การแยกโปรตีนและการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของสตาร์ชมันเทศ

PROTEIN SEPARATION AND COMPARISON OF SOME PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF SWEET POTATO STARCH

ดารินทร์ กุลมาโนชวงศ์
DARIN KUNMANOTEWONG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2167-7

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การแยกโปรตีนและการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของสตาร์ชมันเทศ

PROTEIN SEPARATION AND COMPARISON OF SOME PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF SWEET POTATO STARCH

ดารินทร์ กุลมาโนชวงศ์

DARIN KUNMANOTEWONG

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....63408
วัน,เดือน,ปี.....28 ส.ค. 2549

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2167-7

PROTEIN SEPARATION AND COMPARISON OF SOME PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF SWEET POTATO STARCH

DARIN KUNMANOTEWONG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2006

ISBN 974-15-2167-7

COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การแยกโปรตีนและการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของสตาร์ชมันเทศ
นักศึกษา	นางสาวดารินทร์ กุลมาโนชวงศ์
รหัสประจำตัว	46066615
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. วุฒิชัย นาครักษา

บทคัดย่อ

การแยกโปรตีน และการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของสตาร์ชมันเทศที่สกัดได้จากแป้งมันเทศ 3 สายพันธุ์ คือ มันเทศเนื้อสีม่วง (พันธุ์ต่อเผือก) มันเทศเนื้อสีส้ม (พันธุ์ไข่) และมันเทศเนื้อสีเหลือง (พันธุ์เกษตร) โดยใช้ตัวทำละลายในการแยกโปรตีนออกจากแป้งมันเทศ คือ น้ำ สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ($Na_2S_2O_5$) ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ จากการทดลองพบว่าการใช้น้ำ และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ จะไม่ทำลายพื้นผิวเม็ดแป้งให้เกิดรอยแยก และจากการเปรียบเทียบตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิด พบว่าน้ำมีราคาต่ำ ทำให้ต้นทุนในการสกัดสตาร์ชมันเทศต่ำกว่า จึงเหมาะสมในการนำมาสกัดสตาร์ชมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์ และเมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของสตาร์ชมันเทศกับแป้งมันเทศแต่ละสายพันธุ์ จะพบแนวโน้มเดียวกันในมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์ คือแป้งมันเทศมีความสามารถในการดูดซับน้ำ และความคงทนต่อการแช่แข็ง และการละลายต่ำกว่าสตาร์ชมันเทศอย่างชัดเจน ในขณะที่สตาร์ชมันเทศมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำกว่าแป้งมันเทศอย่างชัดเจน และสตาร์ชมันเทศซึ่งยกเว้นมันเทศเนื้อสีม่วงมีความคงทนต่อแรงเฉือนต่ำกว่าแป้งมันเทศ ส่วนกำลังการพองตัวของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณากราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดที่วิเคราะห์จากเครื่อง Brabender Viscoamylograph พบว่าอุณหภูมิในการเกิดเจล (Gelatinization temperature) ของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์มีค่า 73.18-73.85 และ71.13-72.25 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนค่าความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) ของสตาร์ชมันเทศจะสูงกว่าแป้งมันเทศในแต่ละสายพันธุ์อย่างชัดเจน แต่สตาร์ชมันเทศจะมี Gel consistency ต่ำกว่าแป้งมันเทศในแต่ละสายพันธุ์ สำหรับค่า Breakdown ของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์มีค่า 281.50-518.75 และ3688.50-4487.50 BU ตามลำดับ ในขณะที่ค่า Setback ของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์มีค่า 74.50-375.25 และ1218.00-1845.25 BU ตามลำดับ

Thesis	PROTEIN SEPARATION AND COMPARISON OF SOME PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF SWEET POTATO STARCH
Student	Miss. Darin Kunmanotewong
Student ID	46066615
Degree	Master of Science
Programme	Food Science
Year	2006
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Woatthichai Narkrugsa

ABSTRACT

Protein separation and comparison of some physicochemical properties of sweet potato starch that was extracted from three varieties of sweet potato flour (Mun-Torperk, Mun-Kai and Mun-Kaset) by using H_2O and chemical solution (0.1N Na_2CO_3 and 3.12 mM $Na_2S_2O_5$) were studied. Purified sweet potato starch from three varieties with H_2O and 3.12 mM $Na_2S_2O_5$, the starch granules were not affected on surface damage. Comparison with others, H_2O was lower cost, so it was suitable for extracted three varieties of sweet potato starch. Then comparison of some physicochemical properties of sweet potato starch and flour from each varieties were also done. The results showed that flours had significant lower water absorption index (WAI) and freeze thaw stability (FTS) than starches while starches had significant lower water solubility index (WSI) than flours. Starches (except Mun-Torperk) had lower shearing stability (SHS) than flours. Swelling power (SP) of flours and starches were closely. Study paste characteristics with Brabender Visco-amylograms, the amylograms showed that the gelatinization temperature of flour and starch from three varieties of sweet potato were in range 73.18-73.85 and 71.13-72.25 °C respectively. Peak viscosity of starches were significant higher but gel consistency were lower than flours. Breakdown of flours and starches were in range 281.50-518.75 and 3688.50-4487.50 BU respectively while setback value of flours and starches were in range 74.50-375.25 and 1218.00-1845.25 BU respectively.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ เนื่องจากได้รับความกรุณาจาก รศ.ดร.วุฒิชัย นาครักษา ที่ได้ให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ตลอดจนให้คำแนะนำแนวทาง และข้อคิดเห็นต่างๆ รวมถึงให้ความรู้ทางวิชาการที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการศึกษาวิจัยครั้งนี้แก่ข้าพเจ้าตลอดมา ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้ง และขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.วรรณา ตั้งเจริญชัย และดร.กิตติชัย บรรจง คณะกรรมการในการสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ จนในที่สุดวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบพระคุณศูนย์วิจัยพืชสวนพิจิตร กรมวิชาการเกษตร ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับมันเทศในประเทศไทย

ขอขอบพระคุณศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตรที่ได้เอื้อเฟื้อห้องปฏิบัติการเครื่องมือทำการวิเคราะห์คุณภาพ และให้ความช่วยเหลือขณะทำการวิจัย รวมถึงพี่ๆ น้องๆ และเพื่อนๆ ปริญญาโทที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และให้ความปรารถนาดีเสมอมาทุกคน

สุดท้ายนี้ขอรำลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา และพี่น้องทุกคน ที่ได้ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดมา

ดารินทร์ กุลมาโนชวงศ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VI

สารบัญภาพ.....VII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความสำคัญและที่มา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....2

1.3 ขอบเขตการวิจัย.....2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....2

บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....3

2.1 แป้ง.....3

2.2 มันเทศ.....7

2.3 กระบวนการผลิตแป้งมันเทศ.....11

2.4 กระบวนการผลิตสตาร์ชมันเทศ.....13

2.5 การทำให้แป้งและสตาร์ชมีความบริสุทธิ์.....17

2.6 สารเคมีที่ใช้ในการสกัดสตาร์ชมันเทศ.....23

2.7 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และคุณลักษณะทางกายภาพของสตาร์ชมันเทศ.....24

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....29

3.1 วัตถุดิบ.....29

3.2 อุปกรณ์ในการผลิตสตาร์ชมันเทศ.....29

3.3 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ.....29

3.4 สารเคมี.....30

3.5 สถานที่ทดลอง.....30

3.6 วิธีการดำเนินงาน.....30

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....35
4.1 ศึกษาการเตรียมแป้งมันเทศจากหัวมันเทศสดของมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์.....35
4.2 ศึกษากระบวนการผลิตสตาร์ชมันเทศโดยการทำให้แป้งมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์ มีความบริสุทธิ์มากขึ้น.....38
4.3 ศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของสตาร์ชมันเทศแต่ละสายพันธุ์ที่ได้จากการแยกโปรตีนออกจากแป้งมันเทศโดยใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมกับแป้งมันเทศแต่ละสายพันธุ์.....55

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....80

ข้อเสนอแนะ.....83

บรรณานุกรม.....84

ภาคผนวก.....92
ก. วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี.....93
ข. วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ.....100
ค. ตารางแสดงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของแป้งมันเทศและสตาร์ชมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์.....105
ง. ภาพอุปกรณ์และเครื่องมือในการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของแป้งมันเทศและสตาร์ชมันเทศ.....109
จ. ตารางวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ.....111

ประวัติผู้เขียน.....118

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 องค์ประกอบทางเคมีของหัวมันเทศสดพันธุ์ต่างๆ.....10

4.1 องค์ประกอบทางเคมีบางประการของแป้งมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์.....37

4.2 องค์ประกอบทางเคมีบางประการของสตาร์ชที่สกัดได้จากแป้งมันเทศเนื้อสีม่วง.....41

4.3 ค่าความสว่างของสตาร์ชที่ได้จากการสกัดของแป้งมันเทศเนื้อสีม่วง.....44

4.4 องค์ประกอบทางเคมีบางประการของสตาร์ชที่สกัดได้จากแป้งมันเทศเนื้อสีส้ม.....46

4.5 ค่าความสว่างของสตาร์ชที่ได้จากการสกัดของแป้งมันเทศเนื้อสีส้ม.....49

4.6 องค์ประกอบทางเคมีบางประการของสตาร์ชที่สกัดได้จากแป้งมันเทศเนื้อสีเหลือง.....51

4.7 ค่าความสว่างของสตาร์ชที่ได้จากการสกัดของแป้งมันเทศเนื้อสีเหลือง.....53

4.8 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าบนเส้นโค้งความหนืดจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดความหนืด (Brabender Viscoamylograph) ของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง.....63

4.9 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าบนเส้นโค้งความหนืดจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดความหนืด (Brabender Viscoamylograph) ของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม.....71

4.10 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าบนเส้นโค้งความหนืดจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดความหนืด (Brabender Viscoamylograph) ของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง.....79

ก1 ค่ามาตราฐานการดูดกลืนแสงในการวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลส.....98

ค1 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง.....106

ค2 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม.....107

ค3 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง.....108

จ1 แสดงองค์ประกอบทางเคมี และคุณลักษณะทางกายภาพของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง.....112

จ2 แสดงองค์ประกอบทางเคมี และคุณลักษณะทางกายภาพของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม.....113

จ3 แสดงองค์ประกอบทางเคมี และคุณลักษณะทางกายภาพของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง.....115

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 โครงสร้างของอะมิโลส....4
2.2 โครงสร้างของอะมิโลเพกทิน....4
2.3 โครงสร้างแบบกึ่งผลึกของเม็ดแป้ง....7
2.4 แสดงการเกิดรีโทรเกรเดชัน....28
3.1 ขั้นตอนในการสกัดสตาร์ชจากแป้งมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์....32
4.1 แป้งมันเทศของมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์....35
4.2 สตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง....39
4.3 สตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม....39
4.4 สตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง....40
4.5 ลักษณะรูปร่างเม็ดแป้งของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง....45
4.6 ลักษณะรูปร่างเม็ดแป้งของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม....50
4.7 ลักษณะรูปร่างเม็ดแป้งของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง....54
4.8 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง....55
4.9 ปริมาณ Freeze thaw stability cycle1,2,3 (ร้อยละของปริมาณน้ำที่แยกออกมา) ของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง....58
4.10 กราฟการตรวจสอบความหนืดของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 ในน้ำโดยใช้เครื่อง Brabender Viscoamylograph....62
4.11 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม....64
4.12 ปริมาณ Freeze thaw stability cycle1,2,3 (ร้อยละของปริมาณน้ำที่แยกออกมา) ของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม....66
4.13 กราฟการตรวจสอบความหนืดของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 ในน้ำโดยใช้เครื่อง Brabender Viscoamylograph....70
4.14 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง....72
4.15 ปริมาณ Freeze thaw stability cycle1,2,3 (ร้อยละของปริมาณน้ำที่แยกออกมา) ของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง....74
4.16 กราฟการตรวจสอบความหนืดของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 ในน้ำโดยใช้เครื่อง Brabender Viscoamylograph....78

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

ก1 กราฟมาตราฐานในการวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลส.....99
ข1 แสดงจุดสำคัญในการวัดโดยใช้เครื่องบราเบนเดอร์ วิสโคอะมิโลกราฟ.....104
ง1 เครื่องบราเบนเดอร์ วิสโคอะมิโลกราฟ (Brabender Viscoamylograph).....110
ง2 เครื่องกวนผสม (Rotor Mixer).....110

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

มันเทศจัดเป็นพืชอาหารที่มีความสำคัญเป็นอันดับที่ 7 ของโลก รองจาก ข้าวสาลี ข้าวเจ้า ข้าวโพด มันฝรั่ง ข้าวบาร์เลย์ และมันสำปะหลัง (Ishiguro *et al.*, 2003) อีกทั้งยังเป็นพืชที่เหมาะกับดินฟ้าอากาศของประเทศไทย และมีศักยภาพสูงในการให้ผลผลิต แหล่งปลูกมันเทศเพื่อการค้าที่สำคัญในประเทศไทยได้แก่ เชียงใหม่ พิจิตร พิษณุโลก อุบลราชธานี อยุธยา สุพรรณบุรี ราชบุรี นครปฐม ระยอง นครศรีธรรมราช และพัทลุง เป็นต้น ประเทศไทยสามารถปลูกมันเทศได้ปีละ 2 ครั้ง คือ ในช่วงฤดูฝนตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนมิถุนายน และอีกครั้งหนึ่งหลังฤดูฝน คือเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (สุภารัตน์ เรืองมณีไพฑูรย์ และคณะ, 2530) ในช่วงฤดูกาลที่มีมันเทศออกสู่ตลาดเป็นจำนวนมาก ราคามันเทศมักจะตกต่ำ เนื่องจากการแข่งขันทางการตลาดของผู้ค้า นอกจากนี้การเก็บมันเทศในลักษณะหัวสดก็มีข้อจำกัด (วรรณา ตุลยธัญ และคณะ, 2538) เพราะมันเทศสดมีองค์ประกอบของน้ำจำนวนมากทำให้เน่าเสียได้ง่าย และคุณภาพจะลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา สำหรับการแปรรูปมันเทศให้อยู่ในรูปของสตาร์ชเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหานี้ เนื่องจากมันเทศมีคาร์โบไฮเดรตที่สูงถึงร้อยละ 75-90 โดยน้ำหนักแห้ง และองค์ประกอบหลักของคาร์โบไฮเดรต คือแป้ง ซึ่งมีถึงร้อยละ 60-80 โดยน้ำหนักแห้ง (พีรศักดิ์ วรสุนทโรสถ, 2544) การแปรรูปมันเทศให้อยู่ในรูปของสตาร์ช นอกจากจะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับมันเทศแล้ว ยังเป็นการรองรับความต้องการสตาร์ชที่จะนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น บะหมี่ สารให้ความหวาน และไอศกรีม เป็นต้น และอุตสาหกรรมที่ไม่ใช่อาหาร เช่น สารยึดเกาะ เภสัชภัณฑ์ และกระดาษ เป็นต้น ที่มีอัตราสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในประเทศแถบเอเชีย (Fuglie, 2004) แต่ด้วยเหตุที่มันเทศเป็นพืชที่มีระยะเวลาในการเพาะปลูกช่วงสั้นๆ คือ 2 ครั้งต่อปี จึงทำให้ไม่สามารถสกัดสตาร์ชจากมันเทศสดได้ตลอดทั้งปี การสกัดสตาร์ชจากแป้งมันเทศจึงเป็นแนวทางเลือกใหม่ โดยแป้งมันเทศสามารถเตรียมจากมันเทศสดในช่วงฤดูกาลที่มีมันเทศออกสู่ตลาด แต่สตาร์ชที่ได้จะมีสิ่งเจือปนอันหมายถึงโปรตีน ไขมัน เกลือแร่ต่างๆ มากกว่าสตาร์ชมันเทศที่สกัดได้จากมันเทศสด ด้วยเหตุนี้ข้าพเจ้าจึงมีความสนใจในการศึกษาเพื่อหากระบวนการที่เหมาะสมสำหรับการสกัดสตาร์ชจากแป้งมันเทศ โดยจะใช้ชนิด และความเข้มข้นของสารเคมีที่แตกต่างกัน คือสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ($Na_2S_2O_5$) ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ เพื่อใช้ในการแยกโปรตีนออกจากแป้งมันเทศเปรียบเทียบกันกับการใช้น้ำ รวมถึงศึกษาอิทธิพลของสารเคมีที่มีต่อความบริสุทธิ์ และคุณลักษณะทางกายภาพของสตาร์ชที่สกัดได้ เพื่อเลือกกระบวนการที่เหมาะสมในการสกัดสตาร์ชจากแป้งมันเทศ

และศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของสตาร์ชมันเทศที่สกัดได้ จากกระบวนการที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับแป้งมันเทศในแต่ละสายพันธุ์ ซึ่งน่าจะเป็นแนวทางหนึ่งในการนำไปสู่ความเป็นไปได้ในการผลิตสตาร์ชมันเทศจากแป้งมันเทศ และนำสตาร์ชมันเทศไปใช้ประโยชน์ในระดับอุตสาหกรรมภายในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษากระบวนการทำให้แป้งมันเทศบริสุทธิ์มากขึ้น โดยใช้สารเคมีเปรียบเทียบกับการใช้น้ำในการแยกส่วนที่เป็นโปรตีน ออกจากแป้งมันเทศของมันเทศเนื้อสีม่วง (พันธุ์ต่อเผือก) มันเทศเนื้อสีส้ม (พันธุ์ไข่) และมันเทศเนื้อสีเหลือง (พันธุ์เกษตร)

1.2.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศของมันเทศเนื้อสีม่วง (พันธุ์ต่อเผือก) มันเทศเนื้อสีส้ม (พันธุ์ไข่) และมันเทศเนื้อสีเหลือง (พันธุ์เกษตร)

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตการวิจัยนี้ จะครอบคลุมถึงเนื้อหาที่สำคัญของกระบวนการผลิตสตาร์ชจากแป้งมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์ คือ แป้งมันเทศเนื้อสีม่วง เนื้อสีส้ม และเนื้อสีเหลือง ซึ่งปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา คือ ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดสตาร์ชจากแป้งมันเทศที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ น้ำ สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ โดยศึกษาผลของสารเคมีที่มีต่อความบริสุทธิ์ และคุณลักษณะทางกายภาพของสตาร์ชมันเทศที่สกัดได้ รวมถึงศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของสตาร์ชมันเทศเปรียบเทียบกับแป้งมันเทศในมันเทศแต่ละสายพันธุ์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงกระบวนการในการทำให้แป้งมันเทศบริสุทธิ์มากขึ้น โดยการใช้สารเคมีแยกส่วนที่เป็นโปรตีนออกจากแป้งมันเทศเนื้อสีม่วง เนื้อสีส้ม และเนื้อสีเหลือง และศึกษาถึงชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสมในการการสกัดสตาร์ชจากแป้งมันเทศ และอิทธิพลของตัวทำละลายที่มีต่อสตาร์ชมันเทศที่ได้ รวมถึงศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่สกัดได้จากตัวทำละลายที่เหมาะสม เปรียบเทียบกับแป้งมันเทศในมันเทศแต่ละสายพันธุ์ เพื่อเป็นประโยชน์และเป็นแนวทางในการสกัดสตาร์ชมันเทศจากแป้งมันเทศ รวมถึงการนำสตาร์ชมันเทศที่สกัดได้ไปใช้ในอุตสาหกรรมในอนาคต

บทที่ 2
ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 แป้ง

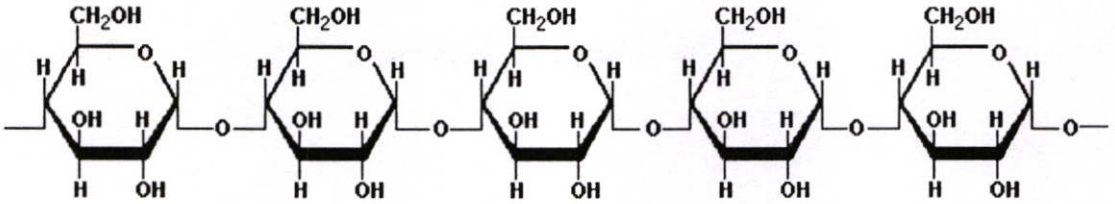
แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในพืชชั้นสูง พบในคลอโรพลาสต์ (ในใบ) และในส่วนที่พืชใช้เป็นแหล่งเก็บอาหาร เช่น เมล็ด และหัว มนุษย์ได้รับแป้งจากพืชแตกต่างกันตามภูมิประเทศในโลก ทางด้านทวีปอเมริกาเหนือ/กลาง จะมีข้าวโพด ข้าวสาลีเป็นแหล่งให้แป้งที่สำคัญ ทางยุโรปมีมันฝรั่ง และแถบเอเชีย แอฟริกามีข้าว และมันสำปะหลังเป็นต้น แป้งที่สำคัญที่มีการใช้กันทั่วโลก คือ แป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง แป้งข้าวสาลี และแป้งมันสำปะหลัง แป้งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในด้านโภชนาการของมนุษย์ อาหารทั้งหมดส่วนใหญ่จึงมีแป้งเป็นองค์ประกอบหลักของทุกชนชาติ เช่น ข้าว ขนมปัง ก๋วยเตี๋ยว และพาสต้า เป็นต้น โดยคำว่า "แป้ง" ในการผลิตนั้น หมายถึงคาร์โบไฮเดรตที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เป็นส่วนใหญ่ มีสิ่งเจือปนเช่น โปรตีน ไขมัน และเกลือแร่อยู่น้อยมาก ส่วนแป้งที่ผลิตโดยทั่วไปที่ยังมีส่วนประกอบอื่นๆอยู่มากจะเรียกว่า ฟลาวร์ (Flour) เช่น แป้งข้าวโพด แป้งข้าวสาลี ถ้ายังมีส่วนประกอบของโปรตีนสูงก็จะจัดอยู่ในประเภทฟลาวร์ เรียกว่า Corn flour และ Wheat flour เช่นเดียวกับแป้งข้าวเจ้าที่มีโปรตีนร้อยละ 7 – 8 ก็เรียกว่า Rice flour แต่เมื่อสิ่งเจือปนอันหมายถึง โปรตีน ไขมัน เกลือแร่อื่นๆ ถูกสกัดแยกออกไป ทำให้แป้งบริสุทธิ์มากขึ้น จึงจะเรียกเป็นสตาร์ช (Starch) เช่น Corn starch และ Wheat starch เป็นต้น (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

2.1.1 องค์ประกอบภายในแป้ง (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรต ที่จะประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6 : 10 : 5 จะมีสูตรเคมีโดยทั่วไป คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคส ซึ่งประกอบด้วยหน่วยของน้ำตาลกลูโคสมาเชื่อมกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (Glucosidic linkage) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ทางด้านตอนปลายของสายพอลิเมอร์ที่มีหน่วยกลูโคสซึ่งมีหมู่แอลดีไฮด์ (Aldehyde group) เรียกว่าปลายรีดิวซิง (Reducing end group) แป้งจะประกอบด้วยพอลิเมอร์ 2 ชนิด คือ พอลิเมอร์เชิงเส้น (อะมิโลส) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง (อะมิโลเพกทิน) วางตัวในแนวรัศมี แป้งจากแหล่งที่ต่างกันจะมีอัตราส่วนของอะมิโลส และอะมิโลเพกทินที่แตกต่างกัน องค์ประกอบหลักภายในเม็ดแป้ง ได้แก่

2.1.1.1 อะมิโลส

อะมิโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคส คือประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิดแอลฟา-1,4 (α – 1,4) ดังภาพที่ 2.1



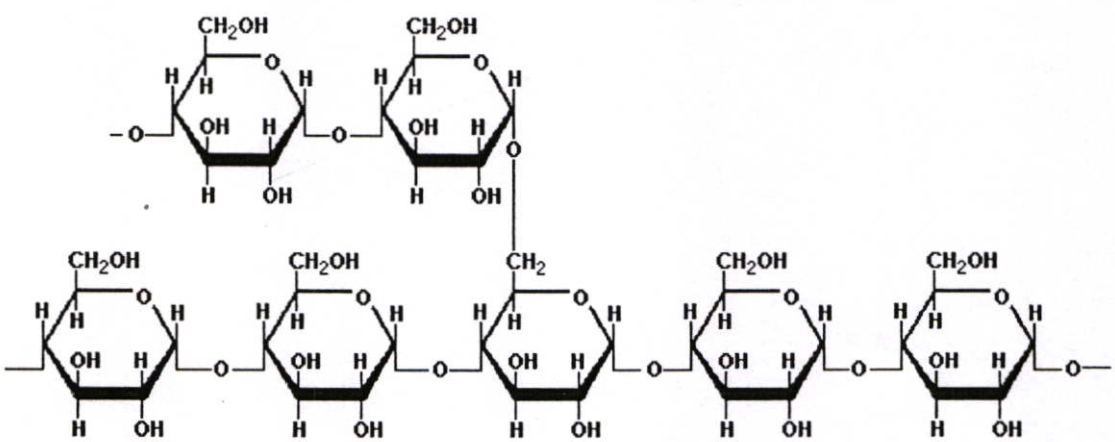
ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของอะมิโลส

ที่มา: ดัดแปลงจาก Tester (2004)

อะมิโลสในแป้งแต่ละชนิดมีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกันอยู่ในช่วง 10^5 ถึง 10^6 ดาลตัน และแป้งแต่ละชนิดมีขนาดโมเลกุล หรือระดับขั้นของการเกิดพอลิเมอร์ (Degree of polymerization, DP) ของอะมิโลสแตกต่างกัน แป้งที่มีโมเลกุลของอะมิโลสยาวจะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) ที่ลดลง ในธรรมชาติอะมิโลสมีกิ่งก้านอยู่บ้างแต่ไม่มาก อะมิโลสสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีน และให้สารสีน้ำเงิน ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะที่บ่งบอกถึงแป้งที่มีองค์ประกอบของอะมิโลส ตำแหน่งของอะมิโลสภายในเม็ดแป้งขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของแป้งอะมิโลสบางส่วนอยู่ในกลุ่มของอะมิโลเพกทิน แต่มีบางส่วนจะกระจายอยู่ทั้งในส่วนอสัณฐาน (Amorphous หรือ Gel phase) และส่วนผลึก (Crystalline)

2.1.1.2 อะมิโลเพกทิน

อะมิโลเพกทินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด α-1,4 และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้น มีขนาดโมเลกุลอยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด α-1,6 แสดงดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของอะมิโลเพกทิน

ที่มา: ดัดแปลงจาก Tester (2004)

หน่วยกลูโคสที่มีพันธะกลูโคซิดิกชนิด α-1,6 มีอยู่ประมาณร้อยละ 5 ของปริมาณหน่วยกลูโคสในอะมิโลเพกทินทั้งหมด ขนาดโมเลกุลของอะมิโลเพกทินในแป้งแต่ละชนิดมีค่าประมาณ 2 ล้านหน่วย อะมิโลเพกทินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่า ของอะมิโลส คือ ประมาณ 10^7 ถึง 10^9 ดาลตัน และมีอัตราในการคืนตัวต่ำ เนื่องมาจากอะมิโลเพกทินจะมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่งโดยลักษณะโครงสร้างแบบกิ่งของอะมิโลเพกทินประกอบด้วยสายโซ่ (Chain) 3 ชนิดคือ

1 สาย A (A-chain) มีการเชื่อมต่อกับสายอื่นที่ตำแหน่งเดียว และจะไม่มีกิ่งเชื่อมต่อออกจากสายชนิดนี้ (Unbranched structure)

2 สาย B (B-chain) มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่นๆ 2 สาย หรือมากกว่าโครงสร้างอะมิโลเพกทินประกอบด้วยสาย A และสาย B ในอัตราส่วน 0.8-0.9: 1

3 สาย C (C-chain) เป็นสายแกนประกอบด้วยหมู่รีดิวซิง 1 หมู่ในอะมิโลเพกทินแต่ละโมเลกุลประกอบด้วยสาย C 1 สาย เท่านั้น

2.1.1.3 สารตัวกลาง

สารตัวกลางมีเพียงส่วนน้อยในแป้งบางชนิด ซึ่งองค์ประกอบนี้มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่าอะมิโลเพกทิน แต่ใหญ่กว่าอะมิโลส (Rupp and Schwartz, 1988)

2.1.2 ส่วนประกอบอื่นๆภายในเม็ดแป้ง (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ ,2546)

2.1.2.1 ส่วนที่ไม่ใช่แป้งที่แยกได้จากแป้ง (Particulate material) ได้แก่ โปรตีนที่ไม่ละลายน้ำ และผนังเซลล์ซึ่งจะมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตแป้ง

2.1.2.2 ส่วนที่ติดกับพื้นผิวของเม็ดแป้ง (Surface material) ซึ่งสามารถจะสกัดออกได้โดยไม่ทำลายแป้ง

2.1.2.3 ส่วนที่ติดอยู่ภายในเม็ดแป้ง (Internal components) สามารถแยกออกได้โดยการทำลายเม็ดแป้ง เช่น ไขมันในแป้งจากธัญพืช หมู่ฟอสเฟตในแป้งมันฝรั่ง และสารประกอบไนโตรเจนในแป้ง

2.1.3 ส่วนประกอบที่มีผลต่อลักษณะและคุณสมบัติของเม็ดแป้ง

2.1.3.1 ไขมัน

โดยส่วนใหญ่แป้งจะมีองค์ประกอบของไขมันอยู่ต่ำกว่าร้อยละ 1 ชนิดของไขมันที่มีอยู่ในแป้งมีผลต่อคุณสมบัติของแป้ง เช่น มีผลต่อความหนืดของแป้ง อีกทั้งไขมันที่เกาะอยู่กับอะมิโลสยังทำให้ไม่สามารถหาปริมาณอะมิโลสในแป้ง โดยการวัดการเปลี่ยนแปลงสีเมื่ออะมิโลสทำปฏิกิริยากับไอโอดีน (Tester and Karkalas, 2001) ดังนั้นในการวิเคราะห์คุณสมบัติของแป้งจะต้องกำจัดไขมันโดยการสกัดด้วยตัวทำละลาย หรือย่อยสลายโดยใช้น้ำย่อย ไขมันภายในแป้งมีทั้งที่อยู่

บริเวณพื้นผิว และในเม็ดแป้ง ซึ่งประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) กรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) กลูโคลิปิด (Glucolipids) ฟอสฟอลิปิด (Phospholipids) และไขมันที่อยู่กระจายทั่วไปภายในเม็ดแป้ง โดยเชื่อมพันธะกับคาร์โบไฮเดรตแบบหลวมๆ แป้งจากพืชหัว และจากถั่วไม่มีไขมันภายในเม็ดแป้ง ซึ่งแตกต่างจากแป้งจากธัญพืช (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ , 2546)

2.1.3.2 ไนโตรเจน

ภายในแป้งมีส่วนประกอบของโปรตีนอยู่ต่ำกว่าร้อยละ 1 โดยโปรตีนเกาะอยู่บริเวณพื้นผิวของเม็ดแป้งทำให้มีผลกระทบต่อลักษณะของแป้ง คือทำให้เกิดประจุบนพื้นผิวเม็ดแป้ง มีผลต่อการกระจายของเม็ดแป้ง ทำให้แป้งมีอัตราการดูดซับน้ำ อัตราการพองตัว และอัตราการเกิดเจลาทิไนซ์เปลี่ยนแปลงไป ทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ระหว่างการทำปฏิกิริยากันของกรดอะมิโนกับน้ำตาลรีดิวซิง ทำให้ สี และกลิ่นของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งโดยส่วนใหญ่ปฏิกิริยาเช่นนี้จะเกิดกับแป้งจากธัญพืช เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนสูง (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

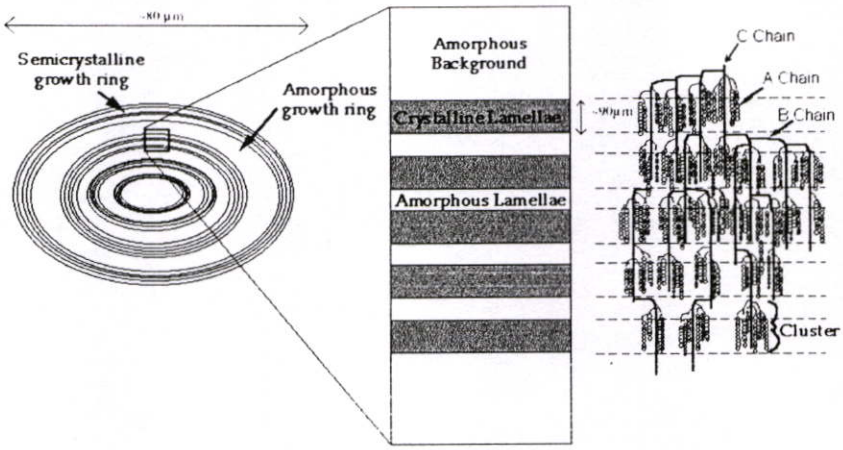
2.1.3.3 แร่ธาตุ

แป้งโดยทั่วไปมีองค์ประกอบของแร่ธาตุต่างๆ เช่น โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และแคลเซียม โดยส่วนใหญ่ไม่เกินร้อยละ 0.4 โดยเฉพาะฟอสฟอรัสซึ่งเป็นแร่ธาตุที่มีผลต่อคุณสมบัติของแป้งมากที่สุด และพบว่าในแป้งที่มีปริมาณของฟอสฟอรัสมากจะช่วยให้แป้งมีความหนืดมากขึ้น และยังสามารถพัฒนาความแข็งแรงของเจล (Moorthy, 2002)

2.1.4 โครงสร้างและการรวมตัวเป็นเม็ดแป้ง (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ ,2546)

แป้งที่พบในธรรมชาติจะพบอยู่ในรูปเม็ดแป้ง (Granule) ขนาดเล็กแต่เมื่อตรวจดูลักษณะของเม็ดแป้งชนิดต่างๆด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดา และแบบอิเล็กตรอนพบว่าเม็ดแป้งจะมีขนาด รูปร่าง และลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับแหล่งของแป้งนั้นๆ เม็ดแป้งมีโครงสร้างเป็นแบบกึ่งผลึก (Semi-Crystalline) โดยโมเลกุลของอะมิโลส และอะมิโลเพกทินจะจัดเรียงตัวในเม็ดแป้งเป็นโครงสร้างทั้งส่วนที่เป็นผลึก และส่วนอสัณฐาน ดังภาพที่ 2.3 ส่วนสายโซ่สั้นของอะมิโลเพกทินจะจัดเรียงตัวลักษณะเกลียวม้วนคู่ (Double helices) ซึ่งบางส่วนจะเกิดเป็นโครงสร้างที่เป็นผลึก ส่วนอสัณฐานของเม็ดแป้งจะประกอบด้วยโมเลกุลของอะมิโลส และสายโซ่ยาวของอะมิโลเพกทิน เม็ดแป้งจะมีลักษณะโครงสร้างผลึก 3 แบบ ขึ้นกับความหนาแน่นในการจัดเรียงตัวของเกลียวคู่ ถ้าเกิดการเรียงตัวหนาแน่นมากจะเกิดเป็นผลึกแบบ A (แป้งจากธัญพืชต่างๆ) ถ้าเรียงตัวกันหลวมๆจะเกิดผลึกแบบ B (แป้งจากพืชหัว) และถ้าเกิดการรวมตัวทั้งแบบ A และแบบ B จะรวมกันจัดเป็นแบบ C (แป้งจากพืชตระกูลถั่ว) ส่วนโครงสร้างผลึกที่ต่างกันจะให้ลักษณะการกระจายตัว

ของแสงต่างกัน ซึ่งสามารถตรวจสอบโครงสร้างชนิดของเม็ดแป้งได้โดยเทคนิครังสีเอ็กซ์เรย์ (Wild angle x-ray diffraction, WAXS) แป้งที่มีโครงสร้างผลึกต่างกันจะให้รูปแบบของการหักเหรังสีเอ็กซ์เรย์ (X-ray diffraction) ต่างกันด้วย



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างแบบกึ่งผลึกของเม็ดแป้ง

ที่มา: ดัดแปลงจาก Tester (2004)

2.2 มันเทศ (Sweet potato)

มันเทศกำเนิดมาจาก *Ipomoea trifida* ซึ่งมีจำนวนโครโมโซม 2n=90 เป็นมันเทศชนิดหนึ่งจากประเทศเม็กซิโก มันเทศพันธุ์นี้มีเถาเรียวเล็ก มีขน และเลื้อยพัน หัวใช้รับประทานไม่ได้ ส่วนมันเทศอีกพันธุ์หนึ่งซึ่งรับประทานได้นั้นพบในประเทศเวเนซูเอลา และประเทศในเขตร้อนของทวีปอเมริกา เกิดจากการผสมพันธุ์ระหว่าง *Ipomoea trifida* และ *Ipomoea batatas* ซึ่งต่างก็มีจำนวนโครโมโซม 2n=90 และให้ลูกผสมชั่วที่ 1 ที่ไม่เป็นหมัน การปลูกมันเทศพันธุ์นี้เพื่อบริโภคนั้นสันนิษฐานว่าเริ่มทางตอนใต้ของประเทศเม็กซิโก สำหรับประเทศไทยสันนิษฐานว่าชาวจีนที่เข้ามาติดต่อค้าขายในสมัยกรุงศรีอยุธยาเป็นราชธานี เป็นผู้เริ่มนำมาปลูกเพื่อใช้บริโภคหลังจากนั้นจึงแพร่ไปยังจังหวัดต่างๆทั่วประเทศ โดยชาวจีนเรียกมันเทศว่า ฮวงกั้ว ชาวพื้นเมืองในอเมริกาใต้เรียกว่า Batatas ชาวยุโรปเอาสำเนียงที่ชาวพื้นเมืองเรียกมาใช้จึงเพี้ยนไปเป็น Potato แต่เนื่องจากมีอยู่ 2 ชนิดคือ ชนิดหวาน และไม่หวาน ชนิดหวานจึงเรียกว่า Sweet potato (มันเทศ) และชนิดไม่หวานเรียกว่า Irish potato (มันฝรั่ง) เนื่องจากได้มีผู้นำมันชนิดนี้ไปปลูกในประเทศไอร์แลนด์สหราชอาณาจักรมาก่อน (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2542)

มันเทศมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Ipomoea batatas* (*L.*) Lamk อยู่ในวงศ์ Convolvulaceae ลำต้นมีลักษณะเป็นเถาเลื้อยไปตามผิวดิน มันเทศแต่ละพันธุ์จะมีสีของหัวมีตั้งแต่สีขาว เหลือง น้ำตาลแดง และม่วง สีของเนื้อจะมี สีขาว เหลือง ส้ม และม่วง (พีรศักดิ์ วรสุนทโรสถ, 2544) รูปร่างขนาด

และผิวของหัว รูปร่างของใบ ความลึกของราก ระยะเวลาการสุกแก่ ความต้านทานโรคแตกต่างกันไปในมันเทศแต่ละสายพันธุ์ (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2542)

2.2.1 ลักษณะทางพฤษศาสตร์ของมันเทศ

2.2.1.1 ราก

มันเทศมีระบบรากแบบรากฝอย (Fibrous root system) รากเกิดจากข้อของลำต้นที่ใช้ปลูก หรือลำต้นที่เจริญทอดไปตามผิวดินเรียกว่า Adventitious root รากนี้จะสะสมอาหาร และขยายเป็นหัวขนาดใหญ่อยู่ใต้ผิวดินจนถึงลึก 40 เซนติเมตร มันเทศต้นหนึ่งอาจมีหัวมาก กว่า 50 หัว (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2542) รูปร่างหัวมีตั้งแต่เล็กเรียวยาวไปจนถึงรูปร่างกลม ผิวหัวอาจเรียบหรือหยาบขรุขระ และมักจะมีรากแขนง (Lateral root หรือ Secondary root) หัวมันเทศจะประกอบไปด้วยเนื้อเยื่อที่ค่อนข้างซับซ้อนเมื่อตัดตามขวางจะพบการเรียงตัวของเนื้อเยื่อเป็นชั้นดังนี้ ชั้นนอกสุดเรียกว่า Periderm ซึ่งเป็นชั้นของเซลล์ผิวชั้นนอก (Epidermal cell) ถัดเข้าไปเป็นชั้นเซลล์พาเรนไคมา (Parenchyma cell) เป็นที่สะสมแป้ง มีท่อน้ำยาง (Latex tube) ท่อน้ำปฐมภูมิ (Primary xylem) และท่ออาหาร (Phloem) ซึ่งเป็นส่วนที่สร้างท่อลำเลียงทุติยภูมิ (Secondary vascular element) และพาเรนไคมาที่สะสมแป้ง (Storage parenchyma) หัวมันเทศใช้ขยายพันธุ์ได้ เมื่อปลูกยอดอ่อนจะเจริญออกมาจากตา (Adventitious bud) ที่อยู่ด้านบนของหัว (กฤษฎา สัมพันธารักษ์, 2541)

