าที่แสดงถึงแรงที่ใช้จนเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างของเจลตัวอย่าง ขณะที่มีการกดของหัววัดในครั้งแรก แสดงถึงความแข็งของเจลที่ทำการวัด ความแข็งของเจลที่แตกต่างกันเป็นผลมาจากความสามารถในการเกิดกระบวนการเกิดรีโทรเกรเดชั่นของตัวอย่างแต่ละชนิด (Sandhu and Singh, 2007) ทั้งนี้จากผลการทดลองพบว่าเจลสตาร์ชทั้งสองพันธุ์มีความแข็งของเจลมากกว่าฟลาวร์และฟลาวร์ที่กำจัดเมือกออก เนื่องจากสตาร์ชมีปริมาณไขมันน้อยกว่าฟลาวร์และฟลาวร์ที่กำจัดเมือกออก ซึ่งโอกาสที่ไขมันจะเข้าไปขัดขวางการจัดเรียงตัวใหม่ของอะไมโลสและอะไลเพคตินมีน้อยลง ทำให้เกิดรีโทรเกรเดชั่นได้สูง (Gudmundsson, 1990) แต่ในพันธุ์พื้นเมืองพบว่าฟลาวร์มีความแข็งของเจลสูงกว่าสตาร์ชแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยสัมพันธ์กับค่าความหนืดสุดท้ายของตัวอย่าง (final viscosity) ซึ่งเป็นค่าที่สามารถบอกแนวโน้มเบื้องต้นว่าตัวอย่างมีความสามารถในการเกิดรีโทรเกรเดชั่นได้ (Sandhu and Singh, 2007) เมื่อพิจารณาค่าความหนืดสุดท้าย พบว่าฟลาวร์มีค่า สูงกว่าสตาร์ชและสูงกว่า ฟลาวร์ที่กำจัดเมือก ในขณะที่ความหนืดสุดท้ายกับความแข็งของเจลในพันธุ์ชะนีไม่มีความสัมพันธ์กัน จากผลการทดลองนี้น่าจะมีผลมาจากสารเมือกที่มีอยู่ในฟลาวร์ให้สมบัติที่แตกต่างกัน โดยมีความเป็นไปได้ที่สารเมือกดังกล่าวอาจมีโครงสร้างของโพลิเมอร์ต่างกัน ซึ่งจะส่งผลต่อการแยกเฟส (separation phase) ซึ่งการแยกเฟสส่งผลต่อการเกิดความแข็งของเจล (Liu *et al.*, 2003)

Prince of Songkla University Pattani Campus

Table 15 Syneresis and hardness of gel prepared from durian seed samples, in comparison of two varieties within the same sample form.

Sample form	Syneresis (%)	Hardness (kg)
NF	61.69±0.82[a]	2.52±0.07[b]
CF	68.59±0.48[b]	1.62±0.03[a]
NDF	23.84±0.69[b]	2.19±0.08[b]
CDF	21.95±0.54[a]	2.06±0.05[a]
NS	25.01±0.13[b]	2.40±0.09[a]
CS	23.84±0.41[a]	3.54±0.05[b]

Mean value ± standard deviation of triplicates.

Different letters in the same column are significantly different (p <0.05).

Table 16 Syneresis and hardness of gel prepared from durian seed samples, in comparison of three sample forms, within the same variety.

Sample form	Syneresis (%)	Hardness (kg)
NF	61.69±0.82[c]	2.52±0.07[b]
NDF	23.84±0.69[a]	2.19±0.08[a]
NS	25.01±0.13[b]	2.40±0.09[b]
CF	68.59±0.48[c]	1.62±0.03[a]
CDF	21.95±0.54[a]	2.06±0.05[b]
CS	23.84±0.41[b]	3.54±0.05[c]

Mean value ± standard deviation of triplicates.

Different letters in the same column are significantly different (p <0.05).

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.4.6 ความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมัน

ความสามารถในการดูดซับน้ำแสดงถึงความสามารถของตัวอย่างที่สามารถจับกับน้ำได้ในสภาวะที่มีน้ำอย่างจำกัด (Singh, 2001; Jitngarmkusol *et al.*, 2008) ความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมันของตัวอย่างเป็นการบ่งชี้ถึงความสามารถของตัวอย่างในการกักเก็บน้ำและน้ำมันไว้ ซึ่งผลการศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมันในฟลาวร์ ฟลาร์วที่กำจัดเมือกและสตาร์ชของเมล็ดทุเรียน แสดงดังตารางที่ 17 และ 18

