

องค์ประกอบและสมบัติทางเคมีกายภาพของฟลาวัวร์และสตาร์ชแห้วจีน
(*Eleocharis dulcis* Trin.) ที่ปลูกในพื้นที่และมีอายุการเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน

COMPOSITION AND PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF FLOUR AND
STARCH FROM CHINESE WATER CHESTNUT (*Eleocharis dulcis* Trin.)
CULTIVATED IN DIFFERENT AREAS AND HARVESTING PERIODS

ปาจริย์ ลันนาวา

PAJAREE LUNNAWA

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2556

KMITL-2013-AI-M-053-170

**COMPOSITION AND PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF FLOUR AND
STARCH FROM CHINESE WATER CHESTNUT (*Eleocharis dulcis* Trin.)
CULTIVATED IN DIFFERENT AREAS AND HARVESTING PERIODS**

PAJAREE LUNNAWA

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE
FACULTY OF AGRO-INDUSTRY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2013

KMITL-2013-AI-M-053-170

COPYRIGHT 2013

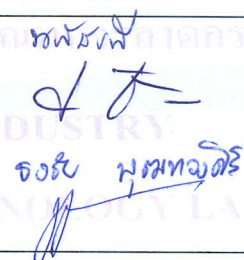
FACULTY OF AGRO-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ องค์ประกอบและสมบัติทางเคมีกายภาพของฟลาวัวร์และสตาร์ชแห้วจีน
(*Eleocharis dulcis* Trin.) ที่ปลูกในพื้นที่และมีอายุการเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน
COMPOSITION AND PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF FLOUR AND
STARCH FROM CHINESE WATER CHESTNUT (*Eleocharis dulcis* Trin.)
CULTIVATED IN DIFFERENT AREAS AND HARVESTING PERIODS

ชื่อนักศึกษา นางสาวปาจริย์ ถิ่นนาวา
รหัสประจำตัว 53680214
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.นภัสรพี เหลืองสกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม -

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ดร.นภัสรพี เหลืองสกุล รศ.ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิริโรดม ดร.ธงชัย พุฒทองศิริ รศ.เยาวลักษณ์ สุรพันธ์พิศิษฐ์	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ 1 เมษายน 2556 เวลา 09.00 น. เป็นต้นไป
สถานที่สอบ ณ ห้อง A 303 อาคารเจ้าคุณทหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตรรับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณมา ตั้งเจริญชัย)

คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร

- 3 - 10.4 2556

Thesis	COMPOSITION AND PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF FLOUR AND STARCH FROM CHINESE WATER CHESTNUT (<i>Eleocharis dulcis</i> Trin.) CULTIVATED IN DIFFERENT AREAS AND HARVESTING PERIODS
Student	Miss Pajaree Lunnawa
Student ID	53680214
Degree	Master of Science
Program	Food Science
Year	2013
Thesis Advisor	Prof.Dr. Naphatrapi Luangsakul

Abstract

This research was conducted to study the composition and physicochemical properties of flour and starch from Chinese water chestnut at different harvesting periods and cultivating areas. It was found that Chinese water chestnut flour cultivated at more harvesting periods obtained more protein, fat, ash, carbohydrate and reducing sugar contents, while, Chinese water chestnut starch gained more protein, carbohydrate and starch content. Regarding the appearance of starch granules, it had oval shape and smooth skin. More harvesting periods affected greater-sized starch granules (increasing from $13.83 \pm 1.26 \mu\text{m}$ to $17.83 \pm 4.01 \mu\text{m}$). For swelling power and solubility of both Chinese water chestnut flour and starch increased at higher temperature. Chinese water chestnut flour from younger harvesting periods (7 months) tended to exhibit higher solubility. In addition, at longer harvesting periods, the results showed that Chinese water chestnut flour exhibited whiter color whereas Chinese water chestnut starch turned to be darker color. The decreasing syneresis values of Chinese water chestnut flour, the increasing pH value of Chinese water chestnut flour and the decreasing pH value of Chinese water chestnut starch were found when harvesting period increased. As for pasting properties, higher peak viscosity and breakdown value, lower setback value of Chinese water chestnut flour were achieved at longer harvesting period while decreasing peak viscosity and breakdown value, increasing setback value of Chinese water chestnut starch were observed. The different cultivating areas affected the significantly different values of pasting temperature, peak viscosity, breakdown and setback values of Chinese water chestnut starch including its thermal properties of onset and peak temperatures.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.นภัสรพี เหลืองสกุล ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ ช่วยแก้ไขปัญหาในการดำเนินงานวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยดี และรวมถึงการให้ความช่วยเหลือในการแก้ไขงานในหลาย ๆ ด้านที่เป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัย ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิริโรดม ดร.ชงชัย พุฒทองศิริ และรศ.เยาวลักษณ์ สุรพันธ์พิเชียร ที่ได้ให้เกียรติเป็นคณะกรรมการสอบหัวข้อและโครงร่างวิทยานิพนธ์และกรุณาให้คำแนะนำ ตลอดจนข้อชี้แนะ จนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณแหล่งทุนวิจัยเงินรายได้ ปีพ.ศ. 2554 ของคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้ ขอขอบคุณ อ.วิชัย ลิ้มกาญจนะพงษ์ ภาควิชาพืชไร่ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำปรึกษา แนะนำในเรื่องผลจากสภาวะการเพาะปลูกพืช ขอขอบคุณ นักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่คอยดูแล อำนวยความสะดวกในด้านเครื่องมือและสารเคมี รวมทั้งพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ นักศึกษาภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหารที่คอยเป็นกำลังใจ และช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัย ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งใจเป็นอย่างมาก

สุดท้ายต้องขอขอบคุณบิดา มารดาของข้าพเจ้าที่ให้การสนับสนุน รวมทั้งเป็นกำลังใจที่ดี ตลอดมา ทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดา มารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครุอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ปจรรย์ ลั่นนาวา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	22
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	26
3.1 วัตถุประสงค์.....	26
3.2 เครื่องมือ.....	26
3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	27
3.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวัวร์และสตาร์ชจากหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	30
3.5 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของฟลาวัวร์และสตาร์ชจากหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	31
3.6 การคำนวณปริมาณผลผลิตที่ได้ของฟลาวัวร์และสตาร์ชจากหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	32
3.7 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ.....	32

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	33
4.1 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวัวร์และสตาร์ชจากหัวจันทน์ที่อายุ การเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่แตกต่างกัน.....	33
4.2 ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของฟลาวัวร์และสตาร์ชจากหัวจันทน์ที่อายุ การเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่แตกต่างกัน.....	37
4.3 ปริมาณผลผลิตที่ได้ของฟลาวัวร์และสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่ง เพาะปลูกต่างกัน.....	58
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	61
ข้อเสนอแนะ.....	62
บรรณานุกรม.....	63
ภาคผนวก.....	67
ก วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี.....	68
ข วิธีวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ.....	73
ค ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของฟลาวัวร์และสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยว และแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	79
ง ภาพการเปลี่ยนแปลงความชื้นหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการ ทำให้เย็น (pasting properties) ด้วยเครื่อง Brabender Amylograph และภาพสมบัติ ทางความร้อน ด้วยเครื่อง DSC ของฟลาวัวร์และสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยว และแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกัน	100
ประวัติผู้เขียน.....	114

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ปริมาณสารอาหารของเห็ดจีนสด.....	6
2.2 สมบัติที่แตกต่างกันของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน.....	7
2.3 ลักษณะ โครงสร้างและปริมาณผลึกของแป้งแต่ละชนิด.....	18
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวอร์เห็ดจีนที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน	34
4.2 องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชเห็ดจีนที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน	35
4.3 ผลการวัดค่าความเป็นกรดต่างของฟลาวอร์และสตาร์ชเห็ดจีนที่อายุการเก็บเกี่ยวและ แหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	40
4.4 ผลการวัดค่าสีของฟลาวอร์เห็ดจีนที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน	42
4.5 ผลการวัดค่าสีของสตาร์ชเห็ดจีนที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน	45
4.6 การเปลี่ยนแปลงของความชื้นหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำ ให้เย็นของฟลาวอร์เห็ดจีนที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	55
4.7 การเปลี่ยนแปลงของความชื้นหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำ ให้เย็นของสตาร์ชเห็ดจีนที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	56
4.8 สมบัติทางความร้อนของสตาร์ชเห็ดจีนที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน	58
4.9 ปริมาณผลผลิตที่ได้ของฟลาวอร์และสตาร์ชเห็ดจีนที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูก ต่างกัน.....	59
ก.1 ค่ามาตรฐานการดูดกลืนแสงในการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์	72
ค.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้นจากฟลาวอร์เห็ดจีนที่อายุการเก็บเกี่ยว และแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	79
ค.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณโปรตีนจากฟลาวอร์เห็ดจีนที่อายุการเก็บเกี่ยว และแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	79
ค.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณไขมันจากฟลาวอร์เห็ดจีนที่อายุการเก็บเกี่ยว และแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	80
ค.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณเส้นใยจากฟลาวอร์เห็ดจีนที่อายุการเก็บเกี่ยว และแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	80
ค.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณเถ้าจากฟลาวอร์เห็ดจีนที่อายุการเก็บเกี่ยว และแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	81

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค.6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณคาร์โบไฮเดรตจากฟลาวัวร์แห้งจลินที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	81
ค.7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากฟลาวัวร์แห้งจลินที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	82
ค.8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า pH จากฟลาวัวร์แห้งจลินที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	82
ค.9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า L* จากฟลาวัวร์แห้งจลินที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	83
ค.10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า a* จากฟลาวัวร์แห้งจลินที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	83
ค.11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า b* จากฟลาวัวร์แห้งจลินที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	84
ค.12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเข้มสี (Chroma) จากฟลาวัวร์แห้งจลินที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	84
ค.13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉดสี (Hue angle) จากฟลาวัวร์แห้งจลินที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	85
ค.14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของดัชนีความขาว (Whiteness index) จากฟลาวัวร์แห้งจลินที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	85
ค.15 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิเริ่มหนืด (beginning viscosity) จากฟลาวัวร์แห้งจลินที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	86
ค.16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) จากฟลาวัวร์แห้งจลินที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	86
ค.17 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคงทนของเม็ดแป้งต่ออุณหภูมิ (breakdown) จากฟลาวัวร์แห้งจลินที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	87
ค.18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการคืนตัว (set back) จากฟลาวัวร์แห้งจลินที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	87

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค.19 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้นจากสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุ การเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	88
ค.20 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณโปรตีนจากสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุ การเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	88
ค.21 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณไขมันจากสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการ เก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	89
ค.22 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณเส้นใยจากสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุ การเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	89
ค.23 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณเถ้าจากสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการ เก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	90
ค.24 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณคาร์โบไฮเดรตจากสตาร์ชหัวจันทน์ ที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	90
ค.25 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากสตาร์ชหัวจันทน์ที่ อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	91
ค.26 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแป้งจากสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการ เก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	91
ค.27 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณอะมิโลสจากสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุ การเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	92
ค.28 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า pH จากสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บ เกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	92
ค.29 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า L* จากสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บ เกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	93
ค.30 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า a* จากสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บ เกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	93
ค.31 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า b* จากสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บ เกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	94

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค.32 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเข้มสี (Chroma) จากสตาร์ชหัว จิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	94
ค.33 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเจดสี (Hue angle) จากสตาร์ชหัวจิ้นที่อายุ การเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	95
ค.34 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของดัชนีความขาว (Whiteness index) จาก สตาร์ชหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	95
ค.35 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิเริ่มหนืด (beginning viscosity) จากสตาร์ชหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	96
ค.36 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) จาก สตาร์ชหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	96
ค.37 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคงทนของเม็ดแป้งต่ออุณหภูมิ (breakdown) จากสตาร์ชหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	97
ค.38 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการคืนตัว (set back) จากสตาร์ชหัวจิ้น ที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	97
ค.39 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลง (To) จาก สตาร์ชหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	98
ค.40 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสูงสุด (Tp) จากสตาร์ชหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	98
ค.41 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิสุดท้ายที่เกิดเจลาคีไนซ์ (Tc) จาก สตาร์ชหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	99
ค.42 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลาคีไนซ์ (ΔH) จาก สตาร์ชหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน.....	99

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของอะไมโลส.....	8
2.2 การจับตัวของอะมิโลสกับสารอินทรีย์.....	9
2.3 โครงสร้างของอะมิโลเพคติน.....	9
2.4 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งในระหว่างการหุงต้ม.....	11
2.5 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมื่อให้ความร้อน.....	12
2.6 การเกิดรีโทรเกรเดชัน.....	13
2.7 การพองตัวของเม็ดแป้ง.....	14
2.8 ผลของ pH ต่อความหนืดของแป้งชนิดต่าง ๆ.....	15
2.9 โครงสร้าง lamellar ของเม็ดสตาร์ช.....	16
2.10 รูปแบบ A- and B-type ของอะมิโลส.....	16
2.11 X-ray diffraction ของแป้งที่มีโครงสร้างผลึกต่างกัน.....	17
2.12 ภาพแสดงคลื่นความร้อนจากเครื่อง DSC ของแป้ง.....	21
3.1 กระบวนการผลิตฟลาวัวร์จากหัวจิ้น.....	28
3.2 กระบวนการผลิตสตาร์ชจากหัวจิ้น.....	29
4.1 ขนาดและลักษณะของเม็ดแป้งของสตาร์ชจากหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน.....	38
4.2 สีของฟลาวัวร์หัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่แตกต่างกัน.....	41
4.3 สีของสตาร์ชหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่แตกต่างกัน.....	44
4.4 ลักษณะของผลึกโมเลกุลแป้งของสตาร์ชจากหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน.....	47
4.5 ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคแป้งของสตาร์ชจากหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยว ที่แตกต่างกัน.....	49
4.6 กำลังการพองตัวและความสามารถในการละลายของฟลาวัวร์หัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยว และแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกัน.....	50
4.7 กำลังการพองตัวและความสามารถในการละลายของสตาร์ชหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยว และแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกัน.....	52
4.8 ค่าความคงตัวของการละลายน้ำแข็ง (syneresis) ของฟลาวัวร์หัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยว และแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกัน.....	53

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.9 ค่าความคงตัวของสารละลายน้ำแข็ง (syneresis) ของสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกัน.....	54
ก.1 กราฟมาตรฐานของสารละลายกลูโคส.....	71
ข.1 การบรรยายสีพื้นในระบบ CIE Lab ในรูป 3 มิติ.....	74
ข.2 การวัดการเปลี่ยนแปลงความชื้นหนืดของน้ำแป้งจากฟลาวร์และสตาร์ชหัวจันทน์ในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็น (pasting properties) ด้วยเครื่อง Brabender Visco-Amylograph.....	77
ข.3 กราฟการวัดการเปลี่ยนแปลงความชื้นหนืดของน้ำแป้งจากฟลาวร์และสตาร์ชหัวจันทน์ในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็น (pasting properties) ที่ได้จากเครื่อง Brabender Visco- Amylograph.....	77
ข.4 DSC curve ของสตาร์ชจากหัวจันทน์.....	78
ง.1 การเปลี่ยนแปลงความชื้นหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็นด้วยเครื่อง Brabender Amylograph ของฟลาวร์หัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะอ่อน (7 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 1.....	100
ง.2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็นด้วยเครื่อง Brabender Amylograph ของฟลาวร์หัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะอ่อน (7 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 2.....	100
ง.3 การเปลี่ยนแปลงความชื้นหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็นด้วยเครื่อง Brabender Amylograph ของฟลาวร์หัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะอ่อน (7 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 3.....	101
ง.4 การเปลี่ยนแปลงความชื้นหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็นด้วยเครื่อง Brabender Amylograph ของฟลาวร์หัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะกลาง (9 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 1.....	102

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ง.14 การเปลี่ยนแปลงความข้นหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็นด้วยเครื่อง Brabender Amylograph ของสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะกลาง (9 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 2.....	107
ง.15 การเปลี่ยนแปลงความข้นหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็นด้วยเครื่อง Brabender Amylograph ของสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะกลาง (9 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 3.....	107
ง.16 การเปลี่ยนแปลงความข้นหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็นด้วยเครื่อง Brabender Amylograph ของสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะแก่ (12 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 1.....	108
ง.17 การเปลี่ยนแปลงความข้นหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็นด้วยเครื่อง Brabender Amylograph ของสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะแก่ (12 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 2.....	108
ง.18 การเปลี่ยนแปลงความข้นหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็นด้วยเครื่อง Brabender Amylograph ของสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะแก่ (12 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 3.....	109
ง.19 เทอร์โมแกรมการเกิดเจลลาคติในเซชันของสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะอ่อน (7 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 1.....	109
ง.20 เทอร์โมแกรมการเกิดเจลลาคติในเซชันของสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะอ่อน (7 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 2.....	110
ง.21 เทอร์โมแกรมการเกิดเจลลาคติในเซชันของสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะอ่อน (7 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 3.....	110
ง.22 เทอร์โมแกรมการเกิดเจลลาคติในเซชันของสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะกลาง (9 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 1.....	111
ง.23 เทอร์โมแกรมการเกิดเจลลาคติในเซชันของสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะกลาง (9 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 2.....	111
ง.24 เทอร์โมแกรมการเกิดเจลลาคติในเซชันของสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะกลาง (9 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 3.....	112

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ง.25 เทอร์โมแกรมการเกิดเจลาตินในเซชันของสตาร์ชแห้งเงินที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะแก่ (12 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 1.....	112
ง.26 เทอร์โมแกรมการเกิดเจลาตินในเซชันของสตาร์ชแห้งเงินที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะแก่ (12 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 2.....	113
ง.27 เทอร์โมแกรมการเกิดเจลาตินในเซชันของสตาร์ชแห้งเงินที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะแก่ (12 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 3.....	113

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แห้วจีน (*Eleocharis dulcis* Trin.) มีชื่อภาษาอังกฤษว่า วอร์เทอร์นัท (waternut) หรือไซนิสวอร์เทอร์เชสต์นัท (Chinese water chestnut) หรือ มาไต (Matai) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า เอลิโอชาร์ิสดัลซิส ทริน (*Eleocharis dulcis* Trin.) และมีชื่ออื่นอีก ได้แก่ *E. tuberosa* Schult. หรือ *Scirpus tuberosus* Roxb. อยู่ในตระกูล Cyperaceae เชื่อกันว่ามีแหล่งกำเนิดมาจากจีนตอนใต้ เป็นส่วนประกอบในอาหารจีนหลายชนิดและยังนิยมบริโภคทั่วทั้งเอเชียตะวันออกเฉียงใต้รวมทั้งประเทศไทย สำหรับประเทศไทยมีผู้นำแห้วจีนมาปลูกที่จังหวัดเชียงรายเมื่อนานมาแล้ว และได้นำมาปลูกในเขตอำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี เมื่อปี พ.ศ. 2493 โดยจังหวัดสุพรรณบุรีมีแหล่งเพาะปลูกที่สำคัญ คือ อำเภอศรีประจันต์ ในตำบลวังยาง ตำบลมดแดง และตำบลศรีประจันต์ ซึ่งมูลค่าของการซื้อขายแห้วในแต่ละปีประมาณ 500 - 600 ล้านบาท (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2547) แห้วเป็นพืชดั้งเดิมของแถบร้อน ขึ้นเองตามธรรมชาติ เป็นพืชปีเดียวขึ้นในน้ำเหมือนข้าว ต้นเล็กเรียกลำต้นหอม หรือใบกอก หรือใบหญ้าทรงกระเทียม ใบน้อย หัวเป็นประเภทคอร์ม (corm) สีน้ำตาลไหม้ ออกม่วงเข้ม หัวกลมมีลักษณะคล้ายหอมหัวใหญ่แต่ขนาดเล็กกว่ามาก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 - 4 เซนติเมตร เมื่อปลอกเอาเปลือกออกเนื้อแห้วมีสีขาว ปัจจุบันมีการปลูกแห้วเป็นการค้าในประเทศจีน ฮองกง ฟิลิปปินส์ สหรัฐอเมริกา (รัฐฮาวาย) อินเดีย อเมริกาใต้ และประเทศไทย โดยในประเทศไทยมีการปลูกแห้วมากแถวสองฝั่งแม่น้ำท่าจีน เขตอำเภอเมือง อำเภอศรีประจันต์ อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี ปรากฏว่าปลูกได้ผลดี ทำกำไรมากมายให้แก่ผู้ปลูก จึงมีการปลูกแห้วเพิ่มขึ้นและขยายเนื้อที่ออกไป และส่วนใหญ่จะขายในรูปหัวแห้วสด ซึ่งได้ราคาไม่ดีนัก ทำให้เกษตรกรผู้ปลูกแห้วประสบปัญหาขายผลผลิตแห้วไม่ได้ตามที่ต้องการ (กรมวิชาการเกษตร, 2545) แต่เนื่องจากแห้วจีนเป็นพืชหัวซึ่งมีสตาร์ช (starch) เป็นองค์ประกอบ โดยมีรายงานว่าแห้วจีนประกอบด้วยสตาร์ชรวมทั้งโอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharides) และโมโนแซคคาไรด์ (monosaccharide) มากกว่า 86 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง และแห้วจีนยังอุดมด้วยสารอาหารที่เป็นประโยชน์มากมาย หัวแห้วจีนประกอบด้วยไขมันน้อยมาก เป็นแหล่งที่ดีของโปแตสเซียม รวมทั้งยังมีสมบัติทางยา (medical properties) ที่ดีอีกด้วย มีสมบัติลดไข้ แก้อ่อนใน ช่วยแก้อาการคลื่นไส้อาเจียน เพิ่มความอยากอาหารในเด็ก แห้วจีนมีสมบัติในการแก้พิษ แก้ไอ และช่วยแก้อาการของโรคหัด (Anonymous, 2010) ซึ่งฟลาวอร์และสตาร์ช แห้วจีนจากแหล่งเพาะปลูกที่แตกต่างกันจะให้สมบัติที่ต่างกันทั้งทางด้านเคมี (chemical properties) เคมีกายภาพ (physicochemical properties)

และอื่น ๆ โดยเฉพาะระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกันจะมีผลต่อคุณสมบัติของฟลาวัวร์และสตาร์ชที่แตกต่างกัน ทำให้การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารแตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาถึงสมบัติต่าง ๆ ของฟลาวัวร์และสตาร์ช ที่อายุการเก็บเกี่ยวและ จากแหล่งเพาะปลูกต่างๆ สำหรับหัวจินนั้น มีงานวิจัยที่ศึกษาสมบัติต่างๆ ของฟลาวัวร์และสตาร์ชจากหัวจินที่ค่อนข้างมีปริมาณจำกัด ดังนั้นการศึกษานี้จึงได้ทำการศึกษากระบวนการผลิต แป้งฟลาวัวร์ (flour) ซึ่งใช้กระบวนการโม่แบบแห้ง (dry milling) และสตาร์ชจากหัวจินที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกัน ซึ่งใช้กระบวนการโม่แบบเปียก (wet milling) จากนั้นนำฟลาวัวร์และสตาร์ชหัวจินที่ได้มาทำการศึกษาการองค์ประกอบและสมบัติทางเคมีกายภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาองค์ประกอบและสมบัติทางเคมีกายภาพของฟลาวัวร์และสตาร์ชหัวจินที่มีอายุเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกัน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาองค์ประกอบและสมบัติทางเคมี สมบัติทางเคมีกายภาพทั้งทางด้านรูปพรรณสัณฐานของเม็ดแป้ง รูปแบบผลึกของโมเลกุลแป้ง (X-ray diffraction pattern) กำลังการพองตัว (swelling power) ความสามารถในการละลาย (solubility) ความคงตัวต่อการละลายน้ำแข็ง (syneresis) การเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting properties) สมบัติทางด้านความร้อน (thermal properties) ของฟลาวัวร์และสตาร์ชจากหัวจินที่มีอายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกัน จากแหล่งเพาะปลูก 3 แหล่ง และอายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน (7, 9 และ 12 เดือน)

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้ คือ ทราบถึงองค์ประกอบและสมบัติต่าง ๆ ของฟลาวัวร์และสตาร์ชหัวจินที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกัน ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญในการนำไปใช้ประเมินศักยภาพในการที่จะประยุกต์ใช้ประโยชน์จากหัวจิน เป็นแนวทางในการพัฒนา ปรับปรุงและนำมาประยุกต์ใช้ในกลุ่มผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อให้มีลักษณะที่โดดเด่นมากยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าของหัวจิน ให้สูงขึ้น และช่วยให้ผลผลิตจากหัวจินสามารถเก็บรักษาได้นานขึ้นโดยการนำมาแปรรูป โดยเฉพาะช่วงที่มีผลผลิตหัวจินล้นตลาด

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 แห้ว (ผาณิต, 2549)

แห้วเป็นพืชดั้งเดิมของแถบร้อน สามารถขึ้นเองตามธรรมชาติ โดยเฉพาะประเทศในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ปัจจุบันมีการปลูกแห้วเป็นการค้าในประเทศจีน ฮองกง ฟิลิปปินส์ สหรัฐอเมริกา อินเดีย อเมริกาใต้ และ ประเทศไทย สำหรับประเทศไทยมีการปลูกแห้วมากแถวสองฝั่งแม่น้ำท่าจีน เขตอำเภอเมือง อำเภอศรีประจันต์ อำเภอสามชูก จังหวัดสุพรรณบุรี ชนิดของแห้วที่นิยมปลูกมี 3 ชนิด คือ

1.) แห้วหมู ลักษณะของแห้วหมูมีหัวกลมขนาดเล็ก สั้น มีตาจำนวนมาก เมื่อแก่เต็มที่จะมีสีดำ ใบมีลักษณะเรียวยาว กลางใบเป็นสันร่อง มักขึ้นในดินร่วนปนทราย แห้วหมูมีคุณสมบัติเป็นสมุนไพร ซึ่งหัวมีรสเฝื่อนเล็กน้อย ใช้ขับลม ส่วนสารสกัดจากรากมีฤทธิ์ขับปัสสาวะ

2.) แห้วไทย ลักษณะของแห้วไทยมีผิวสีดำ บริเวณเปลือกจะแข็งมีริ้วรอย เมื่อปอกเปลือกออก เนื้อมีสีขาวนวล ถ้าสุกจะมีสีเหลืองอ่อนใส ลักษณะใบเป็นสามเหลี่ยม ลำต้นโตขนาด 4 - 5 เซนติเมตร สูง 70 - 80 เซนติเมตร

3.) แห้วจีน ลักษณะของแห้วจีนมีขนาดหัวโตกว่าแห้วไทย หัวกลมมีลักษณะคล้ายหอมหัวใหญ่แต่ขนาดเล็กกว่ามาก สีน้ำตาลไหม้ เมื่อปอกเปลือกออกเนื้อมีสีขาว ต้นเล็กเรียวยาว ใบกลมคล้ายหญ้าทรงกระเทียม

2.1.2 ลักษณะทั่วไปของแห้วจีน (โครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, 2540)

แห้วเป็นพืชปีเดียวขึ้นในน้ำเหมือนข้าว ลำต้นเล็กเรียวยาวคล้ายต้นหอม มีใบคล้ายใบกก หรือใบหญ้าทรงกระเทียม มีรากเป็นแบบรากฝอย ส่วนหัวเป็นประเภทคอร์น (corn) สีน้ำตาลไหม้ หัวกลมมีลักษณะคล้ายหอมหัวใหญ่ แต่ขนาดเล็กกว่ามาก ตามปกติมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวประมาณ 1 - 4 เซนติเมตร เนื้อมีสีขาว

2.1.3 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

แห้วจีน มีชื่อภาษาอังกฤษว่า วอเตอร์นัท (waternut) หรือไชนิส วอเตอร์เชสต์นัท (Chinese water chestnut) หรือ มาไต (Matai) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า เอลิโอชาร์ซิสดัลซิส ตริน (*Eleocharis dulcis* Trin.) มีชื่ออื่นอีก ได้แก่ อี ทูเบอโรซา ชูลท์ (*E. tuberosa* Schult.) หรือ ชิปัสทูเบอโรซัส รอกซ์บ์ (*Scirpus tuberosus* Roxb.) อยู่ในตระกูลไซเปอราซี (Cyperaceae) เป็นกกชนิดหนึ่งคล้ายกับหญ้าทรงกระเทียม แต่เป็นคนละชนิด (speice) กัน แห้วเป็นพืชปีเดียว ลำต้นแข็ง อวบน้ำ

กลาง ตั้งตรง มีความสูง 1 - 1.5 เมตร ดอกเกิดที่ยอดของลำต้น ดอกตัวเมียเกิดเมื่อต้นสูง 15 เซนติเมตร เหนือน้ำแล้วจึงเกิดดอกตัวผู้ตามมา เมล็ดมีขนาดเล็ก รากหรือหัวเป็นพวกไรโซม หรือ คอรัม (rhizomes or corms) มี 2 ประเภท หัวประเภทแรกเกิดเมื่อต้นหัวอายุ 6 - 8 สัปดาห์ ทำให้เกิดต้นหัวขยายเพิ่มขึ้น หัวประเภทที่สองเกิดหลังจากหัวออกดอกเล็กน้อยโดยทำมุม 45 องศากับระดับดิน หัวหัวระยะเริ่มแรกเป็นสีขาว ต่อมาเกิดเป็นเกล็ดหุ้มสีน้ำตาลไหม้จนกระทั่งแก่หัวมีขนาดแตกต่างกัน ขนาดที่ส่งตลาด 2 - 3.5 เซนติเมตร ต้นหนึ่ง ๆ แรกหน่อออกไปมากและได้หัวประมาณ 7 - 10 หัว

2.1.4 วิธีการปลูก

หัวเป็นพืชที่ขึ้นในน้ำ ขึ้นได้ดีในแหล่งที่มีการให้น้ำได้ตลอดปี ชอบอากาศอบอุ่นเกือบตลอดปี ในการงอกต้องการอุณหภูมิในดินประมาณ 14 - 14.5 องศาเซลเซียส ฤดูปลูกที่เหมาะสมจึงควรเป็นต้นฤดูฝน ประมาณเดือนมีนาคม - เมษายน เพื่อให้มีน้ำเพียงพอ เริ่มเพาะเดือนมีนาคม - เมษายน ย้ายลงปลูกในแปลงใหญ่ได้ในราวเดือน พฤษภาคม - กรกฎาคม ฤดูเดียวกับการทำนา

2.1.4.1 การเลือกและการเตรียมที่

หัวขึ้นได้ในดินเหนียวหรือดินร่วน pH 6.9 - 7.3 ขึ้นได้ในที่ราบ จนถึงที่สูงถึง 1,200 เมตร เตรียมดินโดยทำการไถ พรวนให้ดินร่วนดี กำจัดวัชพืชให้หมด เหมือนการเตรียมดินปลูกข้าว

2.1.4.2 วิธีปลูก

หัวปลูกโดยใช้หัวเล็กๆ สามารถปลูกได้ 2 วิธี วิธีแรกเพาะหัวหัวในแปลงเพาะเสียก่อนคล้ายปลูกหอม แต่ละหัวห่างกัน 3 - 4 เซนติเมตร ทำร่มรดน้ำ จนกระทั่งต้นหัวสูงประมาณ 20 - 30 เซนติเมตร ในราว 15 - 20 วัน จึงย้ายลงปลูกในแปลงเพาะปลูกห่างกันราว 90 - 100 เซนติเมตร นานราว 2 เดือน เมื่อแตกหน่อจึงใช้หน่อไปปลูกในแปลงใหญ่ โดยปักดำคล้ายดำนา วิธีนี้ปลูกในเนื้อที่ไม่มาก อีกวิธีหนึ่งปลูกหัวหัวลงแปลงใหญ่เลย ไม่ต้องเพาะก่อน ถ้าเนื้อที่ไม่มากใช้มือปลูก ปลูกลงในหลุมลึก 10 - 12 เซนติเมตร แต่ในเนื้อที่มาก ๆ เช่น ในต่างประเทศ ปลูกด้วยมือไม่ทันต้องใช้เครื่องปลูกโดยเปิดร่องเสียก่อนแล้วหยอดหัวหัวลงในร่องให้ห่างกันตามที่ต้องการแล้วกลบ ระยะปลูกที่ใช้กันในสหรัฐอเมริกา ระยะระหว่างแถว 75 เซนติเมตร ระหว่างหลุม 75 เซนติเมตร ในประเทศจีนปลูกเป็นรูปสามเหลี่ยม ระหว่างต้นห่างกัน 45 - 60 เซนติเมตร สำหรับเกษตรกรไทยใช้ระยะปลูกห่างกันประมาณ 100 เซนติเมตร

2.1.5 การดูแลรักษา

2.1.5.1 การให้น้ำ

หลังจากปลูกหัวแล้วรดน้ำเข้าให้ท่วมแปลงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้ระบายออกเมื่อต้นหัวสูงประมาณ 20 - 30 เซนติเมตร รดน้ำเข้าให้ระดับน้ำสูงประมาณ

10 - 15 เซนติเมตร เมื่อต้นเหี่ยวสูงขึ้นเพิ่มน้ำขึ้นเรื่อย ๆ จนเหี่ยวสูงประมาณ 50 - 60 เซนติเมตร ให้น้ำ 25 - 30 เซนติเมตร จนตลอดฤดูปลูก

2.1.5.2 การกำจัดวัชพืช

ถ้าได้เตรียมดินและกำจัดวัชพืชอย่างดีแล้วก่อนปลูกเกือบจะไม่ต้องกำจัดวัชพืช ในต่างประเทศใช้สารเคมีป้องกันกำจัดวัชพืช เช่น 2,4 - D เกษตรกรไทยยังไม่มีการใช้สารเคมีดังกล่าว จะกำจัดด้วยแรงงานหรือไม่กำจัดเลย

2.1.5.3 การใส่ปุ๋ย

การปลูกเหี่ยวในต่างประเทศ ใส่ปุ๋ยผสมเกรดสูง ๆ ในอัตรา 400 กิโลกรัมต่อไร่ ครั้งหนึ่งใส่ก่อนปลูก อีกครั้งหนึ่งหลังปลูก 8 - 10 สัปดาห์ วิธีใส่ปุ๋ยครั้งนี้ ใช้วิธีหว่านเหมือนใส่ปุ๋ยในนาข้าว ถ้าปล่อยน้ำให้แห้งก่อนได้ก็ดี หว่านปุ๋ยแล้วปล่อยน้ำเข้า

2.1.5.4 โรคและแมลง

โรคและแมลงที่ร้ายแรงไม่มี แมลงที่พบเสมอ ได้แก่ ตั๊กแตน เพลี้ยไฟ ถ้าปลูกในดินที่เป็นกรดคือ pH 5.5 มักเกิดโรคซึ่งเกิดจากเชื้อรา ศัตรูที่พบบนนอกจากโรคแมลงได้แก่ ปูและปลากัด กินต้นอ่อน

2.1.6 การเก็บหัวและรักษา (ชวีชัย และคณะ, 2550)

เหี่ยวมีอายุประมาณ 7 - 8 เดือน เมื่อเหี่ยวเริ่มแก่ คือ ใบเหี่ยวเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและสีน้ำตาล ผิวนอกของหัวเป็นสีน้ำตาลไหม้ แสดงว่าเริ่มทำการเก็บได้ ประมาณเดือนพฤศจิกายน - ธันวาคม ระยะเวลาเดียวกับเก็บเกี่ยวข้าว เก็บเหี่ยวโดยปล่อยน้ำออกก่อนถึงเวลาเก็บ 3 - 4 สัปดาห์ เพื่อให้ดินแห้ง เก็บโดยขุดแล้วล้างหัว ผึ่งให้แห้ง ถ้าปลูกมากอาจเก็บโดยใช้ไถ ไถลึกประมาณ 15 เซนติเมตร พลิกหัวขึ้นมาแล้วเลือกหัวเหี่ยวล้างน้ำ สำหรับรายที่ไม่สามารถระบายน้ำออกได้ ซึ่งได้แก่ การปลูกในจังหวัดสุพรรณบุรี ต้องเก็บเหี่ยว โดยการใช้มือลงไปงมขึ้นมาเรียกว่า "งมเหี่ยว" ในต่างประเทศผลิตหัวเหี่ยวสดประมาณ 3.2 - 6.4 ตันต่อไร่ สำหรับประเทศไทยผลิตประมาณ 3 - 4 ตันต่อไร่ หรือประมาณ 300 ถึง ขนาดของหัว 3 - 3.5 เซนติเมตร

หัวเหี่ยวสามารถเก็บรักษาไว้ได้ โดยตากให้แห้งบรรจุในภาชนะที่รักษาความชื้นได้ หรือเก็บในอุณหภูมิ 1 - 4 องศาเซลเซียส ได้นานกว่า 6 เดือนขึ้นไป เกษตรกรสามารถเก็บรักษาหัวเหี่ยวไว้ได้เองโดยเก็บในภาชนะปิดสนิท เช่น ตุ่ม ลัง ไม้หรือทรายแห้งสนิท เก็บได้นานประมาณ 6 เดือน ถ้าอยู่ในอุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส หัวเหี่ยวจะงอก

2.1.7 ประโยชน์และสรรพคุณ

หัวเหี่ยวประกอบด้วยส่วนที่กินได้ 46 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เป็นของแข็งประมาณ 22 เปอร์เซ็นต์ ในจำนวนนี้เป็นโปรตีน 1.6 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต และเส้นใยต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ จากการวิเคราะห์ของกองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข พบว่าในเนื้อหัวเหี่ยวจีนมีคุณค่าทางโภชนาการแสดงดังตารางที่ 2.1 (สำนักงานพาณิชย์จังหวัดสุพรรณบุรี, 2537)

ตารางที่ 2.1 ปริมาณสารอาหารในเห้วจีนสด 100 กรัม

สารอาหาร	ปริมาณ (หน่วย)
น้ำ	48.2 กรัม
โปรตีน	3.4 กรัม
ไขมัน	0.2 กรัม
คาร์โบไฮเดรต	32.1 กรัม
น้ำตาล	3.3 กรัม
พลังงาน	730 กิโลจูล
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)

สำหรับสรรพคุณทางยาของเห้วจีนนั้น เห้วจีนมีสารที่ชื่อว่า “Puchin” ซึ่งมีสรรพคุณในการช่วยต่อต้านเชื้อแบคทีเรียได้เป็นอย่างดี นอกจากนั้นผลของเห้วก็ยังมีสรรพคุณในการบำรุงร่างกาย แก้อาการกระหายน้ำ อาหารไม่ย่อย ท้องผูก และแก้อาการเป็นพิษเนื่องจากการดื่มสุรา (ดวงจันทร์, 2546)

ในตำรับยาแผนโบราณกล่าวว่า หากนำเอาเนื้อของผลเห้วสดมาฉุนในบริเวณที่เป็นหูดอย่างต่อเนื่องแล้วก็จะทำให้ก้อนหูดนั้นมลงได้ หรือหากรับประทานผลเห้วจีนสดเป็นประจำจะช่วยบรรเทาอาการของโรคริดสีดวงทวารได้ เช่นเดียวกับการดื่มน้ำเห้วจีนสดที่สามารถจะรักษาอาการพิษของสารประกอบจำพวกทองแดงได้ และคนโบราณ มีความเชื่อว่า เห้วจีนอุดมด้วยสารอาหารที่เป็นประโยชน์มากมาย หัวเห้วจีนประกอบด้วยไขมันน้อยมาก เป็นที่ดีของโปแตสเซียม มีสมบัติลดไข้ แก้อ่อนใน ช่วยแก้อาการคลื่นไส้อาเจียน เพิ่มความอยากอาหารในเด็ก เห้วจีนมีสมบัติในการแก้พิษ แก้ไอ และช่วยแก้อาการของโรคหัด (Anonymous, 2010)

หัวเห้วที่ซื้อขายได้ต้องมีขนาดอย่างน้อยประมาณเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เซนติเมตรขึ้นไป เนื้อเห้วมีสีขาว กรอบ รสหวานมัน หอม สามารถรับประทานสด ต้มสุก บรรจุกระป๋อง คั้นน้ำหรือจะดื่มน้ำขม หรือใช้ประกอบอาหารก็ได้ มักเป็นอาหารจีน หัวเห้วเล็ก ๆ ใช้เลี้ยงเป็ดและไก่ได้ดี หัวเห้วบางชนิดสามารถนำมาใช้ทำยา ดันหัวใช้เลี้ยงปลุกัตว์ ใช้ในการบรรจุหีบห่อผลไม้ ใช้ทำตะกร้าและทอเสื่อ และยังใช้ทำแปงได้อีกด้วย

2.1.8 แป้ง (starch)

แป้งเป็นโพลิเมอร์ของกลูโคสที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่มีสูตรทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ แป้งมีหน่วยพื้นฐานเป็น anhydroglucose unit เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ แอลฟา-glycosidic linkage ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของหน่วยกลูโคสกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของหน่วยกลูโคสที่อยู่ถัดไป ด้านปลายของโมเลกุลแป้งจะมี anomeric carbon (C1) ซึ่งว่างอยู่ไม่ได้จับกับโมเลกุลอื่น ๆ ดังนั้นแต่ละโมเลกุลของแป้งจะมีด้านปลายที่มีคุณสมบัติรีดิวซ์ (reducing end) นั่นคือ แป้งหนึ่งโมเลกุลจะมีตำแหน่ง reducing end 1 ตำแหน่ง โมเลกุลแป้งแบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลัก ๆ ตามขนาดโมเลกุลและลักษณะการจัดเรียงตัว คือ อะมิโลสซึ่งมีขนาดเล็กและมีกิ่งก้านสาขาเพียงเล็กน้อยและอะมิโลเพกตินซึ่งมีขนาดใหญ่และมีกิ่งก้านสาขามากมาย นอกจากนี้ยังพบโมเลกุลแป้งอีกชนิดหนึ่งซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าอะมิโลสแต่เล็กกว่าอะมิโลเพกติน เรียกว่า “intermediate material” แต่พบในปริมาณไม่มากนัก อะมิโลสและอะมิโลเพกตินมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน แสดงในตารางที่ 2.2