2.2.1.2 ลำต้น

เป็นประเภทเถาเลื้อย เนื้ออ่อน และมีน้ำยางสีขาว โดยธรรมชาติมันเทศเป็นพืชยืนต้น แต่นิยมปลูกเป็นพืชล้มลุก เถามีความยาว 1.2 – 3.0 เมตร บางพันธุ์เป็นพุ่ม ลำต้นอ่อนมีขนละเอียดปกคลุม เมื่อแก่ผิวจะเรียบ (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2542) และมีรูเล็กๆเรียกว่าเลนทิเซล (Lenticel) อยู่ทั่วไป สีของลำต้นแตกต่างไปตามพันธุ์ มีสีตั้งแต่เขียวอ่อน ไปจนถึงสีม่วง (กฤษฎา สัมพันธารักษ์, 2541)

2.2.1.3 ใบ

เป็นใบเดี่ยวเกิดเวียนรอบต้น (Spiral) มีการจัดเรียงตัว (Phyllotaxy) เท่ากับ 2/5 ขนาดและรูปร่างใบแตกต่างกันไปตามพันธุ์ แม้ภายในต้นเดียวกันใบก็อาจไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับอายุ แผ่นใบของใบแรกๆ มีลักษณะเป็นรูปหัวใจ ที่มีปลายใบยาวแหลม ใบส่วนมากเป็นรูปไข่ขอบใบมีรอยหยักที่ค่อนข้างลึก ใบมีขนาด 5-15 x 5-15 เซนติเมตร ก้านใบ (Petiole) ยาวด้านบนเป็นร่องโคนก้านโป่งเล็กน้อย ความยาวของก้านใบแตกต่างกันไปตามพันธุ์ตั้งแต่ 5-30 เซนติเมตร มีต่อมน้ำหวาน (Nectary gland) เล็กๆ 2 ต่อมอยู่ตรงส่วนที่ก้านใบติดกับแผ่นใบใบมีสีเขียว หรือม่วง เส้นกลางใบ และด้านหลังแผ่นใบบางครั้งมีสีม่วง (กฤษฎา สัมพันธารักษ์, 2541)

2.2.1.4 ดอก

ดอกของพืชในวงศ์นี้จะมีลักษณะคล้ายกับดอกของพืชในวงศ์ Solanaceae ช่อดอกมันเทศเป็นแบบ Raceme เกิดตามมุมใบ ดอกประกอบด้วยกลีบดอกที่มีฐานเชื่อมติดกันเป็นรูปกรวย ปลายแยกเป็น 5 แฉกคล้ายดอกผักบุ้ง กลีบดอกมีสีชมพูปนม่วง มีเกสรตัวผู้ 5 อันแยกเป็นอิสระ ก้านเกสรตัวผู้ยาวไม่เท่ากัน รังไข่มี 2 ลอดคุล แต่ละลอดคุลมี 1–2 ออวุล บางดอกมี 4 ลอดคุล เนื่องจากการแบ่งตัวผิดปกติ ยอดเกสรตัวเมียแยกเป็น 2 แฉก มันเทศที่ปลูกในเขตอบอุ่นไม่มีดอก ส่วนที่ปลูกในเขตร้อนจะออกดอกแต่มักไม่ติดเมล็ด อาจเป็นเพราะพันธุ์เหล่านั้นเป็นหมันเนื่องจากใช้ลำต้นขยายพันธุ์ติดต่อกันเป็นเวลานาน (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2542)

2.2.1.5 ผลและเมล็ด

ผลเป็นแบบ Capsule เมื่อแห้งจะแตก เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 – 8 มิลลิเมตร ผลหนึ่งมี 4 ลอดคุล แต่ละลอดคุลมี 2 เมล็ด ผลหนึ่งๆ จะมี 8 เมล็ด แต่เป็นเมล็ดที่สมบูรณ์เพียง 1 – 2 เมล็ดเท่านั้น เมล็ดมีขนาดเล็ก ยาวประมาณ 3 มิลลิเมตร มีสีดำค่อนข้างแบน ด้านหนึ่งผิวเรียบมีรอยที่เกิดจากออวุลหลุดออกไปเรียกว่า Hilum และมีรูเล็กๆ (Micropyle) อยู่ ส่วนอีกด้านหนึ่งเป็นเหลี่ยมเมล็ดมีเยื่อหุ้มเมล็ด (Seed coat หรือ Testa) หนามาก (กฤษฎา สัมพันธารักษ์, 2541) เมล็ดมันเทศมีการพักตัว เนื่องจากเมล็ดค่อนข้างหนา และน้ำซึมผ่านได้ยาก เมล็ดมีการงอกแบบ Epigeal germination (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2542)

2.2.2 การเจริญเติบโตและพัฒนาการ (พีรศักดิ์ วรสุนทโรสถ, 2544)

ตามปกติมีการปลูกมันเทศเป็นพืชล้มลุกอายุสั้น นิยมใช้ยอดเป็นวัสดุปลูก มีการเจริญเติบโตของรากจากส่วนข้อที่ฝังอยู่ใต้ดินจากส่วนฐานของตาตามซอกใบภายในประมาณ 2 วันหลังปลูก รากที่ออกจากข้อเจริญเติบโตไปเป็นรากฝอยอยู่เป็นกระจุก มีการแตกยอดใหม่จากส่วนข้อของยอดที่ใช้ปลูก มีรากงอกจากส่วนข้อที่สัมผัสกับดิน การสะสมอาหารในรากที่อยู่ในบริเวณชั้นบนของผิวดินลึกไม่เกิน 30 เซนติเมตร มีลักษณะเป็นหัว 3-12 หัวต่อต้น ทั้งบนยอดที่ใช้เป็นวัสดุปลูก และบนเถาที่ทอดยาวไปตามผิวดิน อายุการปลูกมันเทศตามปกตินาน 3-7 เดือนขึ้นอยู่กับพันธุ์ และสภาพแวดล้อมสามารถจำแนกการเจริญเติบโตออกได้เป็น 3 ระยะ คือระยะเริ่มต้นมีการเจริญของระบบรากย่อยจำนวนมาก โดยมีการเจริญเติบโตของส่วนเถาเพียงเล็กน้อย และระยะกลางมีการเจริญเติบโตของเถา และใบเป็นจำนวนมากเริ่มลงหัว สำหรับระยะสุดท้ายเป็นระยะขยายตัวของหัวมีการเจริญเติบโตของเถา และรากเพียงเล็กน้อย พื้นที่ใบรวมมีค่าคงที่ และลดลงในระยะต่างๆ สำหรับหัวสามารถงอกต้นใหม่ได้ทันที หลังการเก็บเกี่ยวจากส่วนเยื่อเจริญที่ทำหน้าที่ลำเลียงอาหาร และน้ำ โดยเฉพาะในส่วนปลายของเถาที่ติดกับหัวเมื่อนำมาเก็บรักษา หัวแก่ที่เก็บไว้สามารถแตกหน่อจากส่วนกลาง และปลายของหัว

มันเทศสามารถปลูกในดินสภาพต่างๆ สภาพดินที่เหมาะสมมีสภาพเป็นดินร่วนปนทรายดินชั้นล่างมีลักษณะเป็นดินเหนียว ระบายน้ำดี มันเทศไม่ทนนานต่อสภาพน้ำท่วมขัง ตามปกติทำการปลูกบนสันเนินเล็กๆ หรือสันร่อง ค่า pH ของดินที่เหมาะสม 5.6-6.6 แต่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพดินที่เป็นกรดมีค่า pH ลดต่ำลงถึง 4.2 การปลูกมันเทศสามารถปลูกได้ตลอดปีหากไม่มีปัญหาความแห้งแล้ง ในบริเวณที่มีช่วงแล้งยาวนานการปลุกในช่วงต้นฤดูฝนให้ผลดีที่สุด สำหรับการเก็บเกี่ยวมันเทศนั้นจะไม่มีกำหนดแน่นอน ทั้งนี้แตกต่างกันไปตามพันธุ์ วิธีการเพาะปลูก และสภาพภูมิอากาศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้โดยทั่วไปทำการเก็บเกี่ยวหลังปลูก 3-4 เดือน

2.2.3 การจำแนกพันธุ์ของมันเทศ (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา มหาวิทยาลัยเกษตร ศาสตร์ , 2542)

2.2.3.1 พันธุ์เบา

อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 90 วัน หลังปลูก เช่น กัวเตมาลา พม.02 นส.25 และโนนนาค

2.2.3.2 พันธุ์กลาง

อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 120 วัน เช่น ห้วยสีทน 1 ไทจุง หัวโตแดง โอกุด แม่โจ้ และหัวโตขาว

2.2.3.3 พันธุ์หนัก

อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 150 วัน เช่น Centenial L89 L_4-116 L_3-64 และ Rose Centenial

2.2.4 องค์ประกอบทางเคมีของมันเทศ

คุณค่าทางอาหาร และองค์ประกอบทางเคมีของมันเทศ จะแตกต่างกันไปตามแต่ละสายพันธุ์ แต่จะมีความแปรปรวนค่อนข้างมาก อันเป็นผลมาจากการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมและวิธีการในการเพาะปลูก (พีรศักดิ์ วรสุนทโรสถ, 2544) โดยแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของหัวมันเทศสดพันธุ์ต่างๆ

สายพันธุ์	ความชื้น (% db)	แป้ง (% db)	โปรตีน (% db)	ไขมัน (% db)	เถ้า (% db)	เส้นใย (% db)
เกษตร (เนื้อสีเหลือง)	71.79±2.70	70.53±0.98	4.21±0.03	0.24±0.02	2.94±0.03	3.27±0.12
ไข่ (เนื้อสีส้ม)	72.12±1.69	65.62±0.64	2.48±0.04	0.41±0.01	2.11±0.01	3.54±0.09
ต่อเผือก (เนื้อสีม่วง)	67.77±3.07	63.98±1.09	2.44±0.04	0.49±0.03	3.30±0.13	3.43±0.06

ที่มา: กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ (2535)

2.3 กระบวนการผลิตแป้งมันเทศ

กระบวนการผลิตแป้งมันเทศโดยทั่วไป เริ่มต้นด้วยการล้างทำความสะอาดสิ่งสกปรกหรือสิ่งเจือปนที่ติดมากับมันเทศออกก่อนโดยใช้น้ำเปล่า ทำการปอกเปลือก แล้วนำมันเทศมาล้างด้วยน้ำอีกครั้งเพื่อกำจัดเอาเปลือกออกจากหัวมันเทศ หัวมันเทศที่ผ่านการปอกเปลือกแล้วบางครั้งอาจมีโรค หรือแมลงทำลายบางส่วนของหัวก็ต้องมีการตัดเอาส่วนนั้นออก (Villareal and Griggs, 1982) จากนั้นนำมันเทศมาลดขนาดโดยหั่นเป็นแผ่นบาง แท่ง หรือลูกบาศก์ ในขั้นตอนนี้ชิ้นมันเทศอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสีน้ำตาลบางส่วน เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีอยู่ในมันเทศ และเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Jangchud *et al.*, 2003) ซึ่งสำหรับปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เกิดขึ้น นอกจากจะส่งผลกระทบต่อสีของชิ้นมันเทศแล้ว ยังส่งผลต่อสีของแป้งมันเทศที่ได้ด้วย ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีที่จะยับยั้ง หรือป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในชิ้นมันเทศ โดยอาจแช่ชิ้นมันเทศในน้ำภายหลังจากการหั่นทันที และใช้เวลาในการแช่แตกต่างกัน คือ 30 60 และ90 นาที ตามลำดับ พบว่าการใช้เวลาในการแช่ชิ้นมันเทศในน้ำสามารถช่วยกำจัดสารที่สามารถละลายน้ำได้ คือ สารโพลีฟีนอล (Polyphenol) ซึ่งทำให้เกิดสีน้ำตาลกับชิ้นมันเทศ แต่อย่างไรก็ตามการแช่ชิ้นมันเทศในน้ำอาจมีผลต่อการลดลงของสารอาหาร เนื่องจากการแช่น้ำทำให้เยื่อหุ้มผนังเซลเกิดเปลี่ยนแปลงไป มีผลทำให้สารอาหารต่างๆละลายในน้ำได้ (Owori and Hagenimana, 2000) ดังนั้นเพื่อป้องกันการสูญเสียสารอาหารไปกับน้ำที่แช่มันเทศจึงอาจใช้สารเคมีชนิดต่างๆโดย สุภารัตน์ เรืองมณีไพฑูรย์ และคณะ (2528) ได้ทำการศึกษาชนิดสารเคมีต่างๆที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของมันเทศ โดยนำมันเทศพันธุ์เกษตรและพันธุ์ไข่ที่ปอกเปลือกหั่นเป็นแผ่นหนา 0.5 เซนติเมตร แช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.5 กรดซิตริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.05 และสารละลายโซเดียมแอซิดไพโรฟอสเฟต ที่มีอัตราส่วน 3:1 ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.4 นาน 30 นาที พบว่าการใช้สารละลายทั้ง 3 ชนิด สามารถช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นมันเทศได้ดี แต่สำหรับการใช้สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์จะป้องกันการเปลี่ยนแปลงสี และรักษาสีของแป้งให้คงอยู่ได้ดีกว่าการใช้สารละลายตัวอื่น และยังช่วยลดการสูญเสียปริมาณวิตามินซีในระหว่างกระบวนการแปรรูปได้ดีที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าความร้อนสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส โดยการให้ความร้อนกับชิ้นมันเทศในการลวก โดยจะใช้เวลาที่แตกต่างกันคือ 3 4 5 6 และ7 นาที ตามลำดับ และที่ระดับเวลาต่างๆก็จะใช้อุณหภูมิของน้ำที่ลวกแตกต่างกันคือ 75 80 85 และ90 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่าการนำชิ้นมันเทศมาลวกในน้ำที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที สามารถทำลายเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสได้ (ศิริพร โอวาทพารพร, 2532)

ภายหลังจากขั้นตอนการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในชิ้นมันเทศแล้ว จะต้องนำชิ้นมันเทศมาผ่านการลดขนาด และลดความชื้นโดยการใช้ตู้อบลมร้อน หรือตากแดด แต่อย่างไรก็ดีจะต้องควบคุมไม่ให้อุณหภูมิที่ใช้ในการลดความชื้นเกิน 65 องศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมิสูงทำ

ให้เกิดการเสียสภาพของโปรตีน และอาจทำลายเม็ดแป้งได้ (Owori and Hagenimana, 2000) จากนั้นจะบดชิ้นมันเทศแห้งโดยอาจทำการบดมากกว่า 1 ครั้ง โดยเริ่มจากการบดหยาบแล้วตามด้วยการบดละเอียด และนำมันเทศแห้งที่บดแล้วมาร่อน โดยมากนิยมใช้ตะแกรงร่อนที่มีขนาดรูตะแกรง 100 เมส (กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์, 2535) เก็บรักษาแป้งในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท เช่นถุงโพลีเอทิลีน หรือถุงโพลีโพรพิลีน และเก็บในที่แห้งหรือที่อุณหภูมิห้อง (กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์, 2535) หรือที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 5-10 องศาเซลเซียส (Jangchud *et al.*, 2003) สำหรับกระบวนการผลิตแป้งมันเทศอาจใช้สภาวะที่แตกต่างกันออกไปดังต่อไปนี้

ศิริพร โอวาทพารพร (2532) ได้ทำการศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแป้งมันเทศ โดยเริ่มจากการนำมันเทศมาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือก แล้วแช่ในสารละลายกรดซิตริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 จากนั้นนำมาหั่นเป็นลูกบาศก์ขนาด 1 เซนติเมตร แล้วนำมาลวกที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง หรือจนชิ้นมันเทศมีความชื้นร้อยละ 6-7 แล้วจึงนำมาลดขนาดด้วยการบดโดยใช้ Pin mill และใช้รูตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร จะได้แป้งมันเทศที่มีลักษณะเป็นผงสีเหลืองจากสมุดเทียบสีมัลเซลค่าสีที่อ่านได้เท่ากับ 5Y/9/2

กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ (2535) ทำการเตรียมแป้งมันเทศจากมันเทศ 4 สายพันธุ์ คือ เกษตร กระต่าย ไข่ และต่อเผือก โดยเริ่มจากการนำหัวมันเทศสดมาล้าง และปอกเปลือกตามด้วยการแช่ในสารละลายกรดซิตริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.5 เป็นเวลานาน 30 นาที จากนั้นจะตัดเป็นชิ้นหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร แล้วนำมาแช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.5 นาน 2 นาที จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง และบดร่อนผ่านตะแกรงที่มีขนาดรูตะแกรง 100 เมส ลักษณะของแป้งมันเทศที่เตรียมได้จะมีสีแตกต่างกันไปตามสีตั้งต้นของวัตถุดิบ

Brabet และคณะ (1997) ทำการศึกษาการเตรียมแป้งมันเทศโดยนำมันเทศมาล้าง และทำความสะอาด จากนั้นนำมาหั่นให้มีความหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร แล้วนำมาทำแห้งโดยใช้ Freeze dryer บดและร่อนผ่านตะแกรงที่มีรูตะแกรงขนาด 425 ไมครอน จะได้แป้งมันเทศที่มีความละเอียดมากแล้วทำการเก็บแป้งมันเทศที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสในถุงโพลีเอทิลีนที่ปิดสนิท

Reungmaneepaitoon (1997) ได้ทำการศึกษาการเตรียมแป้งมันเทศโดยการนำมันเทศมาล้างทำความสะอาดแล้วปอกเปลือกจากนั้นหั่นให้มีขนาดกว้าง 4 มิลลิเมตร ยาว 4 มิลลิเมตร แล้วนำมาอบแห้งโดยใช้ Cabinet air dryer ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4-5 ชั่วโมง แล้วนำชิ้นมันเทศแห้งมาบดโดยใช้ Pin mill หรือ Hammer mill จะได้แป้งมันเทศที่มีความละเอียดมาก

Owori และ Hagenimana (2000) ได้ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของกระบวนการผลิตที่มีต่อคุณภาพของแป้งมันเทศที่เตรียมได้จากการศึกษาพบว่า การเตรียมแป้งมันเทศเริ่มจากการล้าง และปอกเปลือก หลังจากนั้นทำการหั่นให้มีขนาดหนา 6 เซนติเมตร และทำการแช่ชิ้นมันเทศที่หั่นได้มา

แช่น้ำทันที เป็นเวลา 90 นาที จากนั้นทำแห้งชิ้นมันเทศโดยการตากแดด และนำมาบดโดยใช้ Disk laboratory mill แป้งมันเทศที่เตรียมได้จะมีสี และกลิ่นที่ดี

อัจฉรา คลวิทยาคุณ (2544) ได้ทำการเตรียมแป้งมันเทศ โดยการนำหัวมันเทศสดมาล้างทำความสะอาด และปอกเปลือก หั่นให้มันเทศมีขนาดเล็กลงด้วยเครื่องสับซอยผัก และผลไม้ จากนั้นนำชิ้นมันเทศมาแช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร 2 นาที แล้วล้างด้วยน้ำสะอาด และอบแห้งที่ตู้อบลมร้อน (Tray dryer) ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 6-7 ชั่วโมง และนำมาบดด้วย Pin mill และนำมาร่อนผ่านตะแกรงที่มีรูตะแกรงขนาด 80 เมส เพื่อ ให้แป้งมันเทศละเอียดขึ้นแล้วบรรจุใส่ถุงโพลีโพรพิลีนเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ธีรวัฒน์ เทพใจกาศ (2545) เตรียมแป้งมันเทศโดยนำหัวมันเทศสดมาล้างทำความสะอาด จากนั้นสะเด็ดน้ำแล้วปอกเปลือก แช่ในน้ำเพื่อป้องกันการสัมผัสอากาศ และลดโอกาสการเกิดการออกซิเดชัน และนำมันเทศมาหั่นให้เป็นแผ่นหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องสไลด์ต่อมานำชิ้นมันเทศมาแช่ในสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ (KMS) ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.3 และนำชิ้นมันเทศมาลวกเป็นเวลา 2 นาที หรือ 5 นาที (ยุทธนา พิมลศิริ, 2545) จากนั้นนำชิ้นมันเทศมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60±5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5-8 ชั่วโมง หรือจนกว่าชิ้นมันเทศจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 7±2 จากนั้นนำมาบด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมส แล้วนำแป้งมันเทศที่แห้งใส่ถุงโพลีโพรพิลีนที่ปิดสนิทแล้วเก็บในที่อุณหภูมิต่ำ 5-10 องศาเซลเซียส

Osundahunsi และคณะ (2003) ทำการเตรียมแป้งมันเทศ โดยใช้พันธุ์มันเทศเปลือกสีแดงและขาว การเตรียมแป้งมันเทศจะเริ่มจากการล้าง และปอกเปลือก จากนั้นนำมาหั่นเป็นแผ่นแช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.2 ต่อมาอาจนำมาลวกเป็นเวลา 2 นาที แล้วทำแห้ง และบดจนได้แป้งมันเทศที่ละเอียดเก็บในภาชนะปิดสนิทในที่แห้ง

2.4 กระบวนการผลิตสตาร์ชมันเทศ

2.4.1 กระบวนการผลิตสตาร์ชมันเทศแบบโม่เปียก (Wet milling)

กระบวนการผลิตสตาร์ชมันเทศแบบโม่เปียก เริ่มต้นจากนำมันเทศสดล้างทำความสะอาดเพื่อกำจัดสิ่งสกปรก (Chen *et al.*, 2003) จากนั้นปอกเปลือก เพื่อกำจัดเยื่อใย หรืออาจไม่ปอกเปลือกก็ได้ และนำชิ้นมันเทศมาลดขนาดโดยการหั่นเป็นชิ้นลูกบาศก์ที่มีขนาด 2–5 เซนติเมตร (Jangchud *et al.*, 2003) หรือหั่นเป็นแผ่นบาง (Chen *et al.*, 2003) จากนั้นนำมันเทศมาบดรวมกับน้ำหรืออาจจะมีการเติมสารเคมีที่สามารถจะพัฒนาคุณลักษณะของสตาร์ชได้ในขั้นตอนนี้ เช่น การเติมสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.075 (เวชยันต์ ธนบดีภัทร, 2532) สำหรับเครื่องมือที่ใช้โม่บดอาจใช้ Waring blender (Jangchud *et al.*, 2003; Toyama *et al.*, 2003) โดยอัตราส่วนของเนื้อมันเทศต่อน้ำที่นิยมมากคือ 1 ต่อ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (สายสุนีย์ เบญจ

เทพานันท์, 2546; สุภารัตน์ เรืองมณีไพฑูรย์, 2542) และทำการปั่นผสมเพียงครั้งเดียวใช้เวลาไม่เกิน 2 นาที แต่ถ้าใช้อัตราส่วนของน้ำน้อยลงเช่น 1:1 โดยน้ำ หนักต่อปริมาตร อาจเพิ่มจำนวนครั้งการปั่นให้มากขึ้น โดยเมื่อแยกน้ำแป้งออกจากกากมันเทศแล้วจะต้องเติมน้ำในอัตราส่วน 2 หรือ 5 เท่าของกากที่แยกมาได้แล้วปั่นให้เข้ากันจนกว่าจะล้างน้ำแป้งออกจากกากหมด ทำเช่นนี้อีก 1-2 ครั้ง (Brabet *et al.*, 1997; Collado *et al.*, 1999) หลังจากนั้นจะต้องแยกกากมันเทศออกจากน้ำแป้ง โดยใช้ตะแกรงที่มีรูตะแกรงขนาดต่างๆโดยที่นิยมคือ 150 เมส และ 200 เมส (Ishiguro *et al.*, 2003) ต่อมานำน้ำแป้งที่ได้มาตกตะกอนตามธรรมชาติ โดยตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 3–5 ชั่วโมง (Jangchud *et al.*, 2003; Walter *et al.*, 2000) หรืออาจจะมีการใช้เครื่องเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Decanter centrifugal separator) จากนั้นล้างสตาร์ชด้วยน้ำประมาณ 2-3 ครั้ง และตักตะกอนที่มีสีเหลืองหรือน้ำตาลด้านบนออกตลอดเวลา สตาร์ชที่ได้สุดท้ายจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 33-40 (สุภารัตน์ เรืองมณีไพฑูรย์ และคณะ, 2533) และทำให้สตาร์ชมีความชื้นต่ำลงโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่มีอุณหภูมิประมาณ 50-60 องศาเซลเซียส ประมาณ 5 – 6 ชั่วโมง หรือจนมีความชื้นประมาณร้อยละ 10 (สุภารัตน์เรืองมณีไพฑูรย์ และคณะ, 2533; เวชยันต์ ธนบดีภัทร, 2532) และบดสตาร์ชด้วย Pin mill (สุภารัตน์ เรืองมณีไพฑูรย์ และคณะ, 2530) หรือใช้เครื่อง Ultracentrifugal (สุภารัตน์ เรืองมณีไพฑูรย์, 2542) และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมส (เวชยันต์ ธนบดีภัทร, 2532) หรือ 120 เมส และนำสตาร์ชที่ได้เก็บในที่แห้ง และเก็บในบรรจุภัณฑ์ที่ปิดมิดชิดเช่น ถุงโพลีโพรพิลีน หรือถุงโพลีเอทิลีน (Jangchud *et al.*, 2003) สำหรับหลักการผลิตสตาร์ชมันเทศโดยวิธีการโม่แบบเปียกจะได้สตาร์ชที่มีสีขาว และละเอียดมาก ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้สภาวะในการเตรียมสตาร์ชมันเทศแบบเปียกแตกต่างกันออกไปดังต่อไปนี้

Brabet และคณะ (1997) ได้ศึกษาการเตรียมสตาร์ชมันเทศโดยการล้าง และหั่นมันเทศเป็นแผ่นบาง จากนั้นนำมันเทศที่หั่นแล้ว ปั่นผสมใน Blender โดยใช้อัตราส่วนเนื้อมันเทศต่อน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นเวลา 2 นาที ที่ความเร็วสูงสุด แล้วนำมากรองแยกกากโดยใช้ผ้ากรอง และนำกากที่แยกได้ผสมน้ำในอัตราส่วน 1 ต่อ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรแล้วทำการปั่นผสมอีกครั้งก่อนนำมากรองผ่านตะแกรงที่มีรูตะแกรงขนาด 250 ไมครอน และปรับปริมาตรน้ำแป้งที่กรองได้เป็น 4 ลิตรแล้วตั้งตกตะกอนเป็นเวลา 3 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง และเทน้ำใสด้านบนทิ้งแล้วล้างด้วยน้ำ 2 ลิตร และกรองผ่านตะแกรงที่มีรูตะแกรงขนาด 75 ไมครอนแล้วตั้งตกตะกอนเป็นเวลา 2 ชั่วโมงหลังจากนั้นทำขั้นตอนนี้อีก 3 ครั้งโดยไม่ต้องกรอง จากนั้นนำสตาร์ชที่ได้มาอบแห้งที่ 40-45 องศาเซลเซียส โดยใช้ Force air oven เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วบดโดยใช้ครก และร่อนผ่านตะแกรงที่มีรูตะแกรงขนาด 250 ไมครอน เก็บสตาร์ชในถุงโพลีเอทิลีนที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส

Collado และคณะ (1999) ได้ศึกษาการเตรียมสตาร์ชมันเทศ โดยการล้าง และหั่นชิ้นมันเทศให้มีขนาดเล็ก นำไปปั่นผสมโดยใช้ Blenderในอัตราส่วนของเนื้อมันเทศต่อน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นเวลา 2 นาทีที่ความเร็วปานกลาง จากนั้นกรองผ่านผ้ากรอง และแยก

กากมันเทศมาผสมกับน้ำในอัตราส่วนกากมันเทศต่อน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และทำการปั่นผสมเป็นเวลา 2 นาที โดยขั้นตอนการล้างน้ำแป้งออกจากกากนี้จะทำอีกครั้งหนึ่งแล้วนำน้ำแป้งมากรองผ่านตะแกรงขนาด 250 เมส และทำการตกตะกอนเป็นเวลา 2-3 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 27-30 องศาเซลเซียสจากนั้นเทส่วนสารละลายใสด้านบนทิ้ง และล้างสตาร์ชที่ได้ด้วยน้ำอีกครั้งแล้วกรองผ่านตะแกรงที่มีรูตะแกรงขนาด 250 เมส ตั้งตกตะกอนที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส โดยทำขั้นตอนข้างต้นอีกครั้งแต่ไม่ต้องกรอง และทำแห้งสตาร์ชที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสข้ามคืน และนำมาตั้งที่อุณหภูมิห้อง 4 ชั่วโมงก่อนเก็บใส่ถุงโพลีเอทิลีน

สายสุนีย์ เบญจเทพานันท์ (2546) ศึกษาการเตรียมสตาร์ชมันเทศ โดยนำมันเทศมาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือก และหั่นเป็นชิ้นขนาด 1 เซนติเมตร และนำมาลดขนาดด้วยการนำมาสับให้ละเอียดด้วยเครื่องสับผสม จากนั้นนำมาบดเพื่อสกัดสตาร์ช โดยการใช้การโม่เปียกด้วยอัตราส่วนเนื้อมันเทศต่อน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร แล้วกรองแยกกากมันเทศออกจากน้ำแป้ง และนำน้ำแป้งมาทำการตกตะกอน 1 ชั่วโมง ต่อมานำสตาร์ชที่ได้มาทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง จากนั้นนำสตาร์ชที่แห้งแล้วมาบด และร่อนผ่านตะแกรงที่มีขนาดรูตะแกรง 100 เมส

Osundahunsi และคณะ (2003) ศึกษาการเตรียมสตาร์ชมันเทศ โดยนำมันเทศที่มีเปลือกสีแดง และเปลือกสีขาว มาล้าง และปอกเปลือก แช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.2 นำมาสับผสม และกรองแยกกากตามด้วยการตกตะกอนเทสารละลายส่วนใสด้านบนทิ้ง และทำการล้างสตาร์ชด้วยน้ำอีกครั้ง นำสตาร์ชที่ได้มาอบแห้งโดยใช้เตาอบอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ในขั้นตอนสุดท้ายนำสตาร์ชที่ได้มาบดให้ละเอียดเก็บในภาชนะที่ปิดมิดชิด

Jangchud และคณะ (2003) ศึกษาการเตรียมสตาร์ชมันเทศ โดยจะนำหัวมันเทศสดมาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือก และหั่นให้เป็นลูกบาศก์ขนาด 2-3 เซนติเมตร นำมาแช่ในสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.3 เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำมาปั่นใน Waring blender ที่ความเร็วต่ำ 2 นาทีจากนั้นกรองผ่านถุงผ้าที่มีขนาดรู 80 เมส และตามด้วยการกรองผ่านตะแกรงที่มีรูตะแกรงขนาด 120 เมส และทำการตกตะกอนเป็นเวลา 3-5 ชั่วโมง ขั้นต่อมาเทส่วนสารละลายใสด้านบนทิ้ง นำสตาร์ชที่ได้มาล้างน้ำแล้วตกตะกอนโดยในขั้นตอนนี้ทำ 3 ครั้ง จากนั้นนำสตาร์ชที่ได้อบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16-24 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาบด และร่อนผ่านตะแกรงที่มีรูตะแกรงขนาด 120 เมส เก็บในถุงโพลีเอทิลีนที่อุณหภูมิ 5-10 องศาเซลเซียส

2.4.2 กระบวนการผลิตสตาร์ชมันเทศแบบโม่แห้ง (Dry milling)

กระบวนการผลิตสตาร์ชมันเทศแบบโม่แห้ง เริ่มโดยการนำมันเทศมาล้างทำความสะอาดและปอกเปลือก นำมาหั่นเป็นชิ้นบางทำให้แห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60±5 องศาเซลเซียส

เป็นเวลา 5 – 8 ชั่วโมง หรือจนมีความชื้นร้อยละ 7±2 (ยุทธนา พิมลศิริผล, 2545; ธีรวัฒน์ เทพใจกาศ, 2545) เมื่อได้มันเทศแผ่นแห้งแล้วอาจนำมาลดขนาดโดยใช้ Hammer mill หรือ Pin mill หรืออาจไม่ต้องบดก็ได้ หลังจากขั้นตอนนี้จะนำแป้งมันเทศ หรือมันเทศแผ่นแห้งมาสกัดสตาร์ชออกโดยใช้แป้งมันเทศหรือมันเทศแห้งต่อ น้ำหรือตัวทำละลายในอัตรา ส่วนเท่ากับ 1: 3 (Tulyathan *et al.*, 2002) 1: 6 (Zhao and Whistler, 1994) หรือ 1: 5 (Lim *et al.*, 1992) ต่อมาทำการบดผสมแป้งมันเทศกับตัวทำละลาย หรือน้ำโดยใช้ Waring blender เพื่อทำให้ส่วนผสมเข้ากันดี (วุฒิชัย นาครักษา, 2529; Zhao and Whistler, 1994) และนำส่วนผสมมากรองผ่านตะแกรงขนาด 200 เมส เพื่อกำจัดเศษ หรือกากของมันเทศออก (Abera and Rakshit, 2003) จากนั้นทำการตกตะกอนแป้งโดยใช้การปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) ความเร็วรอบ 8,000 รอบต่อนาที 30 นาที (วุฒิชัย นาครักษา, 2529) หรือ 10,000 รอบต่อนาที 5 นาที (Zhou *et al.*, 2003) หลังจากขั้นตอนนี้ต้องกำจัดโปรตีน และสิ่งที่แปลกปลอมโดยทำการตักตะกอนสีเหลืองครีม หรือสีน้ำตาลที่ตกตะกอนอยู่ด้านบนของสตาร์ชออกมา แล้วล้างสตาร์ชด้วยน้ำหลายๆครั้ง อาจทำการล้าง 2 ครั้ง (วุฒิชัย นาครักษา, 2529) หรือ 3 ครั้ง (Abera and Rakshit, 2003) และนำสตาร์ชที่ได้มาทำแห้งโดยการใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50–60 องศาเซลเซียส ประมาณ 5–6 ชั่วโมง หรือจนมีความชื้นประมาณร้อยละ 10 (สุภารัตน์ เรืองมณีไพฑูรย์ และคณะ, 2533) เมื่อได้สตาร์ชที่แห้งแล้วนำมาบดลดขนาดสตาร์ชอาจใช้ Hammer mill หรือ Pin mill และทำให้ขนาดอนุภาคสตาร์ชมีขนาดใกล้เคียงกัน โดยอาจจะร่อนผ่านตะแกรงที่มีขนาดรูตะแกรงเท่ากับ 100 เมส (เวชยันต์ ธนบดีภัทร, 2532) จากนั้นเก็บสตาร์ชที่ได้ในที่แห้ง หรือเก็บในบรรจุภัณฑ์ที่ปิดมิดชิดเช่น ถุงโพลีโพรพิลีน หรือถุงโพลีเอทิลีน (Jangchud *et al.*, 2003) สำหรับหลักการผลิตสตาร์ชจากพืชหัวโดยวิธีการโม่แบบแห้ง โดยทั่วไปจะใช้สภาวะที่แตกต่างกันออกไปดังต่อไปนี้

วุฒิชัย นาครักษา (2529) ได้ทำการเตรียมสตาร์ชจากแป้งเผือก โดยเริ่มจากการนำเผือกมาล้างปอกเปลือก และหั่นเป็นชิ้นจากนั้นตากแดด และบดเพื่อให้ได้แป้งเผือกแล้วนำแป้งเผือกที่ได้มาเติมตัวทำละลาย หรือน้ำ โดยอัตราส่วนแป้งเผือกต่อตัวทำละลาย หรือน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 4 โดยน้ำหนัก จากนั้นปั่นผสมแล้วจึงนำไปปั่นเหวี่ยงโดยใช้ความเร็วรอบ 8,000 รอบต่อนาทีอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที นอกจากนั้นต้องแยกโปรตีนและกากออก โดยตักบริเวณตะกอนสีเหลืองน้ำตาลด้านบนชั้นสตาร์ชทิ้งแล้วล้างสตาร์ชด้วยน้ำ 2 ครั้ง แล้วปั่นเหวี่ยงโดยใช้ความเร็วรอบ 8,000 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที หลังจากนั้นนำสตาร์ชเผือกมาอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 6-8 ชั่วโมงแล้วร่อนผ่านตะแกรงที่มีรูตะแกรงขนาด 95 เมส จะได้สตาร์ชจากแป้งเผือกที่ละเอียด

Garcia และคณะ (1998) ศึกษาการเตรียมสตาร์ชมันเทศโดยเริ่มจากขั้นตอนการเตรียมมันเทศแผ่นแห้ง โดยการนำมันเทศมาล้างทำความสะอาดจากนั้นทำแห้งโดยใช้ Freeze dryer และนำมันเทศแผ่นแห้งมาปั่นผสมกับน้ำนาน 30 วินาที และกรองผ่านตะแกรงที่มีขนาดรูตะแกรง 140 เมส

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แล้วปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 10,000 xg 16 นาที ที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส และเทส่วนสารละลายใสด้านบนทิ้ง แล้วเติมน้ำล้างสตาร์ซอีก แล้วกรองผ่านตะแกรงที่มีขนาดรูตะแกรง 140 เมส และทำการปั่นเหวี่ยง โดยในขั้นตอนนี้จะทำทั้งหมด 4 ครั้ง จากนั้นตกตะกอนนาน 4 ชั่วโมงแล้วตักเอาตะกอนเหลืองด้านบนชั้นสตาร์ซทิ้งทำแห้งสตาร์ซที่อุณหภูมิห้องและเก็บสตาร์ซที่ได้ในขวดแก้วที่ปิดสนิท

Olomo และคณะ (2003) ศึกษาการสกัดสตาร์ซจากแป้งมันสำปะหลัง โดยเริ่มจากการเตรียมแป้งมันสำปะหลังโดยการอบแห้งแบบใช้แสงแดด ตามด้วยการใช้ตู้อบที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ต่อมานำแป้งมันสำปะหลังมาบด และร่อนผ่านตะแกรงที่มีรูตะแกรงขนาด 300 ไมครอน แล้วชั่งแป้งมันสำปะหลังมา 70 กรัมผสมน้ำ 500 มิลลิลิตร จากนั้นกรองของผสมผ่านตะแกรงที่มีรูตะแกรงขนาด 250 ไมครอน แล้วตั้งตกตะกอนเป็นเวลา 8 ชั่วโมง และเทส่วนสารละลายใสด้านบนทิ้งพร้อมกับการเติมน้ำใหม่ เพื่อล้างสตาร์ซต่อมากำจัดน้ำออกจากสตาร์ซ โดยใช้ Screw press อบสตาร์ซที่ได้ในตู้อบอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส จนแห้ง และบด หลังจากนั้นเก็บในที่แห้งในภาชนะปิดสนิท

Abera และ Rakshit (2003) ได้ศึกษาการเตรียมสตาร์ซจากแป้งมันสำปะหลังโดยการนำชั่งแป้งมันสำปะหลังมา 333 กรัมผสมกับน้ำ 400 มิลลิลิตร จากนั้นกรองผ่านตะแกรงที่มีรูตะแกรงขนาด 200 เมส แล้วทำการตกตะกอนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ต่อมาเทส่วนสารละลายใสด้านบนทิ้งแล้วล้างสตาร์ซด้วยน้ำอีก 3 ลิตร เป็นจำนวน 3 ครั้ง เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกออก จากนั้นทำแห้งสตาร์ซที่ได้โดยใช้อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส นาน 18 ชั่วโมง จนสตาร์ซที่ได้มีความชื้นร้อยละ 11-12 โดยน้ำหนักเปียก แล้วจึงบด และร่อนสตาร์ซผ่านตะแกรงที่มีรูตะแกรงขนาด 200 เมส แล้วเก็บสตาร์ซที่ได้ใส่ในถุงโพลีเอทิลีน และเก็บที่อุณหภูมิห้อง

2.5 การทำให้แป้งและสตาร์ซมีความบริสุทธิ์

กระบวนการสกัดสตาร์ซ หรือการทำแป้งให้มีความบริสุทธิ์นั้น มีสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณา คือ ปริมาณโปรตีนที่หลงเหลือในสตาร์ซ เพราะไม่สามารถที่จะควบคุมปริมาณโปรตีนที่หลงเหลืออยู่ในสตาร์ซได้ เนื่องจากปริมาณโปรตีนจะแปรผันไปตามชนิดของวัตถุดิบ อีกทั้งโปรตีนสามารถจะเกาะแน่นติดกับเม็ดสตาร์ซ ดังนั้นการกำจัดโปรตีนออกโดยไม่ทำลายสตาร์ซที่มีอยู่จึงเป็นเรื่องยาก (Baldwin, 2001) นอกจากนี้ปริมาณโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในสตาร์ซยังบ่งบอกถึงคุณภาพของสตาร์ซด้วยโดยสตาร์ซที่มีคุณภาพสูงจะต้องมีปริมาณโปรตีนในปริมาณที่ต่ำ (Biss and Cogan, 1996) ดังนั้นจึงมีการใช้วิธีต่างๆในการกำจัดโปรตีนออกจากสตาร์ซของพืชชนิดต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.5.1 การใช้สารเคมี

การแยกสตาร์ซออกจากโปรตีนหรือการทำให้สตาร์ซมีความบริสุทธิ์มากขึ้นโดยใช้สารเคมีจะมีหลักการดังต่อไปนี้ (Guraya *et al.*, 2003; Chiou *et al.*, 2002)

63408

2.5.1.1 การใช้สารเคมีในการแยกสตาร์ชที่เกาะกับโปรตีน โดยใช้สารเคมีในการทำให้สตาร์ชที่เกาะกับโปรตีนแยกออกจากกัน อย่างไรก็ตามวิธีนี้จะก่อให้เกิดการรวมตัวของโปรตีนที่เหลืออยู่จึงทำให้ส่งผลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ช

