



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

องค์ประกอบและสมบัติทางเคมีกายภาพของฟลาวัวร์และสตาร์ชแห้วจีน
(*Eleocharisdulcis* Trin.) ที่อายุเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน
Composition and physicochemical properties of flour and starch from
Chinese water chestnut (*Eleocharisdulcis* Trin.)
with difference harvest period.

ดร. นภัสรพี เหลืองสกุล

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2554

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RCH
SB
401
.C4
พ 1950

เอกสารนี้เลขหมู่.....131162.....การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งหากมีข้อสงสัยหรือข้อผิดพลาดใดๆ กรุณาแจ้งเจ้าหน้าที่หอสมุดฯ
วัน,เดือน,ปี...2.2...แถ...2557

b. 12602371

Research Title: Composition and physicochemical properties of flour and starch of Chinese water chestnut (*Eleocharis dulcis* Trin.) differing in the harvest period.

Researcher: Dr.Naphatrapi Luangsakul (HEAD) and Miss Pajaree Lunnawa

Faculty: Agro-industry

Department: Agro-industry

ABSTRACT

Chinese water chestnut starch (CWC starch) from the harvesting period of 12 months possessed the significantly highest protein content. Amylose content was not affected by the studied harvesting time. Chinese water chestnut flour (CWC flour) from the harvesting period of 7 months had the highest crude fiber content. CWC starch granules were round, oval and smooth surfaces. The harvesting periods increased, the starch granules were larger. The pH of both CWC starch and flour were in the range OF 4.72-6.24. CWC starch from the harvesting periods of 7 month had the highest brightness value (L *), while CWC flour had the highest yellow value (b*). The X-ray diffraction pattern of CWC starch showed the same typical A-type crystalline structure at the three different harvesting periods. The swelling power and solubility increased with increasing the harvesting periods at all heating temperatures and well in the temperature range 80-90°C. CWC starch showed no significantly different syneresis value among all three harvesting time. CWC flour from the harvesting period of 7 months and CWC starch from the harvesting period of 12 months had the lowest peak viscosity and breakdown value and the highest setback. The enthalpy of gelatinization of the three harvesting periods were 3.24-3.48 J/g and When concentration of CWC starch gel was increased, the hardness and gumminess were increased as well resulting chewiness increased accordingly.

Keywords : Chinese water chestnut, Chinese water chestnut flour and starch, physicochemical properties,, starch gel of Chinese water chestnut, harvesting periods

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	จ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	13
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	15
3.1 วัตถุประสงค์.....	15
3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	16
3.3 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของฟลาวัวร์และสตาร์ชเห้วจิ้น.....	19
3.4 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของฟลาวัวร์และสตาร์ชเห้วจิ้น.....	19
3.5 ศึกษาผลของปัจจัยต่างๆต่อคุณภาพเนื้อสัมผัสของเจลสตาร์ช.....	20
3.6 การคำนวณปริมาณผลผลิตที่ได้ของฟลาวัวร์และสตาร์ชเห้วจิ้น.....	21
3.7 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ.....	21
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	22
4.1 ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีของฟลาวัวร์และสตาร์ชจากเห้วจิ้น.....	22
4.2 ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของฟลาวัวร์และสตาร์ชจากเห้วจิ้น.....	24

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	38
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	38
บรรณานุกรม.....	40
ภาคผนวก.....	42
ภาคผนวก ก.....	43
ภาคผนวก ข.....	46
ประวัตินักวิจัย.....	49



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ปริมาณสารอาหารของเห็ดวุ้นสด.....	2
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวอร์และสตาร์ชเห็ดวุ้น.....	22
4.2 ค่าความเป็นกรดค้างของฟลาวอร์และสตาร์ชเห็ดวุ้น.....	25
4.3 ค่าสีของฟลาวอร์และสตาร์ชเห็ดวุ้น.....	26
4.4 ค่าความคงตัวของการละลายน้ำแข็งของสฟลาวอร์และสตาร์ชจากเห็ดวุ้น.....	32
4.5 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็นของฟลาวอร์เห็ดวุ้น.....	33
4.6 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็นของสตาร์ชเห็ดวุ้น.....	33
4.7 สมบัติทางความร้อนของสตาร์ชเห็ดวุ้น.....	34
4.8 ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเจลสตาร์ชที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน.....	35
4.9 ค่าสีของเจลสตาร์ชที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน.....	37



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การพองตัวของเม็ดแป้ง.....	8
2.2 โครงสร้างโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคส.....	9
2.3 โครงสร้างของอะไมโลส.....	9
2.4 โครงสร้างอะไมโลเพกติน.....	10
3.1 กระบวนการผลิตฟลาวัวร์จากหัวจิ้น.....	16
3.2 กระบวนการผลิตสตาร์ชจากหัวจิ้น.....	18
4.1 ขนาดและลักษณะของเม็ดแป้งของสตาร์ชจากหัวจิ้น.....	24
4.2 ลักษณะของผลึกโมเลกุลแป้งของสตาร์ชจากหัวจิ้น.....	27
4.3 ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคแป้งของสตาร์ชจากหัวจิ้น.....	28
4.4 กำลังการพองตัวของฟลาวัวร์จากหัวจิ้น.....	29
4.5 ค่าการละลายของฟลาวัวร์จากหัวจิ้น.....	29
4.6 กำลังการพองตัวของสตาร์ชจากหัวจิ้น.....	30
4.7 ค่าการละลายของสตาร์ชจากหัวจิ้น.....	31
4.8 ผลของระดับความเข้มข้นสตาร์ชหัวจิ้นที่มีต่อค่า hardness และ gumminess.....	36
4.9 ผลของระดับความเข้มข้นสตาร์ชหัวจิ้นที่มีต่อค่า springiness, cohesiveness และ Chewiness ของเจล.....	36
4.10 ลักษณะเจลสตาร์ชที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ.....	36

บทที่ 1

บทนำ

1.1ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แห้วจีน มีชื่อเรียกภาษาอังกฤษว่า waternut หรือ Chinese water chestnut หรือ ภาษาจีนเรียกว่า มาไต (ma tai) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Eleocharis dulcis* Trin. มีชื่ออื่นอีก ได้แก่ *E. tuberosa* Schult. หรือ *Scirpus tuberosus* Roxb. อยู่ในตระกูล Cyperaceae นอกจากนี้ยังมีแห้วจีนอีกชนิดหนึ่งที่มีลักษณะเป็นแห้วทรงกระเทียม มีชื่อเรียกทางวิทยาศาสตร์ว่า *Eleocharis dulcis* เป็นพืชเขตร้อนในตระกูลหญ้าทรงกระเทียม (sedge family) คล้ายกอก เชื่อกันว่ามีแหล่งกำเนิดมาจากจีนตอนใต้ เป็นส่วนประกอบในอาหารจีนหลายชนิดและยังนิยมบริโภคทั่วทั้งเอเชียตะวันออกเฉียงใต้รวมทั้งประเทศไทย สำหรับประเทศไทย มีผู้นำแห้วจีนมาปลูกที่จังหวัดเชียงรายมานานมาแล้ว และได้นำมาปลูกในเขตอำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี เมื่อปี พ.ศ 2493 สำหรับจังหวัดสุพรรณบุรี แหล่งปลูกที่สำคัญ คือ อำเภอศรีประจันต์ ในตำบลวังยาง ตำบลมดแดง และตำบลศรีประจันต์ มูลค่าของการซื้อขายแห้วในแต่ละปีประมาณ 500 – 600 ล้านบาท (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2547)

ผลแห้วมีเปลือกสีน้ำตาลออกม่วงเข้ม เมื่อปอกเอาเปลือกออก เนื้อแห้วมีสีขาว เนื้อแห้วสามารถนำมาใช้ในลักษณะทั้งหัว ผ่าครึ่ง สไลด์เป็นแผ่น หั่นเป็นสี่เหลี่ยมลูกเต๋าเนื่องจากมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่กรอบ (crunchy texture) และมีรสหวานและกลิ่นรสเฉพาะตัว แห้วจีนนิยมนำมาแปรรูปเป็นแห้วกระป๋อง หรือนำมาต้มแล้วคั้นน้ำช่วยแก้ร้อนใน นอกจากนี้ ทางประเทศฮ่องกง และประเทศจีน จะนิยมนำแป้งแห้วมาทำขนม (water chestnut cake) โดยใช้การนึ่ง มีลักษณะคล้ายขนมหัวผักกาด เป็นสัญลักษณ์ของขนมมงคลที่ใช้ในวันขึ้นปีใหม่ มีลักษณะเนื้อสัมผัสคล้ายเยลลี่ที่มีความเหนียวยืดหยุ่น (springy texture)

แห้วจีนอุดมด้วยสารอาหารที่เป็นประโยชน์มากมาย (ตารางที่ 1.1) หัวแห้วจีนประกอบด้วยไขมันน้อยมาก เป็นแหล่งที่ดีของโปตัสเซียม นอกจากนี้แห้วจีนยังมีสมบัติทางยา (medical properties) มีความเชื่อว่า แห้วจีนมีสมบัติลดไข้ แก้ร้อนใน ช่วยแก้อาการคลื่นไส้อาเจียน เพิ่มความอยากอาหารในเด็ก แห้วจีนมีสมบัติในการแก้พิษ แก้ไอ และช่วยแก้อาการของโรคหัด (Anonymous, 2010)

ตารางที่ 1.1 ปริมาณสารอาหารของแห้วจินสด

สารอาหาร	ปริมาณสารอาหารต่อแห้วจินสด 100 กรัม
น้ำ	48.2 กรัม
โปรตีน	3.4 กรัม
ไขมัน	0.2 กรัม
คาร์โบไฮเดรต	32.1 กรัม
น้ำตาล	3.3 กรัม
พลังงาน	730 cal
ใยอาหาร	14.9 กรัม
แคลเซียม	17.6 มิลลิกรัม
สังกะสี	0.4 มิลลิกรัม
เหล็ก	0.7 มิลลิกรัม
โซเดียม	0.8 มิลลิกรัม
โปแตสเซียม	468 มิลลิกรัม

ที่มา: Anonymous (2010)

หัวแห้วจินสามารถนำมาแปรรูปเป็นแป้งได้ แป้งที่ได้จากหัวแห้วมีลักษณะคล้ายคลึงกับแป้งที่ได้จากมันเทศ หรือมันสำปะหลัง แป้งแห้วสามารถนำไปใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดจะมีลักษณะที่ใสแวววาว และเมื่อนำไปใช้เป็นแป้งชุบทอดจะทำให้มีลักษณะกรอบเบา ผาณิต (2549) รายงานว่า แป้งแห้วมีสมบัติในการอุ้มน้ำได้ดี มีความคงตัวของเจลที่เย็นตัว อย่างไรก็ตาม สมบัติต่างๆของแป้งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น สายพันธุ์พืช ระยะที่เจริญเติบโต และปัจจัยสิ่งแวดล้อม (Lan และคณะ, 2008a)

ดังนั้นการที่จะใช้ประโยชน์จากสมบัติต่างๆที่โดดเด่นของแป้งแห้วจินในผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลายมากขึ้น การศึกษาสมบัติของแป้งฟลาวัวร์ (flour) ซึ่งใช้กระบวนการ โม่แบบแห้ง (dry milling) และ สตาร์ช (starch) ซึ่งใช้กระบวนการ โม่แบบเปียก (wet milling) จากแห้วจินอายุ การเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกันเป็นสิ่งที่น่าสนใจ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการประเมินศักยภาพการใช้ประโยชน์จากสมบัติต่างๆที่ศึกษามาประยุกต์ใช้เป็นสมบัติเชิงหน้าที่ในกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลายมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาสมบัติต่างๆและเนื้อสัมผัสเจลของแป้งฟลาวัวร์และสตาร์ชของแห้วจีนที่อายุการเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน

1.2.2 เพื่อประเมินศักยภาพจากสมบัติต่างๆที่ศึกษาได้ในการที่จะใช้ประโยชน์จากแป้งฟลาวัวร์และสตาร์ชของแห้วจีนในการทดแทนแป้งชนิดอื่น โดยที่เมื่อนำแป้งฟลาวัวร์และสตาร์ชจากแห้วจีน ไปใช้จะทำให้มีสมบัติที่ดีกว่า

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติทางเคมี (proximate analysis ปริมาณสตาร์ช ปริมาณอะมิโลส) สมบัติทางเคมีกายภาพทั้งทางด้านรูปพรรณสัณฐานของเม็ดแป้ง รูปแบบผลึกของ โมเลกุลแป้ง (X-ray diffraction pattern) กำลังการพองตัว (swelling power) การละลาย (solubility) ความขุ่นของสารละลายแป้งสูง (turbidity) ความคงตัวต่อการละลายน้ำแข็ง (freeze thaw stability or syneresis) การเปลี่ยนแปลงความหนืด สมบัติทางด้านความร้อน (thermal properties) และเนื้อสัมผัสของเจลของฟลาวัวร์แห้วจีน และสตาร์ชจากแห้วจีน ที่วันเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1.4.1 วัตถุดิบ

แห้วจีนสด (*Eleocharis dulcis* Trin.) จากจังหวัดสุพรรณบุรี อายุเก็บเกี่ยว 7, 9 และมากกว่า 10 เดือน

1.4.2 การเตรียมแป้งฟลาวัวร์และสตาร์ชจากแห้วจีนสดอายุเก็บเกี่ยวต่างๆกัน

การเตรียมแป้งฟลาวัวร์ใช้กระบวนการโม่แบบแห้ง (dry milling) นำแห้วจีนมาทำความสะอาด ปอกเปลือก แล้วสไลด์เป็นชิ้นบางๆ อบแห้ง ที่อุณหภูมิ 65 - 70 °C จนกระทั่งความชื้น 6 - 7 % แล้วนำไปบด ได้เป็นแป้งฟลาวัวร์แห้ว (พาณิชย์, 2549)

การเตรียมสตาร์ชใช้กระบวนการโม่แบบเปียก (wet milling) นำแห้วจีนมาทำความสะอาด ปอกเปลือก แล้วสไลด์เป็นชิ้นบางๆ จากนั้นมาผสมกับน้ำในอัตราส่วนน้ำ: แห้ว = 3:1 กรอง แล้วแยกกากที่เหลือไปผสมกับน้ำ กวนให้เข้ากัน กรองผ่านผ้าขาวบาง แล้วนำส่วนที่กรองได้ทั้งหมดมาผสมน้ำอีกครั้ง แล้วทิ้งไว้ให้ตกตะกอน แยกน้ำใสส่วนบนออก นำตะกอนของแป้งไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 - 70 °C จนกระทั่งความชื้น 6 - 7 % แล้วนำไปบดให้ละเอียด ได้เป็นสตาร์ชแห้ว (พาณิชย์, 2549)

1.4.3 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของแป้งฟลาวัวร์และสตาร์ชจากแห้วอายุเก็บเกี่ยวต่างๆกัน

วิเคราะห์สมบัติทางเคมีของแป้งฟลาวัวร์และสตาร์ชจากแห้ว ดังนี้

- ปริมาณความชื้น โดยวิธี AOAC (2000)
- ปริมาณโปรตีน โดยวิธี AOAC (2000)
- ปริมาณไขมัน โดยวิธี AOAC (2000)
- ปริมาณเส้นใย (crude fiber) โดยวิธี AOAC (2000)
- ปริมาณเถ้า โดยวิธี AOAC (2000)
- ปริมาณน้ำตาล โดยวิธี AOAC (2000)
- ปริมาณแป้ง (% starch) Glucoamylase method โดยวิธี AACC (2000)
- ปริมาณอะมิโลส โดยวิธี มอก. 638-2529

1.4.4 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งฟลาวัวร์และสตาร์ชจากแห้วอายุเก็บเกี่ยวต่าง ๆ กัน

ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งฟลาวัวร์และสตาร์ชจากแห้ว ดังนี้

- ศึกษาขนาดและลักษณะของเม็ดแป้ง (morphology of starch granule) ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM)

- ศึกษาลักษณะของผลึก โมเลกุลแป้ง ด้วยเครื่อง X-ray diffraction
- วัดค่า pH ของแป้ง ตามวิธี มอก. 274-2521
- วัดค่าสีของแป้ง โดยใช้เครื่องวัดสี
- วัดขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคแป้ง (particle size distribution) ด้วยเครื่อง

Image Analyzer

- วัดค่ากำลังการพองตัว (swelling power) และค่ากำลังการละลาย (solubility) (Lan และคณะ, 2008a)
- ค่าความขุ่น (turbidity) และค่าความคงตัวของน้ำแข็ง (syneresis) (Lan และคณะ, 2008a)

- ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความชื้นหนืดในระหว่างการให้ความร้อน จนถึงการทำให้เย็น ด้วยเครื่อง Brabender Amylograph (AACC, 2000)

- ศึกษาสมบัติทางความร้อนของแป้ง โดยใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimetry, DSC)

1.4.5 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสเจลของแป้งฟลาวัวร์และสตาร์ชจากแห้วอายุเก็บเกี่ยวต่าง ๆ กัน

เตรียมความเข้มข้นของน้ำแป้ง 6 % (w/w) ให้ความร้อนน้ำแป้งจนถึงอุณหภูมิ 95 ° C คงไว้ที่อุณหภูมินี้ 15 นาที แล้วทำให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง และทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง นำเจลที่ได้ไปวัดเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyzer โดยใช้ cylinder probe วัดค่า hardness, springiness, adhesiveness, cohesiveness, gumminess and chewiness

ในการทดลองใช้จำนวนซ้ำของการทดลอง 3 ซ้ำ (อายุการเก็บเกี่ยวหนึ่งอายุการเก็บเกี่ยวมี 3 ตัวอย่างซ้ำ)

ออกแบบการทดลองแบบ Completely Randomized design (CRD) และวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของโครงการวิจัย

งานวิจัยนี้ จะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในการทราบถึงสมบัติต่างๆและเนื้อสัมผัสเจลของทั้งแป้งฟลาวัวร์และสตาร์ชของแห้วจีนอายุการเก็บเกี่ยวผลแห้วที่แตกต่างกัน เพื่อที่จะนำไปใช้ประเมินศักยภาพในการที่จะประยุกต์ใช้ประโยชน์จากแห้วจีนนำไปทำผลิตภัณฑ์หรือเป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ เพื่อเพิ่มมูลค่าของแห้วและยังเป็นข้อมูลที่จะกระตุ้นให้เกิดแนวความคิดพัฒนากลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ใช้วัตถุดิบจากแห้วที่ยังไม่เคยมีมาก่อน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 เห้วจีน

เห้วจีนมีชื่อเรียกภาษาอังกฤษว่า waternut หรือ Chinese water chestnut หรือภาษาจีนเรียกว่า มาไต (ma tai) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Eleocharis dulcis* Trin. และยังมีชื่ออื่นอีก ได้แก่ *E. tuberosa* Schult. หรือ *Scirpus tuberosus* Roxb. อยู่ในตระกูล *Cyperaceae* นอกจากนี้ยังมีเห้วจีนอีกชนิดหนึ่งที่มีลักษณะเป็นเห้วทรงกระเทียม มีชื่อเรียกทางวิทยาศาสตร์ว่า *Eleocharis dulcis* เป็นพืชเขตร้อนในตระกูลหญ้าทรงกระเทียม (sedge family) ถ้ายก