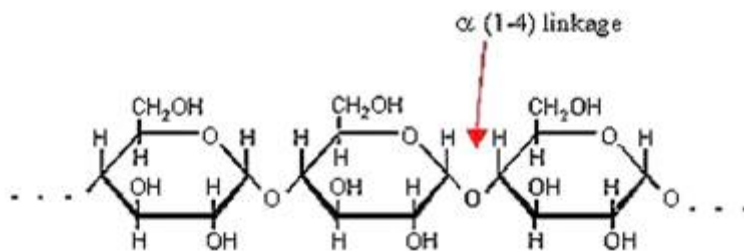
ตารางที่ 2.2 สมบัติที่แตกต่างกันของอะมิโลสและอะมิโลเพกติน

อะมิโลส	อะมิโลเพกติน
1. ประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะแอลฟา-1,4	1. โมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันด้วยพันธะแอลฟา-1,4 และมี การแตกกิ่งด้วยพันธะแอลฟา-1,6
2. ประกอบด้วยกลูโคส 200-6000 หน่วย	2. แต่ละกิ่งมีกลูโคส 20-25 หน่วย
3. ละลายน้ำได้น้อยกว่า	3. ละลายน้ำได้ดีกว่า
4. เมื่อต้มในน้ำจะมีความข้นหนืดน้อย	4. เมื่อต้มในน้ำจะข้นหนืดมากและใส
5. ให้สีน้ำเงินกับสารละลายไอโอดีน	5. ให้สีม่วงแดงหรือสีน้ำตาลแดงกับสารละลายไอโอดีน
6. ต้มแล้วทิ้งไว้จะจับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็งได้	6. ไม่จับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง

ที่มา : Bynum และ Roels (1985)

2.1.8.1 อะมิโลส (amylose)

อะมิโลสเป็นโพลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 1,000 - 6,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ แอลฟา-1, 4-glycosidic linkage ดังภาพที่ 2.1 ซึ่งอาจพบกิ่งก้านสาขาในโมเลกุลของอะมิโลสได้บ้างในปริมาณเล็กน้อย (Hizukuri, 1985)

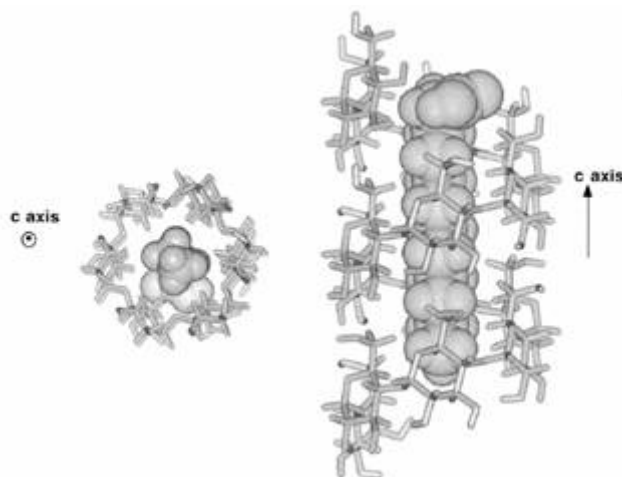


ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของอะไมโลส

ที่มา : Hizukuri (1985)

โดยทั่วไปแป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง มีปริมาณอะไมโลสสูง ประมาณ 22 - 30% ส่วนแป้งจากรากและหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งสาเก จะมีปริมาณ อะไมโลสต่ำกว่าคืออยู่ในช่วง 18 - 24% น้ำหนักโมเลกุลอะไมโลสอยู่ในช่วง 105 ถึง 106 คาลตัน โดย อะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันไป เนื่องจากแป้งแต่ละชนิดมี degree of polymerization (DP) ของอะไมโลสแตกต่างกัน แป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลัง มี DP ของอะไมโลส อยู่ในช่วง 1,000 ถึง 6,000 สูงกว่าแป้งข้าวโพดและแป้งสาลีซึ่งมี DP ของอะไมโลสในช่วง 200 ถึง 1,200 แป้งที่มีสายของอะไมโลสยาวมากจะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) ลดลง (Hizukuri, 1988)

อะไมโลสสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีนและสารประกอบอินทรีย์อื่น ๆ เช่น บิวทานอล กรดไขมัน สารลดแรงตึงผิว ฟีนอล และไฮโดรคาร์บอน สารประกอบเชิงซ้อนเหล่านี้จะไม่ละลายน้ำ โดยอะไมโลสจะพันเป็นเกลียวล้อมรอบสารประกอบอินทรีย์ (Gilliard และ Bowler, 1987) ดังภาพที่ 2.2 นอกจากนี้อะไมโลสที่รวมตัวกับไอโอดีนจะให้สีน้ำเงินม่วง ซึ่งใช้เป็นลักษณะเฉพาะที่บ่งบอกถึงแป้งที่มีอะไมโลสและใช้ในการตรวจสอบปริมาณอะไมโลสในแป้ง

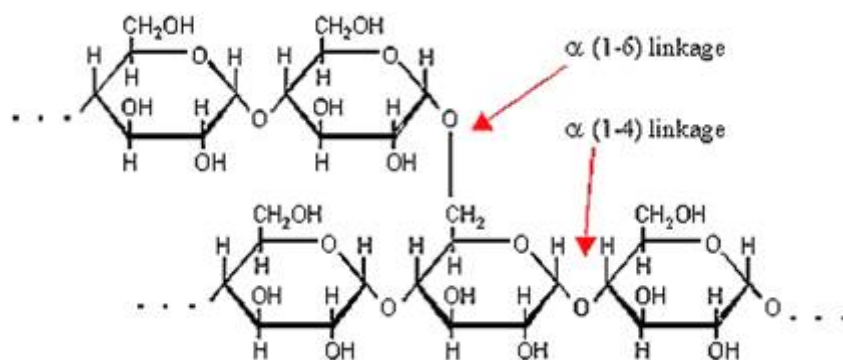


ภาพที่ 2.2 การจับตัวของอะมิโลสกับสารอินทรีย์

ที่มา : Buleon และคณะ (1998)

2.1.8.2 อะมิโลเพคติน (amylopectin)

อะมิโลเพคตินเป็นโพลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคส เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ แอลฟา-1, 4- glycosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นโพลิเมอร์ กลูโคสสายสั้นมี DP อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ แอลฟา-1, 6-glycosidic linkage ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของอะมิโลเพคติน

ที่มา : Hizukuri (1985)

หน่วยกลูโคสที่มีพันธะ แอลฟา -1, 6 glycosidic linkage มีอยู่ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณหน่วยกลูโคสในอะมิโลเพคตินทั้งหมด อะมิโลเพคตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของอะมิโลส คือ ประมาณ 107 ถึง 109 คาลตัน และมีการกิ่งตัวต่ำ เนื่องจากอะมิโลเพคตินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่ง อะมิโลเพคตินทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักของเม็ดแป้ง ดังนั้นเมื่อมี

อะมิโลเพคตินเพียงอย่างเดียว จึงยังสามารถรวมตัวเป็นเม็ดแป้งได้

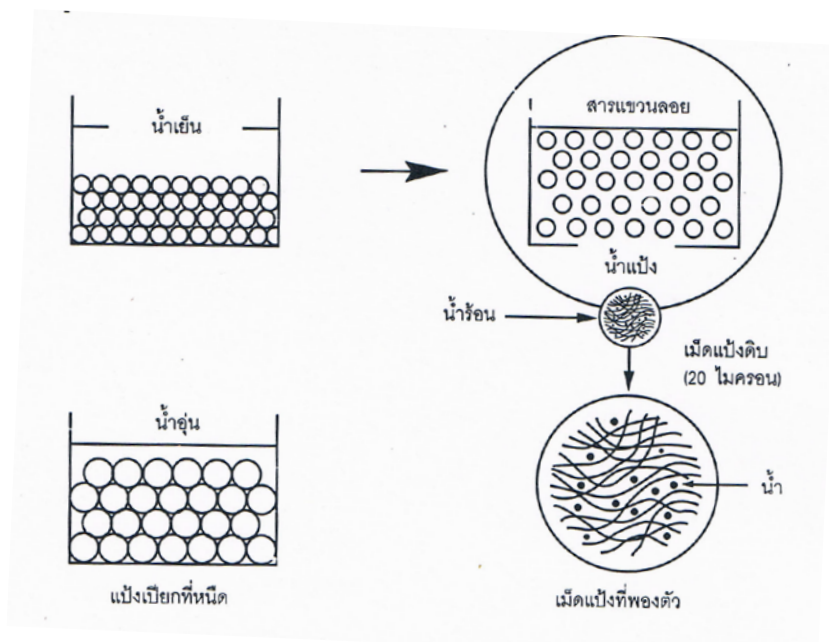
2.1.9 สมบัติของแป้ง (ศิริรจนา, 2554)

แป้งเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญ ในพืชมักพบอยู่ในส่วนของราก เมล็ด ต้น และผลบางชนิด ซึ่งอยู่ในรูปเม็ดแป้งขนาดเล็กตั้งแต่ 1 - 100 ไมครอน เม็ดแป้งจะมีขนาด รูปร่าง และลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง ในทางเคมีแล้วแป้งมีองค์ประกอบหลัก 2 ชนิดคือ อะมิโลสและอะมิโลเพคติน โดยแป้งแต่ละชนิดจะมีสัดส่วนอะมิโลส และอะมิโลเพคตินแตกต่างกันไป ซึ่งสัดส่วนอะมิโลสและอะมิโลเพคตินมีผลต่อสมบัติด้านต่าง ๆ ของแป้ง โดยมีผลต่อการพองตัวของเม็ดสตาร์ช ความใสและความหนืดของ paste แป้งที่มีอะมิโลสสูงจะคูดน้ำและมีการพองตัวของเม็ดสตาร์ชช้า จึงต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่าปกติเพื่อให้เกิดการพองตัวของเม็ดสตาร์ชอย่างสมบูรณ์ แต่ถ้ามีอะมิโลสในปริมาณที่สูงมาก เมื่อต้มในน้ำเดือดเม็ดสตาร์ชคูดน้ำได้น้อยเกินไปจนไม่สามารถพองตัวจนแตกออก ทำให้อะมิโลสไม่สามารถหลุดออกจากเม็ดสตาร์ชได้ ดังนั้นเมื่อทิ้งไว้ให้เย็นจะไม่เกิดเป็นเจล แต่ถ้าอะมิโลสต่ำเกินไปและมีอะมิโลเพคตินสูงเมื่อเย็นตัวลงจะไม่สามารถเกิดเป็นเจลได้เช่นกัน ซึ่งสมบัติที่สำคัญของแป้งมีดังนี้

2.1.10 สมบัติทางเคมีกายภาพของแป้ง

2.1.10.1 การเกิดเจลาตินในเซชัน (gelatinization)

โมเลกุลของประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl groups) จำนวนมาก อีกเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีคุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) แต่เนื่องจากเม็ดแป้งอยู่ในรูปร่างแห (micelles) ดังนั้นการจัดเรียงตัวลักษณะนี้จะทำให้เม็ด แป้งละลายในน้ำเย็นได้ยาก ดังนั้นในขณะที่แป้งอยู่ในน้ำเย็นเม็ด แป้งจะคูดน้ำและพองตัวได้จำกัดมาก ซึ่งจะสังเกตได้ยาก ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลอะมิโลสและอะมิโลเพคตินในส่วนที่เป็น crystallite จับตัวกันอย่างหนาแน่น แข็งแรงแป้งจึงไม่ละลายในน้ำเย็น แต่น้ำอาจจะซึมเข้าไปในส่วนของเม็ดแป้งซึ่งไม่เป็นระเบียบ และมีกลุ่มไฮดรอกซิลอิสระได้บ้าง แต่เมื่อให้ความร้อน กับสารละลายน้ำแป้ง จนถึงอุณหภูมิหนึ่งประมาณ 60 - 65 องศาเซลเซียส หรือใช้สารเคมี มีผลทำให้พันธะไฮโดรเจนคลายตัวลง การจับยึดกันระหว่างโมเลกุลของแป้งในส่วน crystallite ลดลง เกิดปฏิกิริยาการรับน้ำและการพองตัวของเม็ดแป้งซึ่งไม่สามารถผันกลับได้ (irreversible) ดังแสดงในภาพที่ 2.4 และทำให้สารละลายแป้งมีความหนืดและความใสเพิ่มขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลืออยู่รอบ ๆ เม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น ทำให้เกิดความหนืด ปฏิกิริยานี้เรียกว่า “การเกิดเจลาตินในเซชัน” (gelatinization)



ภาพที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งในระหว่างการหุงต้ม
ที่มา : ดัดแปลงจาก Sanders (1996)

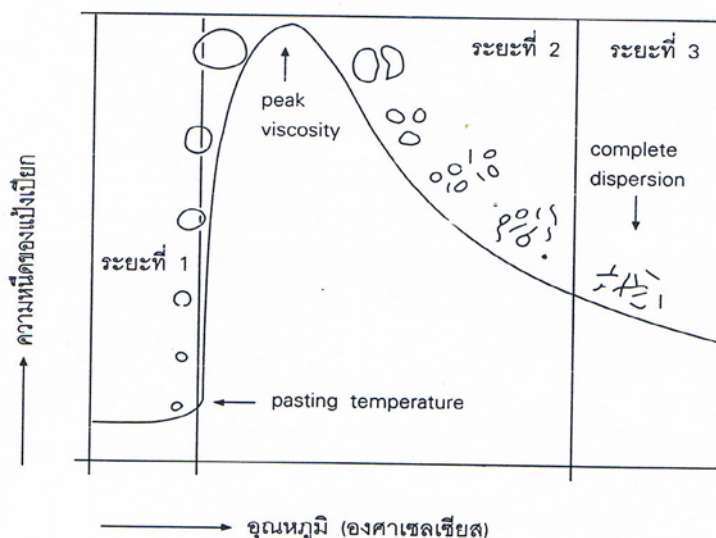
การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งจะให้ความร้อนมีลำดับการเปลี่ยนแปลงดังนี้

- 1.) เริ่มมีการพองตัวในส่วนที่เป็นระเบียบน้อยที่สุดคือในส่วน Amorphous
- 2.) การพองตัวจะทำให้เกิด tension ต่อ crystallites ที่อยู่ข้างเคียงทำให้โครงสร้างเสียหาย
- 3.) การให้ความร้อนต่อไปจะเกิด Uncoiling หรือการแตกตัวของ double helical region เกิด break up ของโครงสร้างผลึก side chain ของอะมิโลเพคตินที่แยกตัวออกมาจะถูก hydrate และมีการพองตัวไปในแนวรอบๆ ดังนั้นจะเกิด stress ต่อโครงสร้างผลึกที่ยังเหลืออยู่
- 4.) การเกิด hydration ต่อไปจะเพิ่ม mobility ของโมเลกุลทำให้เกิดการกระจายตัวของโมเลกุล
- 5.) โมเลกุลของอะมิโลสซึ่งมีขนาดเล็กจะแพร่ออกมาจาก swollen granule
- 6.) การให้ความร้อนต่อไปจะทำให้ granule แตกออกมากขึ้นจนในที่สุดได้เป็นสารละลาย

2.1.10.2 ความหนืด (viscosity)

ความหนืดเป็นสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญและเป็นประโยชน์มากที่สุดของแป้ง ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความหนืด ได้แก่ ชนิดของแป้ง ขนาดอนุภาค สัดส่วนของอะมิโลสต่ออะมิโลเพคติน และการตัดแปรรูปแป้งด้วยวิธีต่างๆ (กล้าณรงค์, 2550) แต่ที่มีผลมากที่สุดได้แก่ ชนิดของแป้ง พฤติกรรมความหนืดเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวและแตกต่างกันไปตามชนิดและพืชที่เป็นแหล่งของแป้ง เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวและมีความหนืดมากขึ้น (ภาพที่ 2.5) เม็ดแป้งซึ่งแขวนลอยในน้ำได้รับความร้อนจนถึงระดับหนึ่งจะพองตัวได้อย่างรวดเร็ว ให้ความหนืดเพิ่มขึ้นเร็วมาก อุณหภูมิที่น้ำแป้งมีความหนืด

เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วนี้เรียกว่า pasting temperature ความหนืดจะเพิ่มขึ้นจนถึงความหนืดสูงสุด (peak viscosity) จากนั้นอาจลดลงหรือคงที่ขึ้นกับชนิดของแป้ง การที่แป้งมีความหนืดสูงสุด เนื่องจากเมื่อเม็ดแป้งมีการพองตัวมากขึ้น และมีชิ้นส่วนของเม็ดแป้งหรือโมเลกุลของอะมิโลส และอะมิโลเพคตินบางส่วนที่แตกสลายออกมาอยู่ในสารละลาย เมื่อส่วนที่แตกสลายและละลาย ออกมามีมากกว่าการพองตัวที่เพิ่มขึ้น ความหนืดจะเริ่มลดลง ดังนั้นค่าความหนืดของน้ำแป้งสุกจะเป็นผลมาจากการพองตัวของเม็ดแป้ง และการแตกหักของเม็ดแป้งร่วมกับการละลายออกมาของ โมเลกุลแป้ง



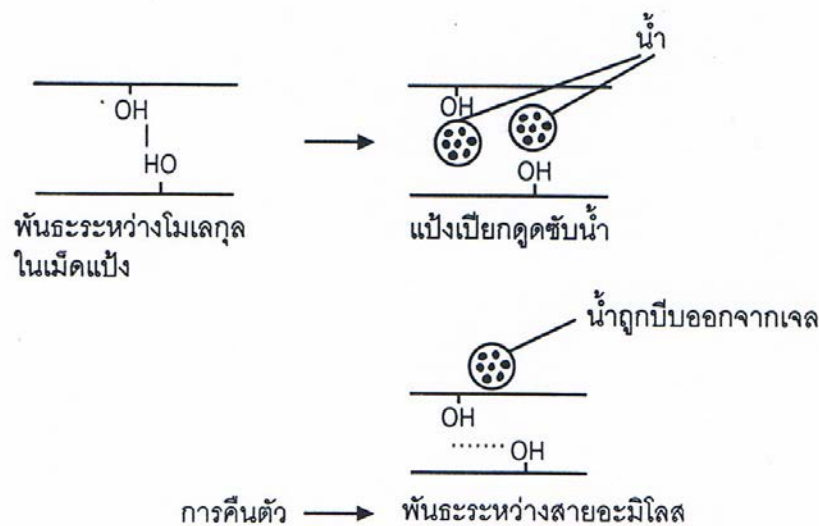
ภาพที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมื่อให้ความร้อน
ที่มา : ดัดแปลงจาก Sanders (1996)

เมื่อลดอุณหภูมิลง โมเลกุลอิสระที่กระจัดกระจายออกมา (โดยเฉพาะส่วนของอะมิโลส) ถ้ามีขนาดโมเลกุลที่เหมาะสมคือ ไม่สั้นและยาวเกินไปก็จะสามารถเคลื่อนที่เข้ามาจับกัน และกักน้ำไว้ได้ทำให้ความหนืดสูงขึ้นอีก ความหนืดที่กลับสูงขึ้นนี้อีกนี้เรียกว่า setback และปรากฏการณ์นี้ก็คือการคืนตัวของแป้ง (retrogradation)

2.1.10.3 การคืนตัวของแป้งสุก (retrogradation)

การคืนตัวของแป้งสุกเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อแป้ง ได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลาทิไนซ์แล้วให้ความร้อนต่อไป จะทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะมิโลสขนาดเล็กระจัดกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัว โมเลกุลอะมิโลส ที่อยู่ใกล้กันจะเคลื่อนที่เข้า มาจัดเรียงตัวกันใหม่ ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติ โครงสร้างใหม่นี้สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียว คล้ายฟิล์มหรือผลึก เรียก

ปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัว (setback) (Smith, 1979) เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงไปอีก ลักษณะการกระจายตัวของโครงสร้างจะหนาแน่นมากขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมาจนเจล จนกระทั่งน้ำที่เคยจับตัวกับอะมิโลสและอะมิโลเพคตินแยกตัวออกปรากฏให้เห็นเป็นหยดน้ำลักษณะเช่นนี้ เรียกว่า “เกิดการแยกตัว” (syneresis) ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้จะทำให้เจลมีลักษณะขาวขุ่นและมีความหนืดเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 การเกิดรีโทรเกรเดชัน

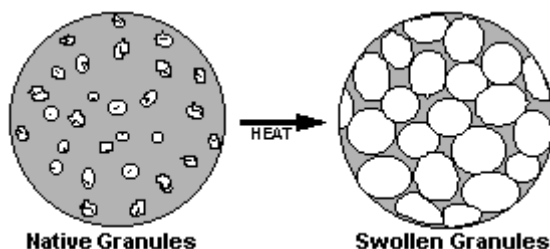
ที่มา : ดัดแปลงจาก Fruton และ Simmonds (1958)

การคืนตัวของน้ำแข็งโดยทั่วไปจะเกิดได้ดีเมื่อน้ำแข็งมีความเข้มข้นสูง และทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิต่ำ แป้งแต่ละชนิดมีอัตราการคืนตัวของน้ำแข็งแตกต่างกัน โดยทั่วไปแป้งจากรากหัว มีอัตราการคืนตัวช้ากว่าแป้งจากธัญพืช ทั้งนี้เป็นเพราะแป้งจากรากหรือหัว เมื่อได้รับความร้อนจะพองตัวมากและเร็ว และเม็ดแป้งจะแตกง่าย ทำให้โมเลกุลแป้งทั้งหมดกระจายอยู่ทั่วไปในน้ำแข็ง ยกที่โมเลกุลอะมิโลสจะมาจัดเรียงตัวกันได้ใหม่ แต่แป้งจากธัญพืช เมื่อได้รับความร้อนจะพองตัวน้อยกว่า เม็ดแป้งแตกน้อย โมเลกุลที่คลายตัวยังอยู่ใกล้ชิดกันจึงเคลื่อนที่จับกันใหม่ได้ง่าย ซึ่งอาจจับตัวกันระหว่างเม็ดแป้งที่พองตัวซึ่งอยู่ใกล้กัน หรือระหว่างชิ้นส่วนของเม็ดแป้งหรือโมเลกุลอะมิโลสอิสระที่หลุดออกมา ทำให้เกิดสภาพเป็น matrix ซึ่งยึดอยู่ด้วยกันด้วยพันธะไฮโดรเจน และสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ การมีอะมิโลเพคตินอยู่ด้วยทำให้อัตราการคืนตัวของน้ำแข็งช้าลง เนื่องจากโมเลกุลของอะมิโลเพคตินมีกิ่งก้านสาขาทำให้เกาะเกาะ ยกที่โมเลกุลจะเคลื่อนที่เข้ามาจับกันใหม่ได้ จึงพบว่าแป้งประเภท waxy มีอัตราการคืนตัวของน้ำแข็งน้อยกว่าแป้งชนิดอื่น ขนาดโมเลกุลของอะมิโลสในแป้งแต่ละชนิดมีผลในการเกิดการคืนตัวของน้ำแข็งสูงด้วย โมเลกุลอะมิโลสที่มีขนาดพอเหมาะในการเคลื่อนที่มาจับกัน คือ ในช่วง 100 - 200 หน่วย

กลูโคส ถ้าโมเลกุลใหญ่ เช่น แป้งมันฝรั่งมีอะไมโลสขนาดใหญ่ประมาณ 1,000 - 6,000 หน่วย กลูโคส จะเคลื่อนที่เข้ามาจับกันได้ยาก และถ้าโมเลกุลสั้นเกินไปจะเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลา (brownian movement) ทำให้จับกันยากเช่นกัน

2.1.10.4 การพองตัวและการละลาย (swelling and solubility)

แป้งไม่ละลายในน้ำเย็นแต่จะดูดซึมน้ำไว้ได้ประมาณ 25 - 30 เปอร์เซ็นต์ และพองตัวน้อยมากจนไม่สังเกตเห็นได้ ทั้งนี้เนื่องจากการจัดเรียงตัวกันระหว่างโมเลกุลของอะไมโลสและอะมิโลเพคติน (intermixed) ภายในเม็ดแป้ง ในส่วน crystallite โมเลกุลอยู่กันอย่างหนาแน่นและเป็นระเบียบ ช่วยป้องกันการกระจายตัวและทำให้ไม่ละลายในน้ำเย็น ส่วนของ amorphous ซึ่งเป็นส่วนที่เกาะเกี่ยวกันอย่างหลวม ๆ ไม่เป็นระเบียบและมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระมาก สามารถเกิดปฏิกิริยาการรับน้ำ (hydration) ได้บ้างแม้ในน้ำเย็น เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 60 องศาเซลเซียส ขึ้นไป ส่วน amorphous จับกับน้ำได้มากขึ้นและการจับกันของโมเลกุลในส่วน crystallite เริ่มคลายความหนาแน่นลง โมเลกุลส่วนที่เริ่มคลายตัวออกจากกันจะจับกับน้ำทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นดังภาพที่ 2.7 โมเลกุลในส่วน crystallite ที่เหลืออยู่เกิดสภาพคล้ายร่างแหเรียกว่า micelle network ซึ่งยึดเหนี่ยวกันไว้ทำให้เม็ดแป้งยังคงสภาพอยู่ได้ แต่อาจมีโมเลกุลของอะมิโลสและอะมิโลเพคตินซึ่งมีขนาดเล็กและอิสระกระจายตัวออกจากเม็ดแป้ง เมื่อทำให้อุณหภูมิน้ำแป้งสูงขึ้นไปอีก ส่วน crystallite ที่เหลืออยู่นี้จะคลายตัวออกทำให้เม็ดแป้งพองมากขึ้นและโมเลกุลแป้งอยู่ในสภาพสารละลายมากขึ้น



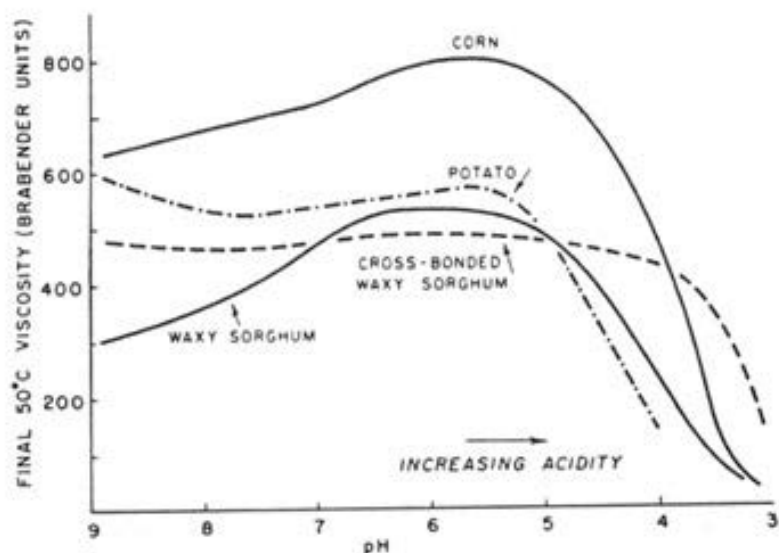
ภาพที่ 2.7 การพองตัวของเม็ดแป้ง

ที่มา : Collison (1968)

2.1.10.5 ความคงทนของแป้งที่ให้ความชื้นหนืดต่อความร้อนและสภาพความเป็นกรด

อาหารบางชนิดมีสภาพที่เป็นกรด ตัวอย่างเช่น ใส้ผลไม้ของพาย (pie) ชนิดต่างๆ ซึ่ง pH อยู่ในช่วง 3.0 - 3.5 สภาพที่เป็นกรดจะทำให้แป้งมีความหนืดลดลง เนื่องจากการทำลายพันธะภายในโมเลกุลแป้ง ยิ่งถ้าใช้อุณหภูมิสูงการทำลายพันธะก็จะยิ่งมากขึ้น แป้งที่ทนกรดได้ดีคือ แป้ง crosslink (ภาพที่ 2.8) ผลของ pH ต่อความหนืดของแป้ง crosslink ที่มีระดับการเชื่อมขวาง

ค่อนข้างสูง พบว่า แป้งจะมีความหนืดสูงขึ้นเมื่อมีความเป็นกรดมากขึ้น (pH 4) ทั้งนี้เนื่องจากกรดไปทำลาย พันธะบางส่วนใน เม็ดแป้งทำให้แรงยึดเหนี่ยวภายในลดลง แป้งพองตัวได้มากขึ้น แต่ถ้าสภาพความเป็นกรดมากขึ้น (pH < 3.5 - 4) พันธะจะถูกทำลายมากขึ้นทำให้เม็ดแป้งแตกออกได้ง่าย ดังนั้นความหนืดจึงลดลง

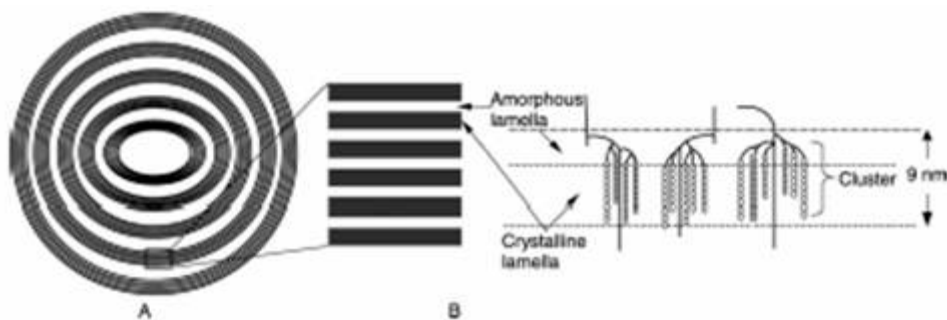


ภาพที่ 2.8 ผลของ pH ต่อความหนืดของแป้งชนิดต่าง ๆ

ที่มา : Pomeranz (1985)

2.1.11 โครงสร้างของเม็ดแป้ง

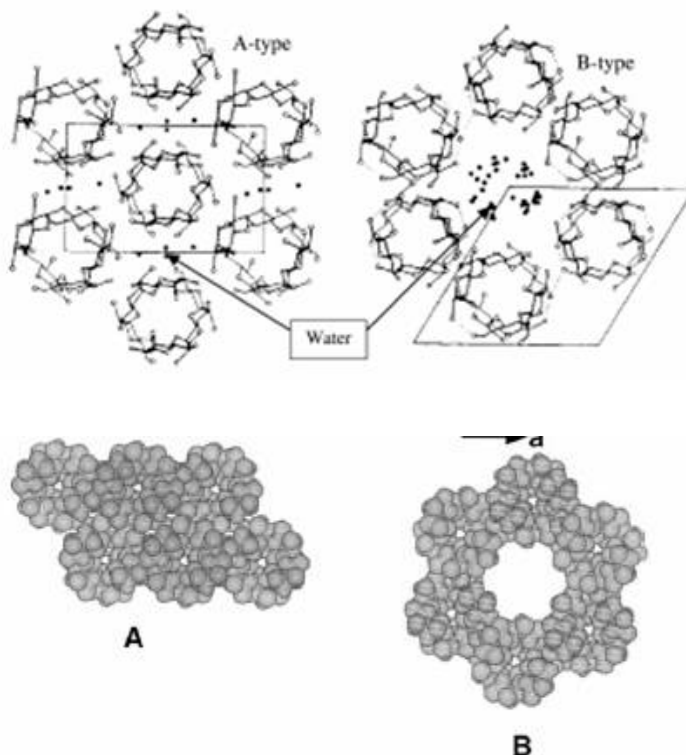
โดยทั่ว ๆ ไปเม็ดแป้ง (starch granule) ประกอบด้วยโมเลกุลของแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนี้ยังมีโปรตีน ไขมัน ฟอสฟอรัส สารอนินทรีย์อื่น ๆ และน้ำในปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นกับชนิดของพืช เม็ดแป้งมีโครงสร้างแบบกึ่งผลึก (semi-crystalline) โดยลักษณะความเป็นผลึก เป็นผลมาจากการจัดเรียงตัวของสายโซ่ใน โมเลกุลของอะมิโลเพคตินในแนวรัศมีเป็นชั้น ๆ ในรูปของคลัสเตอร์ (series of stacked amylopectin clusters) ซึ่งในแต่ละคลัสเตอร์ประกอบด้วยบริเวณที่เป็นส่วนรวมของจุดที่แตกกิ่งมีลักษณะการจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ เรียกว่า amorphous lamellar และบริเวณที่มีสายโซ่กิ่งของอะมิโลเพคตินที่จัดเรียงตัวแบบเกลียวคู่ ที่มีการเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ เรียกบริเวณส่วนนี้ว่า crystalline lamellar ดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 โครงสร้าง lamellar ของเม็ดแป้ง (A) crystalline lamellae เล็ก ๆ จำนวนมากที่แยกโดยการเจริญเติบโตของวง amorphous (B) ภาพขยายของส่วน amorphous และ crystalline (C) โครงสร้างของเกลียวคู่ที่เกิดจากสายโซ่ที่ติดกันของอะมิโลเพคติน ทำให้เกิด crystalline lamellae ซึ่งเป็นจุดแยกของส่วน amorphous

ที่มา : Tester และคณะ (2004)

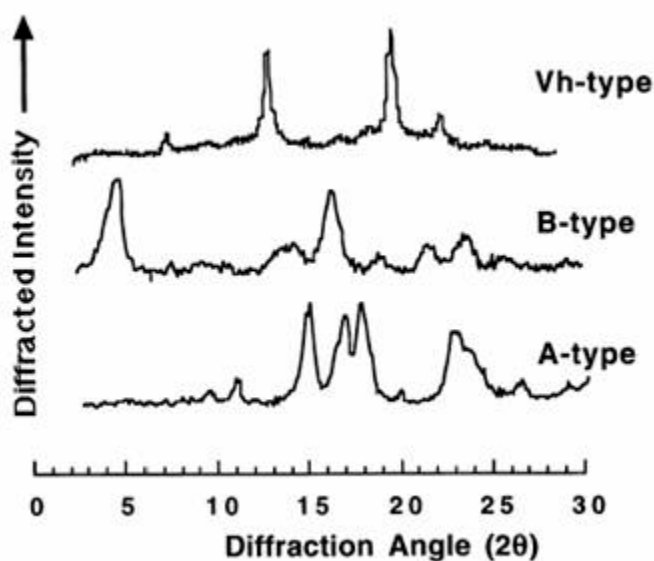
เม็ดแป้งมีลักษณะโครงสร้างผลึก 3 แบบขึ้นอยู่กับลักษณะในการจัดเรียงตัวของเกลียวคู่ ถ้ามีการเรียงตัวหนาแน่นมากและมีปริมาณน้ำต่ำจะจัดเป็นผลึกแบบ A (เม็ดแป้งจากธัญพืชต่าง ๆ) ถ้ามีการเรียงตัวกันหลวมๆ และมีปริมาณน้ำสูงจะจัดเป็นผลึกแบบ B (เม็ดแป้งจากพืชหัว) ดังภาพที่ 2.10 ถ้ามีการเรียงตัวทั้งแบบ A และ B รวมกันจัดเป็นผลึกแบบ C (เม็ดแป้งจากพืชตระกูลถั่ว)



ภาพที่ 2.10 รูปแบบ A- and B-type ของอะมิโลส

ที่มา : Tester และคณะ (2004)

โครงสร้างของผลึกที่ต่างกันทำให้ลักษณะการกระจายตัวของแสงต่างกัน แป้งที่มีโครงสร้างผลึกต่างกัน ทำให้รูปแบบของ x-ray diffraction ต่างกัน แสดงดังภาพที่ 2.11 แป้งที่มีโครงสร้างผลึกแบบ A ให้พีคที่ 17 และ 18 องศา และพีคเดี่ยวที่ 23 องศา แต่ไม่มีพีคที่ 5.6 องศา แป้งจากธัญพืช เช่น ข้าวโพด ข้าวเจ้า มีลักษณะผลึกแบบ A แป้งที่มีโครงสร้างผลึกแบบ B ให้พีคที่ 5.6 และ 17 องศา แต่ไม่มีพีคที่ 18 องศา และมีพีคคู่ (double) ที่ 22 องศา และ 24 องศา ซึ่งได้แก่ แป้งจากพืชหัวและแป้งที่มีอะมิโลสสูง เช่น มันฝรั่ง เป็นต้น แป้งที่มีโครงสร้างผลึกแบบ C ให้ลักษณะร่วมกันระหว่างผลึกแบบ A และ B กล่าวคือ มีพีคที่ 5.6 และ 17.9 องศา ตัวอย่างเช่น แป้งจากพืชตระกูลถั่ว ราก ลำต้นและแป้งผลไม้บางชนิด แป้งบางชนิดอาจให้ลักษณะของผลึกได้มากกว่า 1 ชนิด เช่น แป้งมันสำปะหลังซึ่งสามารถตรวจพบลักษณะผลึกทั้งแบบ A และ C โครงสร้างผลึกของเม็ดแป้งดิบในธรรมชาติอาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับกาปฏิบัติ (treatment) ต่อเม็ดแป้ง เช่น แป้งมันฝรั่งชั้นที่ถูกบ่มไว้นานที่อุณหภูมิสูง มีชนิดของผลึกเปลี่ยนจากเดิมที่เป็นชนิด B ไปเป็นชนิด A (Kawabata และคณะ, 1994) ลักษณะโครงสร้างและปริมาณผลึกของแป้งแต่ละชนิดแสดงในตารางที่ 2.3



ภาพที่ 2.11 X-ray diffraction ของแป้งที่มีโครงสร้างผลึกต่างกัน

ที่มา : Buleon และคณะ (1998)

ตารางที่ 2.3 ลักษณะ โครงสร้างและปริมาณผลึกของแป้งแต่ละชนิด

ชนิดแป้ง	ความเป็นผลึก (%)	อุณหภูมิการเกิดเจลลิตในเซชัน (องศาเซลเซียส)	ปริมาณอะไมโลส (%)
โครงสร้าง A			
ข้าวโอ๊ต	33	60.7	23
ข้าวสาลี	36	63.5	23
ข้าวเหนียว	37	64.5	-
ข้าวฟ่าง	37	72.2	25
ข้าวเจ้า	38	70.0	17
ข้าวโพด	40	71.3	27
โครงสร้าง B			
Amylomaize	15 – 22	86.0	55 – 75
สาเก	26	70.5	28
มันฝรั่ง	28	67.3	22
โครงสร้าง C			
มันเทศ	38	70.0	20
มันสำปะหลัง	38	66.0	18

ที่มา : Oates (1996)

2.1.12 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของแป้ง

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

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

2.1.12.2 ศึกษาลักษณะของผลึกโมเลกุลแป้งด้วยเครื่อง X – ray diffraction (XRD)

เป็นวิธีที่ใช้ศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบโครงสร้างของผลึก (crystal Structure) หรือ โมเลกุลของสารด้วยการใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction) ที่ตกกระทบหน้าผลึกของสารตัวอย่างที่มุมต่างๆกัน ทำให้รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของวัตถุที่เป็นผลึกจะมีลักษณะแตกต่างกันขึ้นกับการจัดเรียงตัวของอะตอมภายในผลึก ซึ่งจะถูกวัดกำลังความเข้มของฟลัก (power) ด้วยการสแกน (scan) ของตัวรับสัญญาณ (detector) สัญญาณที่วัดได้จะถูกถ่ายทอดออกมาเป็นสเปกตรัม แล้วถูกประมวลผลออกมาทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยมีคอมพิวเตอร์เป็นหน่วยประมวลผลและควบคุมการทำงานของเครื่องเอ็กซ์เรย์ (Barbara and Christine, 2011)

2.1.12.3 วัดขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคแป้ง (particle size distribution) ด้วยเครื่อง Laser Particle Size Distribution Analyzer

เทคนิคนี้อาศัยหลักการของการเลี้ยวเบนของแสง เมื่อมีอนุภาคที่กระจายตัวอยู่ในตัวกลางผ่านลำแสงช่วงระยะเวลาหนึ่ง ความเข้มของแสงที่เกิดการเลี้ยวเบนมีความสัมพันธ์กับปริมาณของอนุภาคในแต่ละขนาด แต่มุมเลี้ยวเบนกลับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของอนุภาค การใช้ตัวกรองแสง เลนส์ และตัวตรวจจับทางแสงร่วมกับคอมพิวเตอร์ ช่วยให้สามารถประมวลผลจากข้อมูลการเลี้ยวเบนเป็นการกระจายตัวของขนาดอนุภาคได้ เป็นค่าของความละเอียดที่ใช้เลเซอร์เป็นตัวนับและคำนวณขนาดของอนุภาค จึงมีความแม่นยำสูงกว่าเครื่อง Image Analyzer ซึ่งเหมาะกับตัวอย่างที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก (อารี, 2545)

2.1.12.4 วัดกำลังการพองตัว (swelling power) และความสามารถในการละลายการละลาย (solubility)

แป้งดิบจะไม่ละลายในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาติไนซ์ เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจน ซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลที่อยู่ใกล้ ๆ กัน เชื่อมต่อกันอยู่ แต่เมื่ออุณหภูมิของสารผสมน้ำแป้งเพิ่มสูงกว่าช่วงอุณหภูมิในการเจลาติไนซ์ พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ เม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัว ทำให้มีการละลาย ความหนืด และความใสเพิ่มขึ้น ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวและความสามารถในการละลาย คือ ชนิดของแป้ง ความแข็งแรง และลักษณะของร่างแหภายในเม็ดสตาร์ช สิ่งเจือปนภายในเม็ดสตาร์ชที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต ปริมาณน้ำในสารละลายแป้ง และการตัดแปรทางเคมี รูปแบบในการพองตัวและการละลายของเม็ดสตาร์ชแต่ละชนิดจะมีรูปแบบที่แตกต่างกันไป เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายน้ำแป้ง เม็ดสตาร์ชจะเกิดการพองตัว และบางส่วนของแป้งจะละลายออกมา กำลังการพองตัวของแป้งจะแสดงเป็นปริมาตรหรือน้ำหนักของเม็ดสตาร์ชที่เพิ่มขึ้น