2.5.1.2 การใช้สารเคมีในการละลายโปรตีน โดยใช้สารเคมีละลายโปรตีนออกมาจึงจะสามารถแยกสตาร์ชออกจากโปรตีนได้ง่ายขึ้น แต่จะมีข้อควรระวัง คือ สารเคมีที่ใช้จะต้องไม่ทำให้คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชเปลี่ยนแปลงไป

สำหรับสารเคมีที่ใช้ในการสกัดสตาร์ชนั้นอาจใช้เพียงชนิดเดียว หรือหลายชนิดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดมากขึ้น โดยทั่วไปมักจะใช้สารเคมีดังต่อไปนี้

1 สารประเภทซัลไฟต์

เนื่องจากซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) สามารถช่วยแยกสตาร์ชออกจากองค์ประกอบอื่นๆที่มาเกาะติดแบบแน่นๆหรือหลวมๆ และแยกสตาร์ชออกจากสิ่งแปลกปลอมต่างๆได้โดยง่าย (Grace, 1977) เพราะว่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะขัดขวางการเกาะของโปรตีนที่อยู่รอบๆสตาร์ช โดยจะมีการทำลายพันธะไดซัลไฟด์ (Disulfide bond) ทั้งที่มีอยู่ภายใน และภายนอกโมเลกุลของโปรตีนให้แตกออกได้โดยง่าย (Ji *et al.*, 2004) หรืออาจสร้างสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างประจุของไบซัลไฟต์กับโปรตีนที่มีความเสถียร (Boundy *et al.*, 1967) จึงทำให้สามารถแยกโปรตีนออกจากสตาร์ชได้ นอกจากนี้ยังพบว่าสารประกอบพวกซัลไฟต์ยังสามารถช่วยฟอกจางสีทำให้คุณภาพด้านสีของสตาร์ชดีขึ้น (Grace, 1977) และยังยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ซึ่งเป็นการลดการทำลายของจุลินทรีย์ที่มีต่อสตาร์ชได้อีกด้วย (Cobishley, 1984) และได้มีการใช้สารประเภทซัลไฟต์สกัดสตาร์ชจากพืชหัว โดยการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชเผือกเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม ซึ่งมีการใช้ตัวทำละลาย คือน้ำ และสารละลายโซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3) ที่มีความเข้มข้น 0.025 นอร์มอล เพื่อใช้ในการสกัดสตาร์ชจากแป้งเผือก และจะใช้อัตราส่วนของแป้งเผือก 1 ส่วนต่อตัวทำละลาย 4 ส่วนโดยน้ำหนัก จากการศึกษาจะพบว่าการใช้สารละลายโซเดียมซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 0.025 นอร์มอล สามารถจะสกัดสตาร์ชออกจากองค์ประกอบอื่นๆได้มากที่สุด โดยสตาร์ชเผือกที่ได้จะประกอบด้วยสตาร์ชร้อยละ 78.25 และโปรตีนร้อยละ 3.73 และจากผลจากภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์แบบสแกน แสดงให้เห็นว่าเม็ดแป้งของเผือกเกาะติดอยู่กับองค์ประกอบส่วนอื่นๆมากกว่าสตาร์ชเผือกที่ได้มีผ่านการใช้สารเคมีในการสกัด (วุฒิชัย นาครักษา, 2529) นอกจากนี้ Umerie และคณะ (1997) ได้ทำการศึกษาการสกัดสตาร์ชจาก *Cyperus esculentus* ซึ่งเป็นพืชหัวชนิดหนึ่ง โดยใช้สารละลายโปแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.8133 กรัม ต่อน้ำ 1 ลิตร เป็นตัวสกัดสตาร์ชออกมา จากการศึกษาพบว่าจะสามารถสกัดสตาร์ช ออกมาได้ร้อยละ 20.51 คิดในน้ำหนักฐานแห้ง สตาร์ชจาก *Cyperus esculentus* ที่ได้จะมีสีขาว ขนาดของเม็ดแป้งใกล้เคียงกับเม็ดแป้งของสตาร์ชข้าว ซึ่งจะมีปริมาณเถ้า และความชื้นเป็นไปตามมาตรฐานของความบริสุทธิ์ของสตาร์ชที่ไม่ได้มีการดัดแปร และมีการใช้สารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในการสกัดสตาร์ชจากธัญพืช โดยได้มี

การใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.2 และ 0.25 ในการสกัดสตาร์ชจากข้าวฟ่าง พบว่าปริมาณสตาร์ชที่ได้มีปริมาณมากอีกทั้งสตาร์ชที่ได้ก็มีสีขาวมาก (Yang and Sieb, 1996) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Wang และคณะ (2000) ที่ได้ศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการสกัดสตาร์ชจากข้าวฟ่าง โดยใช้สารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ร่วมกับเอนไซม์ และกรดแลคติก พบว่าการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ร่วมกับกรดแลคติกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ในการสกัดสตาร์ชข้าวฟ่าง ทำให้สตาร์ชข้าวฟ่างที่ได้มีปริมาณสตาร์ชสูงอีกทั้งมีปริมาณโปรตีนต่ำ และสีของสตาร์ชข้าวฟ่างที่ได้มีสีขาวมาก นอกจากนี้ Spigno และคณะ(2003) ได้ทำการศึกษาผลของกระบวนการผลิต คือ สารละลายที่ใช้แช่เมล็ดข้าว ได้แก่ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ โดยใช้เวลาในการแช่ 6 และ 12 ชั่วโมง สำหรับอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่ คือ 30 องศาเซลเซียส และ 50 องศาเซลเซียส ที่มีต่อปริมาณ และความบริสุทธิ์ของสตาร์ชข้าวที่ได้ จากการศึกษาพบว่าการสกัดสตาร์ชข้าวโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.2 และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.3 จะให้ปริมาณสตาร์ชข้าวที่สกัดได้สูงที่สุด เมื่อแช่เมล็ดข้าวที่ 6 ชั่วโมง และอุณหภูมิของการแช่ คือ 30 องศาเซลเซียส ในขณะที่ปริมาณโปรตีนที่หลงเหลืออยู่ในสตาร์ชข้าวจะมีปริมาณต่ำสุด เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการแช่เมล็ดข้าวในสารละลาย หรือเพิ่มเวลาในการแช่เมล็ดข้าวในสารละลายมากขึ้น และเมื่อทำการเปรียบเทียบการใช้สารประเภทซัลไฟต์ กับสารเคมีชนิดอื่นโดย Sajeev และคณะ (2003) ศึกษาการใช้สารเคมีที่มีชนิด และความเข้มข้นที่แตกต่างกันในระหว่างการสกัดสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังเพื่อเป็นการเพิ่มอัตราการตกตะกอน ความขาว และการเกาะตัวกันของสตาร์ชขณะตกตะกอน นอกจากนี้ยังจะศึกษาผลของสารเคมีที่มีต่อความหนืดของสตาร์ชมันสำปะหลังที่ได้ โดยการศึกษาได้ใช้สารเคมี คือ สารเคมีประเภทกรด ได้แก่ กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) สารเคมีประเภทสารฟอกสี และสารเคมีที่ทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดซ์ได้แก่ โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ และโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaOCl) นอกจากนี้ยังใช้ Alum ด้วย จากการศึกษาพบว่าสารฟอกสีพวกโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ที่มีความเข้มข้น 3.12 mM และโซเดียมไฮโปคลอไรท์จะไม่มีผลต่อการดัดแปรคุณสมบัติทางด้านความหนืด และจะให้ผลดีต่อการตกตะกอนของสตาร์ช โดยปราศจากผลกระทบต่อคุณภาพของสตาร์ชมันสำปะหลัง

2 สารเคมีประเภทด่าง

สำหรับสารเคมีประเภทด่าง ก็เป็นที่นิยมนำมาสกัดสตาร์ชเช่นกัน เนื่องจากด่างที่มีความเข้มข้นต่ำ มีผลต่อการทำลายพันธะไดซัลไฟด์ของโปรตีนที่มาเกาะเกี่ยวอยู่กับสตาร์ชทำให้โปรตีนสามารถหลุดออกจากสตาร์ชได้ (Florence, 1980) ซึ่งได้มีการศึกษาการสกัดสตาร์ชจาก Amaranth โดยวิธีโม่เปียก โดยใช้สารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 แช่ Amaranth ทั้งที่ปอกเปลือก และไม่ปอกเปลือกก่อนทำการสกัดสตาร์ช จากการศึกษาพบว่าสตาร์ช

Amaranth ที่สกัดได้มีความบริสุทธิ์มาก โดยมีปริมาณโปรตีนหลงเหลืออยู่เพียงร้อยละ 0.2 ในสตาร์ชที่สกัดได้จาก Amaranth ทั้งที่ปอกเปลือก และไม่ปอกเปลือก แต่อย่างไรก็ตาม พบว่าสตาร์ชที่สกัดได้จาก Amaranth ที่ยังไม่ได้ปอกเปลือกจะมีปริมาณสูงกว่าสตาร์ชที่สกัดได้จาก Amaranth ที่ผ่านการปอกเปลือกแล้ว โดยมีปริมาณสตาร์ชที่สกัดได้ถึงร้อยละ 52 เมื่อเทียบกับปริมาณสตาร์ชใน Amaranth ที่มีอยู่เดิม คือร้อยละ 62 ซึ่งเนื่องมาจากสตาร์ชไม่ได้สูญเสียไประหว่างการแช่เมล็ด Amaranth สำหรับ Amaranth ที่ยังไม่ได้ปอกเปลือก (Myers and Fox, 1994) นอกจากนี้มีการใช้โซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอลในการสกัดโปรตีนออกจากแป้งถั่วเขียว โดยจากการศึกษาพบว่าสามารถสกัดโปรตีนจากแป้งถั่วเขียวได้มากถึงร้อยละ 90 (ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ, 2540) ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับ วุฒิชัย นาครักษา (2526) ที่ได้ใช้โซเดียมคาร์บอเนต ที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอลในการสกัดโปรตีนออกจากถั่วเขียวได้สูงถึงร้อยละ 92.45 นอกจากนี้ Sathe และ Salunkhe (1981) ได้ศึกษาการสกัดโปรตีนออกจากแป้งถั่ว Great northern bean (*Phaselolus vulgaris* L.) โดยใช้สารละลายเกลือหลายชนิด จากการศึกษาพบว่าการใช้สารละลายเกลือโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้นต่ำ คือร้อยละ 0.5 ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เวลา 24 ชั่วโมง สามารถสกัดโปรตีนออกจากแป้งถั่ว Great northern bean ได้มากที่สุด

สำหรับการใช้สารเคมีประเภทซัลไฟต์ หรือสารเคมีประเภทด่างร่วมกับสารเคมีชนิดอื่นก็ยังได้ผลดีในการสกัดสตาร์ชเช่นเดียวกัน โดย Villareal และGriggs (1982) พบว่าการผลิตสตาร์ชมันเทศ ตั้งแต่กระบวนการบดจนถึงการร่อนเอาสตาร์ชมันเทศออกมาจะต้องทำให้เป็นด่างที่ pH ประมาณ 8.6 โดยใช้น้ำปูนขาว (Lime water) เพื่อจะตกตะกอนสารเจือปน และสารละลายสี จากนั้นจึงฟอกจางสีสตาร์ชมันเทศโดยใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์ และเข้าเครื่องเหวี่ยงเอาน้ำออก ทำแห้งในเตาอบแบบสุญญากาศจนมีความชื้นประมาณร้อยละ 12 นำมาบดร่อน และบรรจุใส่ถุง จากการสกัดสตาร์ชมันเทศ พบว่าจะได้สตาร์ชมันเทศประมาณร้อยละ 20–26 โดยน้ำหนักเปียก และคุณสมบัติของสตาร์ชมันเทศที่ได้จะมีความเหนียวระหว่างสตาร์ชมันฝรั่ง และสตาร์ชมันสำปะหลัง นอกจากนี้ได้มีการศึกษาผลของการแช่เมล็ดข้าวโพดในสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ที่มีความเข้มข้น 2500 ppm และแช่เมล็ดข้าวโพดในสารละลายผสมระหว่างซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้น 2500 ppm กับร้อยละ 0.5 โดยปริมาตรต่อปริมาตรของกรดแลคติกและศึกษาผลของสารเคมีต่อปริมาณสตาร์ชที่สกัดได้ และปริมาณโปรตีนที่หลงเหลือในสตาร์ชข้าวโพดที่ผ่านการสกัดแบบโม่เปียก จากการศึกษาพบว่าการสกัดสตาร์ชข้าวโพดโดยแช่เมล็ดข้าวโพดในสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ที่มีกรดแลคติกผสมอยู่จะได้ปริมาณของสตาร์ชข้าวโพดสูงถึงร้อยละ 77 และสตาร์ชข้าวโพดยังมีปริมาณโปรตีนหลงเหลืออยู่ในปริมาณน้อยคือร้อยละ 3.5 ทั้งนี้เนื่องจากกรดแลคติกจะช่วยเพิ่มการละลายของโปรตีน ทำให้สามารถแยกโปรตีนออกจากสตาร์ชข้าวโพดได้มาก (Péréz *et al.*, 2001)

2.5.2 การใช้การลดขนาด

วิธีการบดเนื้อมันเทศ และการแยกให้สตาร์ชมันเทศมีความละเอียดมากขึ้น รวมถึงขั้นตอนการตกตะกอนสตาร์ชย่อมมีผลต่อปริมาณ และคุณภาพของสตาร์ชมันเทศที่สกัดได้ จากการศึกษาพบว่าถ้าต้องการเพิ่มคุณภาพของสตาร์ชมันเทศควรเลือกใช้ Saw tooth milling ที่มีความเร็ว 1,000 รอบต่อนาที และแยกให้สตาร์ชมันเทศมีความละเอียดโดยร่อนสตาร์ชมันเทศผ่านตะแกรงขนาด 120 เมส จากนั้นทำการตกตะกอนสตาร์ชมันเทศโดยใช้สารละลายที่มีความเป็นกรด สำหรับในกรณีที่ต้องการอัตราการสกัดสตาร์ชมันเทศที่สูงขึ้น ควรใช้วิธีการบดเนื้อมันเทศโดย Hammer mill ที่ความเร็ว 4,200 รอบต่อนาที จากนั้นทำการแยกสตาร์ชมันเทศให้มีความละเอียดโดยการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 120 เมส และทำการตกตะกอนสตาร์ชมันเทศโดยใช้วิธีการตั้งตกตะกอนตามธรรมชาติ (Jianjun, 2004)

2.5.3 การปรับความหนาแน่น

อาศัยหลักของความหนาแน่นที่แตกต่างกันย่อม ส่งผลต่อการตกตะกอนได้ช้าเร็วแตกต่างกันออกไป โดย Guraya และคณะ (2003) ทำการศึกษาการใช้วิธีทางกายภาพในการสกัดสตาร์ชข้าวโดยใช้ Density Gradient System หลายๆแบบ และศึกษาผลของวิธีการสกัดสตาร์ชข้าวที่มีต่อปริมาณ และความบริสุทธิ์ของสตาร์ชข้าว รวมถึงคุณสมบัติ Pasting properties ด้วย โดยในการศึกษาได้ใช้ Density Gradient System 3 ชนิด คือ CeCl, NaCl / Sucrose และ $ZnSO_4.7H_2O$ จากการศึกษาพบว่าการใช้ Density Gradient System สามารถช่วยให้สตาร์ชข้าวที่ได้มีปริมาณโปรตีนต่ำ เนื่องจาก Density Gradient System สามารถช่วยแยกโปรตีนไม่ให้จับตัวกับสตาร์ชข้าว และยังพบอีกว่ายิ่งเพิ่มความหนาแน่นของ Density Gradient Solution จะช่วยเพิ่มความหนาแน่นให้กับสตาร์ชข้าวทำให้สตาร์ชข้าวสามารถที่จะแยกตัวออกจากโปรตีนมากขึ้น และจากการศึกษาพบว่าซีเซียมคลอไรด์ (CeCl) จะสามารถใช้ในการสกัดสตาร์ชข้าวได้สูงที่สุด คือประมาณร้อยละ 91.2

2.5.4 การใช้เอนไซม์

Lumdubwong และ Seib (2000) ได้ศึกษาการสกัดสตาร์ชจากแป้งข้าวที่ผ่านการเตรียมแป้งข้าวแบบการโม่เปียก โดยใช้การย่อยของเอนไซม์โปรติเอสในสภาวะเป็นด่าง เปรียบเทียบกับการสกัดสตาร์ชจากแป้งข้าว โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ จากการศึกษาพบว่าการย่อยแป้งข้าวโดยใช้ร้อยละ 1.1 ของเอนไซม์โปรติเอสที่ pH เท่ากับ 10 เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ทำให้สามารถสกัดสตาร์ชข้าวได้มากถึงร้อยละ 95 และสตาร์ชข้าวที่ได้จะมีปริมาณของโปรตีนหลงเหลืออยู่ประมาณร้อยละ 0.5 และพบว่าสตาร์ชข้าวที่ได้มีปริมาณมากกว่าสตาร์ชข้าวที่สกัดได้จากโซเดียมไฮดรอกไซด์ถึงร้อยละ 10 อีกทั้งยังมีลักษณะเป็นสีขาว มีปริมาณไขมันมากกว่า แต่จะมีความหนืดน้อยกว่า นอกจากนี้ Verwimp และคณะ (2004) ได้ศึกษาการสกัดสตาร์ชข้าวไรย์ และลักษณะเฉพาะของสตาร์ชข้าวไรย์ที่ได้ จากการศึกษาการสกัดสตาร์ชจากแป้งข้าวไรย์โดยแบ่งเป็นการสกัดสตาร์ชข้าวไรย์

โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กับแป้งข้าวไรย์ที่ยังไม่ได้แยกไขมันออกส่วนอีกวิธี คือ การสกัดสตาร์ชโดยใช้เอนไซม์โปรเนส (Pronase) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กับแป้งข้าวไรย์ทั้งที่แยก และไม่แยกไขมันออก ซึ่งทั้ง 2 วิธีข้างต้น จะทำให้สตาร์ชข้าวไรย์มีความบริสุทธิ์มากขึ้น จากการศึกษาพบว่าการใช้เอนไซม์โปรเนส ทำให้สตาร์ชข้าวไรย์มีอุณหภูมิในการเกิดเจลต่ำกว่าสตาร์ชข้าวไรย์ที่สกัดโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ การกำจัดไขมันออกก่อนสกัดสตาร์ชข้าวไรย์ด้วยเอนไซม์โปรเนส ทำให้สตาร์ชข้าวไรย์ที่ได้มีความหนืดสุดท้ายที่สูงขึ้น และปริมาณของสตาร์ชข้าวไรย์ที่สกัดได้โดยใช้เอนไซม์โปรเนส ทั้งจากแป้งข้าวไรย์ที่แยก และไม่แยกไขมันออกเท่ากับร้อยละ 79.8 และ 80.9 ซึ่งมากกว่าปริมาณสตาร์ชข้าวไรย์ที่แยกได้โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งมีค่าร้อยละ 42.2

2.5.5 การใช้วิธีต่างๆร่วมกัน

สำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดสตาร์ชนั้น อาจใช้วิธีการต่างๆร่วมกัน โดย Chiou และคณะ (2002) ได้ทำการศึกษาเพื่อพัฒนาวิธีการสกัดสตาร์ชข้าว และทำให้สตาร์ชข้าวบริสุทธิ์โดยปราศจากการทำลายโครงสร้างของสตาร์ชข้าว ซึ่งพบว่าการที่จะทำให้สตาร์ชข้าวบริสุทธิ์โดยปราศจากการทำลายโครงสร้างของสตาร์ชข้าว ควรจะกำจัดโปรตีนออกโดยใช้เอนไซม์โปรติเอส (Protease) และการกำจัดไขมันโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์เช่น เมทานอล และ เอทานอล นอกจากนี้ Wang และ Wang (2004) ได้ศึกษาการสกัดสตาร์ชข้าวโดยการใช้ Neutral protease และการใช้ Neutral protease ร่วมกับการใช้ High intensity ultrasound ในการสกัดสตาร์ชข้าว จากการศึกษาพบว่าปริมาณของสตาร์ชข้าวที่ได้จากการสกัดโดยใช้ Neutral protease อย่างเดียวจะมีค่าประมาณร้อยละ 62.5-71.8 มีปริมาณโปรตีนที่เหลืออยู่ในสตาร์ช ร้อยละ 0.53–0.88 และมีสตาร์ชข้าวที่ถูกทำลายร้อยละ 0.99–1.81 นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณของสตาร์ชข้าวที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 79.8– 86.7 ปริมาณโปรตีนเป็นร้อยละ 0.50–0.96 และมีสตาร์ชข้าวที่ถูกทำลายร้อยละ 0.98 – 1.87 เมื่อใช้ Neutral protease ร่วมกับการใช้ High intensity ultrasound และพบว่าความหนืดของสตาร์ชข้าวจะเพิ่มขึ้นภายหลังจากใช้ High intensity ultrasound

2.5.6 การเปรียบเทียบวิธีการทำให้สตาร์ชบริสุทธิ์วิธีต่างๆกับการใช้สารเคมี

Lim และคณะ (1992) ได้ทำการศึกษาการสกัดสตาร์ชออกจากแป้งข้าวโอ๊ตโดยใช้วิธีที่แตกต่างกันคือ การใช้แรงตัดที่สูง (High shear) ภายหลังจากการการแช่น้ำของแป้งข้าวโอ๊ต การใช้แรงตัดต่ำ (Low shear) ภายหลังจาการย่อยด้วยเอนไซม์โปรติเอส และวิธีสุดท้ายคือ การใช้แรงตัดต่ำที่ความเป็นด่างสูงๆ จากการศึกษาจะพบว่าการสกัดสตาร์ชออกจากแป้งข้าวโอ๊ตโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ไซด์ ($Ca(OH)_2$) ทำให้สตาร์ชข้าวโอ๊ตที่สกัดได้มีปริมาณโปรตีนต่ำที่สุดสำหรับวิธีการใช้เอนไซม์โปรติเอสในการย่อย และวิธีการใช้แรงตัดที่สูงภายหลังจากการการแช่น้ำของแป้งจะเป็นวิธีที่ทำได้ช้ากว่า และมีปริมาณโปรตีนหลงเหลืออยู่มาก กว่า และพบว่าสตาร์ชข้าวโอ๊ตที่สกัดได้จากการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์จะมีความหนืดสูงสุด (Pasting peak)

ที่เลื่อนออกไป และจะเพิ่มความหนืดของสตาร์ชข้าวโอ๊ตมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์

2.6 สารเคมีที่ใช้ในการสกัดสตาร์ชมันเทศ

2.6.1 โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate : Na_2CO_3)

โซเดียมคาร์บอเนต หรือโซดาแอช คือ เกลือที่เกิดจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เป็นด่างแก่กับกรดคาร์บอนิกซึ่งเป็นด่างอ่อน ทำให้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตในน้ำมีสมบัติเป็นด่าง (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) จะมีลักษณะเป็นผงหรือก้อนแข็งสีเทาขาวเมื่อสัมผัสกับอากาศจะค่อยๆดูดซับน้ำ (ประมาณร้อยละ 15) มีคุณสมบัติคือมีมวลโมเลกุล 105.99 ความหนาแน่น 2.533 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีจุดหลอมเหลว 851 องศาเซลเซียส ผลึกมีโครงสร้างแบบ Monoclinic ใช้ในการลดความกระด้างของน้ำ ผงซักฟอก และเป็นสารปรุงแต่งอาหารสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารได้มากมาย เช่น ใช้ในการไฮโดรไลซิสโปรตีน นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการผลิตเนยเทียม และสตาร์ช ผลของการสัมผัสสารนี้เป็นเวลานานจะมีอันตรายต่อผิวหนัง ทำให้เกิดการอักเสบของผิวหนังจนเกิดเป็นแผลอักเสบ แต่อย่างไรก็ตามความอันตรายของสารโซเดียมคาร์บอเนตจะไม่เกิดขึ้น เมื่อใช้ในปริมาณที่เหมาะสม แต่การรับประทานเข้าไปเกินปริมาณที่กำหนดคือมากกว่า 15 กรัมอาจทำให้มีโอกาสเกิดอันตรายถึงชีวิตได้ (Gerhard and Scheider , 1999)

2.6.2 สารซัลไฟต์ (วินัด ภูมินาถ, 2002)

2.6.2.1 ชนิดและคุณสมบัติของสารซัลไฟต์

สารซัลไฟต์ที่นำมาใช้ในอาหารตามเอกสารของ Food Chemical Codex มีหลายชนิด ซึ่งจะได้แก่ โซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3) โปตัสเซียมซัลไฟต์ (K_2SO_3) โซเดียมไบซัลไฟต์ ($NaHSO_3$) โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ($Na_2S_2O_5$) โปตัสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ ($K_2S_2O_5$) หรือในรูปของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)

2.6.2.2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของซัลเฟอร์ไดออกไซด์

แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นแก๊สไม่เกิดเปลวไฟ ไม่มีสี มีกลิ่นฉุนทำให้อึดอัด หายใจไม่ออก เป็นของเหลวที่อุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียส แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ใช้ในการถนอมอาหารได้จากการเผาสารซัลเฟอร์ หรือจากซัลเฟอร์ไดออกไซด์สภาพเหลวสามารถละลายน้ำได้เกลือซัลไฟต์เมื่อละลายน้ำจะให้กรดซัลฟูรัส (H_2SO_3) ไบซัลไฟต์อิออน (HSO^-_3) และ ซัลไฟต์อิออน (SO_3^{2-})

2.6.2.3 วัตถุประสงค์และบทบาทของการนำสารซัลไฟต์ไปใช้ประโยชน์

1 ช่วยยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลจากเอ็นไซม์ และไม่ใช่เอนไซม์ (Enzyme and Non-enzyme browning reaction) โดยการเปลี่ยนสีเกิดสีน้ำตาลของอาหารที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอ็นไซม์เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลกับโปรตีน หรือกรดอะมิโน ที่ผ่านกรรมวิธีผลิตที่ต้องใช้ความร้อนประมาณ 85 องศาเซลเซียส เกิดเป็นสาร Melanoidin มีสีน้ำตาลอัตราการเกิดจะเพิ่มขึ้นถ้าสารมีความเข้มข้นสูงขึ้น 10 องศาเซลเซียส อัตราการเกิดจะเพิ่มขึ้น 3–5 เท่า การเติมสารซัลไฟต์ลงไปจะช่วยให้โปรตีนกับน้ำตาลไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาต่อกัน

2 เป็นวัตถุกันหืน เนื่องจากสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นรีดิวซิงที่แรงทำหน้าที่เสมือนสาร Antioxidant สามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนในอาหารที่มีไขมัน จึงช่วยลดการเกิดกลิ่นหืน และการเสื่อมสภาพของอาหารได้

3 ป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์พวกแบคทีเรีย ยีสต์ และรา เช่นป้องกันการเกิดโรคจุดดำ (Black spot) ของกุ้งสด

4 ใช้ในการยืดอายุการเก็บถนอมรักษาอาหาร และผลิตภัณฑ์อาหารให้นานขึ้น ช่วยยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย และสปอร์ของรา

5 ป้องกันการสูญเสียวิตามินซี ระหว่างกระบวนการผลิต เนื่องจากสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นรีดิวซิงที่แรงกว่า ทำให้ลดการสูญเสียวิตามินซีได้มากขึ้น

6 เป็นสารฟอกสี ทำให้สีขาวขึ้น หรือช่วยคงสภาพรักษาสีของแคโรทีนให้ยาวนานขึ้น

2.6.2.4 ปริมาณการบริโภค

องค์การอนามัยโลก ได้กำหนดปริมาณของสารซัลไฟต์ที่ยอมให้บริโภค (Acceptance daily intake, ADI) ในรูปของสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ระดับ 0.7 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักร่างกาย 1 กิโลกรัมต่อวัน

2.7 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และคุณลักษณะทางกายภาพของสตาร์ชมันเทศ

2.7.1 ลักษณะของเม็ดแป้ง (Starch morphology)

แป้งที่พบในธรรมชาติจะอยู่ในรูปของเม็ดแป้งที่มีรูปร่าง และขนาดแตกต่างกันไปตามชนิดของแป้ง ลักษณะต่างๆของเม็ดแป้งตรวจสอบได้โดยการส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ซึ่งเป็นวิธีที่รวดเร็ว และง่ายที่สุด โดยสามารถตรวจลักษณะของเม็ดแป้ง ได้แก่ รูปร่าง ตำแหน่งของ Hilum (ตำแหน่งที่แขนของ Maltese cross ตัดกันภายใต้แสงโพลาไรซ์) และการกระจายตัวของขนาดของเม็ดแป้ง รวมทั้งการตรวจสอบความเสียหายของเม็ดแป้งที่สภาวะต่างๆ และการปนเปื้อนของแป้ง

อีกชนิดหนึ่งได้ นอกจากนี้ในกรณีที่ต้องการดูโครงสร้างพื้นผิวอย่างละเอียดของเม็ดแป้งสามารถใช้ Scanning Electron Microscopy (SEM) ซึ่งมีกำลังขยายมากกว่ากล้องจุลทรรศน์ ถึงหลายร้อยเท่า (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

แป้งจากพืชหัวจะมีขนาดเม็ดแป้งตั้งแต่ 1-110 ไมครอน ขึ้นกับแหล่งที่มาโดยส่วนใหญ่มีลักษณะเม็ดแป้งเป็นรูปไข่ กลม หลายเหลี่ยม รวมถึงมีรูปร่างไม่แน่นอน (Hoover, 2001) จากการศึกษาของ เวชยันต์ ธนบดีภัทร (2532) พบว่าสตาร์ชมันเทศพันธุ์พื้นเมืองที่ปลูกในประเทศไทยจะมีรูปร่างเป็นรูปไข่ วงกลม และรูปหลายเหลี่ยมแต่ โดยส่วนใหญ่เป็นรูปหลายเหลี่ยม มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5-25 ไมครอน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Jangchud และคณะ (2003) ที่ศึกษาขนาด และรูปร่างของเม็ดแป้งของมันเทศพันธุ์ไข่ และพันธุ์นิโกร พบว่ามีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเม็ดแป้งเท่ากับ 3-27 ไมครอน และมีลักษณะเป็นรูปวงกลม ไข่ และรูปหลายเหลี่ยมรวมกัน นอกจากนี้ Walter และคณะ (2000) ได้ทำการศึกษาสตาร์ชมันเทศพันธุ์ที่มีความชื้นสูง และต่ำ พบว่าเม็ดแป้งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3-60 ไมครอน ซึ่งมีค่ามากกว่าการศึกษาข้างต้นแต่มีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ Takeda และคณะ (1986) ซึ่งได้ทำการศึกษาสตาร์ชมันเทศ และพบว่าเม็ดแป้งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2-72 ไมครอน และมีรูปร่าง กลม หลายเหลี่ยม รูปไข่ และรูประฆัง

2.7.2 การเกิดเจลาทิไนเซชัน (Gelatinization)

การเกิดเจลาติไนเซชันของเม็ดแป้งแบ่งได้เป็น 3 ระยะ คือ ระยะแรกเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเย็นได้อย่างจำกัด และเกิดพองตัวแบบผันกลับได้เนื่องจากร่างแหระหว่างไมเซลล์ (Micelles) ยืดหยุ่นได้จำกัด ความหนืดของสารแขวนลอยจะไม่เพิ่มขึ้นจนเห็นได้ชัด เม็ดแป้งยังคงรักษารูปร่างและโครงสร้างแบบที่เกิดการบิดแสงระนาบโพลาไรซ์ได้ (Birefringence) เมื่อมีการใส่สารเคมีหรือมีการเพิ่มอุณหภูมิกับสารละลายน้ำแป้งจนถึงอุณหภูมิประมาณ 65 องศาเซลเซียส(อุณหภูมิที่แท้จริงขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง) เมื่อเริ่มเข้าสู่ระยะที่ 2 เม็ดแป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็วร่างแหระหว่างไมเซลล์ภายในเม็ดแป้งจะอ่อนแอลงเนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเข้ามามาก และเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการเกิดเจลาทิไนเซชันเม็ดแป้งมีการเปลี่ยน แปลงรูปร่าง และโครงสร้างแบบที่เกิดการบิดแสงระนาบโพลาไรซ์ได้ความหนืดของสารละลายน้ำแป้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วแป้งที่ละลายได้ จะเริ่มละลายออกมาซึ่งถ้าเหวี่ยงแยกส่วนใส และหยดสารละลายไอโอดีนลงในส่วนใสจะเกิดสีน้ำเงินขึ้น เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิต่อไปอีกจนเข้าสู่ระยะที่ 3 รูปร่างเม็ดแป้งจะไม่แน่นอน การละลายของแป้งจะเพิ่มขึ้น เมื่อทำให้เย็นจะเกิดเจล การเกิดเจลาทิไนเซชันของแป้งจะทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของแป้ง สามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆได้ดีขึ้น รวมทั้งพร้อมที่จะถูกย่อยด้วยน้ำย่อยต่างๆได้ดีขึ้น ในปัจจุบันการตรวจสอบกระบวนการเกิดเจลาติไนเซชันอาจใช้เครื่องมือ คือ Differential Scanning Calorimeter (DSC) ซึ่งจะเป็นเครื่องมือที่วัดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของวัสดุในรูปฟังก์ชันกับอุณหภูมิ หลักการ

ทำงานของเครื่องจะให้ความร้อนแก่ตัวอย่างสารผสมแป้งกับน้ำในอัตราส่วน 30 ต่อ 70 จนถึงอุณหภูมิที่คาดว่าเลยช่วงในการเกิดเจลาติไนเซชัน จะได้ Thermogram ซึ่งเป็นกราฟระหว่าง Heat flow และอุณหภูมิ พลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลาติไนเซชัน (ΔH, cal/g) ได้จากพื้นที่ใต้กราฟหารด้วยน้ำหนักแป้งตัวอย่าง (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

สตาร์ชมันเทศพันธุ์พื้นเมืองที่ปลูกในประเทศไทย พบว่ามีช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลอยู่ในช่วง 57-75 องศาเซลเซียส (เวชยันต์ ธนบดีภัทร, 2532) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Chen และคณะ (2003) ที่ศึกษาช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลของสตาร์ชมันเทศจากประเทศจีน พบว่ามีช่วงอยู่ระหว่าง 60-80 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ผลการศึกษาที่ได้ยังสอดคล้องกับ Toyama และคณะ (2003) ที่ได้ศึกษาช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลของสตาร์ชมันเทศ 8 สายพันธุ์ของญี่ปุ่น พบว่ามีช่วงอยู่ระหว่าง 70.4-74.3 องศาเซลเซียส

2.7.3 การดูดซับน้ำ การพองตัวและการละลาย

เมื่อมีการให้ความร้อนแก่สารละลายน้ำแป้ง เม็ดแป้งจะเกิดการพองตัว และบางส่วนของแป้งจะละลายออกมา กำลังการพองตัวของแป้งจะแสดงเป็นปริมาตรหรือน้ำหนักของเม็ดแป้งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด เมื่อเม็ดแป้งพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำ สำหรับความสามารถในการละลายจะแสดงเป็นน้ำหนักของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลายได้ (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

สตาร์ชมันเทศพันธุ์พื้นเมืองที่ปลูกในประเทศไทย พบว่ารูปแบบของการพองตัวเป็นแบบ 2 ช่วง (Two stage) โดยการพองตัวจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 70-80 องศาเซลเซียส แล้วการพองตัวจะมีอัตราเพิ่มลดลงหรือมีช่วงพัก (Relaxation stage) ในช่วง 80-90 องศาเซลเซียส แล้วจะกลับมาเพิ่มขึ้นอีกจนถึงอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส (เวชยันต์ ธนบดีภัทร, 2532) ซึ่งจะสอดคล้องกับการศึกษาของ Chen และคณะ (2003) ที่ศึกษาการพองตัวของสตาร์ชมันเทศจากประเทศจีนพบว่าการพองตัวเป็นแบบ 2 ช่วง แต่ต่างกันตรงที่ สตาร์ชมันเทศจากประเทศจีนจะมีช่วงการพองตัวที่อุณหภูมิ 80-95 องศาเซลเซียส และมีช่วงพักที่ 65-75 องศาเซลเซียส

สตาร์ชมันเทศพันธุ์พื้นเมืองที่ปลูกในประเทศไทยพบว่ามีการละลายเป็นแบบ Log model นั่นคือมีการละลายเพิ่มขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิสูง แต่การละลายเมื่อถึงอุณหภูมิหนึ่งอัตราการละลายจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลง (เวชยันต์ ธนบดีภัทร, 2532) ซึ่งผลการศึกษานี้คล้ายกับผลการศึกษาของ Jangchud และคณะ (2003) ที่ศึกษาสตาร์ชมันเทศพันธุ์ไข่ และพันธุ์นิโกรแล้ว พบว่าสตาร์ชมันเทศจะมีการละลายเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น

2.7.4 ความหนืด

ความหนืดเป็นสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญของแป้ง เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความหนืดของแป้งได้แก่ ชนิดของแป้ง และการดัดแปรแป้งด้วยวิธีต่างๆ การ

วัดความหนืดสามารถกระทำได้หลายวิธี และเครื่องมือที่ใช้ในการวัดมีหลายชนิดแต่ละชนิดมีหลักการทำงาน และการอ่านค่าความหนืดต่างๆกันแต่วิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือ การใช้บราเบนเดอร์ วิสโคอะมิโลกราฟ (Brabender Viscoamylograph) โดยมีหลักการทำงานคือ การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งในระหว่างการทำให้ร้อนจนถึงขั้นการทำให้เย็น ติดตามผล และแสดงผลในรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด และอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ได้หน่วยความหนืดเป็น Brabender Unit (BU) สามารถเปลี่ยนเป็น Centripoise ได้โดยเทียบความหนืดของสารละลายแป้งสุกเข้มข้นร้อยละ 5 ความหนืด 500 BU เท่ากับ 2,700 Centripoise (Brautlecht, 1953)

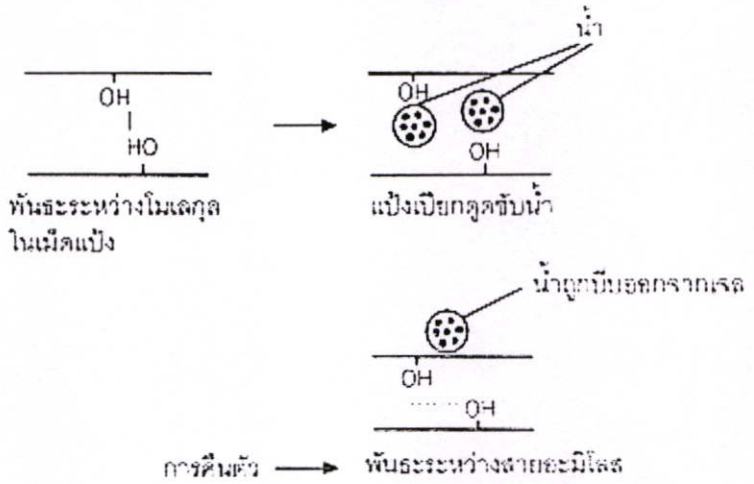
เมื่อเม็ดแป้งได้รับความร้อนจะดูดซึมน้ำ และพองตัวขยายใหญ่ขึ้น น้ำบริเวณรอบๆเม็ดแป้งเหลือน้อยลง ทำให้เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยาก เกิดความหนืดขึ้น อุณหภูมิที่กราฟเริ่มเกิดความหนืดเรียกว่า อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนค่าความหนืด (Pasting temperature) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นความหนืดจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่มีความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) เป็นจุดที่เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ และเวลาต่อไปอีก รวมทั้งมีการกวนอย่างต่อเนื่อง จะทำให้โครงสร้างภายในแตกออก ความหนืดลดลงต่อมาลดอุณหภูมิลง ทำให้เกิดการรีโทรเกรเดชัน ความหนืดจะเพิ่มขึ้นอีก ซึ่งเป็นความหนืดที่เกิดจากการเรียงตัวกันใหม่ของโมเลกุลอะมิโลสที่หลุดออกจากเม็ดแป้ง

เวชยันต์ ธนบดีภัทร (2532) ได้ทำการศึกษาความหนืดของแป้งมันเทศโดยใช้ Brabender Viscoamylograph พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิการเกิดเจล ความหนืดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงจุดสูงสุด โดยค่าสูงสุดประมาณ 500-600 B.U. หลังจากนั้นความหนืดจะลดลงในช่วงให้ความร้อน (Heating cycle) จนถึง 95 องศาเซลเซียส เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พบว่าความหนืดมีแนวโน้มลดลงอีก และเมื่อลดอุณหภูมิเป็น 50 องศาเซลเซียส ในช่วง Cooling cycle ความหนืดก็จะเพิ่มขึ้น จาก Viscoamylograph ของแป้งมันเทศ พบว่า ความหนืดที่เพิ่มขึ้นในช่วงให้ความร้อนจนถึงจุดสูงสุดของความหนืดเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว พิจารณาได้ว่าแรงยึดเหนี่ยวภายในเม็ดแป้งของมันเทศมีความสม่ำเสมอ ส่วนความหนืดของน้ำแป้งในช่วงหลังจากรักษาอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ลดลง กล่าวได้ว่าเม็ดแป้งมันเทศไม่มีเสถียรภาพที่ดีต่อการกวน คือ มีการเปลี่ยนแปลงความหนืดลดลงในช่วงให้ความร้อนขณะกวนมาก