ความสามารถในการดูดซับน้ำของเมล็ดทุเรียนพันธุ์ชะนีสูงกว่าพันธุ์พื้นเมืองอย่างมีนัยสำคัญในตัวอย่างทุกรูปแบบ (p <0.05) ยกเว้นฟลาวร์ที่มีปริมาณสูงกว่าแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 17) ทั้งนี้การที่เมล็ดทุเรียนพันธุ์ชะนีมีความสามารถในการดูดซับน้ำสูงกว่าพันธุ์พื้นเมือง โดยในส่วนของฟลาวร์ที่กำจัดเมือก พบว่า สัมพันธ์กับปริมาณไขมัน ซึ่ง CDF มีปริมาณไขมันสูงกว่า NDF แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ ในขณะที่ในสตาร์ช พบว่า สัมพันธ์กับขนาดของเม็ดสตาร์ช โดย CS มีขนาดของเม็ดสตาร์ชใหญ่กว่า NS คือ 8.35 และ 6.44 ไมโครเมตร ตามลำดับ ซึ่งสตาร์ชที่มีขนาดของเม็ดสตาร์ชใหญ่กว่าบ่งชี้ถึงความสามารถในการดูดซับน้ำมีมากกว่าสตาร์ชที่มีขนาดของเม็ดสตาร์ชเล็กกว่า (Nwanekezi *et al.*, 2010)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบตัวอย่างที่แตกต่างกันในเมล็ดทุเรียนพันธุ์เดียวกัน (ตารางที่ 18) พบว่า รูปแบบของตัวอย่างมีผลต่อความสามารถในการดูดซับน้ำอย่างมีนัยสำคัญ (p <0.05) ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ ข. 9 กล่าวคือ ในเมล็ดทุเรียนพันธุ์พื้นเมือง พบว่า NDF>NF>NS (p <0.05) โดยผลการศึกษาเป็นไปในทำนองเดียวกันในเมล็ดทุเรียนพันธุ์ชะนี (ตารางภาคผนวกที่ ข. 10) ทั้งนี้การที่ฟลาวร์ที่กำจัดเมือกมีความสามารถในการดูดซับน้ำสูงกว่าฟลาวร์และสูงกว่าสตาร์ช เนื่องจากฟลาวร์ที่กำจัดเมือกมีปริมาณไขมันต่ำกว่าฟลาวร์ ซึ่งโอกาสที่ไขมันจะเข้าไปยับยั้งขั้วบวก (ส่วนที่ชอบน้ำ) ของโปรตีนมีน้อยลง ทำให้โปรตีนสามารถดูดซับน้ำได้มากขึ้น (Sathe and Salunkhe, 1981) แต่ในขณะเดียวกันจากผลการศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำของฟลาวร์ที่กำจัดเมือกมีสูงกว่าสตาร์ช ทั้งที่สตาร์ชมีปริมาณไขมันต่ำกว่าฟลาวร์วที่กำจัดเมือกนั้น เนื่องจากปัจจัยที่ส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับน้ำ คือ ความสามารถในการจับน้ำของโปรตีนและความเป็นขั้วของกรดอะมิโน ซึ่งเป็นบริเวณที่จะเกิดอันตรกิริยากับน้ำและโปรตีน (Kuntz, 1977) ในขณะที่ปริมาณโปรตีนในสตาร์ชมีต่ำกว่าฟลาวร์ที่กำจัดเมือก จึงทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำของสตาร์ชต่ำกว่าฟลาวร์ที่กำจัดเมือก แต่จากผลดังกล่าวก็ยังเป็นไปในทางตรงกันข้ามกับฟลาวร์ที่มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าฟลาวร์ที่กำจัดเมือก ทั้งนี้อาจสัมพันธ์กับการขับน้ำออกจากเจล เนื่องจากเจลในรูปฟลาวร์มีองค์ประกอบที่เป็นสารเมือก ส่งผลให้โมเลกุลของน้ำในเจลของสารเมือกอาจถูกขังอยู่ในระหว่างโครงข่ายของเจลและมีอยู่ในปริมาณที่สูง จึงถูกปลดปล่อยออกจากเจลได้ง่ายและในปริมาณที่สูง ดังนั้นเจลที่ได้จึงมีปริมาณการดูดซับน้ำต่ำกว่าฟลาวร์ที่กำจัดเมือก สอดคล้องกับการศึกษาของ Sirivongpaisal (2008) ที่ได้ทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำในฟลาวร์และสตาร์ชจากถั่วหรั่ง พบว่าฟลาวร์มีความสามารถในการดูดซับน้ำ (เย็น) ได้ดีกว่าสตาร์ช เนื่องจาก ฟลาวร์มีปริมาณโปรตีนสูง ทำให้มีส่วนที่ชอบน้ำสูงด้วย รวมทั้งคาร์โบไฮเดรตที่จะส่งเสริมการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นด้วย

สำหรับความสามารถในการดูดซับน้ำมันของเมล็ดทุเรียนทั้งสองพันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นพันธุ์ชะนีในรูปของฟลาวร์ที่กำจัดเมือกที่สูงกว่าพันธุ์พื้นเมืองอย่างมีนัยสำคัญ (p <0.05) (ตารางที่ 17)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบตัวอย่างที่แตกต่างกันในเมล็ดทุเรียนพันธุ์เดียวกัน (ตารางที่ 18) พบว่า รูปแบบของตัวอย่างไม่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับน้ำมันอย่างมีนัยสำคัญ (p <0.05) ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ ข. 9 โดยผลการศึกษาเป็นไปในทำนองเดียวกันในเมล็ดทุเรียนพันธุ์ชะนี ทั้งนี้ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมันของทุกตัวอย่างถือว่าเท่ากัน เนื่องจากในทุกตัวอย่างมีสตาร์ชรวมอยู่ ซึ่งสตาร์ชจากเมล็ดทุเรียนทั้งสองพันธุ์มีขนาดของเม็ดสตาร์ชที่เล็ก (6.44-8.35 ไมโครเมตร) โดยการที่ตัวอย่างสามารถดูดซับน้ำมันได้นั้นเป็นผลจากเม็ดสตาร์ชที่มีขนาดเล็กจนสามารถเข้าไปอยู่รวมกันในเฟสของน้ำมันได้ และให้ลักษณะเป็นเนื้อครีมเนียนละเอียด