2.1.12.5 ค่าซินเนอริซิส (syneresis)

จากการเปลี่ยนลักษณะการกระจายตัวของโมเลกุลของแป้งมาเป็นส่วนที่เป็น crystallite ถ้าน้ำแป้งสุกมีความเข้มข้นต่ำ การจัดเรียงตัวของโมเลกุลเหล่านี้จะทำให้เกิดลักษณะตะกอนขุ่นขาว แต่ถ้าน้ำแป้งสุกมีความเข้มข้นสูง จำนวนโมเลกุลที่มาจัดเรียงตัวกันใหม่มีมาก และในระหว่างเคลื่อนที่เข้ามาจับกันจะสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น และในที่สุดเกิดลักษณะเจลที่อ่อนนุ่ม แต่ถ้าเกิดการคั้นตัวมาก จนกระทั่งน้ำที่เคยจับตัวกับอะมิโลสและอะมิโลเพคตินแยกตัวออกปรากฏให้เห็นเป็นลักษณะหยดน้ำ จะเรียกว่า การเกิดการแยกตัว (syneresis)

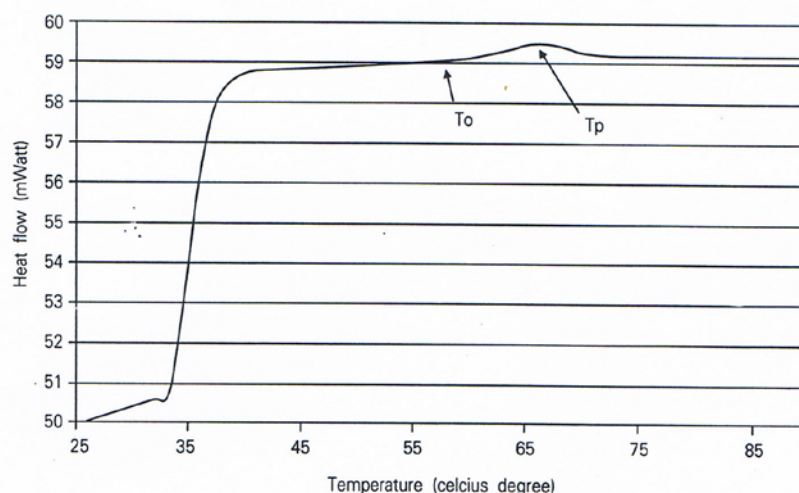
2.1.12.6 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความข้นหนืดในระหว่างการทำความร้อนจนถึงการทำให้เย็น ด้วยเครื่อง Brabender Amylograph

เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการทำให้อุ่นจนถึงขั้นตอนการทำให้เย็นลงด้วยเครื่อง *Brabender Visco- Amylograph* โดยเตรียมตัวอย่างเป็นน้ำแป้งเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักแห้ง) อ่านค่าอุณหภูมิเริ่มหนืด อุณหภูมิที่ความหนืดสูงสุด ความหนืดสูงสุด ความหนืดที่ 95 องศาเซลเซียส เริ่มต้น ความหนืดที่ 95 องศาเซลเซียส สุดท้าย ความหนืดที่ 50 องศาเซลเซียส เริ่มต้น และ ความหนืดที่ 50 องศาเซลเซียส สุดท้าย จากนั้นคำนวณค่า breakdown (ความหนืดสูงสุด - ความหนืดที่ 95 องศาเซลเซียส สุดท้าย), consistency (ความหนืดที่ 50 องศาเซลเซียส เริ่มต้น - ความหนืดที่ 95 องศาเซลเซียส สุดท้าย) และ setback (ความหนืดที่ 50 องศาเซลเซียส เริ่มต้น - ความหนืดสูงสุด)

2.1.12.7 ศึกษาสมบัติทางความร้อนของแป้งโดยใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC)

DSC เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพลังงาน และศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพหรือทางเคมีของวัสดุ ในรูปฟังก์ชันของปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิ โดยอาศัยหลักการที่ว่า ทั้งตัวอย่างและสารอ้างอิงจะต้องคงอยู่ที่อุณหภูมิเดียวกันในกระบวนการให้ความร้อนหรือทำให้เย็นลงที่อัตราที่กำหนดไว้ คือ มีการให้ความร้อนเริ่มต้นที่ 25 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิที่คาดว่าเลยช่วงในการเกิดเจลาคิโนเซชัน คือ 90 องศาเซลเซียส ที่อัตรา 10 องศาเซลเซียสต่ออนาที โดยมีการเตรียมตัวอย่างสารผสมระหว่างแป้งกับน้ำ และบ่มสารละลายไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง ปริมาณความร้อนจะไหลเข้าสู่ระบบไม่ว่าที่ตัวอย่างหรือสารอ้างอิงเพื่อที่จะพยายามรักษาความแตกต่างของอุณหภูมิของตัวอย่างและสารอ้างอิงให้เป็นศูนย์ สัญญาณที่เป็นสัดส่วนกับความแตกต่างของกำลัง (power) ซึ่งป้อนให้กับตัวให้ความร้อน (heater) ทั้งสองจะบันทึกเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิเพื่อที่อุณหภูมิและปริมาณความร้อนที่เกี่ยวข้องสามารถทำการวัดได้ ซึ่งค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลาคิโนเซชัน ได้แก่ อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลาคิโนเซชัน (onset temperature, T_o , องศาเซลเซียส), อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลาคิโนเซชัน (peak temperature, T_p , องศาเซลเซียส), อุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลาคิโนเซชัน

(conclusion temperature, T_c , องศาเซลเซียส), พลังงานที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเกิดเจลในซ์ (enthalpy, ΔH , จูลต่อกรัม) ในการวิเคราะห์หาเอนทาลปีของกระบวนการจำเป็นต้องหาพื้นที่ใต้กราฟ DSC และการหาเส้น baseline ที่ถูกต้องแม่นยำสำหรับการหาพื้นที่ใต้กราฟที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากเส้น baseline มักมีความแตกต่างกันทั้งก่อนและหลังการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการที่ศึกษา ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะนำไปใช้หาอุณหภูมิและพลังงานความร้อนของการเปลี่ยนแปลง (enthalpy) ได้จากพื้นที่ใต้กราฟหารด้วยน้ำหนักแห้งตัวอย่าง



ภาพที่ 2.12 คลื่นความร้อนจากเครื่อง DSC ของแป้ง

ที่มา : วันชัย และคณะ (2541)

2.1.13 สตาร์ช (starch)

สตาร์ช (starch) คือ พอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ซึ่งเป็นแหล่งสะสมอาหารของพืช พบในเมล็ดธัญพืช เช่น ข้าว ข้าวสาลี ข้าวโพด และพืชหัว เช่น มันฝรั่ง มันเทศ มันสำปะหลัง โมเลกุลของสตาร์ชประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคส (ภาพที่ 2.13) ซึ่งเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (glycosidic bond) ซึ่งมีโครงสร้างของโมเลกุล 2 รูปแบบคือ อะมิโลส (amylose) และอะมิโลเพกทิน (amylopectin) โดยรวมตัวกันอยู่เป็นเม็ดแป้ง

อะมิโลสเป็นส่วนประกอบหลักของสตาร์ช โมเลกุลของอะมิโลส เป็นโพลิเมอร์สายตรงของน้ำตาลดีกลูโคส (D-glucose) ซึ่งเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) ชนิดแอลฟา 1,4 ประมาณ 250 - 2000 หน่วย (ภาพที่ 2.14) แป้งจากพืชต่างชนิดกันมีปริมาณอะมิโลสต่างกัน ที่เหลือเป็นอะมิโลเพกทิน (amylopectin) อะมิโลสทำปฏิกิริยากับไอโอดีนให้สีน้ำเงิน

อะไมโลเพกติน (amylopectin) เป็นพอลิแซคคาไรด์ (polysaccharide) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของสตาร์ช (starch) เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส (glucose) ที่จัดเรียงตัวเป็นโซ่ที่มีกิ่งก้านสาขา โดยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) ที่กิ่งก้านสาขาคือพันธะแอลฟา - 1, 6 (ภาพที่ 2.15)

2.1.14 ผลกระทบของอายุและสภาวะการเพาะปลูกของพืชต่อสมบัติของแป้ง

ความสมบูรณ์ของอาหารในดินและสภาพการเพาะปลูก เช่น ช่วงเวลา การเพาะปลูก ปริมาณน้ำฝน มีผลต่อสมบัติของแป้ง เช่น ปริมาณอะมิโลส ปริมาณอะมิโลเพกติน และสารตัวกลาง ผลกระทบของอายุของพืช และสภาวะการเพาะปลูกยังมีผลกระทบต่อสมบัติอื่น ๆ ของแป้งด้วย เช่น ขนาดของเม็ดแป้งและสมบัติทางฟิสิกส์ ซึ่งในแป้งมันสำปะหลังได้พบการเปลี่ยนแปลงสมบัติเหล่านี้ ได้แก่ ผลกระทบจากพันธุ์ อายุการเก็บเกี่ยว และสภาพแวดล้อมในการเพาะปลูกที่แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของขนาดของเม็ดแป้งในระดับอายุต่าง ๆ กัน และการเปลี่ยนแปลงของการพองตัวและความชื้นหนืด (กล้านรงค์และเกื้อกูล, 2550)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับสมบัติของฟลาวัวร์และสตาร์ชจากแห้วจีน

สตาร์ชเป็นองค์ประกอบทั้งในพืชหัว เช่น มันฝรั่ง มันเทศ มันสำปะหลัง กล้วยพืช เช่น ข้าว ข้าวโพด เป็นต้น สำหรับ แห้วจีน จะประกอบด้วยสตาร์ชรวมทั้งโอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharides) และโมโนแซคคาไรด์ (monosaccharides) มากกว่า 86 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแห้ง ฟลาวัวร์และ สตาร์ชของแห้วจีนที่ได้ จากอายุการเก็บเกี่ยวและ แหล่งเพาะปลูก ที่ต่างกันจะให้สมบัติทางด้านเคมี (chemical properties) เคมีกายภาพ (physicochemical properties) และอื่น ๆ ที่แตกต่างกัน ซึ่งจะส่งผลทำให้การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารแตกต่างกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาถึงสมบัติต่าง ๆ ของ ฟลาวัวร์และ สตาร์ชแห้วจีนจากแหล่งเพาะปลูกและอายุการเก็บเกี่ยวที่ต่างกัน โดยงานวิจัยที่ศึกษาสมบัติของ ฟลาวัวร์และ สตาร์ชจากแห้วจีนยังมีปริมาณที่ค่อนข้างจำกัด จากการทบทวนจากวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง พบว่ามีงานวิจัยที่รายงานการศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของฟลาวัวร์และสตาร์ชจากแห้วจีนดังนี้

ผาณิต (2549) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางเคมีกายภาพด้านขนาดและลักษณะของเม็ดแป้ง วัดค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ค่าสี ค่าดัชนีการอุ้มน้ำ และค่าดัชนีการละลายน้ำ สมบัติทางความร้อน และศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางด้านความหนืดด้วยเครื่อง Brabender amylograph ของสตาร์ชและกากสตาร์ชจากแห้วจีน (*Eleocharis dulcis* Trin.) จากผลการทดลองพบว่า สตาร์ชจากแห้วจีนมีปริมาณอะมิโลสค่อนข้างสูง (41.0 เปอร์เซ็นต์) ส่วนกากสตาร์ชมีปริมาณใยอาหารสูง (40.11 เปอร์เซ็นต์) เม็ดแป้งมีลักษณะกลมคล้ายไข่ที่มีรอยตัดโดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 - 17 ไมครอน โดยกากสตาร์ชมีค่า pH ค่าสีเหลือง (b*) สูงกว่าสตาร์ช ส่วนสมบัติ

ทางความร้อนของสตาร์ชและกากสตาร์ชไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ยกเว้นค่าพลังงานในการเกิดเจลดิโนซเซชันของสตาร์ชสูงกว่ากากสตาร์ช สำหรับค่าเปลี่ยนแปลงความหนืด พบว่า กากสตาร์ชให้ความหนืดสูงกว่าสตาร์ช แต่ใช้เวลาในการถึงจุดที่มีความหนืดสูงสุดมากกว่า โดยทั้งสตาร์ชและกากสตาร์ชมีความคงตัวของความหนืดเมื่อทำให้เย็นก่อนข้างสูง และปริมาณผลผลิตของสตาร์ช (44.70 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้ง) สูงกว่ากากสตาร์ช (14.39 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง)

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

Lan และคณะ (2008) ได้ศึกษาค่าสตาร์ชจากแห้วจีน (*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 เปอร์เซ็นต์ เม็ดแป้งของสตาร์ชจากแห้วจีนมีลักษณะกลมหรือวงรี สตาร์ชจากแห้วจีนมีลักษณะการจัดเรียงตัวของของโครงสร้างผลึกโมเลกุลแป้ง (crystal pattern) เป็นลักษณะ A-type สตาร์ชจากแห้วจีนมีค่าการพองตัว (swelling power) และความชุ่มของเจลที่เย็นตัวระดับปานกลาง และค่าความคงตัวของการละลายน้ำแข็ง (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) ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังและข้าวโพด สำหรับทางด้านเนื้อสัมผัสของเจลสตาร์ช พบว่า ค่าความแข็ง (hardness) และค่าความยืดหยุ่น (gumminess) จะลดลงเมื่อความเข้มข้นของเจลสตาร์ชเพิ่มขึ้นจาก 6 - 16 เปอร์เซ็นต์

Singh และคณะ (2009) ได้ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพ การเปลี่ยนแปลงความชื้นหนืดระหว่างการทำให้ร้อนจนถึงการทำให้เย็น (pasting properties) สมบัติทางความร้อน และลักษณะรูปร่างทางสัณฐานของสตาร์ชจากกระเจ็บสายพันธุ *Trapa natans* พบว่า สตาร์ชจากกระเจ็บมีค่า breakdown และค่า setback สูงกว่าสตาร์ชข้าวโพดและสตาร์ชมันสำปะหลัง ซึ่งสตาร์ชกระเจ็บไม่มีความแตกต่างกันกับสตาร์ชข้าวโพด โดยสตาร์ชกระเจ็บมีพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลดิโนเซชันต่ำกว่าสตาร์ชข้าวโพดและสตาร์ชมันสำปะหลัง โดยอุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิที่

เกิดการเปลี่ยนแปลงสูงสุด และอุณหภูมิสุดท้ายที่เกิดเจลติไนเซชันของสตาร์ชกระจัดค่อนข้างใกล้เคียงกับสตาร์ชข้าวโพด โดยสตาร์ชกระจัดมีรูปร่างคล้ายคลึงกับสตาร์ชมันสำปะหลัง ส่วนสตาร์ชข้าวโพดจะมีรีวรอยบนผิวของเม็ดสตาร์ช (SEM แสดงรูปร่างของเม็ดสตาร์ช) และสตาร์ชกระจัดมีกำลังการพองตัวที่ต่ำกว่าแหล่งอ้างอิง เนื่องจากการเชื่อมต่อกันที่แข็งแรงของอะมิโลเพคติน ขณะที่สตาร์ชกระจัดมีความคงตัวต่อการละลายน้ำแข็งต่ำกว่าสตาร์ชข้าวโพด

Zhang และคณะ (2010) ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพ สมบัติทางความร้อน และการเปลี่ยนแปลงความชื้นหนืดระหว่างการทำให้อุ่นจนถึงการทำใหเย็น (pasting properties) ของสตาร์ชกระจัดสายพันธุ์ *Castanea mollissima* Bl. โดยวิธีการอบแห้งที่แตกต่างกัน พบว่า วิธีการอบแห้งโดยวิธี freeze dry และวิธี oven dry มีผลต่อคุณสมบัติของสตาร์ชกระจัด ทั้งในสมบัติทางเคมีกายภาพ, สมบัติทางความร้อน, การเปลี่ยนแปลงความชื้นหนืดระหว่างการทำให้อุ่นจนถึงการทำใหเย็น (pasting properties) และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ ทำให้สมบัติทางความร้อน, pasting value และความสามารถในการละลายโดยวิธี freeze dry สูง ขณะที่มีความคงตัวต่อการละลายน้ำแข็งต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี oven dry

Correia และคณะ (2012) ศึกษาผลของวิธีการสกัดสตาร์ชจากเกาลัด (*Castanea sativa* Mill. var. Martainha and Longal) และศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชเกาลัด พบว่า วิธีการสกัดสตาร์ชส่วนใหญ่เกิดการเปลี่ยนแปลงในด้านคุณสมบัติ ซึ่งพบว่า วิธีการสกัดสตาร์ชทั้ง 2 วิธี มีกำลังการพองตัว ความสามารถในการละลาย และอุณหภูมิที่เกิดเจลติไนซ์ (61.5 - 63.0 องศาเซลเซียส) ต่ำและใกล้เคียงกัน ในขณะที่วิธี enzymatic มีค่า consistency ที่ 95 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิหลัง hold ต่ำ โดยมีค่า setback สูง ซึ่งมีค่าความบวมและค่าความคงตัวต่อการละลายน้ำแข็งต่ำที่อุณหภูมิห้อง สตาร์ชเกาลัดมีค่าความคงตัวต่อการละลายน้ำแข็งเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาต่ำลง โดยสตาร์ชที่สกัดด้วยวิธีทั้ง 2 มีพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลติไนเซชัน ต่ำ (3.0 - 3.5 จูลต่อกรัม) ในขณะที่มีพลังงานกระตุ้นสูง และ resistant ของสายพันธุ์ Longal นั้นมีผลน้อยมากต่อวิธีการสกัด

2.2.2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับ ผลของอายุการเก็บเกี่ยวต่อสมบัติ ของฟลาวัวร์และสตาร์ชจากพืชต่าง ๆ

สมบัติของสตาร์ชขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น สายพันธุ์พืช ระยะเวลาเจริญเติบโต และปัจจัยสิ่งแวดล้อม Huang และคณะ (2006) และ Noda และคณะ (1995) รายงานว่าขนาดอนุภาคของเม็ดแป้งและปริมาณฟอสฟอรัสของสตาร์ชที่ได้จากพืชรากและหัวมีปริมาณเพิ่มขึ้นแต่ปริมาณอะมิโลสไม่มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้ยังพบว่า สตาร์ชจากพืชรากและหัวที่มีระยะเวลาการเจริญเติบโตที่สั้นกว่าจะมีอุณหภูมิแป้งสูง

(gelatinization temperature) อุณหภูมิเริ่มเกิดความข้นหนืด (pasting temperature) สูงกว่า แต่มีความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ต่ำกว่า

Chiang และคณะ (2007) ศึกษาสมบัติต่างๆของสตาร์ชจากกระเจี๊ยบสายพันธุ์ *Trapa quadrispinosa* Roxb. ในช่วงที่หลังจากกระเจี๊ยบออกผลแล้วตั้งแต่วันที่ 14 ถึง วันที่ 42 พบว่าปริมาณสตาร์ชของกระเจี๊ยบเพิ่มขึ้นจาก 49.4 เป็น 79.4 เปอร์เซ็นต์ โดยเมล็ดสตาร์ชมีผิวเรียบและมีลักษณะกลมรี ขนาดของอนุภาคของเม็ดแป้งเพิ่มขึ้น ที่ระยะเวลาการเติบโตมากขึ้น จาก 19.4 เป็น 32.2 ไมครอน มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ A กำลังการพองตัวของสตาร์ชกระเจี๊ยบและค่าการละลายของสตาร์ชกระเจี๊ยบจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเติบโตมากขึ้น นอกจากนี้นอกจากนี้ อุณหภูมิเริ่มเกิดความข้นหนืด (pasting temperature) ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) และค่าการคืนตัวของแป้ง (setback) เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเติบโตมากขึ้น สำหรับสมบัติทางด้านความร้อนของสตาร์ชกระเจี๊ยบที่ยังเป็นผลอ่อนแสดงค่า onset temperature (To) peak temperature (Tp) และ conclusion temperature (Tc) และค่าเอนทาลปี (ΔH) ที่ต่ำกว่าผลแก่

Wang และคณะ (2008) ศึกษาสมบัติต่างๆของสตาร์ชจากกระเจี๊ยบสายพันธุ์ *Trapa taiwanensis* Nakai ในช่วงที่หลังจากกระเจี๊ยบออกผลแล้วตั้งแต่วันที่ 14 ถึง วันที่ 42 พบว่าปริมาณสตาร์ชของกระเจี๊ยบเพิ่มขึ้นจาก 39.7 เป็น 74.7 เปอร์เซ็นต์ โดยเมล็ดสตาร์ชมีผิวเรียบ ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคแป้ง ของสตาร์ชเพิ่มขึ้นที่ระยะเวลาการเติบโตมากขึ้น จาก 15.31 เป็น 24.16 ไมครอน และมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ A กำลังการพองตัวของสตาร์ชกระเจี๊ยบและค่าการละลายของสตาร์ชกระเจี๊ยบจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเติบโตมากขึ้น นอกจากนี้อุณหภูมิเริ่มเกิดความข้นหนืด (pasting temperature) ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) และค่าการคืนตัวของแป้ง (setback) เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเติบโตมากขึ้น สำหรับสมบัติทางด้านความร้อนของสตาร์ชกระเจี๊ยบแสดงค่า onset temperature (To) peak temperature (Tp) และ conclusion temperature (Tc) และค่าเอนทาลปี (ΔH) เพิ่มสูงขึ้นเมื่ออายุการเก็บเกี่ยวของกระเจี๊ยบมากขึ้น

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุดิบ

แห้วจินสด (*Eleocharis dulcis* Trin.) จากจังหวัดสุพรรณบุรี ที่อายุเก็บเกี่ยว 3 ระยะ ได้แก่ ระยะอ่อน ระยะกลาง และระยะแก่ (7, 9 และ 12 เดือน ตามลำดับ) และจากแหล่งเพาะปลูกแห้วที่แตกต่างกัน 3 แหล่ง ได้แก่ แหล่งที่ 1 แหล่งที่ 2 และแหล่งที่ 3 ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 - 3 เซนติเมตร ลักษณะเปลือกเป็นสีดำมันวาว ซึ่งหัวแห้วจินมีความสมบูรณ์ ไม่มีตำหนิ เช่น รุแมลงเจาะหรือมีรอยแผลน้อยที่สุด

3.2 เครื่องมือ

3.2.1 อุปกรณ์สำหรับเตรียมแป้งฟลาวัวร์และสตาร์ช

- 3.2.1.1 ตู้อบลมร้อน (Memmert, เยอรมัน)
- 3.2.1.2 ตู้อบแบบถาด (โปรเกรส อีเล็กทรอนิกส์, ไทย)
- 3.2.1.3 เครื่องปั่นผสม (Moulinex, ฝรั่งเศส)
- 3.2.1.4 เครื่องสไลด์ (Philips)
- 3.2.1.5 เครื่องบดละเอียด (Retsch, ZM 1000, เยอรมัน)
- 3.2.1.6 เครื่องบดหยาบ (Kinematica AG, สวิตเซอร์แลนด์)
- 3.2.1.7 เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง และ 4 ตำแหน่ง (OHAUS, สหรัฐอเมริกา)
- 3.2.1.8 ถังขนาดใหญ่
- 3.2.1.9 ผ้าขาวบาง

3.2.2 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางเคมีกายภาพ

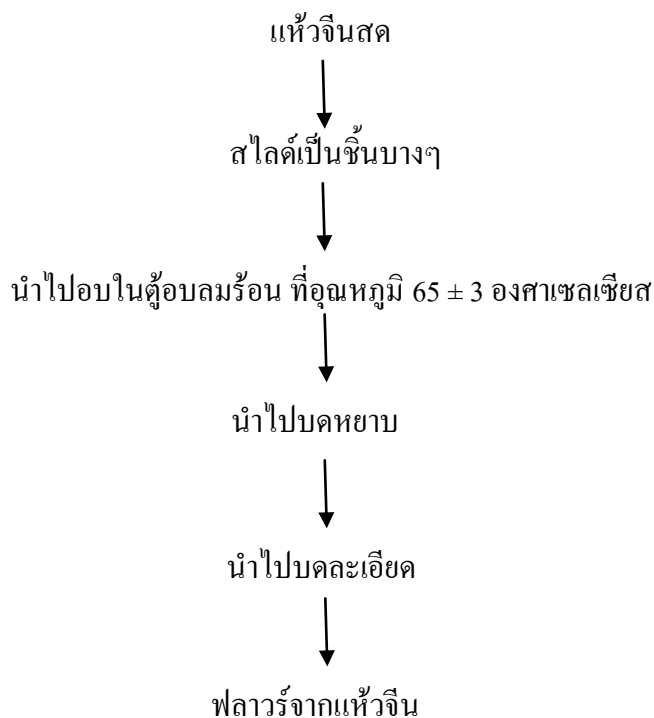
- 3.2.2.1 เครื่องหาปริมาณโปรตีน (Kjeldahl apparatus, Gerhardt, อังกฤษ)
- 3.2.2.2 เครื่องหาปริมาณไขมัน (S306AK, Gerhardt, อังกฤษ)
- 3.2.2.3 เครื่องหาปริมาณเส้นใย (Fibertec1020, Foss, อังกฤษ)
- 3.2.2.4 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (WNB 7-45, Memmert, เยอรมัน)
- 3.2.2.5 กล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน (JSM – 6400, JEOL, ญี่ปุ่น)
- 3.2.2.6 เครื่อง X – ray diffraction (D8 Advance, Bruker AG, เยอรมัน)
- 3.2.2.7 เครื่องวัด pH (Seven Easy, Mettler Toledo, สวิตเซอร์แลนด์)
- 3.2.2.8 เครื่องวัดสี (Minolta Chroma-meter CR-400, Konica, ญี่ปุ่น)

- 3.2.2.9 เครื่อง Laser Particle Size Distribution Analyzer (Masterizer S., Malvern, อังกฤษ)
- 3.2.2.10 เครื่อง Brabender Amylograph (Viscograph-E, เยอรมัน)
- 3.2.2.11 เครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC1, Mettler Toledo, สวิตเซอร์แลนด์)
- 3.2.2.12 เครื่องหมูนเหวี่ยง (Legend Mach 1.6 R, Thermo Fisher, เยอรมัน)
- 3.2.2.13 เครื่อง UV-VIS Spectrophotometer (UV-1601, Shimadzu, ญี่ปุ่น)
- 3.2.2.14 เต้าเผา (LT40, Nabertherm, เยอรมัน)
- 3.2.2.15 โถคูดความชื้น
- 3.2.2.16 เครื่อง Vortex mixer (G560E, Scientific Industries, สหรัฐอเมริกา)
- 3.2.2.17 Magnetic stirrer และ stirring bars (C-MAG MS 7, IKA-Werke GmbH, เยอรมัน)
- 3.2.2.18 เครื่องแก้วต่าง ๆ

3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.3.1 การเตรียมฟลาวร์จากหัวจิ้นสดที่มีอายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

การเตรียมฟลาวร์ใช้กระบวนการ โม่แบบแห้ง (dry milling) โดยนำหัวจิ้นที่ได้มาทำความสะอาด ล้างเพื่อกำจัดคราบดินและสิ่งสกปรกต่าง ๆ ปอกเปลือก แยกส่วนที่ไม่ต้องการออก จากนั้นนำมาล้างให้สะอาดอีกครั้ง แล้วสไลด์เป็นชิ้นบาง ๆ นำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อน (tray dry) ที่อุณหภูมิ 65 ± 3 องศาเซลเซียส ประมาณ 22 ชั่วโมง แล้วนำไปบดด้วยเครื่องบดหยาบก่อน จากนั้นบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดละเอียด (pin mill) ใช้รูดะแกรง (sieve) ขนาด 0.25 มิลลิเมตร ได้เป็นฟลาวร์จากหัวจิ้น กระบวนการผลิตฟลาวร์จากหัวจิ้นแสดงดังภาพที่ 3.1

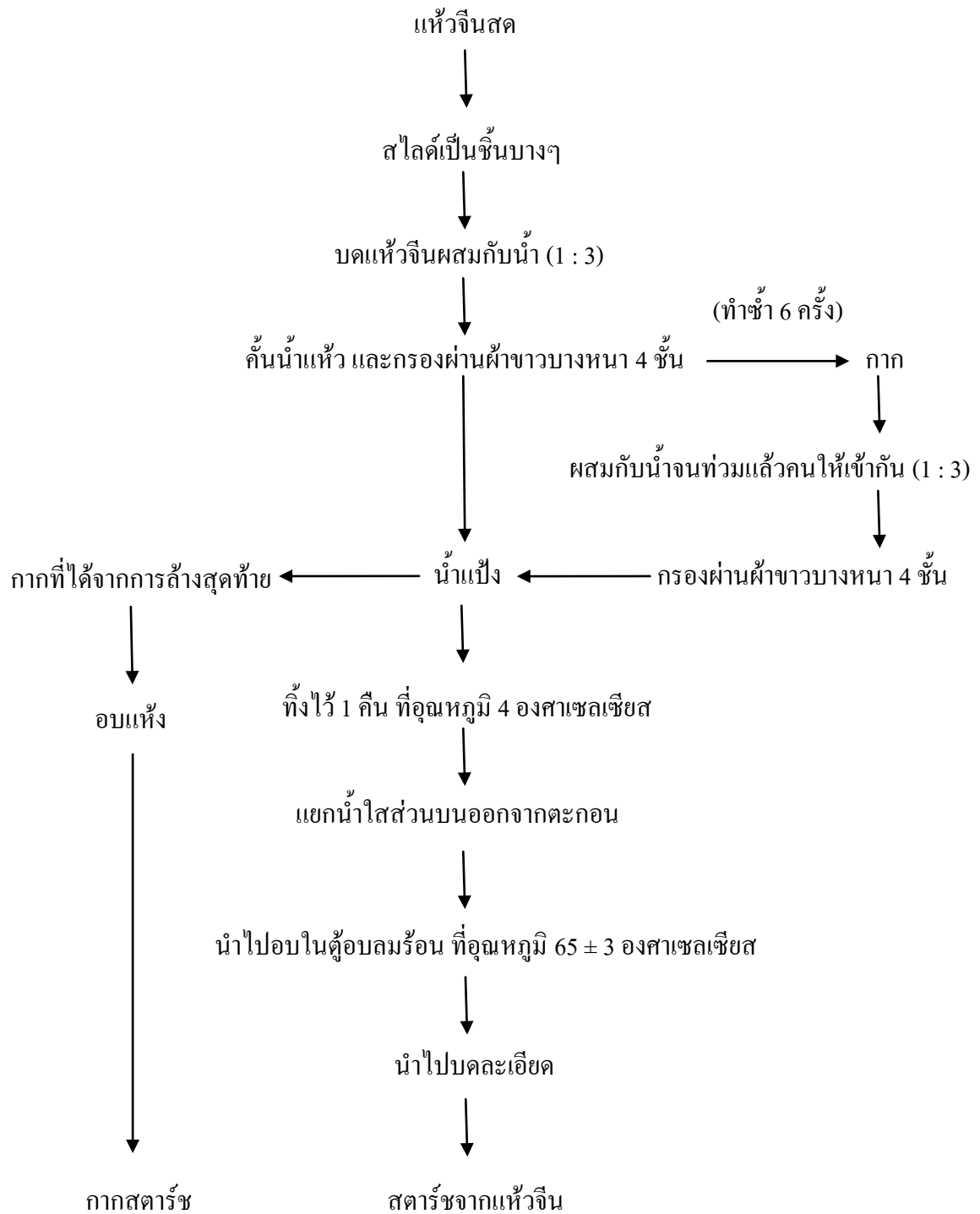


ภาพที่ 3.1 กระบวนการผลิตฟลาวัวร์จากแห้วจิ้น

ที่มา : ดัดแปลงจาก ผาณิต (2549)

3.3.2 การเตรียมสตาร์ชจากแห้วจิ้นสดที่มีอายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

การเตรียมสตาร์ชใช้กระบวนการ โม่แบบเปียก (wet milling) โดยนำแห้วจิ้นมาทำความสะอาด ปอกเปลือก แล้วสไลด์เป็นชั้นบาง ๆ จากนั้นมาบดผสมกับน้ำในอัตราส่วน แห้ว : น้ำ = 1 : 3 กรองผ่านผ้าขาวบาง แล้วแยกกากที่เหลือออกไปผสมกับน้ำในอัตราส่วน แห้ว : น้ำ = 1 : 3 กวนให้เข้ากัน กรองผ่านผ้าขาวบางอีกครั้ง โดยล้างและกรองผ่านผ้าขาวบางทั้งหมด 6 ครั้ง จากนั้นนำน้ำแป้งที่ได้ไปทิ้งไว้ให้ตกตะกอน ในห้องเย็น (อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส) นาน 24 ชั่วโมง แยกน้ำใสส่วนบนออก นำตะกอนของแป้งไปอบแห้งในตู้อบลมร้อน (tray dry) ที่อุณหภูมิ 65 ± 3 องศาเซลเซียส แล้วนำไปบดให้ละเอียด โดยใช้เครื่อง บดละเอียด (pin mill) ใช้รูดตะแกรง (sieve) ขนาด 0.25 มิลลิเมตร ได้เป็นสตาร์ชจากแห้วจิ้น กระบวนการผลิตสตาร์ชจากแห้วจิ้นแสดงดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 กระบวนการผลิตสตาร์ชจากแห้วจิ้น

ที่มา : ดัดแปลงจาก ผาณิต (2549)

จากนั้นนำตัวอย่างจากฟลาวัวร์และสตาร์ชจากหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะอ่อน ระยะกลาง และระยะแก่ (7, 9 และ 12 เดือน ตามลำดับ) ของทั้ง 3 แปลงเพาะปลูก (แหล่งเพาะปลูก ที่ 1, 2 และ 3) มาวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางเคมีกายภาพ ของฟลาวัวร์และสตาร์ช หัวจันทน์ และคำนวณปริมาณผลผลิตที่ได้ต่อไปในข้อ 3.4, 3.5 และ 3.6

3.4 การวิเคราะห์ องค์ประกอบ ทางเคมีของฟลาวัวร์และสตาร์ชจากหัวจันทน์ที่อายุ การเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

3.4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวัวร์จากหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยว และแหล่งเพาะปลูกต่างกัน (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก)

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวัวร์จากหัวจันทน์ 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)
- ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยวิธี Dinitrosalicylic colorimetric (DNS) (Nielsen, 1998)

3.4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชจากหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยว และแหล่งเพาะปลูกต่างกัน (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก)

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชจากหัวจันทน์ 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)
- ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยวิธี Dinitrosalicylic colorimetric (DNS) (Nielsen, 1998)
- ปริมาณแป้ง (% starch) Glucoamylase method โดยวิธี AACC (1990)
- ปริมาณอะมิโลส โดยวิธี Amperometric Titration with potassium iodate

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

3.5 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของฟลาวัวร์และสตาร์ชจากเห้วจินที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

3.5.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของฟลาวัวร์จากเห้วจินที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก)

ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของฟลาวัวร์จากเห้วจิน ดังนี้

- วัดค่า pH ของแป้ง ตามวิธี มอก. 274 – 2521
- วัดค่าสีของแป้ง (L^* , a^* และ b^*) โดยเครื่องวัดสี Minolta CR 400
- วัดกำลังการพองตัว (swelling power) และความสามารถในการละลาย (solubility)

(Lan และคณะ, 2008)

- ค่าซินเนอริซิส (syneresis) (Lan และคณะ, 2008)
- ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความชื้นหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อน

จนถึงการทำให้เย็น ด้วยเครื่อง Brabender Amylograph (AACC, 2000)

3.5.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชจากเห้วจินที่มีอายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก)

ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชจากเห้วจิน 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 (L^* , a^* และ b^*) โดยเครื่องวัดสี Minolta CR 400
- วัดขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคแป้ง (particle size distribution) ด้วยเครื่อง

Laser Particle Size Distribution Analyzer

- วัดกำลังการพองตัว (swelling power) และความสามารถในการละลาย (solubility)

(Lan และคณะ, 2008)

- ค่าซินเนอริซิส (syneresis) (Lan และคณะ, 2008)
- ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความชื้นหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อน

จนถึงการทำให้เย็น ด้วยเครื่อง Brabender Amylograph (AACC, 2000)

- ศึกษาสมบัติทางความร้อนของแป้งโดยใช้เครื่อง Differential Scanning

Calorimetry (DSC)

3.6 การคำนวณปริมาณผลผลิตที่ได้ของฟลาวัวร์และสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

นำปริมาณของฟลาวัวร์จากหัวจันทน์ที่ได้จากการผลิตจากหัวจันทน์ที่มีอายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกัน มาคำนวณหาปริมาณผลผลิตที่ได้ (% yield) จาก

$$\text{ปริมาณผลผลิตฟลาวัวร์ที่ได้ (\% yield)} = \frac{\text{น้ำหนักฟลาวัวร์จากหัวจันทน์ที่ผลิตได้}}{\text{น้ำหนักหัวจันทน์สดปอกเปลือก}} \times 100$$

นำปริมาณของสตาร์ชจากหัวจันทน์ที่ได้จากการผลิตจากหัวจันทน์ที่มีอายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกัน มาคำนวณหาปริมาณผลผลิตที่ได้ (% yield) จาก

$$\text{ปริมาณผลผลิตสตาร์ชที่ได้ (\% yield)} = \frac{\text{น้ำหนักสตาร์ชจากหัวจันทน์ที่ผลิตได้}}{\text{น้ำหนักหัวจันทน์สดปอกเปลือก}} \times 100$$

3.7 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

โดยในการทดลองนี้มีการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล ซึ่งมีสิ่งทดลอง 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 คือ อายุการเก็บเกี่ยว 3 ระยะ ได้แก่ ระยะอ่อน ระยะกลาง และระยะแก่ (7, 9 และ 12 เดือน ตามลำดับ) ปัจจัยที่ 2 คือ แหล่งเพาะปลูก 3 แหล่ง (แหล่งที่ 1, 2 และ 3) โดยใช้จำนวนซ้ำของการทดลอง 3 ซ้ำ และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (CRD) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตาม Duncan's New Multiple Range Test ซึ่งทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน ของปัจจัย (analysis of variance - ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม SPSS version 17

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวัวร์และสตาร์ชจากหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่แตกต่างกัน

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวัวร์หัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยว (7, 9 และ 12 เดือน) และแหล่งเพาะปลูก (แปลงที่ 1, 2 และ 3) ที่ต่างกันในตารางที่ 4.1 พบว่า ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน ปริมาณเส้นใย ปริมาณเถ้า ปริมาณคาร์โบไฮเดรต และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของฟลาวัวร์หัวจิ้นได้รับอิทธิพลร่วมจากอายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูก โดยฟลาวัวร์หัวจิ้นทุกอายุการเก็บเกี่ยวและทุกแหล่งเพาะปลูกที่ศึกษามีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 7.26 - 12.17 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโปรตีนที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะกลาง (9 เดือน) มีปริมาณสูงสุด ($p < 0.05$) อาจเนื่องมาจากการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในระยะต่าง ๆ และสภาพแวดล้อมในการปลูกที่ต่างกันจะส่งผลต่อการสร้างโปรตีนของหัวจิ้นเมื่อมีอายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้น (อรอนงค์, 2550) โดยปริมาณไขมันที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะแก่ (12 เดือน) มีแนวโน้มที่มีปริมาณไขมันสูงสุด ($p < 0.05$) สำหรับปริมาณใยอาหารและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในฟลาวัวร์หัวจิ้น พบว่า ที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะอ่อน (7 เดือน) มีปริมาณใยอาหารและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุด ($p < 0.05$) และเมื่อพิจารณาถึงปริมาณเถ้าและปริมาณคาร์โบไฮเดรตในฟลาวัวร์หัวจิ้น พบว่า ที่อายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้น ปริมาณเถ้าและปริมาณคาร์โบไฮเดรตมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ($p < 0.05$) อาจเนื่องมาจากเมื่อหัวจิ้นมีอายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้น โครงสร้างของหัวจิ้นเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยเปลี่ยนน้ำตาลไปเป็นแป้ง ทำให้เมื่ออายุการเก็บเกี่ยวหัวจิ้นเพิ่มขึ้นปริมาณคาร์โบไฮเดรตเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของฟลาวัวร์หัวจิ้นที่พบว่าเมื่ออายุการเก็บเกี่ยวหัวจิ้นเพิ่มขึ้นปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จะลดลง

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยว (7, 9 และ 12 เดือน) และแหล่งเพาะปลูก (แปลงที่ 1, 2 และ 3) ที่ต่างกันในตารางที่ 4.2 พบว่า สตาร์ชหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกันมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 7.96 - 9.84 เปอร์เซ็นต์ โดยอิทธิพลของอายุการเก็บเกี่ยวมีผลต่อปริมาณโปรตีน โดยที่ปริมาณโปรตีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Chaing และคณะ (2007) โดยรายงาน ว่า อายุการเก็บเกี่ยวของกระฉับที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นด้วย และเมื่อพิจารณาถึงปริมาณไขมันในสตาร์ชหัวจิ้น พบว่า ปริมาณไขมันของสตาร์ชหัวจิ้นทั้ง 3 ระยะ และ 3 แหล่งเพาะปลูกไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ซึ่งมีปริมาณที่ค่อนข้างน้อย

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวัวร์เหี่ยวจืดที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