2.7.5 การคืนตัว (Retrogradation)

เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลาทิไนเซชัน แล้วให้ความร้อนต่อไป ทำให้เม็ดแป้งพองตัวมากขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่ และแตกออก โมเลกุลของอะมิโลสขนาดเล็กจะกระจัดกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัวโมเลกุลอะมิโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติโครงสร้างใหม่ที่สามารถอุ้มน้ำ และไม่มีการดูดน้ำเข้าอีกมีความหนืดคงตัวมากขึ้นเกิดลักษณะเจลเหนียวคล้ายฟิลม์หรือผลึก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการเกิดรีโทรเกรเดชันหรือการคืนตัว หรือ Setback

(Smith, 1979) เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงไปอีก ลักษณะการเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมานอกเจลซึ่งเรียกว่า Syneresis ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้จะทำให้เกิดเจลมีลักษณะขาวขุ่น และมีความหนืดเพิ่มขึ้นดังภาพที่ 2.4 สำหรับการตรวจสอบความสามารถในการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งแต่ละชนิดอาจหาได้จากค่า Setback ของแป้ง ซึ่งเป็นค่าผลต่างระหว่างความหนืดสุดท้ายกับความหนืดสูงสุด (Setback from peak) หรือความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (Setback fom trough) โดยใช้เครื่อง Brabender Viscoamylograph (Smith, 1979)



ภาพที่ 2.4 แสดงการเกิดรีโทรเกรเดชัน

ที่มา: กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ (2546)

สตาร์ชแต่ละชนิดมีการคืนตัวในอัตราเร็วต่างกัน สตาร์ชจากธัญพืชจะคืนตัวได้เร็วกว่าสตาร์ชจากพืชหัวสำหรับสตาร์ชมันเทศมีอัตราการคืนตัวปานกลาง และมีรูปร่างคล้ายสตาร์ชจากธัญพืช แต่ใช้ในเวลาในการคืนตัวช้ากว่า (เวชยันต์ ธนบดีภัทร, 2532)

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 มันเทศ 3 สายพันธุ์ โดยจำแนกตามสีของเนื้อมันเทศ คือ มันเทศเนื้อสีม่วง (พันธุ์ต่อเผือก) มันเทศเนื้อสีส้ม (พันธุ์ไข่) และมันเทศเนื้อสีเหลือง (พันธุ์เกษตร) ซื้อมาจากตลาดขายส่งท่าเรือคลองเตย กรุงเทพมหานคร ในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนมีนาคม

3.2 อุปกรณ์ในการผลิตสตาร์ชมันเทศ

3.2.1 Blender ปั่นเปียก	Philips	เนเธอร์แลนด์
3.2.2 Tray dryer	Mitsubishi	ญี่ปุ่น
3.2.3 Pin mill	Retsch	เยอรมัน
3.2.4 Hammer mill	Kinematica AG	สวิสเซอร์แลนด์
3.2.5 ตะแกรงร่อนแป้งขนาดรูตะแกรง 100 เมส		

3.3 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ

3.3.1 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง	Shimadzu-UV 1601	ญี่ปุ่น
3.3.2 Polarimeter	ATAGO POLAX-L	ญี่ปุ่น
3.3.3 เครื่องหมุนเหวี่ยง	Beckman Coulter X-12R	เยอรมัน
3.3.4 กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกน LEO Model 1455VP-0313		อังกฤษ
3.3.5 ชุดสกัดโปรตีน	Gerhardt	เยอรมัน
3.3.6 ชุดสกัดไขมัน	Gerhardt	เยอรมัน
3.3.7 เครื่องวัดสี	Minolta CR-300	ญี่ปุ่น
3.3.8 เครื่องวัดความหนืด(Brookfield viscometer)	RVF-100	อเมริกา
3.3.9 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge)	Centrikon T-42K	อิตาลี
3.3.10 เครื่องผสม (Rotor mixer)	R2R 2, Heidolph KG	เยอรมัน
3.3.11 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)	Memmert	เยอรมัน
3.3.12 เครื่องบราเบนเดอร์ วิสโคอะมิโลกราฟ		เยอรมัน

3.4 สารเคมี

3.4.1 โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)	VMR International Ltd.	อังกฤษ
3.4.2 โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ($Na_2S_2O_5$)	CARLO ERBA Reagenti	เยอรมัน
3.4.3 กรดไฮโดรคลอริก (HCl)	LAB-SCAN Asia	ไทย
3.4.4 แอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 95	องค์กรสุรา กรมสรรพสามิต	ไทย
3.4.5 ปิโตรเลียมอีเทอร์	LAB-SCAN Asia	ไทย
3.4.6 แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$)	Merck	เยอรมัน

3.5 สถานที่ทดลอง

3.5.1 ห้องปฏิบัติการภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.5.2 ตึก Processing ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.6 วิธีการดำเนินงาน

3.6.1 ศึกษาการเตรียมแป้งมันเทศจากหัวมันเทศสดของมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์ (ที่มา: ดัดแปลงจาก ยุทธนา พิมลศิริผล, 2545)

โดยนำหัวมันเทศมาล้างทำความสะอาด และปอกเปลือก จากนั้นลดขนาดมันเทศโดยหั่นเป็นแผ่นขนาดหนา 2 มิลลิเมตร แล้วนำมาอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 50±5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8-10 ชั่วโมง หรือจนมันเทศแผ่นมีความชื้นประมาณร้อยละ 10 ต่อมานำชิ้นมันเทศที่อบจนแห้งมาบดหยาบโดยใช้ Hammer mill ที่มีขนาดรูตะแกรง 0.1 มิลลิเมตร แล้วตามด้วยการบดละเอียดโดยใช้ Pin mill ที่มีขนาดรูตะแกรง 0.25 ไมครอน หลังจากนั้นนำแป้งมันเทศที่ได้มาร่อนผ่านตะแกรงที่มีขนาดรูตะแกรง 100 เมส แล้วเก็บแป้งมันเทศที่ได้ในถุงโพลีโพรพิลีนที่ปิดสนิทที่อุณหภูมิห้องจนกว่าจะนำมาวิเคราะห์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยจะนำแป้งมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์มาทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (ภาคผนวก ก) และคุณลักษณะทางกายภาพบางประการ ดังนี้

3.6.1.1 ปริมาณความชื้น ตามวิธีของ AOAC (2000)

3.6.1.2 ปริมาณโปรตีน ตามวิธีของ AOAC (2000)

3.6.1.3 ปริมาณไขมัน ตามวิธีของ AOAC (2000)

3.6.1.4 ปริมาณสตาร์ช ตามวิธีของ AOAC (2000)

3.6.1.5 ปริมาณอะมิโลส ตามวิธีของ Juliano และคณะ (1971)

3.6.1.6 ปริมาณของแป้งมันเทศ (ร้อยละของ Yield)

$$\text{Yield (ร้อยละ)} = \frac{\text{แป้งมันเทศ (กรัมโดยน้ำหนักเปียก)}}{\text{มันเทศสด (กรัมโดยน้ำหนักเปียก)}} \times 100$$

3.6.1.7 ศึกษาลักษณะของเม็ดแป้ง โดยจะใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกน (Scanning electron microscopy)

3.6.2 ศึกษากระบวนการผลิตสตาร์ชมันเทศ โดยทำให้แป้งมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์มีความบริสุทธิ์มากขึ้น

3.6.2.1 ศึกษาชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสมในการแยกโปรตีนออกจากแป้งมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์

การศึกษาใช้ตัวทำละลายที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ น้ำ สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล (ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ, 2540) และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ (Sajeev *et al*., 2003) ในการนำมาแยกโปรตีนออกจากแป้งมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์ โดยใช้อัตราส่วนของแป้งมันเทศ ต่อ ตัวทำละลายเท่ากับ 1 ต่อ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และทำการทดลอง 3 ซ้ำ สำหรับขั้นตอนในการสกัดสตาร์ชจากแป้งมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์ แสดงดังภาพที่ 3.1

แป้งมันเทศ

↓

เติมตัวทำละลาย (อัตราส่วนแป้งมันเทศต่อตัวทำละลายเท่ากับ 1:5 (w/v))

↓

ปั่นผสมใน Blender ปั่นเปียก ความเร็วสูงสุด 2 นาที

↓

ปั่นเหวี่ยงโดยใช้ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส

↓

ตักตะกอนสีเหลืองหรือน้ำตาลด้านบนสตาร์ชที่ตกตะกอนทิ้ง

↓

ล้างสตาร์ชด้วยน้ำ (อัตราส่วนสตาร์ชต่อน้ำเท่ากับ 1:5 (w/v))

↓

ปั่นเหวี่ยงโดยใช้ ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส

↓

ทำขั้นตอนการล้างสตาร์ชด้วยน้ำข้างต้น 2 ครั้ง

↓

สตาร์ชมันเทศเปียก

↓

อบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 50 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 – 6 ชั่วโมง
(หรือจนกระทั่งมีความชื้นประมาณร้อยละ 10)

↓

บดหยาบโดยใช้ Hammer mill ใช้ Sieve ขนาด 0.1 มิลลิเมตร

↓

บดละเอียดโดยใช้ Pin mill โดยใช้ Sieve ขนาด 0.25 ไมครอน

↓

ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมส

↓

สตาร์ชมันเทศ

ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนในการสกัดสตาร์ชจากแป้งมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์

ที่มา: ดัดแปลงจาก วุฒิชัย นาครักษา (2529)

3.6.2.2 ศึกษาและเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมี และคุณลักษณะทางกายภาพบางประการของสตาร์ชมันเทศที่สกัดได้จากข้อ 3.6.2.1 ในสตาร์ชมันเทศแต่ละสายพันธุ์

นำสตาร์ชมันเทศแต่ละสายพันธุ์ที่ใช้ตัวทำละลายสกัดสตาร์ช ที่แตกต่างกันมาเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมี และคุณลักษณะทางกายภาพบางประการเพื่อเลือกชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสมในการแยกโปรตีนออกจากแป้งมันเทศแต่ละสายพันธุ์ โดยวิเคราะห์ และตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี (ภาคผนวก ก) และคุณลักษณะทางกายภาพบางประการดังต่อไปนี้

1 ปริมาณความชื้น ตามวิธีของ AOAC (2000)

2 ปริมาณโปรตีน ตามวิธีของ AOAC (2000)

3 ปริมาณสตาร์ช ตามวิธีของ AOAC (2000)

4 ปริมาณอะมิโลส ตามวิธีของ Juliano และคณะ (1971)

5 ปริมาณสตาร์ชที่ได้จากการสกัด (ร้อยละของ Yield)

$$\text{Yield (ร้อยละ)} = \frac{\text{สตาร์ชที่สกัดได้ (กรัมโดยน้ำหนักแห้ง)}}{\text{แป้งมันเทศ (กรัมโดยน้ำหนักแห้ง)}} \times 100$$

6 การวัดค่าความสว่างโดยใช้ Minolta CR-300

7 การศึกษาลักษณะของเม็ดแป้ง โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกน (Scanning electron microscopy)

นำผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และคุณลักษณะทางกายภาพบางประการของสตาร์ชมันเทศแต่ละสายพันธุ์มาวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของผลการวิเคราะห์ข้อ 3.2.2.2(1)-3.6.2.2(6) โดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Maltiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha \leq 0.05$)

3.6.3 ศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการ ของสตาร์ชมันเทศแต่ละสายพันธุ์ที่ได้จากการแยกโปรตีนออกจากแป้งมันเทศ โดยใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมกับแป้งมันเทศแต่ละสายพันธุ์

ทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการ ของสตาร์ชมันเทศแต่ละสายพันธุ์ที่ได้จากการแยกโปรตีนออกจากแป้งมันเทศ โดยใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมจากข้อ 3.6.2 เปรียบเทียบกับแป้งมันเทศที่เตรียมได้จากข้อ 3.6.1 โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ และเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีกาย ภาพบางประการ (ภาคผนวก ข) ดังต่อไปนี้

3.6.3.1 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Absorption Index) ตามวิธีของ Narkrugsa (1996) ที่ดัดแปลงจาก Schoch (1968)

3.6.3.2 ความสามารถในการละลาย (Water Solubility Index) ตามวิธีของ Narkrugsa (1996) ที่ดัดแปลงจาก Schoch (1968)

3.6.3.3 การวิเคราะห์กำลังการพองตัวและร้อยละในการละลาย (Swelling Power) ตามวิธีของ กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ (2546) ที่ดัดแปลงจาก Schoch (1964)

3.6.3.4 ความคงตัวต่อแรงเฉือน (Shearing Stability) ตามวิธีของ Klaushofer และคณะ (1975)

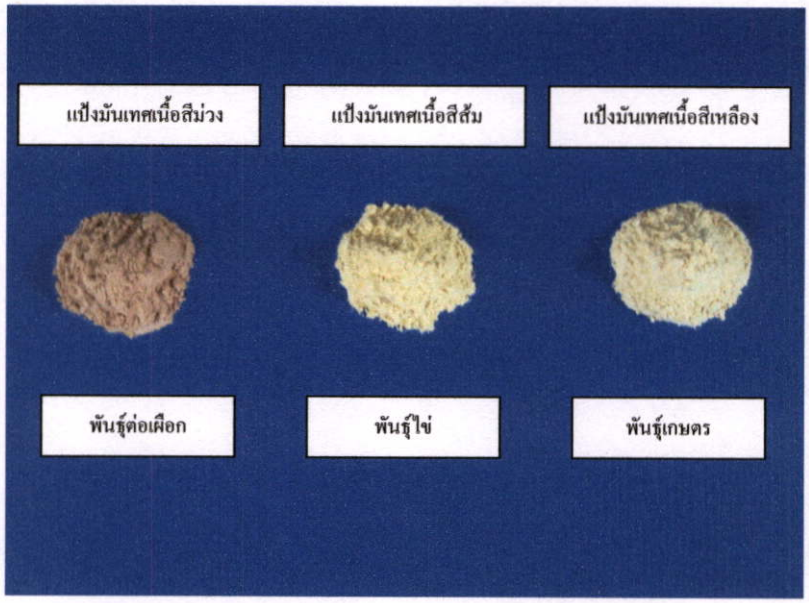
3.6.3.5 ความคงตัวต่อการแช่แข็งและการละลาย (Freeze-Thaw Stability) ตามวิธีของ Narkrugsa (1996) ที่ดัดแปลงจาก Schoch (1968) และ Narkrugsa (1990)

3.6.3.6 การเปลี่ยนแปลงของของผสม (Paste) ที่ผ่านการให้ความร้อนในขณะที่มีการกวนด้วย เครื่องบราเบนเดอร์ วิสโคอะมิโลกราฟ (Brabender Viscoamylograph)

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ศึกษาการเตรียมแป้งมันเทศจากหัวมันเทศสดของมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์

จากกระบวนการผลิตแป้งมันเทศดังข้อ 3.6.1 โดยนำมันเทศสดมาล้างทำความสะอาดปอกเปลือก ลดขนาดโดยการหั่นเป็นแผ่นบางแล้วนำไปอบในตู้อบลมร้อน โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการอบประมาณ 50±5 องศาเซลเซียส เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้เกิดการเสียสภาพของโปรตีน และทำลายเม็ดแป้ง (Owori and Hagenimana, 2000) จากนั้นนำมันเทศแผ่นแห้งที่ได้มาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมส โดยจะได้แป้งมันเทศของมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์ คือ มันเทศเนื้อสีม่วง (พันธุ์ต่อเผือก) มันเทศเนื้อสีส้ม (พันธุ์ไข่) และมันเทศเนื้อสีเหลือง (พันธุ์เกษตร) ดังแสดงในภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 แป้งมันเทศของมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์

นำแป้งมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีบางประการ (ภาคผนวก ก) (ตารางที่ 4.1) พบว่ามีปริมาณความชื้นร้อยละ 6.57-7.34 โดยน้ำหนักแห้ง แตกต่างกันไป ทั้งที่ได้มีการผ่านกระบวนการทำแห้งที่ไม่แตกต่างกัน เนื่องจากความชื้นของวัตถุดิบเริ่มต้นแตกต่างกัน ทำให้ความชื้นของแป้งมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์แตกต่างกันไป ส่วนปริมาณโปรตีนของแป้งมันเทศเนื้อสีส้ม และเนื้อสีม่วงมีค่าใกล้เคียงกัน คือ ร้อยละ 3.31 และ3.50 โดยน้ำหนักแห้ง และปริมาณโปรตีน

ของแป้งมันเทศเนื้อสีเหลืองมีค่าสูงที่สุด คือ ร้อยละ 4.04 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการทดลองของกุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ (2535) ที่พบว่าปริมาณโปรตีนของแป้งมันเทศเนื้อสีเหลืองมีค่าสูงที่สุด และปริมาณโปรตีนของแป้งมันเทศเนื้อสีม่วง และเนื้อสีส้มมีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับปริมาณไขมันในพืชหัวส่วนใหญ่จะมีปริมาณต่ำ (Moorthy, 2002) โดยพบว่าปริมาณไขมันของแป้งมันเทศเนื้อสีส้ม และเนื้อสีเหลืองมีค่าใกล้เคียงกัน คือ ร้อยละ 0.29 และ0.30 โดยน้ำหนักแห้ง ส่วนปริมาณไขมันของแป้งมันเทศเนื้อสีม่วงมีค่าต่ำที่สุด คือ ร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Jangchud และคณะ (2003) ที่พบว่าแป้งมันเทศเนื้อสีส้มมีปริมาณไขมันสูงกว่าแป้งมันเทศเนื้อสีม่วง สำหรับปริมาณสตาร์ชของแป้งมันเทศเนื้อสีม่วง และเนื้อสีเหลืองมีค่าใกล้เคียงกัน คือ ร้อยละ 51.78 และ51.89 โดยน้ำหนักแห้ง และแป้งมันเทศเนื้อสีส้มมีปริมาณสตาร์ชสูงสุด คือ ร้อยละ 54.30 โดยน้ำหนักแห้ง ส่วนปริมาณอะมิโลสของแป้งมันเทศเนื้อสีม่วง เนื้อสีส้ม และเนื้อสีเหลือง คือ ร้อยละ 27.28 23.92 และ21.75 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งพบว่าปริมาณอะมิโลสของแป้งมันเทศเนื้อสีม่วงมีค่าสูงที่สุด และปริมาณอะมิโลสของแป้งมันเทศเนื้อสีเหลืองมีค่าต่ำที่สุด โดยผลการศึกษาที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ กุลยา ลิ้มรุงเรืองรัตน์ (2535) และ Brabet และคณะ (1997) ที่พบว่าปริมาณอะมิโลสของแป้งมันเทศเนื้อสีส้มสูงกว่าแป้งมันเทศเนื้อสีเหลือง และปริมาณ Yield ของแป้งมันเทศแต่ละสายพันธุ์จะแตกต่างกันไป โดยมีค่าร้อยละ 25.67-30.17 โดยน้ำหนักเปียก ซึ่งแป้งมันเทศเนื้อสีม่วงจะให้ปริมาณ Yield สูงที่สุด

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีบางประการของแป้งมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์

ชนิดแป้งมันเทศ	ขนาดอนุภาค	องค์ประกอบทางเคมีบางประการ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)[2]					
	(μm)	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	สตาร์ช	อะมิโลส	Yield[1]
มันเทศสีม่วง	9-31	6.57±0.88	3.50±0.97	0.20±0.06	51.78±7.10	27.28±1.14	30.17±3.14
มันเทศสีส้ม	9-31	7.34±0.77	3.31±0.42	0.29±0.08	54.30±6.89	23.92±1.93	25.67±1.04
มันเทศสีเหลือง	8-38	6.86±0.99	4.04±0.83	0.30±0.02	51.89±8.97	21.75±2.14	26.37±1.13

หมายเหตุ

[1] แสดงผลเป็นร้อยละโดยน้ำหนักเปียกคำนวณจาก Yield = (น้ำหนักแป้งมันเทศ / น้ำหนักมันเทศสด) x 100

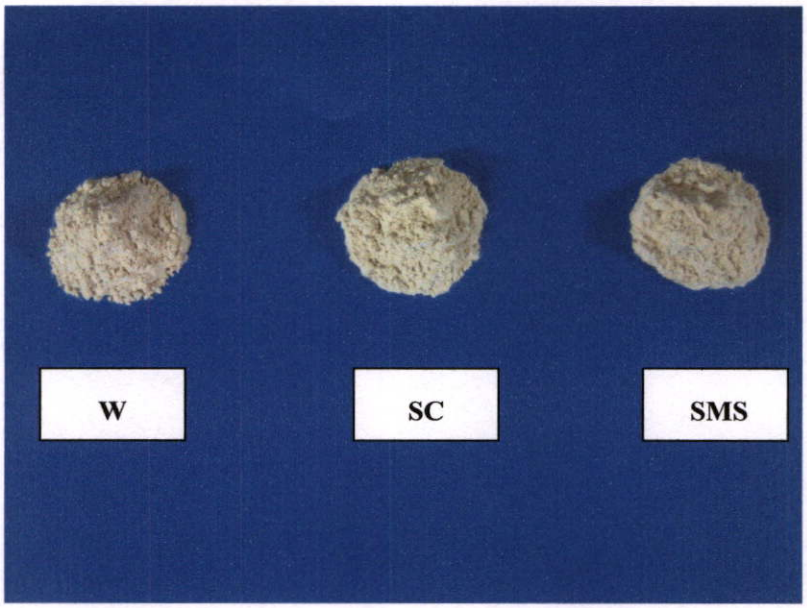
[2] ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± Standard deviation

เมื่อนำแป้งมันเทศของมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์ มาศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพ โดยศึกษาลักษณะเม็ดแป้งโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกน ที่มีกำลังขยาย 1500 เท่า (ภาพที่4.5 (PF) 4.6 (OF) และ4.7 (YF)) พบว่าเม็ดแป้งของมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์ จะมีทั้งกระจายตัวเป็นเม็ดเดี่ยวๆ และเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน นอกจากนี้บริเวณพื้นผิวของเม็ดแป้งมีส่วนของเส้นใยและโปรตีนเกาะเกี่ยวอยู่กับเม็ดแป้ง โดยส่วนใหญ่เม็ดแป้งจะมีรูปร่าง กลม และหลายเหลี่ยม ส่วนรูปไข่ และระฆังจะพบเป็นส่วนน้อยซึ่งใกล้เคียงกับการศึกษาของ เวชยันต์ ธนบดีภัทร (2532) และ Jangchud และคณะ (2003) ที่พบว่าแป้งมันเทศโดยส่วนใหญ่จะมีรูปร่างของเม็ดแป้งเป็นลักษณะ กลม หลายเหลี่ยม และรูปไข่ แต่ผลการศึกษาจะสอดคล้องกับ Takeda และคณะ (1986) ที่พบว่าสตาร์ชมันเทศมีรูปร่างกลม หลายเหลี่ยม รูปไข่ และระฆัง สำหรับขนาดของอนุภาคเม็ดแป้งของมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์จะใกล้เคียงกัน โดยแป้งมันเทศเนื้อสีเหลืองจะมีขนาดเม็ดแป้งเท่ากับ 8-38 ไมครอน ส่วนแป้งมันเทศเนื้อสีม่วง และเนื้อสีส้มมีขนาดเม็ดแป้งใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงระหว่าง 9-31 ไมครอน โดยผลการศึกษาที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ เวชยันต์ ธนบดีภัทร (2532) Jangchud และคณะ (2003) Walter และคณะ (2000) และTakeda และคณะ (1986) ที่พบว่าแป้งมันเทศมีขนาดของเม็ดแป้งประมาณ 5-25 3-27 3-60 และ2-72 ไมครอน ตามลำดับ

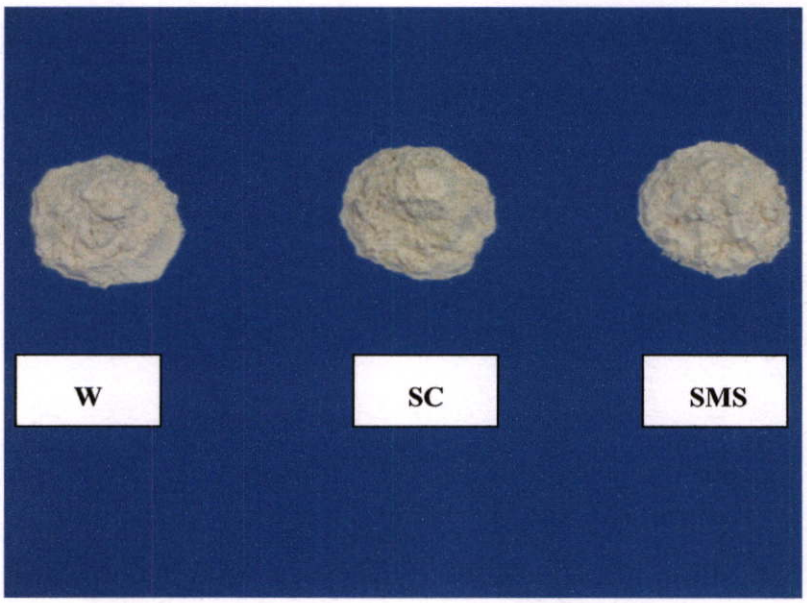
4.2 ศึกษากระบวนการผลิตสตาร์ชมันเทศโดยการทำให้แป้งมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์มีความบริสุทธิ์มากขึ้น

4.2.1 ศึกษากระบวนการผลิตสตาร์ชมันเทศจากแป้งมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์

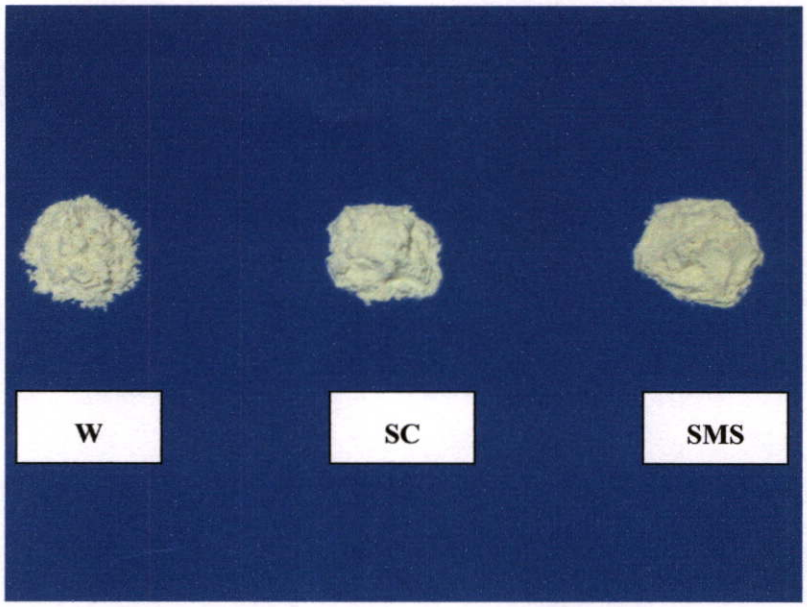
จากกระบวนการผลิตสตาร์ชมันเทศ แสดงในภาพที่ 3.1 ซึ่งจะแยกโปรตีนออกจากแป้งมันเทศโดยใช้ตัวทำละลายที่แตกต่างกัน คือ น้ำ สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล (ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ, 2540) และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ (Sajeev *et al.*, 2003) โดยใช้อัตราส่วนของแป้งมันเทศต่อตัวทำละลาย เท่ากับ 1 ต่อ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ทำให้ได้สตาร์ชจากแป้งมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์ คือสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง เนื้อสีส้ม และเนื้อสีเหลือง ดังแสดงในภาพที่ 4.2 4.3 และ4.4 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.2 สตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง (W: สกัดด้วยน้ำ, SC: สกัดด้วยโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้น 0.1 นอร์มอล และSMS: สกัดด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์)



ภาพที่ 4.3 สตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม (W: สกัดด้วยน้ำ, SC: สกัดด้วยโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้น 0.1 นอร์มอล และSMS: สกัดด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์)



ภาพที่ 4.4 สตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง (W: สกัดด้วยน้ำ, SC: สกัดด้วยโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้น 0.1 นอร์มอล และSMS:สกัดด้วยสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์)

4.2.2 ศึกษาและเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมี และคุณลักษณะทางกายภาพบางประการ ของสตาร์ชมันเทศที่สกัดได้จากข้อ 4.2.1 ในสตาร์ชมันเทศแต่ละสายพันธุ์

4.2.2.1 องค์ประกอบทางเคมี และคุณลักษณะทางกายภาพบางประการของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีบางประการของสตาร์ชที่สกัดได้จากแป้งมันเทศเนื้อสีม่วง

ชนิดสารเคมี	pH ระหว่างสกัด	องค์ประกอบทางเคมีบางประการ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)[3]					
		ความชื้น[ns]	โปรตีน[ns]	สตาร์ช	อะมิโลส[ns]	Yield[1, ns]	Protein extraction efficiency[2, ns]
H_2O	6.15-6.17	10.56±1.37	0.78±0.22	81.14±11.22[a]	37.15±1.04	68.05±2.82	77.13±5.03
0.1N Na_2CO_3	11.06-11.10	10.42±0.29	0.70±0.17	68.48±12.95[b]	37.64±1.16	68.44±3.17	79.30±6.02
3.12mM$Na_2S_2O_5$	4.26-4.23	10.03±0.66	0.74±0.17	86.14±9.86[a]	37.45±0.22	67.74±4.55	78.11±5.46

หมายเหตุ

[1] Yield = (ปริมาณสตาร์ชมันเทศที่สกัดได้ / ปริมาณแป้งมันเทศเริ่มต้น) x 100

[2] Protein extraction efficiency = (ปริมาณโปรตีนที่ลดลงของสตาร์ชที่ได้จากการสกัด / ปริมาณโปรตีนของแป้งมันเทศ) x 100

[3] ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± Standard deviation

[abc...] ตัวอักษรกำกับแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในแนวตั้ง

[ns] ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในแนวตั้ง

1 ปริมาณความชื้น

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของ สตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง (ตารางที่ 4.2) พบว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงที่ใช้น้ำ และสารเคมีในการสกัด จะมีปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีปริมาณความชื้นร้อยละ 10.03-10.56 โดยน้ำหนักแห้ง และมีปริมาณความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 6-16 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งเป็นความชื้นโดยทั่วไปของสตาร์ชที่ผ่านการทำแห้งควรจะมี เนื่องจากถ้าปริมาณความชื้นสูงจะมีผลต่อการถูกทำลายของสตาร์ชโดยจุลินทรีย์ และทำให้สตาร์ชที่ได้มีคุณภาพต่ำลงได้ (Moorthy, 2002)

2 ปริมาณโปรตีน และร้อยละของประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีน

ในการสกัดสตาร์ชจากแป้งมันเทศโดยการใช้น้ำ สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล (ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ, 2540) และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ (Sajeev *et al.*, 2003) เพื่อเป็นตัวแทนของสภาวะที่ใช้สกัด หรือละลายโปรตีนออกจากแป้งมันเทศ คือ สภาวะกลาง ด่าง และกรด ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 3 สภาวะนี้จะมีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) อยู่ในช่วงที่โปรตีนที่สำคัญของมันเทศนั่นก็คือ Sporamin (Ipomoein) (Shewry, 2003) ซึ่งมีปริมาณสูงถึงร้อยละ 60-80 ของโปรตีนที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดในมันเทศ (Chai, 1998) เพราะค่า pI หรือค่า pH ที่ทำให้ประจุโดยรวมของโปรตีนมีค่าเท่ากับศูนย์ และทำให้โปรตีนตกตะกอนมีค่าอยู่ประมาณ 3 (Cherry, 2000) ซึ่งสารเคมีที่เลือกใช้ในการศึกษามีค่า pH มากกว่า 3 ทุกตัว และสาเหตุที่ไม่ใช้สารเคมีที่มีค่า pH ที่ต่ำกว่า 3 เพราะค่าความเป็นกรดที่มากมีผลต่อการทำลายสตาร์ชทำให้แตกออกเป็นส่วนๆ (Rani, 1998)

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง (ตารางที่ 4.2) พบว่าการใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ สามารถสกัดโปรตีนออกจากสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงได้มาก ทำให้ปริมาณโปรตีนของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงมีค่าร้อยละ 0.70 และ0.74 โดยน้ำหนักแห้ง และร้อยละของประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนมีค่าร้อยละ 79.30 และ78.11 โดยน้ำหนักแห้ง แต่น้ำจะมีความสามารถในการสกัดโปรตีนออกจากแป้งมันเทศได้น้อยกว่าการใช้สารเคมี คือจะมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 0.78 โดยน้ำหนักแห้ง และร้อยละของประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนร้อยละ 77.13 โดยน้ำหนักแห้ง อาจเนื่องจากน้ำมีความหนาแน่นน้อย ซึ่งในการสกัดสตาร์ชจะอาศัยหลักความหนาแน่นที่แตกต่างกันในการตกตะกอน ถ้าสารละลายที่ใช้ในการสกัดสตาร์ชมีความหนาแน่นสูงก็สามารถทำให้สตาร์ชดูดซับตัวทำละลายเข้าไป ช่วยให้การตกตะกอนของสตาร์ชเพื่อแยกสตาร์ชออกจากโปรตีนได้ง่ายขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้น้ำซึ่งมีความหนาแน่นน้อยสามารถแยกโปรตีนออกจากสตาร์ชได้น้อยที่สุด (Guraya *et al.*, 2003) ส่วนสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล สามารถสกัดโปรตีนออกจากแป้งมันเทศได้มากที่สุด เนื่องมาจากที่ค่า pH ที่สูงทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพเกิดการเกาะตัวกันมีลักษณะเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติ และแข็งตัวเป็น

เจล (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) ทำให้แยกชั้นจากสตาร์ชอย่างชัดเจนอยู่ที่ด้านบน และสามารถตักส่วนของโปรตีนออกได้ง่าย จึงทำให้สามารถสกัดโปรตีนออกจากสตาร์ชได้มากที่สุด ส่วนการใช้สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์สามารถสกัดโปรตีนออกจากสตาร์ชได้ เนื่องจากสารประเภทซัลเฟอร์ไดออกไซด์สามารถขัดขวางโปรตีนที่อยู่รอบๆเม็ดสตาร์ชโดยทำให้พันธะไดซัลไฟด์ทั้งที่อยู่ใน และระหว่างโมเลกุลของโปรตีนแตกออก จึงสามารถแยกโปรตีนออกจากสตาร์ชได้ (Ji *et al*., 2004) แต่อย่างไรก็ตามพบว่าการใช้น้ำ และสารเคมีแตกต่างกันในการสกัดสตาร์ช ทำให้ปริมาณโปรตีน และร้อยละของประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนของสตาร์ชมันเทศสีม่วงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

3 การวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ช

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ชของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง (ตารางที่ 4.2) พบว่าปริมาณสตาร์ชของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงที่ใช้น้ำ และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ในการสกัดมีค่าร้อยละ 81.14 และ86.14 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งจะมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่การใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล ในการสกัดสตาร์ชทำให้มีปริมาณสตาร์ชต่ำที่สุด และปริมาณสตาร์ชจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับปริมาณสตาร์ชที่ใช้น้ำ และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ในการสกัด เนื่องจากการใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล ซึ่งมีค่า pH สูงจะสามารถไฮโดรไลซ์พันธะไกลโคซิดิกซึ่งนับว่าเป็นการทำลายสตาร์ช (Chiou *et al*., 2002) จึงน่าจะส่งผลต่อปริมาณสตาร์ชที่ได้ทำให้มีค่าน้อยที่สุด

4 การวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลส

การวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง (ตารางที่ 4.2) ที่ใช้น้ำ สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ในการสกัด พบว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงมีปริมาณอะมิโลสเท่ากับร้อยละ 37.15 37.64 และ37.45 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งจะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

5 ปริมาณ Yield

จากปริมาณ Yield ของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง (ตารางที่ 4.2) ที่ได้จากการใช้น้ำ สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ ในการสกัด พบว่ามีปริมาณ Yield อยู่ระหว่างร้อยละ 67.74-68.44 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งปริมาณ Yield ที่ได้จะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และพบว่าปริมาณ Yield ของสตาร์ชที่ได้จะมีค่าไม่สูง เนื่องจากการสูญเสียเม็ดสตาร์ชขนาดเล็กที่ปะปนไปกับโปรตีนในช่วงการแยกโปรตีนออกจากสตาร์ช (Sulaiman *et al*., 1995)

6 ค่าความสว่าง (L)

การวัดค่าความสว่างของสตาร์ชมันเทศที่ใช้น้ำ สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ในการสกัดสตาร์ช โดยค่า L จะเป็นค่าที่ใช้กำหนดความสว่าง (0 หมายถึงสีดำ และ 100 หมายถึงสีขาว) จากการทดลองวัดค่าความสว่างของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง (ตารางที่ 4.3) พบว่าการใช้สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ ในการสกัดสตาร์ชจะมีค่าความสว่างสูงที่สุด คือ 88.83 และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) กับค่าความสว่างของสตาร์ชที่ใช้น้ำ และสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล ในการสกัดสตาร์ช เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสีของรงควัตถุในมันเทศเนื้อสีม่วงซึ่งก็คือแอนโทไซยานิน (Harada *et al.*, 2004) โดยสีของแอนโทไซยานินจะถูกฟอกสีให้จางลงเมื่อมีซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นจากการมีแอนโทไซยานินคาร์โบเนียมไอออน (Anthocyanin carbonium ion, R^+) เกิดขึ้น และไปทำปฏิกิริยากับซัลไฟต์ทำให้เกิด Chromen-z (หรือ4)–sulfonic acid ซึ่งไม่มีสี แต่มีโครงสร้างและสมบัติคล้ายกับแอนโทไซยานินคาร์บินอลเบส (Anthocyanin carbinol base) (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) ส่วนค่าความสว่างของสตาร์ชที่ได้จากการสกัดโดยใช้น้ำ และสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล มีค่า 87.11 และ 86.38 โดยค่าความสว่างของสตาร์ชที่ได้จากการสกัดโดยใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล มีค่าต่ำที่สุด แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) กับค่าความสว่างของสตาร์ชที่ได้จากการสกัดโดยใช้น้ำ

ตารางที่ 4.3 ค่าความสว่างของสตาร์ชที่ได้จากการสกัดของแป้งมันเทศเนื้อสีม่วง

ชนิดสารเคมี	ค่าความสว่าง (L)[1]
H_2O	87.11 ± 2.58^{b}
0.1N Na_2CO_3	86.38 ± 2.24^{b}
3.12mM $Na_2S_2O_5$	88.83 ± 2.24^{a}

หมายเหตุ

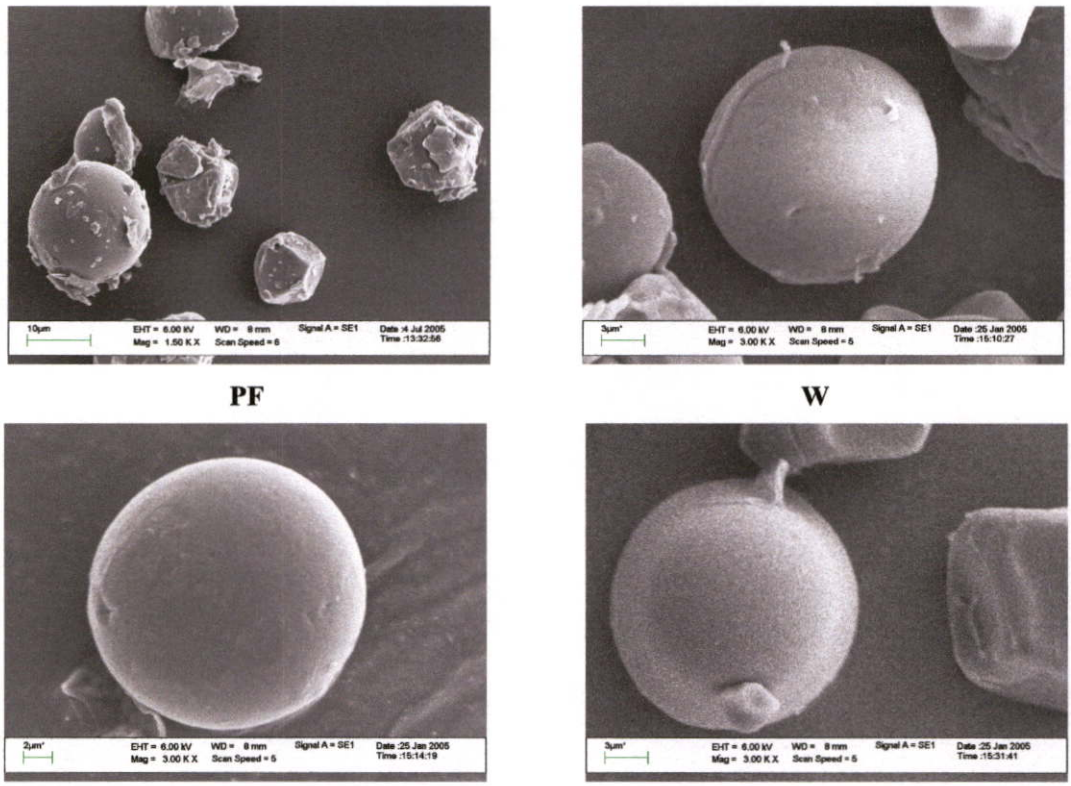
$^{abc...}$ ตัวอักษรกำกับแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ในแนวตั้ง