ผลเห้วมีเปลือกสีน้ำตาลออกม่วงเข้ม เมื่อปอกเอาเปลือกออก เนื้อเห้วมีสีขาว เนื้อเห้วสามารถนำมาใช้ในลักษณะทั้งหิว ผ่าครึ่ง สไลด์เป็นแผ่น หั่นเป็นสี่เหลี่ยมลูกเต๋า เนื่องจากมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่กรอบ (crunchy texture) มีรสหวานและมีกลิ่นรสเฉพาะตัว มีลักษณะเนื้อสัมผัสคล้ายเยลลี่ที่มีความเหนียวยืดหยุ่น (springy texture)

เห้วจีนอุดมด้วยสารอาหารที่เป็นประโยชน์มากมาย หัวเห้วจีนประกอบด้วยไขมันน้อยมาก เป็นที่คิดของโปแตสเซียม เห้วจีนยังมีสมบัติทางยา (medical properties) มีความเชื่อว่าเห้วจีนมีสมบัติลดไข้ แก้อ่อนใน ช่วยแก้อาการคลื่นไส้ อาเจียน เพิ่มความอยากอาหารในเด็ก เห้วจีนมีสมบัติในการแก้พิษ แก้ไอ และช่วยแก้อาการของโรคหัด (Anonymous, 2010) นอกจากนี้เห้วจีนยังมีสาร Puchin ที่ช่วยต่อต้านแบคทีเรียได้ดี แก้กระหายน้ำ ช่วยย่อยอาหาร ลดอาการท้องผูก แก้อาการพิษเนื่องจากคัมสุรา (ดวงจันทร์, 2546)

2.1.2 แป้ง (ศิริรจนา, 2011)

แป้งเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญ ในพืชมักพบอยู่ในส่วนของราก เมล็ด ต้น และผลบางชนิด ซึ่งอยู่ในรูปเม็ดแป้งขนาดเล็กตั้งแต่ 1-100 ไมครอน เม็ดแป้งจะมีขนาดรูปร่าง และลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง ในทางเคมีแล้วแป้งมีองค์ประกอบหลัก 2 ชนิด คือ อะมิโลส (amylose) และอะมิโลเพคติน (amylopectin) โดยแป้งแต่ละชนิดจะมีสัดส่วนอะมิโลสและอะมิโลเพคตินแตกต่างกันไป ซึ่งสัดส่วนอะมิโลส และอะมิโลเพคตินมีผลต่อสมบัติด้านต่างๆ ของแป้ง โดยมีผลต่อการพองตัวของเม็ดสตาร์ช ความใสและความหนืดของ paste แป้งที่มีอะมิโลสสูงจะคูดน้ำและมีการพองตัวของเม็ดสตาร์ชช้าลง จึงต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่าปกติเพื่อให้เกิดการพองตัวของเม็ดสตาร์ชอย่างสมบูรณ์ แต่ถ้ามีอะมิโลสในปริมาณที่สูงมาก เมื่อคัมในน้ำเดือดเม็ดสตาร์ชคูดน้ำได้น้อยเกินไปจนไม่สามารถพองตัวจนแตกออก ทำให้อะมิโลสไม่สามารถหลุดออกจากเม็ดสตาร์ชได้ ดังนั้นเมื่อทิ้งไว้ให้เย็นจะไม่เกิดเป็นเจล แต่ถ้าอะมิโลสต่ำเกินไปและมีอะมิโลเพคตินสูงเมื่อเย็นตัวลงจะไม่สามารถเกิดเป็นเจลได้เช่นกันซึ่งสมบัติที่สำคัญของแป้งมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 สมบัติทางเคมีกายภาพของแป้ง

2.1.3.1 การเกิดเจลาตินในเซชัน (gelatinization)

เมื่อนำแป้งใส่น้ำเย็น เม็ดแป้งดูดซับน้ำได้ในปริมาณจำกัดปริมาณหนึ่ง แต่จะยังไม่พองตัวหรือพองตัวได้จำกัดมากและสังเกตได้ยาก ทั้งนี้เนื่องจาก โมเลกุลอะมิโลสและอะมิโลเพคตินในส่วนที่เป็น *crystallite* จับตัวกันอย่างหนาแน่นแข็งแรงจึงไม่ละลายในน้ำเย็น แต่น้ำอาจจะซึมเข้าไปในส่วนของเม็ดแป้งซึ่งไม่เป็นระเบียบและมีกลุ่มไฮดรอกซิลอิสระได้บ้าง แต่เมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิหนึ่งประมาณ 60 - 65 องศาเซลเซียส หรือใช้สารเคมี มีผลทำให้การจับยึดกันระหว่างโมเลกุลของแป้งในส่วน *crystallite* ลดลง เกิดปฏิกิริยาการรับน้ำและการพองตัวของเม็ดแป้งซึ่งไม่สามารถผันกลับได้ (irreversible) และทำให้สารละลายแป้งมีความหนืดและความใสเพิ่มขึ้น กระบวนการนี้เรียกว่า “เจลาตินในเซชัน” ซึ่งอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของแป้ง เนื่องจากแป้งแต่ละชนิดมีโครงสร้างส่วน *crystallite* ที่แตกต่างกัน

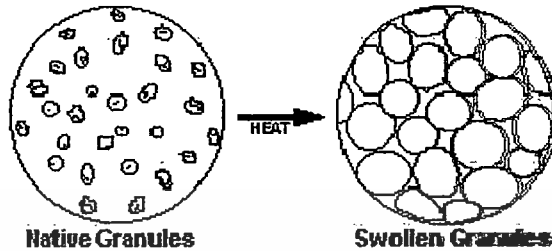
2.1.3.2 การคืนตัวของแป้งสุก (retrogradation)

การคืนตัวของแป้งสุกเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อนำแป้งสุกซึ่งร้อนมีอุณหภูมิลดต่ำลง ขณะที่อุณหภูมิลดลง โมเลกุลอิสระของอะมิโลสซึ่งอยู่ใกล้กันจะเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันและจับตัวกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ทำให้เกิดสภาพการจัดเรียงตัวของโมเลกุลขึ้นใหม่ โดยเปลี่ยนจากลักษณะการกระจายตัวของโมเลกุลมาเป็นส่วนที่เป็น *crystallite* ถ้ามีแป้งสุกมีความเข้มข้นต่ำ การจัดเรียงตัวของโมเลกุลเหล่านี้จะทำให้เกิดลักษณะตะกอนขุ่นขาว แต่ถ้านำแป้งสุกที่มีความเข้มข้นสูง จำนวนโมเลกุลที่มาจัดเรียงตัวกันใหม่มีมากและระหว่างเคลื่อนที่เข้ามาจับกันจะสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น และในที่สุดเกิดลักษณะเจลที่อ่อนนุ่ม แต่ถ้าเกิดการคืนตัวมาก จนกระทั่งน้ำที่เคยจับตัวกับอะมิโลสและอะมิโลเพคตินแยกตัวออกปรากฏให้เห็นเป็นหยดน้ำลักษณะเช่นนี้ เรียกว่า “เกิดการแยกตัว” (syneresis)

2.1.3.3 การพองตัวและการละลาย (swelling and solubility)

แป้งไม่ละลายในน้ำเย็นแต่จะดูดซับน้ำไว้ได้ประมาณ 25 - 30% และพองตัวน้อยมากจนไม่สังเกตเห็นได้ ทั้งนี้เนื่องจากการจัดเรียงตัวกันระหว่างโมเลกุลของอะมิโลสและอะมิโลเพคติน (intermixed) ภายในเม็ดแป้ง ในส่วน *crystallite* โมเลกุลอยู่กันอย่างหนาแน่นและเป็นระเบียบ ช่วยป้องกันการกระจายตัวและทำให้ไม่ละลายในน้ำเย็น ส่วนของ *amorphous* ซึ่งเป็นส่วนที่เกาะเกี่ยวกันอย่างหลวมๆ ไม่เป็นระเบียบและมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระมาก สามารถเกิดปฏิกิริยาการรับน้ำ (hydration) ได้บ้างแม้ในน้ำเย็น เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 60 องศาเซลเซียส ขึ้นไป ส่วน *amorphous* จับกับน้ำได้มากขึ้นและการจับกันของโมเลกุลในส่วน *crystallite* เริ่มคลายความหนาแน่นลง โมเลกุลส่วนที่เริ่มคลายตัวออกจากกันจะจับกับน้ำทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นดังภาพที่ 2.1 โมเลกุลในส่วน *crystallite* ที่เหลืออยู่เกิดสภาพคล้ายร่างแหเรียกว่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

micelle network ซึ่งยึดเหนี่ยวกันไว้ทำให้เม็ดแป้งยังคงสภาพอยู่ได้ แต่อาจมีโมเลกุลของอะมิโลส และอะมิโลเพคตินซึ่งมีขนาดเล็กและอิสระกระจายตัวออกจากเม็ดแป้ง เมื่อทำให้อุณหภูมิน้ำแป้งสูงขึ้นไปอีก ส่วน crystallite ที่เหลืออยู่ก็จะคลายตัวออกทำให้เม็ดแป้งพองมากขึ้นและโมเลกุลแป้งอยู่ในสภาพสารถลายมากขึ้น



ภาพที่ 2.1 การพองตัวของเม็ดแป้ง

ที่มา : เทคโนโลยีของคาร์โบไฮเดรต, ศิริรจนา กันภัย, 2011

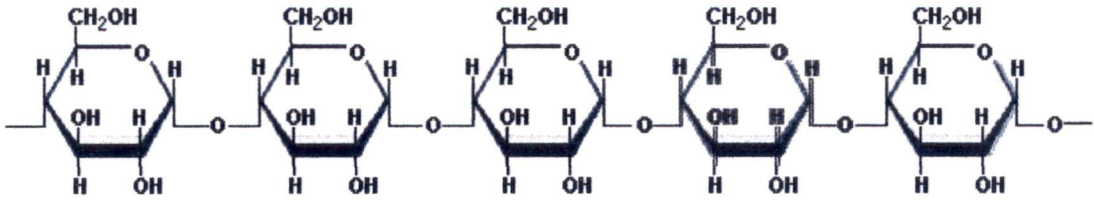
2.1.3.4 ความหนืด (viscosity)

ความหนืดเป็นสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญและเป็นประโยชน์มากที่สุดของแป้ง เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความหนืด ได้แก่ ชนิดของแป้ง ขนาดอนุภาค สัดส่วนของอะมิโลสต่ออะมิโลเพคติน และการตัดแปรรูปแป้งด้วยวิธีต่าง ๆ (กล้าณรงค์, 2550) แต่ที่มีผลมากที่สุดได้แก่ ชนิดของแป้ง เมื่อเม็ดแป้งซึ่งแขวนลอยในน้ำได้รับความร้อนจนถึงระดับหนึ่งจะพองตัวได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นเร็วมาก อุณหภูมิที่ความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วนี้เรียกว่า pasting temperature ความหนืดจะเพิ่มขึ้นจนถึงความหนืดสูงสุด (peak viscosity) จากนั้นอาจลดลงหรือคงที่ขึ้นกับชนิดของแป้ง การที่แป้งมีความหนืดสูงสุดเนื่องจากเมื่อเม็ดแป้งมีการพองตัวมากขึ้น และมีชิ้นส่วนของเม็ดแป้งหรือโมเลกุลของอะมิโลสและอะมิโลเพคตินบางส่วนที่แตกสลายออกมาอยู่ในสารถลาย เมื่อส่วนที่แตกสลายและละลายออกมามีมากกว่าการพองตัวที่เพิ่มขึ้น ความหนืดจะเริ่มลดลง

2.1.4 สตาร์ช (starch)

สตาร์ช (starch) คือ พอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ซึ่งเป็นแหล่งสะสมอาหารของพืช พบในเมล็ดธัญพืช เช่น ข้าว ข้าวสาลี ข้าวโพด และพืชหัว เช่น มันฝรั่งมันเทศ มันสำปะหลัง โมเลกุลของสตาร์ช ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคส (ภาพที่ 2.2) ซึ่งเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (glycosidic bond) ซึ่งมีโครงสร้างของโมเลกุล 2 รูปแบบคือ อะมิโลส (amylose) และอะมิโลเพคติน (amylopectin) โดยรวมตัวกันอยู่เป็นเม็ดแป้ง

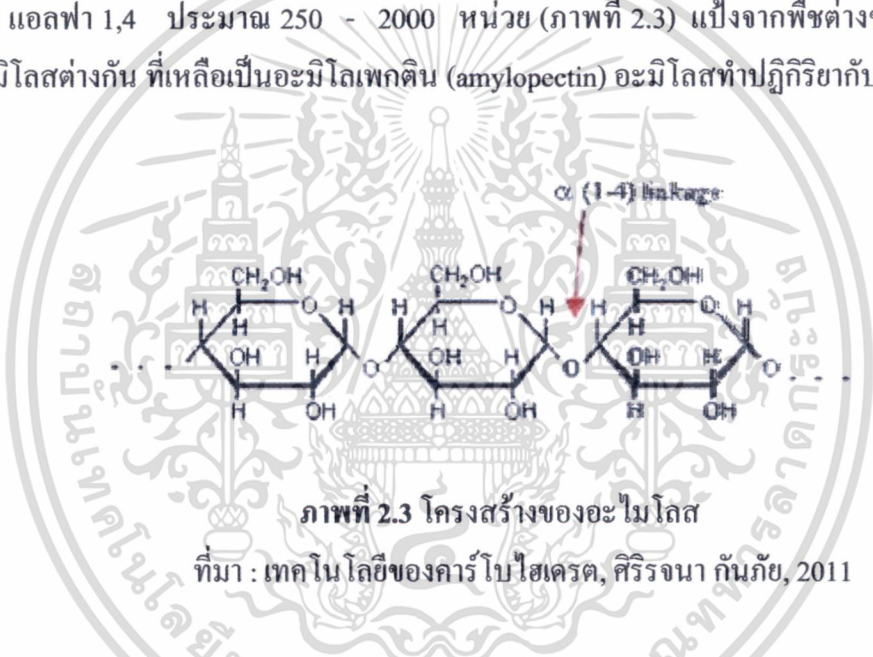
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคส

ที่มา : เทคโนโลยีของคาร์โบไฮเดรต, ศิริรจนา กันภัย, 2011

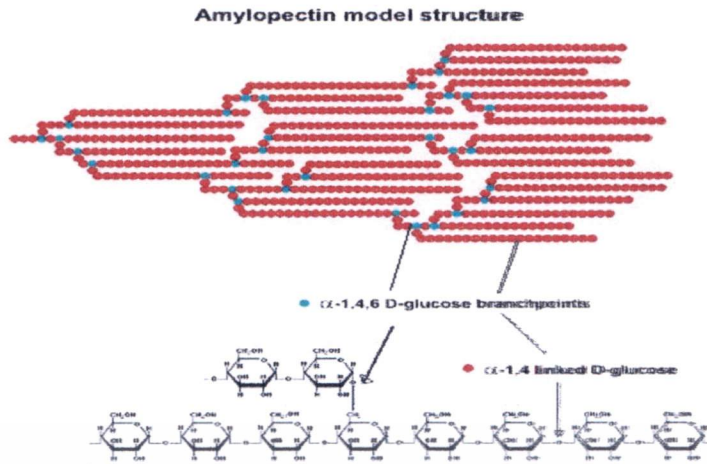
อะมิโลส เป็นส่วนประกอบหลักของสตาร์ช โมเลกุลของอะมิโลส เป็นโพลิเมอร์สายตรง ของน้ำตาลดีกลูโคส (glucose) ซึ่งเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) ชนิด แอลฟา 1,4 ประมาณ 250 - 2000 หน่วย (ภาพที่ 2.3) แบ่งจากพืชต่างชนิดกันมีปริมาณอะมิโลสต่างกัน ที่เหลือเป็นอะมิโลเพกติน (amylopectin) อะมิโลสทำปฏิกิริยากับไอโอดีนให้สีน้ำเงิน



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของอะมิโลส

ที่มา : เทคโนโลยีของคาร์โบไฮเดรต, ศิริรจนา กันภัย, 2011

อะมิโลเพกติน (amylopectin) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของสตาร์ช (starch) เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส (glucose) ที่จัดเรียงตัวเป็นโซ่ที่มีกิ่งก้านสาขา โดยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) ที่กิ่งก้านสาขาคือพันธะแอลฟา -1, 6 (ภาพที่ 2.4)



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างอะไมโลเพกติน

ที่มา : เทคโนโลยีของคาร์โบไฮเดรต, ศิริรักษา กันภัย, 2011

2.1.4 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของแป้ง

2.1.4.1 ศึกษาขนาดและลักษณะของเม็ดแป้ง (morphology of starch granule) ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM)

แป้งที่พบในธรรมชาติจะอยู่ในรูปของเม็ดแป้งที่มีรูปร่างและขนาดแตกต่างกันไปตามชนิดของแป้ง ลักษณะของเม็ดแป้งสามารถตรวจสอบได้โดยการส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอนซึ่งเป็นกล้องที่สามารถตรวจสอบคุณลักษณะต่าง ๆ ของเม็ดแป้ง ได้แก่ รูปร่าง การกระจายตัวของขนาดของเม็ดแป้ง รวมทั้งตรวจสอบความเสียหายของเม็ดแป้งที่สภาวะต่าง ๆ และการปนเปื้อนของแป้งอีกชนิดหนึ่งได้ นอกจากนี้ยังสามารถศึกษาโครงสร้างพื้นผิวอย่างละเอียดของเม็ดแป้ง ซึ่งมีกำลังขยายมากกว่ากล้องจุลทรรศน์หลายร้อยเท่า การวัดขนาดของเม็ดแป้งสามารถทำได้โดยตรงจากกล้องจุลทรรศน์ โดยใช้ haemocytometer แล้วอ่านค่าด้วยสายตา ความถูกต้องของข้อมูลขนาดเม็ดแป้งที่วัดจากกล้องจุลทรรศน์จะขึ้นอยู่กับขนาดและจำนวนอนุภาคที่วัด โดยใช้อิเล็กตรอนในการส่องผ่านตัวอย่าง รูปที่ได้จะมีลักษณะเป็นสามมิติ ซึ่งการเตรียมตัวอย่างจะต้องมีการเคลือบด้วยทองเป็นชั้นบาง ๆ โดยจะต้องเตรียมตัวอย่างอย่างละเอียด

2.1.4.2 ศึกษาลักษณะของผลึกโมเลกุลแป้งด้วยเครื่อง X-ray diffraction (XRD)

เป็นวิธีที่ใช้ศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบโครงสร้างของผลึก (crystal Structure) หรือโมเลกุลของสารด้วยการใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction) ที่ตกกระทบหน้าผลึกของสารตัวอย่างที่มุมต่าง ๆ กัน ทำให้รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของวัตถุที่เป็นผลึกจะมีลักษณะแตกต่างกันขึ้นกับการจัดเรียงตัวของอะตอมภายในผลึก ซึ่งจะถูกวัดกำลังความเข้มของพิก (power) ด้วยการสแกน (scan) ของตัวรับสัญญาณ (detector) สัญญาณที่วัดได้จะถูกถ่ายทอดออกมาเป็นสเปกตรัม แล้วถูกประมวลผลออกมาทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยมีคอมพิวเตอร์เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยประมวลผลและควบคุมการทำงานของเครื่องเอ็กซ์เรย์ (Barbara L. D. and Christine M. C., 2011)

2.1.4.3 วัดขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคแข็ง (particle size distribution) ด้วยเครื่อง Laser Particle Size Distribution Analyzer

เทคนิคนี้อาศัยหลักการของการเลี้ยวเบนของแสง เมื่อมีอนุภาคที่กระจายตัวอยู่ในตัวกลางผ่านลำแสงชั่วระยะเวลาหนึ่ง ความเข้มของแสงที่เกิดการเลี้ยวเบนมีความสัมพันธ์กับปริมาณของอนุภาคในแต่ละขนาด แต่มุมเลี้ยวเบนกลับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของอนุภาค การใช้ตัวกรองแสง เลนส์ และตัวตรวจจับทางแสงร่วมกับคอมพิวเตอร์ ช่วยให้สามารถประมวลผลจากข้อมูลการเลี้ยวเบนเป็นการกระจายตัวของขนาดอนุภาคได้ เป็นค่าของความละเอียดที่ใช้เลเซอร์เป็นตัวนับและคำนวณขนาดของอนุภาค จึงมีความแม่นยำสูงกว่าเครื่อง Image Analyzer ซึ่งเหมาะสำหรับตัวอย่างที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก (ฮารี, 2545)

2.1.4.4 วัดกำลังการพองตัว (swelling power) และความสามารถในการละลายการละลาย (solubility)

แป้งดิบจะไม่ละลายในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาติไนซ์ เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจน ซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลที่อยู่ใกล้ ๆ กัน เชื่อมต่อกันอยู่ แต่เมื่ออุณหภูมิของสารผสมน้ำแป้งเพิ่มสูงกว่าช่วงอุณหภูมิในการเจลาติไนซ์ พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ เม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัว ทำให้มีการละลาย ความหนืด และความใสเพิ่มขึ้น ปัจจัยที่มีผลต่อแรงพองตัวและความสามารถในการละลาย คือ ชนิดของแป้ง ความแข็งแรง และลักษณะของร่างแหภายในเม็ดสตาร์ช สิ่งเจือปนภายในเม็ดสตาร์ชที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต ปริมาณน้ำในสารละลายแป้ง และการคัดแปรทางเคมี รูปแบบในการพองตัวและการละลายของเม็ดสตาร์ชแต่ละชนิดจะมีรูปแบบที่แตกต่างกันไป เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายน้ำแป้ง เม็ดสตาร์ชจะเกิดการพองตัว และบางส่วนของแป้งจะละลายออกมา กำลังการพองตัวของแป้งจะแสดงเป็นปริมาณหรือน้ำหนักของเม็ดสตาร์ชที่เพิ่มขึ้น

2.1.4.5 ค่าความคงตัวของการละลายน้ำแข็ง (syneresis)

จากการเปลี่ยนแปลงลักษณะการกระจายตัวของ โมเลกุลของแป้งมาเป็นส่วนที่เป็น crystallite ถ้าน้ำแป้งสุกมีความเข้มข้นต่ำ การจัดเรียงตัวของโมเลกุลเหล่านี้จะทำให้เกิดลักษณะตะกอนขุ่นขาว แต่ถ้าน้ำแป้งสุกมีความเข้มข้นสูง จำนวน โมเลกุลที่มวจัดเรียงตัวกันใหม่มีมาก และในระหว่างเคลื่อนที่เข้ามาจับกันจะสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น และในที่สุดเกิดลักษณะเจลที่อ่อนนุ่ม แต่ถ้าเกิดการคืนตัวมาก จนกระทั่งน้ำที่เคยจับตัวกับอะมิโลสและอะมิโลเพคตินแยกตัวออกปรากฏให้เห็นเป็นลักษณะหยดน้ำ จะเรียกว่า เกิดการแยกตัวหรือความคงตัวของ การละลายน้ำแข็ง (syneresis)

2.1.4.6 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความข้นหนืดในระหว่างการทำความร้อนจนถึงการทำให้เย็น ด้วยเครื่อง Brabender Amylograph

เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการทำให้อุ่นจนถึงขั้นตอนการทำให้เย็นลงด้วยเครื่อง *Brabender Visco- Amylograph* โดยเตรียมตัวอย่างเป็นน้ำแป้งเข้มข้น 10% (น้ำหนักแห้ง) อ่านค่าอุณหภูมิเริ่มหนืด อุณหภูมิที่ความหนืดสูงสุด ความหนืดสูงสุด ความหนืดที่ 95 องศาเซลเซียสเริ่มต้น ความหนืดที่ 95 องศาเซลเซียสสุดท้าย ความหนืดที่ 50 องศาเซลเซียสเริ่มต้น และความหนืดที่ 50 องศาเซลเซียสสุดท้าย จากนั้นคำนวณค่า breakdown (ความหนืดสูงสุด – ความหนืดที่ 95 องศาเซลเซียสสุดท้าย) , consistency (ความหนืดที่ 50 องศาเซลเซียสเริ่มต้น – ความหนืดที่ 95 องศาเซลเซียสสุดท้าย) และ setback (ความหนืดที่ 50 องศาเซลเซียสเริ่มต้น - ความหนืดสูงสุด)

2.1.4.7 ศึกษาสมบัติทางความร้อนของแป้งโดยใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC)

DSC เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพลังงาน และศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพหรือทางเคมีของวัสดุ โดยอาศัยหลักการที่ว่า ทั้งตัวอย่างและสารอ้างอิงจะต้องคงอยู่ที่อุณหภูมิเดียวกันในกระบวนการให้ความร้อนหรือทำให้เย็นลงที่อัตราที่กำหนดไว้ คือ มีการให้ความร้อนเริ่มต้นที่ 25 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิที่คาดว่าเลขช่วงในการเกิดเจลาติไนเซชัน คือ 90 องศาเซลเซียส ที่อัตรา 10 องศาเซลเซียส ต่อนาที โดยมีการเตรียมตัวอย่างสารผสมระหว่างแป้งกับน้ำ และบ่มสารละลายไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง ปริมาณความร้อนจะไหลเข้าสู่ระบบไม่ว่าที่ตัวอย่างหรือสารอ้างอิงเพื่อที่จะพยายามรักษาความแตกต่างของอุณหภูมิตัวอย่างและสารอ้างอิงให้เป็นศูนย์ สัญญาณที่เป็นสัดส่วนกับความแตกต่างของกำลัง (power) ซึ่งป้อนให้กับตัวให้ความร้อน (heater) ทั้งสองจะบันทึกเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิเพื่อที่อุณหภูมิและปริมาณความร้อนที่เกี่ยวข้องสามารถทำการวัดได้ ซึ่งค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลาติไนซ์ ได้แก่ อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลาติไนซ์ (onset temperature, T_o , องศาเซลเซียส), อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลาติไนซ์ (peak temperature, T_p , องศาเซลเซียส), อุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลาติไนซ์ (conclusion temperature, T_c , องศาเซลเซียส), พลังงานที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเกิดเจลาติไนซ์ (enthalpy, ΔH , จูลต่อกรัม) ในการวิเคราะห์หาเอนทาลปีของกระบวนการจำเป็นต้องหาพื้นที่ใต้กราฟ DSC และการหาเส้น baseline ที่ถูกต้องแม่นยำสำหรับการหาพื้นที่ใต้กราฟมีความสำคัญมาก เนื่องจากเส้น baseline มักมีความแตกต่างกันทั้งก่อนและหลังการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการที่ศึกษา ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะนำไปใช้หาอุณหภูมิและพลังงานความร้อนของการเปลี่ยนแปลง (enthalpy) ได้

2.1.4.8 ผลกระทบของอายุและสภาวะการเพาะปลูกของพืชต่อสมบัติของแป้ง

ความสมบูรณ์ของอาหารในดินและสภาพการเพาะปลูก เช่น ช่วงเวลาการเพาะปลูก ปริมาณน้ำฝน มีผลต่อสมบัติของแป้ง เช่น ปริมาณอะมิโลส ปริมาณอะมิโลเพกทิน และสารตัวกลาง ผลกระทบของอายุของพืช และสภาวะการเพาะปลูกยังมียังมีผลต่อสมบัติอื่น ๆ ของแป้งด้วย เช่น ขนาดของเม็ดแป้งและสมบัติทางฟิสิกส์ ซึ่งในแป้งมันสำปะหลังได้พบการเปลี่ยนแปลงสมบัติเหล่านี้ ได้แก่ ผลกระทบจากพันธุ์ อายุการเก็บเกี่ยว และสภาพแวดล้อมในการเพาะปลูกที่แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของขนาดของเม็ดแป้งในระดับอายุต่าง ๆ กัน และการเปลี่ยนแปลงของการพองตัวและความชื้นหนืด (กล้านรงค์และเกื้อกูล, 2550)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับสมบัติของฟลาวัวร์และสตาร์ชเห้วจิน

สตาร์ชเป็นองค์ประกอบทั้งในพืชหัว เช่น มันฝรั่ง มันเทศ มันสำปะหลัง กล้วย กล้วยน้ำว้า ข้าว ข้าวโพด นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าเห้วจินประกอบด้วยสตาร์ชรวมทั้ง โอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharides) และ โมโนแซคคาไรด์ (monosaccharides) มากกว่า 86% ของน้ำหนักแห้ง สตาร์ชจากแหล่งที่ต่างกันจะให้สมบัติที่ต่างกันทั้งด้านเคมี (chemical properties) เคมีกายภาพ (physicochemical properties) และอื่น ๆ ซึ่งจะส่งผลทำให้การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารแตกต่างกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาถึงสมบัติต่าง ๆ ของสตาร์ชจากแหล่งต่าง ๆ สำหรับสตาร์ชจากเห้วจิน งานวิจัยที่ศึกษาสมบัติของสตาร์ชจากเห้วจินยังมีปริมาณที่ค่อนข้างจำกัด จากการทบทวนจากวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง พบว่ามีงานวิจัยที่รายงานการศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของฟลาวัวร์และสตาร์ชจากเห้วจินดังนี้

พาณิชย์ (2549) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางเคมีกายภาพด้านขนาดและลักษณะของเม็ดแป้ง วัดค่าความเป็นกรดค่า (pH) ค่าสี ค่าดัชนีการอุ้มน้ำ และค่าดัชนีการละลายน้ำ สมบัติทางความร้อน และศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางด้านความหนืดด้วยเครื่อง Brabender amylograph ของสตาร์ชและกากสตาร์ชจากเห้วจิน (*Eleocharis dulcis* Trin.) จากผลการทดลอง พบว่า สตาร์ชจากเห้วจินมีปริมาณอะมิโลสค่อนข้างสูง (41.0%) ส่วนกากสตาร์ชมีปริมาณใยอาหารสูง (40.11%) เม็ดแป้งมีลักษณะกลมคล้ายไข่ที่มีรอยตัด โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5-17 ไมครอน โดยกากสตาร์ชมีค่า pH ค่าสีเหลือง (b*) สูงกว่าสตาร์ช ส่วนสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชและกากสตาร์ชไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ยกเว้นค่าพลังงานในการเกิดเจลลาตินไนซ์เซชันของสตาร์ชสูงกว่ากากสตาร์ช สำหรับค่าเปลี่ยนแปลงความหนืด พบว่ากากสตาร์ชให้ความหนืดสูงกว่าสตาร์ช แต่ใช้เวลาในการถึงจุดที่มีความหนืดสูงสุดมากกว่า โดยทั้งสตาร์ชและกากสตาร์ชมีความคงตัวของความหนืดเมื่อทำให้เย็นค่อนข้างสูง และปริมาณผลผลิตของสตาร์ช (44.70% โดยน้ำหนักแห้ง) สูงกว่ากากสตาร์ช (14.39% โดยน้ำหนักแห้ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่ผ่านการตรวจสอบและแก้ไขเรียบร้อยแล้ว โดยเอกสารฉบับนี้เป็นการนำข้อมูลไปใช้

Xu และคณะ (1986) พบว่าสตาร์ชจากแห้วจีน (*Eleocharis dulcis*) มีรูปแบบผลึกโมเลกุลแป้งชนิด A-Type ขนาดอนุภาคแป้งเฉลี่ย 12 ± 5 ไมครอน อุณหภูมิการสุกของแป้งมีช่วงที่กว้าง (59.0 - 82.8 องศาเซลเซียส)

Lan และคณะ (2008) ได้สกัดสตาร์ชจากแห้วจีน (*Eleocharis dulcis*) แล้วศึกษาองค์ประกอบทางเคมี รูปพรรณสัณฐานของเมล็ดแป้ง (morphological properties) สมบัติทางเคมี (chemical properties) สมบัติทางเคมีกายภาพ (physicochemical properties) สมบัติทางความร้อน (thermal properties) ของสตาร์ช และสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัส (textural properties) ของเจลสตาร์ช พบว่า สตาร์ชจากแห้วจีนมีปริมาณอะมิโลส (amylose content) 32.1% เม็ดแป้งของสตาร์ชจากแห้วจีนมีลักษณะกลมหรือวงรี สตาร์ชจากแห้วจีนมีลักษณะการจัดเรียงตัวของของโครงสร้างผลึกโมเลกุลแป้ง (crystal pattern) เป็นลักษณะ A-type สตาร์ชจากแห้วจีนมีค่าการพองตัว (swelling power) และความชุ่มของเจลที่เย็นตัวระดับปานกลาง และค่าความคงตัวของ การละลายน้ำแข็ง (freeze thaw stability) ระดับสูงเมื่อเทียบกับสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวโพด สำหรับผลของค่าการเปลี่ยนแปลงความหนืดของเม็ดแป้งที่วัดจากเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) พบว่า มีอุณหภูมิการเกิดเจลของแป้ง (pasting temperature) 68.7 องศาเซลเซียส ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) 7957 มิลลิปาสกาลต่อวินาที ค่าการลดลงของความหนืดเมื่อถูกกวน (breakdown) 4169 มิลลิปาสกาลต่อวินาที ค่าการคืนตัว (setback viscosity) 1028 มิลลิปาสกาลต่อวินาที นอกจากนี้สมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากแห้วจีนแสดงค่าเอนทัลปี (ΔH) ค่าที่ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวโพด สำหรับทางด้านเนื้อสัมผัสของเจลสตาร์ช พบว่า ค่าความแข็ง (hardness) และค่าความยืดหยุ่น (gumminess) จะลดลงเมื่อความเข้มข้นของเจลสตาร์ชเพิ่มขึ้นจาก 6% ถึง 16%

สมบัติของสตาร์ชขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น สายพันธุ์พืช ระยะเวลาเจริญเติบโต และปัจจัยสิ่งแวดล้อม Huang และคณะ (2006) และ Noda และคณะ (1995) รายงานว่า ขนาดอนุภาคของเม็ดแป้งและปริมาณฟอสฟอรัสของสตาร์ชที่ได้จากพืชรากและหัวมีปริมาณเพิ่มขึ้นแต่ปริมาณอะมิโลสไม่มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้ยังพบว่า สตาร์ชจากพืชรากและหัวที่มีระยะเวลาการเจริญเติบโตที่สั้นกว่าจะมีอุณหภูมิแป้งสุก (gelatinization temperature) อุณหภูมิเริ่มเกิดความข้นหนืด (pasting temperature) สูงกว่า แต่มีความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ต่ำกว่า

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบ

แห้วจีนสด (*Eleocharis dulcis* Trin.) จากจังหวัดสุพรรณบุรี ที่อายุเก็บเกี่ยว 3 ระยะ ได้แก่ ระยะอ่อน ระยะกลาง และระยะแก่ ที่อายุการเก็บเกี่ยว 7, 9 และ 12 เดือน ตามลำดับ และจากนาที่เพาะปลูกแห้ว 3 นา ได้แก่ นา 1 นา 2 และนา 3 ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 – 3 เซนติเมตร ลักษณะเปลือกเป็นสีดำมันวาว ซึ่งหัวแห้วจีนมีความสมบูรณ์ ไม่มีตำหนิ เช่น รูแมลงเจาะหรือมีรอยแผลน้อยที่สุด

3.1.1 เครื่องมือ

3.1.1.1 อุปกรณ์สำหรับเตรียมแป้งฟลาวัวร์และสตาร์ช

3.1.1.1.1 ตู้บดมร่อน (Mommert, เยอรมัน)

3.1.1.1.2 เครื่องปั่นผสม (Moulinex, ฝรั่งเศส)

3.1.1.1.3 เครื่องสไลด์ (Philips)

3.1.1.1.4 เครื่องบดละเอียด (Retsch, ZM 1000, เยอรมัน)

3.1.1.1.5 เครื่องบดหยาบ (Kinematica AG, สวิตเซอร์แลนด์)

3.1.1.1.6 เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง และ 4 ตำแหน่ง (OHAUS, สหรัฐอเมริกา)

3.1.1.1.7 ถังขนาดใหญ่

3.1.1.1.8 ผ้าขาวบาง

3.1.1.2 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ทางเคมีกายภาพ

3.1.1.2.1 เครื่องหาปริมาณโปรตีน

3.1.1.2.2 เครื่องหาปริมาณไขมัน

3.1.1.2.3 เครื่องหาปริมาณเส้นใย

3.1.1.2.4 กล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน (JSM – 6400, JEOL, ญี่ปุ่น)

3.1.1.2.5 เครื่อง X – ray diffraction (D8 Advance, Bruker AG, เยอรมัน)

3.1.1.2.6 เครื่องวัด pH

3.1.1.2.7 เครื่องวัดสี (Minolta Chroma-meter CR-400 Konica, ญี่ปุ่น)

3.1.1.2.8 เครื่อง Laser Particle Size Distribution Analyzer (Masterizer S.,

Malvern, อังกฤษ)

3.1.1.2.9 เครื่อง Brabender Amylograph (Viscograph-E, เยอรมัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

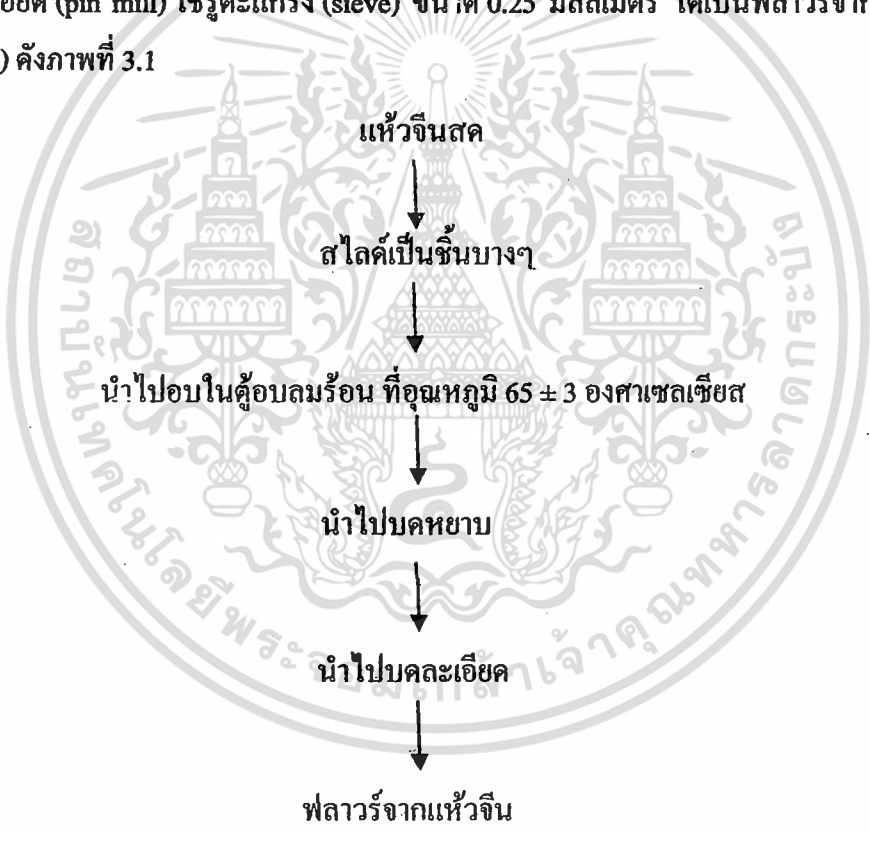
3.1.2.10 เครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC1, METTLER TOLEDO, สวิตเซอร์แลนด์)

3.1.2.11 เครื่องแก้วต่าง ๆ

3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 การเตรียมฟลาวัวร์และสตาร์ชจากแห้วจินสดที่มีอายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน

การเตรียมฟลาวัวร์ใช้กระบวนการโม่แบบแห้ง (dry milling) นำแห้วจินสดมาทำความสะอาด โดยล้างเพื่อกำจัดคราบดินและสิ่งสกปรกต่าง ๆ ปอกเปลือก แยกส่วนที่ไม่ต้องการออก จากนั้นนำมาล้างให้สะอาด แล้วสไลด์เป็นชิ้นบาง ๆ นำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อน (tray dry) ที่อุณหภูมิ 65 ± 3 องศาเซลเซียส แล้วนำไปบดด้วยเครื่องบดหยาบก่อน จากนั้นบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดละเอียด (pin mill) ใช้รูตะแกรง (sieve) ขนาด 0.25 มิลลิเมตร ได้เป็นฟลาวัวร์จากแห้วจินสด (ผาณิต, 2549) ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 กระบวนการผลิตฟลาวัวร์จากแห้วจินสด

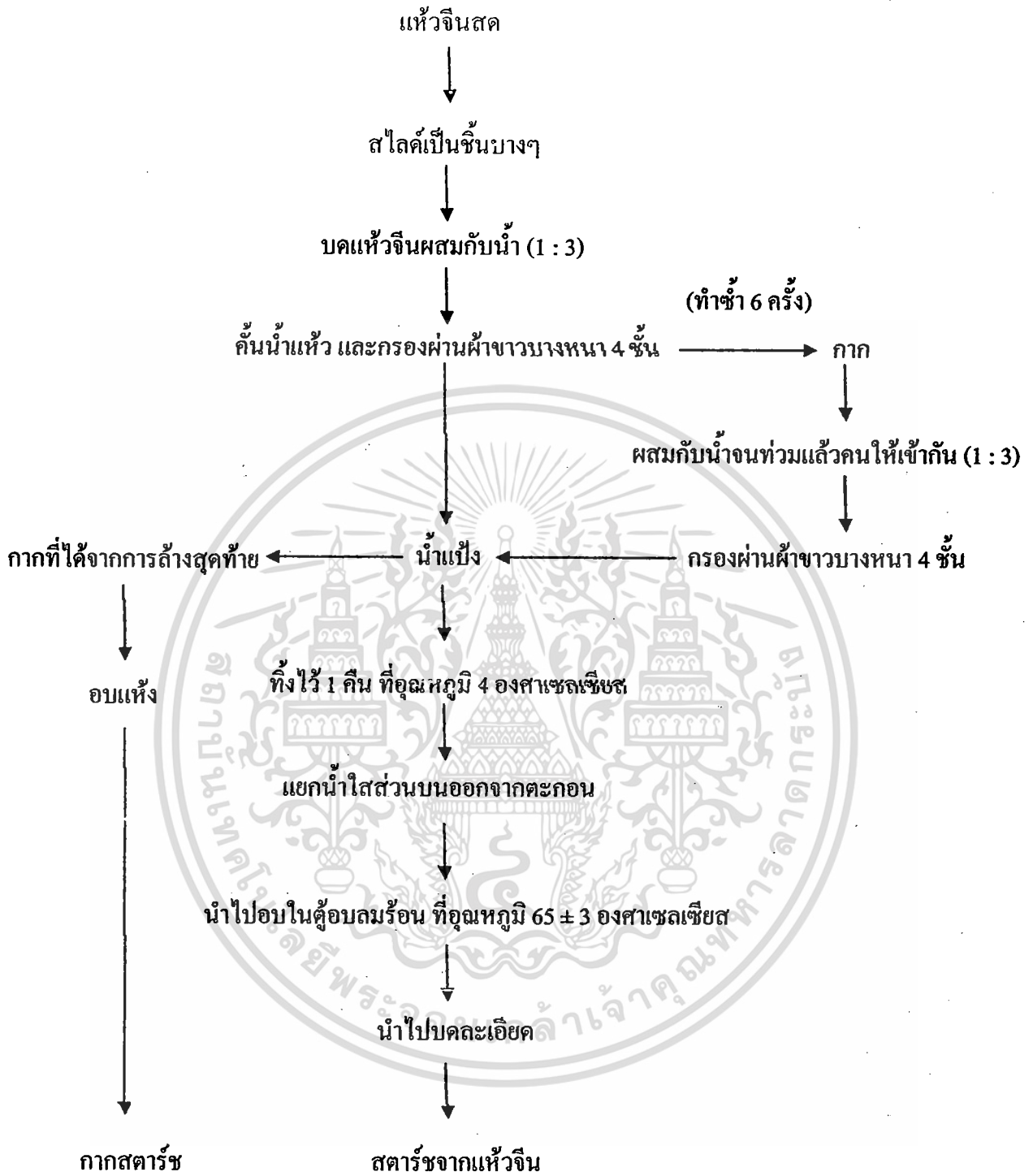
ที่มา : คัดแปลงจาก ผาณิต, 2549

การเตรียมสตาร์ชใช้กระบวนการโม่แบบเปียก (wet milling) โดยนำแห้วจินสดมาทำความสะอาด ปอกเปลือก แล้วสไลด์เป็นชิ้นบาง ๆ จากนั้นมาบดผสมกับน้ำในอัตราส่วน น้ำ : แห้ว = 3 : 1 กรองผ่านผ้าขาวบาง แล้วแยกกากที่เหลือออกไปผสมกับน้ำในอัตราส่วน น้ำ : แห้ว = 3 : 1 กวน
เอกสารนี้เป็นเอกสารในสังกัดของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ หากมีการนำข้อมูลไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้เข้ากัน กรองผ่านผ้าขาวบางอีกครั้ง โดยล้างและกรองผ่านผ้าขาวบางทั้งหมด 6 ครั้ง จากนั้นนำน้ำแป้งที่ได้ไปทิ้งไว้ให้ตกตะกอน แยกน้ำใสส่วนบนออก นำตะกอนของแป้งไปอบแห้งในตู้อบลมร้อน (tray dry) ที่อุณหภูมิ 65 ± 3 องศาเซลเซียส แล้วนำไปบดให้ละเอียด โดยใช้เครื่อง บดละเอียด (pin mill) ใช้ร่อนตะแกรง (sieve) ขนาด 0.25 มิลลิเมตร ได้เป็นสตาร์ชจากแห้วจีน (พาคิน, 2549) ดังภาพที่ 3.2

จากนั้นนำตัวอย่างจากฟลาวัวร์และสตาร์ชจากแห้วจีนที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะอ่อน กลาง และแก่ โดยมีอายุการเก็บเกี่ยว 7, 9 และ 12 เดือน ตามลำดับ ของทั้ง 3 นามาวิเคราะห์สมบัติทางเคมี สมบัติทางเคมีกายภาพ และคำนวณปริมาณผลผลิตที่ได้ต่อไป





ภาพที่ 3.2 กระบวนการผลิตสตาร์ชจากหัวจิ้น

ที่มา : คัดแปลงจาก ผาณิต, 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของฟลาวัวร์และสตาร์ชจากหัวจิ้นที่มีอายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน

3.3.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของฟลาวัวร์จากหัวจิ้นที่มีอายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน

วิเคราะห์สมบัติทางเคมีของฟลาวัวร์จากหัวจิ้น ดังนี้

- ปริมาณความชื้น โดยวิธี AOAC (2000)
- ปริมาณโปรตีน โดยวิธี AOAC (2000)
- ปริมาณไขมัน โดยวิธี AOAC (2000)
- ปริมาณเส้นใย (crude fiber) โดยวิธี AOAC (2000)
- ปริมาณเถ้า โดยวิธี AOAC (2000)
- ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (ไม่รวมใยอาหาร) โดยวิธี AOAC (2000)

3.3.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของสตาร์ชจากหัวจิ้นที่มีอายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน

วิเคราะห์สมบัติทางเคมีของสตาร์ชจากหัวจิ้น ดังนี้

- ปริมาณความชื้น โดยวิธี AOAC (2000)
- ปริมาณโปรตีน โดยวิธี AOAC (2000)
- ปริมาณไขมัน โดยวิธี AOAC (2000)
- ปริมาณเส้นใย (crude fiber) โดยวิธี AOAC (2000)
- ปริมาณเถ้า โดยวิธี AOAC (2000)
- ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (ไม่รวมใยอาหาร) โดยวิธี AOAC (2000)
- ปริมาณแป้ง (% starch) Glucoamylase method โดยวิธี AACC (1990)
- ปริมาณอะมิโลส โดยวิธี Amperometric Titration with potassium iodate

solution (คัดแปลงจาก Takeda and Hizukuri. 1987. และ Gibson, Solah and McCleary. 1997.)

3.4 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของฟลาวัวร์และสตาร์ชจากหัวจิ้นที่มีอายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน

3.4.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของฟลาวัวร์จากหัวจิ้นที่มีอายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน

ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของฟลาวัวร์จากหัวจิ้น ดังนี้

- วัดค่า pH ของแป้ง ตามวิธี มอก. 274 – 2521
- วัดค่าสีของแป้ง โดยเครื่องวัดสี Minolta CR 400
- วัดกำลังการพองตัว (swelling power) และความสามารถในการละลาย (solubility)

(Lan และคณะ, 2008)

- ค่าความคงตัวของการละลายน้ำแข็ง (syneresis) (Lan และคณะ, 2008)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความชื้นหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนและการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จนถึงการทำให้เย็น ด้วยเครื่อง Brabender Amylograph (AACC, 2000)

3.4.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชจากหัวจันทน์ที่มีอายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน

ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชจากหัวจันทน์ ดังนี้

- ศึกษาขนาดและลักษณะของเม็ดแป้ง (morphology of starch granule) ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM)
 - ศึกษาลักษณะของผลึกโมเลกุลแป้ง ด้วยเครื่อง X – ray diffraction (XRD)
 - วัดค่า pH ของแป้ง ตามวิธี มอก. 274 – 2521
 - วัดค่าสีของแป้ง โดยเครื่องวัดสี Minolta CR 400
 - วัดขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคแป้ง (particle size distribution) ด้วยเครื่อง Laser Particle Size Distribution Analyzer
 - วัดกำลังการพองตัว (swelling power) และความสามารถในการละลาย (solubility) (Lan และคณะ, 2008)
 - ค่าความคงตัวของการละลายน้ำแข็ง (syneresis) (Lan และคณะ, 2008)
 - ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความชื้นหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อน
- จนถึงการทำให้เย็น ด้วยเครื่อง Brabender Amylograph (AACC, 2000)
- ศึกษาสมบัติทางความร้อนของแป้ง โดยใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC)

3.5 ศึกษาผลของปัจจัยต่างๆต่อคุณภาพเนื้อสัมผัสของเจลสตาร์ช

3.5.1 การเตรียมตัวอย่างเจล

เตรียมความเข้มข้นของน้ำแป้งจากสตาร์ช ที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยชั่งสตาร์ชลงในขวดแก้วรูปกรวย (flask) คนให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนผสม (mixing) ด้วยความเร็วรอบ 400 rpm จากนั้นนำไปให้ความร้อนในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ซึ่งตั้งไว้ที่ 95°C เป็นเวลา 15 นาที คนด้วยความเร็ววงที่ 400 rpm จากนั้นเทตัวอย่างเจลใส่พิมพ์ เก็บที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้มั่นใจว่าเจลที่ได้มีความหนืดสมบูรณ์ จากนั้นเก็บตัวอย่างเจลที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 ชั่วโมงก่อนนำไปวัดเนื้อสัมผัสของเจล (TPA) และวัดค่าสี

3.5.2 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสตาร์ชต่อเนื้อสัมผัสเจล

เตรียมตัวอย่างสตาร์ชที่ระดับความเข้มข้นของสตาร์ชต่างๆดังนี้ 8, 10, 12 และ 14% (w/v) โดยเตรียมตัวอย่างเจลตามข้อ 3.5.1 จากนั้นนำไปวัดเนื้อสัมผัสของเจล (TPA) และวัดค่าสี

3.5.3 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเจลด้วยวิธี Texture analysis profile (TPA)

นำตัวอย่างเจลที่ได้มาวิเคราะห์เนื้อสัมผัสเจลด้วยเครื่อง Texture Analyzer (TEXT Plus) หัววัดทรงกระบอก (cylinder probe, P/0.5R) โดยจะทำการกดเจล 2 ครั้ง (two-cycle) บันทึกการทดลองออกมาเป็นค่า hardness, springiness, cohesiveness, gumminess และ chewiness

3.5.4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าสีของเจลสตาร์ช

นำตัวอย่างเจลที่ได้มาวัดค่าสีของเจลด้วยเครื่องวัดสี Minolta (CR-400) โดยค่าสีที่อ่านได้คือ L*, a* และ b*

3.6 การคำนวณปริมาณผลผลิตที่ได้ของฟลาวัวร์และสตาร์ชแห้งจืดที่มีอายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน

นำปริมาณของฟลาวัวร์จากแห้งจืดที่ได้จากการผลิตจากแห้งจืดที่มีอายุการเก็บเกี่ยวที่ต่างกัน มาคำนวณหาปริมาณผลผลิตที่ได้ (% yield) จาก

$$\text{ปริมาณผลผลิตฟลาวัวร์ที่ได้ (\% yield)} = \frac{\text{น้ำหนักฟลาวัวร์จากแห้งจืดที่ผลิตได้}}{\text{น้ำหนักแห้งจืดสดปอกเปลือก}} \times 100$$

นำปริมาณของสตาร์ชจากแห้งจืดที่ได้จากการผลิตจากแห้งจืดที่มีอายุการเก็บเกี่ยวที่ต่างกัน มาคำนวณหาปริมาณผลผลิตที่ได้ (% yield) จาก

$$\text{ปริมาณผลผลิตสตาร์ชที่ได้ (\% yield)} = \frac{\text{น้ำหนักสตาร์ชจากแห้งจืดที่ผลิตได้}}{\text{น้ำหนักแห้งจืดสดปอกเปลือก}} \times 100$$

3.7 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ในการทดลองใช้จำนวนซ้ำของการทดลอง 3 ซ้ำ โดยมีการออกแบบการทดลอง และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยวิธี Complete Randomized Design (CRD) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตาม Duncan's New Multiple Range Test โดยทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัย (analysis of variance - ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% วิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS version

บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์ขององค์ประกอบทางเคมีของฟลาวัวร์และสตาร์ชจากหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวัวร์และสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน

องค์ประกอบทางเคมี	อายุการเก็บเกี่ยว (เดือน)					
	7		9		12	
	ฟลาวัวร์	สตาร์ช	ฟลาวัวร์	สตาร์ช	ฟลาวัวร์	สตาร์ช
ปริมาณความชื้น (%)	11.51±0.57 ^a	9.21 ^a ±0.24	8.12±0.03 ^b	8.41 ^b ±0.46	7.58±0.32 ^b	8.41 ^b ±0.46
ปริมาณโปรตีน (%)	7.83±0.27 ^b	0.35 ^b ±0.03	9.27±0.08 ^a	0.35 ^b ±0.08	8.40±0.76 ^{ab}	0.35 ^b ±0.08
ปริมาณไขมัน (%) ^{ns}	0.60±0.02 ^a	0.09±0.02	0.46±0.02 ^b	0.09±0.02	0.68±0.07 ^a	0.09±0.02
ปริมาณเส้นใย (%) ^{ns}	4.60±0.24 ^a	0.21±0.08	3.28±0.05 ^b	0.21±0.03	3.49±0.32 ^b	0.21±0.03
ปริมาณเถ้า (%) ^{ns}	6.43±0.28 ^b	0.34±0.05	6.71±0.08 ^b	0.30±0.06	7.39±0.25 ^a	0.30±0.06
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (%)	69.04±0.39 ^b	89.83 ^b ±0.34	72.17±0.09 ^a	90.62 ^a ±0.50	72.46±1.63 ^a	90.62 ^a ±0.50
ปริมาณสตาร์ช (%)	-	39.38 ^b ±1.86	-	59.23 ^a ±0.60	-	59.23 ^a ±0.60
ปริมาณอะมิโลส (%) ^{ns}	-	21.51±0.02	-	21.53±0.12	-	21.53±0.12

* ลักษณะทางกายภาพของตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกันแสดงค่าตัวเลขที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

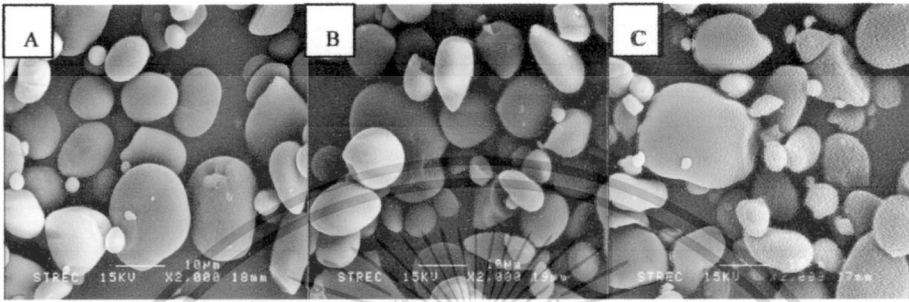
^{ns} ค่าตัวเลขในแนวนอนเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวัวร์และสตาร์ชจากหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน ได้ผลตามตารางที่ 4.1 พบว่า ปริมาณ โปรตีน ปริมาณเถ้า และปริมาณคาร์โบไฮเดรตของฟลาวัวร์จากหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะอ่อนกว่ามีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีแนวโน้มการลดลงเช่นเดียวกับองค์ประกอบของสตาร์ชจากหัวจิ้น แต่จะเห็นได้ว่า โปรตีน และปริมาณเถ้าในฟลาวัวร์จะมีปริมาณที่สูงกว่าในสตาร์ชจากหัวจิ้น ซึ่งเนื่องมาจากในระหว่างกระบวนการผลิต ฟลาวัวร์นั้น ไม่ต้องผ่านการล้างน้ำหลาย ๆ ครั้ง ส่วนปริมาณไขมันในฟลาวัวร์จากหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน พบว่า ปริมาณ ไขมันฟลาวัวร์หัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะกลาง (9 เดือน) มีปริมาณสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และสำหรับปริมาณเส้นใยของฟลาวัวร์หัวจิ้นนั้น พบว่า ที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะอ่อน (7 เดือน) มีปริมาณสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ

และพบว่า ปริมาณ โปรตีนของสตาร์ชจากหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะแก่ (12 เดือน) มีปริมาณสูงกว่าอายุการเก็บเกี่ยวระยะอ่อน (7 เดือน) และระยะกลาง (9 เดือน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Chiang และคณะ (2007) โคจรราชขงว่าระยะเวลาในการเจริญเติบโตที่เพิ่มสูงขึ้นของกระบวบ ทำให้ปริมาณ โปรตีนเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งโดยปกติแล้วโปรตีนจะเกาะอยู่บริเวณพื้นผิวของเมล็ดสตาร์ช ทำให้เกิดประจุบนพื้นผิวของเมล็ดสตาร์ชซึ่งจะมีผลต่อการดูดซึมน้ำ อัตราการพองตัว และอัตราการเกิดเจลลาติโนเซชันของแป้ง โดยพบว่า ปริมาณไขมันในสตาร์ชจากหัวจิ้นทั้ง 3 ระยะ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งปริมาณไขมันในสตาร์ชจากหัวจิ้นนั้นมีอยู่ค่อนข้างน้อย (0.07% - 0.09%) โดยส่วนใหญ่ไขมันในแป้งนั้นจะมีปริมาณที่ต่ำกว่า 1% ซึ่งชนิดของไขมันจะมีผลต่อคุณสมบัติของแป้ง โดยที่ไขมันจะเกาะอยู่ที่ผิวของเมล็ดสตาร์ช และกระจายอยู่ทั่วไปภายในเมล็ดสตาร์ช โดยเชื่อมพันธะกับคาร์โบไฮเดรตอย่างหลวม ๆ ซึ่งหัวเป็นพืชหัวก็มักจะไม่มีไขมันอยู่ในเมล็ดสตาร์ช (กล้าณรงค์และเกื้อกุล, 2550) cHt ปริมาณเถ้า ซึ่งเป็นองค์ประกอบของสารอนินทรีย์จากสตาร์ชหมัวจิมที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน พบว่า ปริมาณสตาร์ชจากหัวจิ้นทั้ง 3 ระยะ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าปริมาณอยู่ต่ำ (0.30% - 0.34%) อาจเนื่องมาจากสารบางตัวเกิดการสูญเสียในระหว่างกระบวนการผลิตสตาร์ชที่ต้องผ่านการล้างน้ำหลาย ๆ ครั้ง และพบว่าปริมาณอะมิโลสและปริมาณเส้นใยของสตาร์ชหัวจิ้นทั้ง 3 ระยะนั้น พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยอะมิโลสนั้นจะมีผลต่อเนื้อสัมผัสที่คงทน ไม่แตกง่าย มีความแข็งแรงและมีความยืดหยุ่นได้ดี และมีความคงทนต่อการถูกทำลาย (ผาณิต, 2549) สำหรับปริมาณสตาร์ชหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน พบว่า ปริมาณสตาร์ชที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะอ่อน (7 เดือน) มีปริมาณน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณของคาร์โบไฮเดรตของสตาร์ชหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะอ่อน (7 เดือน) ที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตค่าที่ต่ำเช่นกัน โดยเห็นได้ว่าอายุการเก็บเกี่ยวของหัวที่อ่อนมากเกินไปจะมีองค์ประกอบของแป้งน้อยกว่าอายุการเก็บเกี่ยวระยะแก่กว่า

4.2 ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของฟลาวาร์และสตาร์ชจากหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน

4.2.1 ผลของการศึกษาขนาดและลักษณะของเม็ดแป้งของสตาร์ชจากหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM)



ภาพที่ 4.1 ขนาดและลักษณะของเม็ดแป้งของสตาร์ชจากหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (A, B และ C หมายถึงที่ระยะเวลา 7, 9 และ 12 เดือนตามลำดับ)

จากการนำสตาร์ชจากหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน ไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน พบว่า สตาร์ชทั้ง 3 ระยะ และ 3 ฟาร์ม (ภาพที่ 4.1) มีเม็ดสตาร์ชค่อนข้างกระจายตัวอย่างเป็นอิสระ มีการเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนบ้างบางส่วน มีลักษณะกลมคล้ายไข่ และมีผิวเรียบ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของพาณิชย์ (2549) และ Lan และคณะ (2008) ซึ่งได้รายงานไว้ว่าเม็ดสตาร์ชมีลักษณะกลมคล้ายไข่ที่มีรอยตัด, เม็ดสตาร์ชมีรูปร่างคล้ายไข่ ผิวเรียบ มีขนาดเล็ดตามลำดับ และเห็นได้ว่าขนาดของเม็ดสตาร์ชหัวจิ้นนั้นมีขนาด 2 ขนาด ซึ่งขนาดใหญ่จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 8 – 16 ไมครอน และขนาดเล็กจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 1 – 2 ไมครอน ในขณะที่พาณิชย์ (2549), Lan และคณะ (2008) และ Yu และคณะ ได้รายงานว่ามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสตาร์ชจากหัวจิ้น ซึ่งอยู่ในช่วง 5 – 17, 8.5 และ 11.7 ไมครอนตามลำดับ และยังพบว่าขนาดของเม็ดสตาร์ชในระยะแก่ (12 เดือน) จะมีขนาดที่ค่อนข้างใหญ่กว่าเม็ดสตาร์ชระยะอ่อน (7 เดือน) และระยะกลาง (9 เดือน) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Wang และคณะ (2008) และ Chiang และคณะ (2007) ได้รายงานไว้ว่า ระยะเวลาในการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้น ทำให้ขนาดของอนุภาคแป้งเพิ่มขึ้น, การเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้น ทำให้ขนาดของเม็ดสตาร์ชของกระจับเพิ่มขึ้น และที่ระยะการเก็บเกี่ยวสุดท้ายนั้น มีขนาดของเม็ดสตาร์ชใหญ่ที่สุด ตามลำดับ

4.2.2 ผลการวัดค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของฟลาวัวร์และสตาร์ชจากหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.2 ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของฟลาวัวร์และสตาร์ชหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน

อายุการเก็บเกี่ยว (เดือน)	ค่าความเป็นกรดต่าง	
	ฟลาวัวร์	สตาร์ช ^{ns}
7	5.72±0.19 ^b	5.28±0.51
9	5.94±0.13 ^b	5.40±0.53
12	6.24±0.06 ^a	4.72±0.16

* อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงค่าตัวเลขที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} ค่าตัวเลขในแนวตั้งเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากการวัดค่า pH ของฟลาวัวร์และสตาร์ชจากหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.2 พบว่า ค่า pH ของฟลาวัวร์หัวจิ้นในช่วงที่ค่อนข้างมีความเป็นกรดเล็กน้อย โดยค่า pH ของฟลาวัวร์หัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวในระยะแก่ (12 เดือน) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับอายุการเก็บเกี่ยวที่อ่อนกว่า ซึ่งอาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบต่าง ๆ ในฟลาวัวร์จากหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน และฟลาวัวร์ที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะระยะแก่ (12 เดือน) อาจมีปริมาณองค์ประกอบบางอย่างที่มีฤทธิ์ค่อนข้างต่างหลงเหลืออยู่สูงกว่าในส่วนของฟลาวัวร์ที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะอ่อนกว่า จึงทำให้ค่า pH ของฟลาวัวร์ระยะแก่มีค่า pH สูงกว่าฟลาวัวร์ระยะอ่อนและระยะกลาง

ส่วนค่า pH ของสตาร์ชจากหัวจิ้น พบว่าค่า pH ของสตาร์ชจากหัวจิ้นทั้ง 3 ระยะ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีปริมาณอยู่ในช่วงที่ค่อนข้างมีความเป็นกรดเล็กน้อย

4.2.3 ผลการวัดค่าสีของฟลาวัวร์และสตาร์ชจากหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.3 ค่าสีของฟลาวัวร์และสตาร์ชหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน

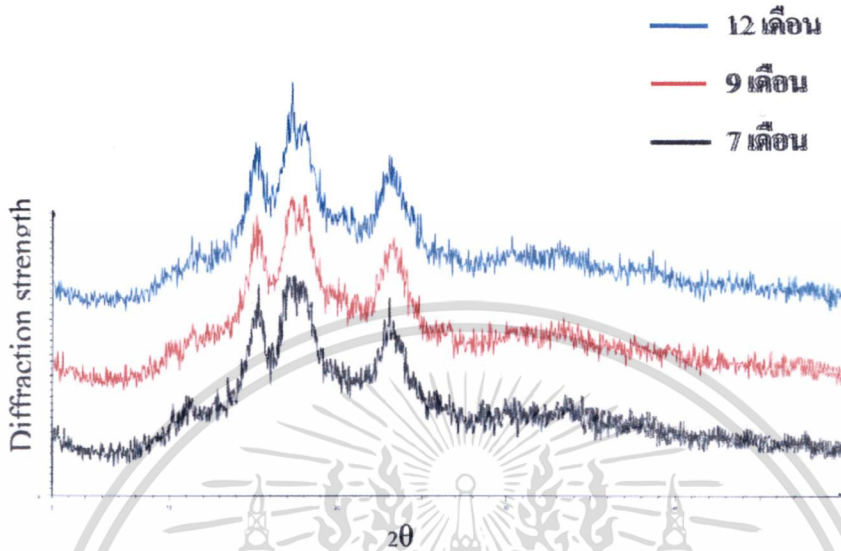
อายุการเก็บเกี่ยว (เดือน)	ค่าสี					
	L*		a*		b*	
	ฟลาวัวร์	สตาร์ช	ฟลาวัวร์	สตาร์ช	ฟลาวัวร์	สตาร์ช
7	94.46±1.39 ^b	98.94±0.13 ^a	6.63±0.31 ^a	-0.23±0.00 ^a	26.61±0.58 ^a	2.46±0.02 ^c
9	85.98±0.13 ^a	97.26±0.59 ^b	1.96±0.11 ^b	-0.23±0.02 ^a	18.68±0.48 ^b	3.24±0.06 ^b
12	86.01±0.29 ^a	97.04±0.34 ^b	1.99±0.01 ^b	-0.50±0.02 ^b	17.45±0.60 ^c	4.19±0.02 ^a

* อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงค่าตัวเลขที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากการวัดค่าสี (ตารางที่ 4.3) พบว่า ค่าความสว่าง (L*) ของฟลาวัวร์หัวจิ้นอายุเก็บเกี่ยว 7 เดือน มีค่าต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งบ่งบอกได้ว่าฟลาวัวร์หัวจิ้นอายุเก็บเกี่ยว 7 เดือน มีลักษณะสีขาวสว่างน้อยที่สุด และมีค่าสีเหลือง (b*) และค่าสีเขียว (a*) สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าฟลาวัวร์หัวจิ้นที่อายุเก็บเกี่ยว 7 เดือน มีลักษณะสีเหลืองและสีเขียวเข้มที่สุด

และพบว่า ค่าความสว่าง (L*) ของสตาร์ชหัวจิ้นอายุเก็บเกี่ยว 7 เดือน มีค่าสูงที่สุด ซึ่งบ่งบอกได้ว่าสตาร์ชหัวจิ้นอายุเก็บเกี่ยว 7 เดือน มีลักษณะสีขาวสว่างกว่าสตาร์ชหัวจิ้นอายุเก็บเกี่ยว 9 เดือน และ 12 เดือน และเมื่อพิจารณาถึงค่าสีเหลือง (b*) พบว่า สตาร์ชหัวจิ้นอายุเก็บเกี่ยว 12 เดือน มีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสารสีเหลืองอาจจะเป็นสารพวกแคโรทีนอยด์ที่จับอยู่กับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ขนาดและลักษณะเม็ดแป้งของสตาร์ช (ภาพที่ 4.1, 4.2 และ 4.3) ที่พบว่าขนาดของเม็ดสตาร์ชอายุเก็บเกี่ยว 12 เดือน จะมีขนาดที่ค่อนข้างใหญ่กว่าเม็ดสตาร์ชอายุเก็บเกี่ยว 7 เดือน และ 9 เดือน จึงทำให้สตาร์ชหัวจิ้นอายุเก็บเกี่ยว 12 เดือน มีลักษณะสีเหลืองสูงที่สุด สำหรับค่าสีเขียว (a*) พบว่า มีค่าเป็นลบ แสดงว่าสตาร์ชหัวจิ้นนั้นมีสารให้สีเขียวที่อ่อนมาก ๆ โดยสตาร์ชหัวจิ้นอายุเก็บเกี่ยว 12 เดือน มีลักษณะสีเขียวอ่อนที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.2.4 ผลการศึกษาลักษณะของผลึก โมเลกุลแข็งของสตาร์ชจากหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน ด้วยเครื่อง X – ray diffraction (XRD)

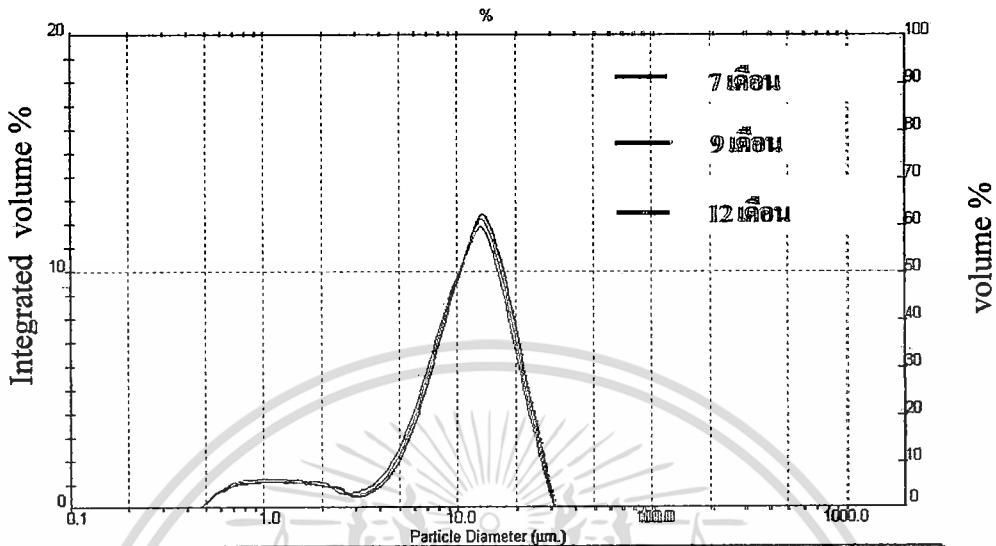


ภาพที่ 4.2 ลักษณะของผลึก โมเลกุลแข็งของสตาร์ชจากหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน

จากการนำสตาร์ชจากหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน ไปศึกษาลักษณะของผลึก โมเลกุลด้วยเครื่อง X – ray diffraction พบว่า สตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวทั้ง 3 ระยะ และ 3 ฟาร์ม มีรูปแบบการหักเหรังสีเอ็กซ์ที่มุม (2θ) ที่ 15.2 องศา, 17.2 องศา, 18.2 องศา และ 23.5 องศา (ภาพที่ 4.2) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วเมล็ดสตาร์ชจะมีโครงสร้างเป็นแบบกึ่งผลึก (semi-crystalline) โดยโครงสร้างผลึกมี 3 แบบ ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของการจัดเรียงตัวของเกลียวคู่ ถ้าเกิดการจัดเรียงตัวหนาแน่นมากจะเกิดเป็นผลึกแบบ A (สตาร์ชจากธัญพืชต่าง ๆ) ถ้าจัดเรียงตัวกันอย่างหลวม ๆ จะเกิดเป็นผลึกแบบ B (สตาร์ชจากพืชหัว) ถ้าเกิดการจัดเรียงตัวทั้งแบบ A และ B รวมกัน จัดเป็นผลึกแบบ C (สตาร์ชจากพืชตระกูลถั่ว) และพบว่าสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวทั้ง 3 ระยะ และ 3 ฟาร์ม นั้นมีลักษณะการกระจายตัวของแสงไม่แตกต่างกัน โดยมีรูปแบบการหักเหรังสีเอ็กซ์ที่ไม่แตกต่างกันด้วย ซึ่งเป็นลักษณะรูปแบบ โครงสร้างผลึกที่มีความหนาแน่นจึงจัดเป็น โครงสร้างผลึกแบบ A โดยจะเห็นได้ว่าอายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกันนั้น ไม่มีผลต่อโครงสร้างของผลึก ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Chiang และคณะ (2007) และ Huang และคณะ (2006) โดยได้รายงานว่า ระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อโครงสร้างผลึกของเมล็ดสตาร์ชจากกระเจ็บ, ระยะการเจริญเติบโตของมันเทศที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อรูปแบบ โครงสร้างผลึกโดยมีโครงสร้างผลึกแบบ A ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

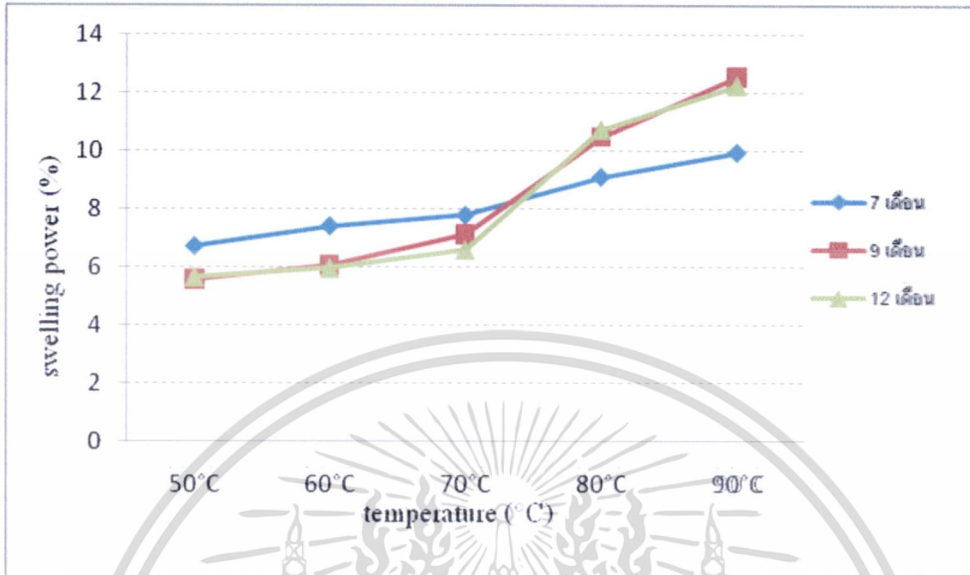
4.2.5 ผลการวัดขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคแป้งของสตาร์ชจากหัวจิ้งที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน ด้วยเครื่อง Laser Particle Size Distribution Analyzer



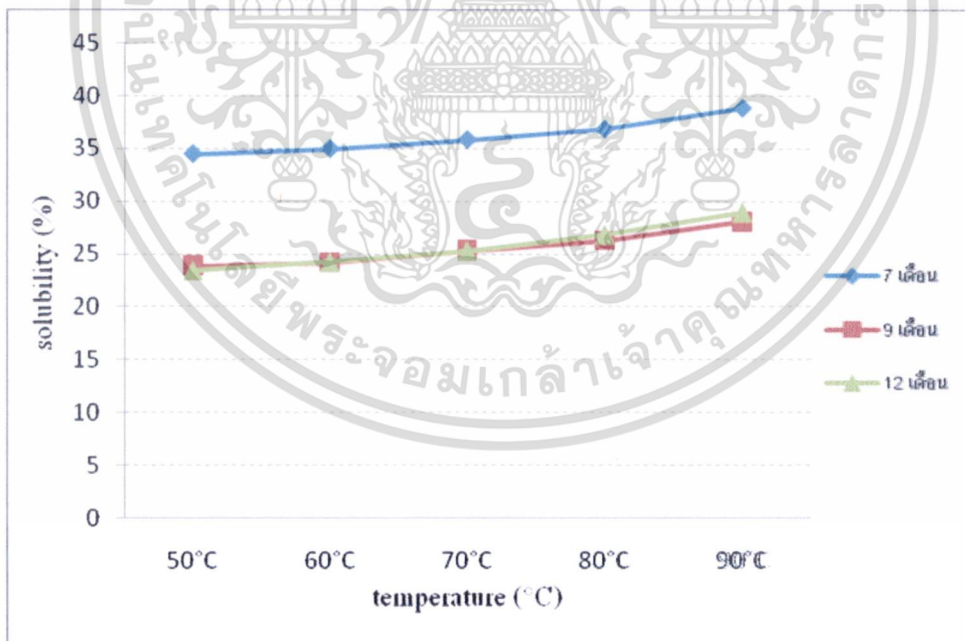
ภาพที่ 4.3 ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคแป้งของสตาร์ชจากหัวจิ้งที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน

จากการวัดขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคแป้งจากสตาร์ชหัวจิ้งที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน ด้วยเครื่อง Laser Particle Size Distribution Analyzer พบว่า ขนาดของเม็ดสตาร์ชที่เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (D50) มีขนาด 11.23 มิลลิเมตร (7 เดือน), 11.52 มิลลิเมตร (9 เดือน) และ 11.15 มิลลิเมตร (12 เดือน) โดยที่มีเลเซอร์เป็นตัวนับและคำนวณขนาดของอนุภาค และพบว่า การกระจายตัวของอนุภาคของสตาร์ชหัวจิ้งที่อายุการเก็บเกี่ยวทั้ง 3 ระยะ และ 3 ฟาร์ม นั้นมีรูปแบบที่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน (ภาพที่ 4.3) โดยที่ขนาดของเม็ดสตาร์ชจะเป็นลักษณะสำคัญที่มีผลต่อคุณสมบัติของสตาร์ชด้วย

4.2.6 ผลการศึกษาการก้ำกัการพองตัว (swelling power) และค่าการละลาย (solubility) ของฟลาวร์จากเห็ดจีนที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90°



ภาพที่ 4.4 การก้ำกัการพองตัวของฟลาวร์จากเห็ดจีนที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90°C

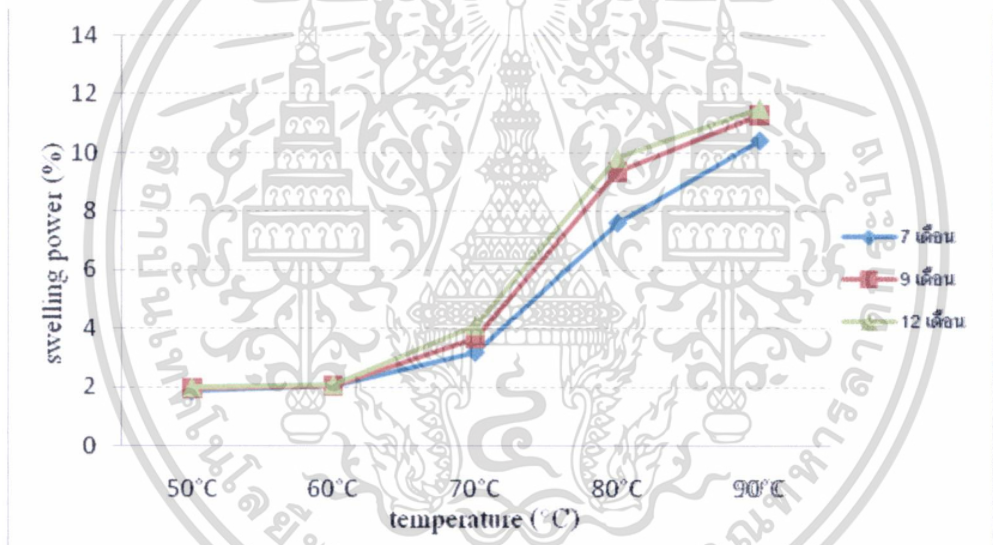


ภาพที่ 4.5 ค่าการละลายของฟลาวร์จากเห็ดจีนที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

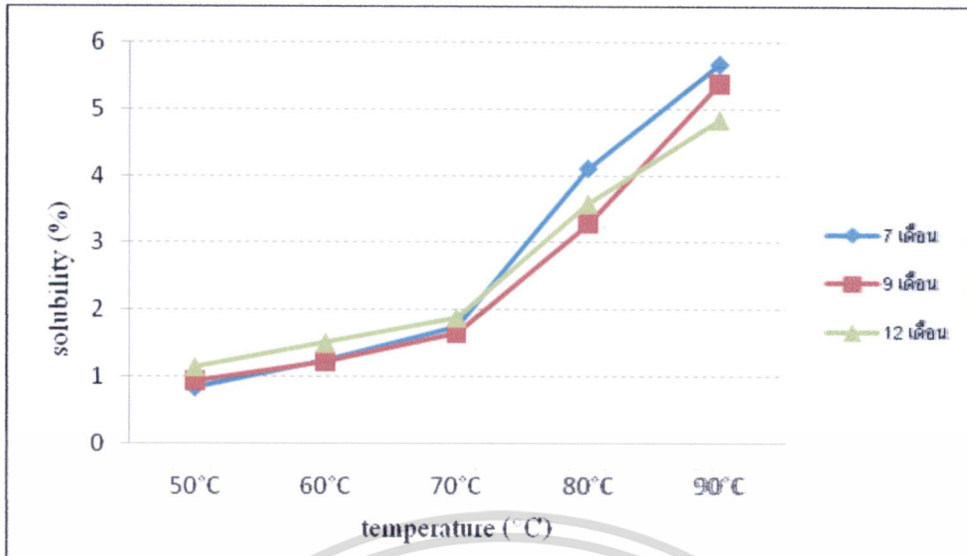
จากการศึกษากำล้างการพองตัวและค่าการละลายของฟลาวร์เหี่ยวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 50, 60, 70, 80 และ 90°C ได้ผลการทดลองดังภาพที่ 4.4 และ 4.5 พบว่า อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้กำล้างการพองตัวและค่าการละลายของฟลาวร์เหี่ยวจิ้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อแช่อยู่ในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาตินเซชัน เม็ดสตาร์ชจะพองตัวได้อย่างจำกัดและเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นพันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ เม็ดสตาร์ชจะเกิดการพองตัว ทำให้ค่ากำล้างการพองตัวมีค่าสูง และส่งผลให้บางส่วนของแป้งละลายออกมา จึงทำให้ค่าการละลายของแป้งเพิ่มขึ้นด้วย (กล้าณรงค์, 2550)

4.2.7 ผลการศึกษากำล้างการพองตัว (swelling power) และค่าการละลาย (solubility) ของสตาร์ชจากเหี่ยวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90°C



ภาพที่ 4.6 กำล้างการพองตัวของสตาร์ชจากเหี่ยวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.7 ค่าการละลายของสตาร์ชจากแห้วจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90°C

จากการศึกษากำล้างการพองตัวและค่าการละลายของสตาร์ชแห้วจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 50, 60, 70, 80 และ 90°C ได้ผลการทดลองดังภาพที่ 4.6 และ 4.7 พบว่า กำล้างการพองตัวของสตาร์ชแห้วจันทน์ โดยระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกันมีผลต่อกำล้างการพองตัวของสตาร์ชแห้วจันทน์ ซึ่งที่ระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ทำให้กำล้างการพองตัวของสตาร์ชเพิ่มขึ้น โดยที่สตาร์ชจากแห้วจันทน์มีการพองตัวได้ดีในระหว่างช่วงอุณหภูมิ 80 - 90°C ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Chiang และคณะ (2007) โดยรายงานว่าที่ระยะการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ค่ากำล้างการพองตัวเพิ่มขึ้น และเกิดการพองตัวที่ดีในช่วงอุณหภูมิ 80 - 90°C ส่วนการละลายของสตาร์ชจากแห้วจันทน์ พบว่าค่าการละลายของสตาร์ชแห้วจันทน์เพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดยค่าการละลายของสตาร์ชที่ดีอยู่ในระหว่างช่วงอุณหภูมิ 80 - 90°C ซึ่งเป็นช่วงเดียวกับอุณหภูมิที่ทำให้กำล้างการพองตัวของสตาร์ชเพิ่มขึ้นได้ดี เนื่องจากเมื่อเกิดการเจลาติไนเซชันยังมีอะมิโลสอยู่ที่เม็ดสตาร์ช ซึ่งเมื่อแช่อยู่ในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาติไนเซชัน เม็ดสตาร์ชจะพองตัวได้อย่างจำกัดและเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เนื่องจากร่างแหระหว่างไมเซลล์ (micelles) ยึดหยุ่นได้จำกัด แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นพันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ ส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพคตินในส่วน crystallite จะคลายตัวออกทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัวมากขึ้นและ โมเลกุลแช่อยู่ในสภาพสารละลายมากขึ้น ส่งผลให้ค่ากำล้างการพองตัวเพิ่มขึ้น และมีบางส่วนของแป้งละลายออกมา จึงทำให้ค่าการละลายของแป้งเพิ่มขึ้นด้วย (ศิริจนา, 2011)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.8 ผลการวัดค่าความคงตัวของการละลายน้ำแข็ง (syneresis) ของฟลาวัวร์และสตาร์ชจากหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.4 ค่าความคงตัวของการละลายน้ำแข็ง (syneresis) ของฟลาวัวร์และสตาร์ชจากหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน

อายุการเก็บเกี่ยว (เดือน)	ค่าความคงตัวของการละลายน้ำแข็ง	
	ฟลาวัวร์	สตาร์ช ^{ns}
7	10.18±0.70 ^a	1.41±0.27
9	8.01±1.19 ^b	1.37±0.38
12	5.08±1.19 ^c	0.78±0.28

* อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงค่าตัวเลขที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} ค่าตัวเลขในแนวตั้งเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากการวัดค่าความคงตัวของการละลายน้ำแข็งของฟลาวัวร์และสตาร์ชจากหัวจิ้น โดยเฉลี่ยมีความเข้มข้น 6% ที่ผ่านกระบวนการแช่แข็งและการละลายแล้ว แสดงให้เห็นในตารางที่ 4.4 พบว่า อายุการเก็บเกี่ยวหัวจิ้นที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความคงตัวของการละลายน้ำแข็งของฟลาวัวร์ลดลง ซึ่งค่าความคงตัวของการละลายน้ำแข็งมีค่าสูง จะแสดงว่าฟลาวัวร์เกิดการคืนตัวมาก จนกระทั่งน้ำที่เคยจับตัวกับอะมิโลสและอะมิโลเพคตินแยกตัวออกปรากฏให้เห็นเป็นหยดน้ำมาก (กล้าณรงค์และเกื้อกุล, 2550) ทำให้ค่าความคงตัวของการละลายน้ำแข็งมีค่าสูงขึ้น โดยที่สตาร์ชหัวจิ้นทั้ง 3 ระยะ มีค่าความคงตัวของการละลายน้ำแข็งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีค่าค่อนข้างต่ำ เนื่องจากโมเลกุลที่มาจัดเรียงตัวกันใหม่มีมาก และในระหว่างเคลื่อนที่เข้ามาจับกันจะสามารถจับกับน้ำไว้ได้ ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น และมีลักษณะเจลที่อ่อนนุ่ม เกิดการคืนตัวน้อย (กล้าณรงค์และเกื้อกุล, 2550) ทำให้ค่าความคงตัวของการละลายน้ำแข็งมีค่าต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Lan และคณะ (2008) ที่รายงานว่า เจลจากสตาร์ชหัวจิ้นมีความยืดหยุ่นและมีร่างแหที่สามารถจับกับน้ำได้ดี จึงทำให้ค่าความคงตัวของการละลายน้ำแข็งของสตาร์ชหัวจิ้นต่ำ

4.2.9 ผลการเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็นของฟลาวัวร์และสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน

ตารางที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็นของฟลาวัวร์หัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน

อายุการเก็บเกี่ยว (เดือน)	อุณหภูมิเริ่มหนืด (°C) ^{ns}	ความหนืดสูงสุด (BU)	Breakdown (BU)	Setback (BU)
7	70.33±10.47	546.00±92.06 ^b	189.33±49.73 ^c	-135.50±24.14 ^a
9	77.57±0.51	870.50±3.04 ^a	483.67±17.47 ^b	-391.00±24.25 ^b
12	77.15±0.56	979.17±39.26 ^a	3578.33±17.06 ^a	-500.83±23.69 ^c

* อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงค่าตัวเลขที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} ค่าตัวเลขในแนวตั้งเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็นของสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน

อายุการเก็บเกี่ยว (เดือน)	อุณหภูมิเริ่มหนืด (°C) ^{ns}	ความหนืดสูงสุด (BU)	Breakdown (BU)	Setback (BU)
7	74.00±0.58	2612.17±44.46 ^a	1603.67±61.13 ^a	-747.50±60.26 ^b
9	73.95±0.23	2605.00±151.00 ^a	1565.67±154.37 ^a	-695.00±123.57 ^b
12	74.05±0.28	2222.00±23.88 ^b	1283.00±19.18 ^b	-477.33±11.55 ^a

* อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงค่าตัวเลขที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} ค่าตัวเลขในแนวตั้งเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งฟลาวัวร์ในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็นด้วยเครื่อง Brabender Amylograph ของฟลาวัวร์หัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างกันแสดงในตารางที่ 4.5 และ 4.6 พบว่า ระดับอุณหภูมิเริ่มเกิดเจลลาโนซ์ของฟลาวัวร์หัวจันทน์ไม่แตกต่างกันนัยสำคัญทางสถิติ และที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะอ่อน (7 เดือน) จะมีค่าความหนืดสูงสุดต่ำ ซึ่งจุดที่มีความหนืดสูงสุดนี้เป็นจุดที่เม็ดแป้งพองตัวได้เต็มที่ และเป็นค่าที่บอกลถึงความสามารถของแป้งในการจับตัวกับน้ำและแรงที่ต้องใช้ในการกวนหรือผสมในอาหาร โดยจะมีความสัมพันธ์กับคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย (ปีติพร และคณะ, 2543) เมื่อพิจารณาถึงค่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

breakdown ซึ่งจะบอกถึงความสามารถในการคงทนของเม็ดแป้งต่ออุณหภูมิและการกวนที่เป็นปัจจัยสำคัญในหลายกระบวนการผลิต พบว่า ฟลาวัวร์เห้วจิ้นมีค่า breakdown เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อพิจารณาค่า setback พบว่า ฟลาวัวร์เห้วจิ้นมีค่า setback ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยถ้ามีค่า setback สูงก็จะมีลักษณะการเกิดริโทเกรเดชันของแป้งมาก ซึ่งส่งผลให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่เย็นตัวของแป้งมีลักษณะที่แข็ง และจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งสตาร์ชเห้วจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างกันในช่วงการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็น พบว่า ระดับอุณหภูมิเริ่มเกิดเจลลาไนซ์ของสตาร์ชเห้วจิ้นไม่แตกต่างกันนัยสำคัญทางสถิติ และที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะแก่ (12 เดือน) จะมีค่าความหนืดสูงสุดต่ำ และเมื่อพิจารณาถึงค่า breakdown แสดงให้เห็นว่าสตาร์ชเห้วจิ้นที่มีอายุการเก็บเกี่ยวระยะแก่ (12 เดือน) จะมีความสามารถในการคงทนของเม็ดแป้งต่ออุณหภูมิต่ำที่สุด และเมื่อพิจารณาค่า setback พบว่า สตาร์ชเห้วจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะแก่ (12 เดือน) มีค่า setback สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทำให้สตาร์ชเห้วจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยว 12 เดือนนั้นมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่เย็นตัวของแป้งที่แข็งกว่าที่อายุการเก็บเกี่ยว 7 เดือนและ 9 เดือน ดังนั้นเมื่อนำฟลาวัวร์และสตาร์ชเห้วจิ้นไปใช้ทำผลิตภัณฑ์หรือเป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับอาหารจะต้องพิจารณาถึงอายุการเก็บเกี่ยวเห้ว ซึ่งจะส่งผลต่อความหนืดของฟลาวัวร์และสตาร์ชรวมถึงลักษณะของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารด้วย

4.2.10 ผลการศึกษาสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากเห้วจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน โดยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC)

ตารางที่ 4.7 สมบัติทางความร้อนของสตาร์ชเห้วจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน

อายุการเก็บเกี่ยว (เดือน)	$T_0(^{\circ}\text{C})^{\text{ns}}$	$T_p(^{\circ}\text{C})^{\text{ns}}$	$T_c(^{\circ}\text{C})$	$\Delta H (\text{J/g})^{\text{ns}}$
7	74.62±0.74	78.06±0.52	83.40±0.07 ^b	-3.27±0.14
9	74.21±0.33	78.14±0.31	83.48±0.24 ^b	-3.24±0.07
12	73.72± 0.32	78.12±0.41	83.80±0.10 ^a	-3.48±0.15

* อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงค่าตัวเลขที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} ค่าตัวเลขในแนวตั้งเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน โดยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.11 พบว่า อุณหภูมิสุดท้ายที่เกิดเจลลาคีโนเซชัน (T_c) ของสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะแก่ (12 เดือน) มีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลง (T_o) อุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงสูงสุด (T_p) และพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลาคีโนเซชัน (ΔH) ของสตาร์ชหัวจันทน์ที่ระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวทั้ง 3 ระยะ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเห็นได้ว่าพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลาคีโนเซชัน (ΔH) ของสตาร์ชหัวจันทน์นั้นมีค่าที่ค่อนข้างน้อย (อยู่ในช่วง 3.24 – 3.48 J/g) กว่าพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลาคีโนเซชัน (ΔH) ของแป้งทั่ว ๆ ไป ซึ่งจะอยู่ในช่วง 10 – 20 J/g (ผาณิต, 2549) นั่นอาจเนื่องมาจากองค์ประกอบที่เป็นสัคส่วนของสตาร์ชจากหัวจันทน์มีปริมาณค่อนข้างน้อยกว่าแป้งทั่ว ๆ ไป จึงใช้พลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลาคีโนเซชัน (ΔH) ที่ค่อนข้างน้อยด้วย

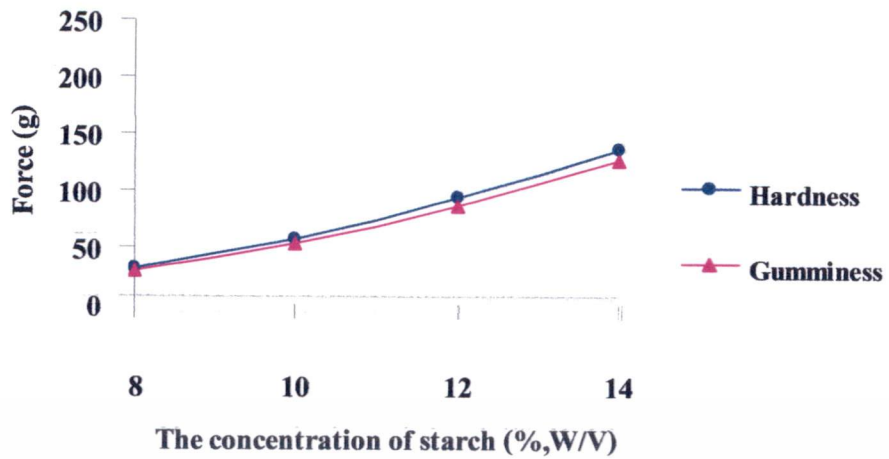
4.3 ศึกษาผลของปัจจัยต่างๆต่อคุณภาพเนื้อสัมผัสของเจลสตาร์ช

4.2.1 ผลของเนื้อสัมผัสเจลสตาร์ชที่ระดับความเข้มข้น 8, 10, 12 และ 14% (W/V) ตามลำดับ

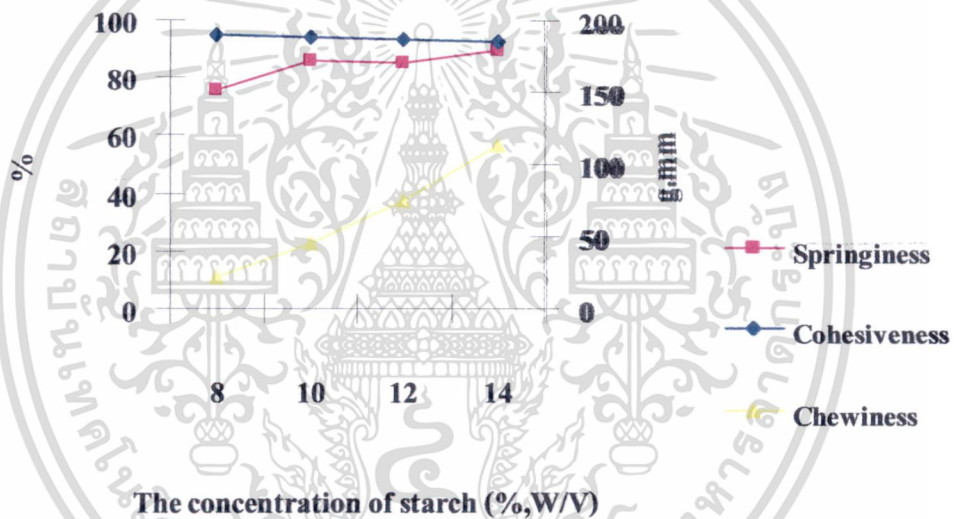
ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเจลสตาร์ชที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้นสตาร์ช	hardness	gumminess	springiness	cohesiveness	adhesiveness	chewiness
8%	31.50±1.35 ^d	29.80±1.39 ^d	0.76±0.02 ^b	0.95±0.00 ^a	-6.44±0.86 ^a	22.55±1.76 ^d
10%	57.13±2.30 ^c	53.66±1.94 ^c	0.86±0.02 ^a	0.94±0.00 ^{ab}	-7.98±2.20 ^{ab}	46.18±2.73 ^c
12%	94.13±10.60 ^b	87.69±10.23 ^b	0.85±0.03 ^a	0.93±0.00 ^{bc}	-10.49±0.28 ^b	75.18±11.60 ^b
14%	136.62±14.52 ^a	126.88±14.38 ^a	0.90±0.00 ^a	0.93±0.01 ^c	-9.97±1.48 ^b	113.82±13. ^a

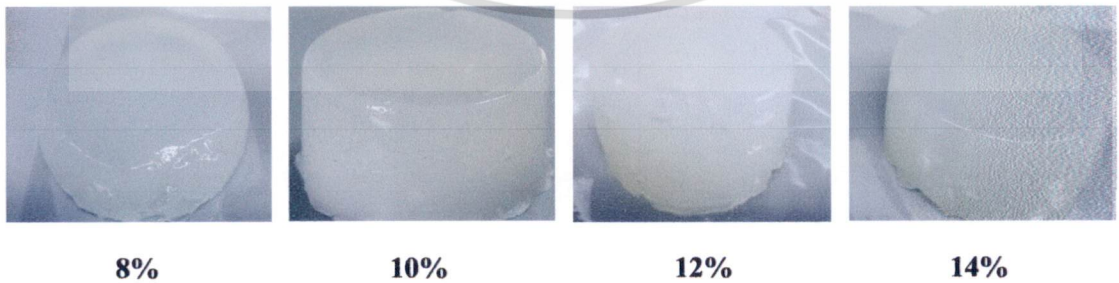
* อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงค่าตัวเลขที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 4.8 ผลของระดับความเข้มข้นสตาร์ชแห้วจินที่มีต่อค่า hardness และ gumminess



ภาพที่ 4.9 ผลของระดับความเข้มข้นสตาร์ชแห้วจินที่มีต่อค่าspringiness, cohesiveness และ Chewiness ของเจล



ภาพที่ 4.10 ลักษณะเจลสตาร์ชที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ค่าสีของเจลสตาร์ชที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้นสตาร์ช	ค่าสี		
	L*	b*	a*
8%	35.94±0.77 ^c	-6.93±0.38 ^b	2.22±0.10 ^a
10%	37.88±1.06 ^b	-7.02±0.25 ^a	2.19±0.08 ^a
12%	39.31±1.30 ^{ab}	-7.32±0.21 ^{ab}	1.96±0.13 ^b
14%	40.92±0.47 ^a	-7.58±0.17 ^b	2.00±0.00 ^b

* อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงค่าตัวเลขที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากการทดลอง พบว่า เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ทำให้ค่า hardness และ gumminess เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า chewiness มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สำหรับค่า springiness และ cohesiveness มีค่าแตกต่างไม่มาก ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Lan และคณะ (2008) ซึ่งทำการศึกษาผลของความเข้มข้นของสตาร์ชแห้งจลินที่ระดับ 6 ถึง 16% พบว่าที่ความเข้มข้นสตาร์ช 6% เป็นความเข้มข้นต่ำที่สุดที่สามารถฟอร์มเจลได้และให้ค่า hardness และ gumminess ต่ำที่สุด และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น

สำหรับค่าสี พบว่า เมื่อความเข้มข้นของสตาร์ชเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความสว่าง (L*) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อรพิน (2533) กสิณรงค์ และเกื้อกุล (2543) กล่าวว่าความใสของแป้งจะสัมพันธ์กับการคืนตัวของแป้งและปริมาณอะมิโลส เนื่องจากเมื่ออะมิโลสเกิดการจับเรียงตัวที่แน่นหนาจะทำให้แสงผ่านได้น้อยจึงเห็นเจลมีลักษณะที่ทึบแสง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สตาร์ชเหหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยว 12 เดือน มีปริมาณโปรตีนสูง รวมถึงอายุการเก็บเกี่ยว 9 เดือน และ 12 เดือน มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตและปริมาณสตาร์ชที่สูง โดยอายุการเก็บเกี่ยวไม่มีผลต่อปริมาณอะมิโลส และพบว่าฟลาวัวร์จากเหหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยว 7 เดือน มีปริมาณเส้นใยสูงที่สุด ส่วนที่อายุการเก็บเกี่ยว 9 เดือน และ 12 เดือน มีปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตสูง ซึ่งเมล็ดสตาร์ชมีลักษณะกลมคล้ายไข่ มีผิวเรียบ โดยที่อายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นทำให้เมล็ดสตาร์ชมีขนาดที่ค่อนข้างใหญ่ขึ้น โดยทั้งสตาร์ชและฟลาวัวร์มีค่า pH อยู่ในช่วงที่ค่อนข้างมีความเป็นกรดเล็กน้อย ส่วนค่าสีของสตาร์ชที่อายุการเก็บเกี่ยว 7 เดือน มีค่าความสว่าง (L^*) สูงที่สุด และมีค่าสีเหลือง (b^*) ต่ำที่สุด ซึ่งในฟลาวัวร์พบว่าที่อายุการเก็บเกี่ยว 7 เดือน มีค่าความสว่าง (L^*) ต่ำที่สุด และมีค่าสีเหลือง (b^*) มากที่สุด รูปแบบการหักเหรังสีเอ็กซ์ของสตาร์ชเหหัวจิ้นมีลักษณะโครงสร้างผลึกแบบ A และพบว่าเมล็ดสตาร์ชจากเหหัวจิ้นมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยที่ (D50) 11.15 - 11.52 มิลลิเมตร โดยมีการกระจายตัวของอนุภาคของสตาร์ชที่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งสตาร์ชและฟลาวัวร์จากเหหัวจิ้นทุกอายุการเก็บเกี่ยวมีค่ากำลังการพองตัวและค่าการละลายเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิสูงขึ้น โดยที่มีค่ากำลังการพองตัวและค่าการละลายที่ได้อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 80 และ 90°C สตาร์ชเหหัวจิ้นมีค่าความคงตัวของ การละลายน้ำแข็งที่ค่อนข้างน้อย ส่วนฟลาวัวร์พบว่าที่อายุการเก็บเกี่ยวเหหัวจิ้นที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความคงตัวของ การละลายน้ำแข็งลดลง และพบว่าสตาร์ชเหหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยว 12 เดือน จะมีค่าความหนืดสูงสุดและมีความสามารถในการคงทนของเม็ดแป้งต่ออุณหภูมิ และการกวนต่ำที่สุด โดยมีลักษณะการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งสูงที่สุด และฟลาวัวร์จากเหหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยว 7 เดือน มีค่าความหนืดสูงสุดและมีความสามารถในการคงทนของเม็ดแป้งต่ออุณหภูมิ และการกวนต่ำที่สุด โดยมีลักษณะการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งสูงที่สุด ซึ่งมีสมบัติทางความร้อน โดยพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลาติไนเซชัน (ΔH) ของสตาร์ชเหหัวจิ้นมีค่าที่ค่อนข้างน้อย เมื่อศึกษาผลของปัจจัยต่างๆต่อคุณภาพเนื้อสัมผัสของเจลสตาร์ช พบว่าผลของเนื้อสัมผัสเจลสตาร์ชที่ระดับความเข้มข้นของสตาร์ชเหหัวจิ้นเพิ่มขึ้น ทำให้ค่า hardness และ gumminess เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า chewiness เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

การศึกษารั้งนี้จะให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ที่ทำให้ทราบถึงองค์ประกอบ และสมบัติต่าง ๆ ของฟลาวัวร์และสตาร์ชเหหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างกันรวมทั้งเนื้อสัมผัสของเจลสตาร์ช เพื่อเพิ่ม
เอกลีกรุ่นเป็นเอกลักษณ์รสอร่อยให้รับประทานเพื่อสุขภาพที่ดีขึ้น ไม่อยู่ในที่เห็นโดยบังเอิญเห็นเป็นการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มูลค่าของเห้วจิ้น และทำให้เกิดแนวความคิดพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์ทางด้านอาหารที่ใช้
วัตถุดิบจากเห้วจิ้นจากสมบัติต่าง ๆ ที่ศึกษาได้



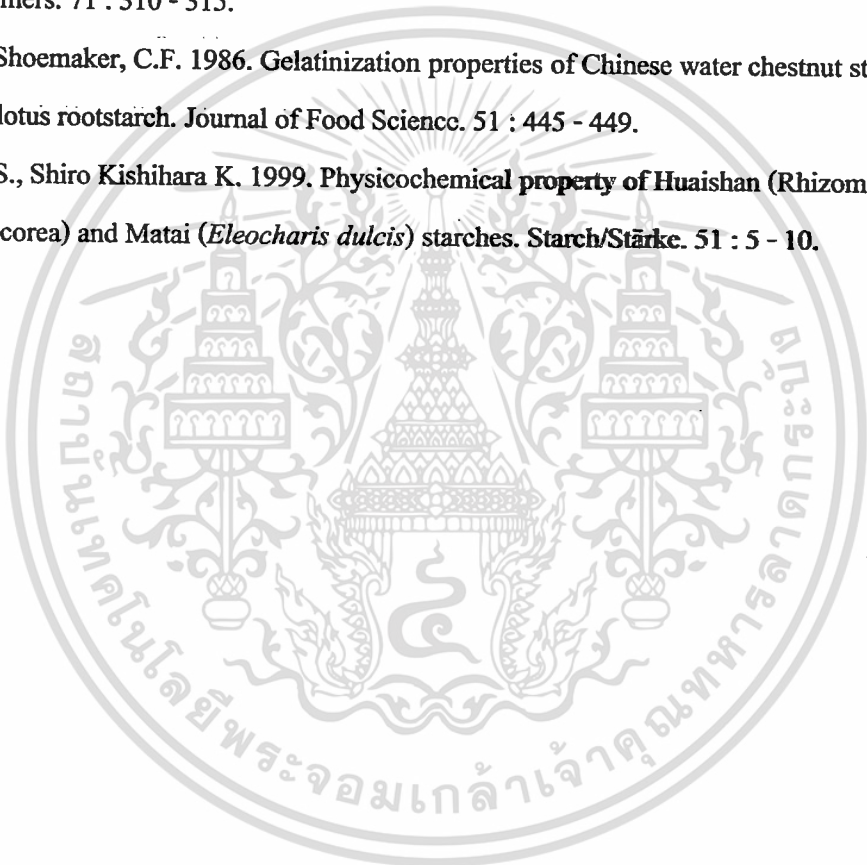
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กระทรวงอุตสาหกรรม. 2521. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลัง.
เอกสาร มอก.ที่ 274 - 2521. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ.
- กรมวิชาการเกษตร. 2545. หัวใจ : ฐานความรู้ด้านพืชกรมวิชาการเกษตร. เกษตรอำเภอสรี
ประจันต์. สืบค้นข้อมูล 17 เมษายน 2554. <http://www.kanchanapisek.or.th>.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2550. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ :
สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 303 หน้า.
- ดวงจันทร์ เสงส์สวัสดิ์. 2546. ผลไม้คลายร้อน. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มก.
สืบค้นข้อมูล 11 มิถุนายน 2554. <http://www.ku.ac.th/e-magazine/april46/agri/fruit2.html>.
- ปิติพร ฤทธิ์เรืองเดช. 2543. พฤติกรรมด้านความหนืดและคุณสมบัติทางกลของแป้งท้าวยาม่อม.
สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ผาณิต รุจิรพิสิฐ. 2549. องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งพลาว์และสตาร์ช
จากหัวจีน (*Eleocharis dulcis* Trin.). รายงานการวิจัยมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย. 75 หน้า.
- ศิริรจนา กัญภัย. 2011. เทคโนโลยีของคาร์โบไฮเดรต. สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี. คณะทรัพยากร
ชีวภาพและเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- อรพิน ภูมิภมร. 2533. เทคโนโลยีของแป้ง : เคมีของแป้งและเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์จากแป้งบางชนิด
ที่ผลิตในประเทศไทย. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตรมหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. หน้า 212.
- Auonymous, 2010. Benefits of water chestnut, July 26. Available source :
<http://lifestyle.iloveindia.com/lounge/benefits-of-water-chestnut-8046.html>.
- American Association of Cereal Chemists (AACC). 2000. Approved Methods. The Association,
St. Paul, Minnesota.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2000. Official Method of Analysis. 15th ed.
The Association of Official Agricultural Chemists, Virginia.
- Chiang, P.Y., Li, P.H., Huang, C.C. and Wang, C.C.R. 2007. Changes in functional
characteristics of starch during water caltrop (*Trapa Quadrispinosa* Roxb.) growth. Food
Chemistry. 104 : 376 - 382.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Huang, C.C., Lin, M.C., and Wang, C. R. 2006. Changes in morphological, thermal and pasting properties of yam (*Dioscorea alata*) starch during growth. *Carbohydrate Polymers*. 64 : 524 - 531.
- Lan, W. ,Zhihua, Y. ,Yan, Z. ,Bijun, X. and Zhida, S. 2008. Morphological, Physicochemical and Textural Properties of Starch Separated from Chinese water chestnut. *Starch/Stärke*. 60, 181-191.
- Wang, C. C.R., Chaing, P.Y., Li, P.H. and Huang, C.C. 2008. Physicochemical properties of water caltrop (*Trapa taiwanensis* Nakai) starch during growth period. *Carbohydrate Polymers*. 71 : 310 - 315.
- Xu, S. – Y., Shoemaker, C.F. 1986. Gelatinization properties of Chinese water chestnut starch and lotus root starch. *Journal of Food Science*. 51 : 445 - 449.
- Yu B., Fujii S., Shiro Kishihara K. 1999. Physicochemical property of Huaishan (*Rhizoma Dioscorea*) and Matai (*Eleocharis dulcis*) starches. *Starch/Stärke*. 51 : 5 - 10.





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

วิธีการวิเคราะห์ทางเคมีของฟลาวอร์และสตาร์ชแห้วจินที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

วิธีการวิเคราะห์

- 1.1 นำ aluminium can ออบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 ± 3 °C จนน้ำหนักคงที่
- 1.2 ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม ด้วยตาชั่งละเอียดใส่ใน aluminium can
- 1.3 นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 ± 3 °C เป็นเวลา 2 - 3 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่
- 1.4 ปิดฝาและทิ้งไว้ในเย็นในโถดูดความชื้น (Dessicator)
- 1.5 ชั่งน้ำหนัก
- 1.6 คำนวณหาปริมาณความชื้นโดยใช้สูตร

$$\text{ร้อยละปริมาณความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

2. การวิเคราะห์ไขมัน

วิธีการวิเคราะห์

- 2.1 อบบีกเกอร์ไขมันพร้อมกับ boiling chip ที่อุณหภูมิ 130 °C 1 ชั่วโมง บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
- 2.2 ชั่งตัวอย่างที่อบไล่ความชื้นแล้วประมาณ 5.00 กรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน ห่อด้วยกระดาษกรอง ใส่ในทิมเบิล (extraction thimble) ตวงตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์จำนวน 140 - 180 มิลลิลิตรใส่ในบีกเกอร์ไขมัน ค่อยทิมเบิลที่ใส่ตัวอย่างและบีกเกอร์ไขมันเข้ากับเครื่องสกัดไขมัน ทำการสกัดไขมันตาม โปรแกรมของเครื่อง เมื่อครบเวลานำบีกเกอร์ไขมันไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C เพื่อระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ออก ทำให้เย็นใน โถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักบีกเกอร์

2.3 คำนวณเปอร์เซ็นต์ไขมันในตัวอย่าง

$$= \frac{\text{น้ำหนักบีกเกอร์หลังสกัด} - \text{น้ำหนักบีกเกอร์ก่อนสกัด}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

3.การวิเคราะห์หาปริมาณถั่ว

วิธีการวิเคราะห์

3.1 เผาด้วยกระบือียงที่แห้งและสะอาดในเตาเผาที่ 600 °C นาน 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นใน โถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักละเอียด 4 ตำแหน่ง และบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน

3.2 ชั่งตัวอย่างที่บดแล้วประมาณ 3.0000 กรัมใส่ในถ้วยกระบือียง

3.3 เผาตัวอย่างบน hot plate จนกระทั่งหมดควัน (ทำให้ผู้สูดควัน)

3.4 นำไปเผาที่ 600 °C นาน 3 - 4 ชั่วโมง จนกระทั่งตัวอย่างกลายเป็นเถ้าสีขาวหรือสีเทา

3.5 ติบถ้วยกระบือียงจากเตาเผา จากนั้นทำให้เย็นใน โถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักของถ้วย กระบือียงหลังเผา

3.6 คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ถั่ว

$$\text{เปอร์เซ็นต์ถั่ว} = \frac{\text{น้ำหนักถ้วยกระบือียงหลังเผา} - \text{น้ำหนักถ้วยกระบือียง}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์}} \times 100$$

4.การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน

วิธีการวิเคราะห์

4.1 ชั่งตัวอย่างประมาณ 2.5 กรัม เติมตัวเร่ง 7 กรัม เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 25 มิลลิลิตร ใส่ boiling chip 2-3 ลูก ในหลอดย่อยโปรตีน

4.2 นำหลอดย่อยโปรตีน ไปประกอบเข้ากับเครื่องย่อย จนได้สารละลายสีฟ้าใส ปล่อยให้ เครื่องดูดควันจนหมด ทิ้งไว้ให้เย็น

4.3 นำหลอดตัวอย่างที่ย่อยแล้วมาต่อเข้ากับเครื่องกลั่น โปรตีน เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร กับ โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 32% ปริมาณ 60 มิลลิลิตร โดยที่ในระหว่างการกลั่นจะต้องมีกรบอริกเข้มข้น 2% เป็นตัวดักจับแอมโมเนีย ซึ่งต้องดวงกรบอริกเข้มข้น 2% ปริมาณ 60 มิลลิลิตร ใส่ ใน Erlenmeyer flask 500 มิลลิลิตร หยด mixed indicator 2-3 หยด ได้สารสีส้มแดงใส รอจนกลั่น เสร็จ

4.4 นำ Erlenmeyer flask หลังจากกลั่นเสร็จที่มีสารละลายกรบอริกกับแอมโมเนีย ซึ่งมีสีฟ้าใสมาไทเทรตกับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 N จนสารละลายเปลี่ยนไปเป็นสีใสหรือไม่มีสี บันทึกปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรต

4.5 คำนวณเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในตัวอย่าง

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน} = \frac{(A-B) \times N \text{ HCl} \times 14}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง} \times 1000} \times 100$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์โปรตีน} = \text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน} \times 6.25$$

- เมื่อ A = ปริมาณของสารละลายไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่าง
B = ปริมาณของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเทรตกับ Blank



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

วิธีวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ

1. การศึกษาขนาดและลักษณะของเม็ดแป้ง (morphology of starch granule) ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM)

แป้งที่พบในธรรมชาติจะอยู่ในรูปของเม็ดแป้งที่มีรูปร่างและขนาดแตกต่างกันไปตามชนิดของแป้ง ลักษณะของเม็ดแป้งสามารถตรวจสอบได้โดยการส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอนซึ่งเป็นกล้องที่สามารถตรวจดูลักษณะต่าง ๆ ของเม็ดแป้ง ได้แก่ รูปร่าง การกระจายตัวของขนาดของเม็ดแป้ง รวมทั้งตรวจสอบความเสียหายของเม็ดแป้งที่สภาวะต่าง ๆ และการปนเปื้อนของแป้งอีกชนิดหนึ่งได้ นอกจากนี้ยังสามารถศึกษาโครงสร้างพื้นผิวอย่างละเอียดของเม็ดแป้ง ซึ่งมีกำลังขยายมากกว่ากล้องจุลทรรศน์หลายร้อยเท่า การวัดขนาดของเม็ดแป้งสามารถทำได้โดยตรงจากกล้องจุลทรรศน์ โดยใช้ haemocytometer แล้วอ่านค่าด้วยสายตา ความถูกต้องของข้อมูลขนาดเม็ดแป้งที่วัดจากกล้องจุลทรรศน์จะขึ้นอยู่กับขนาดและจำนวนอนุภาคที่วัด โดยใช้อิเล็กตรอนในการส่องผ่านตัวอย่าง รูปที่ได้จะมีลักษณะเป็นสามมิติ ซึ่งการเตรียมตัวอย่างจะต้องมีการเคลือบด้วยทองเป็นชั้นบาง ๆ โดยจะต้องเตรียมตัวอย่างอย่างละเอียด

2. การศึกษาลักษณะของผลึกโมเลกุลแป้ง ด้วยเครื่อง X – ray diffraction (XRD)

วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้ศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบโครงสร้างของผลึก (crystal Structure) หรือโมเลกุลของสารด้วยการใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction) ที่ตกกระทบหน้าผลึกของสารตัวอย่างที่มุมต่าง ๆ กัน ทำให้รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของวัสดุที่เป็นผลึกจะมีลักษณะแตกต่างกันขึ้นกับการจัดเรียงตัวของอะตอมภายในผลึก ซึ่งจะถูกวัดกำลังความเข้มของพิก (power) ด้วยการสแกน (scan) ของตัวรับสัญญาณ (detector) สัญญาณที่วัดได้จะถูกถ่ายทอดออกมาเป็นสเปกตรัม แล้วถูกประมวลผลออกมาทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยมีคอมพิวเตอร์เป็นหน่วยประมวลผลและควบคุมการทำงานของเครื่องเอ็กซ์เรย์ โดยกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 3° ถึง 50° , time/step $3^{\circ}/s$, step size 0.04 deg (Lan และคณะ, 2008)

3. การวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ของแป้ง (pH ของแป้ง) โดยวิธี มอก.274 – 2521

วิธีการวัดค่า ละลายแป้งตัวอย่าง 25 กรัม ในน้ำกลั่น 50 ml คนให้เข้ากันประมาณ 1 นาที แล้วนำไปวัดค่า pH ด้วย pH meter

4. การวัดขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคแข็ง (particle size distribution) ด้วยเครื่อง Laser Particle Size Distribution Analyzer

เทคนิคนี้อาศัยหลักการของการเลี้ยวเบนของแสง เมื่อมีอนุภาคที่กระจายตัวอยู่ในตัวกลางผ่านลำแสงชั่วระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งอนุภาคที่แสงส่องผ่านของสตาร์ชนั้นจะอยู่ในช่วง 10 – 20% และกระจายตัวในน้ำกลั่น โดยวัดขนาดที่เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยที่ 50% (D50) ความเข้มของแสงที่เกิดการเลี้ยวเบนมีความสัมพันธ์กับปริมาณของอนุภาคในแต่ละขนาด แต่มุมเลี้ยวเบนกลับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของอนุภาค การใช้ตัวกรองแสง เลนส์ และตัวตรวจจับทางแสงร่วมกับคอมพิวเตอร์ ช่วยให้สามารถประมวลผลจากข้อมูลการเลี้ยวเบนเป็นการกระจายตัวของขนาดอนุภาคได้ เป็นค่าของความละเอียดที่ใช้เลเซอร์เป็นตัวนับและคำนวณขนาดของอนุภาค จึงมีความแม่นยำสูงกว่าเครื่อง Image Analyzer ซึ่งเหมาะกับตัวอย่างที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก

5. ศึกษาการพองตัว (swelling power) และการละลาย (solubility) ของแป้ง (ดัดแปลงจาก Lan และคณะ, 2008)

5.1 ชั่งตัวอย่างแป้ง 2% (0.5 กรัม) โดยคิดเป็นน้ำหนักแห้ง (จดบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน) (A) นำตัวอย่างแป้งใส่ในหลอดเหวี่ยง (ชั่งน้ำหนักหลอดเหวี่ยงให้ทราบน้ำหนักแน่นอน) เติมน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร

5.2 แช่ในอ่างน้ำร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90°C ควบคุมเวลา นาน 30 นาที

5.3 ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำไปปั่นเหวี่ยงด้วย centrifuge ความเร็วรอบ 3000 รอบ/นาที นาน 15 นาที

5.4 ควบน้ำใส่ส่วนบนออกให้ได้มากที่สุด ใส່ moisture can ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน (ต้องนำ moisture can ไปอบแห้ง แล้วนำมาใส่ desiccators ให้เย็น) และนำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105°C นาน 12 ชั่วโมง จากนั้นเอาไปใส่ใน desiccators ให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน แล้วลบด้วยน้ำหนัก moisture can ออก เป็นค่าน้ำหนักส่วนที่ละลายน้ำ (B)

5.5 ส่วนแป้งเปียกที่อยู่ในหลอด นำไปชั่งน้ำหนักทั้งหมด แล้วลบน้ำหนักหลอดออก เป็นน้ำหนักแป้งที่พองตัว (C)

คำนวณ

$$\text{การละลาย (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักแป้งส่วนที่ละลายน้ำ (B)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแป้งแห้งเริ่มต้น (A)}}$$

$$\text{กำลังการพองตัว} = \frac{\text{น้ำหนักแป้งที่พองตัวแล้ว (C)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแป้งแห้งเริ่มต้น (A)} \times (100 - \text{การละลาย (\%)})}$$

6. ศึกษาสมบัติทางความร้อนของแข็งโดยใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC)

DSC เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพลังงาน และศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ โดยอาศัยหลักการที่ว่า ทั้งตัวอย่างและสารอ้างอิงจะต้องคงอยู่ที่อุณหภูมิเดียวกันในกระบวนการให้ความร้อนหรือทำให้เย็นลงที่อัตราที่กำหนดไว้ คือ มีการให้ความร้อนเริ่มต้นที่ 25°C จนถึงอุณหภูมิที่คาดว่าเลขช่วงในการเกิดเจลาติไนเซชัน คือ 90°C ที่อัตรา $10^{\circ}\text{C}/\text{นาที}$ โดยมีเครื่องเตรียมตัวอย่างสารผสมระหว่างแป้งกับน้ำ (30/70) และบ่มสารละลายไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง ปริมาณความร้อนจะไหลเข้าสู่ระบบไม่ว่าที่ตัวอย่างหรือสารอ้างอิงเพื่อที่จะพยายามรักษาความแตกต่างของอุณหภูมิของตัวอย่างและสารอ้างอิงให้เป็นศูนย์ สัญญาณที่เป็นสัดส่วนกับความแตกต่างของกำลัง (power) ซึ่งเป็นกราฟระหว่าง heat flow และ อุณหภูมิ ค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลาติไนซ์ที่อ่านได้ มีดังนี้

Onset temperature, T_o ($^{\circ}\text{C}$)	=	อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลาติไนซ์
Peak temperature, T_p ($^{\circ}\text{C}$)	=	อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลาติไนซ์
Conclusion temperature, T_c ($^{\circ}\text{C}$)	=	อุณหภูมิต่ำสุดที่ยังในการเกิดเจลาติไนซ์
Enthalpy, ΔH (J/g)	=	พลังงานที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเกิดเจลาติไนซ์

ในการวิเคราะห์หาเอนทาลปีของกระบวนการจำเป็นต้องหาพื้นที่ใต้กราฟ DSC และการหาเส้น baseline ที่ถูกต้องแม่นยำสำหรับการหาพื้นที่ใต้กราฟมีความสำคัญมาก เนื่องจากเส้น baseline มักมีความแตกต่างกันทั้งก่อนและหลังการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการที่ศึกษา ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะนำไปใช้หาอุณหภูมิและพลังงานความร้อนของการเปลี่ยนแปลง (enthalpy) ได้

ประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล ดร. นภสรพี เหลืองสกุล

เพศ ชาย หญิง วันเดือนปีเกิด 29 มีนาคม 2514 อายุ 41 ปี

สถานภาพ โสด สมรส

ตำแหน่งปัจจุบัน

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วท.บ.	เทคโนโลยีทางอาหาร	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	พ.ศ 2531-2535
วท.ม.	เทคโนโลยีทางอาหาร	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	พ.ศ 2540-2544
วท.ด.	เทคโนโลยีทางอาหาร	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	พ.ศ 2548-2553

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) **Baking science, Cereal science, flour and starch, rice, sourdough, Chinese steamed bun**

รางวัลด้านวิชาการ/ด้านวิจัย/งานสร้างสรรค์ (ด้านศิลปะ หรืออื่นๆ) ที่ได้รับ

ปี พ.ศ.	ชื่อรางวัล	สถาบันที่ให้
2551	Young Investigator's Award, the excellent paper of <u>Characteristics of two cultivars of Thai glutinous rice and their application to the rice crackers (arare)</u>	the 2 nd International Symposium on Rice and Disease Prevention, 26 th -27 th October, 2008. Wakayama, Japan.

ทุนการศึกษาและทุนวิจัยที่เคยได้รับ

ปี พ.ศ.	ทุนการศึกษาและทุนวิจัย	สถาบันที่ให้
2 5 4 1 - 2542	ทุนพัฒนาอาจารย์ โครงการUDC (ศึกษาระดับปริญญาโท)	สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษาแห่งชาติ
2 5 4 8 - 2551	ทุนการศึกษาต่อระดับปริญญาเอก	สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษาแห่งชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ)

- Luangsakul, N. 2003. Varietal Differences of Thai Glutinous Rice in relation to Quality Characteristics of Traditional Thai Rice Cracker (Khao-tan). King Mongkut's Agricultural Journal. 21(3), pp 55-67. (in Thai)
- Luangsakul, N., Kulmanoachwong, D. and Chivavithunekit, P. 2004. Utilization of Skipjack Fish Bone in Traditional Thai Rice Cracker (Khao-tan) for Calcium Fortification. King Mongkut's Agricultural Journal. 22(1), pp 61-69. (in Thai)
- Keeratipibul, S., Luangsakul, N. and Lertsatchayarn, T. 2008. The effect of Thai glutinous rice cultivars, grain length and cultivating locations on the quality of rice cracker (arare). LWT-Food Science and Technology, 41, 1934-1943.
- Luangsakul, N, Keeratipibul, S, Jindamorakot, S. and Tanasupawat, S. 2009. Lactic acid bacteria and yeasts isolated from the starter doughs for Chinese steamed buns in Thailand. LWT-Food Science and Technology, 42, 1404-1412.
- Keeratipibul, S., Luangsakul, N., Otsuka, S., Sakai, S., Hatano, Y. and Tanasupawat, S. 2010. Application of the Chinese steamed bun starter dough (CSB-SD) in breadmaking. Journal of Food Science, 75, 596-604.
- Keeratipibul, S., Luangsakul, N., Otsuka, S., Sakai, S., Hatano, Y. and Tanasupawat, S. 2012. Effects of the amount of Chinese steamed bun starter dough (CSB-SD) and the activation time on dough and bread properties. Journal of Food Processing and Preservation, doi:10.1111/j.1745-4549.2011.00640.x.

การเสนอผลงานวิชาการ

POSTER PRESENTATION (FULL TEXT)

- Chupanit, W., Mulser, C., Luangsakul, N. 2003. Utilization of Red Snapper Fish Bone In Butter Cookies for Calcium Fortification. In Proceedings of the 5th Agro-Industrial Conference THAIFEX AND THAIMEX 2003. Bitec Convention Center, Bangkok. 30th-31st May, 2003: pp: 282-288. (in Thai)
- Luangsakul, N. 2004. Effect of Processing Parameters in relation to Qualities of Traditional Thai Fried Rice Cracker (Khao-Tan). In Proceedings of the 1st KMITL International Conference on Integation of Science and Technology for Sustainable Development. KMITL, Bangkok. Thailand. 24th-26th August, 2004: pp: 379-384.

- Luangsakul, N., Katekasem, P., Suksawang, M. and Pormanansiri, S. 2011 The effects of the amount and type of wheat flour and mixing method on the quality of fortune cookies. In Proceedings of the 49th Kasetsart University Annual Conference. Kasetsart University, Bangkok, Thailand. 1st-4th February, 2011: pp: 290-298. (in Thai)
- Luangsakul, N., Siamtong, A., Wongthida, T., and Punga, U. 2011. Effects of dough sheeting, dough weight and proofing temperature on dough and bread properties using no-time dough method. In Proceedings of The 12th Asean Food Conference 2011. BITEC Bangna, Bangkok, Thailand 16th - 18th June, 2011: pp: 556-559.
- Lunawa P, Luangsakul, N. 2012. Composition and physicochemical properties of starch isolated from Chinese Water Chestnut (*Eleocharis dulcis* Trin.). 1st Asean plus three graduate research congress; 2012 March 1-2; Chaingmai, Thailand.
- Luangsakul, N., Ruenpirom, S., Boothsri, A. 2012. Pasting properties of Chinese water chestnut (*Eleocharis dulcis* Trin.) starch and textural properties of its gel. In Proceedings of the 14th Food Innovation Asia Conference 2012. BITEC Bangna, Bangkok, Thailand 14th - 15th June, 2012: pp: 37-42.
- Luangskul, N., Apiwong, P., Reungsang, M., Kaewmon, A. 2012 Development of freeze-dried snack from Chinese water chestnut (*Eleocharis dulcis* Trin.). In Proceedings of the 14th Food Innovation Asia Conference 2012. BITEC Bangna, Bangkok, Thailand 14th - 15th June, 2012: pp: 318-324.

POSTER PRESENTATIONS (ABSTRACT):

- Khopalassute, S, Sungsrin, A. and Luangsakul, N. 2005. Development of Butter Cake for Strict Vegetarians. In Proceedings of the 7th Agro-Industrial Conference 2005. Bitec Convention Center, Bangkok. 22nd-24th June, 2005. (in Thai)
- Luangsakul, N., Maeda, T., Lertsachayarn, T., Morita, N. and Keeratipibul, S. 2008. Characteristics of two cultivars of Thai glutinous rice and their application to the rice crackers (arare) In Proceedings of the 2nd International Symposium on Rice and Disease Prevention, Wakayama Prefectural Culture Hall, Wakayama, Japan, 26th-27th October, 2008.