อายุการเก็บเกี่ยว (เดือน)	แหล่ง เพาะปลูกที่	ปริมาณ ความชื้น(%)	ปริมาณ โปรตีน(%db)	ปริมาณไขมัน (%db)	ปริมาณ เส้นใย(%db)	ปริมาณเถ้า (%db)	ปริมาณ คาร์โบไฮเดรต (%db)	ปริมาณ น้ำตาลรีดิวซ์ (g/100g ตัวอย่าง)
7	1	11.13 ^b ±0.45	8.48 ^b ±0.73	0.61 ^{ab} ±0.05	5.47 ^a ±0.13	6.91 ^d ±0.12	67.39 ^c ±0.62	0.83 ^c ±0.03
	2	11.23 ^a ±0.24	8.19 ^b ±0.66	0.64 ^{ab} ±0.09	4.97 ^b ±0.23	6.76 ^d ±0.10	68.21 ^c ±0.97	0.95 ^b ±0.02
	3	12.17 ^b ±0.32	7.95 ^b ±0.25	0.59 ^{ab} ±0.09	5.12 ^b ±0.11	6.38 ^c ±0.11	67.79 ^c ±0.23	1.07 ^a ±0.02
9	1	8.08 ^{cd} ±0.24	9.59 ^a ±0.57	0.48 ^b ±0.09	5.39 ^{dc} ±0.20	6.80 ^d ±0.08	71.47 ^{bc} ±0.84	0.24 ^{ef} ±0.03
	2	8.14 ^c ±0.23	9.66 ^a ±0.27	0.48 ^b ±0.08	3.51 ^{dc} ±0.02	6.94 ^d ±0.05	71.27 ^{bc} ±0.14	0.33 ^d ±0.06
	3	8.14 ^c ±0.19	10.14 ^a ±0.20	0.45 ^b ±0.02	3.62 ^d ±0.03	6.95 ^d ±0.09	70.71 ^{cd} ±0.21	0.21 ^f ±0.04
12	1	7.89 ^{cd} ±0.25	9.49 ^a ±0.07	0.68 ^a ±0.11	4.06 ^c ±0.06	7.84 ^a ±0.05	70.04 ^d ±0.14	0.25 ^{ef} ±0.03
	2	7.26 ^c ±0.09	7.91 ^b ±0.03	0.72 ^a ±0.21	3.37 ^c ±0.04	7.29 ^c ±0.17	73.44 ^a ±0.25	0.28 ^{dc} ±0.02
	3	7.26 ^{dc} ±0.08	8.57 ^b ±0.14	0.61 ^{ab} ±0.05	3.89 ^c ±0.04	7.64 ^b ±0.20	72.04 ^b ±0.28	0.22 ^{ef} ±0.03

หมายเหตุ * อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงค่าตัวเลขที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% db น้ำหนักแห้ง

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

อายุการเก็บเกี่ยว (เดือน)	แหล่ง เพาะปลูกที่	ปริมาณ ความชื้น(%)	ปริมาณ โปรตีน(%db)	ปริมาณไขมัน (%db)	ปริมาณ เส้นใย(%db)	ปริมาณเถ้า (%db) ^{ns}	ปริมาณ คาร์โบไฮเดรต (%db)	ปริมาณ น้ำตาลรีดิวซ์ (g/100g ตัวอย่าง) ^{ns}	ปริมาณสตาร์ช (%db)	ปริมาณ อะมิโลส (g/100g ตัวอย่าง)
7	1	9.13 ^{ab} ±0.09	0.44 ^{ab} ±0.06	0.17 ^a ±0.03	0.32 ^{ab} ±0.05	0.42±0.25	89.52 ^d ±0.17	<0.01	41.05 ^c ±0.40	21.52 ^{ab} ±0.56
	2	9.02 ^b ±0.17	0.30 ^d ±0.06	0.04 ^{ab} ±0.02	0.18 ^d ±0.10	0.33±0.06	90.13 ^c ±0.11	<0.01	39.72 ^c ±0.04	21.53 ^{ab} ±0.70
	3	9.84 ^a ±0.27	0.40 ^{bc} ±0.04	0.09 ^b ±0.05	0.30 ^{abc} ±0.05	0.40±0.07	88.98 ^c ±0.02	<0.01	37.38 ^f ±0.88	21.49 ^{ab} ±0.17
9	1	8.89 ^b ±0.06	0.47 ^{ab} ±0.04	0.11 ^b ±0.04	0.25 ^{abcd} ±0.02	0.24±0.08	90.04 ^c ±0.07	<0.01	59.86 ^{bc} ±0.62	21.51 ^{ab} ±0.11
	2	8.36 ^c ±0.28	0.35 ^{cd} ±0.02	0.02 ^c ±0.03	0.23 ^{bcd} ±0.02	0.26±0.01	90.78 ^b ±0.04	<0.01	59.16 ^{bc} ±0.12	21.42 ^{ab} ±0.11
	3	7.97 ^c ±0.28	0.31 ^d ±0.02	0.08 ^{ab} ±0.05	0.20 ^d ±0.04	0.38±0.05	91.07 ^a ±0.08	<0.01	58.66 ^c ±0.81	21.65 ^{ab} ±0.44
12	1	7.96 ^c ±0.29	0.45 ^{ab} ±0.08	0.07 ^{ab} ±0.03	0.34 ^a ±0.04	0.30±0.18	90.89 ^b ±0.06	<0.01	57.12 ^d ±1.00	21.79 ^a ±0.04
	2	8.08 ^c ±0.15	0.47 ^{ab} ±0.06	0.06 ^{ab} ±0.03	0.21 ^{cd} ±0.08	0.36±0.04	90.82 ^b ±0.19	<0.01	62.69 ^a ±0.42	21.02 ^b ±0.30
	3	8.09 ^c ±0.16	0.50 ^a ±0.02	0.07 ^{ab} ±0.04	0.18 ^d ±0.04	0.32±0.02	90.85 ^b ±0.07	<0.01	60.18 ^b ±0.37	21.31 ^{ab} ±0.35

หมายเหตุ * อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงค่าตัวเลขที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 ns ค่าตัวเลขในแนวตั้งเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 db น้ำหนักแห้ง

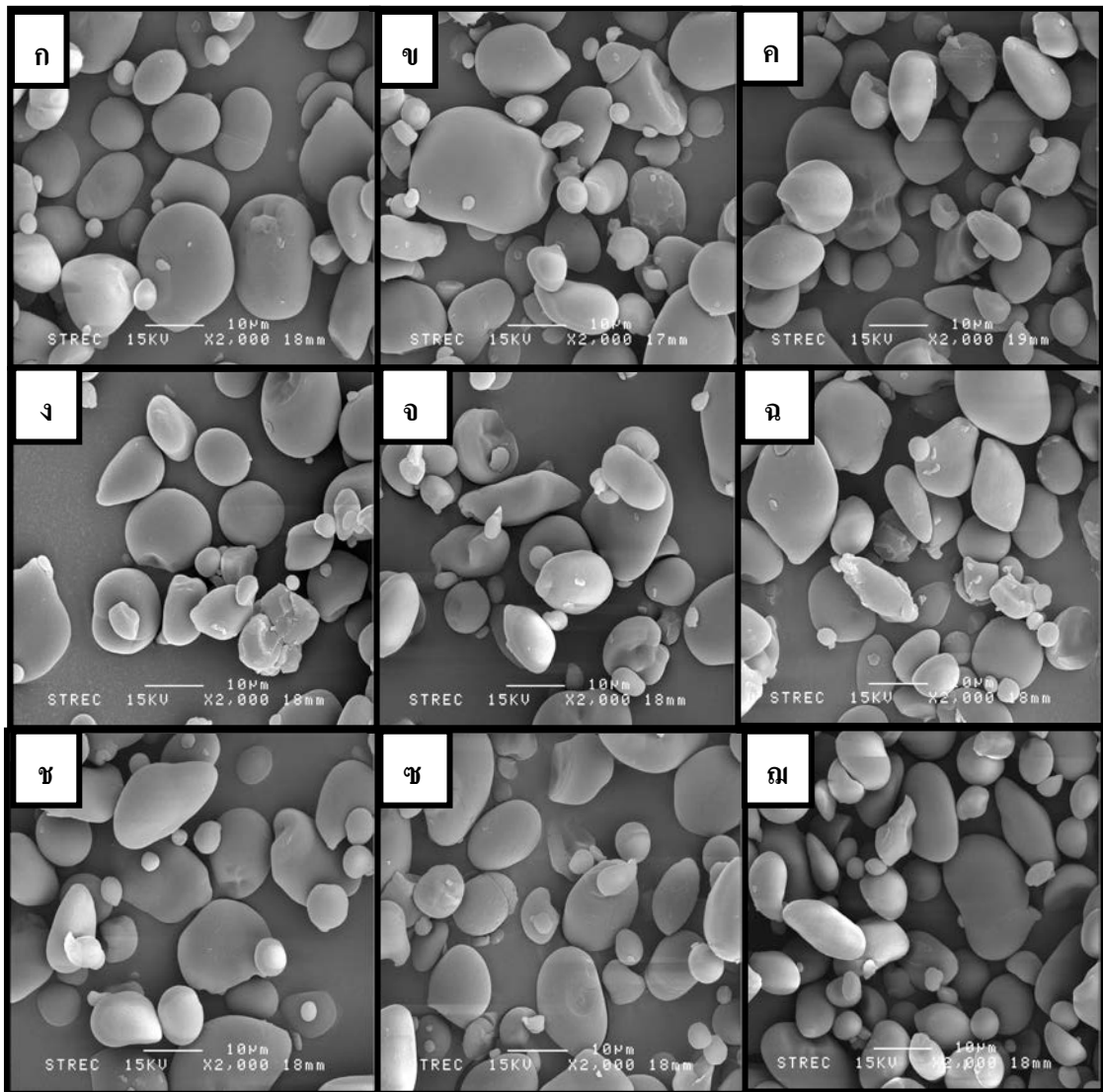
(0.06 - 0.11 เปอร์เซ็นต์) โดยไขมันจะเกาะอยู่ที่ผิวของเม็ดสตาร์ชและจะกระจายอยู่ทั่วไปภายในเม็ดสตาร์ช และเชื่อมพันธะกับ คาร์โบไฮเดรตอย่างหลวม ๆ ซึ่งหัวเป็นพืชหัวก็มักจะไม่มีไขมันอยู่ภายในเม็ดสตาร์ช (กล้านรงค์และเกื้อกูล, 2550) โดยปริมาณเส้นใยของสตาร์ชหัวเงินได้รับอิทธิพลร่วมจากอายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูก ซึ่งแหล่งเพาะปลูกที่ 1 มีแนวโน้มว่ามีปริมาณเส้นใยที่สูงกว่าแหล่งเพาะปลูกอื่น ๆ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปัจจัยต่าง ๆ ของแต่ละแหล่งเพาะปลูก เช่น สภาพการเจริญเติบโต (Correia และคณะ, 2009) ปัจจัยสิ่งแวดล้อม (Lan และคณะ, 2008) ความสมบูรณ์ของอาหารในดิน และสภาพการเพาะปลูก เช่น ช่วงเวลา การเพาะปลูก และปริมาณน้ำฝน (กล้านรงค์และเกื้อกูล, 2550) ที่แตกต่างกัน สำหรับปริมาณเถ้า ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณสตาร์ช และปริมาณอะมิโลสของสตาร์ชหัวเงินได้รับอิทธิพลร่วมจากอายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูก โดยมีปริมาณเถ้าอยู่ในช่วง 0.25 - 0.39 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเถ้าเป็นสารประกอบของสารอนินทรีย์ที่อยู่ในสตาร์ชหัวเงิน โดยมีอยู่ค่อนข้างน้อย อาจเนื่องมาจากสารอนินทรีย์บางตัวเกิดการสูญเสียในระหว่างกระบวนการผลิตจากการที่ต้องผ่านการล้างน้ำหลาย ๆ ครั้ง เพื่อให้สตาร์ชมีความบริสุทธิ์มากขึ้น เมื่อพิจารณาถึงปริมาณคาร์โบไฮเดรต และปริมาณสตาร์ช พบว่า ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณสตาร์ช มีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้น สำหรับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในสตาร์ชหัวเงิน พบว่า ปริมาณ น้ำตาลรีดิวซ์ ของสตาร์ชหัวเงินทั้ง 3 ระยะ และ 3 แหล่งเพาะปลูกไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่น้อยมาก อาจเนื่องมาจากกระบวนการผลิตสตาร์ชที่ต้องผ่านการล้างน้ำหลาย ๆ ครั้ง เพื่อให้สตาร์ชมีความบริสุทธิ์ทำให้องค์ประกอบของสตาร์ชเกิดการสูญเสีย ส่วน ปริมาณอะมิโลส พบว่า อยู่ในช่วง 21.02 - 21.79 เปอร์เซ็นต์

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ ฟลาวัวร์และ สตาร์ชหัวเงินที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกัน ใน จากตารางที่ 4.1 และ 4.2 พบว่า ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณเส้นใย ปริมาณเถ้า ปริมาณคาร์โบไฮเดรต และปริมาณ น้ำตาลรีดิวซ์ของสตาร์ชหัวเงินมีปริมาณน้อยกว่าในฟลาวัวร์หัวเงิน เนื่องจากในระหว่างกระบวนการผลิต สตาร์ชต้องผ่านการล้างน้ำหลาย ๆ ครั้ง เพื่อให้สตาร์ชมีความบริสุทธิ์มากขึ้น ทำให้องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชเกิดการสูญเสีย จึงส่งผลให้องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชมีปริมาณน้อยกว่าองค์ประกอบในฟลาวัวร์หัวเงิน

4.2 ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของฟลาวาร์และสตาร์ชจากหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่แตกต่างกัน

4.2.1 ผลการศึกษาขนาดและลักษณะของเม็ดแป้ง (morphology of starch granule) ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM)

จากการนำสตาร์ชจากหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกันไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน (SEM) ที่กำลังขยาย 2000 เท่า ในภาพที่ 4.1 พบว่า เม็ดสตาร์ชมีลักษณะการกระจายตัวเป็นอิสระ มีการเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนบ้างบางส่วน ลักษณะเป็นวงรี มีผิวเรียบ และที่อายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นมีผลทำให้เม็ดสตาร์ชมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยเม็ดสตาร์ชที่อายุการเก็บเกี่ยว 12 เดือน มีขนาดที่ค่อนข้างใหญ่กว่าเม็ดสตาร์ชที่อายุการเก็บเกี่ยว 7 เดือน และ 9 เดือน ซึ่งขนาดของเม็ดสตาร์ชหัวจิ้นนั้นมีอยู่ 2 ขนาด ได้แก่ ขนาดใหญ่ซึ่งจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นจาก 13.83 ± 1.26 เป็น 17.83 ± 4.01 ไมครอน และขนาดเล็กมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 1 - 2 ไมครอน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของผาณิต (2549) ที่รายงานว่ามีเม็ดสตาร์ชของหัวจิ้นมีลักษณะกลมคล้ายไข่มีรอยตัด มีผิวเรียบ ขนาดเล็ก และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดสตาร์ชหัวจิ้นอยู่ในช่วง 5 - 17 ไมครอน Lan และคณะ (2008) และ Yu และคณะ (1999) รายงานว่า เม็ดสตาร์ชหัวจิ้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 - 15 ไมครอน และ 12 ± 5 ไมครอน ตามลำดับ สำหรับ Wang และคณะ (2008) และ Chiang และคณะ (2007) ได้รายงานว่าระยะเวลาในการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้นของกระบี่ทำให้ขนาดของเม็ดสตาร์ชของกระบี่เพิ่มขึ้น และที่ระยะการเก็บเกี่ยวสุดท้ายนั้น มีขนาดของเม็ดสตาร์ชใหญ่ที่สุด โดยแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกันของสตาร์ชหัวจิ้นไม่มีผลต่อขนาดและลักษณะของเม็ดสตาร์ช



ภาพที่ 4.1 ขนาดและลักษณะของเม็ดแป้งของสตาร์ชจากหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวและ
แหล่งเพาะปลูกที่ต่างกัน

(ก) แปลงที่ 1 (ข) แปลงที่ 2 (ค) แปลงที่ 3 ของอายุการเก็บเกี่ยว 7 เดือน

(ง) แปลงที่ 1 (จ) แปลงที่ 2 (ฉ) แปลงที่ 3 ของอายุการเก็บเกี่ยว 9 เดือน

(ช) แปลงที่ 1 (ซ) แปลงที่ 2 (ฅ) แปลงที่ 3 ของอายุการเก็บเกี่ยว 12 เดือน

4.2.2 ค่าความเป็นกรดต่างของฟลาวัวร์และสตาร์ชหัวจิ้น ที่อายุการเก็บเกี่ยว และแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

ผลจากการวัดค่าความเป็นกรดต่างของฟลาวัวร์และสตาร์ชหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยว (7, 9 และ 12 เดือน) และแหล่งเพาะปลูก (แปลงที่ 1, 2 และ 3) ที่ต่างกัน แสดงในตารางที่ 4.3 พบว่า ค่า pH ของฟลาวัวร์และสตาร์ชหัวจิ้นได้รับอิทธิพลร่วมจากอายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูก โดยค่า pH ของฟลาวัวร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีอายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) ขณะที่ค่า pH ของสตาร์ชหัวจิ้นมีแนวโน้มลดลง ($p < 0.05$) อาจเนื่องมาจาก สภาพแวดล้อมที่ใช้ปลูก เช่น ชนิดของดิน ความแห้งแล้ง (น้ำ) โดยนักวิชาการศูนย์วิจัยพืชไร่กล่าวว่า หัวมันสำปะหลังที่ปลูก ในสภาพดินเหนียว (มีน้ำมาก) จะมีค่า pH สูงกว่าหัวมันสำปะหลังที่ปลูก ในสภาพดินทรายหรือสภาพที่แล้ง (มีน้ำน้อย) ซึ่งค่า pH ในหัวมันสำปะหลังที่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีน้ำมากจะมีปริมาณกรดไซยานิกที่เจือจางกว่าหัวมันสำปะหลังที่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีน้ำน้อย และเนื่องจากการเก็บเกี่ยวหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะอ่อน (7 เดือน) ซึ่งยังไม่ใช่ช่วงที่เกษตรกรนิยมเก็บจึงไม่ได้รับขนานน้ำออกจากแหล่งเพาะปลูก ขณะที่อายุการเก็บเกี่ยว 9 เดือน เป็นช่วงการเก็บเกี่ยวของเกษตรกรจึงมีการระบายน้ำออกไวล่วงหน้า นั่นอาจส่งผลให้ค่า pH ในสตาร์ชหัวจิ้นมีค่าลดลง โดยที่ฟลาวัวร์หัวจิ้นมีค่า pH เพิ่มขึ้นเมื่อมีอายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้น ก็อาจเนื่องมาจากองค์ประกอบต่าง ๆ ในฟลาวัวร์หัวจิ้นที่เพิ่มสูงขึ้นจึงอาจส่งผลต่อค่า pH ของฟลาวัวร์หัวจิ้นที่เพิ่มขึ้น และผาณิต (2549) รายงานว่า ค่า pH ของแป้งฟลาวัวร์และสตาร์ชอยู่ในช่วงที่เป็นกลางค่อนข้างไปทางกรดเล็กน้อย ซึ่ง ควรนำไปศึกษาทดลองเพิ่มเติมต่อไป

ตารางที่ 4.3 ผลการวัดค่าความเป็นกรดต่างของฟลาวัวร์และสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

อายุการเก็บเกี่ยว (เดือน)	แหล่งเพาะปลูกที่	pH	
		ฟลาวัวร์	สตาร์ช
7	1	5.58 ^h ±0.01	4.71 ^g ±0.02
	2	5.93 ^c ±0.02	5.68 ^b ±0.01
	3	5.64 ^g ±0.02	5.45 ^c ±0.02
9	1	5.82 ^f ±0.00	5.08 ^e ±0.04
	2	5.94 ^c ±0.01	5.12 ^d ±0.01
	3	6.07 ^d ±0.01	6.01 ^a ±0.02
12	1	6.29 ^a ±0.01	4.90 ^f ±0.05
	2	6.17 ^c ±0.02	4.66 ^h ±0.02
	3	6.27 ^b ±0.01	4.59 ⁱ ±0.01

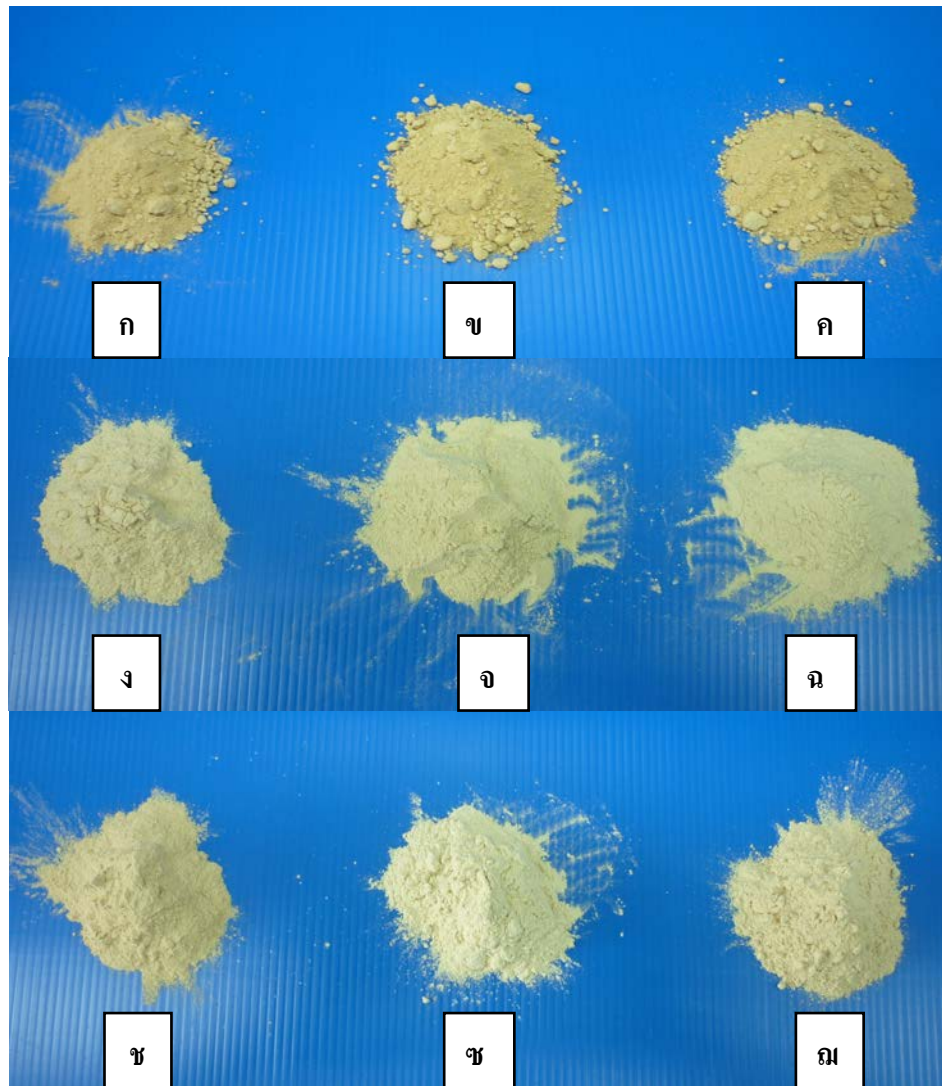
หมายเหตุ * อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงค่าตัวเลขที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.2.3 ผลของค่าสีของฟลาวัวร์และสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูก

ต่างกัน

ผลจากการวัดค่าสีของฟลาวัวร์หัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยว (7, 9 และ 12 เดือน) และแหล่งเพาะปลูก (แปลงที่ 1, 2 และ 3) ที่ต่างกันได้ผลตามภาพที่ 4.2 และตารางที่ 4.2 พบว่า ฟลาวัวร์หัวจันทน์มีลักษณะเป็นผงละเอียด เมื่อมองด้วยตาเปล่าจะสังเกตเห็นได้ว่าที่อายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้น ฟลาวัวร์หัวจันทน์มีแนวโน้มสีอ่อนลง และเมื่อทำการวัดค่าสีของฟลาวัวร์หัวจันทน์ พบว่า ค่าความเป็นสีแดง (a^*) ของฟลาวัวร์หัวจันทน์ได้รับอิทธิพลร่วมจากอายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูก และอิทธิพลของอายุการเก็บเกี่ยวมีผลต่อค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ค่าความเข้มสี (Chroma) ค่าเฉดสี (Hue angle) และค่าดัชนีความขาว (Whiteness) ของฟลาวัวร์หัวจันทน์ โดยที่อายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นลักษณะสีขาวสว่าง (L^*) และดัชนีความขาว (Whiteness) ของฟลาวัวร์หัวจันทน์เพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) ขณะที่ความเป็นสีแดง (a^*) สีเหลือง (b^*) และความเข้มสี (Chroma) ลดลง ($p < 0.05$) และพบว่า ฟลาวัวร์หัวจันทน์ทั้ง 3 ระยะ และทั้ง 3 แหล่งเพาะปลูกมี เฉดสี (Hue angle) ที่ใกล้เคียงกัน จึงกล่าวได้ว่า ที่อายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นของ ฟลาวัวร์หัวจันทน์มีผลทำให้สีของฟลาวัวร์หัวจันทน์มีแนวโน้มสว่างขึ้นหรือมีสีที่อ่อนลง โดยที่แหล่งเพาะปลูกไม่มีอิทธิพลต่อสีของฟลาวัวร์หัวจันทน์ อาจเนื่องมาจากปริมาณน้ำตาลรีดิซในฟลาวัวร์หัวจันทน์ (ตารางที่ 4.1) ที่พบว่า ที่อายุการเก็บ

เกี่ยวระยะอ่อน (7 เดือน) มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงที่สุด ($p < 0.05$) โดยในระหว่างกระบวนการผลิตฟลาวร์มีการใช้ความร้อนในการอบแห้ง และในฟลาวร์แห้งเงินมีองค์ประกอบของน้ำตาลรีดิวซ์และโปรตีนเป็นสารตั้งต้น เมื่อไปรวมตัวกับน้ำที่มีอยู่ในอาหาร (ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา) ก็จะทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดขึ้น (นิธิยา, 2553) ส่งผลให้แป้งฟลาวร์แห้งเงินมีสีที่เข้มขึ้น



ภาพที่ 4.2 สีของฟลาวร์แห้งเงินที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกัน

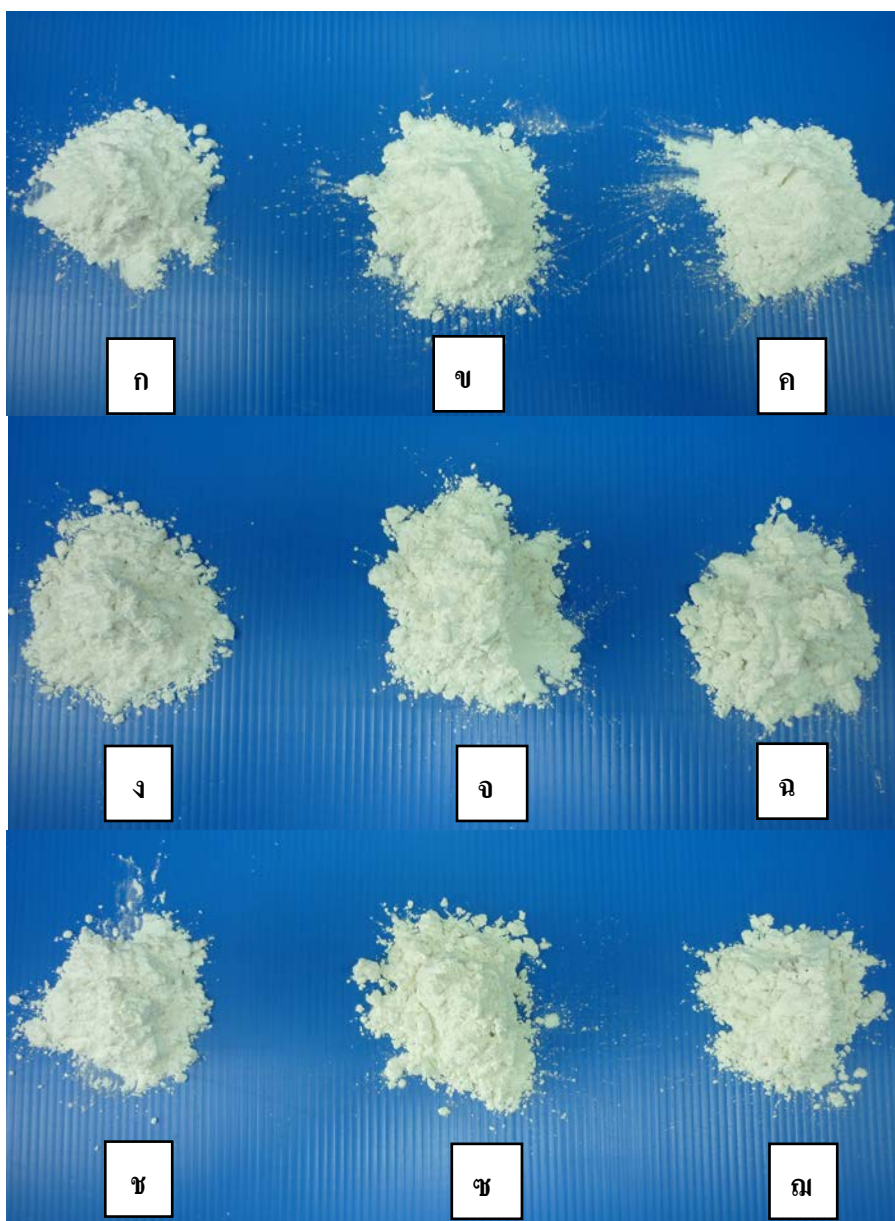
- (ก) แปลงที่ 1 (ข) แปลงที่ 2 (ค) แปลงที่ 3 ของอายุการเก็บเกี่ยว 7 เดือน
 (ง) แปลงที่ 1 (จ) แปลงที่ 2 (ฉ) แปลงที่ 3 ของอายุการเก็บเกี่ยว 9 เดือน
 (ช) แปลงที่ 1 (ซ) แปลงที่ 2 (ฅ) แปลงที่ 3 ของอายุการเก็บเกี่ยว 12 เดือน

ตารางที่ 4.4 ผลการวัดค่าสีของฟลาวัวร์เห้วจินที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

อายุการเก็บเกี่ยว (เดือน)	แหล่ง เพาะปลูกที่	L*	a*	b*	ความเข้มสี (Chroma)	เฉดสี (Hue angle)	ดัชนีความขาว (Whiteness index)
7	1	74.84 ^b ±0.71	6.91 ^a ±0.04	27.05 ^a ±0.53	27.92 ^a ±0.52	75.67 ^c ±0.20	62.42 ^b ±0.44
	2	74.92 ^b ±0.11	6.79 ^a ±0.14	26.83 ^a ±0.53	27.67 ^a ±0.54	75.79 ^c ±0.18	62.65 ^b ±0.34
	3	75.61 ^b ±0.57	6.29 ^b ±0.16	25.96 ^a ±0.62	26.71 ^a ±0.58	76.37 ^c ±0.59	63.82 ^b ±0.06
9	1	85.88 ^a ±0.47	2.01 ^c ±0.13	19.17 ^b ±1.46	19.27 ^b ±1.46	83.98 ^{ab} ±0.49	76.10 ^a ±1.43
	2	85.92 ^a ±0.15	2.04 ^c ±0.15	18.66 ^{bc} ±0.84	18.78 ^{bc} ±0.85	83.77 ^{ab} ±0.42	76.52 ^a ±0.59
	3	96.13 ^a ±0.52	1.83 ^c ±0.15	18.21 ^{bc} ±0.82	18.30 ^{bc} ±0.82	84.26 ^a ±0.41	77.02 ^a ±0.70
12	1	86.22 ^a ±3.13	1.98 ^c ±0.17	18.14 ^{bc} ±1.08	18.25 ^{bc} ±1.07	83.76 ^{ab} ±0.62	77.07 ^a ±2.49
	2	86.13 ^a ±2.83	1.98 ^c ±0.15	17.07 ^c ±1.48	17.18 ^c ±1.48	83.36 ^{ab} ±0.40	77.89 ^a ±2.92
	3	85.68 ^a ±2.58	2.00 ^c ±0.09	17.14 ^c ±1.28	17.26 ^c ±1.26	83.30 ^b ±0.71	77.55 ^a ±2.26

หมายเหตุ * อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงค่าตัวเลขที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลจากการวัดค่าสีของสตาร์ชเหหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยว (7, 9 และ 12 เดือน) และแหล่งเพาะปลูก (แปลงที่ 1, 2 และ 3) ที่ต่างกัน แสดงดังภาพที่ 4.3 และตารางที่ 4.5 พบว่า สตาร์ชเหหัวจิ้นมีลักษณะเป็นผงละเอียด เมื่อมองด้วยตาเปล่าไม่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างของสีจากสตาร์ชเหหัวจิ้นได้ ในขณะที่เมื่อทำการวัดค่าสีของสตาร์ชเหหัวจิ้น พบว่า อิทธิพลของอายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกมีผลต่อค่า (L^*) และอิทธิพลของอายุการเก็บเกี่ยวเพียงปัจจัยเดียวมีผลต่อค่าความเป็นสีเขียว (a^*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ค่าความเข้มสี (Chroma) ค่าเฉดสี (Hue angle) และค่าดัชนีความขาว (Whiteness) ของสตาร์ชเหหัวจิ้น โดยอายุการเก็บเกี่ยวระยะแก่ (12 เดือน) มีแนวโน้มว่ามีลักษณะสีขาวสว่าง (L^*) และดัชนีความขาว (Whiteness) ลดลง ($p < 0.05$) ขณะที่มีความเป็นสีเขียว (a^*) ความเป็นสีเหลือง (b^*) และค่าความเข้มสี (Chroma) เพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) ซึ่งสตาร์ชเหหัวจิ้นทั้ง 3 ระยะ และทั้ง 3 แหล่งเพาะปลูกมีเฉดสี (Hue angle) ที่ใกล้เคียงกัน จึงกล่าวได้ว่า อายุการเก็บเกี่ยวที่เพิ่มขึ้นของเหหัวจิ้น มีผลทำให้สีของสตาร์ชเหหัวจิ้นมีแนวโน้มเข้มขึ้น ซึ่งอาจเนื่องมาจากรงควัตถุที่ทำให้เกิดสีในเหหัวจิ้นสดมีความแตกต่างกัน โดยสังเกตได้ว่าเหหัวจิ้นสดที่มีอายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นหรือแก่ขึ้น สีของเหหัวจิ้นจะมีสีเข้มขึ้น ซึ่งอาจจะเป็นผลทำให้สีของสตาร์ชเหหัวจิ้นที่มีอายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นมีสีเข้มขึ้น และพบว่า แหล่งเพาะปลูกที่แตกต่างกัน ไม่มีผลทำให้ค่าความสว่างของสตาร์ชเหหัวจิ้นแตกต่างกัน ($p < 0.05$)



ภาพที่ 4.3 สีของสตาร์ชเหี่ยวจีนที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกัน
 (ก) แปลงที่ 1 (ข) แปลงที่ 2 (ค) แปลงที่ 3 ของอายุการเก็บเกี่ยว 7 เดือน
 (ง) แปลงที่ 1 (จ) แปลงที่ 2 (ฉ) แปลงที่ 3 ของอายุการเก็บเกี่ยว 9 เดือน
 (ช) แปลงที่ 1 (ซ) แปลงที่ 2 (ฅ) แปลงที่ 3 ของอายุการเก็บเกี่ยว 12 เดือน

ตารางที่ 4.5 ผลการวัดค่าสีของสตาร์ชแห้วจินที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

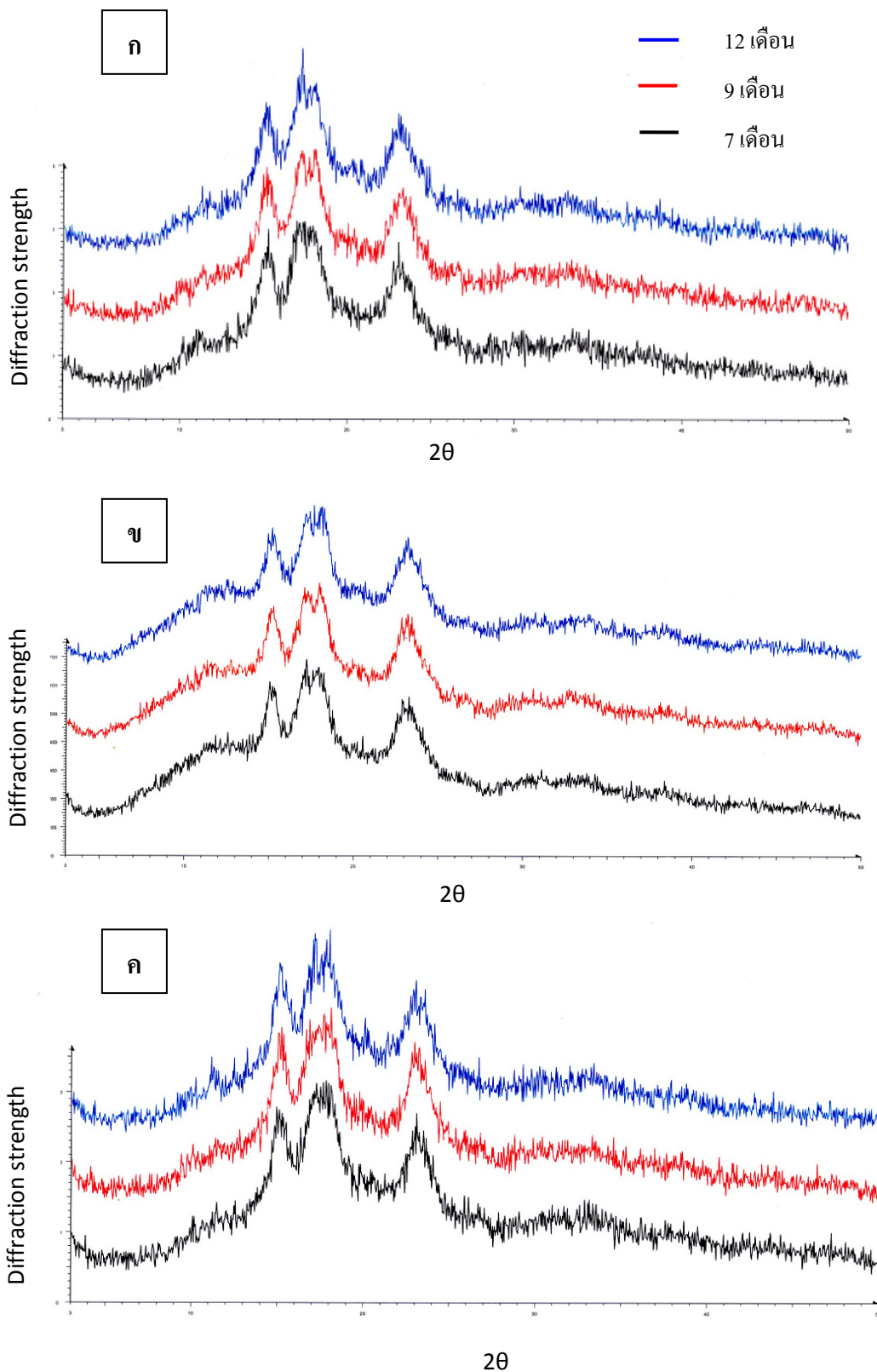
อายุการเก็บเกี่ยว (เดือน)	แหล่ง เพาะปลูกที่	L*	a*	b*	ความเข้มสี (Chroma)	เฉดสี (Hue angle)	ดัชนีความขาว (Whiteness index)
7	1	99.08 ^a ±0.44	-0.23 ^a ±0.05	2.48 ^b ±0.17	2.49 ^b ±0.17	95.29 ^{ab} ±1.46	97.32 ^a ±0.13
	2	98.88 ^{ab} ±0.65	-0.23 ^a ±0.05	2.45 ^b ±0.18	2.46 ^b ±0.18	95.43 ^{ab} ±1.43	97.25 ^{ab} ±0.20
	3	98.85 ^{ab} ±0.40	-0.23 ^a ±0.03	2.44 ^b ±0.21	2.46 ^b ±0.21	95.45 ^{ab} ±1.34	97.26 ^{ab} ±0.02
9	1	97.94 ^{bc} ±0.37	-0.20 ^a ±0.07	3.17 ^b ±0.16	3.18 ^b ±0.16	93.62 ^b ±1.19	96.21 ^{bc} ±0.32
	2	97.02 ^{cd} ±0.34	-0.24 ^a ±0.04	3.27 ^b ±0.25	3.28 ^b ±0.25	94.29 ^b ±0.88	95.57 ^{cd} ±0.41
	3	96.83 ^d ±0.92	-0.24 ^a ±0.03	3.29 ^b ±0.42	3.30 ^b ±0.42	94.23 ^b ±0.78	95.42 ^{cd} ±0.94
12	1	97.43 ^{cd} ±0.27	-0.48 ^b ±0.09	4.20 ^a ±0.68	4.22 ^a ±0.69	96.50 ^a ±0.25	95.05 ^d ±0.69
	2	96.85 ^d ±0.69	-0.52 ^b ±0.11	4.21 ^a ±0.73	4.24 ^a ±0.74	97.00 ^a ±0.33	94.71 ^d ±1.00
	3	96.83 ^d ±0.29	-0.51 ^b ±0.09	4.17 ^a ±0.68	4.21 ^a ±0.68	96.92 ^a ±0.23	94.74 ^d ±0.71

หมายเหตุ * อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงค่าตัวเลขที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากค่าสี (L^* , a^* , b^* , Chroma, Hue angle และ Whiteness) ของฟลาวัวร์และสตาร์ช หัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกัน ในภาพที่ 4.2 ถึง 4.3 และจากตารางที่ 4.4 ถึง 4.5 พบว่า ค่าสีของฟลาวัวร์หัวจันทน์มีสีที่เข้มกว่าสตาร์ชหัวจันทน์ เนื่องจากองค์ประกอบของน้ำตาล ริคิวิซ์และ โปรตีนในฟลาวัวร์มีปริมาณสูงกว่าในสตาร์ชหัวจันทน์ ซึ่งเมื่อรวมตัวกับน้ำและได้รับความ ร้อนทำให้เกิดสารประกอบขึ้นในปฏิกิริยามอลดาร์ด จึงส่งผลให้ฟลาวัวร์หัวจันทน์มีสีเข้มกว่าสตาร์ช หัวจันทน์