[1] ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± Standard deviation

7 การศึกษาลักษณะของเม็ดแป้งโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกน

จากการศึกษาลักษณะของเม็ดแป้งโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกนที่มีกำลังขยาย 3000 เท่า พบว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง (ภาพที่ 4.5) ที่ได้จากการสกัดโดยใช้น้ำ สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ มีเม็ดแป้งที่มีความสะอาดมากขึ้น โดยมีสิ่งเจือปนอันหมายถึงเส้น

ใย และโปรตีนมาเกาะเกี่ยวน้อยมากหรือแทบจะไม่มี เม็ดแป้งแยกตัวออกเป็นเม็ดเดี่ยวๆมากกว่าเดิม นอกจากนี้ยังพบว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงที่ใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ในการสกัดสตาร์ชช่วยทำให้สตาร์ชมีความบริสุทธิ์มากขึ้นใกล้เคียงกับการใช้น้ำ แต่การใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล ซึ่งเป็นสารเคมีที่มีความเป็นด่างสูงอาจไฮโดรไลซ์พันธะไกลโคซิดิก ซึ่งจะเป็นการทำลายสตาร์ช (Chiou *et al.*, 2002) โดยอาจส่งผลต่อพื้นผิวของเม็ดแป้งที่ถูกทำลายทำให้ผิวหน้าของเม็ดแป้งมีรอย หรือเม็ดแป้งจะเป็นรอยขรุขระไม่เหมือนกับการใช้น้ำและสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ในการสกัดสตาร์ชซึ่งเม็ดแป้งที่ถูกทำลายย่อมส่งผลต่อคุณภาพของสตาร์ชที่ได้อย่างแน่นอน (Boyaci *et al.*, 2004)



PF **W**

SC **SMS**

ภาพที่ 4.5 ลักษณะรูปร่างเม็ดแป้งของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง (PF= แป้งมันเทศเนื้อสีม่วง, W =สตาร์ชที่ใช้น้ำสกัด, S C =สตาร์ชที่ใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้น 0.1 นอร์มอลสกัด และSMS=สตาร์ชที่ใช้สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์สกัด)

4.2.2.2 องค์ประกอบทางเคมี และคุณลักษณะทางกายภาพบางประการของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบทางเคมีบางประการของสตาร์ชที่สกัดได้จากแป้งมันเทศเนื้อสีส้ม

ชนิดสารเคมี	pH ระหว่างสกัด	องค์ประกอบทางเคมีบางประการ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)[3]					
		ความชื้น[ns]	โปรตีน	สตาร์ช	อะมิโลส[ns]	Yield[1, ns]	Protein extraction efficiency[2]
H_2O	6.15-6.17	10.61±1.58	0.40±0.02[a,b]	85.27±7.16[b]	38.50±1.30	66.28±1.75	87.68±1.98[a,b]
0.1N Na_2CO_3	11.06-11.10	10.80±1.10	0.49±0.05[b]	79.51±5.34[b]	38.03±2.45	66.20±1.51	85.01±3.14[b]
3.12mM$Na_2S_2O_5$	4.26-4.23	10.40±0.79	0.33±0.07[a]	95.48±1.46[a]	37.80±2.51	65.29±0.82	90.06±2.47[a]

หมายเหตุ

[1] Yield = (ปริมาณสตาร์ชมันเทศที่สกัดได้ / ปริมาณแป้งมันเทศเริ่มต้น) x 100

[2] Protein extraction efficiency = (ปริมาณโปรตีนที่ลดลงของสตาร์ชที่ได้จากการสกัด / ปริมาณโปรตีนของแป้งมันเทศ) x 100

[3] ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± Standard deviation

[abc...] ตัวอักษรกำกับแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในแนวตั้ง

[ns] ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในแนวตั้ง

1 ปริมาณความชื้น

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม (ตารางที่ 4.4) พบว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มที่ใช้น้ำ และสารเคมีในการสกัด จะมีปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีปริมาณความชื้นร้อยละ 10.40-10.80 โดยน้ำหนักแห้ง และผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงในข้อ 4.2.2.1 (1)

2 ปริมาณโปรตีน และร้อยละของประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีน

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม (ตารางที่ 4.4) พบว่าการใช้สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ในการสกัดสตาร์ช ทำให้ปริมาณโปรตีนของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มมีค่าน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 0.33 โดยน้ำหนักแห้ง และร้อยละของประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนมีค่ามากที่สุด คือ ร้อยละ 90.06 โดยน้ำหนักแห้ง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารประเภทซัลเฟอร์ไดออกไซด์สามารถขัดขวางโปรตีนที่อยู่รอบๆเม็ดสตาร์ช โดยทำให้พันธะไดซัลไฟด์ทั้งที่อยู่ใน และระหว่างโมเลกุลแตกออกจึงสามารถแยกโปรตีนออกจากสตาร์ชได้ (Ji *et al.*, 2004) แต่พบว่าการใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอลในการสกัดสตาร์ช ทำให้ปริมาณโปรตีนของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มมีค่าสูงถึงร้อยละ 0.49 โดยน้ำหนักแห้ง และร้อยละของประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนมีค่าต่ำที่สุด เท่ากับ ร้อยละ 85.01 โดยน้ำหนักแห้ง นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้น้ำในการสกัดสตาร์ชทำให้มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 0.40 และร้อยละของประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 87.68 ซึ่งจะไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับสตาร์ชที่ใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล หรือสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ในการสกัดสตาร์ช

3 การวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ช

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ชของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม (ตารางที่ 4.4) พบว่าการใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอลในการสกัดสตาร์ช ทำให้มีปริมาณสตาร์ชต่ำที่สุด คือร้อยละ 79.51 โดยน้ำหนักแห้ง และการใช้สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ ในการสกัดสตาร์ช ทำให้มีปริมาณสตาร์ชมากที่สุดคือร้อยละ 95.48 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งจะสอดคล้องกับผลการทดลองของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงในข้อ 4.2.2.1 (3) และจากการทดลองยังพบว่าการใช้น้ำในการสกัดสตาร์ชทำให้มีปริมาณสตาร์ช เท่ากับร้อยละ 85.27 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งค่าที่ได้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับการใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอลในการสกัดสตาร์ช แต่จะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับการใช้สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ ในการสกัดสตาร์ช

4 การวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลส

การวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม (ตารางที่ 4.4) ที่ใช้น้ำสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ ในการสกัดพบว่าสตาร์ชจะมีปริมาณอะมิโลส เท่ากับร้อยละ 38.50 38.03 และ37.80 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งจะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และปริมาณอะมิโลสที่ได้ใกล้เคียงกับผลการทดลองของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงในข้อ 4.2.2.1 (4)

5 ปริมาณ Yield

จากปริมาณ Yield ของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม (ตารางที่ 4.4) ที่ได้จากการสกัดโดยใช้น้ำ สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ พบว่าปริมาณ Yield มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 65.29-66.28 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งจะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และพบว่าปริมาณ Yield ของสตาร์ชที่ได้จะมีค่าต่ำกว่าปริมาณ Yield ของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงในข้อ 4.2.2.1 (5) เล็กน้อย

6 ค่าความสว่าง (L)

จากการวัดค่าความสว่างของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม (ตารางที่ 4.5) ที่ใช้น้ำสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ ในการสกัดสตาร์ชจะมีค่าความสว่าง เท่ากับ 94.74 93.68 และ 95.61 ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้จะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และพบว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มที่ใช้สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ในการสกัดสตาร์ชจะมีค่าความสว่างสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงในข้อ 4.2.2.1 (6) เนื่องจากมันเทศเนื้อสีส้มมีรงควัตถุคือแคโรทีนอยด์ โดยทั่วไปจะอยู่ในรูป All-trans ซึ่งจะมีสีเข้มแต่ถ้ามีจำนวนพันธะคู่อยู่ในรูป cis มากขึ้นสีจะจางลง โดยปัจจัยที่จะเปลี่ยนให้ tran กลายเป็น cis นั้นคือ ความเป็นกรด (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) โดยจากการทดลองการใช้สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ในการสกัดสตาร์ชซึ่งมีสภาวะความเป็นกรดค่อนข้างสูง จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความสว่างของสตาร์ชที่ได้จากการสกัดโดยใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอลมีค่าต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงในข้อ 4.2.2.1 (6)

ตารางที่ 4.5 ค่าความสว่างของสตาร์ชที่ได้จากการสกัดของแป้งมันเทศเนื้อสีส้ม

ชนิดสารเคมี	ค่าความสว่าง (L)[1]
H_2O	94.74±0.29[b]
0.1N Na_2CO_3	93.68±0.07[c]
3.12mM $Na_2S_2O_5$	95.61±0.03[a]

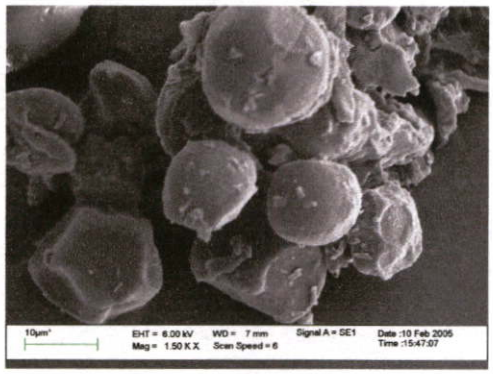
หมายเหตุ

[abc...] ตัวอักษรกำกับแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในแนวตั้ง

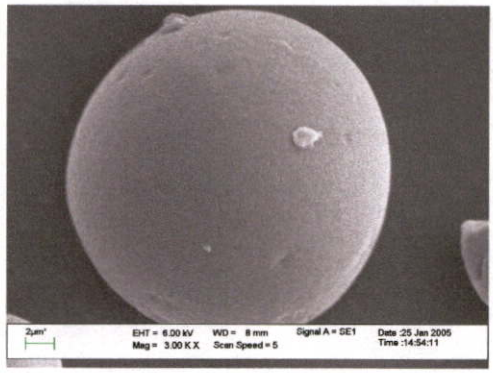
[1] ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± Standard deviation

7 การศึกษาลักษณะของเม็ดแป้งโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกน

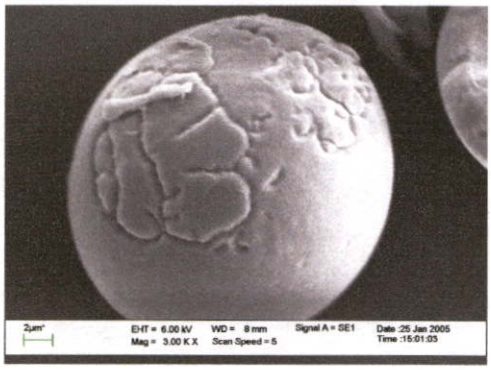
จากการศึกษาลักษณะของเม็ดแป้ง โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกนที่มีกำลังขยาย 3000 เท่า พบว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม (ภาพที่ 4.6) ที่ได้จากการสกัด โดยใช้น้ำ สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ มีเม็ดแป้งที่มีความสะอาดมากขึ้น สำหรับการใช้น้ำ และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ ในการสกัดสตาร์ชจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงภายนอกของเม็ดแป้งของสตาร์ช แต่การใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จะทำให้ผิวของเม็ดแป้งเกิดเป็นรอยแยกมากมาย โดยผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงในข้อ 4.2.2.1 (7)



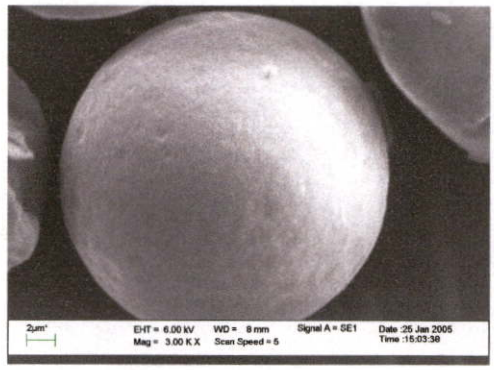
OF



W



SC



SMS

ภาพที่ 4.6 ลักษณะรูปร่างเม็ดแป้งของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม (OF= แป้งมันเทศเนื้อสีส้ม, W =สตาร์ชที่ใช้น้ำสกัด, S C =สตาร์ชที่ใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้น 0.1 นอร์มอลสกัด และS M S=สตาร์ชที่ใช้สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์สกัด)

4.2.2.3 องค์ประกอบทางเคมี และคุณลักษณะทางกายภาพบางประการของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง

ตารางที่ 4.6 องค์ประกอบทางเคมีบางประการของสตาร์ชที่สกัดได้จากแป้งมันเทศเนื้อสีเหลือง

ชนิดสารเคมี	pH ระหว่างสกัด	องค์ประกอบทางเคมีบางประการ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)[3]					
		ความชื้น[ns]	โปรตีน[ns]	สตาร์ช[ns]	อะมิโลส[ns]	Yield[1, ns]	Protein extraction efficiency[2,ns]
H_2O	6.15-6.17	10.27±1.15	0.45±0.11	82.81±11.00	35.04±1.68	62.99±3.88	88.89±1.99
0.1N Na_2CO_3	11.06-11.10	11.07±1.23	0.44±0.18	77.01±3.82	35.74±1.14	63.28±2.66	89.19±2.70
3.12mM$Na_2S_2O_5$	4.26-4.23	10.12±0.31	0.56±0.24	91.00±8.93	35.33±2.91	63.92±2.50	86.45±3.38

หมายเหตุ

[1] Yield = (ปริมาณสตาร์ชมันเทศที่สกัดได้ / ปริมาณแป้งมันเทศเริ่มต้น) x 100

[2] Protein extraction efficiency = (ปริมาณโปรตีนที่ลดลงของสตาร์ชที่ได้จากการสกัด / ปริมาณโปรตีนของแป้งมันเทศ) x 100

[3] ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± Standard deviation

[abc...] ตัวอักษรกำกับแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในแนวตั้ง

[ns] ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในแนวตั้ง

1 ปริมาณความชื้น

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง (ตารางที่ 4.6) พบว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองที่ใช้น้ำ และสารเคมีในการสกัด จะมีปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีปริมาณความชื้นร้อยละ 10.12-11.07 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง และเนื้อสีส้ม ในข้อ 4.2.2.1 (1) และ4.2.2.2 (1)

2 ปริมาณโปรตีน และร้อยละของประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีน

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง(ตารางที่ 4.6) พบว่าการใช้น้ำ และสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล ในการสกัดสตาร์ช ทำให้ปริมาณโปรตีนของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองมีค่าร้อยละ 0.45 และ0.44 โดยน้ำหนักแห้ง และร้อยละของประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนมีค่าเท่ากับร้อยละ 88.89 และ 89.19 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งน้ำมีความสามารถในการสกัดโปรตีนออกจากแป้งมันเทศน้อยกว่าสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล เล็กน้อยเช่นเดียวกับผลการทดลองของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงในข้อ 4.2.2.1 (2) และการใช้สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ในการสกัดสตาร์ชจะสามารถสกัดโปรตีนออกจากสตาร์ชได้น้อยที่สุด โดยทำให้โปรตีนของสตาร์ชมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 0.56 โดยน้ำหนักแห้ง และร้อยละของประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนมีค่าน้อยที่สุดคือร้อยละ 86.45 โดยน้ำหนักแห้ง อย่างไรก็ตามพบว่าการใช้น้ำ และสารเคมีที่แตกต่างกันในการสกัดสตาร์ช ทำให้ปริมาณโปรตีน และร้อยละของประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนของสตาร์ชมันเทศสีเหลืองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$)

3 การวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ช

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ชของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง(ตารางที่ 4.6) พบว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองที่ใช้น้ำ สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น0.1นอร์มอล และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ ในการสกัดสตาร์ช ทำให้มีปริมาณสตาร์ชร้อยละ 82.81 77.01 และ 91.00 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และพบว่าการใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล ทำให้มีปริมาณสตาร์ชต่ำที่สุด โดยผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง และเนื้อสีส้ม ในข้อ 4.2.2.1 (3) และ4.2.2.2 (3) แต่อย่างไรก็ตามพบว่าการใช้น้ำ และสารเคมีที่แตกต่างกันในการสกัดสตาร์ชทำให้ปริมาณสตาร์ชที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4 การวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลส

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง (ตารางที่ 4.6) ที่ใช้น้ำ สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ในการสกัดสตาร์ช พบว่าจะมีปริมาณอะมิโลสเท่า

กับร้อยละ 35.04 35.74 และ35.33 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งจะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และพบว่าปริมาณอะมิโลสที่ได้มีค่าต่ำกว่าผลการทดลองของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง และเนื้อสีส้มในข้อ 4.2.2.1 (4) และ4.2.2.2 (4)

5 ปริมาณ Yield

จากปริมาณ Yield ของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง (ตารางที่ 4.6) ที่ได้จากการสกัดโดยใช้น้ำ สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ พบว่าปริมาณ Yield มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 62.99-63.92 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งจะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และพบว่าปริมาณ Yield ของสตาร์ชที่ได้จะมีค่าต่ำกว่าปริมาณ Yield ของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง และเนื้อสีส้ม ในข้อ 4.2.2.1 (5) และ4.2.2.2 (5)

6 ค่าความสว่าง (L)

จากการวัดค่าความสว่างของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง (ตารางที่ 4.7) ที่ใช้น้ำและสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ในการสกัดสตาร์ชจะมีค่าความสว่างเท่ากับ 95.57 และ96.16 ซึ่งพบว่าการใช้สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ ในการสกัดสตาร์ชจะมีค่าความสว่างของสตาร์ชมากที่สุด เช่นเดียวกับผลการทดลองของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง และเนื้อสีส้มในข้อ 4.2.2.1 (6) และ4.2.2.2 (6) อย่างไรก็ตาม พบว่าการใช้น้ำ และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ ในการสกัดสตาร์ชจะทำให้มีค่าความสว่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่จะแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับค่าความสว่างของสตาร์ชที่ใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล ในการสกัดสตาร์ช ซึ่งมีค่าความสว่างต่ำที่สุด เท่ากับ 94.49

ตารางที่ 4.7 ค่าความสว่างของสตาร์ชที่ได้จากการสกัดของแป้งมันเทศเนื้อสีเหลือง

ชนิดสารเคมี	ค่าความสว่าง (L)[1]
H_2O	95.57±1.32[a]
0.1N Na_2CO_3	94.49±1.69[b]
3.12mM $Na_2S_2O_5$	96.16±1.37[a]

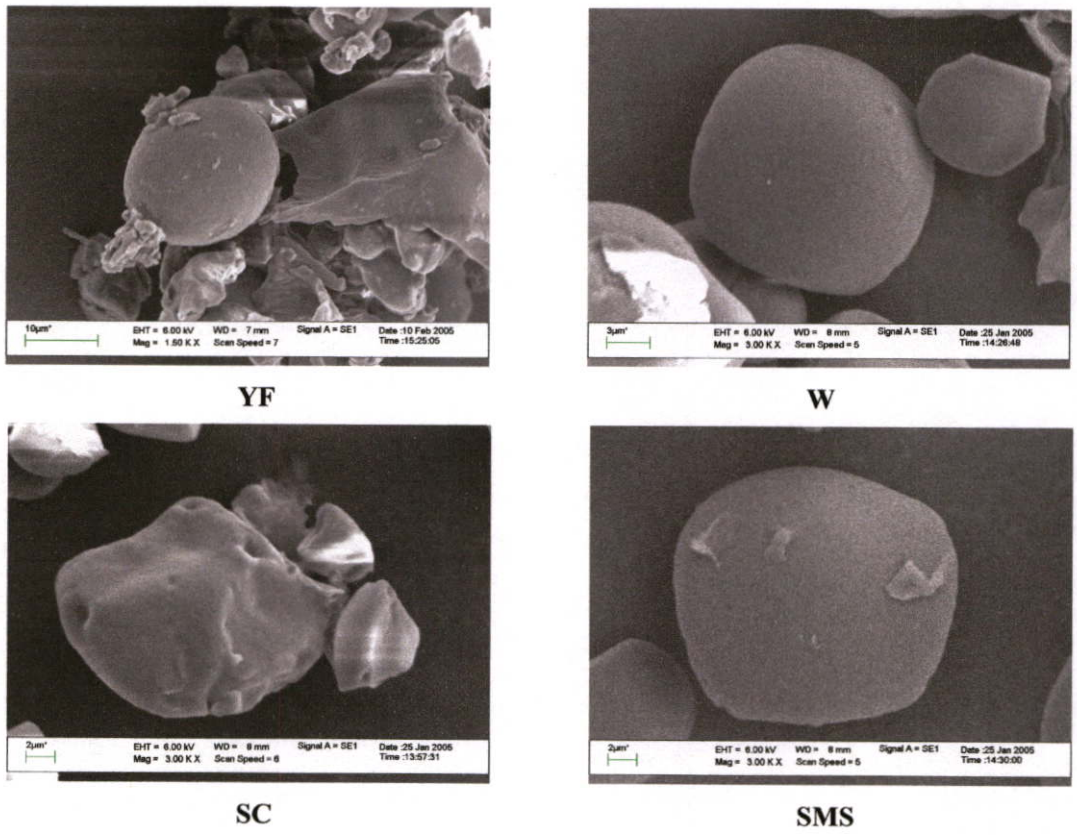
หมายเหตุ

[abc...] ตัวอักษรกำกับแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในแนวตั้ง

[1] ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± Standard deviation

7 การศึกษาลักษณะของเม็ดแป้งโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกน

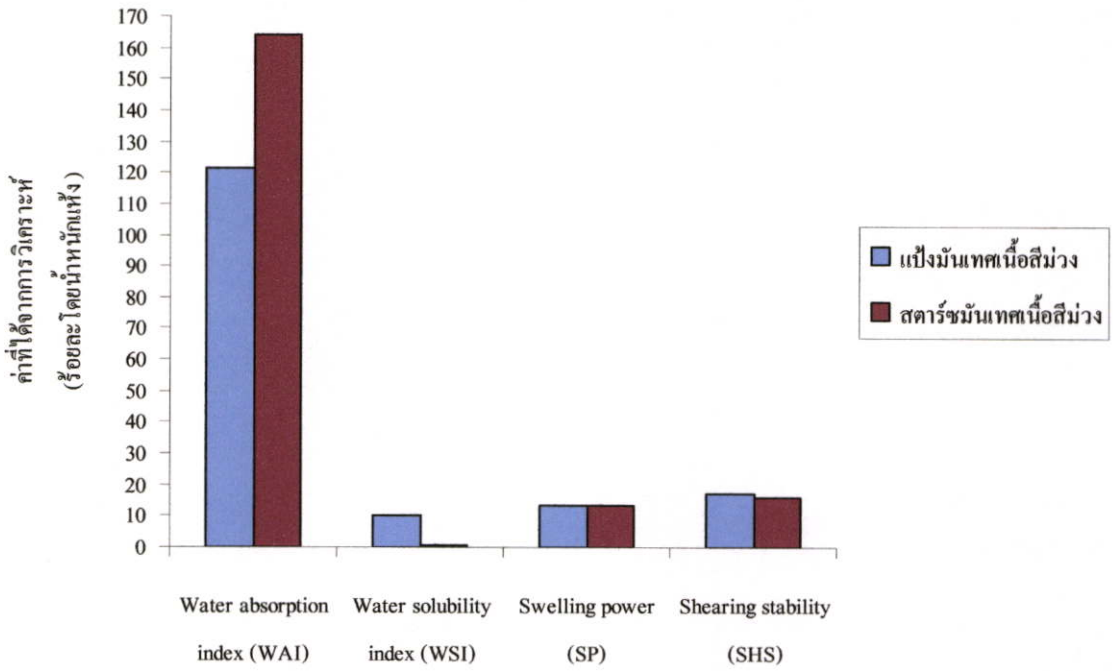
จากการศึกษาลักษณะของเม็ดแป้งโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกนที่มีกำลังขยาย 3000 เท่า พบว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง (ภาพที่ 4.7) ที่ได้จากการสกัดโดยใช้น้ำสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ มีเม็ดแป้งที่สะอาดมากขึ้น สำหรับการใช้น้ำ และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ ในการสกัดสตาร์ชจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงภายนอกของเม็ดแป้ง แต่การใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จะทำให้ผิวของเม็ดแป้งเกิดเป็นรอยแยกมากมาย โดยผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง และเนื้อสีส้มในข้อ 4.2.2.1 (7) และ4.2.2.2 (7)



ภาพที่ 4.7 ลักษณะรูปร่างเม็ดแป้งของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง (YF= แป้งมันเทศเนื้อสีเหลือง,W=สตาร์ชที่ใช้น้ำสกัด, SC=สตาร์ชที่ใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้น 0.1 นอร์มอลสกัด และS M S =สตาร์ชที่ใช้สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์สกัด)

4.3 ศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของสตาร์ชมันเทศแต่ละสายพันธุ์ที่ได้จากการแยกโปรตีนออกจากแป้งมันเทศโดยใช้ตัวทำละลาย ที่เหมาะสมกับแป้งมันเทศแต่ละสายพันธุ์

4.3.1 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการ ของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง



ภาพที่ 4.8 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง

4.3.1.1 ความสามารถในการดูดซับน้ำ

การตรวจสอบความสามารถในการดูดซับน้ำของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง (ภาคผนวก ข) โดยแสดงเป็นร้อยละของน้ำหนักเม็ดแป้งที่เพิ่มขึ้นเมื่อละลายแป้ง หรือสตาร์ชด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส แสดงผลการทดลองดังภาพที่ 4.8 และตารางที่ ค1

เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับน้ำของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงพบว่าแป้งมันเทศเนื้อสีม่วง จะมีความสามารถในการดูดซับน้ำต่ำกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง โดยความสามารถในการดูดซับน้ำของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 121.57 และ 164.14 โดยน้ำหนักแห้ง เนื่องจากสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงมีความบริสุทธิ์มากกว่าแป้งมันเทศเนื้อสีม่วง โดยมีส่วนของไขมัน และโปรตีนในปริมาณที่น้อยกว่า ทำให้สามารถสัมผัสกับน้ำได้มากกว่าแป้งมันเทศเนื้อสีม่วง ที่มีสิ่งเจือปนต่างๆขัดขวางการดูดซับน้ำเข้าภายในเม็ดแป้ง (จิตรา เศรษฐอุดม, 2528) นอกจากนี้อาจเป็นเพราะว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงผ่านกระบวนการบด

และกวนผสมมากกว่าแป้งมันเทศเนื้อสีม่วง จึงอาจทำให้เม็ดแป้งของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงแตกหักบางส่วน และสามารถดูดซับน้ำได้อย่างรวดเร็วส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับน้ำมีค่าสูงกว่าแป้งมันเทศเนื้อสีม่วง แต่อย่างไรก็ตามจากการส่องดูลักษณะของเม็ดแป้งของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกน พบว่าเม็ดแป้งของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงมีการแตกหักเล็กน้อยใกล้เคียงกับเม็ดแป้งของแป้งมันเทศเนื้อสีม่วง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสิ่งเจือปนต่างๆน่าจะมีผลทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำของแป้งมันเทศเนื้อสีม่วง มีค่าน้อยได้มากกว่ากระบวนการบด และกวนผสม

4.3.1.2 ความสามารถในการละลายน้ำ

การตรวจสอบความสามารถในการละลายน้ำของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง (ภาคผนวก ข) โดยแสดงเป็นน้ำหนักของของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลายได้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส แสดงผลการทดลองดังภาพที่ 4.8 และตารางที่ ค1

เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการละลายน้ำของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง พบว่าแป้งมันเทศเนื้อสีม่วงมีความสามารถในการละลายน้ำที่สูงกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง โดยความสามารถในการละลายน้ำของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงมีค่าร้อยละ 10.06 และ 0.43 โดยน้ำหนักแห้ง เนื่องจากแป้งมันเทศเนื้อสีม่วงมีส่วนของแข็งที่ละลายได้อันได้แก่ อะมิโลส น้ำตาลรีดิวซิง น้ำตาลที่ไม่ใช่รีดิวซิง และเส้นใยที่สามารถละลายน้ำมากกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง (Jangchud *et al.*, 2003) เพราะส่วนต่างๆนี้จะถูกกำจัดในขั้นตอนการสกัดสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงบางส่วน จึงทำให้มีปริมาณน้อยส่งผลต่อความสามารถในการละลายน้ำของแป้งมันเทศที่สูงกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับ Jangchud และคณะ (2003) ที่พบว่าแป้งมันเทศเนื้อสีม่วงมีความสามารถในการละลายน้ำที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียสสูงกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง โดยมีค่าร้อยละ 28.5 และ20.4 แต่ค่านี้จะสูงกว่าค่าที่ได้จากการทดลองเนื่องจากอุณหภูมิในการละลายน้ำสูงกว่า ทำให้ความสามารถในการละลายน้ำสูงขึ้น (Osundahunsi *et al.*, 2003; Yadav *et al.*, 2006) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Garcia และ Walter (1998) ที่พบว่าสตาร์ชมันเทศ 7 สายพันธุ์ของประเทศเปรูมีความสามารถในการละลายน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการละลายน้ำ โดยสตาร์ชมันเทศจะมีความสามารถในการละลายน้ำประมาณร้อยละ 10

4.3.1.3 กำลังการพองตัว

การตรวจสอบกำลังการพองตัวของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง (ภาคผนวก ข) โดยกำลังการพองตัวของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศจะเป็นปริมาตร หรือน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ณ. อุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มสารละลายน้ำแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศ (85 องศาเซลเซียส) แสดงผลดังภาพที่ 4.8 และตารางที่ ค1

เมื่อเปรียบเทียบกำลังการพองตัวของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง พบว่าแป้งมันเทศเนื้อสีม่วงมีกำลังการพองตัวที่ใกล้เคียงกับสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง โดยกำลังการพองตัว

ของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง มีค่าเท่ากับร้อยละ 13.51 และ13.37 โดยน้ำหนักแห้ง และยังพบอีกว่ากำลังการพองตัวของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง สอดคล้องกับผลการทดลองของ Tian และคณะ (1991) ที่พบว่าสตาร์ชมันเทศมีกำลังการพองตัวอยู่ในช่วงร้อยละ 12.90-39.10 แต่จะมีค่าต่ำกว่าผลการทดลองของ Walter และคณะ (2000) ที่พบว่ากำลังการพองตัวของสตาร์ชมันเทศ 6 สายพันธุ์ที่มีความชื้นแตกต่างกันมีค่าประมาณร้อยละ 24-34.5 เนื่องจากสายพันธุ์ และสภาวะการปลูกมีผลทำให้กำลังการพองตัวแตกต่างกัน (เวชยันต์ ธนบดีภัทร, 2532) นอกจากนี้กำลังการพองตัวของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงยังมีค่าต่ำกว่าสตาร์ชมันสำปะหลัง และมันฝรั่ง เนื่องจากปริมาณฟอสฟอรัสของสตาร์ชมันเทศที่ต่ำกว่า ทำให้ไม่มีแรงผลักกันของประจุลบบริเวณพื้นผิวสตาร์ชที่จะทำให้เกิดการพองตัวที่สูงเช่นเดียวกับสตาร์ชมันสำปะหลัง และมันฝรั่ง (Moorthy, 2002)

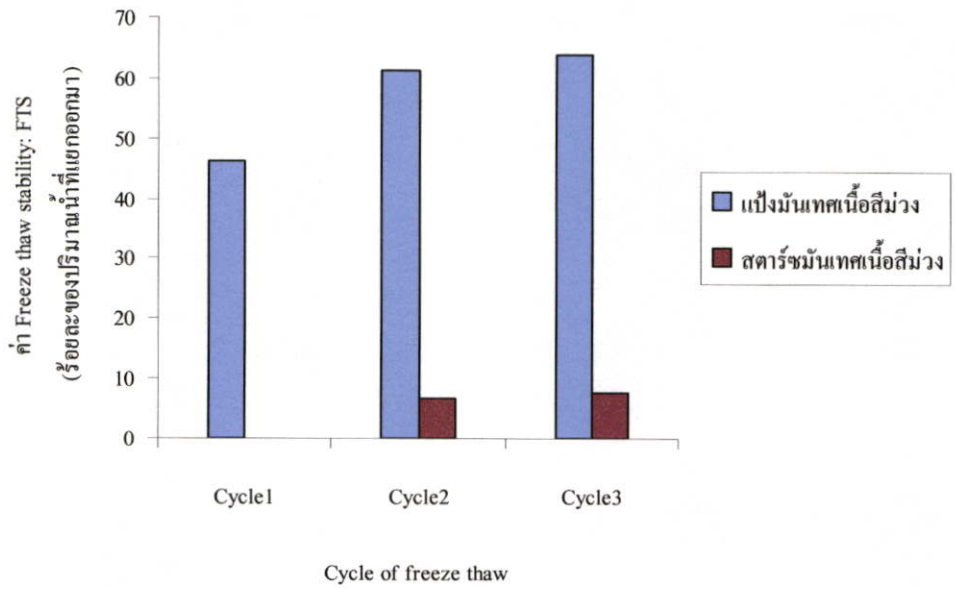
4.3.1.4 ความคงทนต่อแรงเฉือน

การตรวจสอบความคงทนต่อแรงเฉือน (ภาคผนวก ข) เมื่อมีการให้ความร้อนของผสมที่เตรียมจากแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงเข้มข้นร้อยละ 6.67 โดยน้ำหนักแห้งในน้ำไปพร้อมๆกับการกวนที่ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที พบว่าการกวนจะตัดเม็ดแป้งที่พองตัวบางส่วน ทำให้ความหนืดของของผสมลดลง ความคงทนต่อแรงเฉือนแสดงเป็นร้อยละของการเปลี่ยนแปลงความหนืดหลังการให้แรงเฉือนต่อความหนืดก่อนให้แรงเฉือน แสดงผลการทดลองดังภาพที่ 4.8 และตารางที่ ค1

เมื่อเปรียบเทียบความคงทนต่อแรงเฉือนของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง พบว่าแป้งมันเทศเนื้อสีม่วงมีความคงทนต่อแรงเฉือนใกล้เคียงกับสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง โดยมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 17.33 และ16.20 โดยน้ำหนักแห้ง สำหรับปัจจัยที่ส่งผลต่อความคงทนต่อแรงเฉือนคือกำลังการพองตัว โดยถ้ามีกำลังการพองตัวมากหรือพองตัวได้อย่างรวดเร็ว ทำให้มีความคงทนต่อแรงเฉือนต่ำ เนื่องจากแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจะตัดเม็ดแป้งที่พองตัวบางส่วน ทำให้ความหนืดของแป้ง หรือสตาร์ชมันเทศลดลง (Swinkel, 1985) แต่จากผลการทดลองพบว่าแป้งมันเทศเนื้อสีม่วงมีกำลังการพองตัวใกล้เคียงกับสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงจึงมีความคงทนต่อแรงเฉือนใกล้เคียงกัน

4.3.1.5 ความคงทนต่อการแช่แข็งและการละลาย

การทดสอบความคงทนต่อการแช่แข็ง และการละลาย (ภาคผนวก ข) โดยรายงานผลเป็นร้อยละของปริมาณน้ำที่แยกออกมาหลังจากนำของผสมที่เตรียมจากแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร แล้วนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -15 องศาเซลเซียส 7 วัน ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.9 และตารางที่ ค1



ภาพที่ 4.9 ปริมาณ Freeze thaw stability cycle1,2,3 (ร้อยละของปริมาณน้ำที่แยกออกมา) ของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5 ในน้ำ และผ่านการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -15 องศาเซลเซียสโดยเวลา 1 Cycle = 7 วัน

เมื่อเปรียบเทียบความคงทนต่อการแช่แข็ง และการละลายของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง พบว่าแป้งมันเทศเนื้อสีม่วงมีความคงทนต่อการแช่แข็ง และการละลายที่ต่ำกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงทั้ง 3 รอบ ของการแช่แข็ง และการละลาย โดยพิจารณาจากร้อยละของน้ำที่แยกออกมาจากแป้งมันเทศเนื้อสีม่วงที่มีมากกว่าคือ ร้อยละ 46.37-63.88 โดยน้ำหนักแห้ง ส่วนปริมาณน้ำที่แยกออกมาจากสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงมีค่าร้อยละ 0-7.71 โดยน้ำหนักแห้ง นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณน้ำที่แยกออกมาของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงระหว่างการแช่แข็ง และการละลายทั้ง 3 รอบ มีค่าต่ำกว่าผลการทดลองของ Lee และคณะ (2002) ที่พบว่าสตาร์ชมันเทศของเกาหลีมีปริมาณน้ำที่แยกออกมาระหว่างการแช่แข็ง และการละลายทั้ง 3 รอบอยู่ในช่วงร้อยละ 32.2-71.3 โดยน้ำหนักแห้ง และยังพบว่าความคงทนต่อการแช่แข็ง และการละลายของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงมีค่าสูงกว่าสตาร์ชจากธัญพืชบางชนิด โดยพบว่าปริมาณน้ำที่แยกออกมาระหว่างการแช่แข็ง และการละลายทั้ง 3 รอบ ของสตาร์ชถั่ว และสตาร์ชข้าวโพดมีค่าอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 90.1-96 และ 92.3-96.1 โดยน้ำหนักแห้ง (Han and Tyler, 2003) ส่วนสตาร์ชข้าวหอมมะลิจะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 33.67-52.55 โดยน้ำหนักแห้ง แต่พบว่าสตาร์ชข้าวเหนียวจะมีความคงทนต่อการแช่แข็ง และการละลายที่สูงกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง โดยมีปริมาณน้ำที่แยกออกมาระหว่างการแช่แข็ง และการละลายทั้ง 3 รอบอยู่ในช่วงร้อยละ 0-0.27 โดยน้ำหนักแห้ง (Varavinit *et al.*, 2002) ซึ่งผลการทดลองที่ได้แตกต่างจากสตาร์ชจากธัญพืชชนิดอื่นที่กล่าวมาแล้วข้างต้น และยังพบอีกว่า

สตาร์ชมันสำปะหลังจะมีความคงทนต่อการแช่แข็ง และการละลายต่ำกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง โดยมีปริมาณน้ำที่แยกออกมาระหว่างการแช่แข็ง และการละลายทั้ง 3 รอบอยู่ในช่วงร้อยละ 0-23.8 (Deminate *et al.*, 2001) เนื่องจากมันเทศซึ่งเป็นพืชหัวจะมีฟอสฟอรัสภายในสตาร์ชอยู่ในรูปฟอสเฟต (Kasemsuwan and Jane, 1995) โดยจะช่วยชะลอการเกิดรีโทรเกรเดชันที่เกิดจากการลดอุณหภูมิต่ำระหว่างการแช่แข็ง ซึ่งจะทำให้เกิดการแยกของโมเลกุลน้ำอิสระออกมาจากเจลของสตาร์ชมันเทศต่ำ นอกจากนี้ยังพบอีกว่าถ้าเพิ่มจำนวนรอบของการแช่แข็ง และการละลาย ปริมาณน้ำที่แยกออกมาจะมีมากขึ้นทั้งในแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับ Abera และ Rakshit (2003) ที่พบเช่นเดียวกันในสตาร์ชมันสำปะหลัง และยังสอดคล้องกับผลการทดลองของ Chen และคณะ (2003) ที่พบเช่นเดียวกันในสตาร์ชมันเทศของประเทศจีนพันธุ์ Xushu18 Sushu2 และSushu8 อีกทั้งยังพบว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงจะมีความคงทนต่อการแช่แข็ง และการละลายที่ต่ำกว่าสตาร์ชมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์ของประเทศจีน และสตาร์ชมันฝรั่ง แต่จะใกล้เคียงกับสตาร์ชถั่วเขียว