Table 17 Water and oil absorption capacities of durian seed samples, in comparison of two varieties within the same sample.

Sample form	Water absorption capacities (ml water/g sample, db)	Oil absorption capacities (ml oil/g sample, db)
NF	0.70±0.03[a]	4.13±0.41[a]
CF	0.73±0.02[a]	4.76±0.00[a]
NDF	1.10±0.03[a]	4.03±0.11[a]
CDF	1.50±0.06[b]	4.76±0.01[b]
NS	0.55±0.00[a]	4.03±0.23[a]
CS	0.65±0.00[b]	4.21±0.61[a]

Mean value ± standard deviation of triplicates.

Different letters in the same column are significantly different (p <0.05).

Prince of Songkla University Pattani Campus

Table 18 Water and oil absorption capacities of durian seed samples, in comparison of three sample forms, within the same variety.

Sample form	Water absorption capacities (ml water/g sample, db)	Oil absorption capacities (ml oil/g sample, db)
NF	0.70±0.03[b]	4.13±0.41[a]
NDF	1.10±0.03[c]	4.03±0.11[a]
NS	0.55±0.00[a]	4.03±0.23[a]
CF	0.73±0.02[b]	4.76±0.00[a]
CDF	1.50±0.06[c]	4.76±0.01[a]
CS	0.65±0.00[a]	4.21±0.61[a]

Mean value ± standard deviation of triplicates.

Different letters in the same column are significantly different (p <0.05).

4.4.7 ความสามารถในการเกิดอิมัลชันและการรักษาความคงตัวของอิมัลชัน

การเกิดอิมัลชันเกิดจากของเหลวสองชนิดที่ไม่สามารถเข้ากันได้เมื่อถูกนำมารวมกันจะเกิดการแยกกันอยู่ เนื่องจากเกิดแรงตึงผิวระหว่างผิวของทั้งสองเฟสขึ้น การเติมอิมัลซิไฟเออร์ในขณะเกิดอิมัลชันจะช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างเฟสได้ ทำให้เกิดเป็นอิมัลชันได้ง่ายขึ้น (ปาริฉัตร, 2542) ซึ่งการประเมินสมบัติการเกิดอิมัลชันและการรักษาความคงตัวของอิมัลชันของสารผสมอาหาร สามารถทำได้หลายวิธี แต่ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการผสมสารละลายที่มีฟลาวร์หรือสตาร์ชอยู่ และทำการเติมน้ำมันไปเรื่อยๆ จนกระทั่งอิมัลชันเกิดการแยกชั้น ค่าความสามารถในการเกิดอิมัลชันจึงเป็นปริมาณน้ำมันสูงสุดที่สามารถทำให้เกิดเป็นอิมัลชันได้ ส่วนการทดสอบความคงตัวของอิมัลชัน นิยมวัดเป็นปริมาณน้ำมันที่เกิดการแยกชั้นภายหลังระยะเวลาและอุณหภูมิที่กำหนดและอาจใช้การหมุนเหวี่ยงช่วยเร่งให้เกิดการแยกชั้น ซึ่งผลการศึกษาความสามารถในการเกิดอิมัลชันและการรักษาความคงตัวของอิมัลชันของฟลาวร์ ฟลาวร์ที่กำจัดเมือกและสตาร์ช แสดงดังตารางที่ 19 และ 20

ความสามารถในการเกิดอิมัลชันของเมล็ดทุเรียนพันธุ์พื้นเมืองสูงกว่าพันธุ์ชะนีอย่างมีนัยสำคัญในตัวอย่างทุกรูปแบบ (p <0.05) (ตารางที่ 19) โดยในฟลาวร์ที่กำจัดเมือกและสตาร์ชของพันธุ์พื้นเมืองมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงกว่าพันธุ์ชะนี จึงทำให้ความสามารถในการเกิดอิมัลชันของพันธุ์พื้นเมืองสูงกว่า ส่วนในฟลาวร์พบว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตของทั้งสองพันธุ์

Prince of Songkla University Pattani Campus

ไม่แตกต่างกันทางสถิติก็ตาม แต่พันธุ์พื้นเมืองมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าพันธุ์ชะนี จึงอาจเป็นไปได้ที่พันธุ์พื้นเมืองมีความสามารถในการเกิดอิมัลชัน

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบตัวอย่างที่แตกต่างกันในเมล็ดทุเรียนพันธุ์เดียวกัน พบว่า รูปแบบของตัวอย่างมีผลต่อความสามารถในการเกิดอิมัลชันอย่างมีนัยสำคัญ (p <0.05) ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ ข. 9 และ ข. 10 กล่าวคือ ฟลาวร์มีความสามารถในการเกิดอิมัลชันได้สูงกว่า ฟลาวร์ที่กำจัดเมือกและสตาร์ช (p <0.05) ในขณะที่ฟลาวร์ที่กำจัดเมือกสูงกว่าสตาร์ชแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 20) เป็นไปในทำนองเดียวกันทั้งสองพันธุ์

ทั้งนี้การที่ฟลาวร์มีความสามารถในการเกิดอิมัลชันได้มากกว่าฟลาวร์วที่กำจัดเมือกและสตาร์ช เนื่องจากฟลาร์วมีสมบัติในการให้ความคงตัวแก่ระบบอิมัลชันให้เกิดได้นานขึ้น รวมทั้งในฟลาวร์เมล็ดทุเรียนทั้งสองพันธุ์ยังมีองค์ประกอบที่เป็นสารเมือกที่สามารถขัดขวางการเข้ารวมตัวของเม็ดไขมันไม่ว่าจะด้วยโมเลกุลหรืออนุภาคที่ผิวร่วมระหว่างน้ำมันกับน้ำทำให้อิมัลชันสามารถเกิดได้นานขึ้น (ปาริฉัตร, 2542; อดิศักดิ์, 2542)

สำหรับการศึกษาการรักษาความคงตัวของอิมัลชันถือเป็นสมบัติเชิงหน้าที่ที่มีความสำคัญในการที่จะช่วยให้บริเวณผิวร่วมระหว่างน้ำและน้ำมันมีความคงตัวได้ (Adelakun *et al.*, 2010) ซึ่งผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 19 และ 20 ผลการศึกษาการรักษาความคงตัวของอิมัลชันของเมล็ดทุเรียนพันธุ์พื้นเมืองสูงกว่าพันธุ์ชะนีอย่างมีนัยสำคัญในตัวอย่างทุกรูปแบบ (p <0.05) (ตารางที่ 19) ยกเว้นสตาร์ชที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยเหตุผลเป็นไปในทำนองเดียวกันกับการเกิดอิมัลชัน

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบตัวอย่างที่แตกต่างกันในเมล็ดทุเรียนพันธุ์เดียวกัน พบว่า รูปแบบของตัวอย่างมีผลต่อการรักษาความคงตัวของอิมัลชันอย่างมีนัยสำคัญ (p <0.05) ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ ข. 9 และ ข. 10 กล่าวคือ ฟลาวร์มีความสามารถในการเกิดอิมัลชันได้สูงกว่า ฟลาวร์ที่กำจัดเมือกและสตาร์ช (p <0.05) ในขณะที่ฟลาวร์ที่กำจัดเมือกสูงกว่าสตาร์ชแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 20) เป็นไปในทำนองเดียวกันทั้งสองพันธุ์

โดยสาเหตุที่ฟลาร์วมีความคงตัวได้มากกว่านั้น เนื่องจากฟลาวร์มีปริมาณโปตีน รวมทั้งยังมีสตาร์ชและสารเมือกรวมอยู่ด้วย ซึ่งเมื่อฟลาวร์ได้รับความร้อน จะส่งผลให้โปรตีนเกิดการคลายตัว ทำให้ส่วนที่จับกับน้ำ ซึ่งอยู่ภายในโครงสร้างของโปรตีนถูกปล่อยออกมา เป็นสาเหตุให้โมเลกุลของโปรตีนสามารถดูดซับน้ำบริเวณผิวร่วมได้มากขึ้น นอกจากนี้ สตาร์ชและสารเมือกส่งผลให้ความหนืดของระบบอิมัลชันเพิ่มขึ้นเนื่องจากความร้อนที่ให้ไปแก่ระบบส่งผลให้สตาร์ชเกิดการพองตัวได้มากขึ้น ซึ่งการที่ความหนืดเพิ่มขึ้นนั้นเป็นผลให้สามารถขัดขวางการรวมตัวของเม็ดไขมันให้เกิดได้ช้าลง ความคงตัวของอิมัลชันจึงมีมากขึ้น (Jitngarmkusol *et al.*, 2008)

Prince of Songkla University Pattani Campus

Table 19 Emulsion activity and stability of durian seed samples, in comparison of two varieties within the same sample.

Sample form	Emulsion activity (%)	Emulsion stability (%)
NF	31.09±0.76[b]	51.76±0.72[b]
CF	16.48±0.41[a]	45.25±0.81[a]
NDF	18.79±0.52[b]	24.94±0.88[b]
CDF	15.27±0.45[a]	21.36±0.69[a]
NS	16.09±0.10[b]	18.34±0.23[a]
CS	14.82±0.13[a]	21.12±0.51[b]

Mean value ± standard deviation of triplicates.

Different letters in the same column are significantly different (p <0.05).

Table 20 Emulsion activity and stability of durian seed samples, in comparison of three sample forms, within the same variety.

Sample form	Emulsion activity (%)	Emulsion stability (%)
NF	31.09±0.76[b]	51.76±0.72[c]
NDF	18.79±0.52[a]	24.94±0.88[b]
NS	16.09±0.10[a]	18.34±0.23[a]
CF	16.48±0.41[b]	45.25±0.81[b]
CDF	15.27±0.45[a]	21.36±0.69[a]
CS	14.82±0.13[a]	21.12±0.51[a]

Mean value ± standard deviation of triplicates.

Different letters in the same column are significantly different (p <0.05).

จากผลการศึกษาสมบัติของฟลาวร์และสตาร์ช พบว่า ฟลาวร์เมล็ดทุเรียนทั้งสองพันธุ์มีปริมาณสารเมือกมากกว่าฟลาวร์ที่กำจัดเมือก ส่งผลให้สมบัติทางด้านความหนืด และสมบัติด้านอิมัลชันดีกว่า ตัวอย่างในรูปแบบอื่น จึงน่าจะเหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ประเภทอิมัลชัน เช่น น้ำสลัด มายองเนส มากกว่า

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.5 การประยุกต์ใช้ฟลาวร์เมล็ดทุเรียนในมายองเนส

เตรียมผลิตภัณฑ์มายองเนสสูตรไขมันเต็มและสูตรที่ใช้น้ำแป้งพรีเจลเข้มข้น 12 เปอร์เซ็นต์ ทดแทนน้ำมันในปริมาณต่างๆ ตามวิธีการข้อ 3.3.3.1 ศึกษาคุณภาพของมายองเนส ได้ผลดังต่อไปนี้

4.5.1 องค์ประกอบทางเคมีและค่าพลังงาน

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและค่าพลังงานของมายองเนสสูตรควบคุม (FF) เปรียบเทียบกับสูตรที่มีการใช้น้ำแป้งพรีเจลทดแทนน้ำมัน ได้ผลดังตารางที่ 21 โดยพบว่าปริมาณน้ำแป้งพรีเจลมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีและค่าพลังงานในสูตรมายองเนสอย่างมีนัยสำคัญ (p <0.05) ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ ข. 11 และ ข. 12 โดยสูตร FF มีปริมาณไขมันเท่ากับ 82.59 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเปียก และค่าพลังงานเท่ากับ 759.59 kcal/100g ซึ่งมีปริมาณมากกว่า NF-M1, NF-M2 และ NF-M3 ที่มีปริมาณไขมันเท่ากับ 70.41, 57.98 และ 47.81 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเปียก และมีค่าพลังงานเท่ากับ 662.08, 549.63 และ 470.97 kcal/100g ตามลำดับ โดยการใช้น้ำแป้งพรีเจลจาก NF ทั้งสามสูตร สามารถลดปริมาณไขมันได้ 12.18, 24.61 และ 34.78 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเปียก ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับค่าพลังงานที่ลดลงได้ 96.61, 209.96 และ 288.62 kcal/100 g ซึ่งปริมาณไขมันและค่าพลังงานของ CF-M1, CF-M2 และ CF-M3 มีปริมาณน้อยกว่าสูตร FF เช่นเดียวกัน (p <0.05) สามารถลดปริมาณไขมันได้ 12.78, 23.67 และ 34.15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเปียก ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับค่าพลังงานที่ลดลงได้ 104.77, 194.06 และ 287.03 kcal/100 g

ค่าพลังงานที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้เป็นการคำนวณจากตัวอย่างปริมาณ 100 กรัมที่มีการหักลบปริมาณโปรตีน ไขมันและคาร์โบไฮเดรต (ดังแสดงตามข้อ 3.3.3.2.1) ทั้งนี้องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวร์ทั้งสองพันธุ์มีตัวเลขที่ไม่ถูกต้อง คือ คาร์โบไฮเดรต ซึ่งอาจมีค่าเกินความเป็นจริง เนื่องจากคำนวณโดยคิดจาก ฟลาวร์ที่มีองค์ประกอบเป็นสารเมือกที่จัดเป็นกลุ่มที่ไม่ใช่สตาร์ช (non starch) ที่ไม่ให้พลังงาน ดังนั้นค่าพลังงานจากการใช้ฟลาวร์เมล็ดทุเรียนทั้งสองพันธุ์จึงควรมีค่าพลังงานที่ต่ำกว่าค่าพลังงานจากตารางที่ 21 สำหรับค่าพลังงานของ NF ทั้งสามสูตร คือ 512.12, 425.14 และ 364.29 kcal/100 g ตามลำดับ ส่วน CF ทั้งสามสูตรจะเท่ากับ 507.299, 438.12 และ 366.09 kcal/100 g ตามลำดับ ในขณะเดียวกันการเพิ่มปริมาณน้ำแป้งพรีเจลส่งผลให้ความชื้นมีปริมาณเพิ่มขึ้น เนื่องจากแป้งมีสมบัติในการดูดซับน้ำได้ดี ดังนั้นปริมาณความชื้นจึงเพิ่มขึ้นตามปริมาณแป้งที่เพิ่มขึ้น (Babajide and Olatunde, 2010) นอกจากนี้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของมายองเนสที่มีการใช้น้ำแป้งพรีเจลทดแทนน้ำมันเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสูตร FF ถือเป็นคุณลักษณะของอาหารที่มีการใช้คาร์โบไฮเดรตทดแทนไขมัน (Akoh, 1998)

Table 21 Chemical compositions and caloric values of mayonnaise products.

Formulations	Chemical compositions (% w/w)					
	Moisture	Protein	Fat	Ash	Carbohydrate	Caloric values (kcal/100g)
FF	12.41±0.02^{aA}	2.46±0.39^{dD}	82.59±0.29^{aA}	0.92±0.00^{aA}	1.60±0.28^{aA}	759.59±2.66^{A}
NF-M1	21.40±0.06^{b}	1.68±0.01^{c}	70.41±0.24^{d}	1.09±0.00^{b}	5.40±0.29^{b}	662.08±1.77^{d}
NF-M2	33.97±0.27^{c}	1.52±0.02^{b}	57.98±0.05^{c}	1.09±0.00^{c}	5.41±0.24^{b}	549.63±0.69^{c}
NF-M3	40.92±0.09^{d}	1.30±0.01^{a}	47.81±0.19^{b}	1.09±0.00^{d}	8.85±0.11^{c}	470.97±4.72^{b}
CF-M1	22.26±0.06^{B}	1.52±0.19^{C}	69.81±0.24^{D}	1.06±0.00^{B}	5.08±0.06^{B}	654.82±2.81^{D}
CF-M2	32.88±0.27^{C}	1.42±0.29^{B}	58.92±0.79^{C}	1.08±0.00^{C}	5.67±0.50^{B}	565.53±2.97^{C}
CF-M3	41.31±0.97^{D}	1.37±0.17^{A}	48.44±0.19^{B}	1.09±0.00^{D}	7.77±0.49^{C}	472.56±2.33^{B}

Mean value ± standard deviation of triplicates.

Different small letters in the same column, in comparison between NF and FF, are significantly different (p <0.05).

Different capital letters in the same column, in comparison between CF and FF, are significantly different (p <0.05).

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.5.2 ขนาดและการกระจายตัวของเม็ดไขมัน

ขนาดของเม็ดไขมันของ NF-M1, NF-M2 และ NF-M3 มีขนาดเฉลี่ยเท่ากับ 3.58, 1.01 และ 0.47 ไมครอน ในขณะที่ CF-M1, CF-M2 และ CF-M3 มีขนาดเฉลี่ย 2.53, 1.43 และ 0.52 ไมโครเมตรตามลำดับ (รูปที่ 21) เมื่อเปรียบเทียบกับเม็ดไขมันในมายองเนสทางการค้าและสูตรไขมันเต็ม พบว่าการใช้ NF และ CF ในมายองเนสทดแทนไขมันส่งผลให้ขนาดของเม็ดไขมันมีขนาดเล็กกว่า ส่วนการกระจายตัวของเม็ดไขมัน พบว่าเม็ดไขมันของสูตร FF มีการเกาะกลุ่มมากกว่าสูตรที่มีการเติมแป้งพรีเจล โดยเมื่อปริมาณน้ำมันในสูตรยิ่งลดลงส่งผลให้เม็ดไขมันมีการกระจายตัวมากขึ้น ซึ่งการเติมแป้งเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้เม็ดไขมันมีขนาดเล็กลง เนื่องจากอนุภาคของแป้งทำให้ความหนืดของเฟสต่อเนื่องเพิ่มมากขึ้น และยังไปขัดขวางการรวมตัวของเม็ดไขมัน โดยการไปลดแรงแวนเดอร์วาลส์ในการดึงน้ำมันมารวมกัน จึงทำให้เม็ดไขมันมีขนาดเล็กลงและเกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มของเม็ดไขมันน้อยกว่ามายองเนสทางการค้าและสูตรไขมันเต็ม (นิรมล ศักดิ์สกุลชาญ, 2548, Dickinson and Stainsby, 1980)

Figure 21 Microscopical images of oil droplets in different formulations of mayonnaise products (100×).

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.5.3 พฤติกรรมการไหลและความหนืด

พฤติกรรมการไหลของมายองเนสชุดควบคุมเป็นแบบ shear-thinning (ดังรูปที่ 22) กล่าวคือ เมื่ออัตราการเฉือนเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความหนืดลดลง พฤติกรรมการไหลของมายองเนสชุดอื่นๆ ที่ใช้น้ำแป้งแทนไขมัน รวมถึงมายองเนสทางการค้าทั้ง 2 ตัวอย่าง (SK และ BF) มีลักษณะเดียวกันกับชุดควบคุม สำหรับความหนืดพบว่า ความหนืดของมายองเนส ชุดควบคุมมีค่าสูงสุดและลดลงเมื่อมีการเติมน้ำแป้งพรีเจลในปริมาณมากขึ้น (FF> NF-M1 > NF-M2 > NF-M3) ซึ่งผลเป็นไปในทำนองเดียวกันสำหรับแป้งเมล็ดทุเรียนทั้ง 2 พันธุ์ จะเห็นว่าเมื่อปริมาณน้ำแป้งพรีเจลที่แทนที่ไขมันในมายองเนสเพิ่มขึ้นมีผลให้ความหนืดลดลง ทั้งนี้เป็นผลจากปริมาณน้ำที่เป็นส่วนประกอบในน้ำแป้งพรีเจลเพิ่มมากขึ้น (ดังแสดงให้เห็นถึงปริมาณความชื้นในมายองเนสเพิ่มขึ้น) อย่างไรก็ตามมายองเนส NF-M1 มีความหนืดที่ใกล้เคียงกับชุดควบคุม (FF) และ มายองเนสทางการค้าทั้ง 2 ตัวอย่าง (SK และ BF)

ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Choonhahirun (2008) ที่ทำการศึกษาความหนืดของมายองเนสชนิดผสมคั่นช่าย โดยกำหนดให้ปริมาณแป้งในทุกชุดการทดลองเท่ากัน แต่เพิ่มปริมาณน้ำและลดปริมาณน้ำมัน พบว่าชุดควบคุมมีความหนืดสูงสุด โดยปริมาณน้ำมันแปรผกผันกับความหนืด ทั้งนี้จากกระบวนการดังกล่าวสามารถอธิบายด้วยปฏิกิริยาการเกาะกลุ่มและการกระจายของเม็ดไขมัน (Flocculation-deflocculation) ที่อยู่ในเฟสต่อเนื่อง โดยเมื่ออัตราการเฉือนเพิ่มขึ้น ปฏิกิริยาดังกล่าวก็จะถูกเปลี่ยนไปเป็นการกระจายดังนั้นจึงทำให้ความหนืดลดลง (Cheung *et al.*, 2002)

Prince of Songkla University Pattani Campus

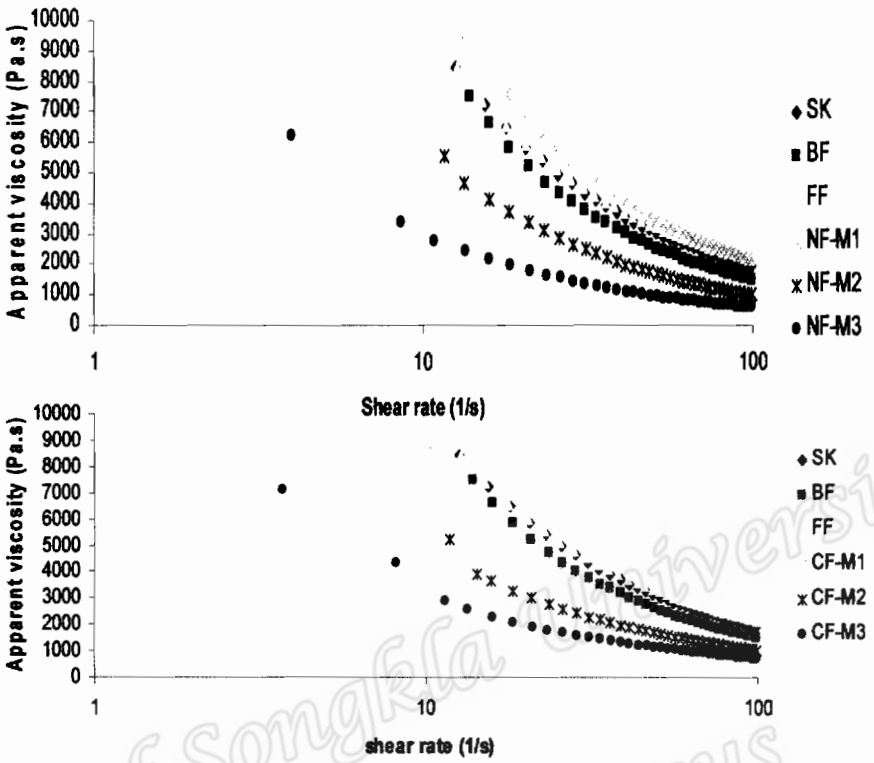


Figure 22 Flow behaviors of different type of mayonnaise at 25°C and 1-100 s^{-1} shear rate.

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.5.4 การปาดทา (spreadability)

การปาดทาบ่งชี้ถึงแรงที่แสดงความยากง่ายในการกดลงบนผลิตภัณฑ์ ถ้าค่ามากแสดงว่าผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงมาก ปริมาณน้ำแป้งพรีเจลที่ใช้ทดแทนไขมันมีผลต่อการปาดทาของมายองเนสอย่างมีนัยสำคัญ (p <0.05) ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ ข. 13 และ ข. 14 กล่าวคือ เมื่อปริมาณเพิ่มขึ้นมีผลให้การปาดทาลดลง อย่างมีนัยสำคัญ โดยผลการทดลองเป็นไปในทำนองเดียวกัน สำหรับการใช้แป้งเมล็ดทุเรียนทั้ง 2 พันธุ์ (ตารางที่ 23) มายองเนสสูตร FF, NF-M1, NF-M2 และ NF-M3 มีการปาดทา เท่ากับ 9.07, 9.45, 9.40 และ 3.17 กรัม ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปในทำนองเดียวกันในพันธุ์ชะนี จะเห็นว่ามายองเนสที่มีการทดแทนด้วย NF และ CF ทุกสูตรต้องใช้แรงในการปาดน้อยกว่า เนื่องจาก เมื่อปริมาณน้ำแป้งพรีเจลเพิ่มขึ้น ความหนืดของมายองเนสลดลง จะส่งผลให้เฟสน้ำเปลี่ยนเป็นเจลได้น้อยลง ความแข็งของเจลที่เกิดก็จะน้อยลงตามไปด้วย (ปาริฉัตร, 2545) อย่างไรก็ตามจะพบว่ามายองเนส NF-M1 มีการปาดทาใกล้เคียงกับมายองเนสทางการค้าทั้ง 2 ตัวอย่าง (10.48 และ 9.83 กรัม) มากที่สุด

Table 22 Spreadability of different formulations of durian seed flour added mayonnaise, in comparison to commercial products.

Sample	Spreadability (g.force)
BF	9.07 ± 0.68^{bB}
SK	10.48 ± 0.56^{cC}
FF	9.80 ± 0.06^{cC}
NF-M1	9.45 ± 0.42^{b}
NF-M2	9.40 ± 0.45^{b}
NF-M3	3.17 ± 0.11^{a}
CF-M1	8.58 ± 0.07^{B}
CF-M2	8.44 ± 0.03^{B}
CF-M3	3.36 ± 0.03^{A}

Mean value ± standard deviation of triplicates.

Different small letters in the same column, in comparison between NF, FF and commercial mayonnaise (BF and SK), are significantly difference (p <0.05).

Different capital letters in the same column ,in comparison between CF, FF and commercial mayonnaise (BF and SK), are significantly difference (p <0.05).

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.5.5 ความคงตัวของมายองเนส

จากการศึกษาความคงตัวของมายองเนส พบว่า มายองเนสสูตร FF ไม่เกิดการแยกชั้นของอิมัลชัน เช่นเดียวกันกับมายองเนสที่มีการทดแทนไขมันด้วย NF และ CF ในทุกสูตร (ดังรูปที่ 23) ทั้งนี้เนื่องจากโดยทั่วไปแป้งพรีเจลหรือสารประกอบโพลีแซคคาไรด์ สามารถจับกับโมเลกุลของน้ำและช่วยเพิ่มความหนืดหรือทำให้เฟสต่อเนื่องเปลี่ยนเป็นเจล ซึ่งกลไกนี้จะช่วยลดการเคลื่อนที่และการชนกันของเม็ดไขมัน เป็นการเพิ่มความคงตัวของอิมัลชันได้ (ปาริฉัตร, 2545) นอกจากนี้ความคงตัวของอิมัลชันยังรวมไปถึงการป้องกันการแยกชั้นหรือเป็นครีมของน้ำมันลอยอยู่ด้านบนของของเหลว (creaming) ซึ่งการเกิดเป็นครีมมักพบได้น้อยในมายองเนสที่มีปริมาณไขมันสูงประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเม็ดไขมันอยู่ใกล้กันจนเคลื่อนที่ไม่ได้ (Mun *et al.*, 2009) ดังนั้นในมายองเนสไขมันต่ำ ก็จะเกิดเป็นครีมได้ง่าย โดยการป้องกันการเป็นครีมสามารถทำได้โดยการใช้สารเพิ่มความหนืด ซึ่งจะส่งผลให้เม็ดไขมันเคลื่อนที่ช้าลง สอดคล้องกับผลการศึกษาในครั้งนี้ที่มีความคงตัวสูงเนื่องจากความหนืดของตัวอย่างที่แตกต่างกันไม่มากนัก

Figure 23 Different formulations mayonnaise products showing emulsion stability.

จากการศึกษานี้สามารถใช้ฟลาวร์เมล็ดทุเรียนพันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์ชะนีในรูปของน้ำแป้งพรีเจลเข้มข้น 12 เปอร์เซ็นต์ สามารถทดแทนน้ำมันถั่วเหลืองในสูตรมายองเนสได้ 12 มิลลิลิตร หรือคิดเป็น 15 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำมันในสูตรควบคุมโดยให้ปริมาณไขมันและพลังงานต่ำกว่าสูตรไขมันเต็ม รวมทั้งให้ค่าความคงตัวที่ไม่แตกต่างกันกับสูตรไขมันเต็มและสูตรทางการค้า แต่กลับทำให้ค่าความหนืดและการปาดทาต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ปริมาณแป้งที่ใช้มีปริมาณน้อยแต่กลับมีสมบัติบางประการที่ใกล้เคียงกับมายองเนสสูตรทางการค้าและสูตรไขมันเต็ม ซึ่งน่าจะเป็นผลจากเมือกที่อยู่รวมกันกับแป้งในเมล็ดด้วย ถือเป็นอีกเรื่องสำคัญที่น่าจะมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

Prince of Songkla University Pattani Campus