4.2.4 ผลจากการศึกษาลักษณะของผลึกโมเลกุลแป้ง ด้วยเครื่อง X - ray diffraction (XRD)

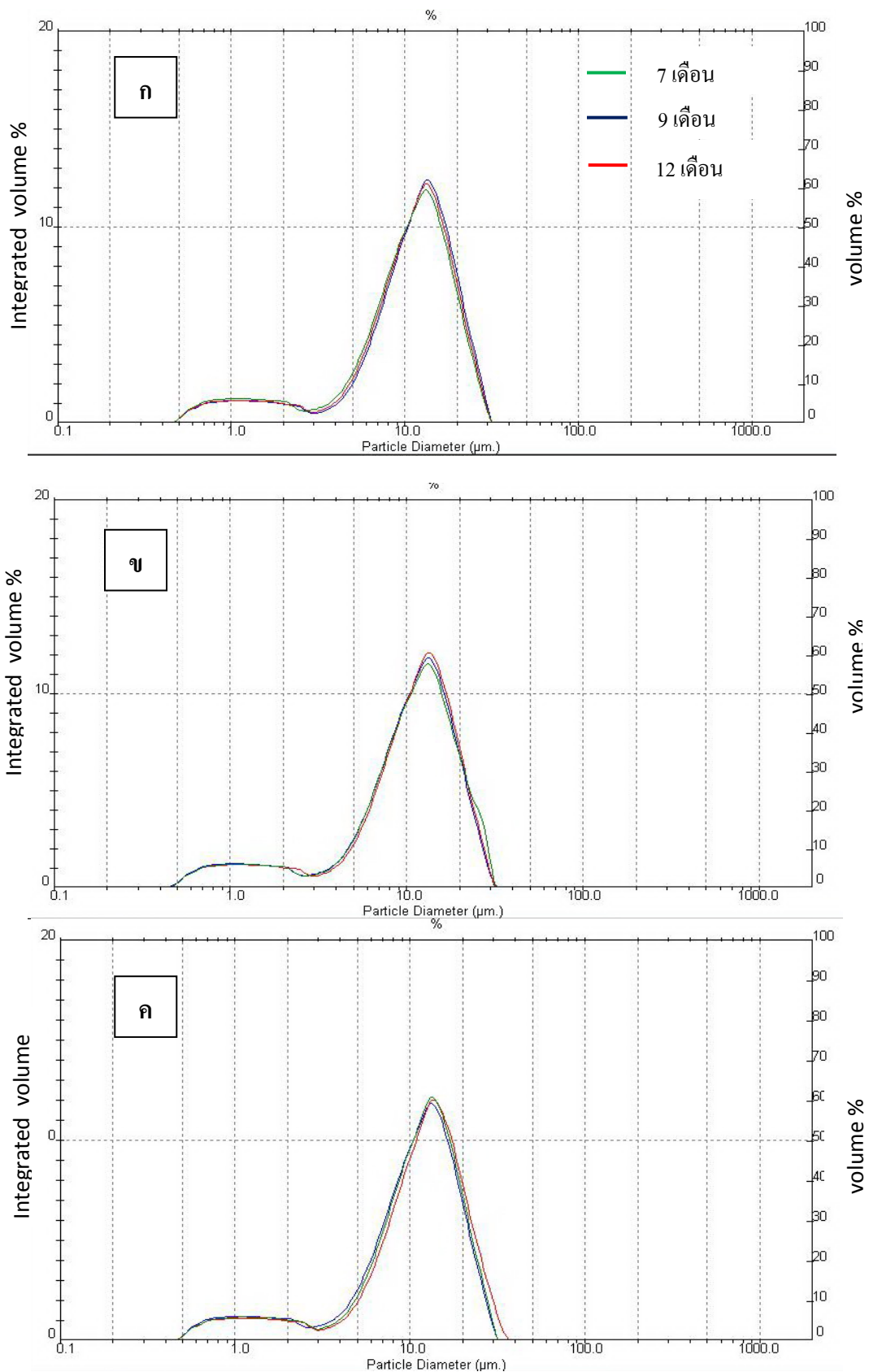
จากการนำสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกัน ไปศึกษา ลักษณะของผลึกโมเลกุลแป้งด้วยเครื่อง X - ray diffraction โดยกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 3° ถึง 50° , time/step $3^\circ/s$ และ step size 0.04 deg ในภาพที่ 4.4 พบว่า สตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวทั้ง 3 ระยะ และ 3 แหล่งเพาะปลูก มีลักษณะการกระจายตัวของแสง รูปแบบการหักเหรังสีเอ็กซ์ และ รูปแบบโครงสร้างผลึกไม่แตกต่างกัน โดยมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน และมีรูปแบบการหักเห รังสีเอ็กซ์ทำมุม (2θ) ที่ 15.2 , 17.2 , 18.2 และ 23.5 องศา ซึ่งเป็นการจัดเรียงตัวของเกลียวคู่ที่มีความ หนาแน่นมาก จึงจัดเป็นโครงสร้างผลึกแบบ A ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของรายงานของ Xu และ คณะ (1986) ที่รายงานว่า สตาร์ชจากหัวจันทน์ (*Eleocharis dulcis*) มีรูปแบบผลึกโมเลกุลแป้งชนิด A-Type ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าอายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกันไม่มีผลต่อโครงสร้างของ ผลึก โดยสอดคล้องกับรายงานของ Chiang และคณะ (2007) ที่รายงานว่า ระยะเวลาในการเก็บเกี่ยว ที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อโครงสร้างผลึกของโมเลกุลสตาร์ชจากกระจับ และโดยทั่วไปความ แตกต่างของผลึกระหว่างสตาร์ชเกิดจาก ขนาดของผลึก ปริมาณผลึกทั้งหมด (ปริมาณอะมิโลเพ คตินและความยาวของสายโซ่) ตำแหน่งของเกลียวคู่ภายในผลึก และขนาดของความสัมพันธ์ ระหว่างเกลียวคู่ (Correia และคณะ, 2012)



ภาพที่ 4.4 ลักษณะของผลึก โมเลกุลแข็งของสตาโรลจากหัวจิ้งที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่แตกต่างกัน (ก, ข และ ค หมายถึง แหล่งเพาะปลูกที่ 1, 2 และ 3)

4.2.5 ผลจากการวัดขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคแป้ง (particle size distribution) ด้วยเครื่อง Laser Particle Size Distribution Analyzer

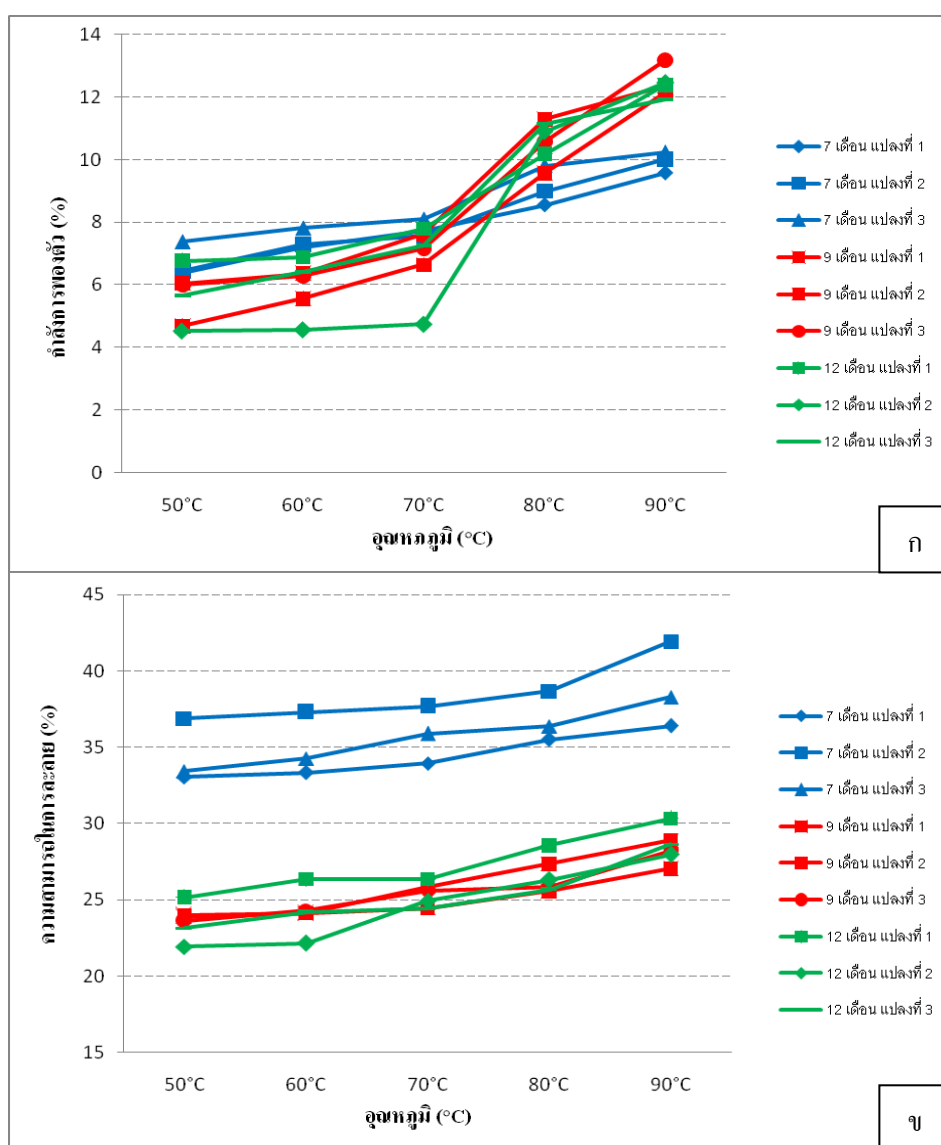
จากการวัดขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคแป้งของสตาร์ชเหหัวจินที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกัน ด้วยเครื่อง Laser Particle Size Distribution Analyzer โดยกระจายตัวในน้ำกลั่น และวัดขนาดที่เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยที่ 50% (D50) พบว่า การกระจายตัวของอนุภาคสตาร์ชเหหัวจินที่อายุการเก็บเกี่ยวทั้ง 3 ระยะ และ 3 แหล่งเพาะปลูก มีรูปแบบที่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน (ภาพที่ 4.5) โดยมีขนาดของเม็ดสตาร์ชที่เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (D50) อยู่ในช่วง 11.21 - 12.35 ไมครอน ซึ่งขนาดของอนุภาคสตาร์ชจะเป็นลักษณะสำคัญที่มีผลต่อสมบัติของสตาร์ช ได้แก่ ความหนืด ซึ่งจะมีผลต่อการพองตัว การละลาย และส่งผลไปยังการเปลี่ยนแปลงความข้นหนืดของน้ำแป้งด้วย (ศิริรจนา, 2554)



ภาพที่ 4.5 ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคแป้งของสตาร์ชจากหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกัน (ก, ข และ ค หมายถึง แหล่งเพาะปลูกที่ 1, 2 และ 3

4.2.6 การศึกษากำลังการพองตัว (swelling power) และความสามารถในการละลาย (solubility) ของฟลาวัวร์และสตาร์ชเห้วจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกัน

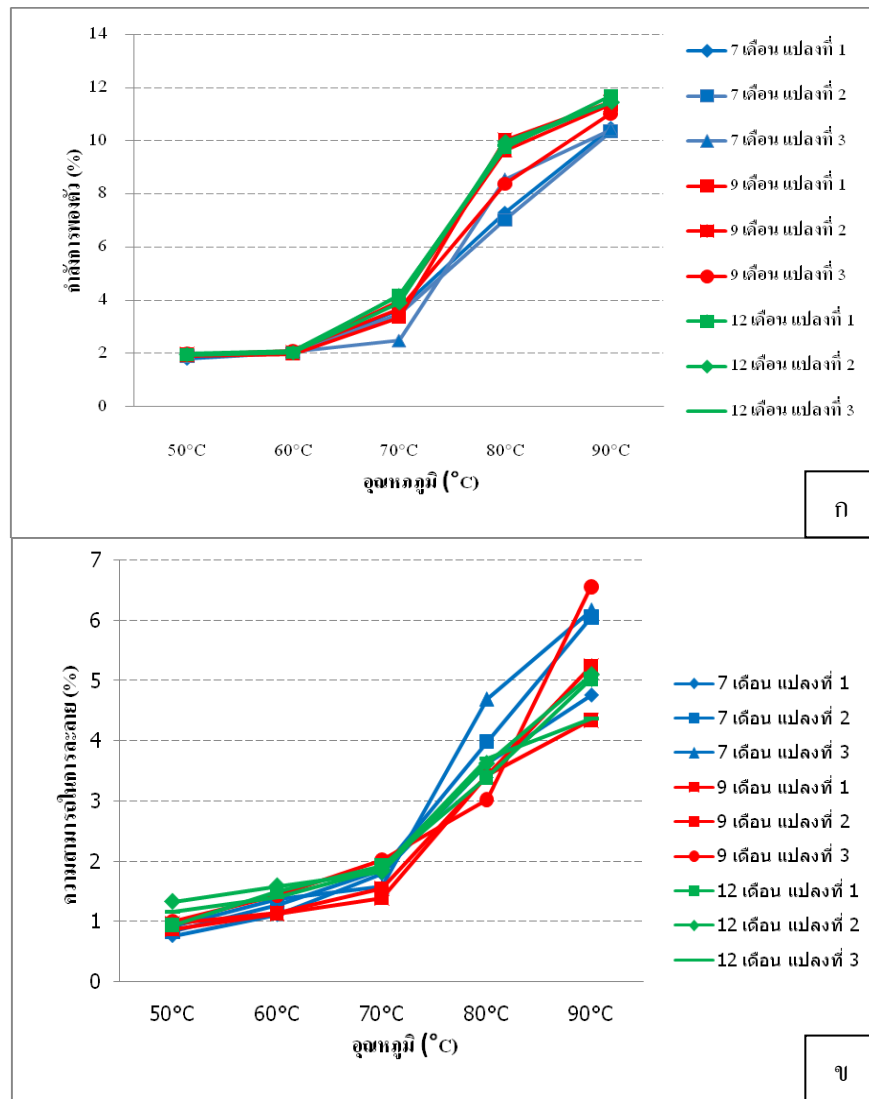
จากการศึกษากำลังการพองตัวและความสามารถในการละลายของฟลาวัวร์เห้วจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยว (7, 9 และ 12 เดือน) และแหล่งเพาะปลูก (แปลงที่ 1, 2 และ 3) ที่ต่างกันที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักแห้ง) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ได้ผลการทดลองดังภาพที่ 4.6 พบว่า อุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้กำลังการพองตัวและความสามารถในการละลายของฟลาวัวร์เห้วจิ้นเพิ่มขึ้น โดยค่ากำลังการพองตัวและการละลายมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน



ภาพที่ 4.6 กำลังการพองตัว (ก) และความสามารถในการละลาย (ข) ของฟลาวัวร์เห้วจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกัน

ซึ่งฟลาวร์จากเห้วจิ้นมีกำลังการพองตัวได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 70 - 90 องศาเซลเซียส และเมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการละลายของฟลาวร์จากเห้วจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกัน พบว่า ความสามารถการละลายของฟลาวร์เห้วจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะอ่อน (7 เดือน) มีแนวโน้มความสามารถในการละลายสูงกว่าฟลาวร์เห้วจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะแก่กว่า ซึ่งอาจเนื่องมาจากฟลาวร์เห้วจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะอ่อนมี โมเลกุลแป้งที่อยู่ในสภาพสสารละลายมากกว่าจึงมีบางส่วนของแป้งละลายออกมามากทำให้ค่าการละลายของแป้งเพิ่มขึ้น (ศิริ-รจนา, 2012)

และจากการศึกษากำลังการพองตัวและความสามารถในการละลายของสตาร์ชเห้วจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยว (7, 9 และ 12 เดือน) และแหล่งเพาะปลูก (แปลงที่ 1, 2 และ 3) ที่ต่างกันที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักแห้ง) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ได้ผลการทดลองดังภาพที่ 4.7 พบว่า อายุการเก็บเกี่ยวที่เพิ่มขึ้นและอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้กำลังการพองตัวและความสามารถในการละลายของสตาร์ชเพิ่มขึ้น โดยมีกำลังการพองตัวและความสามารถในการละลายที่ได้อยู่ในระหว่างช่วงอุณหภูมิ 70 - 90 องศาเซลเซียส และแหล่งเพาะปลูกที่แตกต่างกันทั้ง 3 แหล่ง มีค่ากำลังการพองตัวและความสามารถในการละลายไม่แตกต่างกัน โดยมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งแป้งเมื่ออยู่ในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาติไนเซชัน เม็ดสตาร์ชจะพองตัวได้อย่างจำกัดและเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เนื่องจากร่างแหระหว่างไมเซลล์ (micelles) ยึดหยุ่นได้จำกัด แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นพันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ ส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพคตินในส่วน crystallite จะคลายตัวออกทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัว มากขึ้นและโมเลกุลแป้งอยู่ในสภาพสสารละลายมากขึ้น ส่งผล ให้ค่ากำลังการพองตัวเพิ่มขึ้น และมีบางส่วนของแป้งละลายออกมา จึงทำให้ค่าการละลายของแป้งเพิ่มขึ้นด้วย (ศิริรจนา, 2554) นอกจากนี้ Corrie และคณะ (2012) พบว่า อุณหภูมิสูงกว่า 75 องศาเซลเซียส อาจทำให้โครงสร้างโมเลกุลผลึกของสตาร์ชแตกหักระหว่างที่ได้รับความร้อน พันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลของอะมิโลสและอะมิโลเพคตินทำให้การดูดซึ่มและการละลายเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Chiang และคณะ (2007) ที่รายงานว่า ระยะการเก็บเกี่ยวที่เพิ่มขึ้นของกระเจับและอุณหภูมิที่สูงขึ้น ทำให้ค่ากำลังการพองตัวของสตาร์ชจากกระเจับเพิ่มขึ้น และเกิดการพองตัวที่ดีในช่วงอุณหภูมิ 80 - 90 องศาเซลเซียส

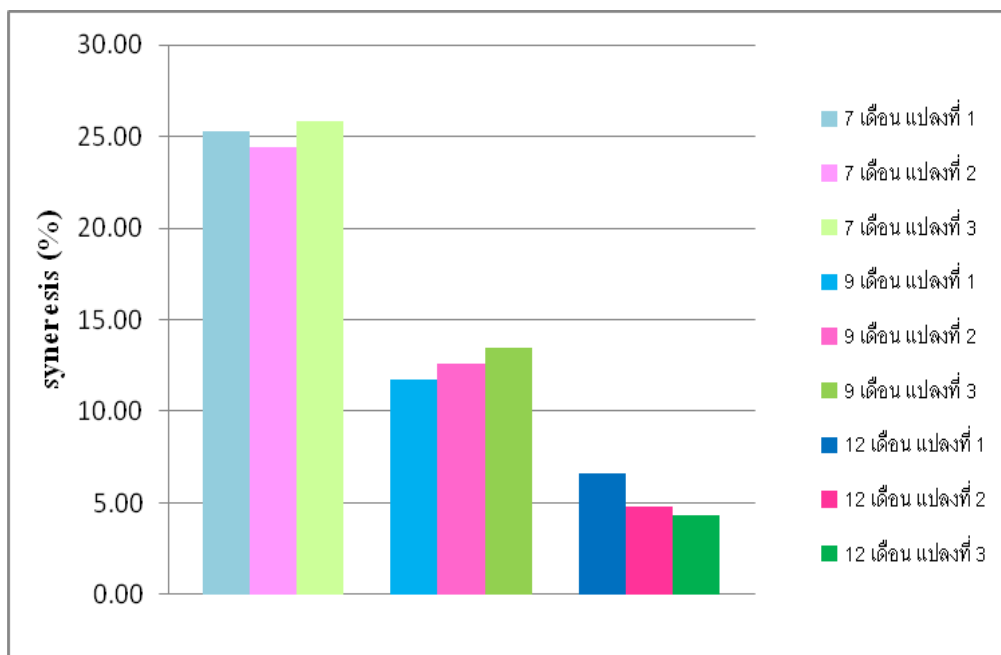


ภาพที่ 4.7 กำลังการพองตัว (ก) และความสามารถในการละลาย (ข) ของสตาร์ชเหหัวจันที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกัน

4.2.7 ผลการศึกษาการเกิดซินเนอร์จิส (syneresis) ของฟลาวัวร์และสตาร์ชเหหัวจันที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกัน

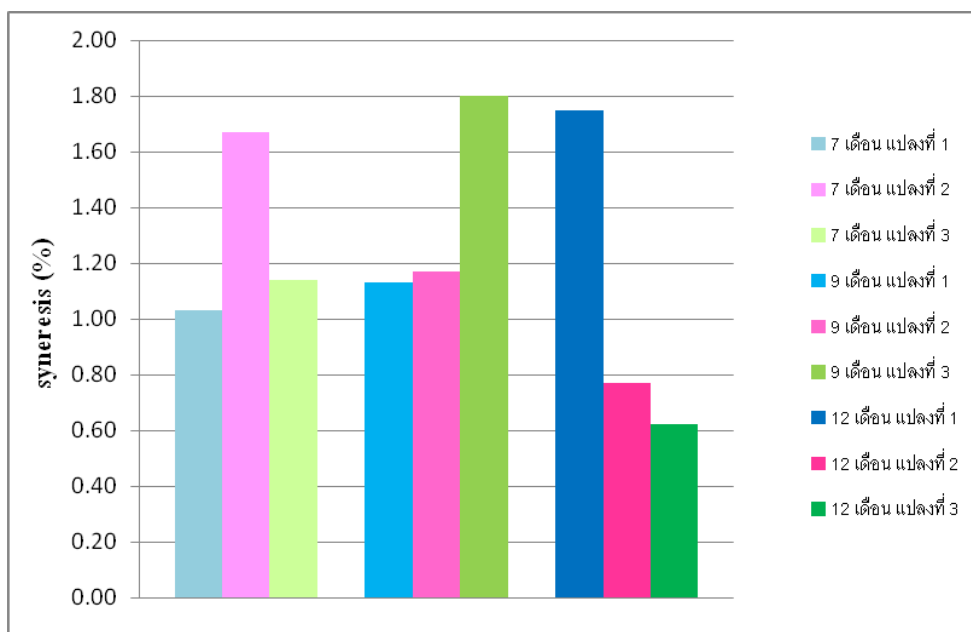
จากการศึกษาการเกิดซินเนอร์จิส (syneresis) ของฟลาวัวร์เหหัวจันที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกัน ที่ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก /ปริมาตร, น้ำหนักแห้ง) ได้ผลการทดลองดังภาพที่ 4.8 พบว่า ที่อายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้น ทำให้ค่า ซินเนอร์จิสของฟลาวัวร์เหหัวจันมีแนวโน้มลดลง โดยแหล่งเพาะปลูกที่แตกต่างกันมีค่าซินเนอร์จิส ที่ใกล้เคียงกัน ซึ่ง การเกิดซินเนอร์จิส จะเกิดขึ้นเมื่อแป้งที่เกิดการรีโทรเกรเดชันหรือเกิดการคืนตัวแล้วลดอุณหภูมิให้ต่ำลงไปอีก แป้งจะเกิดลักษณะการเรียงตัวของโครงสร้างที่แน่นมากขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่เกาะอยู่ภายในจะถูกบีบออกมาจนเจล ทำให้เจลมีลักษณะขาวขุ่นและมีความหนืดเพิ่มขึ้น (กล้าณรงค์

และเกลือ , 2550) ซึ่งอาจเนื่องมาจากฟลาวร์หัวจันทน์ที่มีอายุการเก็บเกี่ยวเพิ่ม ลดลง อาจ มีหมู่ phosphomonoester ที่มีประจุลบทำให้ผลึกกัน และมีอะมิโนเพคตินซึ่งเป็นส่วนที่นำไปให้โครงสร้างเจลแข็งแรงมีอยู่จำกัด (Singh และคณะ, 2009) เป็นผลทำให้ฟลาวร์หัวจันทน์ที่มีอายุการเก็บเกี่ยวระยะอ่อนมีการเกิดซินเนอริซิสได้สูง



ภาพที่ 4.8 การเกิดซินเนอริซิส (syneresis) ของฟลาวร์หัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกัน

และจากการศึกษาค่าซินเนอริซิส (syneresis) ของสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกัน ที่ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก / ปริมาตร, น้ำหนักแห้ง) ได้ผลการทดลองดังภาพที่ 4.9 พบว่า ที่อายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้น การเกิดซินเนอริซิส ของสตาร์ชหัวจันทน์มีแนวโน้มลดลง ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.62 - 1.80 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าซินเนอริซิส ที่ค่อนข้างน้อย อาจเนื่องมาจากองค์ประกอบที่สามารถอุ้มน้ำได้ที่อยู่ในสตาร์ชหัวจันทน์มีอยู่ในปริมาณสูง จึงทำให้โมเลกุลอิสระของน้ำที่เกาะอยู่ภายในเจลถูกบีบออกมาในปริมาณน้อย (กล้าณรงค์และเกลือ , 2550)



ภาพที่ 4.9 การเกิดซินเนอริซิส (syneresis) ของสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกัน

4.2.8 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความหนืดของน้ำแป้ง ของฟลาวร์และสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยว และแหล่งเพาะปลูก ต่างกันในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็นด้วยเครื่อง Brabender Amylograph

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็น (pasting properties) ของฟลาวร์หัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกันที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร, น้ำหนักแห้ง) แสดงดัง ตารางที่ 4.6 พบว่า อุณหภูมิเริ่มหนืด (beginning viscosity) ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ค่าความคงทนของเม็ดแป้งต่ออุณหภูมิ (breakdown) และค่าการคืนตัว (setback) ของฟลาวร์หัวจันทน์ ได้รับอิทธิพลร่วมจากอายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูก ($p < 0.05$) โดยอุณหภูมิเริ่มหนืด (beginning viscosity) ของฟลาวร์หัวจันทน์ที่ทุกอายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่ศึกษาอยู่ในช่วง 68.55 - 78.55 องศาเซลเซียส และที่อายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) และค่าความคงทนของเม็ดแป้งต่ออุณหภูมิ (breakdown) มีแนวโน้มสูงขึ้น ในขณะที่มีค่าการคืนตัว (setback) ลดลง ($p < 0.05$) ซึ่งจุดที่มีความหนืดสูงสุดนี้เป็นจุดที่เม็ดแป้งพองตัวได้เต็มที่ และเป็นค่าที่บอกรถึงความสามารถของแป้งในการจับตัวกับน้ำและแรงที่ต้องใช้ในการกวนหรือผสมในอาหาร โดยจะมีความสัมพันธ์กับคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย (ปีติพร และคณะ, 2543) ส่วนค่าความคงทนของเม็ดแป้งต่ออุณหภูมิ (breakdown) จะบอกรถึงความสามารถในการคงทนของเม็ดแป้งต่ออุณหภูมิและการกวนที่เป็นปัจจัยสำคัญในหลายกระบวนการผลิต และค่าการคืนตัว (setback) จะแสดงถึงลักษณะการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้ง ซึ่งหากมีค่าการคืนตัว (setback) สูงจะส่งผลให้ลักษณะเนื้อ

สัมพัทธ์ที่เย็นตัวของแป้งมีลักษณะที่แข็ง กล่าวได้ว่า ฟลาวัวร์เห้วจินที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะแก่ (12 เดือน) ของทั้ง 3 แหล่งเพาะปลูก มีแนวโน้มว่ามีความสามารถในการจับตัวกับน้ำ และมีความคงทนต่ออุณหภูมิและการกวนหรือผสมได้สูงที่สุด ในขณะที่เมื่อนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะเนื้อสัมพัทธ์ที่เย็นตัวของแป้งอ่อนนุ่มที่สุด โดยแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกันของฟลาวัวร์เห้วจินมีผลทำให้ อุณหภูมิเริ่มหนืด (beginning viscosity) ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ค่าความคงทนของเม็ดแป้งต่ออุณหภูมิ (breakdown) และค่าการคืนตัว (setback) แตกต่างกัน ($p<0.05$)

ตารางที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงของความชื้นหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็นของฟลาวัวร์เห้วจินที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

อายุการเก็บเกี่ยว (เดือน)	แหล่งเพาะปลูกที่	อุณหภูมิเริ่มหนืด (°C)	ความหนืดสูงสุด (BU)	Breakdown (BU)	Setback (BU)
7	1	68.85 ^c ±4.88	587.50 ^d ±2.18	202.00 ^f ±1.41	-143.00 ^b ±0.00
	2	78.55 ^a ±0.07	440.50 ^e ±7.78	134.50 ^g ±2.12	-108.50 ^a ±3.54
	3	73.90 ^b ±2.26	610.00 ^d ±9.90	231.50 ^e ±2.12	-155.00 ^b ±1.41
9	1	78.15 ^a ±0.07	868.50 ^c ±13.44	503.00 ^c ±1.41	-415.50 ^d ±2.12
	2	77.25 ^{ab} ±0.07	869.00 ^c ±16.97	469.00 ^d ±19.80	-367.00 ^c ±22.63
	3	77.30 ^{ab} ±0.14	874.00 ^c ±11.31	479.00 ^{cd} ±8.49	-390.50 ^c ±10.61
12	1	77.65 ^{ab} ±0.21	956.00 ^b ±15.56	569.50 ^b ±21.92	-490.00 ^e ±16.97
	2	76.55 ^{ab} ±0.07	1024.50 ^a ±0.71	589.00 ^{ab} ±4.24	-484.50 ^c ±3.54
	3	77.25 ^{ab} ±0.07	957.00 ^b ±11.31	603.50 ^a ±10.61	-528.00 ^f ±8.49

หมายเหตุ * อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงค่าตัวเลขที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้นหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็น (pasting properties) ของสตาร์ชเห้วจินที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกัน ที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก / ปริมาตร, น้ำหนักแห้ง) ในตารางที่ 4.7 พบว่า อุณหภูมิเริ่มหนืด (beginning viscosity) ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ค่าความคงทนของเม็ดแป้งต่ออุณหภูมิ (breakdown) และค่าการคืนตัว (setback) ของสตาร์ชเห้วจิน ได้รับอิทธิพลร่วมจากอายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูก ($p<0.05$) โดยอุณหภูมิเริ่มหนืด (beginning viscosity) ของสตาร์ชเห้วจินที่ทุกอายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่ศึกษาอยู่ในช่วง 73.55 - 74.65 องศาเซลเซียส และที่อายุการเก็บเกี่ยว 12 เดือน ของทั้ง 3 แหล่งเพาะปลูก มีค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) และมีค่าความคงทนของเม็ดแป้งต่ออุณหภูมิ (breakdown) ต่ำที่สุด ในขณะที่มีค่าการคืน

ตัว (setback) สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งจุดที่มีความหนืดสูงสุดนี้เป็นจุดที่เม็ค แป้งพองตัวได้เต็มที่ และเป็นค่าที่บอกถึงความสามารถของแป้งในการจับตัวกับน้ำและแรงที่ต้องใช้ในการกวนหรือผสมในอาหาร โดยจะมีความสัมพันธ์กับคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย (ปิติพร และคณะ, 2543) ส่วนค่าความคงทนของเม็คแป้งต่ออุณหภูมิ (breakdown) จะบอกถึงความสามารถในการคงทนของเม็คแป้งต่ออุณหภูมิและการกวนที่เป็นปัจจัยสำคัญในหลายกระบวนการผลิต และค่าการคืนตัว (setback) จะแสดงถึงลักษณะการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้ง ซึ่งหากมีค่าการคืนตัว (setback) สูงจะส่งผลให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่เย็นตัวของแป้งมีลักษณะที่แข็ง โดยกล่าวได้ว่า สตาร์ช หัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะแก่ (12 เดือน) ทั้ง 3 แหล่งเพาะปลูกมีแนวโน้มว่า มีความสามารถในการจับตัวกับน้ำ และมีความคงทนต่ออุณหภูมิและการกวนหรือผสมได้ดีที่สุด ในขณะที่เมื่อนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่เย็นตัวของแป้งแข็งที่สุด โดยแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกัน ของสตาร์ชหัวจิ้นมีผลทำให้ อุณหภูมิเริ่มหนืด (beginning viscosity) ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ค่าความคงทนของเม็คแป้งต่ออุณหภูมิ (breakdown) และค่าการคืนตัว (setback) แตกต่าง กัน ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงของความข้นหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็นของสตาร์ชหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

อายุการเก็บเกี่ยว (เดือน)	แหล่งเพาะปลูกที่	อุณหภูมิเริ่มหนืด (°C)	ความหนืดสูงสุด (BU)	Breakdown (BU)	Setback (BU)
7	1	73.55 ^c ±0.07	2586.50 ^{cd} ±10.61	1539.00 ^d ±11.31	-688.00 ^c ±38.18
	2	73.80 ^d ±0.00	2622.50 ^{bc} ±2.12	1611.50 ^c ±9.19	-746.00 ^d ±28.28
	3	74.65 ^a ±0.07	2663.50 ^b ±3.54	1660.50 ^b ±3.54	-808.50 ^c ±2.12
9	1	74.20 ^b ±0.00	2490.00 ^c ±12.73	1441.50 ^e ±0.71	-586.50 ^b ±0.71
	2	73.75 ^d ±0.07	2549.00 ^d ±28.28	1517.00 ^d ±36.77	-669.00 ^c ±35.36
	3	73.90 ^{cd} ±0.14	2776.00 ^a ±35.36	1738.50 ^a ±19.09	-829.50 ^c ±16.26
12	1	74.00 ^c ±0.00	2194.50 ^f ±19.09	1280.00 ^f ±12.73	-483.50 ^a ±2.12
	2	74.35 ^b ±0.07	2237.50 ^f ±23.33	1286.50 ^f ±19.09	-464.00 ^a ±11.31
	3	73.80 ^d ±0.00	2234.00 ^f ±15.56	1303.50 ^f ±13.44	-484.50 ^a ±0.71

หมายเหตุ * อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงค่าตัวเลขที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

โดยที่อายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นของฟลาวัวร์เห้วจินทั้ง 3 แหล่งเพาะปลูก มีแนวโน้มความสามารถในการจับตัวกับน้ำ และมีความคงทนต่ออุณหภูมิและการกวนหรือผสมได้สูงขึ้น และเมื่อนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่เย็นตัวของแป้งที่อ่อนนุ่ม ในขณะที่สตาร์ชจากเห้วจินทั้ง 3 แหล่งเพาะปลูก มีแนวโน้มความสามารถในการจับตัวกับน้ำ และมีความคงทนต่ออุณหภูมิและการกวนหรือผสมได้ต่ำ และเมื่อนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่เย็นตัวของแป้งที่แข็ง เนื่องมาจากองค์ประกอบและสมบัติทางเคมีของฟลาวัวร์และสตาร์ชเห้วจินที่แตกต่างกัน ได้แก่ ค่า pH ซึ่งจะมีผลต่อความคงทนของเม็ดแป้งต่ออุณหภูมิและลักษณะการเกิดรีโทรเกรเดชันของฟลาวัวร์และสตาร์ช โดยจากผลของค่า pH (ตารางที่ 4.3) พบว่า ที่อายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นค่า pH ของฟลาวัวร์เห้วจินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลทำให้ ความคงทนของเม็ดแป้งต่ออุณหภูมิและค่าความหนืดสูงสุดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยแป้งจะพองตัวได้มากและเร็ว เม็ดแป้งจะแตกหักง่าย โมเลกุลแป้งกระจายอยู่ทั่วไปในน้ำแป้งยากที่โมเลกุลอะมิโลสจะมาจัดเรียงตัวกันได้ใหม่ โดยระหว่างเคลื่อนที่เข้ามาจับกันจะสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น และเกิดลักษณะเจลที่อ่อนนุ่ม ในขณะที่เดียวกันเมื่ออายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นค่า pH ของสตาร์ชเห้วจินมีแนวโน้มลดลง ส่งผลทำให้ความคงทนของเม็ดแป้งต่ออุณหภูมิและค่าความหนืดสูงสุดมีแนวโน้มลดลง โดยแป้งจะพองตัวได้น้อย เม็ดแป้งแตกหักน้อย โมเลกุลที่คลายตัวยังอยู่ใกล้ชิดกันจึงเคลื่อนที่จับกันใหม่ได้ง่าย ซึ่งอาจจับตัวกันระหว่างเม็ดแป้งที่พองตัวซึ่งอยู่ใกล้กัน หรือระหว่างชิ้นส่วนของเม็ดแป้งหรือโมเลกุลอะมิโลสอิสระที่หลุดออกมา ทำให้เกิดสภาพเป็น matrix ยึดอยู่ด้วยกันด้วยพันธะไฮโดรเจน และเกิดลักษณะเจลที่ค่อนข้างแข็ง (ศิริรจนา, 2554)

4.2.9 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชเห้วจินที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน โดยใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC)

จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชเห้วจินที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกันโดยมีการให้ความร้อนเริ่มต้นที่ 25 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิที่คาดว่าเลขช่วงในการเกิดเจลาคติในเซชัน คือ 90 องศาเซลเซียส ที่อัตรา 10 องศาเซลเซียส /นาที โดยมีการเตรียมตัวอย่างสารผสมระหว่างแป้งกับน้ำ (30/70) และบ่มสารละลายไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง ในตารางที่ 4.8 พบว่า อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลง (T_0) และอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสูงสุด (T_p) ของสตาร์ชเห้วจินได้รับอิทธิพลร่วมจากอายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูก ซึ่งอุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลง (T_0) อยู่ในช่วง 73.38 - 75.46 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสูงสุด (T_p) อยู่ในช่วง 77.57 - 78.60 องศาเซลเซียส ในขณะที่อายุการเก็บเกี่ยวทั้ง 3 ระยะ มีผลต่ออุณหภูมิสุดท้ายที่เกิดเจลาคติในเซชัน (T_c) ($p < 0.05$) โดยอยู่ในช่วง 83.20 - 83.36 องศาเซลเซียส และเมื่อพิจารณาถึงพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลาคติในเซชัน (ΔH) ของสตาร์ชเห้วจินที่อายุการเก็บเกี่ยวทั้ง 3 ระยะ และ 3 แหล่งเพาะปลูก พบว่า พลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลาคติในเซชัน (ΔH) ของ

สตาร์ชเหหัวจิ้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยค่าพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลาติในเซชัน (ΔH) ของสตาร์ชเหหัวจิ้นนั้นมีค่า 3.15 - 3.65 จูลต่อกรัม ซึ่งน้อยกว่าพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลาติในเซชัน (ΔH) ของแป้งทั่ว ๆ ไป ซึ่งจะอยู่ในช่วง 10 - 20 จูลต่อกรัม (กล้าณรงค์และเกื้อกุล, 2550) ก็อาจเนื่องมาจากความแข็งแรงของโมเลกุลของสตาร์ชจากเหหัวจิ้นต่ำกว่าแป้งทั่ว ๆ ไป

ตารางที่ 4.8 สมบัติทางความร้อนของสตาร์ชเหหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

อายุการเก็บเกี่ยว (เดือน)	แหล่งเพาะปลูกที่	To (°C)	Tp (°C)	Tc (°C)	ΔH (J/g) ^{ns}
7	1	74.11 ^{cd} ±0.07	77.57 ^f ±0.02	83.38 ^{ab} ±0.45	3.15±0.72
	2	74.28 ^{bc} ±0.18	78.01 ^{cd} ±0.07	83.47 ^{ab} ±0.18	3.25±0.13
	3	75.46 ^a ±0.07	78.60 ^a ±0.06	83.34 ^{ab} ±0.15	3.42±0.43
9	1	73.95 ^{cd} ±0.13	78.12 ^{bc} ±0.07	83.63 ^{ab} ±0.22	3.20±0.30
	2	74.10 ^{cd} ±0.45	77.84 ^{dc} ±0.13	83.20 ^b ±0.22	3.19±0.15
	3	74.59 ^b ±0.24	78.46 ^a ±0.02	83.58 ^{ab} ±0.44	3.32±0.34
12	1	73.78 ^d ±0.18	78.22 ^b ±0.12	83.69 ^{ab} ±0.38	3.40±0.59
	2	74.01 ^{cd} ±0.17	78.46 ^a ±0.06	83.85 ^a ±0.35	3.38±0.37
	3	73.38 ^c ±0.21	77.67 ^{ef} ±0.08	83.86 ^a ±0.31	3.65±0.38

หมายเหตุ * อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงค่าตัวเลขที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ค่าตัวเลขในแนวตั้งเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

To = อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลง, Tp = อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสูงสุด,

Tc = อุณหภูมิสุดท้ายที่เกิดเจลลาติในเซชัน, ΔH = พลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลาติในเซชัน

4.3 ปริมาณผลผลิตที่ได้ ของฟลาวัวร์และ สตาร์ชเหหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยว และแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

จากปริมาณผลผลิตที่ได้ของฟลาวัวร์และสตาร์ชจากเหหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกันในตารางที่ 4.9 พบว่า ที่อายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นปริมาณผลผลิตของฟลาวัวร์เหหัวจิ้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเนื่องมาจากในเหหัวจิ้นสดที่มีอายุการเก็บเกี่ยวระยะอ่อนมีปริมาณเนื้อเหหัวน้อยและเมื่อมีอายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นเหหัวจะมีความสมบูรณ์มากขึ้นส่งผลให้เหหัวมีเนื้อฟลาวัวร์เพิ่มสูงขึ้น โดยผาคิต พบว่า ในเหหัวจิ้นสดมีลักษณะเซลล์เป็นช่อง ๆ แบบรวงผึ้ง แต่ละช่องมี

ผนังเซลล์ (cell wall) ในการแบ่งช่อง บางช่องมีเม็ดสตา์รชอยู่จำนวนมาก แต่บางช่องมีลักษณะว่างเปล่า ซึ่งอาจจะมีน้ำหรืออากาศบรรจุอยู่ โดยหัวเห้วจินสดมีปริมาณความชื้นค่อนข้างสูง (79.79%) ดังนั้นในช่องที่ว่างเปล่าดังกล่าวอาจจะมีน้ำบรรจุอยู่ อาจเป็นไปได้ว่าอายุการเก็บเกี่ยวที่เพิ่มขึ้นของหัวเห้วจินสดจะมีลักษณะช่องว่างที่มีน้ำหรืออากาศบรรจุอยู่ลดลง โดยมีปริมาณของเม็ดสตา์รชเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตของฟลาวร์เห้วจินมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อมีอายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้น สำหรับปริมาณสตา์รชเห้วจิน พบว่า เมื่ออายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นปริมาณผลผลิตของสตา์รชมีแนวโน้มลดลง อาจเนื่องมาจากเมื่อหัวเห้วจินมีอายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นส่วนของลำต้นยังมีการเจริญเติบโตต่อไป โดยจะดึงสารอาหารที่เก็บสะสมอยู่ในส่วนหัวไปใช้ในการเจริญเติบโต หรืออาจเนื่องมาจากเมื่ออายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นหัวเห้วจินมีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้น้ำหนักหัวเพิ่มขึ้น ในขณะที่มีปริมาณสตา์รชหรือองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ไม่สามารถละลายน้ำได้เท่าเดิมหรืออาจเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยในกระบวนการผลิตสตา์รชจะต้องกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ใช่สตา์รชออกเพื่อให้สตา์รชมีความบริสุทธิ์ที่สุด จึงส่งผลให้ปริมาณผลผลิตของสตา์รชเห้วจินที่ได้มีปริมาณลดลงเมื่อมีอายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.9 ปริมาณผลผลิตที่ได้ของฟลาวร์และสตา์รชเห้วจินที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

อายุการเก็บเกี่ยว (เดือน)	แหล่ง เพาะปลูกที่	ปริมาณผลผลิตที่ได้ (%)	
		ฟลาวร์	สตา์รช
7	1	3.28	6.95
	2	4.79	7.62
	3	3.42	8.44
9	1	15.14	6.59
	2	14.89	7.20
	3	14.80	7.54
12	1	12.48	5.84
	2	16.34	5.13
	3	13.87	5.04

และปริมาณผลผลิตที่ได้ของฟลาวัวร์และสตาร์ชหัวจิ้นทุกอายุการเก็บเกี่ยวของทั้ง 3 แหล่ง
เพาะปลูกมีปริมาณที่ค่อนข้างต่ำ อาจเนื่องมาจากปริมาณความชื้นจากหัวหัวจิ้นสดมีปริมาณสูง
(86.66 เปอร์เซ็นต์) เมื่อผ่านกระบวนการผลิตฟลาวัวร์และสตาร์ช ซึ่งต้องผ่านกระบวนการอบแห้ง
เมื่อความชื้นในหัวจิ้นสดระเหยออกไป ส่วนที่เหลือจึงมีปริมาณที่ค่อนข้างน้อย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

1. ฟลาวัวร์เห้วจิ้นที่มีอายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้น มีปริมาณ โปรตีน ไขมัน เถ้า และปริมาณ คาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น ในขณะที่สตาร์ชเห้วจิ้นมีปริมาณ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และ ปริมาณสตาร์ชเพิ่มขึ้น
2. เม็ดสตาร์ชมีลักษณะเป็นวงรี มีผิวเรียบ และเมื่ออายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นเม็ดสตาร์ชเห้วจิ้น มีขนาดใหญ่ขึ้นจาก 13.83 ± 1.26 เป็น 17.83 ± 4.01 ไมครอน
3. สตาร์ชจากเห้วจิ้นมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ A โดยอายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่ ต่างกัน ไม่มีผลต่อขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคของแป้งของสตาร์ชเห้วจิ้น
4. กำลังการพองตัวและความสามารถในการละลายของฟลาวัวร์และสตาร์ชเห้วจิ้นจะเพิ่มขึ้นที่ อุณหภูมิสูงขึ้น และจะเกิด ได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 70 - 90 องศาเซลเซียส
5. เมื่ออายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นสีฟลาวัวร์เห้วจิ้นมีสีขาวสว่างขึ้น ขณะที่สตาร์ชเห้วจิ้นมีสีเข้ม ขึ้น
6. การเกิดซินเนอริซิส (syneresis) ของฟลาวัวร์เห้วจิ้นมีแนวโน้มลดลง เมื่อมีอายุการเก็บเกี่ยว เพิ่มขึ้น
7. เมื่ออายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นค่า pH ของฟลาวัวร์เห้วจิ้นมีค่าสูงขึ้น ขณะที่ค่า pH ของสตาร์ช เห้วจิ้นลดลง
8. สมบัติด้านความหนืด ได้แก่ ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) และความสามารถในการ คงทนของเม็ดแป้งต่ออุณหภูมิ (breakdown) ของฟลาวัวร์เห้วจิ้นเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บ เกี่ยวสูงขึ้น แต่ค่า การคืนตัว (setback) ลดลง ขณะที่สตาร์ชเห้วจิ้นมีค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) และความสามารถในการคงทนของเม็ดแป้งต่ออุณหภูมิ (breakdown) ลดลง แต่มีค่าการคืนตัว (setback) ของสตาร์ชสูงขึ้น
9. อายุการเก็บเกี่ยวที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ปริมาณผลผลิตของฟลาวัวร์เห้วจิ้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ขณะที่ปริมาณผลผลิตของสตาร์ชเห้วจิ้นมีแนวโน้มลดลง
10. แหล่งเพาะปลูกที่ต่างกัน มีผลต่อสมบัติด้านความหนืดและ สมบัติด้านความร้อน ทางด้าน อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลง (T_o) และอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสูงสุด (T_p) ของ สตาร์ชเห้วจิ้นแตกต่างกัน ($p < 0.05$)

ข้อเสนอแนะ

1. สามารถใช้เป็นแนวทางในการสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ให้เกษตรกร โดยการนำหัวที่เคยจำหน่ายเป็นผลิตผลสดมาแปรรูปเป็นฟลาวัวร์และสตาร์ชเพื่อเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกร และช่วยให้ ผลผลิตของหัวจีน มีอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น โดยเฉพาะช่วงที่มีผลผลิต หัวล้นตลาด
2. จากผลการทดลอง พบว่า ฟลาวัวร์และสตาร์ชจากหัวจีนมีสมบัติด้านความหนืดสูง จึงเหมาะต่อการนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นเจล เช่น ขนมชั้น ขนมเปียกปูน เป็นต้น
3. เจลสตาร์ชที่ได้จากหัวจีนในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เจลสตาร์ชจะมีลักษณะของหยดน้ำที่ถูกบีบออกมาภายนอกเจลเพียงเล็กน้อย ซึ่งการที่มีน้ำออกมาในปริมาณที่มีปริมาณน้อยนั้น มีผลในด้านความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ที่ดี
4. จากผลการทดลอง พบว่า อายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกันส่งผลต่อค่า pH ของฟลาวัวร์และสตาร์ชหัวจีนที่ต่างกัน โดยยังไม่พบรายงานวิจัยที่แน่ชัดที่ได้ศึกษาถึงสมบัติทางด้าน pH ของฟลาวัวร์และสตาร์ชหัวจีน จึงควรมีการนำไปศึกษาทดลองเพิ่มเติมต่อไป

บรรณานุกรม

- กระทรวงอุตสาหกรรม. 2521. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลัง.
เอกสาร มอก.ที่ 274 - 2521. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ.
กรมวิชาการเกษตร. 2545. หัวใจ : ฐานความรู้ด้านพืชกรรมวิชาการเกษตร. เกษตรอำเภอสรี
ประจันต์. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://www.kanchanapisek.or.th>. (วันที่สืบค้นข้อมูล 17
เมษายน 2554)
กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2550. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ:
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
โครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน. 2540. เรื่องพืชหัว. กรุงเทพฯ: ด่านสุทธาการพิมพ์จำกัด.
129-183.
ดวงจันทร์ เสงส์สวัสดิ์. 2546. ผลไม้คลายร้อน. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มก.
[ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://www.ku.ac.th/e-magazine/april46/agri/fruit2.html>. (วันที่
สืบค้นข้อมูล 11 มิถุนายน 2554.)
ธวัชชัย อุบลเกิด, สมยศ เศษภีร์ตนมงคล และสมมาตร อยู่สุขยิ่งสถาพร. 2550. ผลของขนาดหัว
พันธุ์และระยะปลูกที่แตกต่างกันที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตหัวใจ. รายงาน
ผลการวิจัย. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
นิธิยา รัตนานนท์. 2553. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
ปิติพร ฤทธิเรืองเดช. 2543. พฤติกรรมด้านความหนืดและคุณสมบัติทางกลของแป้งทำขนม .
สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
ผาณิต รุจิรพิสิฐ. 2549. องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งฟลาวร์และสตาร์ช
จากหัวใจ (*Eleocharis dulcis Trin.*). รายงานการวิจัยมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.
วันชัย ไชกชัยไพศาล, ชูเกียรติ กิจคุณาสถียร และกล้าณรงค์ ศรีรอด. 2541. การศึกษาผลกระทบ
ของพันธุ์มันสำปะหลังและอายุการเก็บเกี่ยวต่อคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกและกายภาพ
ของแป้ง. ในรายงานการประชุมทางวิชาการครั้งที่ 36 สาขาอุตสาหกรรมเกษตรของ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 3-5 กุมภาพันธ์ 2541. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
ศิริจนา กันภัย. ม.ป.ป. เทคโนโลยีของคาร์โบไฮเดรต. สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี. คณะทรัพยากร
ชีวภาพและเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. [ออนไลน์] เข้าถึงได้
จาก <http://eu.lib.kmutt.ac.th>. (วันที่สืบค้นข้อมูล 17 เมษายน 2554.)
สำนักงานพาณิชย์จังหวัดสุพรรณบุรี. 2537. ข้อมูลการผลิตและการตลาดหัวใจ. จังหวัด
สุพรรณบุรี. สำนักงานพาณิชย์จังหวัดสุพรรณบุรี.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2550. ข้าว : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ:

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อารี ธนบุญสมบัติ, ภัทรารวรรณ คหะวงศ์ และศุภมาส ด้านวิทยากุล. 2545. เทคนิคสำหรับการวิเคราะห์ขนาดของอนุภาค. LAB TODAY. ฉบับที่ 3. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.).

Anonymous, 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 of the American Association of Cereal Chemist. 10th ed., 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.

Barbara, L. D. and M. C. Christine. 2011. X-ray Powder Diffraction (XRD). December 17.

Available source :

http://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/XRD.html.

Beynum, G.M.A., van. and J.A. Roels. 1985. Starch conversion technology. Marcel Dekker, Inc. New York. 326.

Buleon, A., P. Colonna, V. Planchot, and S. Ball. 1998. Starch granules: structure and biosynthesis. International Journal of Biological Macromolecules. 23: 85–112.

Chiang, P.Y., P.H. Li, C.C. Huang, and C.C.R. Wang. 2007. Changes in functional characteristics of starch during water caltrop (*Trapa Quadrispinosa* Roxb.) growth. Food Chemistry. 104: 376 - 382.

Collison, R. 1968. Swelling and Gelation of Starc, In J.A. Radley (ed.). Starch and Its Derivatives, Chapman and Hall Ltd., London. 168-193.

Correia, P., L.L. Cruz, and D.C.L. Beirão. 2012. Morphology and structure of chestnut starch isolated by alkali and enzymatic methods. Food Hydrocolloids. 28: 313-319.

Correia, P.R., M.C. Nunes, and D.C.M.L. Beirão. 2009. The effect of starch isolation method on physical and functional properties of Portuguese nuts starches I. Chestnuts (*Castanea sativa* Mill. var. Martainha and Longal) fruits. Food Hydrocolloids. 27: 256-263.

Fruton, J.S., and S. Simmonds. 1958. General Biochemistry. 2nd Ed. John Wiley and Sons, New York.

- Singha, G.D., A.S. Bawab, S. Singha, and D.C. Saxena. 2009. Physicochemical, pasting, thermal and morphological characteristics of Indian Water Chestnut (*Trapa natans*) starch. *Starch/Stärke*. 61: 35-42.
- Galliard, T., and P. Bowler. 1987. Morphology and composition of starch. In T. Gilliard (Ed.). *Starch: Properties and potential*. John Wiley and Sons., New York.
- Gibson, T.S., V.A. Solah, and B.V. McCleary. 1997. A procedure to measure amylose in cereal starches and flours with Concanavalin A. *Cereal Science*. 25: 111 - 119.
- Hizukuri, S. 1985. Relationship between the distribution of the chain length of amylopectin and the crystallite structure of starch granules. *Research Carbohydrate*. 141: 295-306.
- Hizukuri, S. 1988. Recent advances in molecular structure of starch. *Starch Science*. 31: 185.
- Huang, C.C., M.C. Lin, and C.R. Wang. 2006. Changes in morphological, thermal and pasting properties of yam (*Dioscorea alata*) starch during growth. *Journal of Carbohydrate Polymers*. 64: 524 - 531.
- Kawabata, A., N. Takase, E. Miyoshi, S. Sawayama, T. Kimura, and K. Kudo. 1994. Microscopic observation and X-ray diffractometry of heat/moisture-treated starch granules. *Starch/Starke*. 46: 463-469.
- Lan, W., Y. Zhihua, Z. Yan, X. Bijun, and S. Zhida. 2008. Morphological, physicochemical and textural properties of starch separated from Chinese water chestnut. *Starch/Stärke*. 60: 181-191.
- Zhang, M., H. Chen, and Y. Zhan. 2011. Physicochemical, thermal, and pasting properties of Chinese chestnut (*Castanea mollissima* Bl.) starches as affected by different drying methods. *Starch/Starke*. 63: 260-267.
- Morrison, W.R., and B. Laignelet. 1983. An improved colorimetric procedure for determining apparent and total amylose in cereal and other starches. *Journal of Cereal Science*. 1: 9-20.
- Noda, T., Y. Takahata, T. Sato, M. Hisamatsu, and T. Yamada. 1995. Physicochemical properties of starches extracted from sweet potato roots differing in physiological age. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 43: 3016-3020.
- Nielsen, S.S. 1998. *Food Analysis*. 2nd Edition. Aspen Publishers. Gaithersburg, MD, USA.

- Takeda, Y., and S. Hizukuri. 1987. Structures of rice amylopectins with low and high affinities for iodine. *Carbohydrate Research* 168: 79 - 88.
- Tester, R.F., J. Karkalas, and X. Qi. 2004. Starch-composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science*. 39: 151–165.
- Oates, C.G. 1996. Physical modification of starch. In *Advanced Post Academic Course on Tapioca Starch Technology*, Jan. 22-26 & Feb. 19-23, 1996. AIT Center, Bangkok.
- Pomeranz, Y. 1985. *Functional properties of food components*. Academic Press, Inc. New York.
- Sanders, J.P.M. 1986. Starch manufacturing in the world. In *Advanced Post Academic Course on Tapioca Starch Technology*. Jan. 22-26 & Feb. 19-23, 1996. AIT Center, Bangkok.
- Smith, R.J. 1979. *Food Carbohydrate*. The AVI publishing Co., Westport, Connecticut. 416.
- Wang, C.C.R., P.Y. Chaing, P.H. Li, and C.C. Huang. 2008. Physicochemical properties of water caltrop (*Trapa taiwanensis* Nakai) starch during growth period. *Carbohydrate Polymers*. 71: 310 - 315.
- Xu, S.-Y., and C.F. Shoemaker. 1986. Gelatinization properties of Chinese water chestnut starch and lotus root starch. *Journal of Food Science*. 51: 445 - 449.
- Yu B., S. Fujii, and S. Kishihara. 1999. Physicochemical property of Huaishan (*Rhizoma Dioscorea*) and Matai (*Eleocharis dulcis*) starches. *Starch/Stärke*. 51: 5 - 10.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

วิธีการวิเคราะห์

1. นำ aluminium can ออบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 ± 3 °C จนน้ำหนักคงที่
2. ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม ด้วยตาชั่งละเอียดใส่ใน aluminium can
3. นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 ± 3 °C เป็นเวลา 2 - 3 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่
4. ปิดฝาและทิ้งไว้ในเย็นในโถดูดความชื้น (Dessicator)
5. ชั่งน้ำหนัก
6. คำนวณหาปริมาณความชื้นโดยใช้สูตร

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

2. การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง ประมาณ 2.5 กรัม เติมตัวเร่ง 7 กรัม เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 25 มิลลิลิตร ใส่ boiling chip 2-3 ลูก ในหลอดย่อยโปรตีน
2. นำหลอดย่อยโปรตีนไปประกอบเข้ากับเครื่องย่อย จนได้สารละลายสีฟ้าใส ปล่อยให้เครื่องดูดควันจนหมด ทิ้งไว้ให้เย็น
3. นำหลอดตัวอย่างที่ย่อยแล้วมาต่อเข้ากับเครื่องกลั่น โปรตีน เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร กับ โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 32% ปริมาณ 60 มิลลิลิตร โดยที่ในระหว่างการกลั่นจะต้องมีกรดบอริกเข้มข้น 2% เป็นตัวดักจับแอมโมเนีย ซึ่งต้องวางกรดบอริกเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 60 มิลลิลิตร ใส่ใน Erlenmeyer flask 500 มิลลิลิตร หยด mixed indicator 2 - 3 หยด ได้สารสีส้มแดงใส รอนจนกลั่นเสร็จ
4. นำ Erlenmeyer flask หลังจากกลั่นเสร็จที่มีสารละลายกรดบอริกกับแอมโมเนีย ซึ่งมีสีฟ้าใสมาไทเทรตกับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 N จนสารละลายเปลี่ยนไปเป็นสีใสหรือไม่มีสี บันทึกปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรต

5. คำนวณเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในตัวอย่าง

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

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์โปรตีนในตัวอย่าง} &= \text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน} \times 6.25 \\ \text{เมื่อ } A &= \text{ปริมาณของสารละลายไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่าง} \\ B &= \text{ปริมาณของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเทรตกับ blank} \end{aligned}$$

3. การวิเคราะห์ไขมัน (AOAC, 2000)

วิธีการวิเคราะห์

1. อบปีกเกอร์ไขมันพร้อมกับ boiling chip ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง บนตึกน้ำหนักที่แน่นอน

2. ชั่งตัวอย่างที่อบไล่ความชื้นแล้วประมาณ 5.00 กรัม บนตึกน้ำหนักที่แน่นอน ห่อด้วยกระดาษกรอง ใส่ในทิมเบิล (extraction thimble) ตวงตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์จำนวน 140 - 180 มิลลิลิตรใส่ในปีกเกอร์ไขมัน ต่อทิมเบิลที่ใส่ตัวอย่างและปีกเกอร์ไขมันเข้ากับเครื่องสกัดไขมัน ทำการสกัดไขมันตามโปรแกรมของเครื่อง เมื่อครบเวลานำปีกเกอร์ไขมันไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เพื่อระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ออก ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักปีกเกอร์

3. คำนวณเปอร์เซ็นต์ไขมันในตัวอย่าง

$$= \frac{\text{น้ำหนักปีกเกอร์หลังสกัด} - \text{น้ำหนักปีกเกอร์ก่อนสกัด}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง} - \% \text{ความชื้น}} \times 100$$

4. การวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใย (AOAC, 2000)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่นำไขมัน และความชื้นออกแล้ว 2.5 กรัม ใส่ crucible แก้ว และนำไปต่อกับเครื่องย่อย

2. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1.25 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 150 มิลลิลิตร และหยด antiforming agent 2 - 3 หยด และให้ความร้อนอีกประมาณ 30 นาที เมื่อครบเวลา ล้างกรดด้วยน้ำกลั่นร้อนหลายๆ ครั้ง

3. เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.25 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 150 มิลลิลิตร และหยด antiforming agent 2-3 หยด จากนั้นให้ความร้อน 30 นาที เมื่อครบเวลา ล้างด้วยน้ำกลั่นร้อนหลายๆ ครั้ง แล้วล้างอีกครั้งด้วยอะซิโตน ปริมาณ 25 มิลลิลิตร

4. นำ crucible แก้วที่มีตัวอย่างที่ผ่านการย่อยเรียบร้อยแล้วไปอบใน Hot Air Oven ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักละเอียด (4 ตำแหน่ง)

5. นำ crucible แก้ว ที่อบแห้งแล้วไปเผาต่อในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง และทำให้เย็นใน โถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักละเอียด

$$6. \text{ คำนวณเปอร์เซ็นต์เส้นใยอาหาร} = \frac{(W1-W2)}{W} \times 100$$

W - %ความชื้น

เมื่อ W = น้ำหนักของตัวอย่างเป็นกรัม

W1 = น้ำหนักของ crucible แก้วและกากหลังจากอบแห้ง (Hot Air Oven) แล้วเป็นกรัม

W2 = น้ำหนักของ crucible แก้วและกากหลังจากอบแห้ง (เตาเผา) แล้วเป็นกรัม

5. การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า (AOAC, 2000)

วิธีการวิเคราะห์

1. เผาด้วยกระเบื้องที่แห้งและสะอาดในเตาเผาที่ 550 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักละเอียด 4 ตำแหน่ง และบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน

2. ชั่งตัวอย่างที่บดแล้วประมาณ 3.0000 กรัมใส่ในถ้วยกระเบื้อง

3. เผาตัวอย่างบน hot plate จนกระทั่งหมดควัน (ทำให้ผู้ดูดควัน)

4. นำไปเผาที่ 550 องศาเซลเซียส นาน 3 - 4 ชั่วโมง จนกระทั่งตัวอย่างกลายเป็นเถ้าสีขาวหรือสีเทา

5. คีบถ้วยกระเบื้องจากเตาเผา จากนั้นทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักของถ้วยกระเบื้องหลังเผา

6. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์เถ้า

$$\text{เปอร์เซ็นต์เถ้าในตัวอย่าง} = \frac{\text{น้ำหนักถ้วยกระเบื้องหลังเผา} - \text{น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง}} \times 100$$

- %ความชื้น

6. การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000)

$$\text{ปริมาณคาร์โบไฮเดรต} = 100 - (\% \text{ความชื้น} + \% \text{เถ้า} + \% \text{ไขมัน} + \% \text{โปรตีน} + \% \text{เยื่อใย})$$

7. การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Nielsen, 1998)

วิธีการวิเคราะห์

สารเคมี

1. กรด 3, 5-ไดไนโตรซาลิไซลิก (3, 5-dinitrosalicylic acid)

2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH)

3. โพแทสเซียม โซเดียมทาร์เทรท (Potassium sodium tartrate)

4. กลูโคส (Glucose)

การเตรียมสารเคมี

1. Dinitrosalicylic reagent (DNS reagent)

ละลาย 3, 5-dinitrosalicylic acid 1 กรัมใน 2 N โซเดียมไฮดรอกไซด์ 20 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร จากนั้นเติมโพแทสเซียมโซเดียมทาร์เทรทลงไป 30 กรัม คนให้ละลาย ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

2. สารละลายกลูโคสมาตรฐาน

เตรียมสารละลายกลูโคสที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง (MW = 180.2) โดยละลายกลูโคส 0.0901 กรัมในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ได้สารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 5.0 ไมโครโมล/มิลลิลิตร

การเตรียมกราฟมาตรฐานของสารละลายกลูโคส

1. เปิดสารละลายมาตรฐานกลูโคส (ความเข้มข้น 5.0 ไมโครโมล/มิลลิลิตร) 0.2 , 0.4, 0.6, 0.8

และ 1.0 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1 มิลลิลิตร

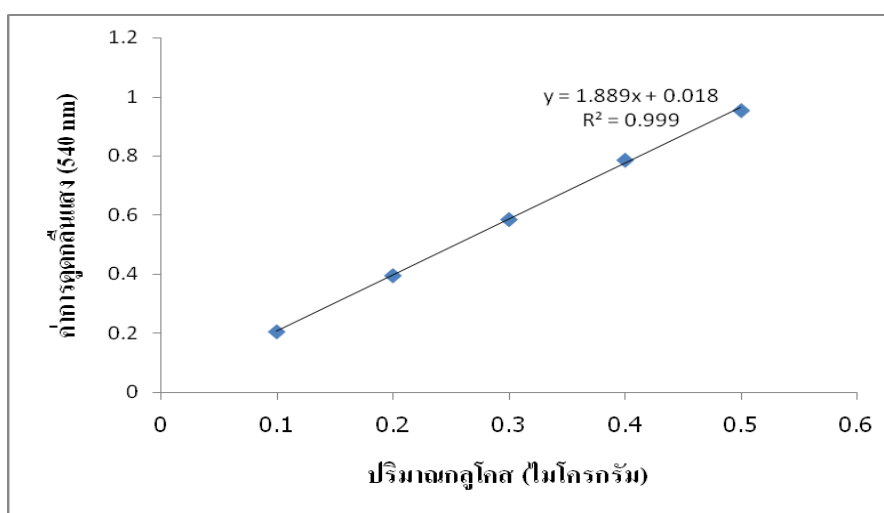
2. เติม DNS reagents หลอดละ 1 มิลลิลิตร ปิดฝาหลอดทดลองแล้วเขย่าให้เข้ากัน

3. นำหลอดทดลองแช่ในอ่างน้ำเดือดนาน 5 นาที แล้วนำมาแช่ในน้ำเย็นทันที

4. เมื่อเย็นจนถึงอุณหภูมิห้องแล้ว เติมน้ำกลั่นลงไปหลอดละ 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

5. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร

6. บันทึกผลการทดลองและนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณกลูโคสในแต่ละความเข้มข้น จะได้กราฟมาตรฐานของสารละลายกลูโคส



ภาพที่ ก.1 กราฟมาตรฐานของสารละลายกลูโคส

ตารางที่ ก.1 ค่ามาตรฐานการดูดกลืนแสงในการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

ความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคส (ไมโครโมล/ 0.2 มิลลิลิตรสารสกัดตัวอย่าง)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร
0	0.000
0.1	0.205
0.2	0.395
0.3	0.585
0.4	0.786
0.5	0.954

การสกัดตัวอย่าง

1. ชั่งตัวอย่าง 7.5 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 300 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร
3. เขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง
4. นำมาหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 6000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที นำส่วนใสที่ได้ไปวิเคราะห์

การวิเคราะห์

1. ปิเปิดตัวอย่างสารสกัด 0.2 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 0.8 มิลลิลิตร และเติม DNS reagent 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองปิดฝาหลอดทดลองแล้วเขย่าให้เข้ากัน
2. นำหลอดทดลองแช่ในอ่างน้ำเดือดนาน 3 นาที แล้วนำมาแช่ในน้ำเย็นทันที
3. เมื่อเย็นจนถึงอุณหภูมิห้องแล้วเติมน้ำกลั่นลงไปหลอดละ 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
4. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร คำนวณปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในตัวอย่างโดยใช้กราฟมาตรฐานของสารละลายกลูโคส

การคำนวณ

การคำนวณปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยใช้สมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟมาตรฐานของปริมาณกลูโคส

$$y = 1.889x + 0.018 \quad (R^2 = 0.999)$$

เมื่อ y = ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร

x = ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (ไมโครโมล/0.2 มิลลิลิตรสารสกัดตัวอย่าง)

c = จุดตัดแกน y

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ

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

การวัดขนาดและตรวจสอบลักษณะของเม็ดแป้งสามารถทำได้โดยตรงจากกล้องจุลทรรศน์โดยใช้ haemocytometer แล้วอ่านค่าด้วยสายตา ความถูกต้องของข้อมูลขนาดเม็ดแป้งที่วัดจากกล้องจุลทรรศน์จะขึ้นอยู่กับขนาดและจำนวนอนุภาคที่วัด โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ในการส่องผ่านตัวอย่าง รูปที่ได้จะมีลักษณะเป็นสามมิติ ซึ่งการเตรียมตัวอย่างจะต้องมีการเคลือบด้วยทองเป็นชั้นบาง ๆ โดยจะต้องเตรียมตัวอย่างอย่างละเอียด แล้วนำมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน จากนั้นทำการเลือกรูปที่ถ่ายออกมา โดยถ่ายที่กำลังขยาย 2000 เท่า

2. การศึกษาลักษณะของผลึกโมเลกุลแป้ง ด้วยเครื่อง X – ray diffraction (XRD)

วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้ศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบโครงสร้างของผลึก (crystal Structure) หรือโมเลกุลของสารด้วยการใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction) ที่ตกกระทบหน้าผลึกของสารตัวอย่างที่มุมต่างๆกัน ทำให้รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของวัสดุที่เป็นผลึกจะมีลักษณะแตกต่างกันขึ้นกับการจัดเรียงตัวของอะตอมภายในผลึก ซึ่งจะถูกวัดกำลังความเข้มของฟลักซ์ (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)

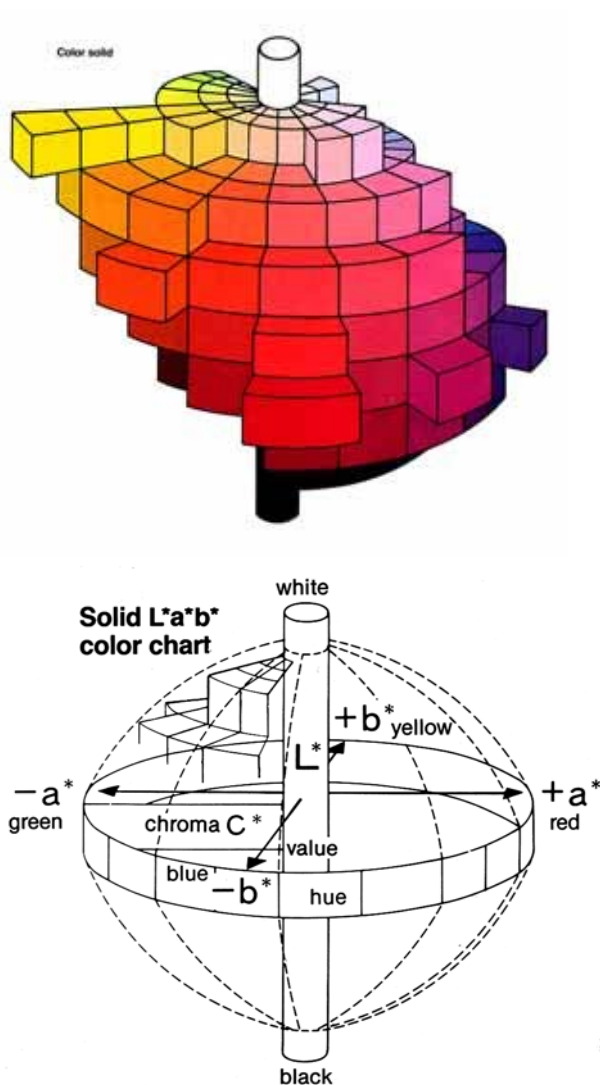
3. การวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ของแป้ง (pH ของแป้ง) โดยวิธี มอก.274 – 2521

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

4. การวัดค่าสีของฟลาวัวร์และสตาร์ชแห้วจีน

โดยใช้เครื่องวัดสี Minolta (รุ่น CR-400) โดยอ่านค่าสีเป็นระบบ $L^* -a^* -b^*$ ซึ่งเป็นระบบการบรรยายสีแบบ 3 มิติ โดยที่แกน L^* จะบรรยายถึงความสว่าง (lightness) จากค่า $+L^*$ แสดงถึงสีขาว จนไปถึง $-L^*$ แสดงถึงสีดำ แกน a^* จะบรรยายถึงแกนสีจากเขียว ($-a^*$) ไปจนถึงแดง

(+a*) ส่วนแกน b* จะบรรยายถึงแกนสีจาก น้ำเงิน (-b*) ไปเหลือง (+b*) ลักษณะการบรรยายสีแสดงได้ดังภาพที่ 3 ซึ่งก่อนวัดทุกครั้งจะต้องปรับมาตรฐานเครื่องด้วยแผ่นขาว (White Tile)



ภาพที่ ข.1 การบรรยายสีพื้นในระบบ CIE Lab ในรูป 3 มิติ

ที่มา : Minolta (1997)

5. การวัดขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคแป้ง (particle size distribution) ด้วยเครื่อง Laser Particle Size Distribution Analyzer

เทคนิคนี้อาศัยหลักการของการเลี้ยวเบนของแสง เมื่อมีอนุภาคที่กระจายตัวอยู่ในตัวกลางผ่านลำแสงชั่วระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งอนุภาคที่แสงส่องผ่านของสตาร์ชนั้นจะอยู่ในช่วง 10 – 20 เปอร์เซ็นต์ และกระจายตัวในน้ำกลั่น โดยวัดขนาดที่เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยที่ 50 เปอร์เซ็นต์ (D50) ความเข้มของแสงที่เกิดการเลี้ยวเบนมีความสัมพันธ์กับปริมาณของอนุภาคในแต่ละขนาด แต่มุมเลี้ยวเบนกลับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของอนุภาค การใช้ตัวกรองแสง เลนส์ และตัว

ตรวจจับทางแสงร่วมกับคอมพิวเตอร์ ช่วยให้สามารถประมวลผลจากข้อมูลการเลี้ยวเบนเป็นการกระจายตัวของขนาดอนุภาคได้ เป็นค่าของความละเอียดที่ใช้เลเซอร์เป็นตัวนับและคำนวณขนาดของอนุภาค จึงมีความแม่นยำสูงกว่าเครื่อง Image Analyzer ซึ่งเหมาะกับตัวอย่างที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก

6. กำลังการพองตัว (swelling power) และความสามารถในการละลาย (solubility) ของแป้ง (ดัดแปลงจาก Lan และคณะ, 2008)

1. ชั่งตัวอย่างแป้ง 2 เปอร์เซ็นต์ (0.5 กรัม) โดยคิดเป็นน้ำหนักแห้ง (จดบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน) (A) นำตัวอย่างแป้งใส่ในหลอดเหวี่ยง (ชั่งน้ำหนักหลอดเหวี่ยงให้ทราบน้ำหนักแน่นอน) เติมน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร
2. แช่ในอ่างน้ำร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส กวนตลอดเวลา นาน 30 นาที
3. ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำไปปั่นเหวี่ยงด้วย centrifuge ความเร็วรอบ 3000 รอบ/นาที นาน 15 นาที
4. คูดน้ำใสส่วนบนออกให้ได้มากที่สุด ใส moisture can ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน (ต้องนำ moisture can ไปอบแห้ง แล้วนำมาใส่ desiccators ให้เย็น) และนำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง จากนั้นเอาไปใส่ใน desiccators ให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน แล้วลบลด้วยน้ำหนัก moisture can ออก เป็นค่าน้ำหนักส่วนที่ละลายน้ำ (B)
5. ส่วนแป้งเปียกที่อยู่ในหลอด นำไปชั่งน้ำหนักทั้งหมด แล้วลบน้ำหนักหลอดออก เป็นน้ำหนักแป้งที่พองตัว (C)

คำนวณ

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

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

7. ค่าซินเนอริซิส (syneresis) (ดัดแปลงจาก Lan และคณะ, 2008)

1. ตัวอย่างแป้ง 6 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) โดยคิดเป็นน้ำหนักแห้ง
2. นำไปต้มในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ที่ 95 องศาเซลเซียส กวนตลอดเวลา นาน 30 นาที
3. ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
4. นำไปแช่แข็ง ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส นาน 22 ชั่วโมง
5. นำออกมาละลายในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ที่ 30 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง 30 นาที

6. นำไป centrifuge ที่ 3000 รอบ/นาที นาน 20 นาที

7. ชั่งน้ำหนักน้ำที่แยกออกมาจากเจล

คำนวณ

$$\text{ความคงตัวของสารละลายน้ำแข็ง (\%)} = \frac{\text{น้ำที่แยกออกมาจากเจล}}{\text{น้ำหนักเจลเริ่มต้น}} \times 100$$

8. การวัดการเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งจากฟลาวัวร์และสตาร์ชแห้งจินในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็น (pasting properties) ด้วยเครื่อง Brabender Amylograph

วิธีวิเคราะห์

1. เตรียมตัวอย่างน้ำแป้งจากสตาร์ช 10 เปอร์เซ็นต์ ใสลงในเครื่อง *Brabender Visco-Amylograph* ซึ่งจัดเตรียมพร้อมสำหรับการทดสอบ
2. ตั้งค่าเครื่องโดยเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นในอัตรา 1.5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส และคงไว้ที่อุณหภูมินี้ นาน 15 นาที แล้วค่อยๆ ลดอุณหภูมิลงในอัตราเดียวกันจนถึงอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และคงไว้ที่อุณหภูมินี้ นาน 30 นาที
3. เมื่อเครื่อง *Brabender Visco-Amylograph* วัดเสร็จจะทราบค่าความหนืดต่างๆ ในหน่วยของ Brabender Unit (BU) และอุณหภูมิที่เกิดเจลจากกราฟที่ได้ดังนี้

จุด

A = แสดงความหนืดเริ่มเกิดเจลาติไนซ์

จุด B = ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ซึ่งเป็นความหนืดสูงสุดในช่วงให้ความร้อน เป็นจุดที่เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่

จุด C = ความหนืดเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ซึ่งให้เห็นถึงความยากง่ายของการหุงต้ม

จุด D = ความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ซึ่งให้เห็นถึงความคงตัวของเม็ดแป้ง

จุด E = ความหนืดเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งให้เห็นถึงการรีโทรเกรเดชัน เนื่องจากการทำให้เย็น

จุด F = ความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งให้เห็นถึงความคงตัวของน้ำสุกที่ผ่านการหุงต้มและทิ้งไว้ให้เย็น

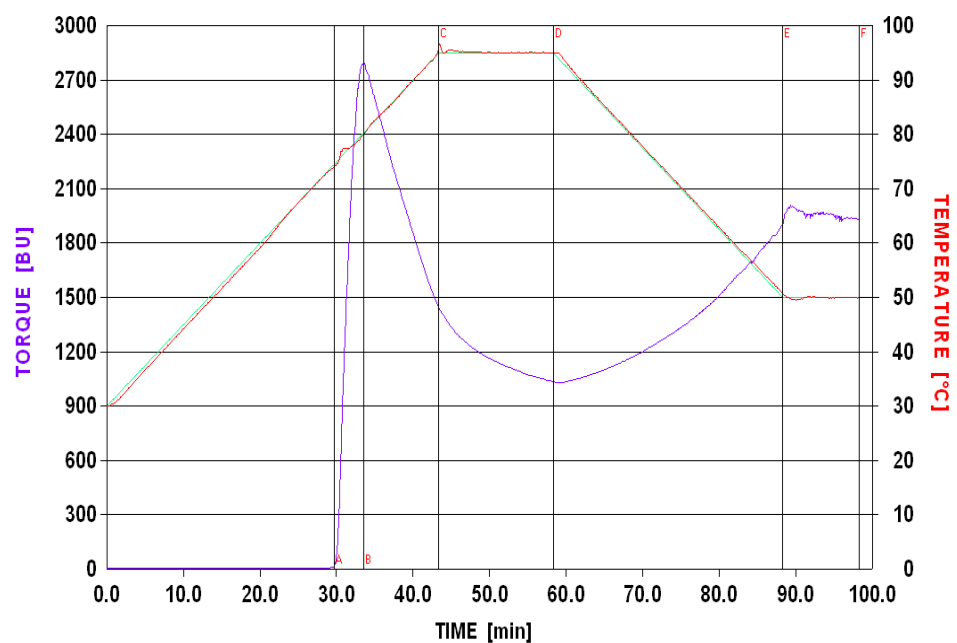
4. คำนวณค่าต่างๆ ดังนี้

Breakdown = ความหนืดสูงสุด - ความหนืดสุดท้ายที่ 95 องศาเซลเซียส

Setback = ความหนืดเริ่มต้นที่ 50 องศาเซลเซียส - ความหนืดสูงสุด



ภาพที่ ข.2 การวัด การเปลี่ยนแปลงควา มข้นหนืดของน้ำแป้งจาก ฟลาวร์และ สตาร์ช หัวัวจินใน ระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็น (pasting properties) ด้วยเครื่อง Brabender Visco-Amylograph



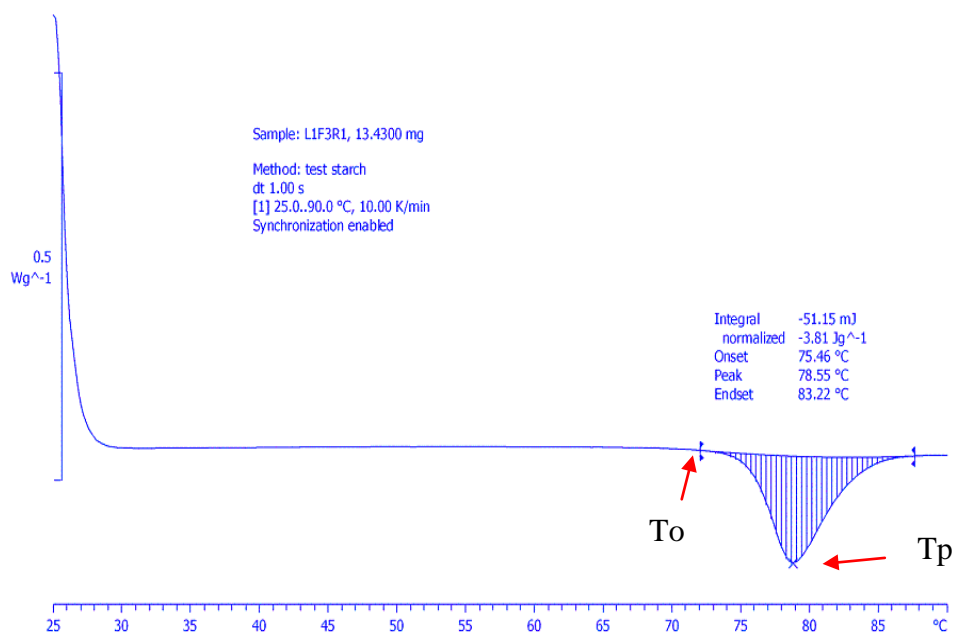
ภาพที่ ข.3 กราฟการวัด การเปลี่ยนแปลงควา มข้นหนืดของน้ำแป้งจาก ฟลาวร์และ สตาร์ช หัวัวจินในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็น (pasting properties) ที่ได้จากเครื่อง Brabender Visco-Amylograph

9. ศึกษาสมบัติทางความร้อนของแป้งโดยใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC)

DSC เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพลังงาน และศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ โดยอาศัยหลักการที่ว่า ทั้งตัวอย่างและสารอ้างอิงจะต้องคงอยู่ที่อุณหภูมิเดียวกันในกระบวนการให้ความร้อนหรือทำให้เย็นลงที่อัตราที่กำหนดไว้ คือ มีการให้ความร้อนเริ่มต้นที่ 25 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิที่คาดว่าเลยช่วงในการเกิดเจลาติไนเซชัน คือ 90 องศาเซลเซียส ที่อัตรา 10 องศาเซลเซียส /นาทึ โดยมีการเตรียมตัวอย่างสารผสมระหว่างแป้งกับน้ำ (30/70) และบ่มสารละลายไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง ปริมาณความร้อนจะไหลเข้าสู่ระบบไม่ว่าที่ตัวอย่างหรือสารอ้างอิงเพื่อที่จะพยายามรักษาความแตกต่างของอุณหภูมิของตัวอย่างและสารอ้างอิงให้เป็นศูนย์ สัญญาณที่เป็นสัดส่วนกับความแตกต่างของกำลัง (power) ซึ่งเป็นกราฟระหว่าง heat flow และอุณหภูมิ ค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลาติไนเซชันที่อ่านได้ มีดังนี้

Onset temperature, T_o ($^{\circ}\text{C}$)	=	อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลาติไนเซชัน
Peak temperature, T_p ($^{\circ}\text{C}$)	=	อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลาติไนเซชัน
Conclusion temperature, T_c ($^{\circ}\text{C}$)	=	อุณหภูมิต่ำสุดท้ายในการเกิดเจลาติไนเซชัน
Enthalpy, ΔH (J/g)	=	พลังงานที่เปลี่ยนแปลงระหว่างเกิดการเกิดเจลาติไนเซชัน

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



ภาพที่ ข.4 DSC curve ของสตาร์ชจากหัวจิ้น

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของฟลาวอร์และสตาร์ชหัวจิ้น
ที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

ตารางผนวกที่ ค.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้นจากฟลาวอร์หัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	81.319	2	40.659	632.157	.000
แหล่งเพาะปลูก	.883	2	.442	6.867	.006
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	1.703	4	.426	6.621	.002
Error	1.158	18	.064		
Total	2309.482	27			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณ โปรตีนจากฟลาวอร์หัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	12.068	2	6.034	36.545	.000
แหล่งเพาะปลูก	1.614	2	.807	4.888	.020
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	3.112	4	.778	4.712	.009
Error	2.972	18	.165		
Total	2151.499	27			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณไขมันจากฟลาวัวร์หัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	.190	2	.095	9.343	.002
แหล่งเพาะปลูก	.020	2	.010	.969	.399
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	.006	4	.002	.159	.956
Error	.183	18	.010		
Total	9.644	27			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณเส้นใยจากฟลาวัวร์หัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	13.990	2	6.995	471.683	.000
แหล่งเพาะปลูก	.819	2	.409	27.600	.000
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	.368	4	.092	6.203	.003
Error	.267	18	.015		
Total	486.697	27			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณเถ้าจากฟลาวัวร์แห้งจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	4.044	2	2.220	148.953	.000
แหล่งเพาะปลูก	.218	2	.109	8.035	.003
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	.728	4	.182	13.408	.000
Error	.244	18	.014		
Total	1349.177	27			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณคาร์โบไฮเดรตจากฟลาวัวร์แห้งจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	84.177	2	42.088	163.316	.000
แหล่งเพาะปลูก	8.178	2	4.089	15.867	.000
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	11.300	4	2.825	10.962	.000
Error	4.639	18	.258		
Total	133404.161	27			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากฟลาวัวร์เห้วจินที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	2.903	2	1.452	1375.172	.000
แหล่งเพาะปลูก	.029	2	.015	13.909	.000
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	.087	4	.022	20.693	.000
Error	.019	18	.001		
Total	9.395	27			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า pH จากฟลาวัวร์เห้วจินที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	1.266	2	.633	3636.021	.000
แหล่งเพาะปลูก	.068	2	.034	194.383	.000
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	.261	4	.065	374.191	.000
Error	.003	18	.000		
Total	962.708	27			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า L* จากฟลาวัวร์เห้วจินที่อายุการเก็บเกี่ยว และแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	708.584	2	354.222	123.315	.000
แหล่งเพาะปลูก	.140	2	.070	.024	.976
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	1.528	4	.382	.133	.968
Error	51.715	18	2.873		
Total	183943.787	27			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า a* จากฟลาวัวร์เห้วจินที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	131.918	2	65.959	3449.333	.000
แหล่งเพาะปลูก	0.362	2	.181	9.473	.002
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	0.362	4	.091	4.733	.009
Error	0.344	18	.019		
Total	470.844	27			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า b* จากฟลาวัวร์หัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	445.232	2	222.616	212.168	.000
แหล่งเพาะปลูก	4.660	2	2.330	2.221	.137
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	.833	4	.208	.199	.936
Error	18.886	18	1.049		
Total	12278.953	27			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเข้มสี (Chroma) จากฟลาวัวร์หัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	521.331	2	260.666	250.776	.000
แหล่งเพาะปลูก	5.027	2	2.514	2.418	.117
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	.931	4	.233	.224	.921
Error	18.710	18	1.039		
Total	12750.090	27			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเจดสี (Hue angle) จากฟลาวัวร์เห้วจินที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	365.686	2	182.843	800.123	.000
แหล่งเพาะปลูก	.507	2	.253	1.109	.351
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	1.076	4	.269	1.177	.354
Error	4.113	18	.229		
Total	178136.139	27			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของดัชนีความขาว (Whiteness index) จากฟลาวัวร์เห้วจินที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	1190.754	2	595.377	216.258	.000
แหล่งเพาะปลูก	3.952	2	1.976	.718	.501
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	1.766	4	.441	.160	.956
Error	49.555	18	2.753		
Total	142534.728	27			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.15 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิเริ่มหนืด (beginning viscosity) จากฟลาว์แห้วจินที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	52.121	2	26.061	8.084	0.010
แหล่งเพาะปลูก	19.764	2	9.882	3.065	0.097
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	76.642	4	19.161	5.943	0.013
Error	29.015	9	3.224		
Total	104586.810	18			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) จากฟลาว์แห้วจินที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	609484.111	2	304742.056	2427.149	.000
แหล่งเพาะปลูก	4083.111	2	2041.556	16.260	.001
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	36017.222	4	9004.306	71.716	.000
Error	1130.000	9	125.556		
Total	1.213E7	18			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.17 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคงทนของเม็ดแป้งต่ออุณหภูมิ (breakdown) จากฟลาวัวร์หัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	511565.778	2	255728.889	2115.851	.000
แหล่งเพาะปลูก	5121.444	2	2560.722	21.182	.000
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	7154.556	4	1788.639	14.796	.001
Error	1088.000	9	120.889		
Total	3701810.000	18			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการคืนตัว (set back) จากฟลาวัวร์หัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	421624.111	2	210812.056	1867.430	.000
แหล่งเพาะปลูก	4742.111	2	2371.056	21.003	.000
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	2186.222	4	546.556	4.842	.023
Error	1016.000	9	112.889		
Total	2540396.000	18			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.19 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้นจากสตาร์ชแห้งเงินที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	6.426	2	3.213	73.191	.000
แหล่งเพาะปลูก	.165	2	.082	1.875	.182
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	1.481	4	.370	8.436	.001
Error	.790	18	.044		
Total	1984.511	27			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.20 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณโปรตีนจากสตาร์ชแห้งเงินที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	.050	2	.025	10.284	.001
แหล่งเพาะปลูก	.029	2	.014	5.910	.011
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	.046	4	.012	4.776	.008
Error	.044	18	.002		
Total	4.691	27			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.21 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณไขมันจากสตาโรลส์หัวใจที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	.060	2	.003	2.557	.105
แหล่งเพาะปลูก	.023	2	.012	9.972	.001
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	.011	4	.003	2.283	.100
Error	.021	18	.001		
Total	.229	27			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.22 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณเส้นใยจากสตาโรลส์หัวใจที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	.008	2	.004	1.459	.259
แหล่งเพาะปลูก	.046	2	.023	8.289	.003
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	.034	4	.008	3.078	.043
Error	.050	18	.003		
Total	1.741	27			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.23 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณเถ้าจากสตาซซ์แห้งจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	.035	2	.018	1.392	.274
แหล่งเพาะปลูก	.012	2	.006	.482	.625
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	.039	4	.010	.770	.559
Error	.230	18	.013		
Total	3.317	27			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.24 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณคาร์โบไฮเดรตจากสตาซซ์แห้งจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	8.842	2	4.421	406.001	.000
แหล่งเพาะปลูก	.836	2	.418	38.410	.000
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	2.836	4	.709	65.123	.000
Error	.196	18	.011		
Total	220375.459	27			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.25 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	7.407E-6	2	3.704E-6	1.000	.387
แหล่งเพาะปลูก	7.407E-6	2	3.704E-6	1.000	.387
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	1.481E-5	4	3.704E-6	1.000	.433
Error	6.667E-5	18	3.704E-6		
Total	.000	27			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.26 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแป้งจากสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	1638.124	2	819.062	2236.855	.000
แหล่งเพาะปลูก	9.873	2	4.937	13.482	.002
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	36.562	4	9.140	24.963	.000
Error	3.296	18	.366		
Total	51993.600	27			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.27 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณอะมิโลสจากสตาร์ชเหหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	.134	2	.067	.476	.629
แหล่งเพาะปลูก	.366	2	.183	1.303	.269
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	.637	4	.159	1.133	.373
Error	2.529	18	.140		
Total	12450.039	27			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.28 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า pH จากสตาร์ชเหหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	2.428	2	1.214	2061.906	.000
แหล่งเพาะปลูก	.939	2	.470	797.509	.000
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	2.435	4	.609	1033.830	.000
Error	.011	18	.001		
Total	717.294	27			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.29 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า L* จากสตาบิลิซเซอร์ที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	19.427	2	9.714	34.940	.000
แหล่งเพาะปลูก	2.242	2	1.121	4.032	.036
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	.670	4	.167	.602	.666
Error	5.004	18	.278		
Total	257994.481	27			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.30 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า a* จากสตาบิลิซเซอร์ที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	.450	2	.225	50.384	.000
แหล่งเพาะปลูก	.004	2	.002	.473	.630
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	.022	4	.000	.099	.981
Error	.080	18	.004		
Total	3.295	27			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.31 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า b* จากสตา์ซ์หัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	13.647	2	6.823	33.671	.000
แหล่งเพาะปลูก	.004	2	.002	.010	.990
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	.025	4	.006	.030	.998
Error	3.648	18	.203		
Total	310.958	27			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.32 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเข้มสี (Chroma) จากสตา์ซ์หัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	113.922	2	6.961	33.968	.000
แหล่งเพาะปลูก	.005	2	.002	.012	.990
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	.025	4	.006	.031	1.000
Error	3.689	18	.205		
Total	314.384	27			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.33 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเจดสี (Hue angle) จากสตา์ชเห้วจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	34.343	2	17.171	17.199	.000
แหล่งเพาะปลูก	1.044	2	.522	.523	.602
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	.254	4	.064	.064	0.992
Error	17.971	18	.998		
Total	245863.167	27			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.34 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของดัชนีความขาว (Whiteness index) จากสตา์ชเห้วจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	27.547	2	13.774	38.787	.000
แหล่งเพาะปลูก	.828	2	.414	1.166	.334
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	.459	4	.115	.323	.859
Error	6.392	18	.355		
Total	248596.580	27			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.35 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิเริ่มหนืด (beginning viscosity) จากสสารแห้งจืดที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	.303	2	.015	3.375	.081
แหล่งเพาะปลูก	.130	2	.065	14.625	.001
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	1.720	4	.430	96.750	.000
Error	.040	9	.004		
Total	98569.920	18			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.36 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) จากสสารแห้งจืดที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	617588.778	2	308794.389	795.748	.000
แหล่งเพาะปลูก	55780.111	2	27890.056	71.871	.000
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	43642.222	4	10910.556	28.116	.000
Error	3492.500	9	388.056		
Total	1.118E8	18			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.37 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคงทนของเม็ดแป้งต่ออุณหภูมิ (breakdown) จากสตาร์ชหัวเงินที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	351645.778	2	175822.889	597.360	.000
แหล่งเพาะปลูก	67086.778	2	33543.389	113.964	.000
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	43762.889	4	10940.722	37.171	.000
Error	2649.000	9	294.333		
Total	4.024E7	18			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.38 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการคืนตัว (set back) จากสตาร์ชหัวเงิน ที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	246250.111	2	123125.056	283.372	.000
แหล่งเพาะปลูก	45954.111	2	22977.056	52.882	.000
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	30184.222	4	7546.056	17.367	.000
Error	3910.500	9	434.500		
Total	7697819.000	18			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.39 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลง (To) จาก
 สตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	3.604	2	1.802	38.237	.000
แหล่งเพาะปลูก	1.313	2	.656	13.927	.000
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	3.258	4	.815	17.286	.000
Error	.848	18	.047		
Total	148601.949	27			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.40 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสูงสุด (Tp)
 จากสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	.030	2	.015	1.364	.281
แหล่งเพาะปลูก	.336	2	.168	15.357	.000
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	2.843	4	.711	64.929	.000
Error	.197	18	.011		
Total	164720.994	27			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.41 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิสุดท้ายที่เกิดเจลลาติน (Tc) จาก
สตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	.849	2	.424	4.201	.032
แหล่งเพาะปลูก	.034	2	.017	.169	.845
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	.386	4	.096	.954	.456
Error	1.818	18	.101		
Total	188502.749	27			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค.42 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลาติน (ΔH)
จากสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกต่างกัน

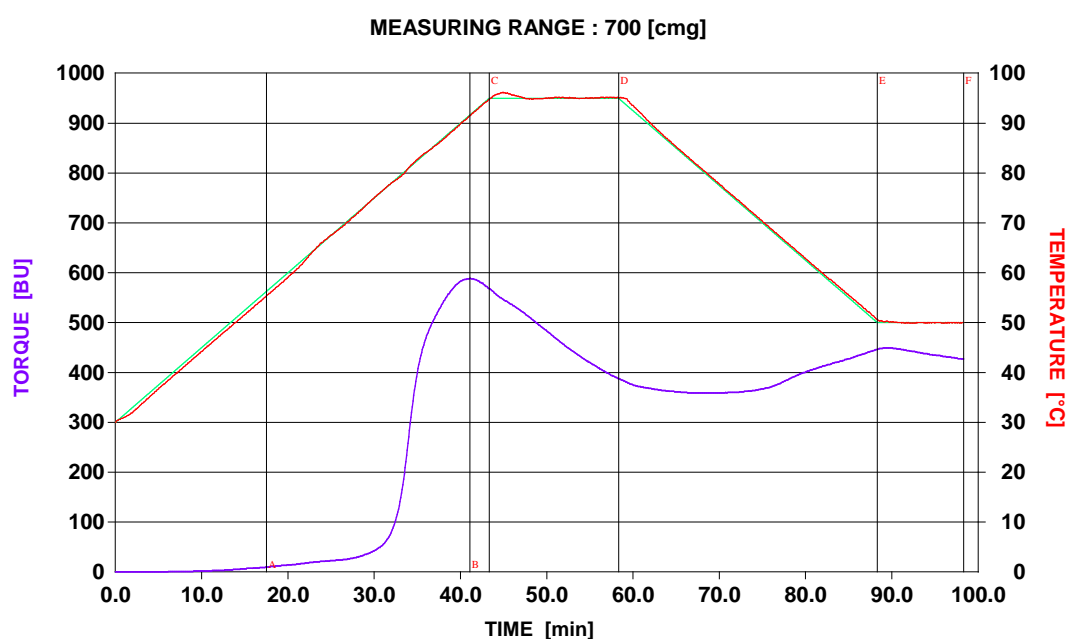
-	SS	df	MS	F	Sig.
อายุการเก็บเกี่ยว	.308	2	.154	.878	.433
แหล่งเพาะปลูก	.249	2	.124	.710	.505
อายุการเก็บเกี่ยว* แหล่งเพาะปลูก	.033	4	.008	.047	.995
Error	3.153	18	.175		
Total	303.076	27			

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

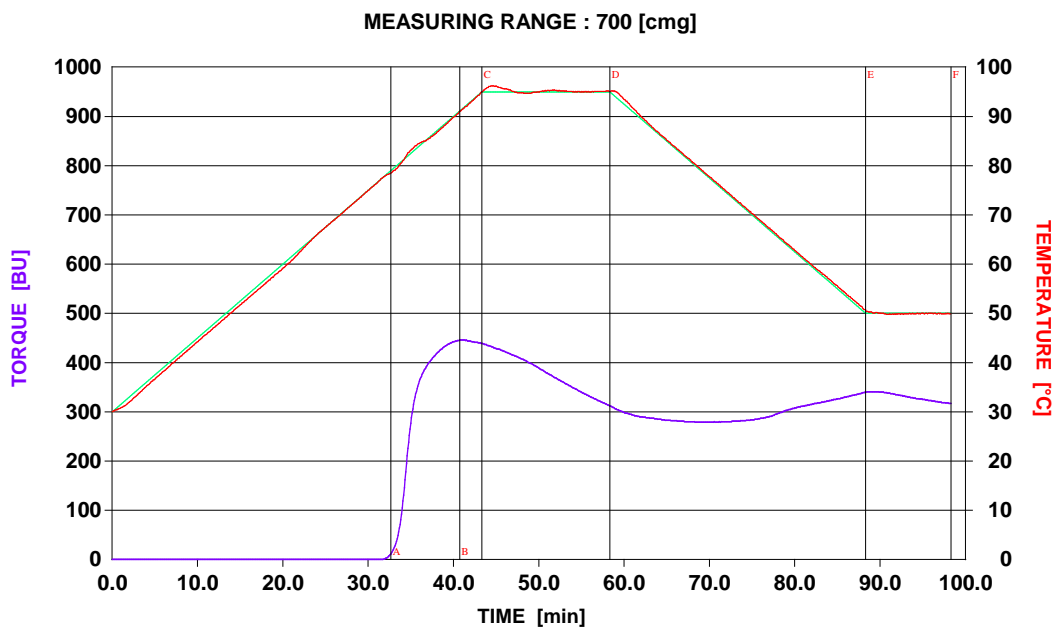
^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \geq 0.05$)

ภาคผนวก ง

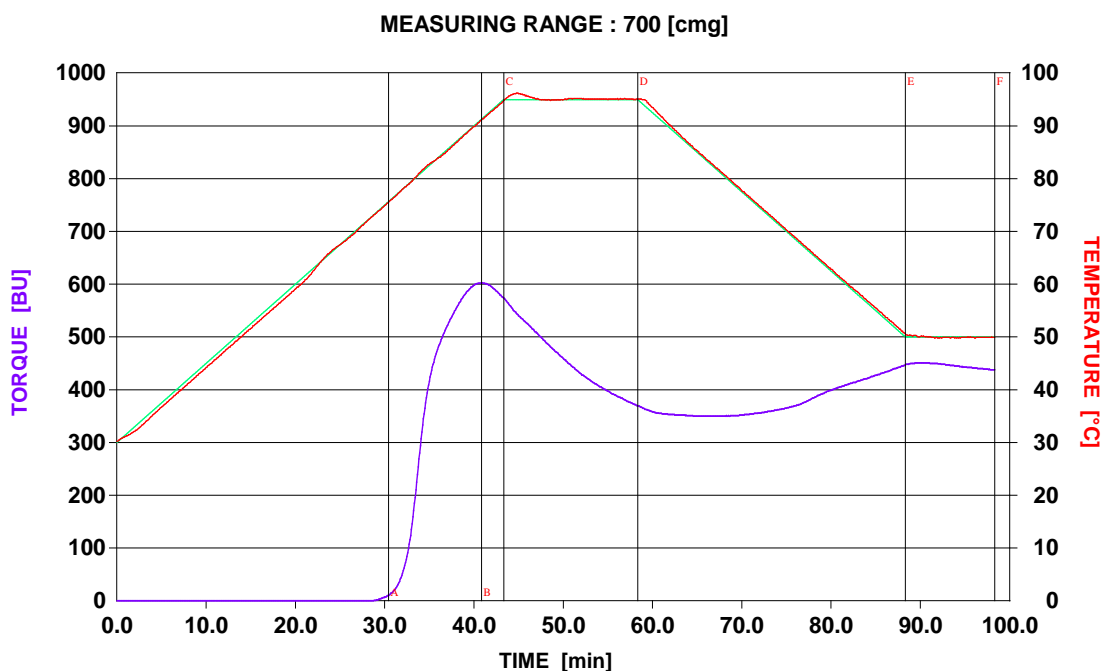
ภาพการเปลี่ยนแปลงความข้นหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็น (pasting properties) ด้วยเครื่อง Brabender Amylograph และภาพสมบัติทางความร้อน ด้วยเครื่อง DSC ของฟลาวร์และสตาร์ชหัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวและแหล่งเพาะปลูกที่ต่างกัน



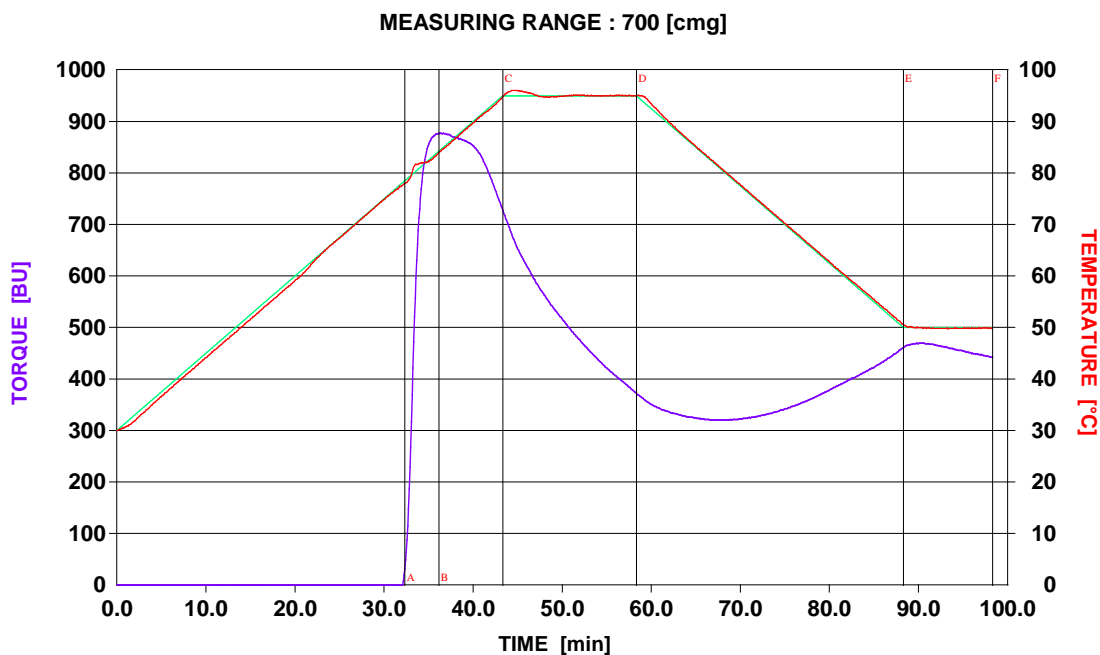
ภาพที่ ง.1 การเปลี่ยนแปลงความข้นหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็น ด้วยเครื่อง Brabender Amylograph ของฟลาวร์หัวจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะอ่อน (7 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 1



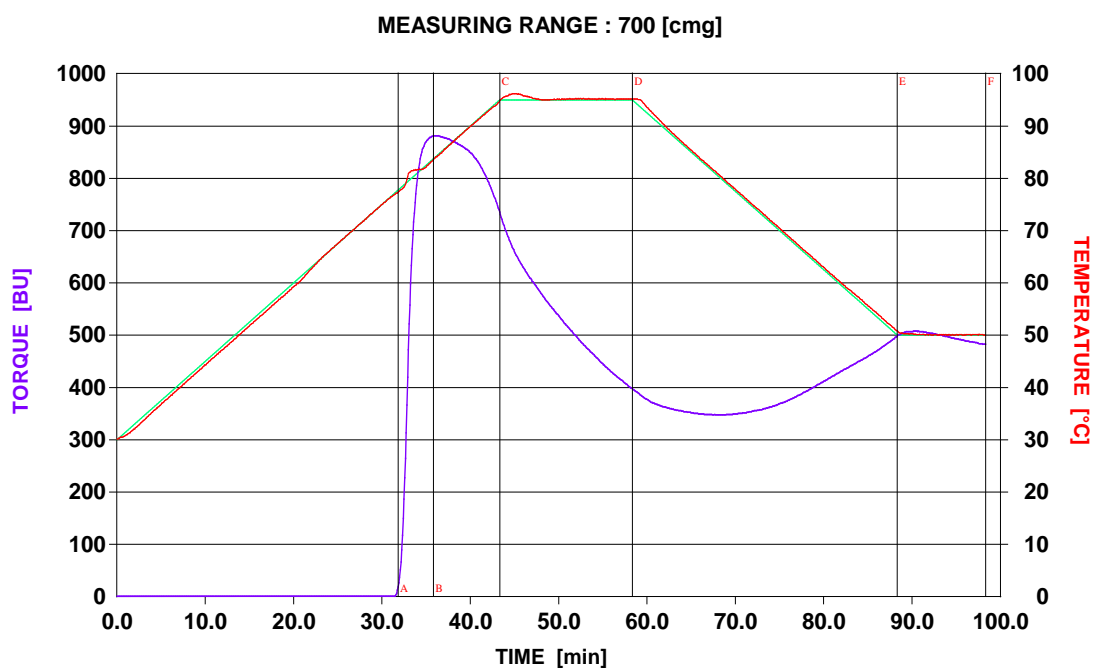
ภาพที่ ง.2 การเปลี่ยนแปลงความข้นหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็น ด้วยเครื่อง Brabender Amylograph ของฟลาวัวร์เห้วจินที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะอ่อน (7 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 2



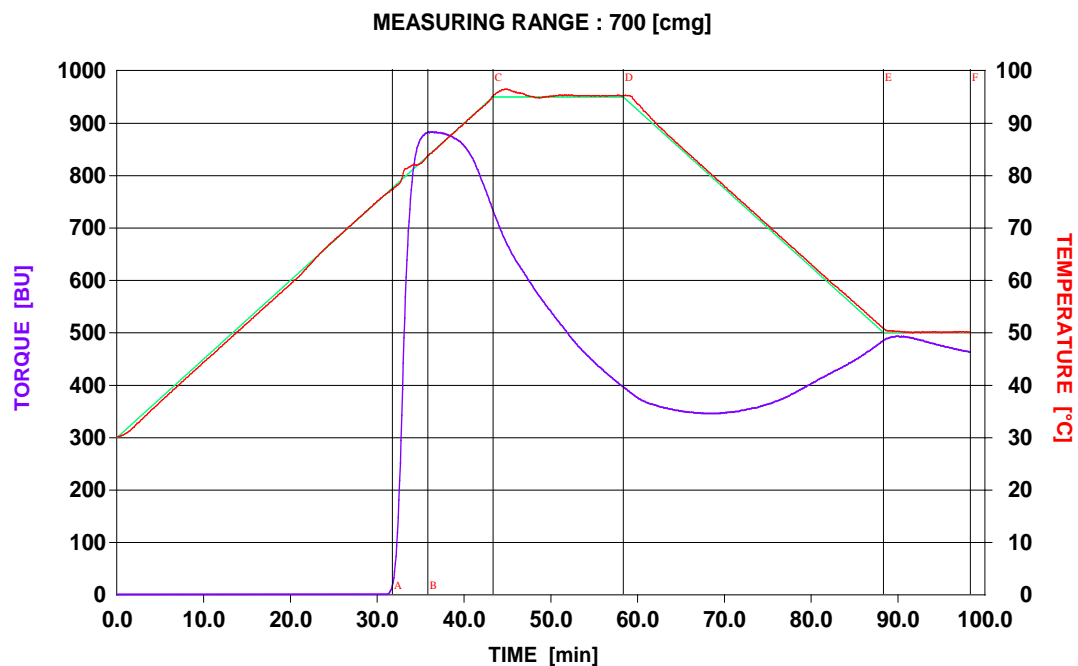
ภาพที่ ง.3 การเปลี่ยนแปลงความข้นหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็น ด้วยเครื่อง Brabender Amylograph ของฟลาวัวร์เห้วจินที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะอ่อน (7 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 3



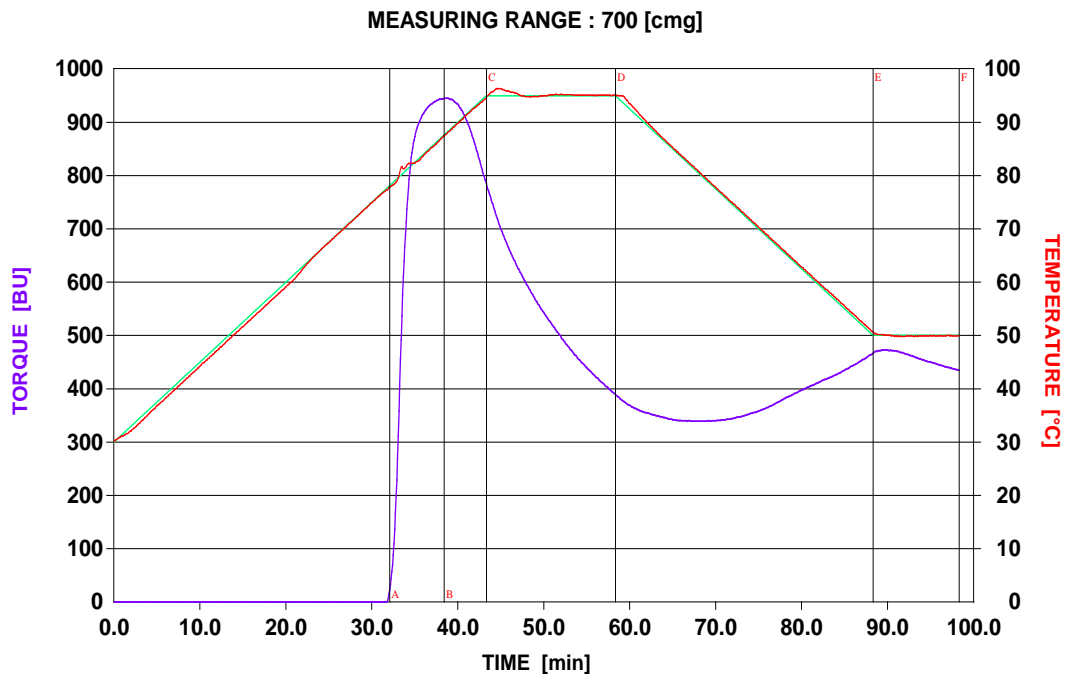
ภาพที่ ง.4 การเปลี่ยนแปลงความข้นหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็น ด้วยเครื่อง Brabender Amylograph ของฟลาวัวร์เหั่วจินที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะกลาง (9 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 1



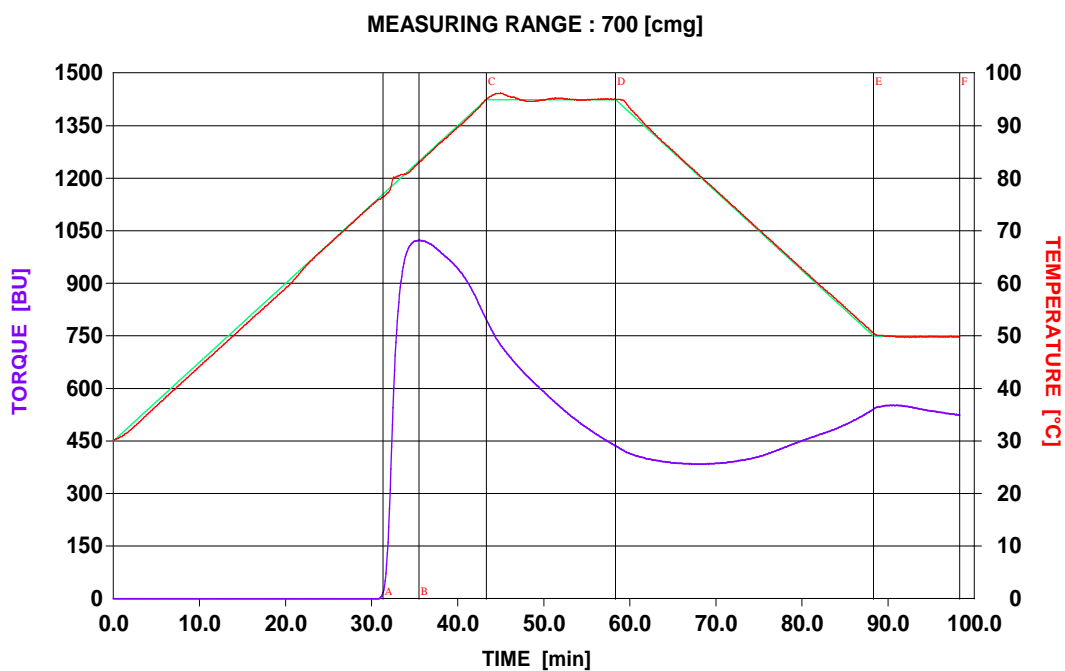
ภาพที่ ง.5 การเปลี่ยนแปลงความข้นหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็น ด้วยเครื่อง Brabender Amylograph ของฟลาวัวร์เหั่วจินที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะกลาง (9 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 2



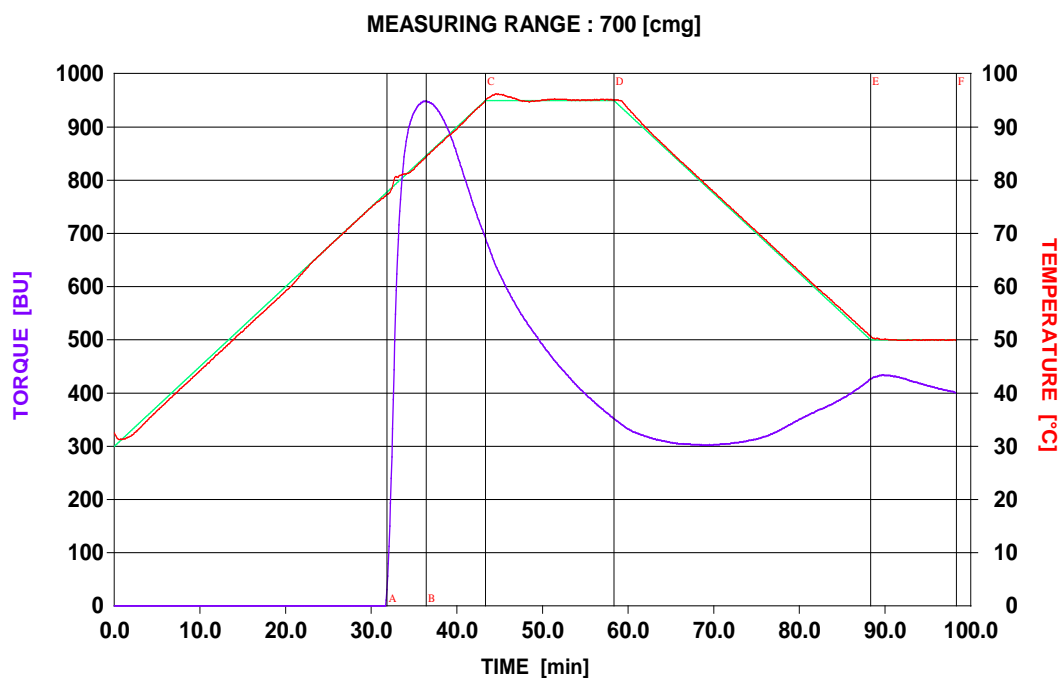
ภาพที่ ง.6 การเปลี่ยนแปลงความข้นหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็น ด้วยเครื่อง Brabender Amylograph ของฟลาวัวร์หัวจันทันที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะกลาง (9 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 3



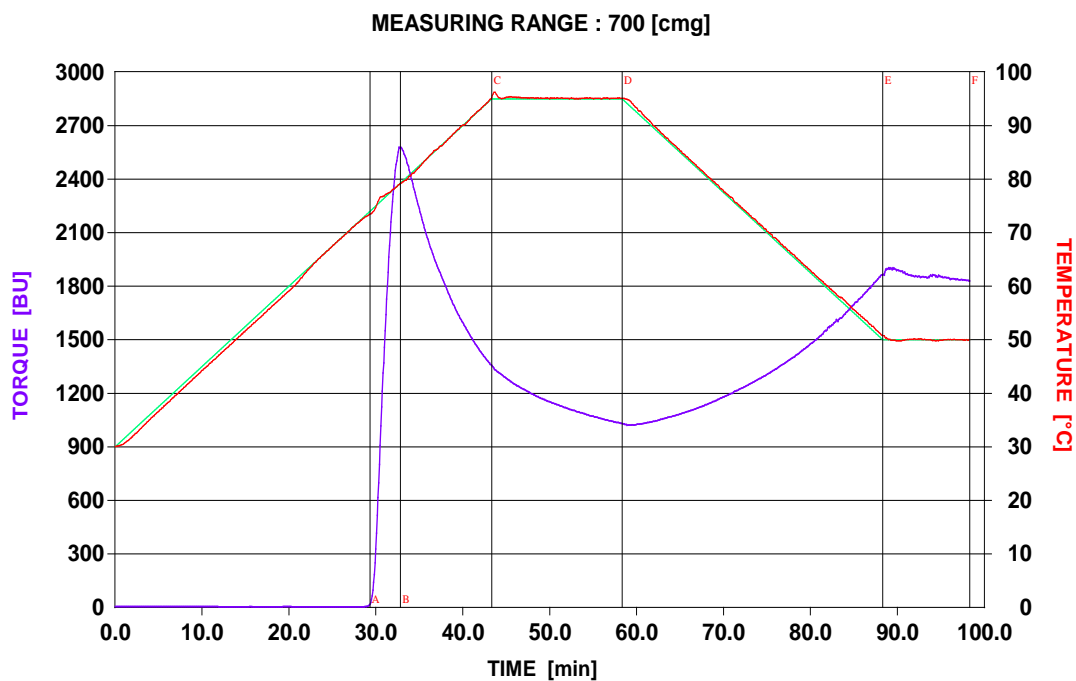
ภาพที่ ง.7 การเปลี่ยนแปลงความข้นหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็น ด้วยเครื่อง Brabender Amylograph ของฟลาวัวร์หัวจันทันที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะแก่ (12 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 1



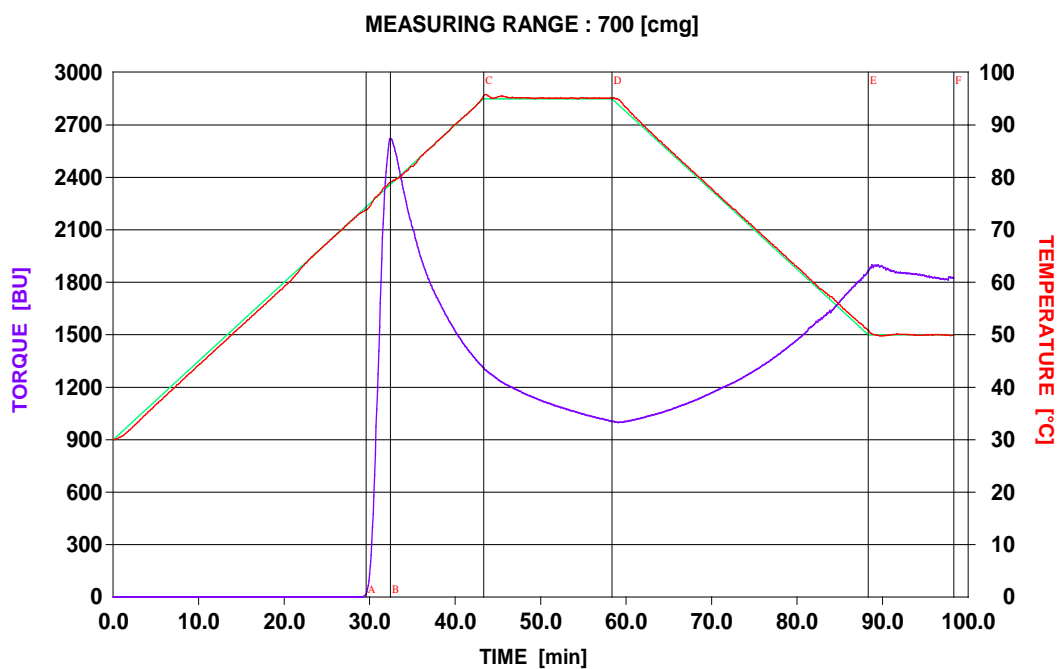
ภาพที่ ๘.๘ การเปลี่ยนแปลงความข้นหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็น ด้วยเครื่อง Brabender Amylograph ของฟลาวัวร์เห้วจินที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะแก่ (12 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 2



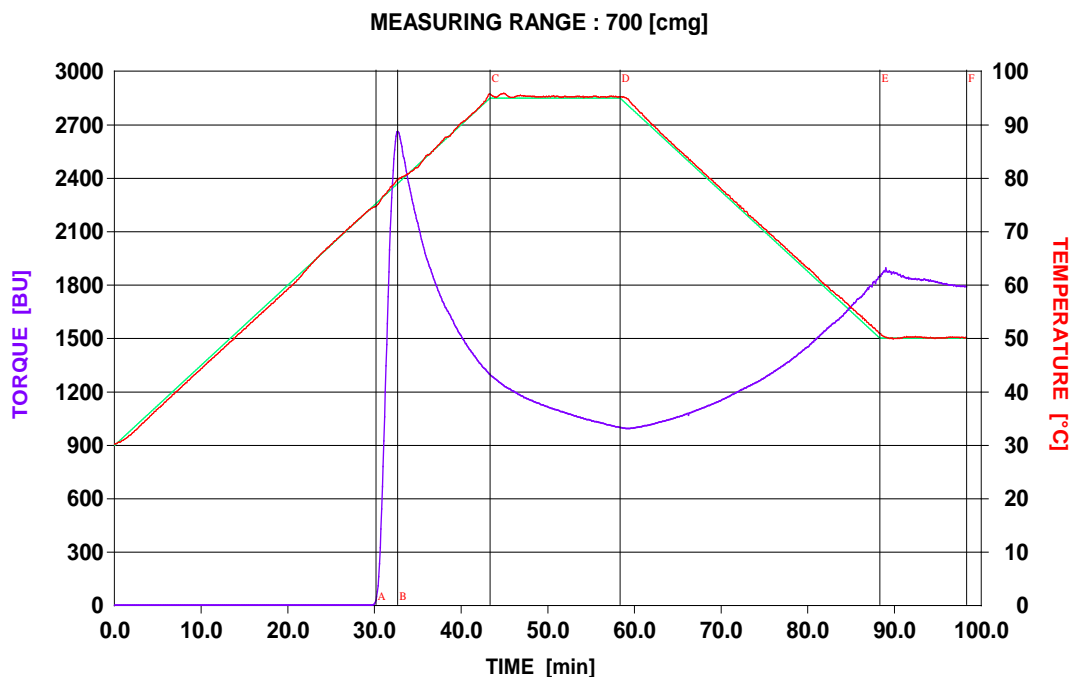
ภาพที่ ๘.๙ การเปลี่ยนแปลงความข้นหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็น ด้วยเครื่อง Brabender Amylograph ของฟลาวัวร์เห้วจินที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะแก่ (12 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 3



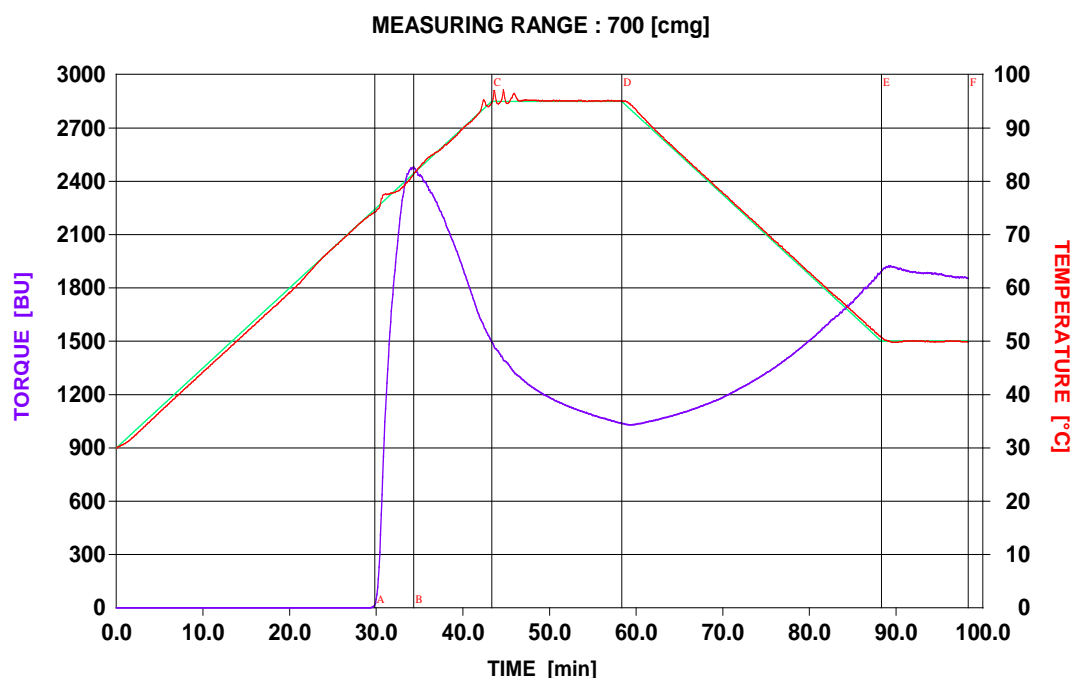
ภาพที่ ง.10 การเปลี่ยนแปลงความข้นหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็น ด้วยเครื่อง Brabender Amylograph ของสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะอ่อน (7 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 1



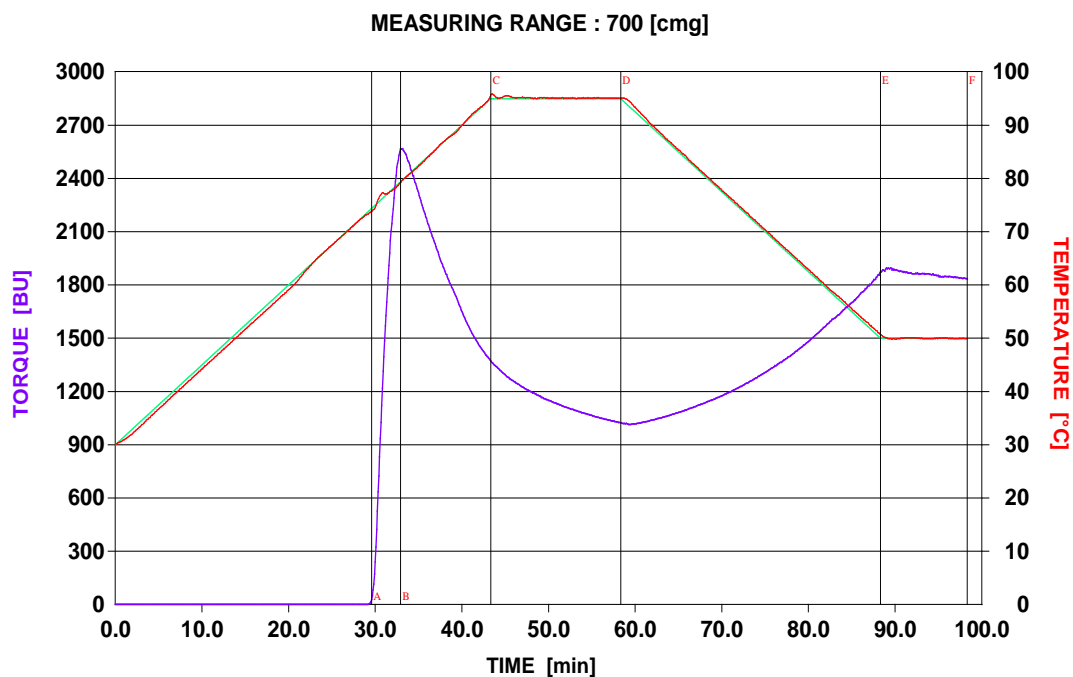
ภาพที่ ง.11 การเปลี่ยนแปลงความข้นหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็น ด้วยเครื่อง Brabender Amylograph ของสตาร์ชหัวจันทน์ที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะอ่อน (7 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 2



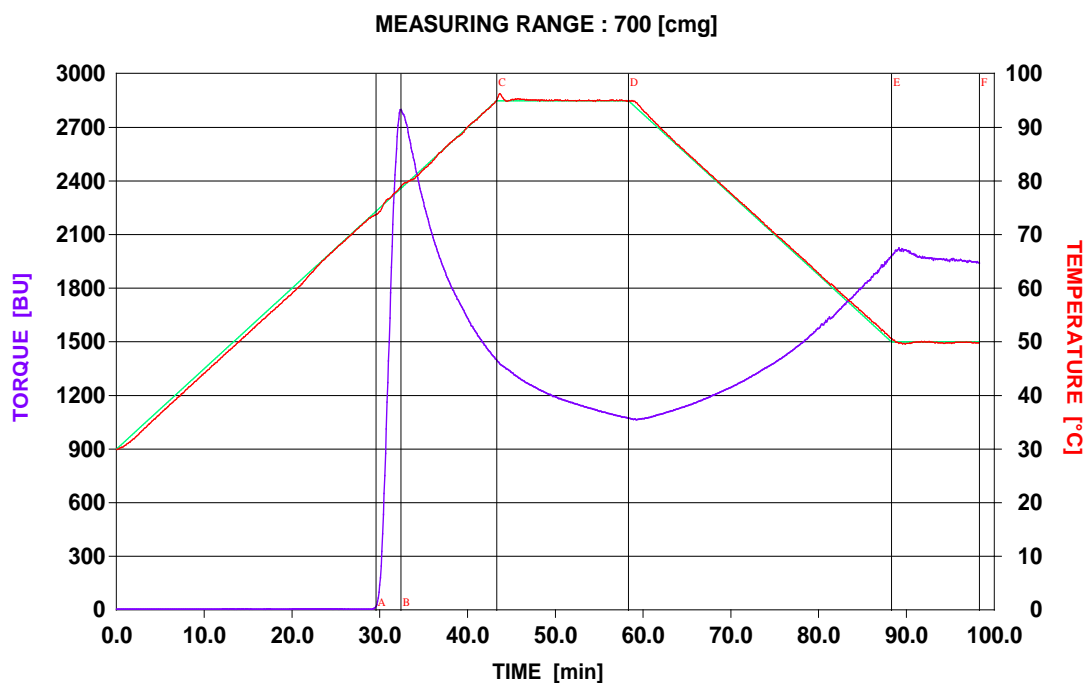
ภาพที่ ง.12 การเปลี่ยนแปลงความข้นหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็น ด้วยเครื่อง Brabender Amylograph ของสตรีชเห่วจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะอ่อน (7 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 3



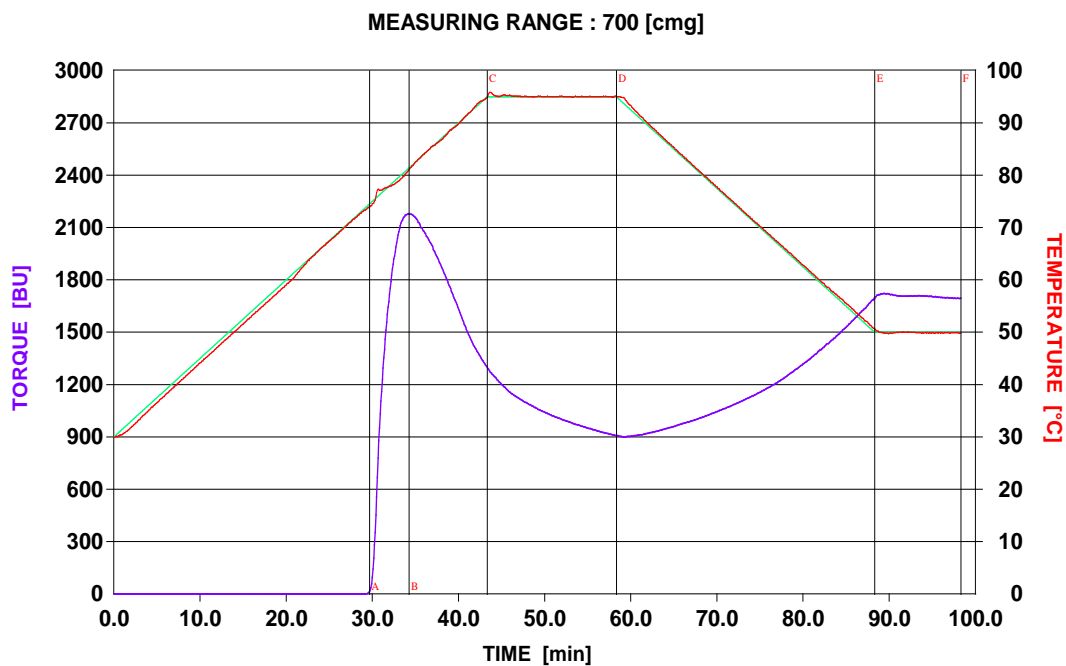
ภาพที่ ง.13 การเปลี่ยนแปลงความข้นหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็น ด้วยเครื่อง Brabender Amylograph ของสตรีชเห่วจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะกลาง (9 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 1



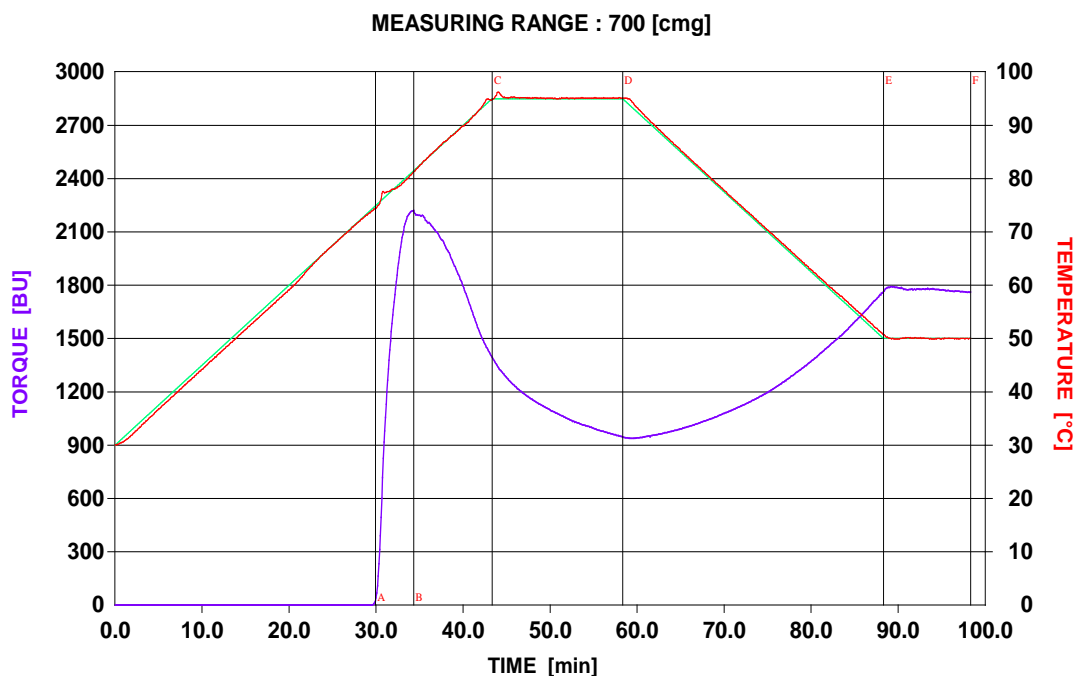
ภาพที่ ง.14 การเปลี่ยนแปลงความข้นหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำใหเย็น ด้วยเครื่อง Brabender Amylograph ของสตาร์ชหัวจันทันที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะกลาง (9 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 2



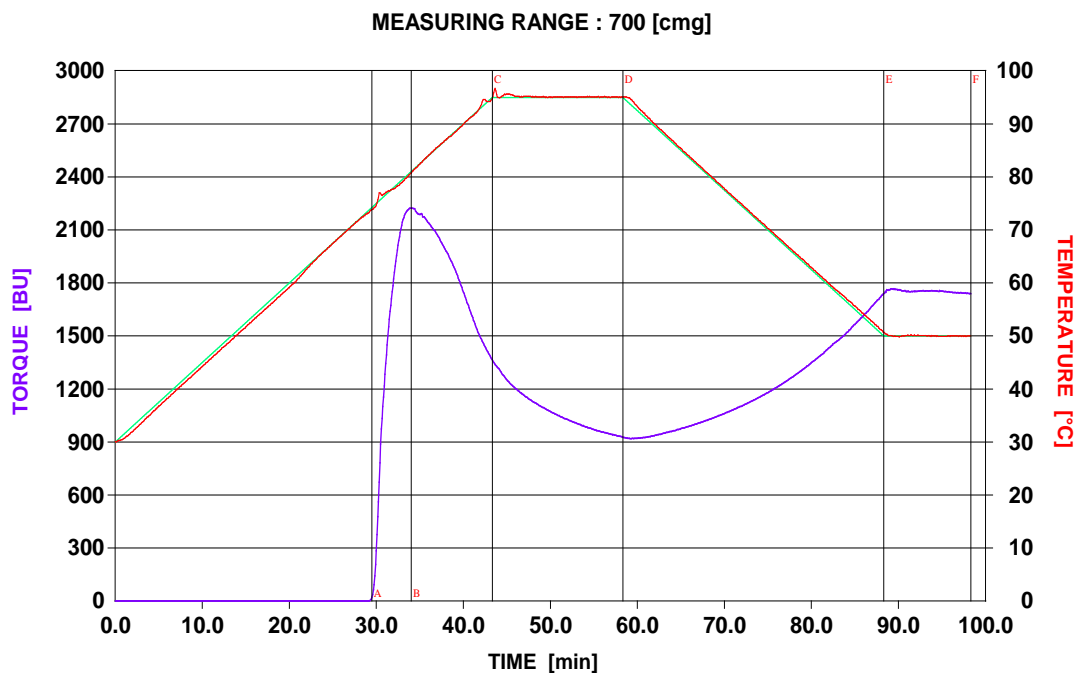
ภาพที่ ง.15 การเปลี่ยนแปลงความข้นหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำใหเย็น ด้วยเครื่อง Brabender Amylograph ของสตาร์ชหัวจันทันที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะกลาง (9 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 3



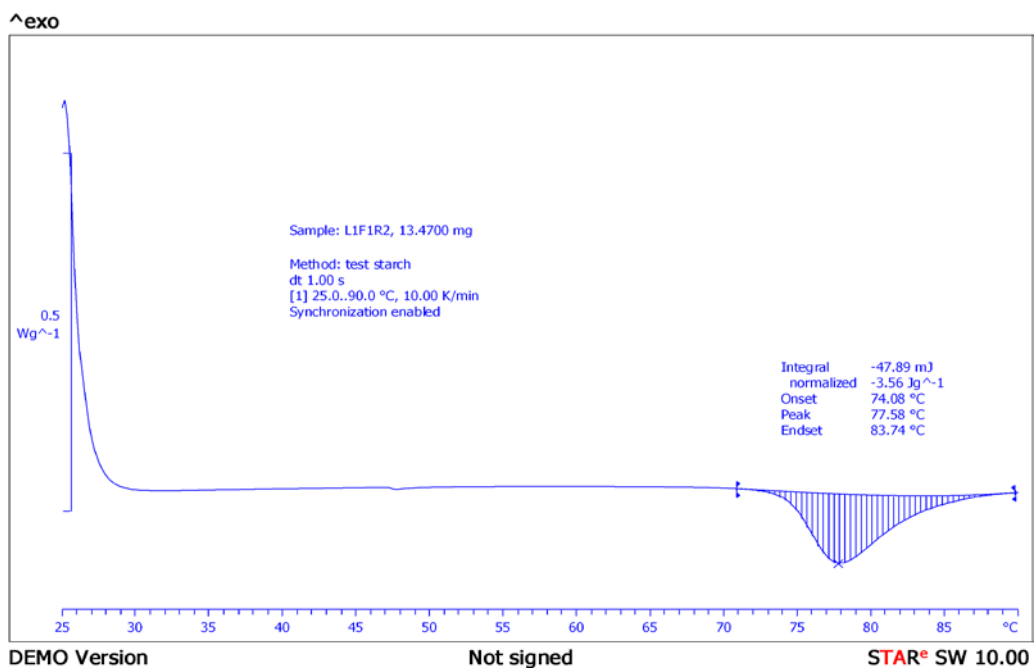
ภาพที่ ง.16 การเปลี่ยนแปลงความข้นหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็น ด้วยเครื่อง Brabender Amylograph ของสตาร์ชเหั่วจินที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะแก่ (12 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 1



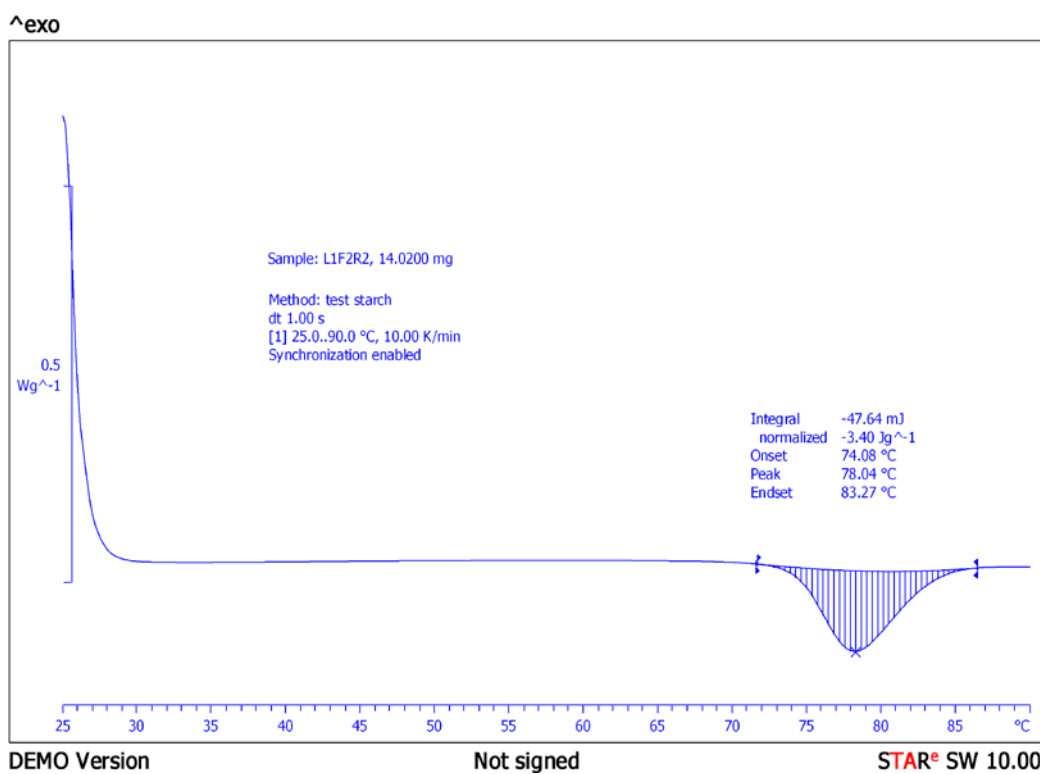
ภาพที่ ง.17 การเปลี่ยนแปลงความข้นหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็น ด้วยเครื่อง Brabender Amylograph ของสตาร์ชเหั่วจินที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะแก่ (12 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 2



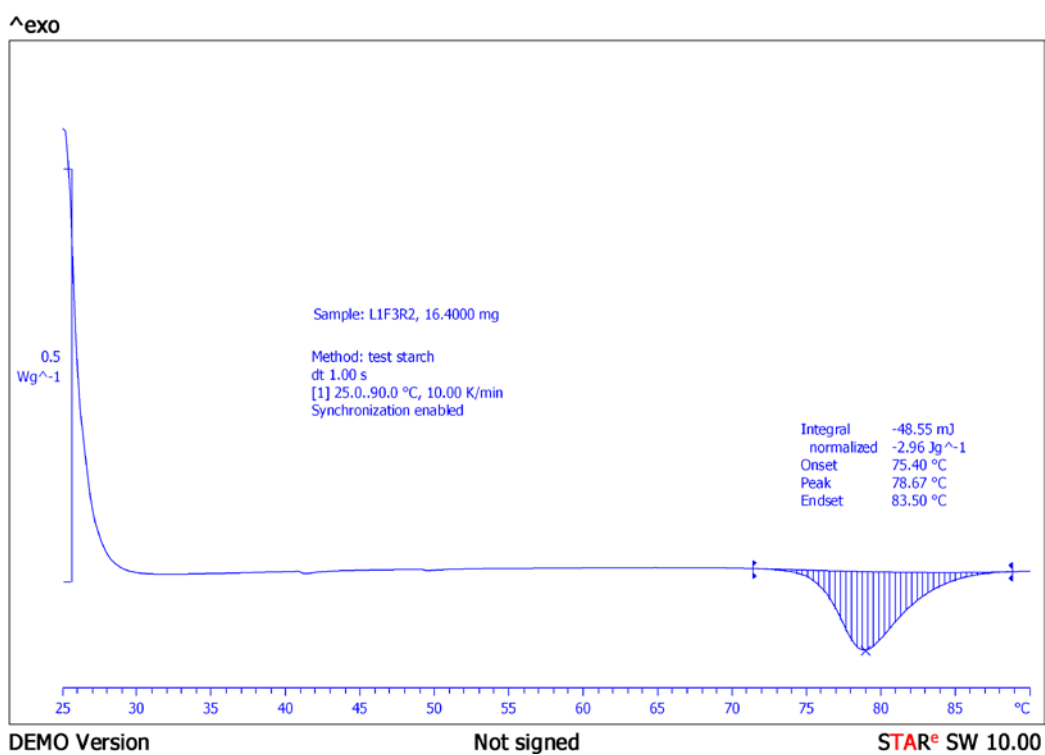
ภาพที่ ง.18 การเปลี่ยนแปลงความข้นหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงการทำให้เย็น ด้วยเครื่อง Brabender Amylograph ของสตาร์ซแห้วจินที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะแก่ (12 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 3



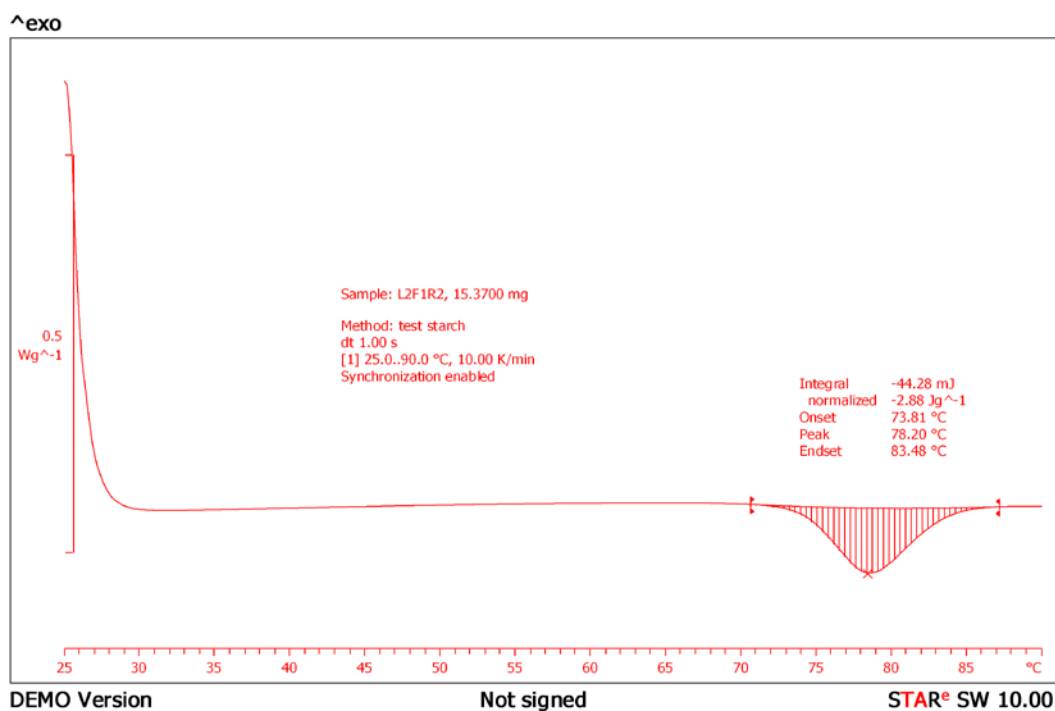
ภาพที่ ง.19 เทอร์โมแกรมการเกิดเจลาคติในเซชันของสตาร์ซแห้วจินที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะอ่อน (7 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 1



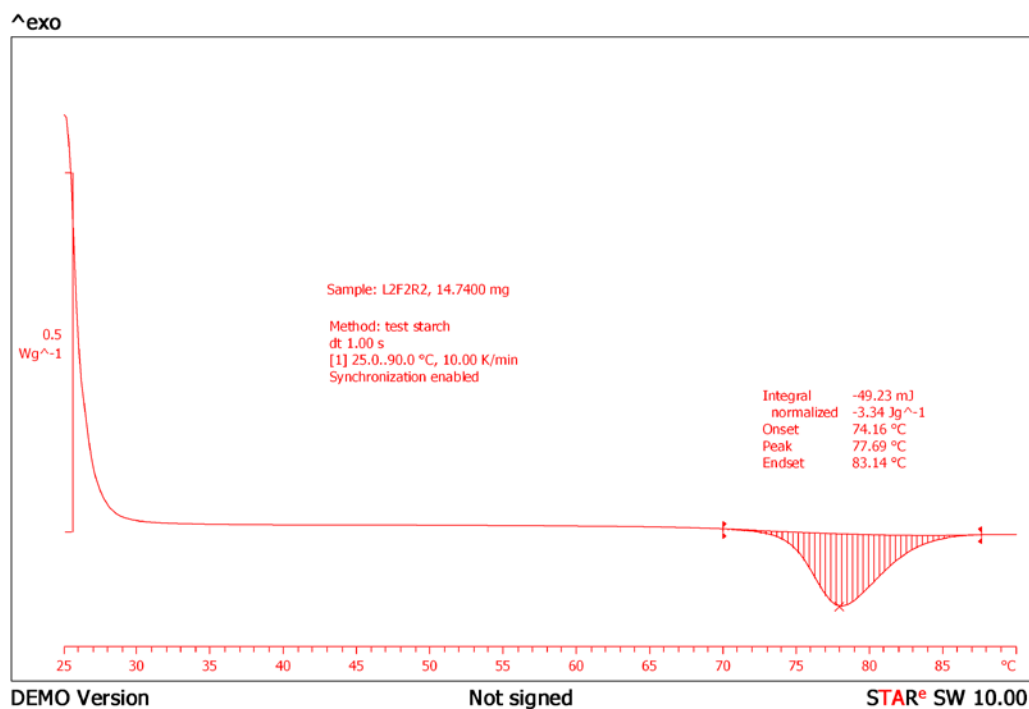
ภาพที่ ง.20 เทอร์โมแกรมการเกิดเจลลาติไนเซชันของสตาร์ชเห้วจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะอ่อน (7 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 2



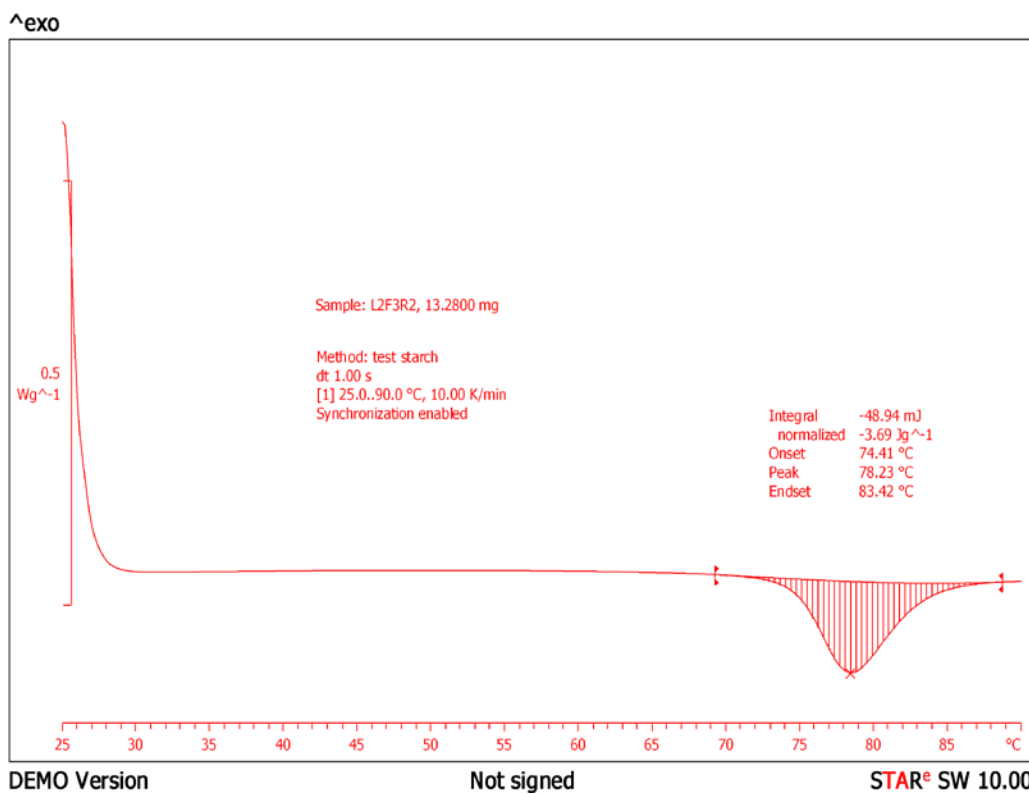
ภาพที่ ง.21 เทอร์โมแกรมการเกิดเจลลาติไนเซชันของสตาร์ชเห้วจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะอ่อน (7 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 3



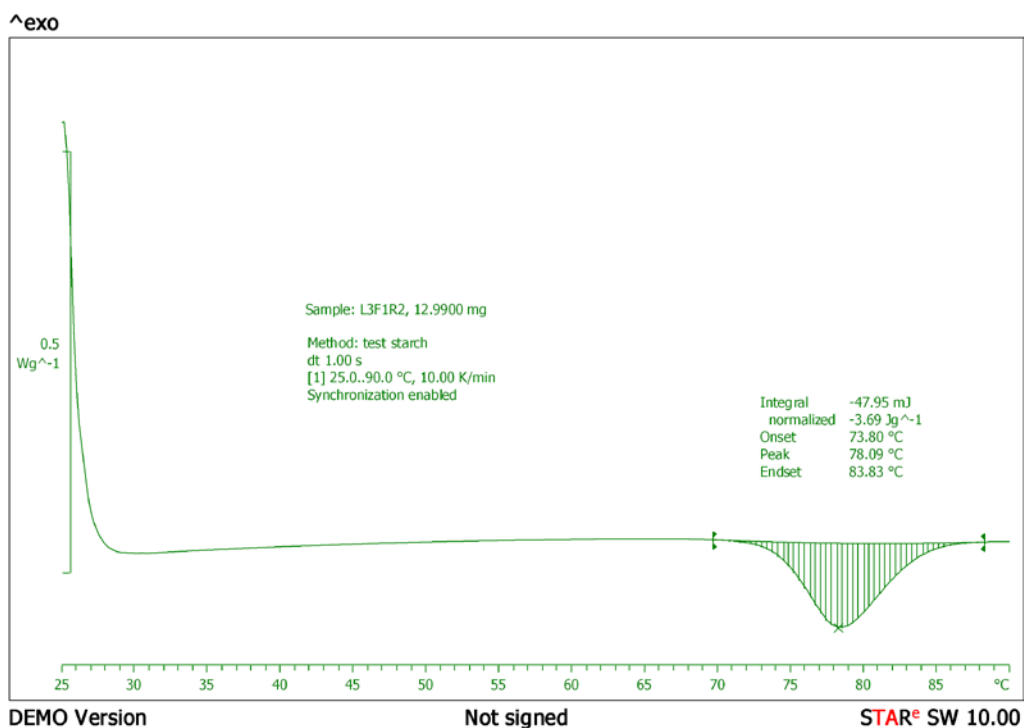
ภาพที่ ง.22 เทอร์โมแกรมการเกิดเจลลิตีในเซชันของสตาร์ชแห้งจืดที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะกลาง (9 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 1



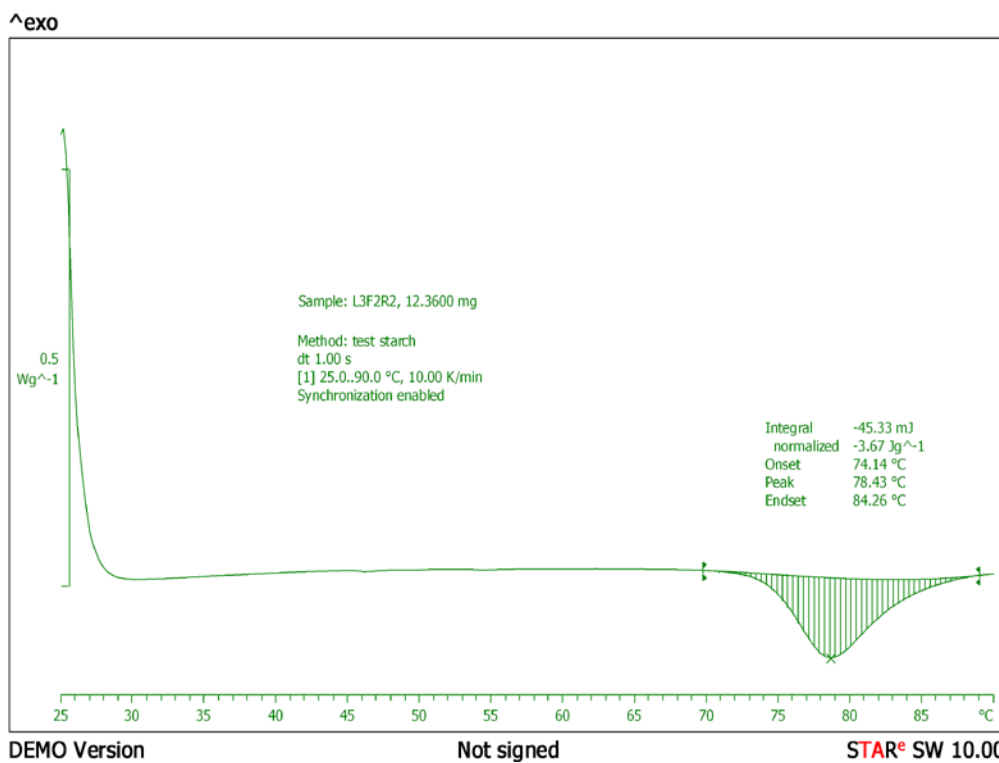
ภาพที่ ง.23 เทอร์โมแกรมการเกิดเจลลิตีในเซชันของสตาร์ชแห้งจืดที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะกลาง (9 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 2



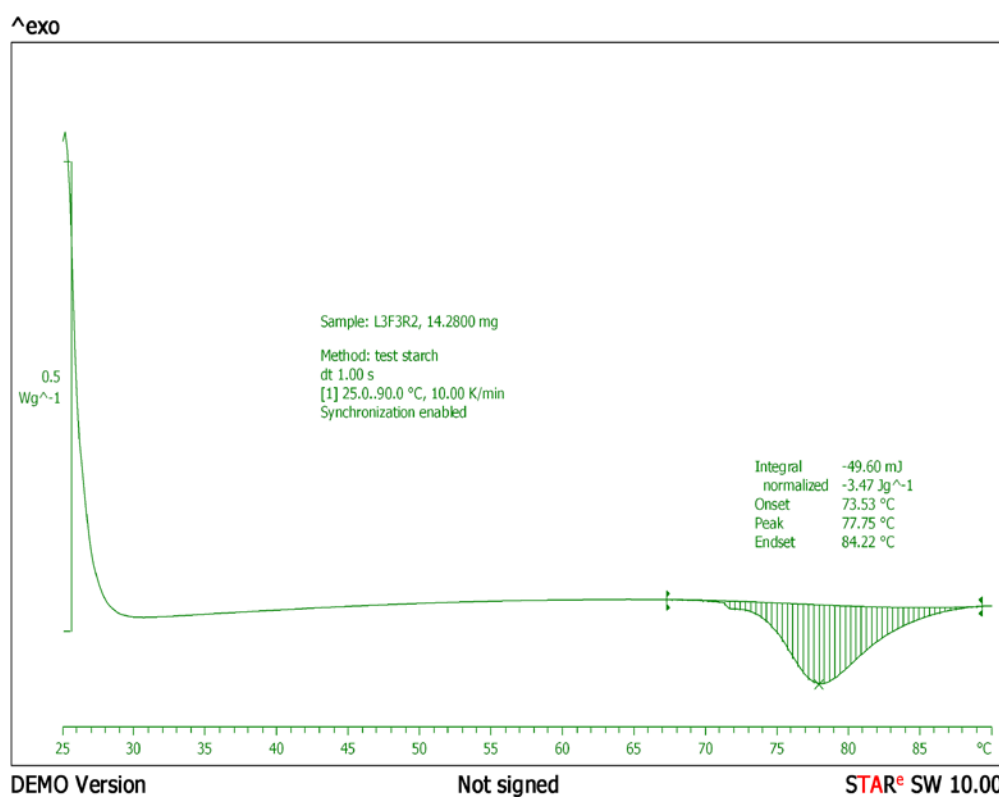
ภาพที่ ง.24 เทอร์โมแกรมการเกิดเจลลาคีโนเซชันของสตาร์ชเห้วจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะกลาง (9 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 3



ภาพที่ ง.25 เทอร์โมแกรมการเกิดเจลลาคีโนเซชันของสตาร์ชเห้วจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะแก่ (12 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 1



ภาพที่ ง.26 เทอร์โมแกรมการเกิดเจลาคติในเซชันของสตาร์ชเห้วจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะแก่ (12 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 2



ภาพที่ ง.27 เทอร์โมแกรมการเกิดเจลาคติในเซชันของสตาร์ชเห้วจิ้นที่อายุการเก็บเกี่ยวระยะแก่ (12 เดือน) จากแหล่งเพาะปลูกที่ 3

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – สกุล	นางสาวปาจริย์ ลั่นนาวา
ที่อยู่	24/2 หมู่ 1 ต.ปากแพรก อ.ดอนสัก จ.สุราษฎร์ธานี 84340
E-mail	PACHAREE_11@windowslive.com
โทรศัพท์เคลื่อนที่	087-9927188
ประวัติการศึกษา	<ul style="list-style-type: none"> - สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษา วิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ จากโรงเรียนสันติราษฎร์วิทยาลัย จังหวัดกรุงเทพมหานคร ปีการศึกษา 2548 - สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปีการศึกษา 2552 - ศึกษาต่อปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2555