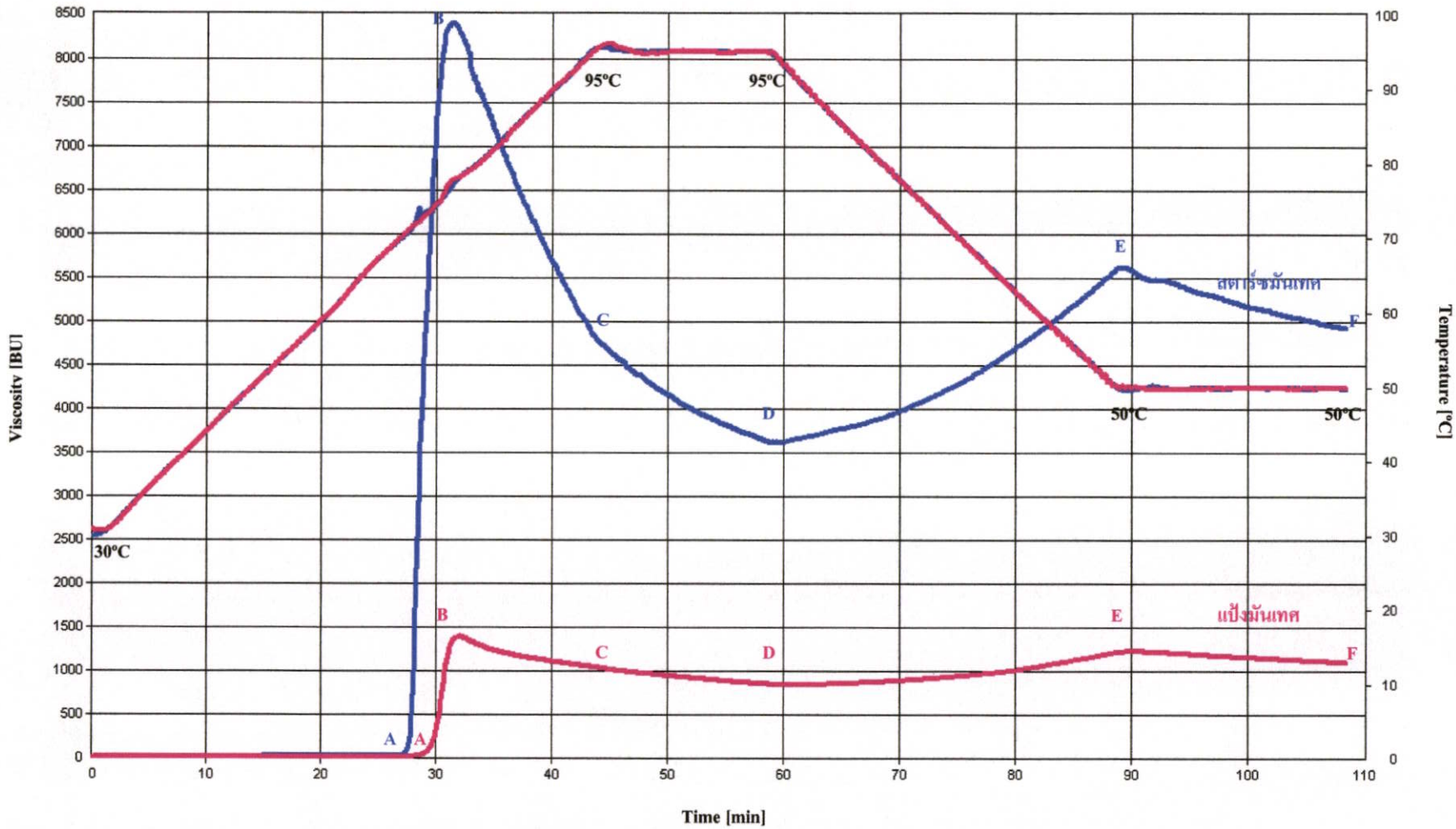
4.3.1.6 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของของผสม (Paste) ที่ผ่านการให้ความร้อนในขณะที่มีการกวนด้วยเครื่องบราเบนเดอร์ วิสโคอะมิโลกราฟ

การตรวจสอบคุณสมบัติความหนืดของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 ในน้ำ (ภาคผนวก ข) โดยการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งมันเทศและสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงในระหว่างการให้ความร้อน และการทำให้เย็น ติดตามผล และแสดงในรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด และอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปในหน่วยความหนืดเป็น Brabender Unit (BU) แสดงผลการทดลองดังภาพที่ 4.10 และค่าความหนืดที่จุดต่างๆแสดงดังตารางที่ 4.8

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติความหนืดของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง พบว่า แป้งมันเทศเนื้อสีม่วงมีอุณหภูมิในการเกิดเจลเท่ากับ 73.18 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงที่มีค่าเท่ากับ 71.38 องศาเซลเซียส ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับ Collado และ Corke (1996) Tian (1996) และOsundahunsi และคณะ (2003) ที่พบว่าแป้งมันเทศมีอุณหภูมิในการเกิดเจลสูงกว่าสตาร์ชมันเทศ และอุณหภูมิในการเกิดเจลของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศอยู่ในช่วง 65-90 องศาเซลเซียส ส่วนกุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ (2535) พบว่าแป้งมันเทศเนื้อสีม่วงมีอุณหภูมิในการเกิดเจลในช่วง 74-95 องศาเซลเซียส ซึ่งจะใกล้เคียงกับผลการทดลองข้างต้นเช่นกัน เนื่องจากแป้งมันเทศมีส่วนของสิ่งเจือปน เช่น โปรตีนที่อยู่บริเวณพื้นผิวเม็ดแป้ง (Wannerberger and Eliasson, 1993) ซึ่งปริมาณโปรตีนมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอุณหภูมิในการเกิดเจล (Lim *et al.*, 1999) ทำให้แป้งมันเทศเนื้อสีม่วงมีอุณหภูมิในการเกิดเจลสูงกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง นอกจากนี้ยังพบว่าการมีปริมาณเส้นใยที่สูงของแป้งมันเทศ ส่งผลให้ขัดขวางการส่งผ่านความร้อน และทำให้การเกิดเจลาทิไนซ์เลื่อนออกไป (Abera and Rakshit, 2003) จึงทำให้อุณหภูมิในการเกิดเจล ของ

แป้งมันเทศเนื้อสีม่วงสูงกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง และเมื่อพิจารณารูปแบบของ Brabender Visco-amylogram พบว่าในช่วงแรกให้ความร้อน กราฟยังไม่แสดงความหนืด เนื่องจากเม็ดแป้งของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงพองตัวน้อย จนกระทั่งถึงจุดอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนค่าความหนืด กราฟจะเริ่มปรากฏความหนืด แสดงว่าเริ่มเกิดเจลาทิไนซ์ โมเลกุลของแป้ง และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงดูดน้ำมากขึ้นทำให้เม็ดแป้งพองตัวมากขึ้นจนน้ำแป้ง และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงเกิดความข้นหนืดมากขึ้น (Singh *et al.*, 2005) จนถึงจุดที่เครื่องสามารถวัดได้ โดยมีความหนืดเริ่มต้นที่ 35.75 BU ในแป้งมันเทศเนื้อสีม่วง และ34.75 BUในสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง และหลังจากจุดที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด พบว่าความหนืดของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงที่จุดต่างๆทั้งในช่วงให้ความร้อน และช่วงให้ความเย็นมีค่าสูงกว่าความหนืดของแป้งมันเทศเนื้อสีม่วง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Jangchud และคณะ (2003) เนื่องจากเม็ดแป้งของสตาร์ชสามารถดูดซับน้ำสูง และเกิดการพองตัวได้อย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำบริเวณรอบๆเม็ดแป้งของสตาร์ชเหลือน้อยลงทำให้เม็ดแป้งของสตาร์ชเคลื่อนไหวได้ยากเกิดความหนืดขึ้นมากกว่า (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเรื่อยๆพบว่าความหนืดสูงขึ้นจนปรากฏเป็นความหนืดสูงสุด โดยจากการทดลองแป้งมันเทศเนื้อสีม่วงมีความหนืดสูงสุดเท่ากับ 1494.50 BU ซึ่งสูงกว่าผลการทดลองของ กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ (2535) ที่พบว่าแป้งมันเทศเนื้อสีม่วงมีความหนืดสูงสุดเท่ากับ 460 BU ส่วนความหนืดสูงสุดของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงจากการทดลองมีค่าเท่ากับ 8018.00 BU และการที่ความหนืดสูงสุดของแป้งมันเทศเนื้อสีม่วง มีค่าต่ำกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงเพราะปริมาณโปรตีนที่มีมากกว่าในแป้งมันเทศ จะทำให้ความหนืดสูงสุดมีค่าต่ำ (Guraya *et al.*, 2003; Wannerberger and Eliasson, 1993) นอกจากนี้ความหนืดสูงสุดที่ต่ำกว่า แสดงให้เห็นว่ามีความสามารถในการทำให้ข้นหนืดต่ำกว่า (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) ดังนั้นแป้งมันเทศเนื้อสีม่วง จึงมีความสามารถในการทำให้ข้นหนืดต่ำกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง หลังจากจุดที่มีความหนืดสูงสุด ความหนืดจะลดลงในช่วงให้ความร้อน เนื่องมาจากแรงเฉือนที่เกิดจากการกวนอย่างต่อเนื่องทำให้เกิดการแตกออกของเม็ดแป้ง ในช่วงที่เกิดการพองตัวขณะให้ความร้อนที่มากกว่าการพองตัวที่เพิ่มขึ้น (Yadav *et al.*, 2006) ทำให้แรงยึดเหนี่ยวของพันธะภายในน้อยลงหรือถูกทำลายจึงทำให้ความหนืดต่ำลง (Jangchud *et al.*, 2003) โดยพบว่าความแตกต่างของความหนืดในช่วงเริ่มต้นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส และจุดสิ้นสุดการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาทีของแป้งมันเทศเนื้อสีม่วงต่ำกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า Gel consistency ของแป้งมันเทศเนื้อสีม่วงมีความสม่ำเสมอมากกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง และเมื่อทำให้เย็นโดยลดอุณหภูมิจนถึง 50 องศาเซลเซียส พบว่าความหนืดของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงมีความหนืดในช่วงนี้เท่ากับ 1354.00 และ5381.75 BU ซึ่งค่าความหนืดของแป้งมันเทศเนื้อสีม่วงจะสูงกว่าผลการทดลองของ กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ (2535) ที่พบว่าแป้งมันเทศเนื้อสีม่วงมีความ

หนืดในช่วงนี้เท่ากับ 595 BU และเมื่อลดอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที พบว่าความหนืดของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงมีแนวโน้มที่ลดลงเล็กน้อย คือมีค่า 1212.25 และ 4773.00 BU แต่ยังคงสูงกว่าในช่วงเริ่มต้นให้ความเย็น เนื่องมาจากแนวโน้มการเกิดรีโทรเกรเดชันโดยกลุ่มไฮดรอกซิลของเม็ดแป้งที่แตกหัก และโมเลกุลอิสระที่ละลายออกมา โดยเฉพาะโมเลกุลของอะมิโลสที่มีการกระจายตัวไม่เป็นระเบียบสามารถปรับตัว และจัดตัวเองให้มีรูปแบบการเรียงตัวที่ขนานและสร้างการรวมตัวกันของส่วนที่ละลายน้ำได้น้อยทำให้เกิดการรวมตัวเป็นเจล(Rincon and Padilla, 2004) นอกจากนี้ความหนืดสุดท้ายของแป้งมันเทศมันเทศเนื้อสีม่วงที่ต่ำกว่า ยังบอกถึงแนวโน้มการเกิดรีโทรเกรเดชันที่ต่ำ หรือช้ากว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง (Grant, 1998) เมื่อพิจารณาค่า Breakdown ซึ่งบอกถึงความแตกต่างของความหนืดสูงสุด และความหนืดต่ำสุด พบว่าแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงมีค่า Breakdown เท่ากับ 518.75 และ4487.50 BU ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการพองของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงสูงกว่าแป้งมันเทศเนื้อสีม่วง เนื่องจากค่า Breakdown ที่สูงกว่าเกิดจากแรงเฉือนจากการกวนอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดการแตกออกของเม็ดแป้งที่เกิดการพองตัวได้สูง หรือรวดเร็วกว่า สอดคล้องกับความข้นหนืดที่สูงกว่าของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงที่เกิดจากการพองตัวที่สูงกว่าข้างต้น เมื่อพิจารณาค่า Setback ซึ่งค่านี้จะบอกถึงผลต่างของความหนืดที่จุดสิ้นสุดการให้ความเย็นกับจุดเริ่มต้นการให้ความเย็น โดยจากผลการทดลองพบว่าค่า Setback ของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงมีค่าเท่ากับ 375.25 และ1845.25 BU จากผลการทดลองข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าแป้งมันเทศเนื้อสีม่วง มีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชันต่ำกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง เนื่องจากมีค่า Setback ที่ต่ำกว่า (Collado and Corke, 1997) รวมถึงยังแสดงถึงการไม่ยึดติดของแป้งเปียกจากแป้งมันเทศเนื้อสีม่วง ที่มากกว่าแป้งเปียกจากสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง (Muyonga *et al.*, 2001) นอกจากนี้ค่า Setback ยังสัมพันธ์กับปริมาณอะมิโลส โดยพบว่าปริมาณอะมิโลสที่ต่ำทำให้มีค่า Setback ที่ต่ำ (Collado and Corke, 1997) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในข้อ 4.1 และ4.2 ที่พบว่าแป้งมันเทศเนื้อสีม่วงมีปริมาณอะมิโลสที่ต่ำกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง ทำให้มีค่า Setback ที่ต่ำกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง เนื่องจากค่า Setback จะเพิ่มขึ้นเมื่ออะมิโลสละลายออกมาจากเม็ดแป้งที่เกิดการพองตัว ระหว่างเกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting) (Lumdubwong and Seib, 2000) ดังนั้นปริมาณอะมิโลสที่มีมากกว่าของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงจึงทำให้มีค่า Setback ที่สูงกว่า นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์แบบผกผันระหว่างปริมาณโปรตีน และค่า Setback (Guraya *et al.*, 2003) จึงทำให้แป้งมันเทศเนื้อสีม่วงซึ่งมีปริมาณโปรตีนที่สูงกว่ามีค่า Setback ที่ต่ำกว่า



ภาพที่ 4.10 กราฟการตรวจสอบความหนืดของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 ในน้ำโดยใช้เครื่อง Brabender Viscoamylograph

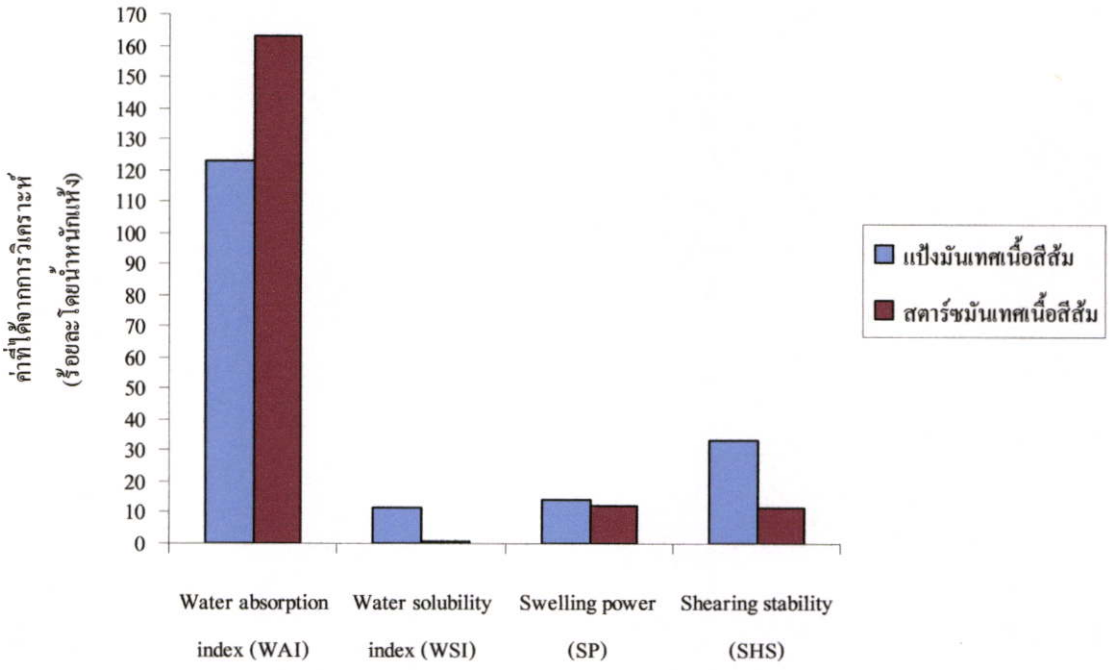
ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าบนเส้นโค้งความหนืดจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดความหนืด (Brabender Viscoamylograph) ของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง

Sample	Gel temp (°C)	Peak temp (°C)	Pasting characteristics (Viscosity: BU)[1]							
			Begin of gel (A)	Peak (B)	Start of hold (C)	Start of cool (D)	End of cool (E)	End of hold (F)	Breakdown (B-D)	Setback (E-D)
Flour	73.18±1.53	79.70±1.68	35.75±3.20	1494.50±109.83	1234.25±205.87	974.50±131.65	1354.00±159.99	1212.25±121.57	518.75±22.69	375.25±26.47
Starch	71.38±1.66	78.28±1.14	34.75±1.71	8018.00±456.27	4799.00±93.15	3526.50±123.53	5381.75±209.73	4773.00±179.19	4487.50±334.73	1845.25±84.92

หมายเหตุ

[1] ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ ± Standard deviation

4.3.2 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการ ของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม



ภาพที่ 4.11 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม

4.3.2.1 ความสามารถในการดูดซับน้ำ

การตรวจสอบความสามารถในการดูดซับน้ำของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม (ภาคผนวก ข) แสดงผลการทดลองดังภาพที่ 4.11 และตารางที่ ค2

เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับน้ำของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม พบว่าแป้งมันเทศเนื้อสีส้มมีความสามารถในการดูดซับน้ำต่ำกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงในข้อ 4.3.1.1 โดยความสามารถในการดูดซับน้ำของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มมีค่าเท่ากับร้อยละ 122.93 และ162.85 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งถือว่ามีความสามารถในการดูดซับน้ำใกล้เคียงกับแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง

4.3.2.2 ความสามารถในการละลายน้ำ

การตรวจสอบความสามารถในการละลายน้ำของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม (ภาคผนวก ข) แสดงผลการทดลองดังภาพที่ 4.11 และตารางที่ ค2

เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการละลายน้ำของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม พบว่าแป้งมันเทศเนื้อสีส้มจะมีความสามารถในการละลายน้ำที่สูงกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม

ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงในข้อ 4.3.1.2 โดยความสามารถในการละลายน้ำของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 11.69 และ 0.68 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับ Jangchud และคณะ (2003) ที่พบว่าแป้งมันเทศเนื้อสีส้มมีความสามารถในการละลายน้ำที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียสสูงกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 34.9 และ20.7 แต่จะสูงกว่าค่าที่ได้จากการทดลองเช่นเดียวกับผลการทดลองของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงในข้อ 4.3.1.2 และพบว่าแป้งมันเทศเนื้อสีส้มมีความสามารถในการละลายน้ำ ใกล้เคียงกับแป้งมันเทศเนื้อสีม่วง ส่วนความสามารถในการละลายน้ำของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มสูงกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง

4.3.2.3 กำลังการพองตัว

การตรวจสอบกำลังการพองตัวของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม(ภาคผนวก ข) แสดงผลดังภาพที่ 4.11 และตารางที่ ค2

เมื่อเปรียบเทียบกำลังการพองตัวของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มจะพบว่าแป้งมันเทศเนื้อสีส้มมีกำลังการพองตัวที่ใกล้เคียงกับสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงในข้อ 4.3.1.3 โดยกำลังการพองตัวของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 14.02 และ12.17 โดยน้ำหนักแห้ง และพบว่ากำลังการพองตัวของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มมีค่าต่ำกว่าผลการทดลองของ Walter และคณะ (2000) นอกจากนี้ยังพบว่ากำลังการพองตัวของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มจะมีค่าต่ำกว่าสตาร์ชมันสำปะหลัง และมันฝรั่ง (Moorthy, 2002) เช่นเดียวกับผลการทดลองของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงในข้อ 4.3.1.3 นอกจากนี้ยังพบว่าแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มมีกำลังการพองตัวใกล้เคียงกับแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง

4.3.2.4 ความคงทนต่อแรงเฉือน

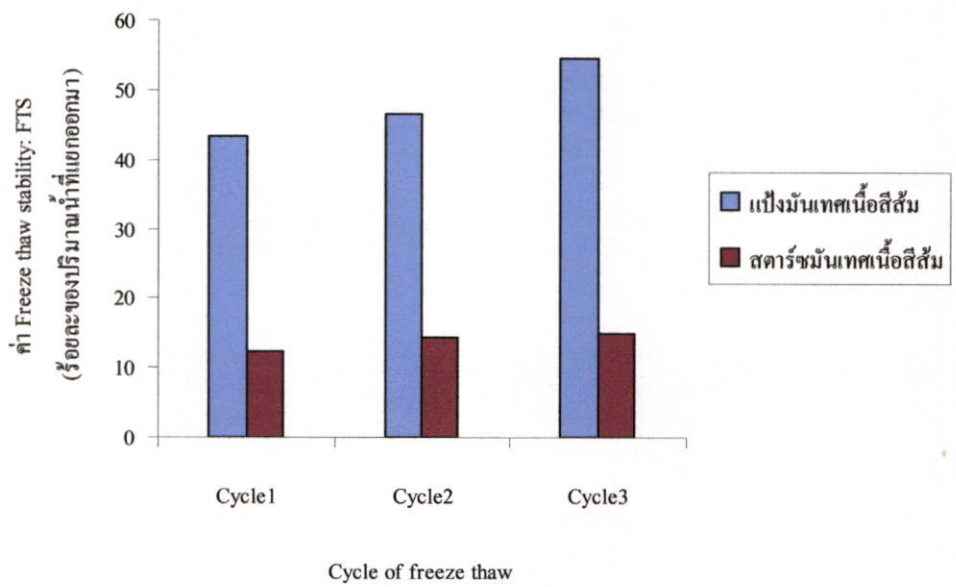
การตรวจสอบความคงทนต่อแรงเฉือนของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม (ภาคผนวก ข) แสดงผลการทดลองดังภาพที่ 4.11 และตารางที่ ค2

เมื่อเปรียบเทียบความคงทนต่อแรงเฉือนของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม พบว่าแป้งมันเทศเนื้อสีส้มมีความคงทนต่อแรงเฉือนสูงกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อส้ม โดยความคงทนต่อแรงเฉือนของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 33.52 และ13.46 โดยน้ำหนักแห้ง เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีบางประการของแป้งมันเทศ เช่น โปรตีน ไขมัน และเส้นใย ที่จะทำหน้าที่ลดแรงเฉือนที่มีต่อเม็ดแป้งของแป้งมันเทศเนื้อสีส้ม ทำให้แป้งมันเทศเนื้อสีส้มมีความคงทนต่อแรงเฉือนสูงกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม และยังพบอีกว่าแป้งมันเทศเนื้อสีส้มมีค่าความคงทนต่อแรงเฉือนสูงกว่าแป้งมันเทศเนื้อสีม่วงอย่างมาก สันนิษฐานว่าอาจเกิดจากปริมาณสตาร์ชที่สูงกว่าของแป้งมันเทศเนื้อสีส้ม และกำลังการพองตัวที่สูงกว่าเล็กน้อยส่งผลให้แป้งมันเทศเนื้อสีส้มเกิดความหนืดขึ้นรวดเร็ว ทำให้สารละลายมีความหนืดมากกว่าแป้งมันเทศเนื้อสีม่วง

และเกิดแรงต้านแรงเฉือนมากกว่าแป้งมันเทศเนื้อสีม่วง ทำให้ความรุนแรงของแรงเฉือนลดน้อยลงมากกว่าแป้งมันเทศเนื้อสีม่วง ส่งผลให้เม็ดแป้งที่พองตัวถูกตัดน้อยกว่าทำให้ความหนืดลดลงไม่มากเลยมีความทนทานต่อแรงเฉือนสูงกว่าแป้งมันเทศเนื้อสีม่วง ส่วนความทนทานต่อแรงเฉือนของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มจะต่ำกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงเล็กน้อย เนื่องจากถึงแม้ว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มจะมีปริมาณสตาร์ชมากกว่า แต่มีกำลังการพองตัวต่ำกว่าทำให้สารละลายที่ได้มีความข้นหนืดต่ำกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงที่มีกำลังการพองตัวสูงกว่า จึงทำให้แรงเฉือนมีความรุนแรงมาก เนื่องจากความหนืดที่ต่ำของสารละลายไม่สามารถลดแรงเฉือนที่สูงได้จึงทำให้ความหนืดของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มลดลงหลังเกิดแรงเฉือนมากกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง ส่งผลให้ความคงทนต่อแรงเฉือนของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มต่ำกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงเล็กน้อย

4.3.2.5 ความคงทนต่อการแช่แข็ง และการละลาย

การทดสอบความคงทนต่อการแช่แข็ง และการละลายของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม (ภาคผนวก ข) แสดงผลการทดลองดังภาพที่ 4.12 และตารางที่ ค2



ภาพที่ 4.12 ปริมาณ Freeze thaw stability cycle1,2,3 (ร้อยละของปริมาณน้ำที่แยกออกมา) ของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5 ในน้ำ และผ่านการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -15 องศาเซลเซียสโดยเวลา 1 cycle = 7 วัน

เมื่อเปรียบเทียบความคงทนต่อการแช่แข็ง และการละลายของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม พบว่าแป้งมันเทศเนื้อสีส้มมีความคงทนต่อการแช่แข็ง และการละลายที่ต่ำกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มทั้ง 3 รอบของการแช่แข็ง และการละลาย ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้อง

กับผลการทดลองของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงในข้อ 4.3.1.5 โดยปริมาณน้ำที่แยกออกมาบ่งบอกถึงความไม่คงทนต่อการแช่แข็ง และการละลาย ซึ่งแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มมีปริมาณน้ำที่แยกออกมาอยู่ระหว่างร้อยละ 43.42-54.57 และ12.25-14.88 โดยน้ำหนักแห้ง และพบว่าปริมาณน้ำที่แยกออกมาของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มระหว่างการแช่แข็ง และการละลายทั้ง 3 รอบมีค่าต่ำกว่าผลการทดลองของ Lee และคณะ (2002) และยังพบว่าความคงทนต่อการแช่แข็ง และการละลายของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มมีค่าสูงกว่าสตาร์ชจากธัญพืชบางชนิด เช่น สตาร์ชถั่ว และสตาร์ชข้าวโพด (Han and Tyler, 2003) และสตาร์ชข้าวหอมมะลิ แต่จะมีค่าต่ำกว่าสตาร์ชข้าวเหนียว (Varavinit *et al.*, 2002) อีกทั้งยังมีค่าสูงกว่าสตาร์ชมันสำปะหลัง (Deminate *et al.*, 2001) เช่นเดียวกับผลการทดลองของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงในข้อ 4.3.1.5 นอกจากนี้ยังพบอีกว่าถ้าเพิ่มจำนวนรอบของการแช่แข็ง และการละลาย ปริมาณน้ำที่แยกออกมาจะมีมากขึ้นทั้งในแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มสอดคล้องกับผลการทดลองของ Abera และ Rakshit (2003) อีกทั้งยังพบว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มจะมีความคงทนต่อการแช่แข็ง และการละลายต่ำกว่าสตาร์ชมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์ของประเทศจีน สตาร์ชมันฝรั่ง และสตาร์ชถั่วเขียว (Chen *et al.*, 2003) และพบว่าความคงทนต่อการแช่แข็ง และการละลายของแป้งมันเทศเนื้อสีส้มมีแนวโน้มสูงกว่าแป้งมันเทศเนื้อสีม่วงส่วนความคงทนต่อการแช่แข็ง และการละลายของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มมีแนวโน้มต่ำกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง

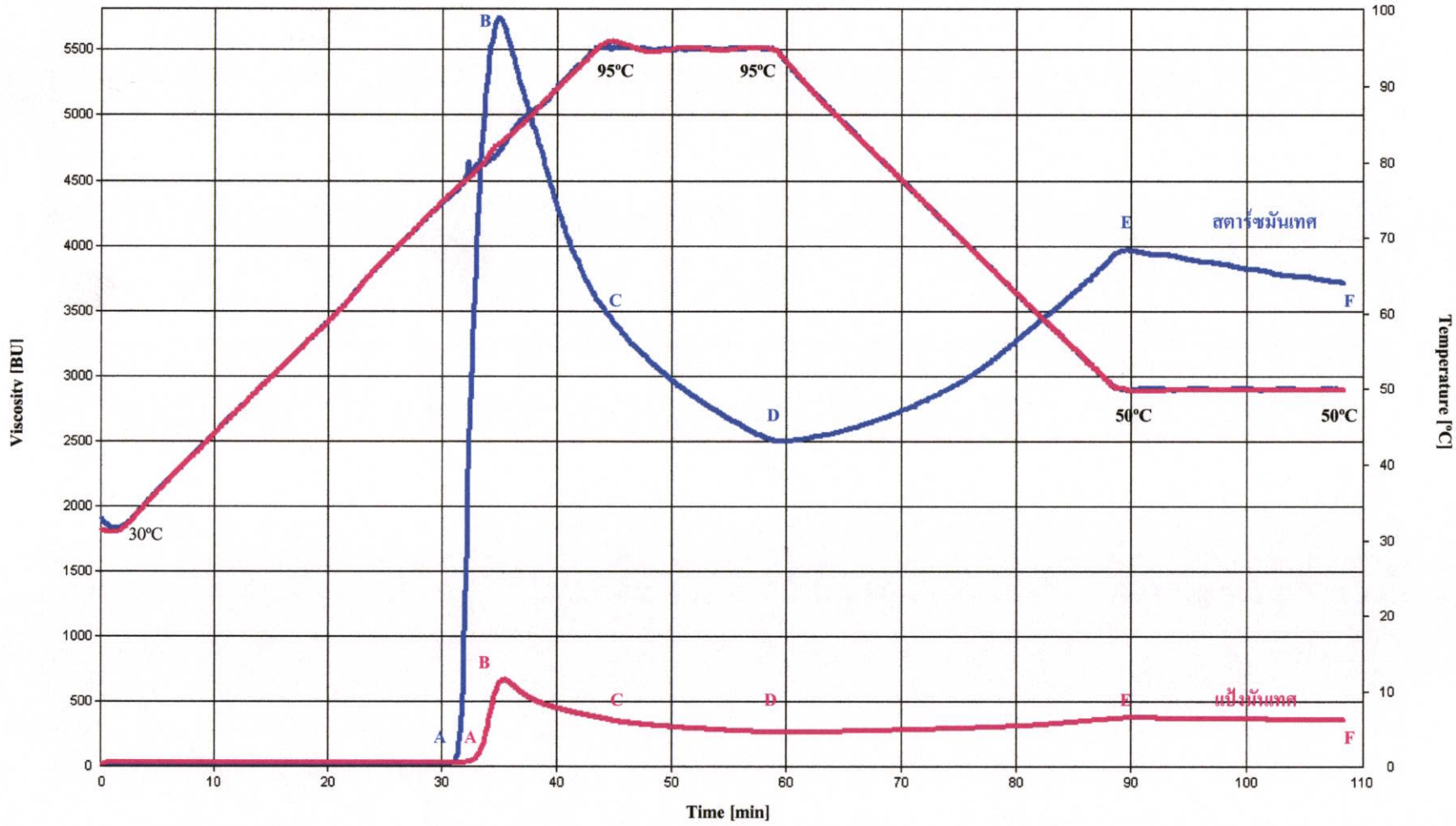
4.3.2.6 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของของผสม (Paste) ที่ผ่านการให้ความร้อนในขณะที่มีการกวนด้วยเครื่องบราเบนเดอร์ วิสโคอะมิโลกราฟ

การตรวจสอบคุณสมบัติความหนืดของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 ในน้ำ (ภาคผนวก ข) แสดงผลการทดลองดังภาพที่ 4.13 และค่าความหนืดที่จุดต่างๆแสดงดังตารางที่ 4.9

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติความหนืดของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มพบว่า แป้งมันเทศเนื้อสีส้มมีอุณหภูมิในการเกิดเจลเท่ากับ 73.85 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มที่มีค่าเท่ากับ 72.25 องศาเซลเซียส ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงในข้อ 4.3.1.6 และพบว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มสอดคล้องกับผลการทดลองของ Collado และ Corke (1996) ที่พบว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลของสตาร์ชมันเทศจะแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์โดยมีค่าในช่วง 69.9-74.2 องศาเซลเซียส และสอดคล้องกับสุภารัตน์ เรืองมณีไพฑูรย์ (2542) ที่พบว่าสตาร์ชมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์ คือ โอกุด CIP11-2 และPIS115-1 ที่ปลูกในประเทศไทยมีอุณหภูมิในการเกิดเจลในช่วง 69.0-78.0 องศาเซลเซียส อีกทั้งยังสอดคล้องกับผลการทดลองของ Walter และคณะ (2000) ที่พบว่าสตาร์ชมันเทศของมันเทศพันธุ์ที่มีความชื้นแตกต่างกันจะมีอุณหภูมิในการเกิดเจลในช่วง 67.0-73.8 องศาเซลเซียส และยังสอดคล้องกับผลการทดลองของเวชยันต์ ธนบดีภัทร (2532) ที่ศึกษาสตาร์ช

มันเทศพันธุ์พื้นเมืองจากประเทศไทย และพบว่ามีอุณหภูมิในการเกิดเจลอยู่ในช่วง 68-81 องศาเซลเซียส แต่มีค่าต่ำกว่าผลการทดลองของ Jangchud และคณะ (2003) ที่พบว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มมีค่าเท่ากับ 80.5 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิในการเกิดเจลของแป้งมันเทศเนื้อสีส้มจะมีค่าต่ำกว่าผลการทดลองของ กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ (2535) ที่พบว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลของแป้งมันเทศเนื้อสีส้มมีค่าประมาณ 75.5-81.0 องศาเซลเซียส และยังจะต่ำกว่าผลทดลองของ Jangchud และคณะ (2003) ที่พบว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลของแป้งมันเทศเนื้อสีส้มมีค่าเท่ากับ 80.4 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มมีค่าใกล้เคียงกับแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง แต่มีค่ามากกว่าเล็กน้อย และเมื่อพิจารณารูปแบบของ Brabender Visco-amylogram พบว่าความหนืดเริ่มต้นของแป้งมันเทศเนื้อสีส้มมีค่าเท่ากับ 37.5 BU ส่วนสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มที่มีค่าเท่ากับ 31.75 BU นอกจากนี้ยังพบว่าแป้งมันเทศเนื้อสีส้มยังมีความหนืดเริ่มต้นที่สูงกว่าแป้งมันเทศเนื้อสีม่วง ส่วนสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงจะมีความหนืดเริ่มต้นที่สูงกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม หลังจากจุดความหนืดเริ่มต้นพบว่าความหนืดที่จุดต่างๆของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มทั้งในช่วงให้ความร้อน และช่วงให้ความเย็นมีค่าสูงกว่าความหนืดของแป้งมันเทศเนื้อสีส้ม ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงในข้อ 4.3.1.6 และ Jangchud และคณะ (2003) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเรื่อยๆพบว่าความหนืดสูงขึ้นจนปรากฏเป็นความหนืดสูงสุด โดยพบว่าแป้งมันเทศเนื้อสีส้มมีค่าความหนืดสูงสุดเท่ากับ 604.75 BU ซึ่งมีค่าต่ำกว่าผลการทดลองของ กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ (2535) ที่พบว่าแป้งมันเทศเนื้อส้มมีค่าความหนืดสูงสุดเท่ากับ 915 BU ส่วนความหนืดสูงสุดของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มจากการทดลองมีค่าเท่ากับ 6601.25 BU โดยความหนืดสูงสุดที่ต่ำกว่า แสดงให้เห็นว่ามีความสามารถในการทำให้ข้นหนืดต่ำกว่า (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) ดังนั้นแป้งมันเทศเนื้อสีส้ม จึงมีความสามารถในการทำให้ข้นหนืดต่ำกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม และยังพบอีกว่าแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มมีความสามารถในการทำให้ข้นหนืดต่ำกว่าแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง หลังจากจุดที่มีความหนืดสูงสุดความหนืดจะลดลงในช่วงให้ความร้อน โดยพบว่าความแตกต่างของความหนืดในช่วงเริ่มต้นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส และจุดสิ้นสุดการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาทีของแป้งมันเทศเนื้อสีส้มต่ำกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม ซึ่งแสดงให้เห็นว่า Gel consistency ของแป้งมันเทศเนื้อสีส้มมีความสม่ำเสมอมากกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม สอดคล้องกับผลการทดลองของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงในข้อ 4.3.1.6 สำหรับในช่วงให้ความเย็นจนถึง 50 องศาเซลเซียส ความหนืดของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มจะเพิ่มขึ้นโดยมีค่าเท่ากับ 250.00 และ 4172.75 BU ซึ่งความหนืดของแป้งมันเทศเนื้อสีส้มที่ได้มีค่าต่ำกว่าผลการทดลองของ กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ (2535) ที่พบว่ามีความหนืดจุดนี้เท่ากับ 610 BU และเมื่อคงอุณหภูมิไว้ที่ 50 องศาเซลเซียส 20 นาที พบว่าความหนืดลดลงเล็กน้อย แต่ก็ยังมากกว่าช่วงเริ่มต้นให้ความเย็น โดยมีค่าความ

หนืดสุดท้ายของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม เท่ากับ 241.75 และ3842.25 BU ซึ่งค่าความหนืดสุดท้ายที่ต่ำกว่า แสดงแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชันที่ต่ำกว่า หรือช้ากว่า (Grant, 1998) จึงสรุปได้ว่าแป้งมันเทศเนื้อสีส้มมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชันที่ต่ำกว่า หรือช้ากว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม และยังพบว่าแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม จะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชันที่ต่ำกว่า หรือช้ากว่าแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง และเมื่อพิจารณาค่า Breakdown พบว่าแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มมีค่า Breakdown เท่ากับ 429.50 และ 3805.00 BU ซึ่งค่า Breakdown ที่สูงกว่าของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม แสดงให้เห็นว่าการพองของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มสูงกว่าแป้งมันเทศเนื้อสีส้ม สอดคล้องกับความข้นหนืดที่สูงกว่าของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มที่เกิดจากการพองตัวที่สูงกว่าข้างต้น และสอดคล้องกับผลการทดลองของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงในข้อ 4.3.1.6 เมื่อพิจารณาค่า Setback ของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม มีค่าเท่ากับ 74.50 และ1368.75 BU ซึ่งค่า Setback ที่น้อยกว่าแสดงถึงแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชันที่ต่ำกว่า (Collado and Corke, 1997) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแป้งมันเทศเนื้อสีส้มมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชันที่ต่ำกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม และยังพบว่าแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มต่ำกว่าแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง ซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนืดสุดท้ายที่กล่าวข้างต้น



ภาพที่ 4.13 กราฟการตรวจสอบความหนืดของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 ในน้ำโดยใช้เครื่อง Brabender Viscoamylograph

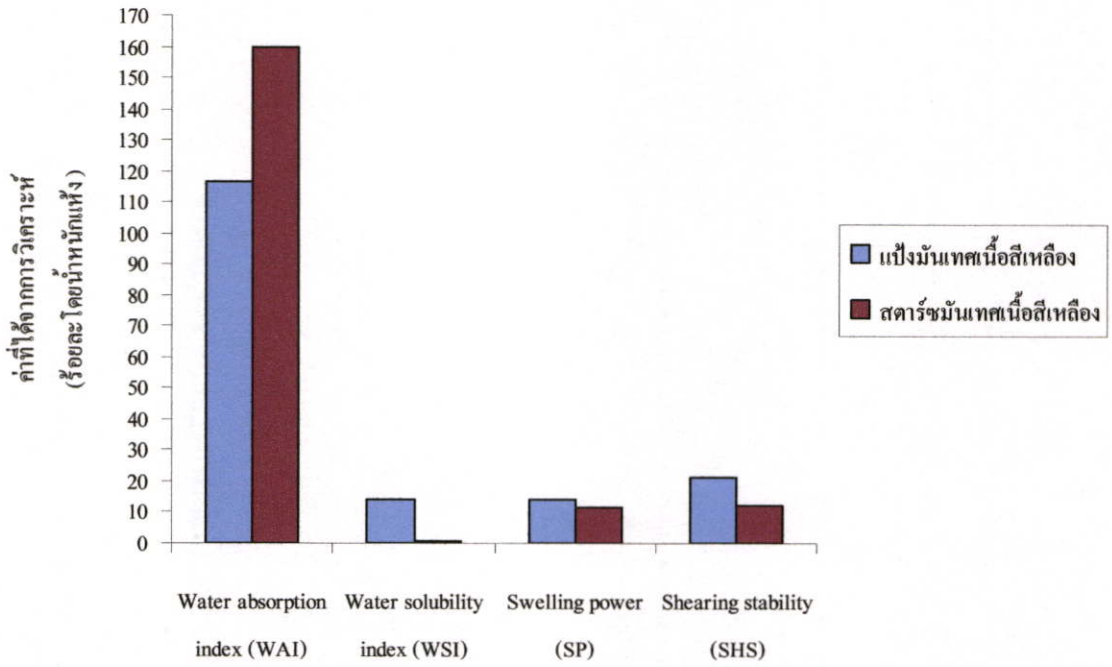
ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าบนเส้นโค้งความหนืดจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดความหนืด (Brabender Viscoamylograph) ของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม

Sample	Gel temp (°C)	Peak temp (°C)	Pasting characteristics (Viscosity: BU)[1]							
			Begin of gel (A)	Peak (B)	Start of hold (C)	Start of cool (D)	End of cool (E)	End of hold (F)	Breakdown (B-D)	Setback (E-D)
Flour	73.85±4.68	79.28±4.13	37.50±3.11	604.75±52.12	248.75±139.01	175.00±94.13	250.00±125.77	241.75±123.83	429.50±45.84	74.50±31.20
Starch	72.25±4.10	78.88±2.98	31.75±1.71	6601.25±980.68	4044.00±516.01	2792.25±316.33	4172.75±283.34	3842.25±144.02	3805.00±664.87	1368.75±33.46

หมายเหตุ

[1] ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ ± Standard deviation

4.3.3 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง



ภาพที่ 4.14 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง

4.3.3.1 ความสามารถในการดูดซับน้ำ

การตรวจสอบความสามารถในการดูดซับน้ำของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง (ภาคผนวก ข) แสดงผลการทดลองดังภาพที่ 4.14 และตารางที่ ค3

เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับน้ำของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง พบว่าแป้งมันเทศเนื้อสีเหลืองจะมีความสามารถในการดูดซับน้ำต่ำกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง และเนื้อสีส้มในข้อ 4.3.1.1 และ4.3.2.1 โดยความสามารถในการดูดซับน้ำของแป้งมันเทศและสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองมีค่าเท่ากับร้อยละ 116.35 และ159.96 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งพบว่าความสามารถในการดูดซับน้ำของแป้งมันเทศเนื้อสีเหลืองจะต่ำกว่าแป้งมันเทศเนื้อสีม่วง และเนื้อสีส้ม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแป้งมันเทศเนื้อสีเหลืองมีปริมาณไขมัน และโปรตีนที่สูงกว่าซึ่งสิ่งเจือปนดังกล่าวจะขัดขวางการดูดซับน้ำเข้าภายในเม็ดแป้งมันเทศ (จิตรา เศรษฐอุดม, 2528) ส่วนความสามารถในการดูดซับน้ำของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองกับสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง และเนื้อสีส้มมีค่าใกล้เคียงกัน

4.3.3.2 ความสามารถในการละลายน้ำ

การตรวจสอบความสามารถในการละลายน้ำ ของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง (ภาคผนวก ข) แสดงผลการทดลองดังภาพที่ 4.14 และตารางที่ ค3

เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการละลายน้ำของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง พบว่าแป้งมันเทศเนื้อสีเหลืองจะมีความสามารถในการละลายน้ำที่สูงกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง และเนื้อสีส้มในข้อ 4.3.1.2 และ4.3.2.2 โดยความสามารถในการละลายน้ำของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 14.36 และ 0.58 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งถือว่าแป้งมันเทศเนื้อสีเหลืองมีความสามารถในการละลายน้ำสูงกว่าแป้งมันเทศเนื้อสีม่วง และเนื้อสีส้ม ส่วนความสามารถในการละลายน้ำของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง มีค่าสูงกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง แต่จะใกล้เคียงกับสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม

4.3.3.3 กำลังการพองตัว

การตรวจสอบกำลังการพองตัวของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง (ภาคผนวก ข) แสดงผลดังภาพที่ 4.14 และตารางที่ ค3

เมื่อเปรียบเทียบกำลังการพองตัวของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง พบว่าแป้งมันเทศเนื้อสีเหลืองมีกำลังการพองตัวใกล้เคียงกับสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง และเนื้อสีส้มในข้อ 4.3.1.3 และ4.3.2.3 โดยกำลังการพองตัวของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง มีค่าเท่ากับร้อยละ 13.99 และ11.70 โดยน้ำหนักแห้ง และพบว่ากำลังการพองตัวของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองที่ได้มีค่าต่ำกว่าผลการทดลองของ Walter และคณะ (2000) และจะต่ำกว่าสตาร์ชมันสำปะหลัง และมันฝรั่ง (Moorthy, 2002) เช่นเดียวกับผลการทดลองของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง และเนื้อสีส้มในข้อ 4.3.1.3 และ4.3.2.3 และถือว่าแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองมีกำลังการพองตัวใกล้เคียงกับแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง และเนื้อสีส้ม

4.3.3.4 ความคงทนต่อแรงเฉือน

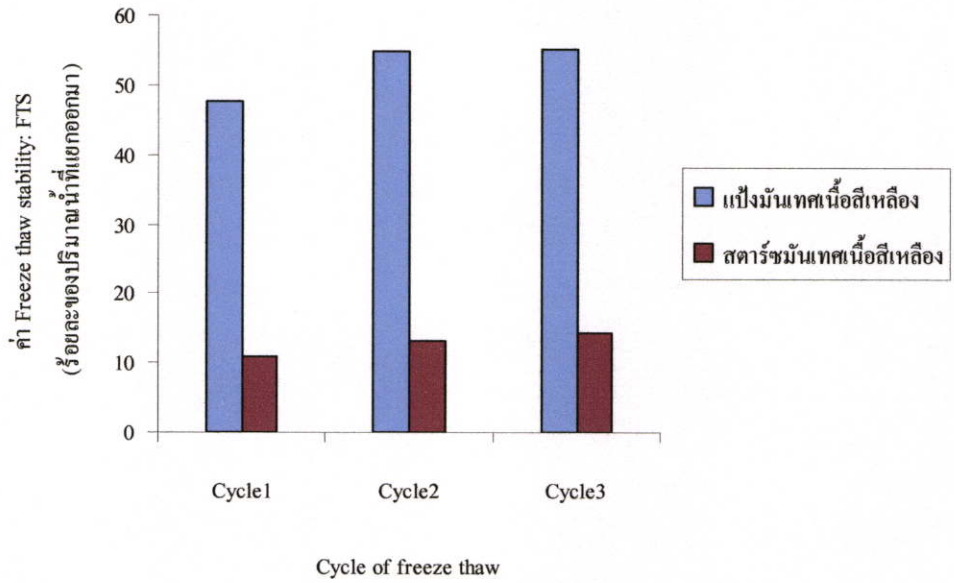
การตรวจสอบความคงทนต่อแรงเฉือนของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อเหลือง (ภาคผนวก ข) แสดงผลการทดลองดังภาพที่ 4.14 และตารางที่ ค3

เมื่อเปรียบเทียบความคงทนต่อแรงเฉือนของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง พบว่าแป้งมันเทศเนื้อสีเหลืองจะมีความคงทนต่อแรงเฉือนสูงกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อเหลือง ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มในข้อ 4.3.2.4 โดยความคงทนต่อแรงเฉือนของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองมีค่าเท่ากับร้อยละ 21.15 และ12.33 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งถือว่าแป้งมันเทศเนื้อสีเหลืองมีค่าความคงทนต่อแรงเฉือนสูงกว่าแป้งมันเทศเนื้อสีม่วง แต่น้อยกว่าแป้งมันเทศเนื้อสีส้ม เนื่องจากแป้งมันเทศเนื้อสี

เหลืองมีกำลังการพองตัวอยู่ในระดับปานกลาง ทำให้ความข้นหนืดปานกลางจึงมีแรงต้านต่อแรงเฉือนปานกลาง และการลดลงของความหนืดปานกลางส่วนความคงทนต่อแรงเฉือนของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองมีค่าใกล้เคียงกับสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มแต่น้อยกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง

4.3.3.5 ความคงทนต่อการแช่แข็ง และการละลาย

การทดสอบความคงทนต่อการแช่แข็ง และการละลายของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง (ภาคผนวก ข) แสดงผลการทดลองดังภาพที่ 4.15 และตารางที่ ค3



ภาพที่ 4.15 ปริมาณ Freeze thaw stability cycle1,2,3 (ร้อยละของปริมาณน้ำที่แยกออกมา) ของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5 ในน้ำ และผ่านการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -15 องศาเซลเซียสโดยเวลา 1 cycle = 7 วัน

เมื่อเปรียบเทียบความคงทนต่อการแช่แข็ง และการละลายของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง จะพบว่าแป้งมันเทศเนื้อสีเหลืองมีความคงทนต่อการแช่แข็ง และการละลายที่ต่ำกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองทั้ง 3 รอบของการแช่แข็ง และการละลาย ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง และเนื้อสีส้มในข้อ 4.3.1.5 และ4.3.2.5 โดยปริมาณน้ำที่แยกออกมาบ่งบอกถึงความไม่คงทนต่อการแช่แข็ง และการละลาย ซึ่งแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองมีปริมาณน้ำที่แยกออกมาระหว่างร้อยละ 47.72-55.12 และ11.05-14.33 โดยน้ำหนักแห้ง และพบว่าปริมาณน้ำที่แยกออกมาของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองมีค่าต่ำกว่าผลการทดลองของ Lee และคณะ (2002) และความคงทนต่อการแช่แข็ง และการละลายของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองจะมีค่าสูงกว่าสตาร์ชจากธัญพืชบางชนิด เช่น สตาร์ชถั่ว และสตาร์ชข้าวโพด (Han and Tyler, 2003) รวมถึงสตาร์ชข้าวหอมมะลิ แต่จะต่ำกว่าสตาร์ช

ข้าวเหนียว (Varavinit *et al.*, 2002) อีกทั้งยังมีค่าสูงกว่าสตาร์ชมันสำปะหลัง (Deminate *et al.*, 2001) เช่นเดียวกับผลการทดลองของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง และเนื้อสีส้มในข้อ 4.3.1.5 และ 4.3.2.5 นอกจากนี้ยังพบอีกว่าถ้าเพิ่มจำนวนรอบของการแช่แข็ง และการละลาย ปริมาณน้ำที่แยกออกมาจะมีมากขึ้นทั้งในแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองสอดคล้องกับผลการทดลองของ Abera และ Rakshit (2003) อีกทั้งยังพบว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองจะมีความคงทนต่อการแช่แข็ง และการละลายต่ำกว่าสตาร์ชมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์ของประเทศจีน สตาร์ชมันฝรั่ง และสตาร์ชถั่วเขียว (Chen *et al.*, 2003) และถือว่าความคงทนต่อการแช่แข็ง และการละลายของแป้งมันเทศเนื้อสีเหลืองมีแนวโน้มสูงกว่าแป้งมันเทศเนื้อสีม่วง แต่ต่ำกว่าแป้งมันเทศเนื้อสีส้ม ส่วนความคงทนต่อการแช่แข็ง และการละลายของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองต่ำกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง แต่จะใกล้เคียงกับสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม

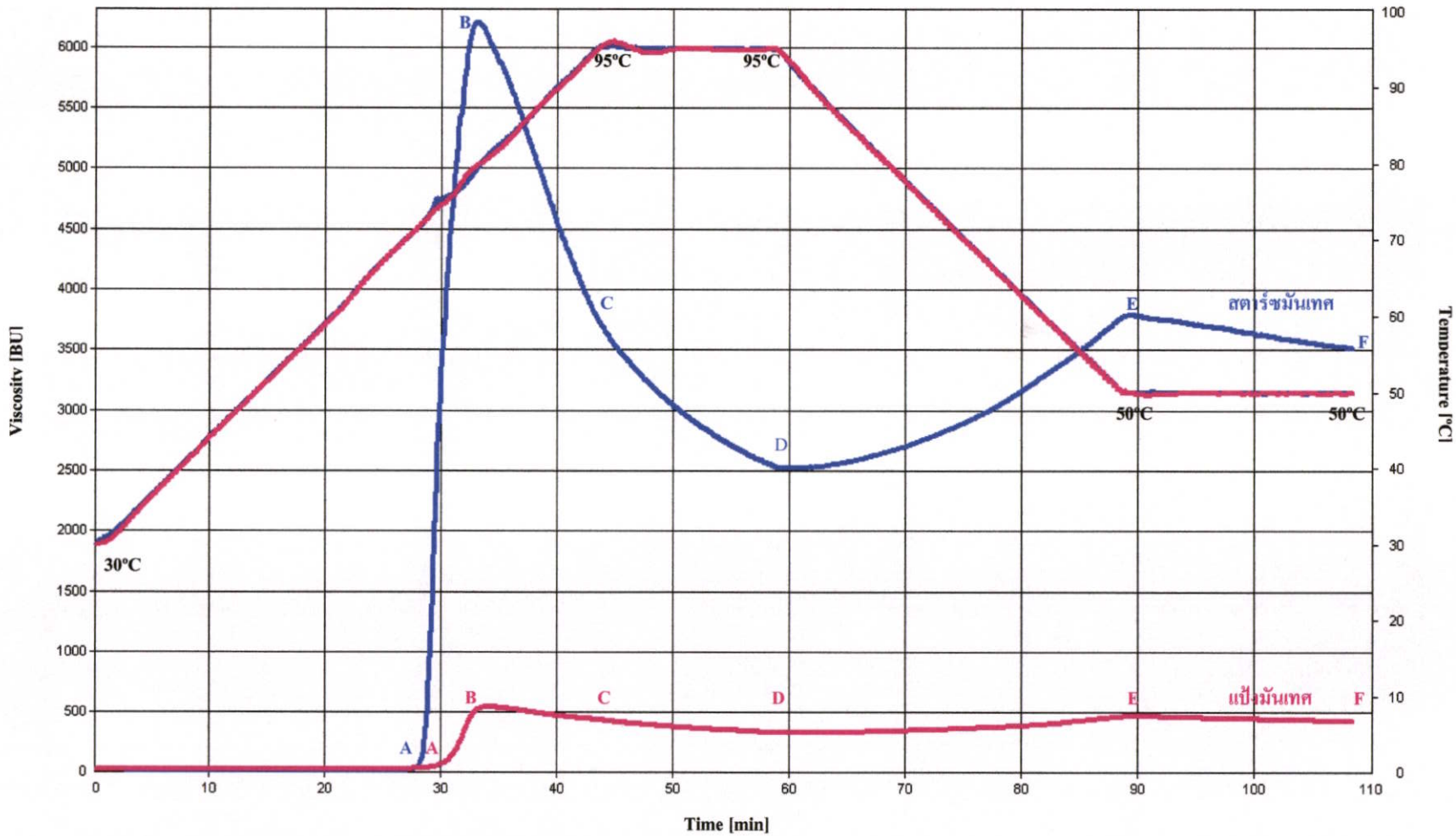
4.3.3.6 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของของผสม (Paste) ที่ผ่านการให้ความร้อนในขณะที่มีการกวนด้วยเครื่องบราเบนเดอร์ วิสโคอะมิโลกราฟ

การตรวจสอบคุณสมบัติด้านความหนืดของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 ในน้ำ (ภาคผนวก ข) แสดงผลการทดลองดังภาพที่ 4.16 และค่าความหนืดที่จุดต่างๆแสดงดังตารางที่ 4.10

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านความหนืดของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง พบว่าแป้งมันเทศเนื้อสีเหลืองมีอุณหภูมิในการเกิดเจลเท่ากับ 73.53 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองที่มีค่า 71.13 องศาเซลเซียส ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง และเนื้อสีส้ม ในข้อ 4.3.1.6 และ4.3.2.6 และอุณหภูมิในการเกิดเจลของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองสอดคล้องกับผลการทดลองของ Collado และ Corke (1996) สุภารัตน์ เรืองมณีไพฑูรย์ (2542) Walter และคณะ (2000) และเวชยันต์ ธนบดีภัทร (2532) เช่นเดียวกับผลการทดลองของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มในข้อ 4.3.2.6 แต่ต่ำกว่าผลการทดลองของสุภารัตน์ เรืองมณีไพฑูรย์ และคณะ (2530) ที่พบว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองมีค่าประมาณ 79-81 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิในการเกิดเจล ของแป้งมันเทศเนื้อสีเหลืองมีค่าสอดคล้องกับผลการทดลองของ กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ (2535) ที่พบว่าแป้งมันเทศเนื้อสีเหลืองมีอุณหภูมิในการเกิดเจลประมาณ 71-84 องศาเซลเซียส นอกจากนี้พบว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองมีค่าใกล้เคียงกับแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง และเนื้อสีส้มในข้อ 4.3.1.6 และ4.3.2.6 เมื่อพิจารณารูปแบบของ Brabender Visco-amylogram พบว่าความหนืดเริ่มต้นของแป้งมันเทศเนื้อสีเหลืองมีค่าเท่ากับ 35 BU ซึ่งมากกว่าความหนืดเริ่มต้นของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองที่มีค่าเท่ากับ 32.25 BU สอดคล้องกับผลการทดลองของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง และเนื้อสีส้มในข้อ 4.3.1.6 และ4.3.2.6 และยังพบว่าแป้งมันเทศเนื้อสีเหลืองมีความหนืดเริ่มต้นที่ใกล้เคียงกับแป้งมันเทศเนื้อสีม่วง แต่มีค่าต่ำกว่า

แป้งมันเทศเนื้อสีส้ม เนื่องจากแป้งมันเทศเนื้อสีเหลืองมีกำลังการพองตัวที่ต่ำกว่าแป้งมันเทศเนื้อสีส้ม ส่วนสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองมีความหนืดเริ่มต้นที่ใกล้เคียงกับสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม แต่จะต่ำกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง เนื่องจากสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงมีกำลังการพองตัวสูงกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม และเนื้อสีเหลือง หลังจากจุดความหนืดเริ่มต้น พบว่าความหนืดของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองที่จุดต่างๆทั้งในช่วงให้ความร้อน และช่วงให้ความเย็นมีค่าสูงกว่าความหนืดของแป้งมันเทศเนื้อสีเหลือง ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง และเนื้อสีส้มในข้อ 4.3.1.6 และ4.3.2.6 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเรื่อยๆพบว่าความหนืดสูงขึ้นจนปรากฏเป็นความหนืดสูงสุด โดยแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองมีความหนืดสูงสุดเท่ากับ 562.25 และ6289.50 BU ซึ่งค่าความหนืดสูงสุดของแป้งมันเทศเนื้อสีเหลืองมีค่าต่ำกว่าผลการทดลองของ กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ (2535) ที่พบว่าแป้งมันเทศเนื้อสีเหลืองมีความหนืดสูงสุดเท่ากับ 680 BU ส่วนค่าความหนืดสูงสุดของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองมีค่าสูงกว่าผลการทดลองของ สุภารัตน์ เรืองมณีไพฑูรย์ และคณะ (2530) ที่พบว่าความหนืดสูงสุดของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองมีค่าเท่า กับ 862.5 BU ซึ่งความหนืดสูงสุดที่ต่ำกว่าแสดงให้เห็นว่ามีความสามารถในการทำให้ข้นหนืดต่ำกว่า (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) ดังนั้นแป้งมันเทศเนื้อสีเหลือง จึงมีความสามารถในการทำให้ข้นหนืดต่ำกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง และยังพบอีกว่าแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองมีความสามารถในการทำให้ข้นหนืดที่ต่ำกว่าแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง และเนื้อสีส้ม หลังจากจุดที่มีความหนืดสูงสุด ความหนืดจะลดลงในช่วงให้ความร้อน โดยพบว่าความแตกต่างของความหนืดในช่วงเริ่มต้นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส และจุดสิ้นสุดการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาทีของแป้งมันเทศเนื้อสีเหลืองต่ำกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า Gel consistency ของแป้งมันเทศเนื้อสีเหลืองมีความสม่ำเสมอมากกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง สอดคล้องกับผลการทดลองของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง และเนื้อสีส้มในข้อ 4.3.1.6 และ4.3.2.6 สำหรับในช่วงให้ความเย็นจนถึง 50 องศาเซลเซียส ความหนืดของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองจะเพิ่มขึ้นโดยมีค่าเท่ากับ 393.25 และ3827.00 BU ซึ่งความหนืดที่จุดนี้ของแป้งมันเทศเนื้อสีเหลืองมีค่าต่ำกว่าผลการทดลองของ กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ (2335) ที่พบว่าแป้งมันเทศเนื้อสีเหลืองมีค่าความหนืดจุดนี้เท่ากับ 460 BU ส่วนความหนืดของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองมีค่าสูงกว่าผลการทดลองของ สุภารัตน์ เรืองมณีไพฑูรย์ และคณะ (2530) ที่พบว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองมีค่าความหนืดที่จุดนี้เท่ากับ 1123 BU และเมื่อคงอุณหภูมิไว้ที่ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที พบว่าความหนืดจะลดลงเล็กน้อยแต่ก็ยังสูงกว่าช่วงเริ่มต้นให้ความเย็น โดยมีค่าความหนืดสุดท้ายเท่ากับ 371.00 และ3614.50 BU ซึ่งค่าความหนืดสุดท้ายที่ต่ำกว่า แสดงถึงแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชันที่ต่ำกว่าหรือช้ากว่า (Grant, 1998) จึงสรุปได้ว่าแป้งมันเทศเนื้อสีเหลืองมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชันที่ต่ำกว่า หรือช้ากว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง นอกจากนี้ยังพบว่า

แป้งมันเทศเนื้อสีเหลือง จะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชันที่ต่ำกว่า หรือช้ากว่าแป้งมันเทศเนื้อสีม่วงแต่สูงกว่า และเร็วกว่าแป้งมันเทศเนื้อสีส้ม ส่วนความหนืดสุดท้ายของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองมีค่าต่ำที่สุด แสดงว่ามีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชันที่ต่ำที่สุด และเมื่อพิจารณาค่า Breakdown พบว่าแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองมีค่า Breakdown เท่ากับ 281.50 และ 3688.50 BU ซึ่งค่า Breakdown ที่สูงกว่าของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง แสดงให้เห็นว่าการพองของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองสูงกว่าแป้งมันเทศเนื้อสีเหลือง สอดคล้องกับความข้นหนืดที่สูงกว่าของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองที่เกิดจากการพองตัวที่สูงกว่าข้างต้น และสอดคล้องกับผลการทดลองของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง และเนื้อสีส้ม ในข้อ 4.3.1.6 และ4.3.2.6 ส่วนค่า Setback ของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองมีค่าเท่ากับ 111.75 และ1218.00 BU ซึ่งค่า Setback ที่น้อยกว่าจะแสดงถึงแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชันที่ต่ำกว่า (Collado and Corke, 1997) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแป้งมันเทศเนื้อสีเหลือง จะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชันที่ต่ำกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง และยังพบอีกว่าแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งมันเทศเนื้อสีเหลืองต่ำกว่าแป้งมันเทศเนื้อสีม่วง แต่สูงกว่าแป้งมันเทศเนื้อสีส้ม ส่วนสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองจะมีค่า Setback ที่ต่ำที่สุดแสดงว่าแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองต่ำที่สุดสอดคล้องกับค่าความหนืดสุดท้ายที่กล่าวมาแล้วข้างต้น



ภาพที่ 4.16 กราฟการตรวจสอบความหนืดของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 ในน้ำโดยใช้เครื่อง Brabender Viscoamylograph

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าบนเส้นโค้งความหนืดจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดความหนืด (Brabender Viscoamylograph) ของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง

Sample	Gel temp (°C)	Peak temp (°C)	Pasting characteristics (Viscosity: BU)[1]							
			Begin of gel (A)	Peak (B)	Start of hold (C)	Start of cool (D)	End of cool (E)	End of hold (F)	Breakdown (B-D)	Setback (E-D)
Flour	73.53±0.74	80.33±0.55	35.00±5.35	562.25±23.94	377.00±71.61	280.50±60.65	393.25±76.57	371.00±61.27	281.50±83.93	111.75±16.64
Starch	71.13±0.95	78.95±0.84	32.25±2.63	6289.50±147.87	3811.00±44.70	2601.25±74.40	3827.00±96.63	3614.50±138.00	3688.50±84.40	1218.00±25.81

หมายเหตุ

[1] ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ ± Standard deviation

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

1. การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีบางประการ และลักษณะเม็ดแป้งของแป้งมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์ พบว่าสายพันธุ์ที่แตกต่างกันมีผลทำให้องค์ประกอบทางเคมีบางประการของแป้งมันเทศ เช่น ความชื้น โปรตีน ไขมัน สตาร์ช และอะมิโลส แตกต่างกัน ส่วนลักษณะเม็ดแป้งของแป้งมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์ มีส่วนของเส้นใย และโปรตีนเกาะเกี่ยวอยู่กับพื้นผิวเม็ดแป้ง ส่วนใหญ่เม็ดแป้งจะมีรูปร่าง กลม และหลายเหลี่ยม ส่วนรูปไข่ และระฆังจะพบเป็นส่วนน้อย และแป้งมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์มีขนาดอนุภาคเม็ดแป้งใกล้เคียงกัน โดยแป้งมันเทศเนื้อสีเหลืองจะมีขนาดอนุภาคเม็ดแป้ง 8-38 ไมครอน ส่วนแป้งมันเทศเนื้อสีม่วง และเนื้อสีส้ม จะมีขนาดอนุภาคเม็ดแป้งใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงระหว่าง 9-31 ไมครอน

2. การศึกษากระบวนการผลิตสตาร์ชมันเทศ โดยทำให้แป้งมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์มีความบริสุทธิ์มากขึ้นพบว่าการใช้น้ำ และสารเคมี ทำให้ปริมาณ Yield ของสตาร์ชที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในสตาร์ชมันเทศแต่ละสายพันธุ์ นอกจากนี้ยังพบว่าทำให้ปริมาณโปรตีน และร้อยละของประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง แต่การใช้น้ำ และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ สกัดสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้มทำให้มีปริมาณโปรตีนต่ำ และร้อยละของประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนสูงกว่าการใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ส่วนการใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล ทำให้ปริมาณสตาร์ชมีค่าต่ำที่สุด นอกจากนี้ยังทำลายพื้นผิวเม็ดแป้งให้เป็นรอยขรุขระ และเกิดรอยแยก ส่วนการใช้น้ำ และการใช้สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ ในการสกัดสตาร์ชจะไม่มีผลต่อการทำลายพื้นผิวเม็ดแป้งของสตาร์ชมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์ จากผลการทดลองข้างต้นสรุปได้ว่าควรเลือกใช้ น้ำ ในการสกัดสตาร์ชมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์ เนื่องจากทำให้สตาร์ชมันเทศมีความบริสุทธิ์สูง และไม่แตกต่างจากการใช้สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์ อีกทั้งบริเวณพื้นผิวเม็ดแป้งของสตาร์ชจะไม่ถูกทำลาย หรือเกิดรอยแยก และต้นทุนในการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมยังต่ำกว่า การใช้สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น 3.12 มิลลิโมลาร์

3. การศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของสตาร์ชมันเทศ แต่ละสายพันธุ์ที่ได้จากการแยกโปรตีนออกจากแป้งมันเทศโดยใช้น้ำกับแป้งมันเทศแต่ละสายพันธุ์ จะพบแนวโน้มเดียวกันในมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์ คือแป้งมันเทศมีความสามารถในการดูดซับน้ำ และ

ความคงทนต่อการแช่แข็ง และการละลายต่ำกว่าสตาร์ชมันเทศ ส่วนสตาร์ชมันเทศมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำกว่าแป้งมันเทศ นอกจากนี้กำลังการพองตัวของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศจะใกล้เคียงกัน และพบว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม จะมีความคงทนต่อแรงเฉือนต่ำกว่าแป้งมันเทศเนื้อสีส้ม ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของมันเทศเนื้อสีเหลือง แต่แตกต่างจากผลการทดลองของมันเทศเนื้อสีม่วงที่พบว่าแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงมีความคงทนต่อแรงเฉือนใกล้เคียงกัน

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของแป้งมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์พบว่า แป้งมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์มีกำลังการพองตัวที่ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ยังพบว่าแป้งมันเทศเนื้อสีม่วง และเนื้อสีส้มมีความสามารถในการดูดซับน้ำใกล้เคียงกัน และสูงกว่าแป้งมันเทศเนื้อสีเหลือง ส่วนความสามารถในการละลายน้ำของแป้งมันเทศเนื้อสีม่วง และเนื้อสีส้มก็มีค่าใกล้เคียงกัน แต่จะต่ำกว่าแป้งมันเทศเนื้อสีเหลือง สำหรับความคงทนต่อแรงเฉือน และความคงทนต่อการแช่แข็ง และการละลายของแป้งมันเทศเนื้อสีส้มมีค่าสูงที่สุด ส่วนแป้งมันเทศเนื้อสีม่วงมีค่าต่ำที่สุด

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของสตาร์ชมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์ พบว่าสตาร์ชมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์มีความสามารถในการดูดซับน้ำ และกำลังการพองตัวที่ใกล้เคียงกัน แต่สตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม และเนื้อสีเหลืองจะมีความสามารถในการละลายน้ำที่สูงกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง และมีความคงทนต่อแรงเฉือน ความคงทนต่อการแช่แข็ง และการละลายที่ต่ำกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง

4. การเปลี่ยนแปลงความหนืดของของผสม (Paste) ที่ผ่านการให้ความร้อนในขณะที่มีการกวนด้วยเครื่อง Brabender Viscoamylograph จะพบแนวโน้มเดียวกันในมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์ คือ อุณหภูมิในการเกิดเจล และความหนืดเริ่มต้นของแป้งมันเทศจะสูงกว่าสตาร์ชมันเทศ ส่วนความหนืดของสตาร์ชมันเทศที่จุดต่างๆทั้งในช่วงให้ความร้อน และช่วงให้ความเย็นจะสูงกว่าความหนืดของแป้งมันเทศ และเมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติความหนืดของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์จะพบเช่นเดียวกันว่า แป้งมันเทศมีความสามารถในการทำให้ข้นหนืด แนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชัน และการพองตัวที่ต่ำกว่าสตาร์ชมันเทศ แต่จะมี Gel consistency ที่ค่อนข้างสม่ำเสมอกว่าสตาร์ชมันเทศ

การเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านความหนืดของแป้งมันเทศ ทั้ง 3 สายพันธุ์ พบว่าแป้งมันเทศเนื้อสีม่วงมีความสามารถในการทำให้ข้นหนืดที่สูงกว่า และมี Gel consistency ที่ไม่สม่ำเสมอกว่าแป้งมันเทศเนื้อสีส้ม และเนื้อสีเหลือง ส่วนแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งมันเทศเนื้อสีส้มจะต่ำกว่าแป้งมันเทศเนื้อสีเหลือง และเนื้อสีม่วง

การเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์ พบว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วงมีความสามารถในการทำให้ข้นหนืดที่สูงกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม และเนื้อสีเหลือง ส่วน Gel consistency ของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลืองจะค่อนข้างสม่ำเสมอกว่าสตาร์ชมัน

เทศเนื้อสีม่วง และเนื้อสีส้ม ส่วนแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง จะต่ำกว่าสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม และเนื้อสีม่วง

ข้อเสนอแนะ

การพิจารณาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของสตาร์ชมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์ พบว่าถ้าปริมาณความเข้มข้นของสตาร์ชมันเทศที่ค่อนข้างต่ำ น่าจะเหมาะในการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความข้นหนืดที่สูงโดยจะทำหน้าที่เป็น Thickening agent ในผลิตภัณฑ์พวก ซุป และซอสต่างๆ แต่ถ้าปริมาณความเข้มข้นของสตาร์ชมันเทศที่ค่อนข้างสูงน่าจะเหมาะในการนำไปใช้ทำบะหมี่ เนื่องจากมีความสามารถในการดูดซับน้ำสูงทำให้เกิดการพองตัว และมีความหนืดที่ค่อนข้างสูงทำให้ผลิตภัณฑ์มีความเหนียวนุ่ม ยืดหยุ่น และไม่แข็งกระด้าง นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์พวก Frozen ที่ต้องการความคงทนต่อการแช่แข็ง และการละลายที่สูงอีกด้วย

บรรณานุกรม

กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปียะจอมขวัญ. 2546. **เทคโนโลยีของแป้ง**. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 303 น.

กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์. 2535. "การใช้แป้งมันเทศพันธุ์พื้นเมืองในผลิตภัณฑ์คุกกี้." วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กฤษฎา สัมพันธารักษ์. 2541. **พฤกษศาสตร์พืชเศรษฐกิจ.** กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 220 น.

คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2542. **พืชเศรษฐกิจ**. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 471 น.

จิตรา เศรษฐอุดม. 2528. "ผลของตัวแปรในกระบวนการผลิตต่อคุณภาพของแป้งมันฝรั่งที่ปลูกในประเทศไทย." วิยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ. 2540. "การศึกษาการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเขียว." วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ธีรวัฒน์ เทพใจกาศ. 2545. "การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวที่มีคุณค่าทางโภชนาการจากแป้งมันเทศและเนื้อปลาป่น." วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2545. **เคมีอาหาร**. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, 487 น.

พีรศักดิ์ วรสุนทโรสถ. 2544. **ทรัพยากรพืชในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ 9 :พืชที่ให้คาร์โบไฮเดรตที่ไม่เมล็ด**. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี: โรงพิมพ์สหมิตรพริ้นติ้ง, 299 น.

ยุทธนา พิมลศิริผล. 2545. "การพัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวอบแห้งจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันเทศ." วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เวชยันต์ ธนบดีภัทร. 2532. "ผลของตัวแปรในการผลิต และสมบัติทางกายภาพเคมีของแป้งจากมันเทศที่ปลูกในประเทศไทย." วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วุฒิชัย นาครักษา. 2526. "การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของพันธุ์ถั่วเขียวที่เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์." วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วุฒิชัย นาครักษา. 2529. "การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชจากเผือกเพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม." **วารสารเกษตรพระจอมเกล้า**. 4(1): 16-33.

วินัด ภูมินาถ. 2545. สารซัลไฟต์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอาหาร.**วารสารอาหาร**. 32(4): 235-239.

วรรณา ตุลยธัญ, พรสิน แซ่โกว, และ ภรณี ลิมปิสุต. 2538. **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศิริพร โอวาทพารพร. 2532. "การผลิตอาหารว่างจากมันเทศโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน." วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุภารัตน์ เรืองมณีไพฑูรย์, สมจิตร นิยมไทย, มัณฑนา ร่วมรักษ์ และสมยศ จรรยาวิลาศ. 2528 "การใช้มันเทศทำผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูปและกึ่งสำเร็จรูป." **ในรายงานผลการวิจัยประจำปี 2528-2530**, 1-53. กรุงเทพมหานคร: สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุภารัตน์ เรืองมณีไพฑูรย์, สมจิต นิยมไทย, น้อย สาริกะภูติ และมาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงษ์. 2530. "การผลิตและคุณสมบัติบางประการของแป้งมันเทศ." **ในรายงานผลการวิจัยประจำปี 2530**, 1-34. กรุงเทพมหานคร: สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุภารัตน์ เรืองมณีไพฑูรย์, สมจิต นิยมไทย, สมโภชน์ ใหญ่เอี่ยม และชุมสาย สีลวานิช. 2533. "การวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อการตรวจสอบคุณภาพและการสกัดแป้งจากมันเทศพันธุ์ต่างๆที่ปลูกในประเทศไทย." **ในรายงานผลงานวิจัยโครงการ Used of sweet potato starch and flour in food Processing**, 37-61. กรุงเทพมหานคร: สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุภารัตน์ เรืองมณีไพฑูรย์. 2542. "การศึกษาเปรียบเทียบสตาร์ชมันเทศกับสตาร์ชชนิดอื่นในการผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปชนิดทอด." **วารสารเกษตรศาสตร์**. 33(3): 452-460.

สายสุนีย์ เบญจเทพานันท์. 2546. "ผลของคาร์ราจีแนน แป้งสาคู และแป้งมันเทศต่อคุณภาพของไส้กรอกลดไขมัน." วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อัจฉรา คลวิทยาคุณ. 2544. "การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งมันเทศเคลือบปรุงแต่งกลิ่นรส." วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Abera, S., and Rakshit, S.K. 2003. "Comparison of Physicochemical and Functional Properties of Cassava Starch Extracted From Fresh Root and Dry Chip." **Starch/Stärke**. 55: 287-296.

AOAC. 2000. Association of Official Analytical Chemists, 17th ed. Washington, D.C.: Association of Official Chemist, Inc.

Baldwin, P.M. 2001. "Starch Granule-Associated Proteins and Polypeptides: A Review." **Starch/Stärke**. 53: 475-503.

Biss, R., and Cogan, U. 1996. "Sulfur Dioxide in Acid Environment Facilitates Corn Steeping." **Cereal Chem**. 73(1): 40-44.

Boundy, J.A.; Turner, J.E.; Wall, J.S.; and Dimler, R.J. 1967. "Influence of Commercial Processing on Composition and Properties of Corn Zein. **Cereal Chem**. 44: 281-287.

Boyaci, I.H.; Williams, P.C.; and Köksel, H. 2004. "A Rapid Method for the Estimation of Damaged Starch in Wheat Flours." **J. Cereal Sci.** 39: 139-145.

Brabet. C.; Reynoso, D.; Dufour, D.; Mestres, C.; Arredondo, J.; and Scott, G. 1997. "Starch Content and Properties of 106 Sweetpotato Clones from the World Germplasm Collection Held at CIP, Peru." **CIP Program Report**. 279-286.

Brautlecht, C.A. 1953. **Starch Its Sources, Production and Uses**. Reinhold Publishing Corporation. 408 p.

Chai, J.; Loha, V.; Prokop, A.; and Tanner, R.D. 1998. "Effect of Bubble Velocity and pH Step Changes on the Foam Fractionation of Sporamin." **J. Agri. Food Chem**. 46: 2868-2872.

Chen, Z.; Schols, H.A.; and Voragen, A.G.J. 2003. "Physicochemical Properties of Starches Obtained from Three Varieties of Chinese Sweet Potatoes." **J. Food Sci**. 68(2): 431-437.

Cherry, J.; Ko, S.; Grainger, R.; Prokop, A.; and Tanner, R.D. 2000. "Developing an Objective Function to Characterize the Tradeoffs in Salting Out and the Foam and Droplet Fractionation Processes." **Braz. J. Chem. Eng**. 17(2): 1-9.

Chiou, H.; Martin, M.; and Fitzgerald, M. 2002. "Effect of Purification Methods on Rice Starch Structure." **Starch/Stärke**. 54: 415-420.

Cobishley, D.A. 1984. "Topioca, Arrowroot and Sago Starches Production." In Whistler, R.L.; Bemiller, J.N.; and Pashell, E.F., eds. **Starch: Chemistry and Technology**, 469-478. New York: Academic Press.

Collado, L.S., and Corke, H. 1996. "Use of Wheat-Sweetpotato Composite Flours in Yellow-Alkaline and in White-Salted Noodles." **Cereal Chem**. 73(4): 444-499.

Collado, L.S., and Corke, H. 1997. "Properties of Starch Noodles as Affected by Sweet Potato Genotype." **Cereal Chem**. 74(2): 182-187.

Collado, L.S.; Mabesa, R.C.; and Croke, H. 1999. "Genetic Variation in the Physical Properties of Sweet Potato Starch." **J. Agric. Food Chem**. 47(10): 4195-4201.

Demiate, I.M.; Oetterer, M.; and Wosiacki, G. 2001. "Characterization of Chestnut (*Castanea sativa*, Mill) Starch for Industrial Utilization." **Braz. Arch. Biol. Technol**. 44(1): 1-14.

Ferrero, C.; Martino, M.N.; and Zaritzky, N.E. 1993. "Stability of Frozen Starch Pastes: Effect of Freezing, Storage and Xanthan Gum Addition." **J. Food Processing and Preservation**. 17: 191-211.

Florence, T.M. 1980. "Degradation of Protein Disulfide Bonds in Dilute Alkalie." **Biochemical Journal**. 189: 507-520.

Fuglie, K.O. 2004. "Challenging Bennet's Law: The New Economics of Starchy Staples in Asia." **Food Policy**. 29: 187–202.

Garcia, A.M., and Walter, W.M.Jr. 1998. "Physicochemical Characterization of Starch From Peruvian Sweetpotato Selections." **Starch/Stärke**. 50(8): 331-337.

Gerhard, B., and Scheider, H. 1999. **Industrial Inorganic Chemicals and Products : An Ullmann's Encyclopedia**. Weinheim: Wiley-VCH.

Grace, M.R. 1977. **Cassava Processing**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Grant, L.A. 1998. "Effects of Starch Isolation, Drying and Grinding Techniques on Its Gelatinization and Retrogradation Properties." **Cereal Chem**. 75(5): 590-594.

Guraya, H.S.; James, C.; and Champagne, E.T. 2003. "Physical Basis for Separation of Rice Starch Using Various Density Gradient Systems and Its Effect on Starch Recovery, Purity, and Pasting Properties." **Starch/Stärke**. 55: 450-456.

Han, J.Y., and Tyler, R.T. 2003. "Characterization of Pea Starches in the Presence of Alkali and Borax." **Starch/Stärke**. 55: 457-463.

Harada, K.; Kano, M.; Takayanagi, T.; Yamakawa, O.; and Ishikawa, F. 2004. "Absorption of Acylated Anthocyanins in Rats and Humans after Ingesting and Extract of *Ipomoea batatas* Purple Sweet Potato Tuber." **Biosci. Biotechnol. Biochem**. 67(8): 1500-1507.

Hoover, R. 2001. "Composition, Molecular Structure, and Physicochemical Properties of Tuber and Root Starches: A Review." **Carbohydrate Polymers**. 45: 253-267.

Ishiguro, K.; Noda, T.; and Yamakawa, O. 2003. "Effect of Cultivation Conditions on Retrogradation of Sweetpotato Starch." **Starch/Stärke**. 55: 564-568.

Jangchud, K.; Phimolsiripol, Y.; and Haruthaithanasan, V. 2003. "Physicochemical Properties of Sweet Potato Flour and Starch as Affected by Blanching and Processing." **Starch/Stärke**. 55: 258-264.

Ji, Y.; Seetharaman, K.; and White, P.J. 2004. "Optimizing a Small-Scale Corn-Starch Extraction Method for Use in the Laboratory." **Cereal Chem**. 81(1): 55-58.

Jianjun, H. 2004. "The Effects of Processing Technology on Sweetpotato Starch Yield and Quality." In Fuglie, K.O., andHermann, M., eds. **Sweetpotato Post-Harvest Research and Development in China**, 127-140. Indonesia: International Potato Center (CIP).

Juliano, B.O. 1971. "A Simplified Assay for Milled-Rice Amylose." **Cereal Science Today**. 16(10): 334-340, 360.

Kasemsuwan, T., and Jane, J. 1995. "Location of Amylose in Normal Starch Granules. II Location of Phosphodiester Cross-Linking Revealed by Phosphorous-31 Nuclear Magnetic Resonance." **Cereal Chem**. 72: 169-176.

Klaushofer, H.; Berghofer, E.; and Neugeschwandtner, E. 1975. "On Determination of Shearing Stability of Starch Pastes". **Starch/Stärke**. 27: 185-192.

Lee, M.H.; Baek, M.H.; Cha, D.S.; Park, H.J.; and Lim, S.T. 2002. Freeze-Thaw Stabilization of Sweet Potato Starch Gel by Polysaccharide Gums. **Food Hydrocolloids**. 16: 345-352.

Lim, W.J.; Liang, Y.T.; Seib, P.A.; and Rao, C.S. 1992. "Isolation of Oat Starch from Oat Flour." **Cereal Chem**. 69(3): 233-236.

Lim, S.T.; Lee, J.H.; Shin, D.H.; and Lim, H.S. 1999. "Comparison of Protein Extraction Solutions for Rice Starch Isolation and Effects of Residual Protein on Starch Pasting Properties." **Starch/Stärke**. 51(4): 120-125.

Lumdubwong, N., and Seib, P.A. 2000. "Rice Starch Isolation by Alkaline Protease Digestion of Wet-milled Rice Flour." **J. Cereal Sci**. 31: 63-74.

Moorthy, S.N. 2002. "Physicochemical and Functional Properties of Tropical Tuber Starches: A Review." **Starch/Stärke**. 54: 559-592.

Muyonga, J.H.; Ramteke, R.S.; and Elipeson, W.E. 2001. "Prehydration Steaming Changes-Physico-Chemical Properties of Unripe Banana Flour." **J. Food Processing and Preservation**. 25: 35-47.

Myers, D.J., and Fox, S.R. 1994. "Alkali Wet-milling Characteristics of Pearled and Unpearled Amaranth Seed." **Cereal Chem**. 71(1): 96-99.

Narkrugsa, W. 1990. Herstellung von Stärke derivaten durch Heissextrusion. Dissertationarbeit an der Universitat fur Bodenkultur, Wien.

Narkrugsa, W. 1996. "Changes in Some Physicochemical Properties of Tapioca and Glutinous Rice Starches after Microwave Heating." **Kasetsart J**. 30(4): 532-538.

Olomo, V., and Ajibola, O. 2003. "Processing Factors Affecting the Yield and Physicochemical Properties of Starch from Cassava Chips and Flour." **Starch/Stärke**. 55: 476-481.

Osundahunsi, O.F.; Fagbemi, T.N.; Kesselman, E.; and Shimoni, E. 2003. "Comparision of the Physicochemical Properties and Pasting Characteristics of Flour and Starch from Red and White Sweet Potato Cultivars." **J. Agric. Food Chem**. 51(8): 2232-2236.

Owori, C., and Hagenimana, V. 2000. "Quality Evaluation of Sweetpotato Flour Processed in Direct Agro-Ecological Sites Using Small Scale Processing Technologies." **African Potato Association Conference Proceedings**. 5: 783-490.

Péréz, O.E.; Haros,M.; and Suarez, C. 2001. "Corn Steeping: Influence of Time and Lactic Acid on Isolation and Thermal Properties of Starch." **J. Food En**. 48: 251-256.

Rani, V.S.; John, J.K.; Moorthy, S.N.; and Raja, K.C.M. 1998. "Effect of Pretreatment of Fresh *Amorphophallus paeoniifolius* on Physicochemical Properties of Starch." **Starch/Stärke**. 50(2-3):72-77.

Reungmaneepaitoon, S. 1997. "Root and Tuber Processing (Sweetpotato)." **In Training Course on Agricultural Products Processing and Quality Control**, 1-3. Bangkok: Institute of Food Research and Product Development. Kasetsart University.

Rincón, A.M., and Padilla, F.C. 2004. "Physicochemical Properties of Breadfruit (Artocarpus Altilis) Starch from Margarita Island, Venezuela." **ALAN**. 54(4): 1-13.

Rupp, P.L.C., and Schwartz. 1988. Characterization of the Action of *Bacillus subtilis* Alpha-Amylase on Sweet Potato Starch, Amylase and Amylopectin. **J. Food Biochem**. 191-203.

Sajeev, M.S.; Moorthy, S.N.; Kailappan, R.; and Rani, V.S. 2003. "Gelatinisation Characteristics of Cassava Starch Settled in the Presence of Different Chemicals." **Starch/Stärke**. 55: 213-221.

Sathe, S.K., and Salunkhe, D.K. 1981. "Isolation Partial Characterization and Modification of the Great Northern Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Starch." **J. Food Sci**. 42(2): 617-621.

Schoch, T.J. 1964. "Swelling Power and Solubility of Granular Starches." In Whistler, R.L., Smith R.J., and BeMiller, J.N. eds. **Methods in Carbohydrates Chemistry**, 106-108. Vol. IV, New York: Academic Press.

Schoch, T.J. 1968. "Effect of Freezing and Cold Storage on Paste Starches." **The Freezing Preservation of Foods**. 14: 44-56.

Schoch, T.J., and Maywald, E.C. 1968. "Preparation and Properties of Various Legume Starches." **Cereal Chem.** 45(11): 564-573.

Shewry, P.R. 2003. "Tuber Storage Proteins." **Anals of Botany**. 91: 755-769.

Singh, N.; Sandhu, K.S.; and Kaur, M. 2005. "Physicochemical Properties Including Granular Morphology, Amylose Content, Swelling and Solubility, Thermal and Pasting Properties of Starches from Normal, Waxy, High Amylose and Sugary Corn." **Progess in Food Biopolymer Research**. 1: 43-54.

Smith, R.J. 1979. **Food Carbohydrate**. The AVI Publishing Co., Westort, Connecticut, 416 p.

Spigno, G.; Molteni, R.; and Faveri, D.M.D. 2003. "Rice Starch: Optimization of Extraction Method and Study of Gelatinization Kinetic by Non-Isothermal Calorimetric Analysis." [Online]. Available: http://www.acidic.it/icheap6/webpapers/10% 20 Spigno.pdf

Sulaiman, B.D., and Morrison, W.R. 1995. "Protein Associated with the Surface of Wheat Starch Granules Purified by Centrifuging through Caesium Chloride." **J. Cereal Sci**. 12: 53-61.

Takeda, Y.; Tokunaga, N.; Takeda, C.; and Hizukuri, S. 1986. "Physicochemical Properties of Sweet Potato Starches." **Starch/Stärke**. 38: 345-350.

Tester, R.F., and Karkalas, J. 2001. "The Effect of Enviromental Conditions on the Structural Features and Physico-Chemical Properties of Starches." **Starch/Stärke**. 53: 513-519.

Tester, R.F.; Karkalas, J.; and Qi, X. 2004. "Starch-Composition, Fine Structure and Architecture." **J. Cereal Sci**. 39: 151-165.

Tian, S.J.; Rickard, J.E.; and Blanshard, J.M.V. 1991. "Physicochemical Properties of Sweet Potato Starch." **J. Sci. Food Agric**. 57: 459-491.

Tian, S.J. 1996. Ph.D. Thesis, University of Nottingham.

Toyama, J.; Ishiguro, K.; Noda, T.; Kumagai, T.; and Yamakawa, O. 2003. "Influence of Delayed Harvest Time on Physicochemical Properties of Sweetpotato Starch." **Starch/Stärke**. 55: 558-563.

Tulyathan, V.; Tananuwong, K.; Songjinda, P.; and Jaiboon, N. 2002. "Some Physicochemical Properties of Jackfruit (*Artocarpus heterrophyllus* Lam) Seed Flour and Starch." **Science Asia** .28: 37-41.

Umerie, S.C.; Obi, N.A.N.; and Okafor, E.O. 1997. "Isolation and Characterization of Starch from *Cyperus esculentus* Tubers." **Bioresource Technology**. 62: 63-65.

Varavinit, S.; Shobsngob, S.; Varanyanond, W.; Chinachoti, P.; and Naivikul, O. 2002. "Freezing and Thawing Conditions Affect the Gel Stability of Different Varieties of Rice Flour." **Starch/Stärke**. 54: 31-36.

Verwimp, T.; Vandeputte, G.E.; Marrant, K.; and Delcour, J.A. 2004. "Isolation and Characterization of Rye Starch." **J Cereal Sci**. 39: 85-90.

Villareal, R.L., and Griggs, T.D. 1982. **Sweet Potato, Proceeding of the First International Symposium**.Tainan: Hong Wen Printing Works, 481 p.

Walter, W.M.Jr.; Truong, V.D.; Wiesenborn, D.P.; and Carvajal, P. 2000. "Pheological and Physicochemical Properties of Starches from Moist-and Dry-Type Sweetpotatoes." **J. Agric. Food Chem**. 48(7): 2937-2942.

Wang, F.C.; Chung, D.S.; Seib, P.A.; and Kim, Y.S. 2000. "Optimum Steeping Process for Wet Milling of Sorghum." **Cereal Chem**. 77: 478-483.

Wang, L., and Wang, Y.J. 2004. "Rice Starch Isolation by Neutral Protease and High–Intensity Ultrasound." **J. Cereal Sci**. 39: 291-296.

Wannerberger, L. and Eliasson, A.C. 1993. "Differential Scanning Calorimetry Studies on Rye Flour-Milling Streams." **Cereal Chem**. 70: 196-198.

Yang, P., and Sieb, P. 1996. "Wet milling of Grain Sorghum Using a Short Steeping Period." **Cereal Chem**. 73: 751-755.

Zhao, J., and Whistler, R.L. 1994. "Isolation and Characterization of Starch from Amaranth Flour." **Cereal Chem**. 71(4): 392-393.

Zhou, Z.; Robards, K.; Helliwell, S.; Blanchard, C.; and Baxterb, G. 2003. "Rice Ageing. I. Effect of Change in Protein on Starch Behaviour." **Starch/Stärke**. 55: 162-169.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

วิธีการวิเคราะห์

1. นำ Aluminium can อบที่อุณหภูมิ 130±3 องศาเซลเซียสจนน้ำหนักคงที่
2. ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม ด้วยตาชั่งละเอียดใส่ใน Aluminium can
3. นำไปอบในตู้อบไฟฟ้าอุณหภูมิ 130±3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมงจนน้ำหนักคงที่
4. ปิดฝา และทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น (Dessicator)
5. คำนวณหาปริมาณความชื้นโดยใช้สูตร

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

2. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนแบบ Gerhardt-Kjeldahl-System (AOAC, 2000)

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น
2. สารละลายกรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 2
3. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.01 นอร์มอล
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 32
5. คะตะลิสต์ (Catalyst) เตรียมโดยผสมโปแตสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) 8 ส่วนและคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4.5H_2O$) 1 ส่วน
6. อินดิเคเตอร์ผสม (Mixed Indicator)

    6.1 เตรียม Bromocresol green เข้มข้นร้อยละ 0.1 ในแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 95 และเตรียม Methyl red เข้มข้นร้อยละ 0.1 ในแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 95

    6.2 ผสม Bromocresol green 10 มิลลิลิตร กับ Methyl red 2 มิลลิลิตร

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ใส่ลงใน Digestion vessel
2. เติมคะตะลิสต์ 7 กรัม และเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 15 มิลลิลิตร จากนั้นใส่ลูกแก้ว (Glass beads) 3 เม็ด

3. นำ Digestion vessel ตั้งในชุดย่อยโปรตีน และทำการย่อยจนได้สารละลายสีฟ้าใส

4. นำหลอดที่ย่อยเสร็จแล้วใส่ลงในเครื่องกลั่นโปรตีน (Gerhardt) เติมน้ำกลั่นโดยใช้เวลาประมาณ 4 วินาที แล้วเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 32 โดยใช้เวลาประมาณ 7 วินาที และใช้เวลาในการให้สารทำปฏิกิริยากับตัวอย่างนาน 30 วินาที จากนั้นทำการกลั่นโดยตั้งเวลาไว้ประมาณ 300 วินาที เก็บก๊าซแอมโมเนียที่ได้ในสารละลายกรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 2 ปริมาตร 60 มิลลิลิตรที่มีอินดิเคเตอร์ผสมอยู่ 2-3 หยดในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

5. นำส่วนที่กลั่นได้ไปไตเตรทกับกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.01 นอร์มอล จนสารละลายสีฟ้าเปลี่ยนเป็นสีใส ไม่มีสี

6. คำนวณหาปริมาณโปรตีนจากสูตร

$$\text{ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)} = \frac{\text{N.HCl x ml.HCl x 14 x 6.25}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (มิลลิกรัม)}} \times 100$$

3. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)

สารเคมี

1. ปิโตรเลียมอีเทอร์

วิธีการวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างมาไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 130±3 องศาเซลเซียสนาน 1-2 ชั่วโมง ทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้น

2. นำบีกเกอร์ไขมันมาอบที่อุณหภูมิ 130±3 องศาเซลเซียสนาน 1-2 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่

3. ชั่งตัวอย่างจากข้อที่ 1 มาประมาณ 3-4 กรัม (โดยให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) ห่อด้วยกระดาษกรอง ใส่ลงในทิมเบิล (Thimble)

4. นำทิมเบิลที่มีตัวอย่างอยู่ใส่ในบีกเกอร์ไขมัน พร้อมกับทำการล็อคด้วยที่ล็อคทิมเบิลแล้วเติมปิโตรเลียมอีเทอร์ ประมาณ 140 มิลลิลิตรลงในบีกเกอร์ไขมัน จากนั้นนำบีกเกอร์และชุดสกัดไขมันต่อเข้ากับคอนเดนเซอร์ ทำการสกัดโดยใช้อุณหภูมิในการสกัดที่ 150 องศาเซลเซียส และใช้เวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมง

5. แยกบีกเกอร์ และคอนเดนเซอร์ออกจากชุดสกัด ใช้คีมคีบทิมเบิลที่ใส่ตัวอย่างออกมา และนำบีกเกอร์ไขมันไประเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ โดยอบที่อุณหภูมิ 130±3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมงหรือจนน้ำหนักคงที่ และปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นชั่งน้ำหนัก

6. คำนวณหาร้อยละของไขมันจากสูตร

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{[\,(\text{น้ำหนักบีกเกอร์+น้ำหนักไขมัน}) - \text{น้ำหนักบีกเกอร์}\,]}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

4. การวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ช (Calcium chloride method; AOAC, 2000)

สารเคมี

1. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 33
2. เอธิลแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 65
3. สารละลายกรดอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 0.8
4. ปิโตรเลียมอีเทอร์

วิธีการวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างมา 2.0-2.5 กรัมใส่ในหลอด Centrifuge กำจัดไขมันออกโดยล้างด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์ และเอธิลแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 65 จำนวน 10 มิลลิลิตร (ล้างจนใช้สารเคมีไปทั้งหมด 60 มิลลิลิตร)

2. เติมน้ำกลั่นลงไปในตัวอย่างที่กำจัดไขมันออกแล้ว 10 มิลลิลิตร แล้วเทลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 33 ลงไป 60 มิลลิลิตร และสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 0.8 จำนวน 2 มิลลิลิตร

3. นำตัวอย่างไปต้มให้เดือดอย่างรวดเร็วเป็นเวลา 15-17 นาที

4. ทำให้สารละลายเย็นลงอย่างรวดเร็ว แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 33

5. กรองสารละลายให้ใสโดยใช้กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42

6. นำสารละลายของตัวอย่างที่ใสไปวัดค่ามุมของการหมุน และคำนวณร้อยละของปริมาณสตาร์ชโดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณสตาร์ช (ร้อยละ)} = 100 \times R \times 100/L \times 203 \times W$$

$$= 49 \times R/W$$

โดยค่า R = ค่ามุมของการหมุน

W = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

5. การวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลส (Juliano *et al.*, 1971)

สารเคมี

1. เอธิลแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 95
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 นอร์มอล
3. สารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 1 นอร์มอล
4. สารละลายไอโอดีน (ไอโอดีน 2 กรัม (I_2) + โปแตสเซียมไอโอไดซ์ (KI) 20 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร)
5. อะมิโลสมาตราฐาน (Pure Potato amylase)
6. เมทานอลเข้มข้นร้อยละ 85

วิธีการวิเคราะห์

การทำกราฟมาตรฐานของอะมิโลส

1. ชั่งอะมิโลสมาตราฐาน (Pure Potato amylase) 0.04 กรัม ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
2. เติมเอธิลแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 95 จำนวน 1 มิลลิลิตร พร้อมกับเขย่าเพื่อล้างตัวอย่างที่ติดข้างๆหลอด
3. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 นอร์มอลจำนวน 9 มิลลิลิตร โดยไม่ต้องเขย่า
4. ต้มในน้ำเดือด 10 นาที แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง
5. ปิเปตสารละลายอะมิโลสมาตราฐานจำนวน 1 2 3 4 และ 5 มิลลิลิตร ใส่ในแต่ละขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
6. เติมสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 1 นอร์มอล จำนวน 0.2 0.4 0.6 0.8 และ 1.0 มิลลิลิตร ในแต่ละขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ
7. เติมสารละลายไอโอดีนจำนวน 2 มิลลิลิตร ในแต่ละขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น
8. นำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร โดยใช้ Spectrophotometer

9. Plot ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างอะมิโลสมาตราฐานแต่ละขวดวัดปริมาตรกับ ร้อยละของปริมาณอะมิโลส (ร้อยละ 8 16 24 32 และ 40)

การวัดตัวอย่างแป้ง

1. ชั่งตัวอย่างแป้ง 0.10 กรัม ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปฏิบัติเหมือนกับการเตรียมอะมิโลสมตราฐาน (ข้อ 2-4)

2. ปีเปตตัวอย่าง 5 มิลลิลิตร ใสในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นประมาณ 50 มิลลิลิตร

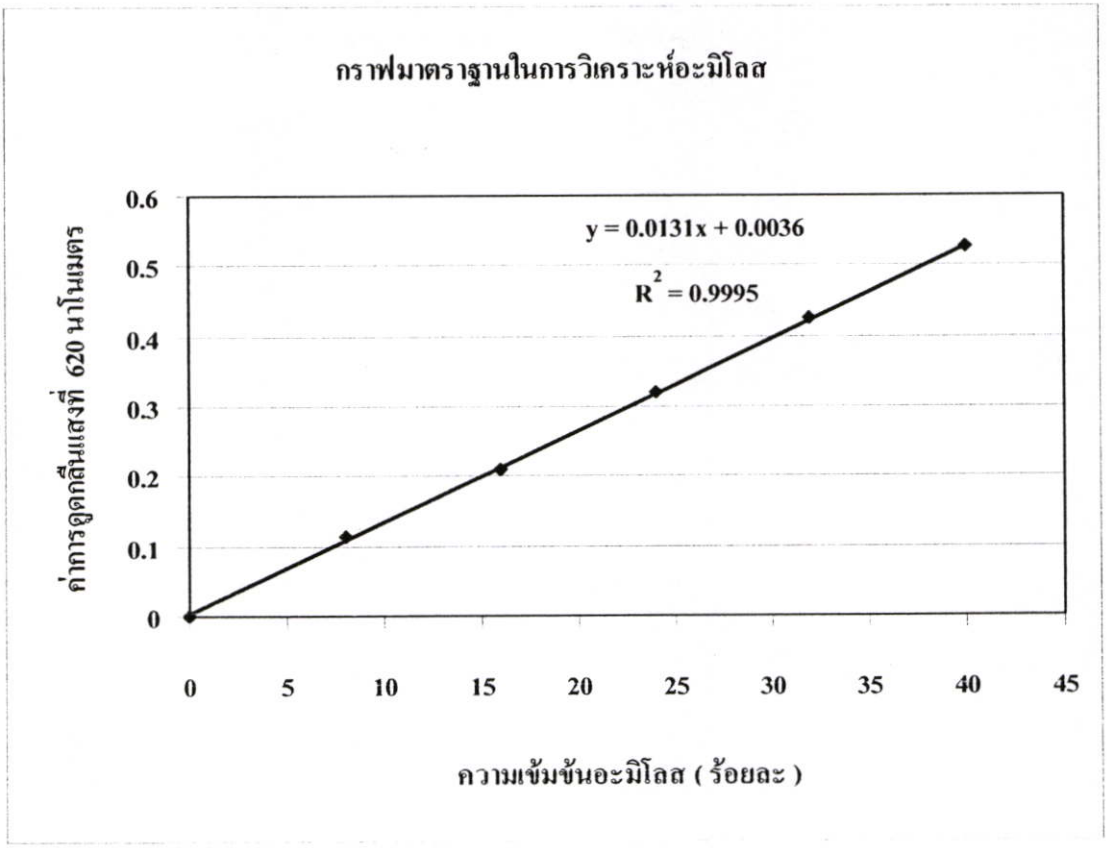
3. เติมกรดอะซิติกเข้มข้น 1 นอร์มอล จำนวน 1.0 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

4. เติมสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นแล้วเขย่า

5. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร โดยใช้ Spectrophotometer แล้วนำค่าที่ได้มาเทียบหาร้อยละของปริมาณอะมิโลสกับกราฟมาตราฐาน

ตารางที่ ก1 ค่ามาตราฐานการดูดกลืนแสงในการวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลส

ความเข้มข้นอะมิโลส (ร้อยละ)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร
0	0
8	0.115
16	0.209
24	0.320
32	0.426
40	0.526



ภาพที่ ก1 กราฟมาตราฐานในการวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลส

ภาคผนวก ข

วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ

1. ความสามารถในการอุ้มน้ำและความสามารถในการละลาย (Water Absorption Index and Water Solubility Index, WAI and WSI) (Narkrugsa, 1996 ที่ดัดแปลงจาก Schoch, 1968)

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างแป้งประมาณ 2.5 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง (W_0) ผสมกับน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร
2. เขย่าในอ่างน้ำร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
3. นำของผสมมาหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที
4. เทส่วนใสออกจากของผสม จากนั้นชั่งน้ำหนักของผสมที่เหลือ (W_1)
5. คำนวณหาค่าความสามารถในการอุ้มน้ำจากสูตร

Water Absorption Index = $[(W_1 - W_0) / W_0] \times 100$

6. นำส่วนใสทั้งหมดที่เทออกจากของผสมใส่ใน Aluminium can ที่ทราบน้ำหนักคงที่แล้วนำไปอบที่ 130 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่
7. ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น นำไปชั่งน้ำหนักของแข็งที่ละลายได้
8. คำนวณหาค่าความสามารถในการละลายเป็นร้อยละของน้ำหนักของของแข็งทั้งหมดในส่วนใสที่สามารถละลายได้

2. กำลังการพองตัวและการละลาย (Swelling power and solubility) (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546 ที่ดัดแปลงจาก Schoch, 1964)

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างแป้ง 0.5 กรัมใส่หลอดเหวี่ยงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร
2. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 15 มิลลิลิตร
3. แช่ในอ่างน้ำร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส กวนตลอดเวลาเป็นเวลา 30 นาที
4. นำไปเหวี่ยงในเครื่องเหวี่ยงที่ความเร็ว 2,200 รอบต่อนาที นาน 15 นาที
5. ดูดน้ำส่วนบนใส่ Aluminium can ที่ทราบน้ำหนักคงที่ที่แน่นอนให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้ และนำไปอบให้แห้งในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส
6. ชั่งน้ำหนักที่เป็นส่วนของน้ำหนักที่ละลายน้ำ ส่วนแป้งเปียกในหลอดนำมาชั่งเป็นน้ำหนักแป้งที่พองตัวแล้วเพื่อนำมาคำนวณกำลังการพองตัว

วิธีคำนวณ

$$\text{ร้อยละการละลาย} = \frac{\text{น้ำหนักส่วนที่ละลายน้ำ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}} \times 100$$

$$\text{กำลังการพองตัว} = \frac{\text{น้ำหนักแป้งที่พองตัวแล้ว} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง} \times (100 - \text{ร้อยละการละลาย})}$$

3. ความคงทนต่อแรงเฉือน (Shearing Stability, SHS) (Klaushofer *et al.*, 1975)

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างแป้ง 20 กรัม (โดยน้ำหนักแห้ง) ผสมกับน้ำกลั่นโดยให้มีน้ำหนักสุดท้าย 300 กรัม

2. ผสมของผสมด้วย Rotor mixer ที่ความเร็วรอบ 240 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ด้วย Blade no. 1

3. นำของผสมมาวัดความหนืด (V_a) ด้วย Brookfield viscometer โดยใช้ Spindle no. 2 จากนั้นนำของผสมไปกวนผสมอีกครั้งด้วย Rotor mixer ที่ความเร็วรอบ 2,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ด้วย Blade no. 3

4. วัดความหนืด (V_b) อีกครั้งด้วย Brookfield viscometer โดยใช้ Spindle no. 2

5. คำนวณหาร้อยละของความคงตัวต่อแรงเฉือนด้วยสูตร

$$\text{ร้อยละของ Shearing Stability} = (V_b / V_a) \times 100$$

เมื่อ V_a = ความหนืดของตัวอย่างก่อนการให้แรงเฉือนในหน่วยเซนติพอยด์

V_b = ความหนืดของตัวอย่างหลังการให้แรงเฉือนในหน่วยเซนติพอยด์

หมายเหตุ

ขนาดของ Spindle ที่ใช้ในการวัดความหนืดจะต้องใช้ให้เหมาะสมกับความหนืดของตัวอย่าง โดยในการทดลองการหาความคงทนต่อแรงเฉือนของแป้งมันเทศจะใช้ Spindle no. 2 แต่ถ้าเป็นสตาร์ชมันเทศซึ่งมีความหนืดมากกว่าจะใช้ Spindle no. 5

5. ความคงทนต่อการแช่แข็งและการละลาย (Freeze – Thaw Stability, FTS) (Narkrugsa, 1996 ที่ดัดแปลงจาก Schoch, 1968 และNarkrugsa, 1990)

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 15 กรัม (โดยน้ำหนักแห้ง) ผสมกับน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร ในถ้วย Stainless steel ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ด้วย Rotor mixer ที่ ความเร็วรอบ 240 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาทีด้วย Blade no. 1
2. นำของผสมเทลงในถ้วยพลาสติกแช่แข็งที่อุณหภูมิประมาณ-15 องศาเซลเซียส ใน Deep freezer เป็นเวลา 7 วัน
3. นำของผสมมาละลายน้ำแข็งออกในอ่างน้ำร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง
4. นำของผสมมา 100 มิลลิลิตร ทำการหมุนเหวี่ยงที่ 8,000 รอบต่อนาที 30 นาที
5. รายงานผลเป็นร้อยละของน้ำที่แยกออกมา

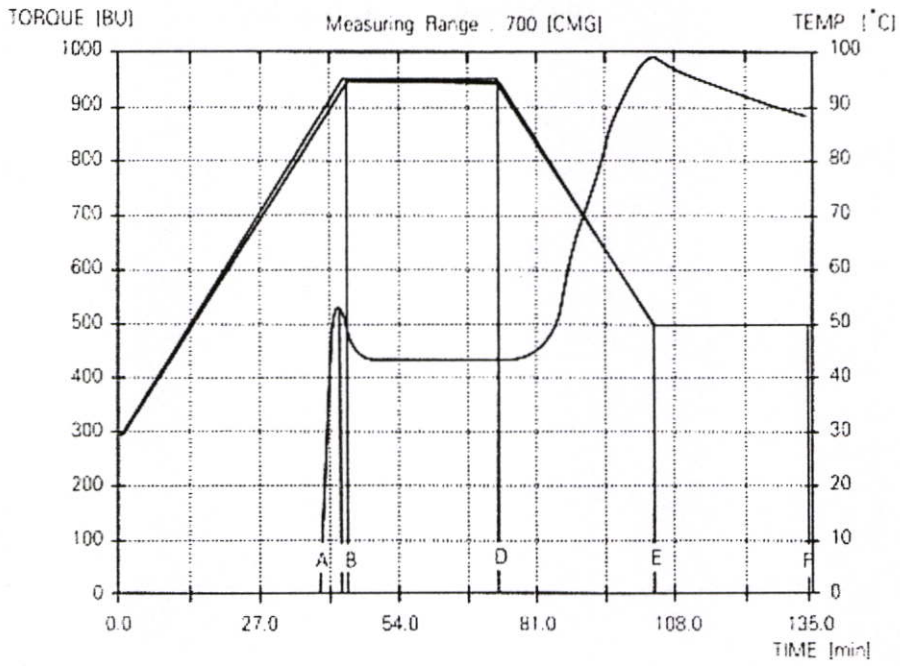
6. คุณสมบัติของของผสมเมื่อได้รับความร้อนในขณะที่มีการกวนและการคนจากเครื่องบราเบนเดอร์ วิสโคอะมิโลกราฟ (Brabender Viscoamylograph)

เครื่องมือ

1. เครื่องบราเบนเดอร์ วิสโคอะมิโลกราฟ
2. เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง

วิธีการวิเคราะห์

1. การเตรียมตัวอย่าง ใช้แป้งที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยชั่งแป้งมา 45 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง เติมน้ำกลั่น 405 มิลลิลิตร ใส่ลงไปในถ้วยทรงกระบอกที่อยู่ในเครื่องบราเบนเดอร์ วิสโคอะมิโลกราฟ
2. ตั้งค่าที่เครื่องโดยมีอัตราการหมุนของถ้วยทรงกระบอก 75 รอบต่อนาที และเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นในอัตรา 1.5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส และคงไว้ที่อุณหภูมินี้นาน 15 นาที แล้วค่อยๆลดอุณหภูมิลงในอัตราเดียวกันจนถึงอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส คงไว้ที่อุณหภูมินี้นาน 20 นาที และใช้ Measuring Range เท่ากับ 250 CMG
3. เมื่อเครื่องบราเบนเดอร์ วิสโคอะมิโลกราฟวัดเสร็จ จะทราบค่าความหนืดต่างๆ ในหน่วยของ Brabender Unit (BU) และอุณหภูมิที่เกิดเจลจากกราฟที่ได้ (ภาพที่ ข1) ดังนี้



ภาพที่ ข1 แสดงจุดสำคัญในการวัดโดยใช้เครื่องบราเบนเดอร์ วิสโคอะมิโลกราฟ
ที่มา: กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ (2546)

จุด A แสดงความหนืดเริ่มเกิดเจลาทิไนซ์

จุด B แสดงความหนืดสูงสุด ซึ่งเป็นความหนืดสูงสุดในช่วงการให้ความร้อน เป็นจุดที่เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่

จุด C แสดงความหนืดเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 95°C ชี้ให้เห็นถึงความยากง่ายในการหุงต้ม

จุด D แสดงความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 95°C ชี้ให้เห็นถึงความคงตัวของเม็ดแป้ง

จุด E แสดงความหนืดเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 50°C ชี้ให้เห็นถึงการเกิดรีโทรเกรเดชันเนื่องจากการทำให้เย็น

จุด F แสดงความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 50°C ชี้ให้เห็นถึงความคงตัวของน้ำแป้งสุกที่ผ่านการหุงต้ม และทิ้งไว้ให้เย็นแล้ว

ภาคผนวก ค

ตารางแสดงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศทั้ง 3 สายพันธุ์

ตารางที่ ค1 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง

Sample	WAI[1,3]	WSI[1,3]	Swelling Power[1,3]	Shearing Stability[1,3]	Freeze Thaw Stability[1,2,3]		
					Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3
Flour	121.57±6.55	10.06±2.31	13.51±0.32	17.33±4.52	46.37±11.23	61.25±1.75	63.88±2.17
Starch	164.14±9.91	0.43±0.13	13.37±1.71	16.20±1.82	0.00±0.00	6.59±1.54	7.71±1.99

หมายเหตุ

[1] ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง

[2] ร้อยละของปริมาณน้ำที่แยกออกมา

[3] ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± Standard deviation

ตารางที่ ค2 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม

Sample	WAI[1,3]	WSI[1,3]	Swelling Power[1,3]	Shearing Stability[1,3]	Freeze Thaw Stability[1,2,3]		
					Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3
Flour	122.93±4.05	11.69±1.16	14.02±0.80	33.52±11.66	43.42±20.87	46.64±14.24	54.57±15.10
Starch	162.85±5.16	0.68±8.69E-02	12.17±1.39	13.46±2.29	12.25±7.18	14.22±6.94	14.88±7.00

หมายเหตุ

[1] ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง

[2] ร้อยละของปริมาณน้ำที่แยกออกมา

[3] ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± Standard deviation

ตารางที่ ค3 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของแป้งมันเทศ และสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง

Sample	WAI[1,3]	WSI[1,3]	Swelling Power[1,3]	Shearing Stability[1,3]	Freeze Thaw Stability[1,2,3]		
					Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3
Flour	116.35±3.70	14.36±1.75	13.99±0.36	21.15±4.34	47.72±7.75	54.88±15.05	55.12±8.90
Starch	159.96±10.98	0.58±0.11	11.70±0.91	12.33±2.40	11.05±3.37	13.26±3.20	14.33±3.24

หมายเหตุ

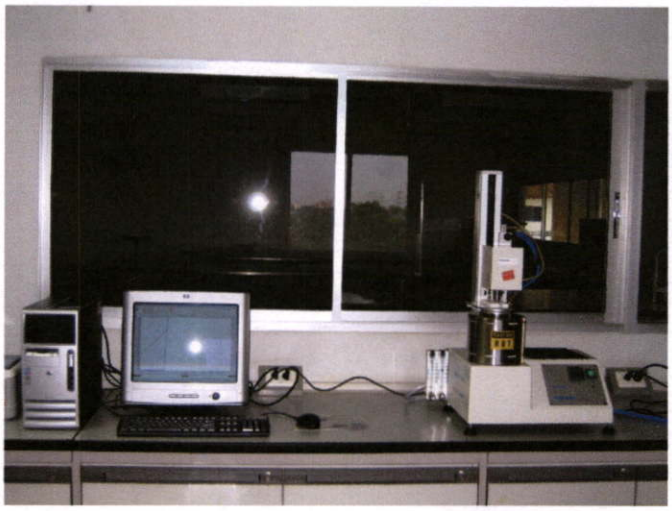
[1] ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง

[2] ร้อยละของปริมาณน้ำที่แยกออกมา

[3] ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± Standard deviation

ภาคผนวก ง

ภาพอุปกรณ์และเครื่องมือในการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของแป้งมันเทศและสตาร์ชมันเทศ



ภาพที่ ง1 เครื่องบราเบนเดอร์ วิสโคอะมิโลกราฟ (Brabender Viscoamylograph)

(1)

(2)

ภาพที่ ง2 เครื่องกวนผสม (Rotor Mixer)

หมายเหตุ

(1) ใบพัดแบบกวนผสม (Blade number 1)

(2) ใบพัดแบบเฉือน (Blade number 3)

ภาคผนวก จ

ตารางวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ จ1 แสดงองค์ประกอบทางเคมี และคุณลักษณะทางกายภาพของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีม่วง

Moisture

Source	df	SS	MS	F-value	Sig
Treatment	2	.453	.226	.326	.739
Block	2	1.998	.999	1.439	.338
Error	4	2.776	.694		

Protein

Source	df	SS	MS	F-value	Sig
Treatment	2	1.104E-02	5.518E-03	4.093	.108
Block	2	.208	.104	77.321	.001*
Error	4	5.392E-03	1.348E-03		

หมายเหตุ: *มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

Starch

Source	df	SS	MS	F-value	Sig
Treatment	2	496.755	248.378	16.662	.011*
Block	2	721.835	360.917	24.212	.006*
Error	4	59.626	14.906		

หมายเหตุ: *มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

Amylose

Source	df	SS	MS	F-value	Sig
Treatment	2	.373	.186	.653	.568
Block	2	3.806	1.903	6.671	.053
Error	4	1.141	.285		

Yield

Source	df	SS	MS	F-value	Sig
Treatment	2	.738	.369	.322	.742
Block	2	72.839	36.420	31.763	.004*
Error	4	4.586	1.147		

หมายเหตุ: *มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P≤0.05)

Protein Extraction Efficiency

Source	df	SS	MS	F-value	Sig
Treatment	2	7.119	3.559	5.378	.073
Block	2	180.059	90.030	136.030	.000*
Error	4	2.647	.662		

หมายเหตุ: *มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P≤0.05)

Color (L)

Source	df	SS	MS	F-value	Sig
Treatment	2	9.494	4.747	27.339	.005*
Block	2	32.721	16.361	94.225	.000*
Error	4	.695	.174		

หมายเหตุ: *มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P≤0.05)

ตารางที่ จ2 แสดงองค์ประกอบทางเคมี และคุณลักษณะทางกายภาพของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีส้ม

Moisture

Source	df	SS	MS	F-value	Sig
Treatment	2	.235	.117	.071	.933
Block	2	2.034	1.017	.613	.586
Error	4	6.635	1.659		

Protein

Source	df	SS	MS	F-value	Sig
Treatment	2	3.917E-02	1.959E-02	8.362	.037*
Block	2	5.554E-03	2.777E-03	1.186	.394
Error	4	9.369E-03	2.342E-03		

หมายเหตุ: *มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

Starch

Source	df	SS	MS	F-value	Sig
Treatment	2	392.397	196.198	14.592	.015*
Block	2	110.102	55.051	4.094	.108
Error	4	53.782	13.446		

หมายเหตุ: *มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

Amylose

Source	df	SS	MS	F-value	Sig
Treatment	2	.767	.383	.055	.947
Block	2	0.398	.199	.029	.972
Error	4	27.639	6.910		

Yield

Source	df	SS	MS	F-value	Sig
Treatment	2	1.819	.909	1.140	.406
Block	2	8.800	4.400	5.518	.071
Error	4	3.189	.797		

Protein Extraction Efficiency

Source	df	SS	MS	F-value	Sig
Treatment	2	38.296	19.148	7.056	.049*
Block	2	28.842	14.421	5.314	.075
Error	4	10.855	2.714		

หมายเหตุ: *มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P≤0.05)

Color (L)

Source	df	SS	MS	F-value	Sig
Treatment	2	5.608	2.804	103.490	.000*
Block	2	7.202E-02	3.601E-02	1.329	.361
Error	4	.108	2.709E-02		

หมายเหตุ: *มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P≤0.05)

ตารางที่ จ3 แสดงองค์ประกอบทางเคมี และคุณลักษณะทางกายภาพของสตาร์ชมันเทศเนื้อสีเหลือง

Moisture

Source	df	SS	MS	F-value	Sig
Treatment	2	1.562	.781	.540	.620
Block	2	4.279E-02	2.140E-02	.015	.985
Error	4	5.788	1.447		

Protein

Source	df	SS	MS	F-value	Sig
Treatment	2	2.631E-02	1.316E-02	2.607	.188
Block	2	.190	9.489E-03	18.801	.009*
Error	4	2.019E-02	5.047E-03		

หมายเหตุ: *มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P≤0.05)

Starch

Source	df	SS	MS	F-value	Sig
Treatment	2	296.198	148.099	5.225	.077
Block	2	315.577	158.789	5.602	.069
Error	4	113.382	28.345		

Amylose

Source	df	SS	MS	F-value	Sig
Treatment	2	.748	.374	.190	.834
Block	2	17.291	8.645	4.384	.098
Error	4	7.888	1.972		

Yield

Source	df	SS	MS	F-value	Sig
Treatment	2	1.347	.673	.528	.626
Block	2	51.632	25.816	20.265	.008*
Error	4	5.096	1.274		

หมายเหตุ: *มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

Protein Extraction Efficiency

Source	df	SS	MS	F-value	Sig
Treatment	2	13.589	6.794	3.535	.131
Block	2	37.610	18.805	9.785	.029*
Error	4	7.687	1.922		

หมายเหตุ: *มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

Color (L)

Source	df	SS	MS	F-value	Sig
Treatment	2	4.303	2.152	10.735	.025*
Block	2	12.133	6.066	30.267	.004*
Error	4	.802	.200		

หมายเหตุ: *มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวดารินทร์ กุลมาโนชวงศ์
วัน เดือน ปีเกิด	3 มกราคม 2523
ที่อยู่	988/178 หมู่บ้านไทยวันดี ซอยวชิรธรรมสาธิต 57 ถนนสุขุมวิท 101/1 แขวงบางจาก อำเภอพระโขนง จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10260
ประวัติการศึกษา	2546 ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะโครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง