

คุณลักษณะทางกายภาพและโครงสร้างภายในของพาสต้าข้าวเจ้า
ที่ได้จากการอัดพองโดยใช้ข้าวพันธุ์ต่าง ๆ

นางสาวปิยมาศ มหาบุญญานนท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-533-330-1

**PHYSICAL CHARACTERISTICS AND
MICROSTRUCTURE OF EXTRUDATED RICE PASTA MADE FROM
DIFFERENT RICE CULTIVARS**

Miss Piyamard Mahaboonyanon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in Food Technology

Suranaree University of Technology

Academic Year 2003

ISBN 974-533-330-1

คุณลักษณะทางกายภาพและโครงสร้างภายในของพาสตาข้าวเจ้า
ที่ได้จากการอัดพองโดยใช้ข้าวพันธุ์ต่าง ๆ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร. กนกกร อินทรพิเชษฐ์)

ประธานกรรมการ

.....

(อาจารย์ ดร. มาโนชญ์ สุธีรวินานนท์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุนันทา ทองทา)

กรรมการ

.....

(อาจารย์ ดร. ปิยะดา ทิพย์ผ่อง)

กรรมการ

.....

(รองศาสตราจารย์ น.ท. ดร. สราวุฒิ สุจิตจร)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร. กนก ผลารักษ์)

คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

ปิยมาศ มหามัญญานนท์ : คุณลักษณะทางกายภาพและโครงสร้างภายในของพาสต้าข้าวเจ้า
ที่ได้จากการอัดพองโดยใช้ข้าวพันธุ์ต่าง ๆ (PHYSICAL CHARACTERISTICS AND
MICROSTRUCTURE OF EXTRUDED RICE PASTA MADE FROM DIFFERENT RICE
CULTIVARS) อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร. มาโนชญ์ สุธีรพัฒนานนท์, 90 หน้า. ISBN 974-533-330-1

แป้งข้าวเจ้าจากข้าว 3 พันธุ์ (ข้าวเหลืองประทิว123 ข้าวขาวดอกมะลิ105 และข้าวชาธานีจิ) เมื่อผ่านกระบวนการอัดพองด้วยเครื่องอัดพองแบบสกรูคู่ที่สภาวะแตกต่างกันดังนี้ คือ ระดับความชื้นของแป้งร้อยละ 27 – 35 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิของบารเลอยู่ในช่วง 95 – 115 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบของสกรูระหว่าง 30 – 50 รอบต่อนาที ผลลัพธ์ที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นคล้ายสปาเกตตี เมื่อนำมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ลักษณะเนื้อสัมผัส และคุณภาพการหุงต้ม พบว่าสปาเกตตีที่ผลิตจากข้าวเหลืองประทิว123 มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับสปาเกตตีที่ทำจากแป้งสาลีที่วางจำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป เพียงแต่ปัจจัยคุณภาพด้านการหุงต้ม เช่น ระยะเวลาในการต้ม นานกว่าสปาเกตตีที่ผลิตจากแป้งสาลี ผลจากการสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตสปาเกตตีที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าอยู่ที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 33 – 35 โดยน้ำหนัก ความเร็วรอบของสกรูระหว่าง 30 – 33 รอบต่อนาที และอุณหภูมิของบารเลระหว่าง 100 – 104 องศาเซลเซียส จากการศึกษาโครงสร้างภายในของสปาเกตตีจากข้าวเจ้าด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด กล้องจุลทรรศน์แบบฟลูออเรสเซนซ์ และกล้องจุลทรรศน์แบบคอนโฟคอลเลเซอร์สแกนนิ่ง พบว่าโครงสร้างของสปาเกตตีข้าวเจ้ามิได้เกิดจากโครงข่ายของโปรตีนเหมือนในสปาเกตตีที่ผลิตจากแป้งสาลีโดยเห็นได้จากชิ้นส่วนของโปรตีนกระจายกระจายอย่างไม่เป็นระเบียบทั่วไปภายในโครงสร้าง

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร
ปีการศึกษา 2546

ลายมือชื่อนักศึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

PIYAMARD MAHABOONYANON : PHYSICAL CHARACTERISTICS AND

MICROSTRUCTURE OF EXTRUDED RICE PASTA MADE FROM DIFFERENT RICE

CULTIVARS. THESIS ADVISOR : MANOTE SUTHEERAWATTANANONDA, Ph.D.

90 PP. ISBN 974-533-330-1

Rice flours from three different cultivars (Leuangpratew123, Khaodawkmal105, and Sasanishiki) were extruded over a range of feed moistures (27 -35%), barrel temperatures (95 – 115^oC), and screw speeds (30 – 50 rpm) in a laboratory scale twin screw extruder. Spaghetti like extrudates were analyzed for physical and textural properties and cooking qualities. The results indicate that the spaghetti made from Leuangpratew123 have physical and textural properties similar to those of a commercial type. The cooking qualities of rice spaghetti were slightly different from the typical spaghetti due to a long cooking time. From surface response plots, the optimum condition for rice spaghetti production was at moisture contents of 33 – 35%, screw speed of 30 rpm, and barrel temperatures between 100 - 104^oC. Images from scanning electron microscope, fluorescence microscopy, and confocal laser scanning microscopy reveal that the structure of rice spaghetti was not formed by the protein network like the wheat spaghetti. The protein bodies were randomly distributed throughout the structure.

School of Food Technology

Student's Signature

Academic Year 2003

Advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. มโนชญ์ สุธีรวัฒนา นนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา ชี้แนะ ช่วยเหลือในการศึกษาวิจัยด้วยดียิ่งตลอดมา รวมถึงให้คำแนะนำในการเขียนและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จสมบูรณ์ กราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. กนกกร อินทรพิเชฐ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุนันทา ทองทา และอาจารย์ ดร. ปิยะดา ทิพย์ผ่อง กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ นายวันชัย จอกระโทก นางปัญญา เพียรปรุ นางสาวอ้อยทิพย์ สมานรส และนางสาววิษุณี พิทักษ์สมบูรณ์ รวมถึงเจ้าหน้าที่ประจำศูนย์เครื่องมือ 1 และศูนย์เครื่องมือ 3 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่านที่สละเวลาให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกแก่ผู้วิจัยด้วยดีตลอดการดำเนินการวิจัย ขอบคุณ นายกุลธวัช แซ่ตัน ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางการใช้งานกล้องจุลทรรศน์ทั้งที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีและมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ขอบคุณเพื่อน ๆ ร่วมเรียนระดับปริญญาโทที่ให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ และให้คำปรึกษาตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา

ท้ายนี้ ขอกราบพระคุณบิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวที่ให้การเลี้ยงดู อบรม และส่งเสริมการศึกษาเป็นอย่างดีตลอดมา

ปิยมาศ มหามุญญานนท์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ช
บทที่	

1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	3
1.3 สมมุติฐานการวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตของเบื้องต้น.....	3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2. ทัศนัวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ความรู้เรื่องข้าว.....	5
2.2 การแปรรูปอาหารโดยวิธีการอัดพอง.....	9
2.3 พาสต้าและผลิตภัณฑ์.....	12
2.4 โครงสร้างภายในของอาหาร.....	15
3. วัสดุและวิธีการ.....	22
3.1 การเตรียมแป้งข้าวเจ้า.....	22
3.2 การวิเคราะห์คุณภาพแป้งข้าว.....	22
3.3 การผลิตด้วยกระบวนการอัดพอง.....	23
3.4 การวางแผนการทดลอง.....	23
3.5 การทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์.....	24
3.6 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต.....	28
3.7 การศึกษาโครงสร้างภายใน.....	28

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4. ผลการทดลองและการวิจารณ์.....	30
4.1 ผลของคุณสมบัติความหนืด.....	31
4.2 ผลการศึกษาสภาวะการแปรรูปต่อตัวแปรตามคุณภาพของพาสต้าข้าวเจ้า.....	34
4.3 ผลการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตพาสต้าข้าวเจ้า.....	48
4.4 ผลการศึกษาโครงสร้างภายใน.....	51
5. สรุปและข้อเสนอแนะ.....	58
4.5 บทสรุป.....	58
4.6 ข้อเสนอแนะ.....	59
รายการอ้างอิง.....	60
ภาคผนวก.....	67
ประวัติผู้เขียน.....	90

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	สื่อที่ใช้ในการศึกษาโครงสร้างภายในของอาหาร.....16
2.2	แหล่งกำเนิดเลเซอร์ที่ทำให้ความยาวคลื่นระดับต่าง ๆ18
2.3	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงและ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.....21
3.1	รูปแบบการจัดเรียงสกรู.....24
3.2	แผนการทดลองแบบ Box-Benhken Design25
4.1	ค่าเฉลี่ยของค่าประกอบทางเคมีและปริมาณอะไมโลสของแป้งข้าวที่ใช้ผลิต สปาเกตตีข้าวเจ้า.....30
4.2	ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติความหนืดของแป้งข้าวชนิดต่างๆ จากเครื่องวัดความหนืด แบบเร็ว (RVA).....33
4.3	คุณภาพของสปาเกตตีทางการค้าที่ใช้จำกัดเขตคุณภาพของสปาเกตตีข้าวเจ้าที่ผลิต จากข้าวทั้ง 3 พันธุ์49
1ข	ค่าเฉลี่ยของลักษณะทางกายภาพของสปาเกตตีจากข้าวพันธุ์เหลืองประทิว123 ที่ได้จากการอัดพองที่สภาวะต่าง ๆ74
2ข	ค่าเฉลี่ยของคุณภาพการหุงต้มของสปาเกตตีจากข้าวพันธุ์เหลืองประทิว123 ที่ได้จากการอัดพองที่สภาวะต่าง ๆ75
3ข	ค่าเฉลี่ยของลักษณะเนื้อสัมผัสของสปาเกตตีจากข้าวพันธุ์เหลืองประทิว123 ที่ได้จากการอัดพองที่สภาวะต่าง ๆ76
4ข	ค่าเฉลี่ยของลักษณะทางกายภาพของสปาเกตตีจากข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ที่ได้จากการอัดพองที่สภาวะต่าง ๆ77
5ข	ค่าเฉลี่ยของคุณภาพการหุงต้มของสปาเกตตีจากข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ที่ได้จากการอัดพองที่สภาวะต่าง ๆ78
6ข	ค่าเฉลี่ยของลักษณะเนื้อสัมผัสของสปาเกตตีจากข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ที่ได้จากการอัดพองที่สภาวะต่าง ๆ79

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
7ข ค่าเฉลี่ยของลักษณะทางกายภาพของสปีเกตติจากข้าวพันธุ์ชาธานีชิกที่ได้จากการอัดฟองที่สภาวะต่าง ๆ	80
8ข ค่าเฉลี่ยของคุณภาพการหุงต้มของสปีเกตติจากข้าวพันธุ์ชาธานีชิกที่ได้จากการอัดฟองที่สภาวะต่าง ๆ	81
9ข ค่าเฉลี่ยของลักษณะเนื้อสัมผัสของสปีเกตติจากข้าวพันธุ์ชาธานีชิกที่ได้จากการอัดฟองที่สภาวะต่าง ๆ	82
1ค สัมประสิทธิ์สมการถดถอยของคุณภาพพาสต้าข้าวเจ้าที่ผลิตจากข้าวพันธุ์เหลืองประทิว123.....	84
2ค สัมประสิทธิ์สมการถดถอยของคุณภาพพาสต้าข้าวเจ้าที่ผลิตจากข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105.....	85
3ค สัมประสิทธิ์สมการถดถอยของคุณภาพพาสต้าข้าวเจ้าที่ผลิตจากข้าวพันธุ์ชาธานีชิก.....	86
4ค สหสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพในด้านต่าง ๆ ของสปีเกตติจากข้าวพันธุ์เหลืองประทิว123.....	87
5ค สหสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพในด้านต่าง ๆ ของสปีเกตติจากข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105.....	88
6ค สหสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพในด้านต่าง ๆ ของสปีเกตติจากข้าวพันธุ์ชาธานีชิก.....	89

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว.....	6
2.2 โครงสร้างของอะไมโลส	7
2.3 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน.....	8
2.4 พาสตาและผลิตภัณฑ์.....	13
4.1 เส้นโค้งแสดงคุณสมบัติความหนืดของแป้งชนิดต่างๆ.....	32
4.2 กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะการผลิตที่มีต่อ อัตราการผลิตของสปาเกตตีจากข้าวเหลืองประทิว123 ข้าวขาวดอกมะลิ105 และข้าวชาธานีชิกิ.....	35
4.3 กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะการผลิตด้วย กระบวนการอัดพองที่มีผลต่อระยะเวลาที่ใช้ต้มของสปาเกตตีจากข้าว เหลืองประทิว123.....	37
4.4 กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะการผลิตด้วย กระบวนการอัดพองที่มีผลต่อน้ำหนักหลังต้มของสปาเกตตีจากข้าว เหลืองประทิว123.....	39
4.5 กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะการผลิตด้วย กระบวนการอัดพองที่มีผลต่อการสูญเสียระหว่างต้มของสปาเกตตีจากข้าว เหลืองประทิว123.....	41
4.6 กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะการผลิตด้วย กระบวนการอัดพองที่มีผลต่อความแน่นเนื้อของสปาเกตตีจากข้าว เหลืองประทิว123.....	43
4.7 กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะการผลิตด้วย กระบวนการอัดพองที่มีผลต่อความเหนียวติดที่ผิวหน้าของสปาเกตตีจากข้าว เหลืองประทิว123.....	45
4.8 กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะการผลิตด้วย กระบวนการอัดพองที่มีผลต่อความต้านทานต่อแรงดึงของสปาเกตตีจากข้าว เหลืองประทิว123.....	47

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.9 กราฟคอนทัวร์ 2 มิติ ทำนายสภาวะการผลิตที่เหมาะสมสำหรับการผลิต สปีเกตดีจากข้าวเหลืองประทิว123 ให้มีคุณภาพใกล้เคียงกับสปีเกตดี ทางการค้ามากที่สุด.....	50
4.10 การศึกษาโครงสร้างภายในด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด.....	52
4.11 การศึกษาโครงสร้างภายในด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบฟลูออเรสเซนส์.....	54
4.12 การศึกษาโครงสร้างภายในของสปีเกตดีทางการค้าด้วยกล้องจุลทรรศน์ แบบคอนโฟคอลเลเซอร์สแกนนิ่ง.....	56
4.13 การศึกษาโครงสร้างภายในของสปีเกตดีข้าวเจ้าด้วยกล้องจุลทรรศน์ แบบคอนโฟคอลเลเซอร์สแกนนิ่ง.....	57

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ผลิตภัณฑ์พาสตา (pasta products) เช่น มะกะโรนี และสปาเกตตี เป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่นิยมบริโภคเป็นอาหารหลักในแถบยุโรปและอเมริกา ซึ่งความนิยมนี้ได้แพร่หลายไปยังประเทศอื่นทั่วโลก รวมถึงประเทศไทยด้วย วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิต คือ แป้งสาลี และน้ำ โดยพาสตาคุณภาพดีผลิตได้จากซีโมลินา (semolina) ซึ่งได้จากการบดหยาบของข้าวสาลีดูรัม (durum wheat) ที่ปราศจากราและคัพปะ (Lorenz and Kulp, 1991) เนื่องจากแป้งดังกล่าวเป็นแป้งที่มีโปรตีนกลูเตน (gluten protein) สูง เมื่อทำให้เกิดโดจะได้อาหารเหนียวแต่ไม่ยืดง่ายเหมือนแป้งชนิดอื่น นอกจากนี้แป้งชนิดนี้ยังมีปริมาณแคโรทีนอยด์ (carotenoid) สูงมีผลทำให้พาสตาที่ผลิตได้มีสีเหลืองสวย กระบวนการผลิตพาสตาโดยทั่วไปเริ่มจากการนำซีโมลินามาขนาดก้นน้ำจนกระทั่งส่วนผสมมีความชื้นร้อยละ 31 โดยน้ำหนัก จนเกิดเป็นโด แล้วนำมาขึ้นรูปให้มีขนาดและรูปร่างตามต้องการด้วยเครื่องอัดพอง (extruder) หลังจากนั้นนำไปอบแห้งจนกระทั่งเหลือความชื้นร้อยละ 10 – 13 โดยน้ำหนัก ได้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปซึ่งจำเป็นต้องมีการทำให้สุกโดยการต้มในน้ำเดือดก่อนนำไปปรุงร่วมกับส่วนผสมและเครื่องปรุงอื่น ๆ สำหรับบริโภคต่อไป (Abecassis et al., 1994) ถึงแม้ปัจจุบันประเทศไทยได้พยายามปรับปรุงพันธุ์และส่งเสริมการปลูกข้าวสาลีในพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศ (กรรมการ พรหมพันธุ์ใจ, 2536) แต่กำลังการผลิตก็ยังไม่เพียงพอต่อการบริโภค เป็นเหตุให้ต้องสั่งซื้อข้าวสาลีและผลิตภัณฑ์ข้าวสาลีจากต่างประเทศปีละไม่น้อยกว่าสองพันล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2535, อ้างถึงใน กรรมการ พรหมพันธุ์ใจ, 2536) อีกทั้งกลุ่มผู้บริโภคจำนวนหนึ่งโดยเฉพาะเชื้อสายยุโรปจำนวน 1 คนใน 150 ถึง 250 คน (Scott, 1995) ป่วยเป็นโรคแพ้ (allergy) แป้งสาลีก่อให้เกิดอาการต่าง ๆ ตั้งแต่ผื่นคันที่ผิวหนัง หายใจขัด หรืออาจมีอาการท้องเดิน เนื่องจากลำไส้เล็กไม่สามารถย่อยไกลโคเจนซึ่งเป็นองค์ประกอบของโปรตีนกลูเตนที่มีในแป้งสาลีได้ (Newland, 1995; Wang et al., 1999) ดังนั้นถ้าสามารถผลิตพาสตาและผลิตภัณฑ์จากแป้งหรือธัญพืชอื่น เช่น ข้าวเจ้า ได้ นอกจากจะเป็นการลดการนำเข้าแป้งสาลี เพิ่มผลิตภัณฑ์ใหม่อันเป็นการสร้างทางเลือกใหม่ให้ผู้บริโภคทั่วไปและผู้บริโภคที่ป่วยเป็นโรคแพ้แป้งสาลี แล้ว ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของแป้งข้าวเจ้าเนื่องจากการผลิตสามารถใช้ข้าวหักหรือปลายข้าวซึ่งมีราคาถูกได้อีกด้วย

ข้าว (rice) ที่นิยมปลูกและบริโภคกันทั่วไป มี 2 ชนิด คือ *Oryza sativa indica* และ *Oryza*

sativa japonica ซึ่ง *O. sativa indica* เป็นข้าวที่ปลูกได้ดีในเขตร้อน (tropical zone) เช่น อินเดีย เอเชีย มาเลเซีย อินโดนีเซีย และโดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศไทย ข้าวชนิดนี้เป็นข้าวเมล็ดยาวที่มีทั้ง ข้าวเหนียวและข้าวเจ้าขึ้นกับปริมาณอะไมโลสที่เป็นส่วนประกอบซึ่งจะอยู่ในช่วงร้อยละ 0 - 33 โดยน้ำหนัก ส่วน *O. sativa japonica* เป็นข้าวที่ปลูกได้ดีในเขตอบอุ่น (temperate zone) เช่น ญี่ปุ่น จีน และเกาหลี เป็นข้าวเมล็ดสั้นที่มีลักษณะกึ่งข้าวเหนียวและกึ่งข้าวเจ้า เนื่องจากมีปริมาณอะไมโลส อยู่ระหว่างร้อยละ 15 - 19 โดยน้ำหนัก (ประพาส วีระแพทย์, 2531) ที่ผ่านมามีผู้ทดลองผลิต พาสตาจากแป้งข้าวชนิด *O. sativa japonica* แต่ประสบปัญหาด้านคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส การแก้ปัญหาทำได้โดยนำแป้งข้าวเจ้าผสมกับแป้งข้าวเจ้าสุกในอัตราส่วนร้อยละ 15 - 30 โดยน้ำหนัก ร่วมกับการใช้โซเดียมหรือโพแทสเซียมอัลจิเนตในอัตราส่วนร้อยละ 0.1 - 4 โดยน้ำหนัก (Hsu, 1984) หรือการใช้น้ำที่มีโซเดียมอัลจิเนตความเข้มข้นร้อยละ 0.66 โดยน้ำหนัก ในการผลิตพาสตาข้าวเจ้า (Lechthaler, 1985) ซึ่งในขณะนี้ยังไม่มีผู้ให้ความสนใจผลิตพาสตาและ ผลิตภัณฑ์จากข้าวสายพันธุ์ที่มีในประเทศไทย หากพิจารณาถึงปริมาณอะไมโลสที่มีผลต่อคุณภาพ การหุงต้มและรับประทานในข้าว *O. sativa japonica* พบว่ามีปริมาณใกล้เคียงกับข้าวเจ้าพันธุ์ที่มี ปริมาณอะไมโลสดำของไทย เช่น ข้าวขาวดอกมะลิ 105 กข 15 และ กข 21 เป็นต้น ในขณะที่การผลิต ผลิตภัณฑ์ชนิดเส้นแบบต่าง ๆ ในประเทศไทย เช่น เส้นก๋วยเตี๋ยว และเส้นขนมจีนใช้ข้าวพันธุ์ที่มี ปริมาณอะไมโลสมากกว่าร้อยละ 27 โดยน้ำหนัก เช่น เหลืองประทิว 123 ชัยนาท 1 และ สุพรรณบุรี 1 เป็นต้น (เสนอ ร่วมจิต, 2522) เนื่องจากอะไมโลสจะทำหน้าที่เป็นโครงข่าย (network) ในโค ระหว่างการนวดและเกิดเป็นเจลที่แข็งแรงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สามารถคงรูปร่างได้ตามต้องการ (Lii and Chang, 1981; Mestres et al., 1988)

ลักษณะเนื้อสัมผัส (texture) และคุณภาพของผลิตภัณฑ์พาสตาซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตด้วย เครื่องอัดพอง (extruder) นอกจากเป็นผลมาจากเทคนิควิธีการผลิตแล้วยังขึ้นกับการกระจายและการจัดเรียงตัวของโปรตีนซึ่งเป็นองค์ประกอบที่อยู่ภายในเม็ดสตาร์ชด้วย (Smewing, 1997) โดย ปกติโปรตีนกลูเตนที่มีอยู่ในแป้งสาลีดูรัมที่ใช้ในการผลิตพาสตาจะทำหน้าที่เป็นโครงข่ายภายใน โครงสร้างที่มีคุณสมบัติในการลดการพองตัวของเม็ดสตาร์ชซึ่งส่งผลต่อคุณภาพด้านต่าง ๆ เช่น ความแข็ง (hardness) ความแน่นเนื้อ (firmness) ความยืดหยุ่น (elastic) และความเหนียวติดที่ผิวหน้า (surface stickiness) ของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น ซึ่งนอกจากการพิจารณาคุณภาพของพาสตาคุณภาพ การหุงต้มและลักษณะเนื้อสัมผัสแล้วยังสามารถอธิบายด้วยการศึกษาโครงสร้างภายในได้อีกทางหนึ่ง (Fardet et al., 1998 และ Wang et al., 1999) ดังนั้นการศึกษาโครงสร้างภายในโดยใช้ กล้องจุลทรรศน์ประเภทต่าง ๆ เช่น กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (light microscopy: LM) กล้อง จุลทรรศน์แบบคอนโฟคอลเลเซอร์สแกนนิ่ง (confocal laser scanning microscopy: CLSM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (scanning electron microscopy: SEM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน (transmission electron microscopy: TEM) เป็นต้น (Hermansson and Langton, 1999) จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการช่วยพิจารณาความเป็นไปได้ในการผลิต รวมถึงเป็นประโยชน์ในด้านการปรับปรุงและพัฒนาทดแทนส่วนผสมและกระบวนการผลิต เพื่อให้ได้พาสต้าข้าวเจ้าที่มีลักษณะและคุณภาพด้านต่าง ๆ ใกล้เคียงกับพาสต้าที่ผลิตจากแป้งสาลีต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตพาสตาดชนิดสปาเกตตีโดยใช้แป้งข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว123 ข้าวดอกมะลิ105 และชาซานิกิด้วยเครื่องอัดพอง

1.2.2 เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพ และคุณภาพของผลิตภัณฑ์พาสตาดชนิดสปาเกตตีที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าที่แปรผันตามพันธุ์ข้าว และสภาวะของกระบวนการอัดพอง

1.2.3 เพื่อศึกษาโครงสร้างภายใน (microstructure) ของพาสต้าที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าซึ่งมีผลต่อคุณภาพ และลักษณะเนื้อสัมผัสเปรียบเทียบกับพาสต้าที่ผลิตจากแป้งสาลี

1.3 สมมุติฐานของการวิจัย

1.3.1 พันธุ์ข้าว ความชื้น ความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิของบารามีผลต่อคุณภาพทางกายภาพ การหุงต้ม และลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าจากข้าวเจ้า

1.3.2 ลักษณะโครงสร้างภายในของพาสต้าจากข้าวเจ้ามีความแตกต่างจากพาสต้าที่ผลิตจากแป้งสาลีเป็นเหตุให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แตกต่างกัน

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.4.1 แป้งที่ใช้ในการทดลองได้จากการบดแห้งข้าว 3 พันธุ์ คือ ข้าวเหลืองประทิว123 ข้าวขาวดอกมะลิ105 และข้าวชาซานิกิ

1.4.2 พาสต้าข้าวเจ้าที่ผลิตเป็นชนิดสปาเกตตีซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 มิลลิเมตร และมีความยาวประมาณ 30 เซนติเมตร

1.4.3 เครื่องอัดพองที่ใช้ในการทดลองเป็นชนิดสกรูคู่แบบหมุนตามกันและซ้อนกัน (co-rotating and intermeshing twin screw extruder) ของบริษัท APV Baker รุ่น MPF ซึ่งเครื่องอัดพองดังกล่าวประกอบด้วยสกรูที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 19 มิลลิเมตร อัตราส่วนระหว่างความยาวทั้งหมดของสกรูต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (L/D ratio) เป็น 25 : 1 ผนังบารามีหน่วยให้ความร้อนที่

สามารถแบ่งการควบคุมอุณหภูมิได้เป็น 4 ช่วง และใช้หน้าแปลน (die) เป็นแบบรูปกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตรในการผลิต

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้แป้งข้าวเจ้าที่เตรียมจากข้าวเจ้ารวมทั้งสิ้น 3 พันธุ์ คือ ข้าวเหลืองประทิว123 ข้าวขาวดอกมะลิ105 และข้าวชาซานิกิ โดยใช้เครื่องอัดพองแบบสกรูคู่ที่สภาวะการอัดพองต่าง ๆ ในการผลิตพาสตาชนิดสปาเกตตี เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ คุณภาพในการหุงต้ม และลักษณะเนื้อสัมผัสของสปาเกตตีที่ผลิตได้ร่วมกับการศึกษาโครงสร้างภายในเพื่อช่วยวิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงปัจจัยและสภาวะการผลิต

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

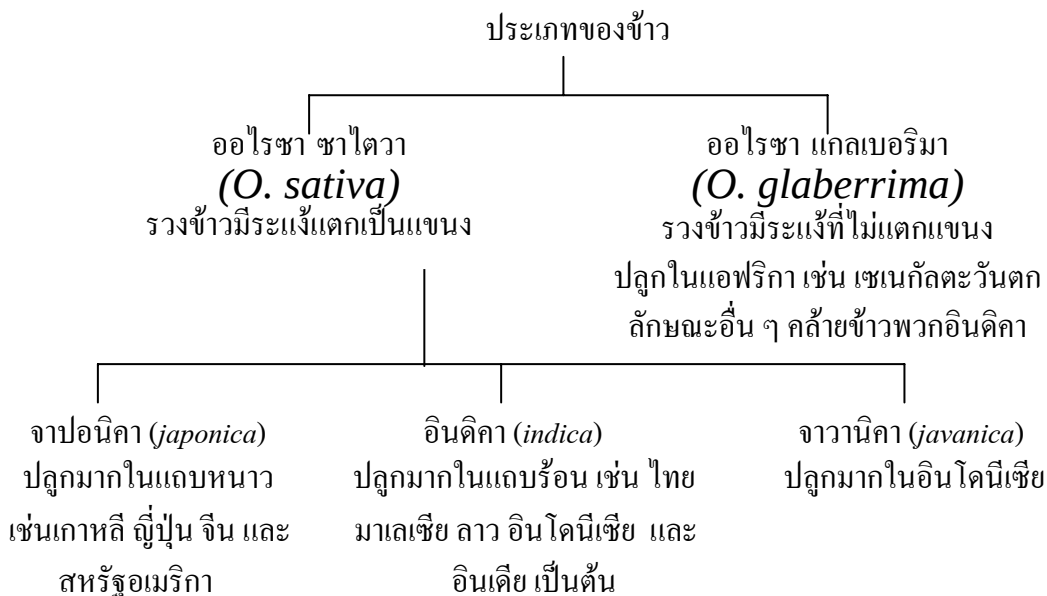
- 1.6.1 เข้าใจถึงสภาวะของการอัดพองที่มีผลต่อการผลิตพาสตาจากข้าวเจ้า
- 1.6.2 เข้าใจถึงผลกระทบของสภาวะของการอัดพองในระดับโครงสร้างภายในที่ส่งผลกระทบต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและคุณภาพการหุงต้ม
- 1.6.3 เป็นแนวทางในการพัฒนาและแปรรูปผลิตภัณฑ์พาสตาจากวัตถุดิบอื่นต่อไป
- 1.6.4 เป็นแนวทางในการนำผลิตผลทางการเกษตรที่มีในประเทศมาใช้ให้เกิดประโยชน์และลดหรือทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ

บทที่ 2

ปรัทัศนัวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้เรื่องข้าว

ข้าวเป็นอาหารหลักและเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญของคนไทย รวมทั้งชนชาติอื่น ๆ เช่น ส่องกง เกาหลี อินเดีย ปากีสถาน ฟิลิปปินส์ และจีน เป็นต้น (ละม้ายมาศ ยังสุข, 2541) ข้าวเป็นพืชตระกูลหญ้าอยู่ในแฟมิลี *Gramineae* มีจำนวนโครโมโซมเป็น $2n = 24$ ข้าวที่นิยมปลูกมี 2 พวก คือ ออไรซา ซาไตวา (*O. sativa*) และออไรซา แกลเบอร์ริมา (*O. glaberrima*) ซึ่งยังแบ่งได้อีกดังนี้

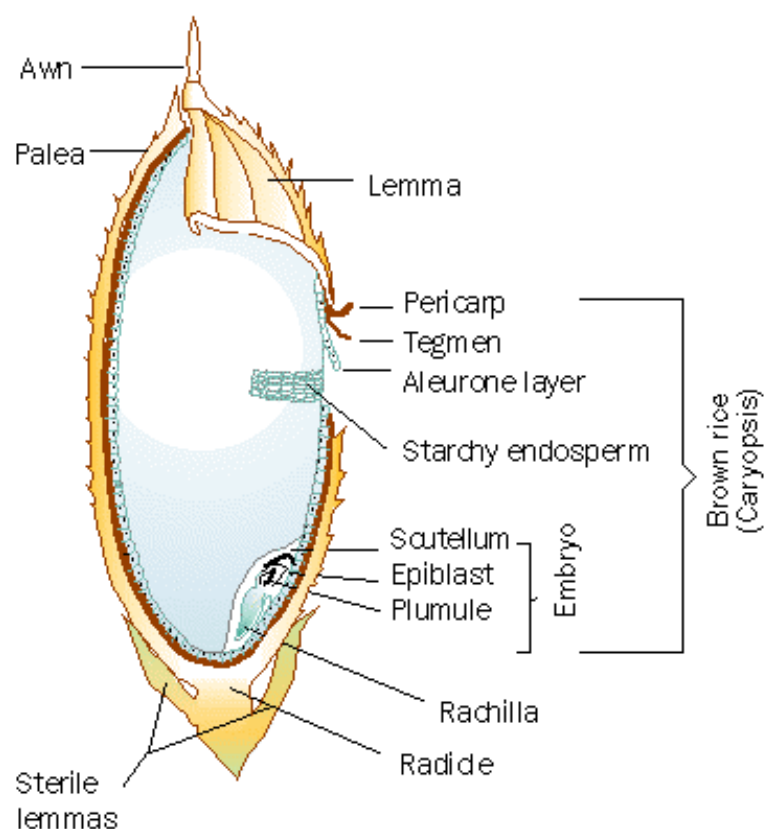


ข้าวที่ปลูกกันทั่วไปหากแบ่งตามปริมาณอะไมโลส (amylose content) สามารถแบ่งได้ดังนี้

- ข้าวอะไมโลสสูง ได้แก่ ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสไม่น้อยกว่าร้อยละ 27 โดยน้ำหนัก เช่น ชัยนาท1 สุพรรณบุรี1 ปทุมธานี60 และเหลืองประทิว123 เป็นต้น
- ข้าวอะไมโลสปานกลาง ได้แก่ ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสระหว่างร้อยละ 21 - 26 โดยน้ำหนัก เช่น กข7 สุพรรณบุรี60 และขาวตาแห้ง เป็นต้น
- ข้าวอะไมโลสต่ำ ได้แก่ ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสน้อยกว่าร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก เช่น ปทุมธานี1 กข15 ขาวดอกมะลิ105 และหอมคลองหลวง1 เป็นต้น (ประพาส วีระแพทย์, 2531)

2.1.1 โครงสร้างของข้าว

เมล็ดข้าวประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ เปลือกและเนื้อในเมล็ด ซึ่งส่วนเปลือกประกอบด้วยกลีบดอกแข็งเรียกว่าเกลบ (hull หรือ husk) อยู่ชั้นนอกสุด ชั้นถัดมาเป็นเยื่อหุ้มผล (pericarp) และเยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat) ส่วนเนื้อในเมล็ดชั้นนอกสุดเป็นชั้นแอลดูโรน (aleurone layer) ห่อหุ้มเนื้อเมล็ดและคัพภะ (embryo) ไว้ข้างใน ดังแสดงในภาพที่ 2.1 โดยมีสัดส่วนของเปลือกและเนื้อในเมล็ดร้อยละ 28 และ 72 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เมื่อขัดสีเป็นข้าวสารจะเหลือเฉพาะส่วนของเนื้อในเมล็ด (starchy endosperm) ซึ่งประกอบด้วยเม็ดสตาร์ชมีลักษณะห้ำเหลื่อมขนาดประมาณ 2 – 10 ไมครอน จับเป็นกลุ่มแน่น ส่วนโปรตีนมีลักษณะเป็นก้อนกลมขนาด 1 - 4 ไมครอน แทรกอยู่กับเม็ดสตาร์ชที่กระจายตัวอย่างอิสระโดยมีเม็ดไขมันอยู่ใกล้ ๆ แต่มีในปริมาณน้อยกว่าโปรตีน (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2538)

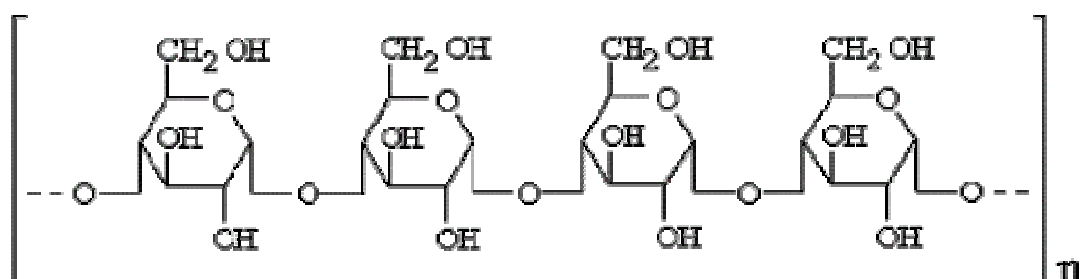


ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

แหล่งที่มา: วิชา สุโรจนะเมธากุล (2541)

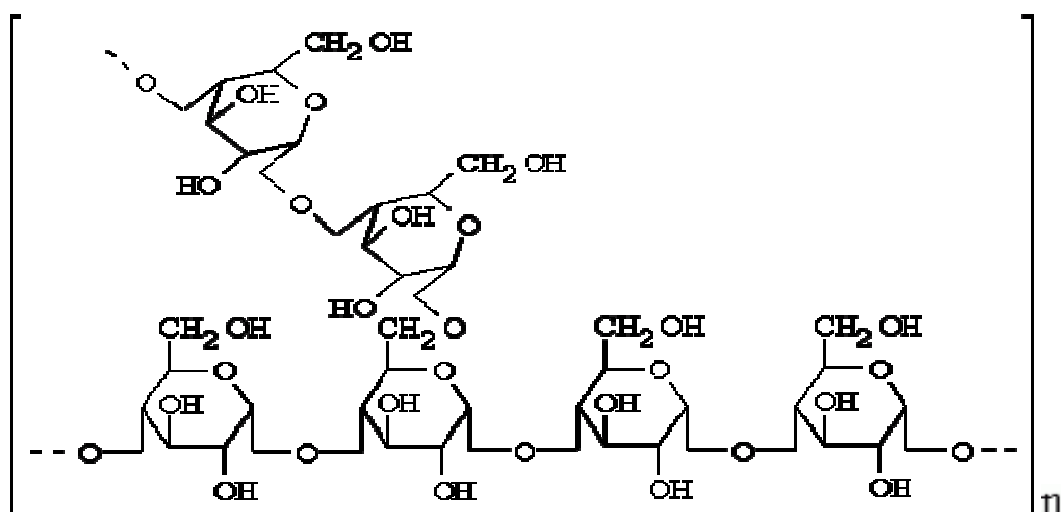
2.1.2 องค์ประกอบทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อในเมล็ดส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีอยู่ร้อยละ 90 โดยน้ำหนัก นอกนั้นเป็นโปรตีน ไขมัน และสารอาหารอื่นอีกร้อยละ 7, 1.5 และ 1.5 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ คาร์โบไฮเดรตที่มีในเนื้อเมล็ดเป็นสตาร์ชเกือบทั้งหมด ซึ่งโมเลกุลของสตาร์ช ประกอบด้วยสารประกอบทางเคมี 2 ชนิด คือ อะไมโลสและอะไมโลเพกติน โดยอะไมโลสเป็นโพลิเมอร์ เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย ต่อกันเป็นสายโซ่ยาวแบบขดเป็นเกลียวแบบ ฮิลิกซ์ (helix) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4-glucosidic bond และส่วนน้อยเป็น α -1,6-glucosidic bond ในขณะที่อะไมโลเพกตินเป็นโพลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส โดยส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4-glucosidic bond ในขณะที่ส่วนที่เป็นกิ่งก้านสาขาซึ่งเป็นโพลิเมอร์กลูโคสสายสั้นเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,6-glucosidic bond ดังแสดงในภาพที่ 2.2 และภาพที่ 2.3 โดยสัดส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของสตาร์ช เช่น สตาร์ชจาก ข้าวเหนียวประกอบด้วยอะไมโลเพกตินเกือบทั้งหมด ส่วนสตาร์ชจากข้าวเจ้ามีปริมาณอะไมโลสอยู่ระหว่างร้อยละ 15 – 35 โดยน้ำหนัก ขึ้นอยู่กับพันธุ์กรรมของข้าวพันธุ์นั้น ๆ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2538)



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของอะไมโลส

แหล่งที่มา: กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ (2543)



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน

แหล่งที่มา: กล้านรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2543)

2.1.3 คุณสมบัติของสตาร์ชในข้าว

เมื่อนำสตาร์ชจากข้าวมาผสมกับน้ำแล้วให้ความร้อนจะเห็นการเปลี่ยนแปลงของส่วนผสม คือ เดิมนี้กับสตาร์ชจากข้าวไม่รวมตัวกัน แต่เมื่อให้ความร้อนถึงอุณหภูมิประมาณ 68 องศาเซลเซียส ส่วนผสมจะเริ่มข้นหนืดขึ้นมีความเหนียวเปลี่ยนสีจากขาวทึบเป็นใสขึ้น จนถึงอุณหภูมิประมาณ 78 องศาเซลเซียส ก็จะใสหมดเรียกช่วงอุณหภูมินี้ว่า ช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลในเซชัน (gelatinization temperature range) เป็นคุณสมบัติเฉพาะของสตาร์ชจากพืชแต่ละชนิดซึ่งจะไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับสัดส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินในสตาร์ชของพืชนั้น ๆ ถ้าดูการเปลี่ยนแปลงนี้ผ่านกล้องจุลทรรศน์จะพบว่าเมื่อยังไม่ให้ความร้อนเม็ดสตาร์ชจะกระจายตัวอยู่ในน้ำสามารถมองเห็นรูปร่างชัดเจนโดยเม็ดสตาร์ชจะอมน้ำได้น้อยมาก แต่ถ้าให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิประมาณ 68 องศาเซลเซียส เม็ดสตาร์ชจะพองตัวจากการอมน้ำหรือน้ำเข้าที่ไปรวมตัวกับโมเลกุลของกลูโคสในโครงสร้างทั้งอะไมโลสและอะไมโลเพคตินทำให้มีความข้นหนืดของส่วนผสมมากขึ้นเรื่อย ๆ จนถึง 78 องศาเซลเซียส เม็ดสตาร์ชจะพองตัวเต็มที่ ถ้าน้ำมากและมีการเพิ่มอุณหภูมิอย่างต่อเนื่องโครงสร้างของเม็ดสตาร์ชจะสลายตัวโมเลกุลของสตาร์ชเริ่มกระจายตัวในน้ำ เมื่อหยุดให้ความร้อนส่วนผสมเริ่มเย็นลงมีผลให้พลังงานจากความร้อนลดลงทำให้พันธะไฮโดรเจนทั้งภายในและระหว่างโมเลกุลของสตาร์ชแข็งแรงขึ้น ความข้นหนืดจึงเพิ่มขึ้นอีกครั้งมีลักษณะเป็นเจล เมื่อทิ้งให้เย็นลงและระยะเวลาผ่านไปนานขึ้นจะเกิดการรวมตัวของโมเลกุลสตาร์ชมากขึ้น โดยเฉพาะในส่วนของอะไมโลสเพราะ

ขนาดโมเลกุลเล็กและเป็นเส้นตรงกว่าอะไมโลเพกตินจึงเคลื่อนที่และเกิดพันธะเชื่อมอย่างต่อเนื่องจากการจัดเรียงตัวใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนของโมเลกุลได้โครงข่ายสามมิติที่สามารถอุ้มน้ำได้ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2538)

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทยที่มีการจำหน่ายในรูปของข้าวสารเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังมีการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทเส้นก๋วยเตี๋ยว เส้นหมี่ และเส้นขนมจีน สำหรับบริโภคภายในประเทศและการส่งออก ในด้านการจำหน่ายข้าวในรูปของข้าวสารที่นิยมมากที่สุดคือ ข้าวหอมมะลิ (ขาวดอกมะลิ105) ซึ่งจัดเป็นข้าวในกลุ่มที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำจึงมีลักษณะนุ่มและเหนียว นอกจากนี้ยังมีกลิ่นหอมน่ารับประทานจึงมีราคาค่อนข้างสูงและเป็นที่นิยมมากในต่างประเทศ ในขณะที่ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะให้ข้าวหุงสุกที่ร้อน แข็ง ไม่มีกลิ่นหอมจึงมีราคาต่ำ และบริโภคเพียงในประเทศ แต่อย่างไรก็ตามข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงเหมาะที่จะนำไปทำผลิตภัณฑ์ประเภทเส้นหมี่และเส้นก๋วยเตี๋ยว เนื่องจากมีคุณสมบัติในการจับตัวกันเป็นเจลที่แข็งแรงไม่เปราะหรือหักง่ายในระหว่างการผลิต ขณะเดียวกันเมื่อนำผลิตภัณฑ์ไปลวกให้สุกก็มีความเหนียวนุ่มพอเหมาะแก่การรับประทาน (งามชื่น คงศรี, 2540; รัตนันทน์ พรธรรมาวุธ, 2544)

2.2 การแปรรูปอาหารโดยวิธีการอัดพอง (extrusion process)

เทคโนโลยีการอัดพอง (extrusion technology) ถูกใช้ครั้งแรกในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใช่อาหาร เมื่อประมาณสองศตวรรษที่ผ่านมาโดยวิศวกรชาวอังกฤษชื่อ Joseph Bramah ได้ประดิษฐ์เครื่องอัดพองต้นแบบขึ้นมาใช้ทำท่อตะกั่วแบบไร้รอยต่อ เมื่อปี ค.ศ.1797 จากนั้นเครื่องอัดพองได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น แล้วนำไปใช้ในอุตสาหกรรมทำพลาสติกและต่อมานำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร โดยใช้เครื่องอัดพองสกรูเดี่ยวแบบต่อเนื่องในการผลิตมะกะโรนีเป็นครั้งแรกเมื่อ ค.ศ.1930 หลังจากนั้นได้ถูกพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพเรื่อยมาจนกระทั่งสามารถใช้แปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารที่มีแป้งเป็นวัตถุดิบหลักได้หลากหลายประเภท (ประชา บุญญศิริกุล, 2539)

กระบวนการแปรรูปอาหารโดยวิธีการอัดพอง คือ กระบวนการแปรรูปอาหารโดยใช้อุณหภูมิสูงในระยะเวลาสั้น (high temperature short time; HTST) (Bailey et al., 1991) ซึ่งประกอบด้วยการทำงานของหลายส่วนร่วมกันของเครื่องอัดพอง ได้แก่ ส่วนที่รับ และส่งผ่านวัตถุดิบ (feed hopper) เข้าสู่ตัวเครื่องอัดพอง ส่วนที่มีการผสม การนวด การให้ความร้อน และการขึ้นรูปโดยการอัดผ่านรูเปิดที่หน้าแปลนทำให้เกิดรูปร่าง การทำงานร่วมกันของหน่วยต่าง ๆ เหล่านี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพของวัตถุดิบให้อยู่ในรูปของผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป

(intermediate product) หรือผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป (finished product) กระบวนการแปรรูปโดยเครื่องอัดพองใช้ประโยชน์ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น อาหารพร้อมรับประทานจากธัญชาติ

(ready-to-eat cereal) เนื้อเทียม พาสตา ขนมปัง และอาหารขบเคี้ยว (snack) เป็นต้น (ประชา บุญญศิริกุล, 2539)

2.2.1 หลักการทำงานของเครื่องอัดพอง

วัตถุดิบจะถูกส่งไปที่ส่วนรับวัตถุดิบจากนั้นส่งผ่านไปที่ตัวเครื่องอัดพอง แล้วเกิดการไหลวนเหลวภายในมีคุณสมบัติคล้ายพลาสติก เนื่องจากความดัน อุณหภูมิ และแรงเฉือน (shear force) สูงที่เกิดขึ้นในเครื่องอัดพอง ทำให้วัตถุดิบอยู่ในรูปของโด (dough) เคลื่อนที่ภายในเครื่องอัดพองตามทิศทางการหมุนของสกรู (screw) ช่วงระยะที่ผ่านตัวเครื่องอัดพองนี้โดจะถูกทำให้สุก และทำให้เกิดรูปร่างโดยผ่านหน้าแปลนซึ่งเป็นรูเปิดหรือช่องอยู่ส่วนสุดท้ายของเครื่องอัดพอง ผลิตภัณฑ์ที่ออกจากเครื่องอัดพอง เรียกว่า เอ็กทราเดต (extrudate) เอ็กทราเดตที่ได้อาจมีลักษณะพองหรือแบนบาง และรูปร่างที่หลากหลายขึ้นอยู่กับปัจจัยการผลิต เช่น อุณหภูมิภายในเครื่องอัดพองและความเร็วรอบของสกรู เป็นต้น (กมลวรรณ แจ่มชัด, 2541)

2.2.2 ประเภทของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอัดพอง

2.2.2.1 ผลิตภัณฑ์กรอบพองสุกทันที (direct expanded products) เป็นผลิตภัณฑ์ที่พองตัวทันทีเมื่อออกจากหน้าแปลนของเครื่องอัดพองและไม่ต้องแปรรูปอื่นนอกจากการทำแห้ง

2.2.2.2 ผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่พองสุกทันที (indirect expanded products) หรือเรียกว่าผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป (half products หรือ intermediate products) จำกััดความของผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป หมายถึง ผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้จากการทำแป้งให้ขึ้น ร้อน หนืดเหนียว จนกระทั่งกลายเป็นเจล (แป้งสุก) ได้อย่างสมบูรณ์แล้วอัดผ่านรูเปิดของหน้าแปลน หรือรีดให้เป็นแผ่นออกมาแล้วตัดเป็นชิ้นหรือแผ่นบาง ๆ จากนั้นนำไปอบไล่ความชื้น จนกระทั่งเหลือความชื้นประมาณร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก หรือน้อยกว่าเพื่อให้เก็บไว้ได้นาน แต่เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูปดังนั้นจึงต้องมีขั้นตอนของกระบวนการผลิตเพิ่มเข้ามาอีกจึงจะรับประทานได้ ซึ่งขั้นตอนการผลิตที่เพิ่มเข้ามานี้เป็นตัวทำให้เกิดรูปร่างปรากฏขึ้นหรือเกิดลักษณะเนื้อสัมผัสที่เป็นจริงตามสภาพของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ตามแบบชนิดของขั้นตอนหรือกระบวนการผลิตที่เพิ่มเข้ามาซึ่งอาจประกอบด้วยการทอดในน้ำมัน การอบด้วยความร้อนสูง หรือการต้มสุก (ประชา บุญญศิริกุล, 2537)

2.2.3 ประเภทของเครื่องอัดพอง

Rossen and Miller (1973) ได้จำแนกประเภทของเครื่องอัดพองตามคุณลักษณะเชิงหน้าที่ (functional characteristics) คุณลักษณะทางอุณหพลศาสตร์ (thermodynamic characteristics) และตามจำนวนสกรู (number of screw) ซึ่งสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

2.2.3.1 การแบ่งประเภทของเครื่องอัดพองตามคุณลักษณะเชิงหน้าที่ที่สามารถแบ่งได้เป็น

1) พาสตาเอ็กทราเดอร์ (pasta extruder) เป็นเครื่องอัดพองที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์จากแป้งสาลี เช่น มะกะโรนี โดยเครื่องอัดพองประเภทนี้มีร่องเกลียวสกรูลึก ผนังด้านในบาร์เรลเรียบ

และความเร็วรอบของสกรูหมุนช้า ซึ่งอาจทำให้โคสุกเพียงเล็กน้อยหรือไม่สุกเลย จึงจำเป็นต้องใช้ขั้นตอนอื่นช่วยในการทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นสุกพร้อมรับประทาน

2) เครื่องอัดพองประเภทแรงเฉือนต่ำ (low-shear cooking extruder) เป็นเครื่องอัดพองที่ทำให้สุกแบบต่อเนื่องมักใช้กับวัตถุดิบที่ชื้นหรือมีความชื้นสูง ผนังด้านในบาเรลเป็นร่องให้แรงเฉือนปานกลาง แต่มีการบีบอัดสูงเพื่อให้เกิดการผสมรวมตัวกันได้ดี ความร้อนเกิดจากแรงเสียดทานขณะที่วัตถุดิบที่มีความหนืดถูกบีบอัดเพื่อส่งผ่านไปยังผนังบาเรลและตัวสกรู ทำให้วัตถุดิบเกิดการสุก

3) เครื่องอัดพองประเภทแรงดันสูง (high-pressure forming extruder) เป็นเครื่องอัดพองที่ออกแบบให้มีผนังด้านในบาเรลเป็นร่องเพื่อป้องกันการลื่นไถลของวัตถุดิบ และสกรูเป็นแบบที่ทำให้เกิดแรงอัดสูงส่วนมากใช้ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อให้ได้รูปทรงตามต้องการ

4) เครื่องอัดพองประเภทแรงเฉือนสูง (high-shear cooking extruder) เป็นเครื่องอัดพองที่มีบาเรลยาวมีการบีบอัดสูง ความยืดหยุ่นในการใช้งานสูงเนื่องจากมีการออกแบบให้มีระบบการควบคุมอุณหภูมิที่ผนังบาเรลทำให้สามารถใช้ได้กับวัตถุดิบที่มีความชื้นต่ำมากจนถึงความชื้นสูง

2.2.3.2 การแบ่งประเภทของเครื่องอัดพองตามลักษณะอุณหพลศาสตร์ สามารถแบ่งได้ดังต่อไปนี้

1) ออโตจีนัสเอ็กทราuder (autogenous extruder) ความร้อนที่เครื่องอัดพองได้รับมาจากแรงเสียดทานเพียงอย่างเดียว อุณหภูมิภายในเครื่องอัดพองประเภทนี้จะสูงหรือต่ำขึ้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าไป และการจัดเรียงสกรู

2) ไอโซเทอร์มอลเอ็กทราuder (isothermal extruder) เป็นเครื่องอัดพองที่มีระบบควบคุมอุณหภูมิให้คงที่เท่ากันตลอดความยาวของบาเรล ซึ่งทำได้โดยการให้ความระบายความร้อนทางช่องว่างระหว่างผนังสองชั้นของบาเรลที่ล้อมรอบสกรูอยู่

3) โพลีโทรปิกเอ็กทราuder (polytropic extruder) ความร้อนที่เครื่องอัดพองได้รับมาจาก 2 แหล่ง คือ ความร้อนที่เกิดจากแรงเสียดทานและความร้อนจากแหล่งความร้อนภายนอกที่ส่งเข้ามาทางช่องว่างระหว่างบาเรล

2.2.3.3 การแบ่งประเภทของเครื่องอัดพองตามจำนวนสกรู แบ่งได้ 2 ประเภท คือ

1) เครื่องอัดพองแบบสกรูเดี่ยว (single screw extruder) เป็นเครื่องอัดพองแบบที่มีสกรู 1 อันวางตลอดภายในตัวเครื่อง

2) เครื่องอัดพองแบบสกรูคู่ (twin screw extruder) เป็นเครื่องอัดพองที่ประกอบด้วยสกรู 2 อัน มีความยาวเท่ากันอยู่ในบาเรลเดียวกัน เครื่องอัดพองแบบสกรูคู่ยังแบ่งได้หลายชนิดขึ้นกับแบบของสกรู (screw configuration) โดยขึ้นอยู่กับทิศทางหมุนของสกรูทั้งคู่

(แบบหมุนตามกันและแบบหมุนตรงข้ามกัน) และลักษณะของสกรูที่ซ้อนกัน (สกรูซ้อนกันและสกรูไม่ซ้อนกัน)

อย่างไรก็ตามเครื่องอัดพองแบบสกรูเดี่ยวมีการใช้ประโยชน์ค่อนข้างจำกัด และมักมีปัญหาในการส่งผ่านส่วนผสมที่มีความหนืดต่ำ เครื่องอัดพองแบบสกรูคู่จะเป็นที่นิยมใช้กันมากกว่าในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากใช้ได้กับวัตถุดิบหลายประเภท รวมทั้งใช้ได้กับวัตถุดิบที่มีความชื้นหลายระดับและวัตถุดิบที่มีปริมาณไขมันปานกลางด้วย (กมลวรรณ แจ่มชัด, 2541)

2.2.4 บทบาทของเครื่องอัดพองในอุตสาหกรรมอาหาร

2.2.4.1 ทำผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายประเภท โดยการเลือกใช้วัตถุดิบรวมถึงส่วนผสมและสถานะการแปรรูปต่าง ๆ กัน

2.2.4.2 ให้ผลผลิตสูงเนื่องจากเครื่องอัดพองเป็นเครื่องจักรที่สามารถทำงานต่อเนื่องได้

2.2.4.3 ใช้ต้นทุนในการทำงานต่ำเนื่องจากใช้แรงงานและพื้นที่ในการผลิตน้อย แต่รูปแบบของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้หลากหลาย

2.2.4.4 ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพสูงเนื่องจากกระบวนการผลิตด้วยเครื่องอัดพองเป็นแบบอุณหภูมิสูงระยะเวลาสั้นจึงสามารถทำลายเชื้อโรค แต่สูญเสียคุณค่าทางอาหารน้อย

2.2.4.5 ประหยัดพลังงานเนื่องจากการแปรรูปที่ใช้ความชื้นต่ำ จึงใช้ความร้อนน้อยในการทำให้อุ่น และอบแห้งหลังจากทำให้อุ่น

2.2.4.6 ผลิตอาหารใหม่จากโปรตีนพืชต่าง ๆ แป้ง และวัตถุดิบต่าง ๆ

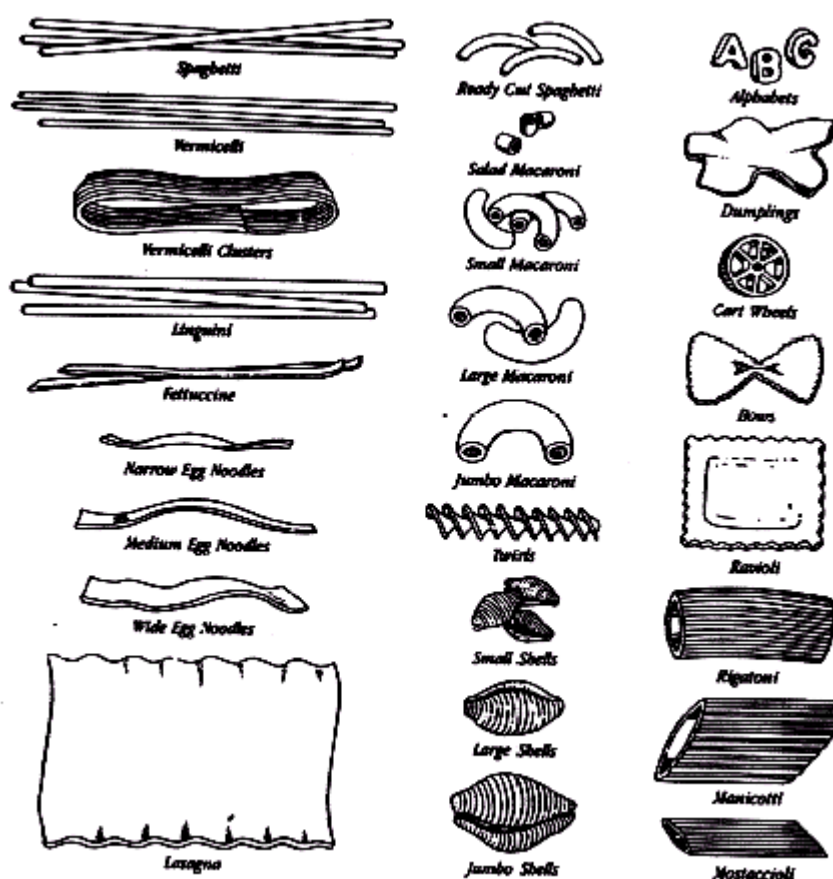
2.2.4.7 ไม่มีน้ำทิ้งโสโครกจากกระบวนการผลิต (ประชา บุญญสิริกุล, 2537)

2.3 พาสตาและผลิตภัณฑ์

พาสตา (pasta) เป็นผลิตภัณฑ์อาหารประเภทเส้นที่นิยมบริโภคเป็นอาหารหลักของหลายประเทศทั่วโลกโดยเฉพาะอย่างยิ่งในแถบยุโรป โดยทั่วไปจะขายในลักษณะผลิตภัณฑ์แบบแห้ง เมื่อต้องการบริโภคก็นำมาต้มในน้ำเดือดก่อนปรุงร่วมกับส่วนผสมอื่น พาสตาและผลิตภัณฑ์มีชื่อเรียกต่าง ๆ กันตามลักษณะของขนาด และรูปร่าง ดังแสดงในภาพที่ 2.4 เช่น สปาเกตตีมีลักษณะเป็นเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 – 2.1 เซนติเมตร ยาวไม่น้อยกว่า 20 เซนติเมตร ส่วนมะกะโรนีมีลักษณะเป็นเส้นขนาดใหญ่มีรูกลวงตรงกลางเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกประมาณ 2.5 – 2.7 เซนติเมตร ยาว 2 – 2.8 เซนติเมตร หนา 0.5 – 1 มิลลิเมตร เป็นต้น แต่ที่รู้จักและนิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย คือ มะกะโรนี (macaroni) สปาเกตตี (spaghetti) และเวอร์มิเชลลี (vermicelli) (Lorenz and Kulp, 1991; Hoseneey, 1994)

พาสตาผลิตจากวัตถุดิบหลัก 2 ชนิด คือ แป้งสาลี และน้ำ โดยพาสตาที่มีคุณภาพดีผลิตจากซิโมลินา (semolina) ซึ่งเป็นแป้งที่ได้จากการบดหยาบข้าวสาลีชนิดดุรัม (*Triticum turdudum* var

durum) ที่ปราศจากรำและกัปกะ เนื่องจากแป้งดังกล่าวมีโปรตีนกลูเตนสูงส่งผลให้เกิดโดที่เหนียวแต่ไม่ยืดง่ายเหมือนแป้งชนิดอื่น ๆ และนอกจากนี้ยังมีแคโรทีนอยด์ (carotenoid) สูง พาสตาที่ได้จึงมีสีเหลืองสวย (Lorenz and Kulp, 1991) กรรมวิธีการผลิตพาสตามี 3 ขั้นตอน คือ การผสม การขึ้นรูป และการทำแห้ง เริ่มจากการผสมซีโมลินากับน้ำจนกระทั่งส่วนผสมมีความชื้นร้อยละ 31 โดยน้ำหนัก นวดจนเกิดโดที่เหนียวเรียบภายใต้สภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิประมาณ 30 องศาเซลเซียส จากนั้นนำเข้าเครื่องอัดพองเพื่อขึ้นรูปให้เกิดลักษณะ และรูปร่างตามต้องการ จากนั้นจึงนำพาสตาที่ผลิตไปทำแห้งเพื่อลดความชื้นจากร้อยละ 31 ให้เหลือร้อยละ 10 – 12 โดยน้ำหนัก โดยทั่วไปหากเก็บไว้ในที่แห้งและเย็นพาสตาจะมีอายุการเก็บประมาณ 2 ปี (Abecassis et al., 1994)



ภาพที่ 2.4 พาสตาและผลิตภัณฑ์

แหล่งที่มา: Lorenz and Kulp (1991)

การผลิตพาสตาจากข้าวซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ปราศจากกลูเตนเริ่มมีมานานกว่า 20 ปีมาแล้ว เพื่อสนองความต้องการของผู้บริโภคป่วยที่เป็นโรค coeliac disease หรือที่เรียกว่า gluten intolerance ซึ่งเป็นโรคที่สามารถถ่ายทอดทางพันธุกรรมหรือบางครั้งอาจเกิดขึ้นหลังจากป่วย

หรือหลังจากการคลอดบุตร โดยผู้ที่เป็นโรคดังกล่าวไม่สามารถบริโภคอาหารที่มีโปรตีนกลูเตนหรือโปรตีนที่มีลักษณะคล้ายโปรตีนกลูเตนได้ ผู้ป่วยจะแสดงอาการแตกต่างกันไปตามแต่ละบุคคล เช่น ปวดหัว คลื่นไส้ อาเจียน ท้องเสีย ท้องผูก น้ำหนักลด และเบื่ออาหาร เป็นต้น โดยทั่วไปจะพบในประชากรแถบยุโรปและอเมริกาในอัตราส่วน 1 : 250 คน และมีแนวโน้มสูงขึ้นเนื่องจากเป็นโรคที่สามารถถ่ายทอดทางพันธุกรรม ในปัจจุบันโรคนี้ยังไม่มีการรักษาผู้ป่วยทำได้เพียงหลีกเลี่ยงการบริโภคอาหารที่มีโปรตีนกลูเตนเป็นส่วนประกอบซึ่งโดยหลักแล้วผลิตมาจากข้าว ข้าวโพด ถั่ว และพืชหัวชนิดต่าง ๆ (Scott, 1995) เช่น Hsu (1984) ศึกษาการผลิตพาสตาข้าวเจ้าโดยนำแป้งข้าวดิบผสมกับแป้งข้าวที่ทำให้สุกบางส่วน (ร้อยละ 0 – 40 โดยน้ำหนัก) ร่วมกับการใช้โซเดียมและ/หรือโพแทสเซียมอัลจิเนต หรือผสมกับโพลีลีนไกลคอลอัลจิเนต (ร้อยละ 0 – 4 โดยน้ำหนัก) จากนั้นนวดผสมกับน้ำกระด้างให้โดมีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 30 – 33 โดยน้ำหนัก แล้วอัดให้เป็นเส้นหรือรูปร่างต่าง ๆ จากนั้นทำแห้งที่ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่างร้อยละ 80 – 85 อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง Lechthaler (1985) ศึกษาการผลิตพาสตาจากแป้งชนิดต่าง ๆ เช่น แป้งข้าว และแป้งข้าวโพด เป็นต้น โดยการนำแป้งกับน้ำมาผสมกันนวดให้เกิดโดเต็มสารที่ช่วยให้เกิดเจลร่วมกับการใช้น้ำอ่อนแล้วทำให้สุกบางส่วนก่อนอัดเป็นรูปร่างออกมา จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปแช่ลงในอ่างที่มีประจุเพื่อให้เกิดเป็นเจลที่แข็งแรงแล้วจึงทำแห้ง Hauser and Lechthaler (1994) ศึกษาการเตรียมโดจากแป้งข้าวและน้ำให้โดมีความชื้นร้อยละ 32 – 45 โดยน้ำหนัก ร่วมกับสารที่ช่วยทำให้เกิดเจล (gelling agent) และอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) จากนั้นนำเข้าสู่เครื่องอัดพองเพื่อนวดและอัดขึ้นรูปก่อนนำพาสตาดังกล่าวแช่ลงใน อ่างน้ำที่มีประจุเพื่อทำให้เกิดเจลจากนั้นจึงไปทำแห้งได้เป็นพาสตาข้าวเจ้า Silver and Silver (1996) ผลิตพาสตาจากวัตถุดิบที่ไม่มีหรือมีโปรตีนกลูเตนต่ำ เช่น ถั่ว และพืชหัวชนิดต่าง ๆ ผสมกับการสารเพิ่มความคงตัว (stabilizer) เช่น กวักัม และ/หรือแซนแทนกัมร้อยละ 0.01 – 5 โดยน้ำหนัก เพื่อช่วยพัฒนาเนื้อสัมผัสของพาสตา ดังกล่าว ต่อมา Chawan et al. (1998) ทำการศึกษาการใช้โพลีลีนไกลคอลอัลจิเนตในการปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสตาทั้งที่ผลิตจากข้าวสาลี และธัญชาติอื่น ๆ ที่ ไม่ใช่ข้าวสาลี เช่น แป้งข้าวโอ๊ต แป้งข้าวโพด และแป้งถั่วต่าง ๆ หลังจากการเก็บไว้ในตู้เย็นหรือผ่าน การแช่เยือกแข็ง Favero (1998) ศึกษาการผลิตพาสตาโดยนำแป้งข้าวหรือ แป้งข้าวโพดมาทำให้สุกบางส่วนก่อนแล้วเติมโมโนกลีเซอไรด์ ก่อนผ่านเข้าเครื่องผสมส่งผ่านไปยังเครื่องนวดและอัดขึ้นรูป จากนั้นทำแห้งได้เป็นพาสตาที่ปราศจากโปรตีนกลูเตน และ Lai (2001) ศึกษา

การพัฒนาคุณภาพของพาสต้าข้าวเจ้าโดยการเติมกลีเซอรอลโมโนสเตียเรตลงในแป้งข้าว
ก่อนการนำแป้งดังกล่าวไปนึ่งเพื่อให้สุกบางส่วนและอัดขึ้นรูปได้เป็นพาสต้าข้าวเจ้า

2.4 โครงสร้างภายในของอาหาร (food microstructure)

ในปัจจุบันการใช้ประโยชน์จากกล้องจุลทรรศน์ไม่ได้จำกัดเพียงเพื่อการตรวจสอบหรือเพื่อ
การวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยาเท่านั้น แต่ยังสามารถนำมาใช้ในการศึกษาโครงสร้างภายในของวัสดุ
และวัตถุต่าง เพื่อใช้อธิบายความสัมพันธ์ของโครงสร้างภายในที่มีผลต่อคุณสมบัติและ/หรือลักษณะ
ภายนอกด้วย (Ding and Gunasekaran, 1998) อาหารมีองค์ประกอบและส่วนผสมมากมายอีกทั้งยัง
มีกระบวนการผลิตที่หลากหลายซึ่งส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพและลักษณะเนื้อสัมผัส เช่น
นํ้านม เมื่อผ่านกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกันทำให้ได้ เนยแข็ง โยเกิร์ต ครีม หรือไอศกรีม ซึ่ง
ล้วนมีโครงสร้างภายในที่แตกต่างกัน ด้วยเหตุนี้การศึกษาโครงสร้างภายในจึงทำให้เข้าใจถึงการ
เปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิตและอิทธิพลของส่วนผสมที่มีต่ออาหาร
(Hermansson et al., 2000)

กล้องจุลทรรศน์เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางวิทยาศาสตร์ซึ่งเกิดจากความเพียรพยายามของ
นักวิทยาศาสตร์ที่ต้องการศึกษาค้นคว้าทางชีววิทยาและกายภาพที่ซับซ้อนในโครงสร้างระดับ
ไมโครซึ่งไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้กันทั่วไปแบ่งได้ 2 ชนิด คือ กล้อง
จุลทรรศน์แบบใช้แสง (light microscope; LM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (electron
microscope; EM) (Aguilera and Stanley, 1999)

2.4.1 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (light microscope; LM)

กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงถูกใช้ในการศึกษาโครงสร้างภายในอย่างแพร่หลาย ซึ่ง
แบ่งประเภทได้ตามแหล่งกำเนิดแสง เช่น กล้องจุลทรรศน์แบบพื้นสว่าง (bright field microscope)
กล้องจุลทรรศน์แบบเฟสคอนทราสต์ (phase contrast microscope) กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์
(polarize microscope) กล้องจุลทรรศน์แบบฟลูออเรสเซนซ์ (fluorescence microscope) และกล้อง
จุลทรรศน์แบบคอนโฟคอลเลเซอร์สแกนนิ่ง (confocal laser scanning microscope) เป็นต้น

2.4.1.1 กล้องจุลทรรศน์แบบพื้นสว่าง (bright field microscope)

กล้องจุลทรรศน์แบบพื้นสว่างเป็นกล้องที่ใช้งานอย่างกว้างขวาง โดยเมื่อส่อง
ด้วยกล้องนี้จะพบว่าพื้นที่รอบ ๆ ตัวอย่างสว่าง ส่วนตัวอย่างหรือวัสดุที่นำมาส่องจะมีมืดทึบกว่า

2.4.1.2 กล้องจุลทรรศน์แบบเฟสคอนทราสต์ (phase contrast microscope)

กล้องจุลทรรศน์แบบเฟสคอนทราสต์ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้ศึกษาเกี่ยวกับเซลล์
หรือเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะบางใสแม้ว่าวัตถุนั้นจะไม่ได้มีการย้อมสี โดยอาศัยหลักการ

แทรกสอดของแสงให้ถูกต้อง คือ จัดให้แสงมีความยาวคลื่นในช่วงคลื่นช่วงหนึ่ง เมื่อนำวัตถุที่มีความยาวช่วงคลื่นเกือบเท่ากับช่วงคลื่นของแสงที่ตกกระทบแล้วแสงก็จะแยกเป็น 2 ลำแสง จากนั้นเกิดการแทรกสอดกันอีกครั้งทำให้เกิดภาพที่ระนาบเดียวกัน

2.4.1.3 กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์ (polarized microscope)

กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์ (polarized microscope) เหมาะสำหรับการศึกษเกี่ยวกับเซลล์หรือเนื้อเยื่อที่เป็นเส้นใย และการเรียงตัวของโมเลกุลที่เรียงกันเป็นแนว โดยมีหลักการเหมือนกับกล้องแบบใช้แสงทั่วไป แต่ภายในมีแผ่นโพลาไรซ์แบบขวางหรือแบบหน้าตัดมาวางกันแสงไว้ แผ่นแรกกั้นระหว่างเลนส์ใกล้ตากับเลนส์ใกล้วัตถุ แผ่นที่สองกั้นระหว่างเลนส์รวมแสงกับวัตถุตัวอย่าง ด้วยเหตุนี้จึงสามารถใช้กล้องแบบนี้ในการหาคุณสมบัติของการหักเหแสงของวัตถุได้

2.4.1.4 กล้องจุลทรรศน์แบบฟลูออเรสเซนซ์ (fluorescence microscope)

กล้องจุลทรรศน์แบบฟลูออเรสเซนซ์ (fluorescence microscope) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่ากล้องจุลทรรศน์แบบเรืองแสง เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่นำเอาเทคนิคใหม่เข้ามาใช้ในการประดิษฐ์ สามารถนำมาใช้ในการศึกษาเรื่องเซลล์ และมีประโยชน์มากโดยเฉพาะในสาขาแพทยสัตวศาสตร์ พฤกษศาสตร์ และทางอุตสาหกรรม

ตารางที่ 2.1 สีที่ใช้ในการศึกษาโครงสร้างภายในของอาหาร

Fluorochromes	Components
autofluorescence	phenolic acids, lignin, seed coat, elastin collagen
acid fuchsin	cereal proteins
acridine orange	casein, bacteria cell, nuclei
acridiflavine	phytate, nucleic acid
anilinonapthalene	plant storage proteins
calcofluor white	beta-glucans, mucilage
congo red	beta-glucans, mucilage
crystal violet/erythrosin B	lignin
fluorescein isothiocyanate	proteins
nile blue A, nile red	lipids, plant cuticle
periodate, schiff's	starch, vicinal hydroxyl groups

texas red	proteins
thiazine red R	proteins

แหล่งที่มา : Stanley (1999)

การเรืองแสงเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติอย่างหนึ่งโดยจะเกิดขึ้นกับสารหรือวัตถุเมื่อมีแสงหรือรังสีไปกระทบสารบางอย่างสามารถเปลี่ยนแสงอัลตราไวโอเล็ตซึ่งปกติไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าให้เป็นคลื่นยาวที่สามารถมองเห็นได้ เป็นสารที่มีในธรรมชาติบางอย่างทั้งในสัตว์ พืช และแร่ธาตุ ซึ่งอาจปล่อยรังสีออกมาโดยไม่ต้องเตรียมอะไรเพิ่มเติมเรียกการเรืองแสงตามธรรมชาติว่า การเรืองแสงขั้นแรก (primary fluorescence) อย่างไรก็ตามในวัตถุบางอย่างความเข้มขึ้นของแสงที่เรืองออกมามีน้อยทำให้มองเห็นสีหรือสิ่งที่ต้องการศึกษาไม่ชัดเจนซึ่งสามารถปรับปรุงได้โดยการย้อมสีเพื่อกระตุ้นให้สิ่งที่ต้องการศึกษาก่อการเรืองแสงที่ชัดเจนขึ้น โดยเรียกสีย้อมว่า ฟลูออโรโครม (fluorochrome) และเรียกการเรืองแสงจากสีย้อมนี้ว่าการเรืองแสงอันดับสอง (secondary fluorescence) ตัวอย่างสีย้อมแสดงในตารางที่ 2.1 (อนันต์ ลือขจร, 2536)

2.4.1.5 กล้องจุลทรรศน์แบบคอนโฟคอลเลเซอร์สแกนนิ่ง (confocal laser scanning microscope)

กล้องจุลทรรศน์แบบคอนโฟคอลเลเซอร์สแกนนิ่งถูกสร้างขึ้นเมื่อประมาณ 40 ปีที่ผ่านมา โดยการผสมเทคโนโลยีแบบเก่าและใหม่เข้าด้วยกันเพื่อสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้หลากหลาย จากหลักการที่ให้ลำแสงจากแหล่งกำเนิดแสงเคลื่อนที่ผ่านรูเปิดขนาดเล็ก (pinhole) และบีบลำแสงให้มีขนาดเล็กด้วยเลนส์รวมแสง (condenser) และตกกระทบลงบนตัวอย่างเกิดเป็นจุดสว่างขนาดเล็ก จากนั้นแสงที่สะท้อนออกจากตัวอย่างจะตกกระทบลงบนเลนส์ใกล้วัตถุ ก่อนผ่านไปยังรูเปิดขนาดเล็กอีกรูหนึ่งก่อนส่งสัญญาณไปยังเครื่องตรวจวัดสัญญาณภาพ (detector) เมื่อตัวอย่างไม่อยู่ในตำแหน่งโฟกัสแสงที่สะท้อนออกจากตัวอย่างจะไม่ผ่านรูเปิดขนาดเล็กจึงไม่มีสัญญาณภาพปรากฏที่เครื่องตรวจวัดสัญญาณภาพปัญหาภาพไม่คมชัดที่พบในกล้องจุลทรรศน์แบบฟลูออเรสเซนส์จึงไม่เกิดเป็นการเพิ่มความละเอียดของภาพเนื่องจากสัญญาณภาพที่อยู่นอกเหนือการโฟกัสไม่มีส่วนต่อการเกิดภาพ นอกจากนี้การนำข้อดีของ image technology, fluorescence probe และ computer design มาใช้ ทำให้สามารถใช้ศึกษาตัวอย่างที่มีความหนาได้ จึงช่วยลดขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างได้เป็นอย่างดี ร่วมกับการกระตุ้นด้วยสีย้อมเพื่อศึกษาเฉพาะส่วนประกอบ ที่สนใจเช่นเดียวกับกล้องจุลทรรศน์แบบฟลูออเรสเซนส์และการใช้เลเซอร์เป็นแหล่งกำเนิดแสงทำให้สามารถตัดทะลุตัวอย่างที่ละชั้นบาง ๆ แล้วจึงนำภาพแต่ละชั้นมารวมกันทำให้เห็นตัวอย่างเป็นโครงสร้างสามมิติ อีกทั้งแสงเลเซอร์สามารถผลิตลำแสงได้ถึง 2 หรือ 3 ความยาว

คลื่น ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ทำให้สามารถใช้ในการศึกษาวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีหลายองค์ประกอบ (multicomponents analysis) ได้ (Vodovotz et al., 1996; Stanley, 1999)

ตารางที่ 2.2 แหล่งกำเนิดเลเซอร์ที่ให้ความยาวคลื่นระดับต่าง ๆ

Laser	Abbrev.	Excitation Lines
Argon	Ar	353-461, 488, 514 nm
Krypton-Argon	Kr-Ar	488, 568, 647 nm
Helium-Neon	He-Ne	633 nm
Helium-Cadmium	He-Cd	325-441

แหล่งที่มา: Sheppard and Shotton (1997)

2.4.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (electron microscope; EM)

กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงทั้งแบบใช้แสงธรรมดาและใช้รังสีอื่น ๆ มีข้อจำกัดในการขยายภาพ เพราะกำลังขยายและกำลังแยกซึ่งนอกจากขึ้นอยู่กับลักษณะของเลนส์แล้วยังขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของแสงที่ใช้อีกด้วย กล้องที่ดีที่สุดมีกำลังขยายไม่เกิน 2000 เท่า ทำให้มองเห็นวัตถุภายในเซลล์บางอย่างมีขนาดเล็กมากไม่ได้ ดังแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงกับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนในตารางที่ 2.3 แต่ในที่สุดนักวิทยาศาสตร์พบว่าอิเล็กตรอนมีช่วงคลื่นที่สั้นกว่าคลื่นของแสงมากจึงมีการนำเอาอิเล็กตรอนเข้ามาใช้ในกล้องจุลทรรศน์แทนคลื่นแสงและใช้เลนส์แม่เหล็กไฟฟ้าแทนเลนส์กระจก เรียกกล้องดังกล่าวว่า กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (อนันต์ ลือขจร, 2536)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนได้เริ่มประดิษฐ์และพัฒนาเป็นลำดับตั้งแต่ปี 1897 เมื่อ John Joseph Thomson นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษค้นพบอิเล็กตรอนและวัดอัตราส่วนประจุต่อมวลอิเล็กตรอนได้ ต่อมาเมื่อปี 1929 – 1931 Max Knoll and Ernst Ruska ชาวเยอรมันได้สร้างกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน (transmission electron microscope; TEM) สำเร็จเป็นเครื่องแรก และเมื่อปี 1935 Max Knoll และ Ernst Ruska อธิบายทฤษฎีกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (scanning electron microscope; SEM) และในปี 1938 Andenne สามารถพัฒนากล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดสำเร็จเป็นเครื่องแรก โดยแสงที่ใช้เป็นลำแสงอิเล็กตรอนความยาวคลื่นประมาณ 0.025 อังสตรอม ($^{\circ}\text{A}$) ($1^{\circ}\text{A} = 10^{-4}$ ไมโครเมตร) ซึ่งมีขนาดเล็กมาก ทำให้มีกำลังขยายสูงมาก ดังนั้นจึงทำให้กล้องจุลทรรศน์มีค่าความละเอียด (resolution) ประมาณ 0.0004

ไมโครเมตร และมีกำลังขยายถึง 500,000 เท่า หรือมากกว่า และจากนั้นได้มีการผลิตและพัฒนาประสิทธิภาพในการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนจนถึงปัจจุบัน (Lee, 1993)

แหล่งกำเนิดแสงอิเล็กตรอน คือ ปืนยิงอิเล็กตรอน (electron gun) ซึ่งเป็นขดลวดทั้งสแตนมีลักษณะเป็นรูปตัววี เมื่อขดลวดทั้งสแตนร้อนขึ้นจากการเพิ่มกระแสไฟฟ้าเข้าไปให้ขดลวดทำให้อิเล็กตรอนถูกปล่อยออกมาจากขดลวด เนื่องจากอิเล็กตรอนมีขนาดเล็กกว่าโมเลกุลของอากาศหลายเท่าจึงป้องกันการรบกวนลำแสงอิเล็กตรอนด้วยการดูดอากาศออกจากตัวกล้องให้เป็นสุญญากาศ เพื่อขจัดปัญหาการชนกันของมวลอากาศกับลำแสงอิเล็กตรอนทำให้เกิดการหักเหได้ระบบเลนส์เป็นเลนส์ระบบแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic lens) แทนเลนส์แก้วในกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา เลนส์แม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วยขดลวดพันรอบแท่งเหล็ก เมื่อกระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไปทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้น สนามแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้อิเล็กตรอนเข้มข้นขึ้น เพื่อไปตกที่ตัวอย่างวัตถุที่ต้องการศึกษา เลนส์ของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนประกอบด้วย objective lens และ projector lens โดย projector lens ทำหน้าที่ฉายภาพจากตัวอย่างที่จะศึกษาลงบนจอภาพคล้ายกับเลนส์ตาของกล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดา จอภาพถูกฉาบด้วยสารเรืองแสงพวกฟอสฟอรัส เมื่อลำแสงอิเล็กตรอนตกลงบนจอ จะทำให้เกิดเรืองแสงเป็นแสงสีเขียวแกมเหลืองที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าผู้ศึกษาก็สามารถเห็นภาพบนจอได้และสามารถบันทึกภาพนั้นด้วยกล้องถ่ายรูปซึ่งประกอบอยู่กับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนได้ (วิรุฬห์ มังคะวิรัช และสุวิทย์ ปุณณชัยยะ, 2534)

ความแตกต่างระหว่างกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่านและชนิดส่องกราดคือ วัตถุตัวอย่างที่นำมาศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่านต้องบางมากและผ่านการเตรียมด้วยวิธีการเทคนิคพิเศษโดยการนำเอาวัตถุตัวอย่างมาฉาบผิวด้วยโลหะเพื่อให้ภาพมีความชัดเจน ส่วนกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดใช้ลำแสงอิเล็กตรอนขนาดเล็กมากโฟกัสและกวาดไปตามผิวของตัวอย่าง อุปกรณ์ในเครื่องจะทำการจับเอาอิเล็กตรอนที่กระเจิงออกมาจากตัวอย่าง นำไปควบคุมความเข้มข้นของอิเล็กตรอนแล้วส่งไปยังหลอดภาพเพื่อแปลงสัญญาณให้ปรากฏภาพขึ้นที่อุปกรณ์แสดงผล (อนันต์ ลือขจร, 2536)

2.4.3 การศึกษาโครงสร้างภายในของพาสตาและผลิตภัณฑ์

การใช้ประโยชน์จากกล้องจุลทรรศน์เพื่อศึกษาโครงสร้างภายในของพาสตาและผลิตภัณฑ์เริ่มจากการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงเมื่อประมาณ ค.ศ. 1972 โดย Frey and Holliger ทำการศึกษาโครงสร้างภายในของพาสตาที่ผ่านการต้มสุก จากนั้นเมื่อปี 1974 Ogawa ได้ทำการศึกษาโครงสร้างของเส้นก๋วยเตี๋ยวญี่ปุ่น (Japanese noodle) ที่ผลิตจากแป้งสาลี และในปีเดียวกัน Marshall and Wasik ใช้กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์ในการศึกษาการสูญเสียไบพรีนเจนของสเปกตรัมในระหว่างการผลิตและการต้มสุก จากนั้นก็ได้มีการนำกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงมาใช้ศึกษาผลิตภัณฑ์เส้น เช่น Moss (1985) ศึกษาโดและเส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีการทำให้สตรัสสุกบางส่วนด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์ และแบบเฟสคอนทราสต์ ในขณะที่ Mestres et al. (1988) ศึกษา

โครงสร้างของเส้นก๊วยเตี๋ยจากข้าวและวุ้นเส้นจากถั่วเขียว เป็นต้น จนกระทั่งปี ค.ศ.1978 Dexter et al. ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดในการศึกษาสภาพที่ดีที่ไม่ผ่านและผ่านการต้มสุก เพื่อศึกษาความเปลี่ยนแปลงของเม็ดสตาร์ระหว่างการต้ม จากนั้นเป็นต้นมาก็ได้มีการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดในการศึกษาโครงสร้างภายในของพาสตาและผลิตภัณฑ์ชนิดเส้นอื่นอย่างแพร่หลาย เช่น การติดตามการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในของสปาเกตตีระหว่างกระบวนการผลิต (Matsuo et al., 1978) การศึกษาโครงสร้างภายในของก๊วยเตี๋ยญี่ปุ่น (Dexter et al., 1979) การศึกษาโครงสร้างภายในของสปาเกตตีที่ผลิตจากแป้งถั่ว (Wang et al., 1999) การศึกษาโครงสร้างภายในของเส้นหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่เปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการผลิต (Chewangkul et al., 2001) และการศึกษาผลของการใช้มัลทิไฟเออร์ที่มีต่อคุณภาพของพาสตาข้าวเจ้า (Lai, 2001) เป็นต้น

เมื่อไม่นานมานี้ได้มีการนำกล้องจุลทรรศน์แบบคอนโฟคอลเลเซอร์สแกนนิ่งมาใช้ในการศึกษาโครงสร้างของพาสตาและผลิตภัณฑ์ทำให้ทราบถึงโครงสร้าง 3 มิติ ร่วมกับการข้อมูลที่เฉพาะกับส่วนประกอบที่ต้องการศึกษา ซึ่งโดยมากเป็นการศึกษาโครงข่ายโปรตีนกลูเตนที่ส่งผลต่อคุณภาพในด้านต่าง ๆ ของพาสตาและผลิตภัณฑ์ร่วมกับการศึกษาคุณภาพด้านอื่น ได้แก่ คุณภาพในการหุงต้ม และลักษณะเนื้อสัมผัส เช่น การศึกษาโครงข่ายร่างแหโปรตีนของพาสตาเนื่องจากสภาวะการผลิต (Fardet et al., 1998) การศึกษาผลกระทบของปริมาณน้ำและความชื้นที่มีผลต่อโครงสร้างภายในของโดที่ใช้ในการผลิตพาสตา (Thorvaldsson et al., 1999) และการศึกษาโครงสร้างภายในของเส้นหมี่กึ่งสำเร็จรูป (Chewangkul et al., 2001) เป็นต้น

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

ลักษณะที่เปรียบเทียบ	กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง	กล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน
1. ต้นกำเนิดแสง	กระจกหรือหลอดไฟ	ปืนยิงอิเล็กตรอน
2. แสงที่ใช้	แสงสว่างในช่วงที่ตามองเห็นได้ (ม่วง – แดง) ความยาวคลื่น 4,000- 7,000 อังสตรอม	ลำแสงอิเล็กตรอนความยาวคลื่น ประมาณ 0.05 อังสตรอม
3. ชนิดของเลนส์	เลนส์แก้ว	เลนส์แม่เหล็กไฟฟ้า
4. กำลังขยาย	1,000 – 1,500 เท่า	200,000 – 500,000 เท่าหรือมากกว่า
5. ขนาดของวัตถุเล็กสุด ที่มองเห็น	0.2 ไมโครเมตร	0.0004 ไมโครเมตร
6. อากาศในตัวกล้อง	มีอากาศ	สุญญากาศ
7. ภาพที่ได้	ภาพเสมือนหัวกลับดูได้จากเลนส์ตา	ภาพปรากฏบนจอรับภาพเรืองแสง
8. ระบบหล่อเย็น	ไม่มี	มีเนื่องจากเกิดความร้อนมาก
9. วัตถุที่ส่องดู	มีหรือไม่มีชีวิต	ไม่มีชีวิตเท่านั้น
10. การเตรียมตัวอย่าง	เตรียมแบบธรรมดา	การเตรียมยุ่งยากและวิธีการมาก
11. ราคา	ราคาปกติ ไม่แพงมากนัก	แพงมาก
12. การใช้	ใช้ง่าย สะดวก	ใช้ยาก ต้องเป็นผู้ชำนาญการเท่านั้น
13. สถานที่	ใช้ได้ทุกสถานที่ เพราะเบาพกได้ สะดวก	ใช้ในห้องเก็บกล้องซึ่งเป็นห้อง เฉพาะเท่านั้น
14. ภาพ	ภาพที่ได้เป็นภาพสีธรรมชาติ หรือ ย้อมสี	ภาพที่ได้เป็นภาพขาว ดำเท่านั้น

แหล่งที่มา: อนันต์ ลือขจร (2536)

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

3.1 การเตรียมแป้งข้าวเจ้า

นำข้าวสารเจ้าพันธุ์เหลืองประทิว123 ขาวดอกมะลิ105 และชาธานีชิกิ บดเป็นแป้งโดยใช้กรรมวิธีการบดแห้งด้วยเครื่องบดเมล็ดพืช (Retsch, S100, Germany) จากนั้นร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.25 มิลลิเมตร ก่อนเก็บแป้งข้าวเจ้าที่ผลิตได้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการทดลองต่อไป

3.2 การวิเคราะห์คุณภาพแป้งข้าว

3.2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าว

3.2.1.1 ปริมาณความชื้น ด้วยวิธี AOAC (1997)

3.2.1.2 ปริมาณเถ้า ด้วยวิธี AOAC (1997)

3.2.1.3 ปริมาณโปรตีน ด้วยวิธี AOAC (1997)

3.1.2.4 ปริมาณไขมัน ด้วยวิธี AOAC (1997)

3.1.2.5 ปริมาณเยื่อใย ด้วยวิธี AOAC (1997)

3.2.2 การหาปริมาณอะไมโลส

ทำตามวิธีการวัดสี (colorimetric assay) ของ Juliano (1971) ซึ่งวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) โดยใช้อะไมโลสบริสุทธิ์ในการสร้างกราฟมาตรฐาน

3.2.3 การทดสอบความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็ว (rapid visco analyser)

ทดสอบด้วยเครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็ว rapid visco analyser (RVA, Newport Scientific, Australia) โดยใช้รูปแบบการทำงานดังต่อไปนี้ เริ่มต้นการทำงานที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ตั้งแต่เวลา 0 – 1 นาที ด้วยความเร็ว 960 รอบต่อนาที สำหรับ 10 วินาทีเริ่มต้น แล้วลดลงเหลือ 160 รอบต่อนาทีตลอดการวิเคราะห์ เพิ่มอุณหภูมิให้เป็น 95 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา ระหว่าง 1 – 4.5 นาที ควบคุมไว้ที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที แล้วลดอุณหภูมิลงเหลือ 50 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา ระหว่าง 7.5 - 11 นาที ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที รวมระยะเวลาการทดสอบ 13 นาที ทำการวัดค่าเวลาที่ปรากฏค่าความหนืด (peak time; PT) ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity; PV) ความหนืดขณะร้อน (hot past viscosity; HPV) เบรกดาวน์ (break down) ค่าความหนืดขณะทำให้เย็น (cool past viscosity; CPV) และค่าเซตแบค (setback)

3.3 การผลิตด้วยกระบวนการอัดพอง

การทดลองครั้งนี้ใช้เครื่องอัดพองชนิดสกรูคู่แบบหมุนตามกัน (co-rotating intermeshing twin screw extruder: APV MPF19:25, APV Baker, Inc., Grand Rapid, MI, USA) ในการผลิตพาสตาชนิดสปาเกตตีจากข้าวเจ้าทั้ง 3 พันธุ์ ซึ่งเครื่องอัดพองประกอบด้วยสกรูที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 มิลลิเมตร อัตราส่วนระหว่างความยาวทั้งหมดของสกรูต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (L/D) เป็น 25 : 1 มีรูปแบบการจัดเรียงสกรู (screw configuration) เป็นแบบผลิตภัณฑ์ชนิดไม่พองตัว (non expanded product) ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ในขณะที่ฟังก์ชันบาร์มีหน่วยให้ความร้อนที่สามารถแบ่งการควบคุมอุณหภูมิได้ 4 ช่วง โดยควบคุมอุณหภูมิของบาร์ใน ช่วงที่ 1, 2 และ 4 ไว้ที่ 55, 90 และ 95 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ในกระบวนการผลิตใช้ความเร็วรอบของสกรูระหว่าง 30 – 50 รอบต่อนาที อุณหภูมิของบาร์ (ช่วงที่ 3) ระหว่าง 95 – 115 องศาเซลเซียส นำแป้งข้าวเจ้าป้อนเข้าสู่เครื่องอัดพองผ่านทางถังป้อน (ถังพักวัตถุดิบ) ที่ได้ตั้งมีเกลียวสกรูเป็นตัวป้อนแบบปริมาตร (K-tron Crop., Pitman, NY) ด้วยอัตรา 1.09 – 1.13 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เข้าไปผสมกับน้ำที่เข้าสู่เครื่องด้วยอัตรา 0.27 – 0.40 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เพื่อให้ความชื้นเริ่มต้นของโดอยู่ระหว่างร้อยละ 27 – 35 โดยน้ำหนัก หน้าแปลนที่ใช้ขึ้นรูปสปาเกตตีมีลักษณะเป็นรูปกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ตัดตัวอย่างหลังออกจากหน้าแปลนของเครื่องอัดพองให้มีความยาวประมาณ 30 เซนติเมตร แล้วทำแห้งให้ตัวอย่างเหลือความชื้นไม่เกินร้อยละ 13 โดยน้ำหนัก

3.4 การวางแผนการทดลอง

การศึกษาสภาวะการแปรรูปด้วยกระบวนการอัดพองมีแผนการทดลองแบบ Box-Behnken Design (BBD) โดยศึกษาตัวแปรของสภาวะการแปรรูป 3 ตัวแปร คือ ความเร็วรอบสกรู อุณหภูมิของบาร์ (ช่วงที่ 3) และความชื้นของวัตถุดิบ โดยแต่ละตัวแปรแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ ความเร็วรอบสกรูเป็น 30, 40 และ 50 รอบต่อนาที อุณหภูมิของบาร์ช่วงที่ 3 เป็น 95, 105 และ 115 องศาเซลเซียส และความชื้นของวัตถุดิบร้อยละ 27, 31 และ 35 โดยน้ำหนัก รวมสภาวะการแปรรูปทั้งหมด 15 สภาวะการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 รูปแบบการจัดเรียงสกรู (จากทางป้อนวัตถุดิบถึงหน้าแปลน)

Screw element type	No. of amount
--------------------	---------------

1.5D Feed screw	2
1.0D Feed screw	2
60° Forward Paddle	6
1.5D Feed screw	2
1.0D Feed screw	2
60° Forward Paddle	5
1.5D Feed screw	1
1.0D Feed screw	1
60° Forward Paddle	3
1.0D Single lead screw	2
60° Forward Paddle	5
1.0D Single lead screw	3
60° Forward Paddle	3
1.0D Single lead screw	1
1.0D Disch Single lead screw	1

3.5 การทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์

3.5.1 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ (physical property)

อัตราการพองตัว (expansion ratio)

วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่างโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ จากนั้นคำนวณ
อัตราการพองตัวจากสูตร

$$\text{อัตราการพองตัว} = \frac{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางหน้าตัดของตัวอย่าง}}{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางรูปเปิดของหน้าแปลน}}$$

ตารางที่ 3.2 แผนการทดลองแบบ Box-Behnken Design (BBD)

Experiment run	Screw speed (rpm)		Barrel temperature ($^{\circ}\text{C}$)		Moisture content (%)	
	(X_1)		(X_2)		(X_3)	
	code	unicode	Code	Unicode	code	unicode
1	-1	30	-1	95	0	31
2	-1	30	1	115	0	31
3	1	50	-1	95	0	31
4	1	50	1	115	0	31
5	-1	30	0	105	-1	27
6	-1	30	0	105	1	35
7	1	50	0	105	-1	27
8	1	50	0	105	1	35
9	0	40	-1	95	-1	27
10	0	40	-1	95	1	35
11	0	40	1	115	-1	27
12	0	40	1	115	1	35
13	0	40	0	105	0	31
14	0	40	0	105	0	31
15	0	40	0	105	0	31

3.5.2 การทดสอบคุณภาพในการหุงต้ม (cooking qualities)

3.5.2.1 การหาระยะเวลาในการต้ม (cooking time)(Bergman et al., 1994)

นำตัวอย่างต้มในน้ำเดือดเพื่อหาระยะเวลาที่ต้องใช้ในการทำให้ตัวอย่างสุก โดยทำการสุ่มตัวอย่างขึ้นมาตรวจทุก ๆ 30 วินาที ด้วยการนำตัวอย่างไปบีบกดด้วยกระดาษ 2 แผ่น ซึ่งถ้าตัวอย่างสุกอย่างสมบูรณ์แล้วแกนแข็งสีขาวที่อยู่ภายในตัวอย่างจะหายไปบันทึกเวลา (นาที)

3.5.2.2 การหาน้ำหนักหลังต้ม (cooking weight) (Wang et al., 1999)

- 1) ชั่งตัวอย่าง 5 กรัม แล้วหักให้มีความยาวประมาณ 5 เซนติเมตร นำไปต้มในน้ำเดือดจนกระทั่งสุกขึ้นอยู่กักระยะเวลาตามข้อ 3.5.2.1
- 2) นำตัวอย่างขึ้นแช่ในน้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นพักบนตะแกรงเพื่อสะเด็ดน้ำเป็นเวลา 5 นาที
- 3) ชั่งน้ำหนักบันทึกน้ำหนักตัวอย่างหลังต้ม (กรัม)

3.5.2.3 การหาการสูญเสียระหว่างต้ม (cooking loss)(Wang et al., 1999)

1) ชั่งตัวอย่าง 5 กรัม (ฐานแห้ง) แล้วหักให้มีความยาวประมาณ 5 เซนติเมตร จากนั้นนำไปต้มในน้ำเดือดจนกระทั่งสุกซึ่งขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่เหมาะสมตามข้อ 3.5.2.1

2) นำน้ำที่ใช้ในการต้มตัวอย่างไปอบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ คำนวณหาร้อยละการสูญเสียระหว่างต้ม

$$\text{การสูญเสียระหว่างต้ม} = \frac{\text{น้ำหนักของแข็งที่เหลือจากน้ำที่ใช้ต้ม} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนต้ม}}$$

3.5.3 การทดสอบคุณสมบัติลักษณะเนื้อสัมผัส (textural properties)

การทดสอบคุณสมบัติทางลักษณะเนื้อสัมผัสทำโดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส TA-XT2 (Texture analyzer; Texture Technologies Crop., Scarsdals, NY) ด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

3.5.3.1 การทดสอบความแน่นเนื้อ (firmness) ดัดแปลงวิธีการทดสอบจากวิธีของ Walsh (1971)

1) ชั่งตัวอย่าง 5 กรัม หักให้มีความยาวประมาณ 5 เซนติเมตร จากนั้นนำไปต้มในน้ำเดือดให้สุกตามระยะเวลาที่เหมาะสมของแต่ละตัวอย่างตามข้อ 3.5.2.1

2) นำตัวอย่างแช่ลงในน้ำที่อุณหภูมิห้องนาน 1 นาที จากนั้นนำขึ้นผึ่งให้สะเด็ดน้ำบนตะแกรงเพื่อรอการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

3) นำตัวอย่าง 1 เส้นวางบนแท่นวางตัวอย่างและตัดตัวอย่างให้ขาดออกจากกัน โดยกำหนดการทำงานของเครื่องดังต่อไปนี้ Mode: Measure Force in Compression, Option: Return to Start, Pre-Test Speed: 0.5 mm/s, Test Speed: 0.2 mm/s, Post-Test Speed: 10.0 mm/s, Distance: 15 mm, Trigger Type: 10 g, Data Acquisition Rate: 400 pps, Accessory: 1-mm Flat Perspex Knife Blade (A/LKB-F)

4) ความแน่นเนื้อหาได้จากสูตร

$$\text{ความแน่นเนื้อ} = \frac{\text{งานที่ต้องใช้ในการตัดตัวอย่างให้ขาด}}{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่างหลังต้ม}}$$

3.5.3.2 การทดสอบความเหนียวติดที่ผิวหน้า (stickiness) ดัดแปลงวิธีการทดสอบจากวิธีของ Wang et al. (1999)

1) ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม หักให้มีความยาวประมาณ 10 เซนติเมตร แล้วต้มในน้ำเดือดให้สุกตามระยะเวลาที่เหมาะสมของแต่ละตัวอย่างตามข้อ 3.5.3.1

2) นำตัวอย่างแช่ลงในน้ำที่อุณหภูมิห้องนาน 1 นาที จากนั้นนำขึ้นผึ่งให้สะเด็ดน้ำบนตะแกรงเพื่อรอการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

3) นำตัวอย่างขึ้นวางเรียงทีละเส้นจนครอบคลุมพื้นที่ตรงกลางบนแท่นวางตัวอย่างให้กว้างประมาณ 5 เซนติเมตร

4) ก่อนทำการทดสอบ 3 นาที นำกระดาษทิชชูซับน้ำส่วนเกินที่ผิวหน้าตัวอย่างออก โดยกำหนดการทำงานของเครื่องดังต่อไปนี้ Option: Adhesive test, Pre-Test Speed: 1.0 mm/s, Test Speed: 0.5 mm/s, Post-Test Speed: 10.0 mm/s, Compression force: 3000 g, Compression time: 2 sec, Withdrawal Distance: 10.0 mm, Trigger Type: Auto 20 g, Data Acquisition Rate: 400 pps, Accessory: Pasta Stickiness Rig (HDP/PFS)

5) ความเหนียวติดที่ผิวหน้าได้จากค่าที่จุดสูงสุดของเส้นกราฟหรือแรง (กรัม) ที่ต้องใช้ในการแยกหัววัดออกจากผิวหน้าของตัวอย่าง

3.5.3.3 การทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง (tensile strength)

1) ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม จากนั้นนำไปต้มในน้ำเดือดให้สุกตามระยะเวลาที่เหมาะสมของแต่ละตัวอย่างที่หาได้ตามข้อ 3.5.2.1

2) นำตัวอย่างแช่ลงในน้ำที่อุณหภูมิห้องนาน 1 นาที จากนั้นนำขึ้นผึ่งให้สะเด็ดน้ำบนตะแกรงนาน 15 นาทีก่อนการวิเคราะห์

3) นำตัวอย่างพันรอบหัววัด 2 – 3 รอบ จากนั้นทำการทดสอบโดยกำหนดสภาวะของเครื่องดังต่อไปนี้ดังต่อไปนี้ Mode: Measure Force in Tension, Option: Return to Start, Pre-Test Speed: 3.0 mm/s, Test Speed: 3.0 mm/s, Post-Test Speed: 5.0 mm/s, Distance: 100 mm, Trigger Type: Auto 5 g, Data Acquisition Rate: 200 pps, Accessory: Spaghetti Tensile Rig (A/SPR)

4) คำนวณหาความต้านทานต่อแรงดึง

$$\text{ความต้านทานต่อแรงดึง} = \frac{\text{ค่าแรงสูงสุดที่ใช้ดึงตัวอย่างให้ขาดออกจากกัน}}{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่างหลังต้ม}}$$

นำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์มาสร้างความสัมพันธ์กับตัวแปรในสภาวะการแปรรูปโดยการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุ (multiple regression) โดยใช้โปรแกรม SPSS (version 10.0) สร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้สมการโพลิโนเมียลกำลังสอง ดังแสดงในสมการที่ 1 แล้วใช้ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวในการสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนอง (response surface plots) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป STATISTICA (version 5.0)

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_{11}X_1^2 + B_{22}X_2^2 + B_{33}X_3^2 + B_{12}X_1X_2 + B_{13}X_1X_3 + B_{23}X_2X_3 \dots\dots(1)$$

เมื่อ Y	คือ ผลตอบสนองที่ต้องการศึกษา
$B_0, \dots, B_n$	คือ ค่าคงที่ และค่าสัมประสิทธิ์รีเกรชันของหุ่นจำลอง
X_1	คือ ความเร็วรอบของสกรู (รอบต่อนาที)
X_2	คือ อุณหภูมิของบารเรล (องศาเซลเซียส)
X_3	คือ ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

3.6 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต

การหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดใช้ลักษณะคุณภาพในด้านต่าง ๆ ของสเปกเตติทางการค้าที่ผลิตจากแป้งสาลีชนิดนุ่มที่มีจำหน่ายในท้องตลาดเป็นต้นแบบในการเปรียบเทียบความใกล้เคียงของคุณภาพสเปกเตติจากข้าว สภาวะที่เหมาะสมที่สุดสามารถทำนายได้จากการนำสมการโพลีโนเมียลที่ได้จากการศึกษาสภาวะการแปรรูปมาสร้างกราฟคอนทัวร์ (contour plot) ซึ่งเป็นกราฟ 2 มิติ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป STATISTICA (version 5.0) จากนั้นนำเส้นโค้งลักษณะคุณภาพด้านต่าง ๆ ที่ได้มาวางซ้อนกันเพื่อทำนายสภาวะที่ดี (optimal prediction) และเหมาะสมที่สุดในการผลิตสเปกเตติจากข้าวที่จะให้คุณภาพใกล้เคียงกับสเปกเตติทางการค้ามากที่สุด

3.7 การศึกษาโครงสร้างภายใน

การศึกษาโครงสร้างภายในเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสเปกเตติทางการค้าที่ผลิตจากข้าวสาลีนุ่มกับสเปกเตติที่ผลิตจากข้าวเจ้า โดยเลือกสเปกเตติจากข้าวที่ได้จากการทำนายสภาวะที่เหมาะสมที่สุดเป็นตัวแทนในการเปรียบเทียบทั้งตัวอย่างที่ไม่ผ่านและผ่านการต้ม

3.7.1 การศึกษาโครงสร้างภายในด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (scanning electron microscope; SEM) (Dexter et al., 1978)

1) ตัวอย่างแป้งโรยลงบนแท่นติดตัวอย่าง (stub) บาง ๆ หักตัวอย่างที่ไม่ผ่านการต้มให้เป็นชิ้นเล็กเพื่อวางบนแท่นติดตัวอย่าง ส่วนตัวอย่างที่ผ่านการต้มสุกต้องนำไปแช่ในไนโตรเจนเหลว จากนั้นทำการทำแห้งด้วยระบบแช่เยือกแข็ง (freeze dry) ก่อน

2) เคลือบตัวอย่างด้วยทองให้มีความหนาประมาณ 10 ไมครอน ด้วยเครื่อง Sputter coated (Ion Sputtering Device JFC-110E, Japan)

3) ทำการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (JSM-6400, LV, Jeol, Japan) ที่กำลังขยาย 1000X แล้วบันทึกภาพด้วยกล้องโพลาไรซ์

3.7.2 การศึกษาโครงสร้างภายในด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบฟลูออเรสเซนซ์ (fluorescence microscope; FM)

1) นำตัวอย่างทั้งที่ยังไม่ผ่านการด้อมและผ่านการด้อมสุกแล้วมาตัดให้เป็นแท่งสี่เหลี่ยม ความกว้าง ความยาว และความสูงเป็น 1, 1 และ 2 มิลลิเมตร ตามลำดับ แล้วแช่ลงในสารละลายกลูเตอรอลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยปริมาตรที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ข้ามคืน

2) ล้างด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 3 ครั้ง ครั้งละ 10 – 15 นาที

3) กำจัดน้ำออกจากตัวอย่างด้วยการแช่ในเอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 30, 50, 70, 90 และ 100 โดยปริมาตร ตามลำดับ ขั้นตอนละ 15 – 20 นาที

4) วางตัวอย่างลงในแบบพิมพ์เพื่อตรึงตัวอย่างด้วยเรซิน แล้วนำไปอบให้เรซินแข็งตัวที่ 70 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง

5) ตัดตัวอย่างด้วยเครื่องตัด ultramicrotome (CR-X Cryosectioning system, USA) วางตัวอย่างลงบนแผ่นสไลด์แล้วเก็บในกล่องเก็บสไลด์เพื่อรอการวิเคราะห์ขั้นต่อไป

6) ย้อมสีตัวอย่างด้วยสารละลายแอซิดฟุคซิน (acid fuchsin) ความเข้มข้นร้อยละ 0.01 โดยน้ำหนักที่ละลายในกรดอะซิติก (acetic acid) ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร นาน 1 นาที ล้างสีย้อมส่วนเกินด้วยน้ำกลั่นนาน 2 นาที ก่อนปิดด้วยกระจกปิดสไลด์

7) ศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบเรืองแสง (BX-50 fluorescence microscope, Olympus, Japan) โดยเลือก filter cube configuration แบบ U-MWY ซึ่งมี excitation filter ที่ช่วงความยาวคลื่น 545-580 นาโนเมตร และ barrier filter ความยาวคลื่น 610 นาโนเมตร ที่กำลังขยาย 400 เท่า บันทึกภาพด้วยกล้องถ่ายภาพแบบดิจิทัล (Olympus DP70, Japan)

3.7.3 การศึกษาโครงสร้างภายในด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบคอนโฟคอลเลเซอร์สแกนนิ่ง (confocal laser scanning microscope; CLSM)

1) ตัดตัวอย่างทั้งที่ยังไม่ผ่านการด้อมและผ่านการด้อมสุกแล้วตามขวางให้มีความหนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร

2) ย้อมสีตัวอย่างด้วยสารละลายแอซิดฟุคซิน (acid fuchsin) ที่มีระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.01 โดยน้ำหนัก ที่ละลายในกรดอะซิติก (acetic acid) ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร นาน 4 ชั่วโมง จากนั้นล้างสีย้อมส่วนเกินด้วยน้ำกลั่นนาน 2 นาที

3) ศึกษาด้วยกล้องคอนโฟคอลเลเซอร์สแกนนิ่ง (Olympus FluoView 300, Japan) ด้วยลำแสงสีเขียวของฮีเลียม-นีออนที่ 543 นาโนเมตร (green Helium – Neon laser) ด้วยกำลังขยาย 200 เท่า ซึ่งกำหนดให้แสงเลเซอร์ทะลุผ่านตัวอย่างเป็นชั้น ๆ กำหนดความหนาของแต่ละชั้นเป็น 1 ไมโครเมตร

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

เมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเหลืองประทิว123 ข้าวดอกมะลิ105 และชาซานิชิกิ ก่อนนำแป้งไปใช้ในการศึกษาผลของสภาวะการอัดพองที่มีต่อคุณภาพของสปาเกตตี พบว่าข้าวทั้ง 3 พันธุ์มีปริมาณเถ้า โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และความชื้นแตกต่างกัน ดังแสดงผลในตารางที่ 4.1 ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสของข้าวแต่ละพันธุ์มีความแตกต่างกันดังต่อไปนี้ คือ ข้าวเหลืองประทิว123 ข้าวขาวดอกมะลิ105 และข้าวชาซานิชิกิมีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 33.41, 15.76 และ 18.17 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และเมื่อทำการจัดกลุ่มตามปริมาณอะไมโลส (ประพาส วีระแพทย์, 2531) พบว่าข้าวเหลืองประทิว123 เป็นข้าวอะไมโลสสูง ส่วนข้าวขาวดอกมะลิ105 และข้าวชาซานิชิกิจัดเป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ

พาสตาข้าวเจ้าที่ผลิตได้จากแป้งข้าวเจ้าทั้ง 3 พันธุ์ มีลักษณะเป็นเส้นกลมสีขาวขุ่นผิวหน้าขรุขระเล็กน้อยเนื่องจากการหดตัวของโครงสร้างระหว่างการทำแห้ง เมื่อนำไปต้มให้สุกได้เป็นพาสตาเส้นกลมสีขาวที่มีลักษณะทางคุณภาพแตกต่างกัน

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณอะไมโลสของแป้งข้าวที่ใช้ในการผลิตสปาเกตตีข้าวเจ้า

พันธุ์ข้าว	องค์ประกอบทางเคมี (%) ⁽¹⁾					ปริมาณอะไมโลส ⁽¹⁾ (%)
	เถ้า	โปรตีน	ไขมัน	เยื่อใย	ความชื้น	
เหลืองประทิว123	0.34 ^a	8.61 ^a	0.13 ^b	1.80 ^a	10.06 ^b	33.41 ^a
ขาวดอกมะลิ105	0.32 ^{ab}	6.71 ^c	0.32 ^a	1.75 ^b	10.47 ^a	15.76 ^c
ชาซานิชิกิ	0.30 ^b	7.05 ^b	0.31 ^a	1.77 ^b	9.98 ^c	18.17 ^b

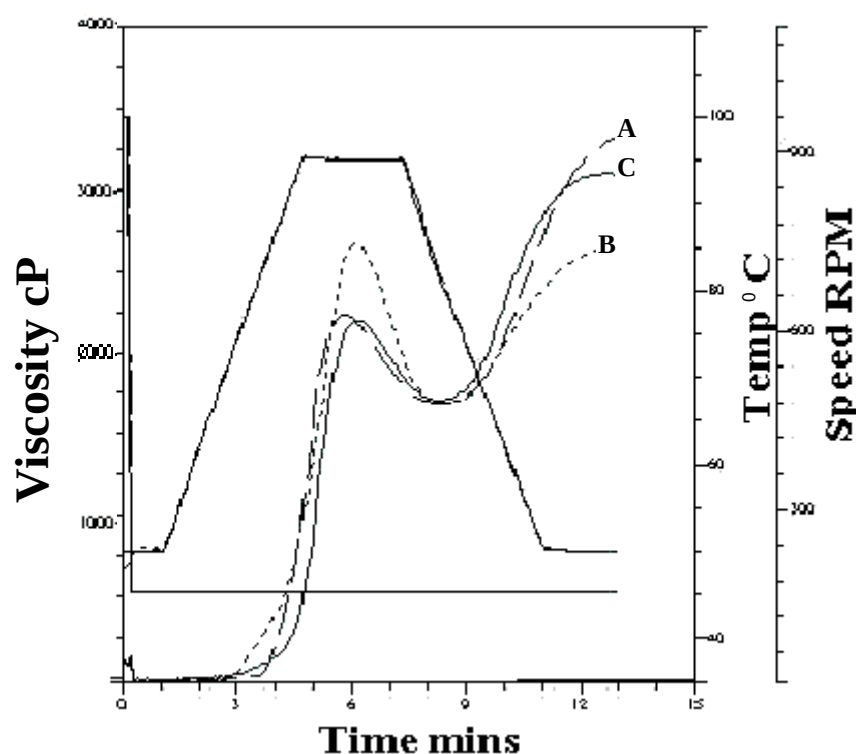
⁽¹⁾ ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.1 ผลของคุณสมบัติความหนืด

เมื่อนำแป้งข้าวทั้ง 3 พันธุ์ทดสอบด้วยเครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็ว (Rapid Visco Analyser; RVA) ได้ผลความหนืดดังภาพที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าในขั้นตอนการให้ความร้อนข้าวขาวดอกมะลิ105 ซึ่งเป็นข้าวอะไมโลสต่ำมีความหนืดสูงกว่าข้าวชาซานิชิกิ และข้าวเหลืองประทิว123 ซึ่งเป็นข้าวที่

มีอะไมโลสสูงกว่า แต่อย่างไรก็ตามความหนืดจะไม่คงตัวเมื่อให้ความร้อนนานขึ้นความหนืดของข้าวทั้ง 3 พันธุ์ กลับลดลงอย่างรวดเร็วจนมีความหนืดใกล้เคียงกัน จากนั้นความหนืดของข้าวทั้ง 3 พันธุ์ จะเพิ่มขึ้นอีกเมื่อเย็นลง แต่จากเส้นกราฟเห็นได้ชัดว่าข้าวเหลืองประทิว123 ให้ความหนืดเมื่อเย็นลงสูงกว่าข้าวชาซานิชิกิ และข้าวขาวดอกมะลิ105 ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลาติไนซ์แล้วยังให้ความร้อนต่อไปทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่แล้วแตกออก โมเลกุลของอะไมโลสขนาดเล็กถูกปลดปล่อยลงสู่น้ำทำให้ความหนืดลดลง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาต่อไปอีกรวมทั้งมีการกวนอย่างต่อเนื่อง แล้วลดอุณหภูมิให้เย็นลงทำให้เกิดการเชื่อมข้ามกัน (cross-link) ระหว่างโมเลกุลอะไมโลสทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นอีก ซึ่งเป็นความหนืดที่เกิดขึ้นจากการจัดเรียงตัวใหม่ของโมเลกุลอะไมโลสที่หลุดออกจากเม็ดแป้งด้วยพันธะไฮโดรเจน (กล้านรงค์ ศรีรอต และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543)

เมื่อให้ความร้อนแก่แป้งข้าวในสภาวะที่มีน้ำมากเกินไปจนพอสตาร์ชในแป้งข้าวจะดูดซึมน้ำ พองตัวและมีสตาร์ชบางส่วนละลายลงสู่สารละลาย ซึ่งค่าที่ได้จากเครื่องวัดความหนืดชนิดเร็วแสดงในตารางที่ 4.2 โดยอุณหภูมิที่น้ำแป้งเริ่มหนืด (peak temperature; PT) ของแป้งข้าวเหลืองประทิว123 มีค่าเป็น 50.10 องศาเซลเซียส ซึ่งน้อยกว่าแป้งข้าวชาซานิชิกิ และข้าวขาวดอกมะลิ105 ที่มีค่าเป็น 50.30 และ 51.95 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในขณะที่ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity; PV) ซึ่งเป็นจุดที่น้ำแป้งมีความหนืดสูงสุด จากเส้นโค้งพบว่าแป้งข้าวขาวดอกมะลิ105 ให้ค่า PV สูงสุด คือ 2662.00 cp รองลงมา คือ ข้าวชาซานิชิกิ และข้าวเหลืองประทิว123 ที่มีค่า 2123.00 และ 2193.00 cp ตามลำดับ Tian et al. (1991) อธิบายว่าการที่แป้งมีค่า PV สูงแสดงให้เห็นว่าแป้งนั้นมีอัตราอุ้มน้ำและพองตัวได้ดี ซึ่งระดับการพองตัวขึ้นกับปริมาณอะไมโลสสูงจะทำให้ความสามารถในการพองตัวของสตาร์ชลดลงเนื่องจากเกิดโครงร่างตาข่ายที่จำกัดการพองตัวของเม็ดสตาร์ชและอีกปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวของเม็ดแป้งคือพันธะเคมีภายในเม็ดสตาร์ช การมีพันธะภายในโมเลกุลที่แข็งแรงทำให้เป็นการยากที่โมเลกุลของน้ำจะแทรกซึมเข้าไป ส่งผลให้มีอัตราการพองตัวที่ไม่สูงมากนัก (Rasper, 1969; Hermansson and Svegmarm, 1996; Schoch and Maywald, 1968) Sanhy, and Bhattacharya (1989) และ Morris (1990) รายงานว่าความหนืดของน้ำแป้งขึ้นกับความแข็งแรงของเม็ดสตาร์ชซึ่งเป็นผลมาจากการพองตัวของเม็ดแป้ง พันธุ์ข้าว และปริมาณอะไมโลสที่ถูกปลดปล่อยลงสู่สารละลายก็มีผลต่อความหนืดด้วย



ภาพที่ 4.1 เส้นโค้งแสดงคุณสมบัติความหนืดของแป้งข้าวชนิดต่าง ๆ คือ ข้าวเหลืองประทิว123 (A), ข้าวขาวดอกมะลิ105 (B) และ ข้าวชาซานิชิกิ (C)

ความหนืดขณะร้อน (hot paste viscosity; HPV) ของแป้งข้าวเหลืองประทิว123 และข้าวขาวดอกมะลิ105 มีค่าเท่ากันคือ 1686 cp ในขณะที่ข้าวชาซานิชิกิมีค่า 1698 cp ซึ่ง HPV เป็นค่าความหนืดที่เกี่ยวข้องกับการปลดปล่อยของอะไมโลสและการพองตัวของเม็ดแป้งในน้ำ (Oikku and Rha, 1978) จากการศึกษาของ Jin et al. (1994) พบว่าเส้นก๊วยเดี่ยวที่ผลิตจากแป้งที่มีค่า HPV สูงจะมีการสูญเสียระหว่างต้มต้ม ในขณะที่ความหนืดขณะเย็น (cold paste viscosity; CPV) ของข้าวเหลืองประทิว123 มีค่ามากที่สุดคือ 3334 cp ส่วนข้าวชาซานิชิกิและข้าวขาวดอกมะลิ105 มีค่าเป็น 3094 และ 2628 cp ตามลำดับ ซึ่งค่า CPV บอกลถึงแนวโน้มการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) ของอะไมโลสระหว่างการทำให้เย็น ถ้าค่าดังกล่าวสูงการเกิดรีโทรเกรเดชันก็จะสูงตามไปด้วยส่งผลให้เจลที่ได้มี

ความต้านทานต่อแรงเฉือน (shear) ได้ดี (Jin et al., 1994) อย่างไรก็ตาม Hamaker and Griffin (1993) รายงานว่าโปรตีนในข้าวสามารถจำกัดการพองตัวของสตาร์ชในระหว่างการเกิดเจลและยังส่งผลให้เจลทนต่อการสลายด้วยแรงเฉือนได้ดีอีกด้วย

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติความหนืดของแป้งข้าวชนิดต่าง ๆ จากเครื่องวัดความหนืดชนิดเร็ว (RVA)

ตัวอย่างแป้งข้าว	Peak Time ⁽¹⁾ (min)	Peak viscosity ⁽¹⁾ cp	Hot paste viscosity ⁽¹⁾ cp	Cool paste viscosity ⁽¹⁾ cp	Break down ⁽¹⁾ cp	Set back ⁽¹⁾ cp
เหลืองประทิว 123	5.80 ^c	2231 ^b	1686 ^a	3334 ^a	545 ^b	1648 ^a
ขาวดอกมะลิ 105	6.07 ^b	2662 ^a	1686 ^a	2646 ^c	976 ^a	960 ^c
ชาซานิชิกิ	6.20 ^a	2193 ^c	1698 ^a	3094 ^b	495 ^b	1396 ^b

⁽¹⁾ ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ค่า break down ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีค่าสูงสุด คือ 976 cp รองลงมา คือ ข้าวเหลืองประทิว 123 และข้าวชาซานิชิกิซึ่งมีค่า 545 และ 495 cp ตามลำดับ Yoenyongbudchagul and Noomhorm (2002) และ Bhattacharya et al. (1999) รายงานว่าข้าวที่มีค่า break down สูงจะมีอัตราการเกิดความเหนียวติดที่ผิวหน้าสูงเนื่องจากเจลของแป้งดังกล่าวไม่สามารถเก็บกักอะไมโลสไว้ในเจลได้ ในขณะที่ค่า setback ของข้าวเหลืองประทิว 123 มีค่าสูงสุด คือ 1648 cp รองลงมา คือ ข้าวชาซานิชิกิ และข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีค่า 1396 และ 960 cp ตามลำดับ โดยค่า setback แสดงถึงความคงตัวของเจลเมื่ออยู่ในสถานะที่มีแรงเฉือน ความสามารถในการเกิดรีโทรเกรเดชันและการจับน้ำ (syneresis) โดยถ้ามีค่า setback ต่ำจะเกิดการรีโทรเกรเดชันต่ำตามไปด้วย (Niba et al., 1994; Yoenyongbudchagul and Noomhorm, 2002) โดยทั่วไปข้าวที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ชนิดเส้นต้องเป็นข้าวพันธุ์ที่มีค่า setback สูง เพื่อให้ได้เจลที่แข็งแรงทนต่อสถานะการผลิตได้ดี (Bhattacharya et al., 1999) ดังนั้นจากผลของคุณสมบัติความหนืดที่ได้ ข้าวที่อาจใช้ในการผลิตพาสต้าข้าวเจ้า ที่มีคุณภาพดี คือ ข้าวเหลืองประทิว 123 และข้าวชาซานิชิกิ

4.2 ผลการศึกษาสภาวะการแปรรูปต่อตัวแปรตามคุณภาพของพาสต้าข้าวเจ้า

จากการดำเนินการผลิตพาสตาดังกล่าวเกิดจากข้าวด้วยเครื่องอัดพอง 15 สภาวะการทดลอง จำนวน 2 ชั่วโมง โดยใช้แป้งจากข้าว 3 พันธุ์ ได้แก่ เหลืองประทิว 123 ขาวดอกมะลิ 105 และชาซานิกิ ได้ผลค่าเฉลี่ยของตัวแปรตามคุณภาพในด้านต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 – 9 ในภาคผนวก ข และเมื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้วิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยด้วยโปรแกรมสถิติสำเร็จรูป SPSS แบบ stepwise ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางภาคผนวก 1 - 3 ค และนำสมการดังกล่าวไปใช้ในการสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนอง (response surface plot; RSM) แบบ 3 มิติ โดยเลือกเฉพาะตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งพบว่าสภาวะการแปรรูปมีผลกระทบต่อตัวแปรตามคุณภาพทั้งทางกายภาพ คุณภาพในการหุงต้ม และคุณลักษณะเนื้อสัมผัสของสปาเกตตีที่ผลิตจากแป้งข้าวทั้ง 3 พันธุ์

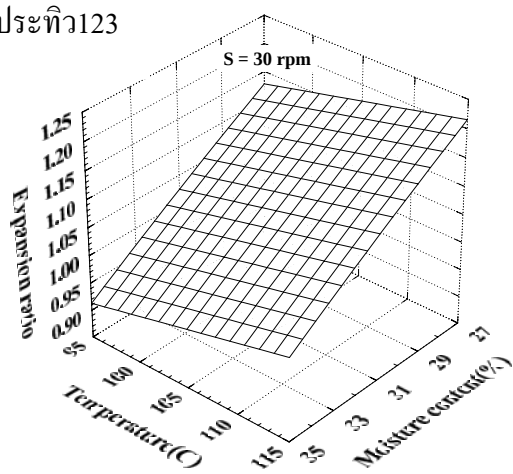
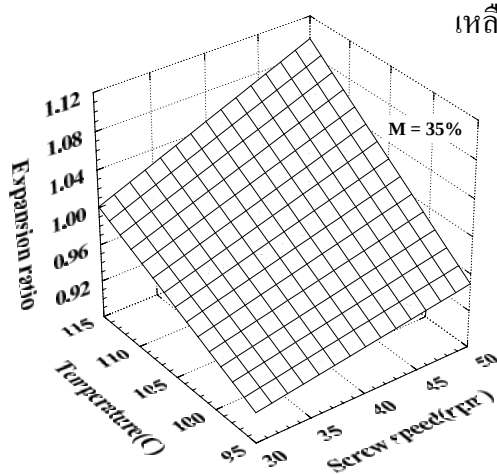
4.2.1 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ (physical properties)

อัตราการพองตัว (expansion ratio)

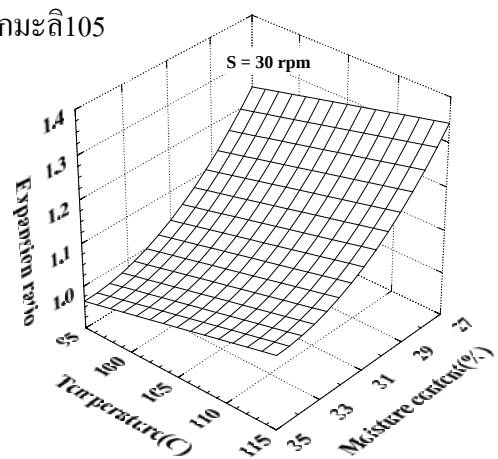
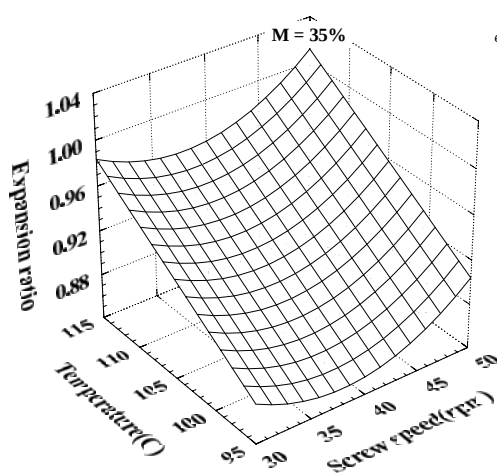
ผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้จากเครื่องอัดพองแบ่งได้เป็น 2 พวกใหญ่ คือ ผลิตภัณฑ์ที่พองตัวทันที (direct expanded products) และไม่พองตัว (non expanded products หรือ half products) พาสต้าและผลิตภัณฑ์เป็นผลิตภัณฑ์ชนิดไม่พองตัว ดังนั้นลักษณะของสปาเกตตีที่ต้องการคือ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใกล้เคียงหรือเท่ากับขนาดรูปเปิดของหน้าแปลนที่ใช้ในการผลิต

จากการนำตัวอย่างพาสต้าข้าวเจ้าทั้ง 3 พันธุ์ที่ได้จากการทดลองมาทำการศึกษาผลกระทบของสภาวะการผลิตโดยใช้เครื่องอัดพองต่ออัตราการพองตัวของตัวอย่าง การนำข้อมูลทดสอบได้มาสร้างสมการเพื่อใช้ในการสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนอง (response surface plot) แสดงด้วยกราฟ ก และ ข สำหรับข้าวเหลืองประทิว 123 กราฟ ค และ ง สำหรับข้าวขาวดอกมะลิ และ กราฟ จ และ ฉ สำหรับข้าวชาซานิกิ ดังแสดงในภาพที่ 4.2 พบว่าผลมีแนวโน้มเป็นไปในทางเดียวกันทั้ง 3 พันธุ์ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าเมื่ออุณหภูมิของบาร์เรลและความเร็วรอบของสกรูเพิ่มขึ้นส่งผลให้ตัวอย่างที่ได้มีอัตราการพองตัวเพิ่มขึ้น แต่ถ้าเพิ่มปริมาณความชื้นเริ่มต้นกลับทำให้ตัวอย่างมีอัตราการพองตัวลดลง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากปริมาณน้ำหรือความชื้นที่เพิ่มขึ้นนี้ช่วยในการหล่อลื่นระบบภายในของเครื่องอัดพองทำให้ลดการเสียดสีและทำให้ความดันลดลง ส่งผลให้ความเป็นความร้อนยิ่งยวด (superheated) ของไอน้ำลดลง เมื่อไอน้ำออกมาที่หน้าแปลนและเข้าสู่สภาวะความดันปกติแรงดันภายในของโดที่เกิดจากไอน้ำจึงน้อยกว่าโดที่มีน้ำน้อยทำให้อัตราการพองตัวลดลง ในขณะที่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของบาร์เรลจะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความดันไอของโดและส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความสามารถในการระเหยของไอน้ำเมื่อตัวอย่างออกมาจากหน้าแปลน ส่วนการเพิ่มความเร็วยรอบของสกรูจะส่งผลต่อแรงเฉือน (shear) และความดันภายในบาร์เรล เมื่อตัวอย่างออกมา

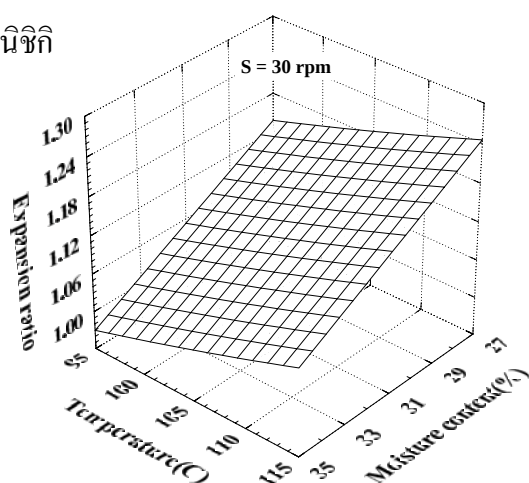
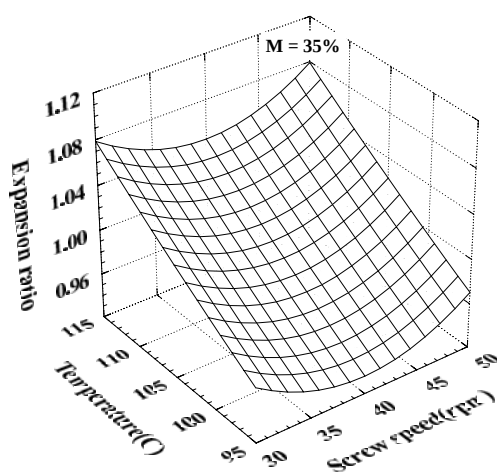
เหลืองประทิว123



ขาวดอกมะลิ105



ชาซานิชิกิ



ภาพที่ 4.2 กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะการผลิตที่มีผลต่ออัตราพองตัวของสปากัดดีที่ผลิตจากข้าวเหลืองประทิว123 ขาวดอกมะลิ105 และชาซานิชิกิ

จากหน้าแปลนจึงเกิดการระเหยของไอน้ำร่วมกับการลดลงของความดันอย่างรวดเร็วทำให้ตัวอย่างเกิดการพองตัวสูงขึ้น (Davidson et al., 1984) ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Diosady et al. (1985) ที่ได้ทำการศึกษาผลของกระบวนการอัดพองต่ออัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากแป้งชนิดต่าง ๆ

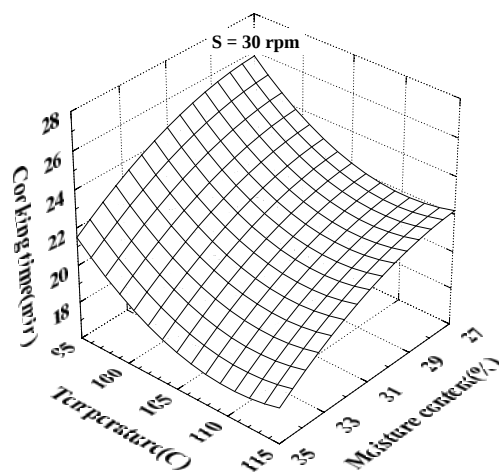
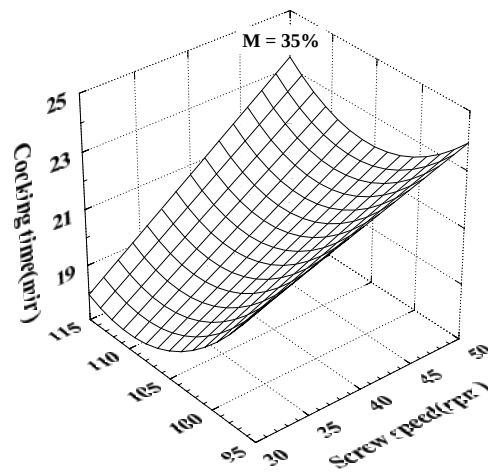
4.2.2 คุณภาพในการหุงต้ม (cooking qualities)

4.2.2.1 ระยะเวลาในการต้ม (cooking time)

เนื่องจากสပါเกตตีเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปจึงจำเป็นต้องมีการต้มให้สุกก่อนนำไปปรุงร่วมกับผักหรือเนื้อสัตว์ต่อไป ดังนั้นเพื่อความสะดวก ผู้บริโภคจึงต้องการสပါเกตตีที่ใช้ระยะเวลาในการต้มสั้น (Smewing, 1997) จากการทดลองพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระยะเวลาในการต้มของสပါเกตตีจากข้าวเหลืองประทิว 123 ประกอบด้วย ปัจจัยหลัก ได้แก่ ความเร็วรอบสกรู ($p < 0.01$) อุณหภูมิของบารเรล ($p < 0.01$) และ ความชื้น ($p < 0.01$) และยังพบอิทธิพลร่วมจากความเร็วรอบสกรูและความชื้น ($p < 0.01$) และความเร็วรอบสกรูกับอุณหภูมิของบารเรล ($p < 0.01$) ด้วย แสดงในตารางภาคผนวก 1ค เมื่อนำสัมประสิทธิ์การถดถอยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะการผลิตกับระยะเวลาในการต้มมาสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงในภาพที่ 4.3 ซึ่งพบว่า เมื่อความชื้นเริ่มต้นและอุณหภูมิของบารเรลเพิ่มขึ้นส่งผลให้ต้องใช้เวลาในการต้มลดลง แต่ถ้าเพิ่มความเร็วยรอบสกรูกลับทำให้ใช้ระยะเวลาในการต้มเพิ่มขึ้น ส่วนปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระยะเวลาในการต้มของสပါเกตตีที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวชาซานิกิซึ่งมีเพียงความชื้น ($p < 0.01$) และปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วยรอบสกรูกับอุณหภูมิของบารเรล ($p < 0.01$) เท่านั้น แต่เนื่องจากมีค่า R^2 ต่ำจึงไม่สามารถนำมาสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนองได้ดังแสดงในตารางภาคผนวก 1ค และตารางภาคผนวก 2ค

ความชื้นเริ่มต้นและอุณหภูมิของบารเรลที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อระดับการสุก (degree of gelatinization) ของโคแป้งข้าวที่ถูกนวดอยู่ในเครื่องอัดพองเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้สပါเกตตีสามารถดูดซึมน้ำและพองตัวได้เร็วขึ้นซึ่ง หมายถึง ระยะเวลาในการต้มลดลง (Anderson et al., 1969, and Wang et al., 1999) อย่างไรก็ตาม Diosady et al. (1985) รายงานว่าเมื่อมีการเพิ่มความเร็วยรอบของสกรูจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอัดพองมีความสามารถในการดูดซึมน้ำลดลง เนื่องจากแรงเฉือนที่เกิดขึ้นส่งผลต่อโครงสร้างของเม็ดแป้งทำให้ต้องใช้เวลาในการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ต้องใช้ระยะเวลาในการต้มสุกนานขึ้นตามไปด้วย อีกทั้งการที่โคถูกนวดอยู่ในบารเรลนานเนื่องจากความเร็วรอบของสกรูต่ำส่งผลให้ระดับการเกิดเจลลิตีในเซชันสูงขึ้นด้วย

Fardet et al. (1998) อธิบายว่าการสุกของพาสตาและผลิตภัณฑ์จะเกิดที่ผิวหน้าซึ่งเป็นบริเวณที่สัมผัสกับน้ำเดือดโดยตรงแล้วจึงค่อย ๆ ส่งผ่านความร้อนและน้ำเข้าสู่แกนกลางส่งผลให้สပါเกตตีสุกจากผิวนอกเข้าสู่แกนกลาง และเมื่อนำระยะเวลาในการต้มไปศึกษาความสัมพันธ์กับ



ภาพที่ 4.3 กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะการผลิตด้วยกระบวนการอัดพอง ที่มีผลต่อระยะเวลาที่ใช้ต้มของสปาเกตตีจากข้าวเหลืองประทิว 123

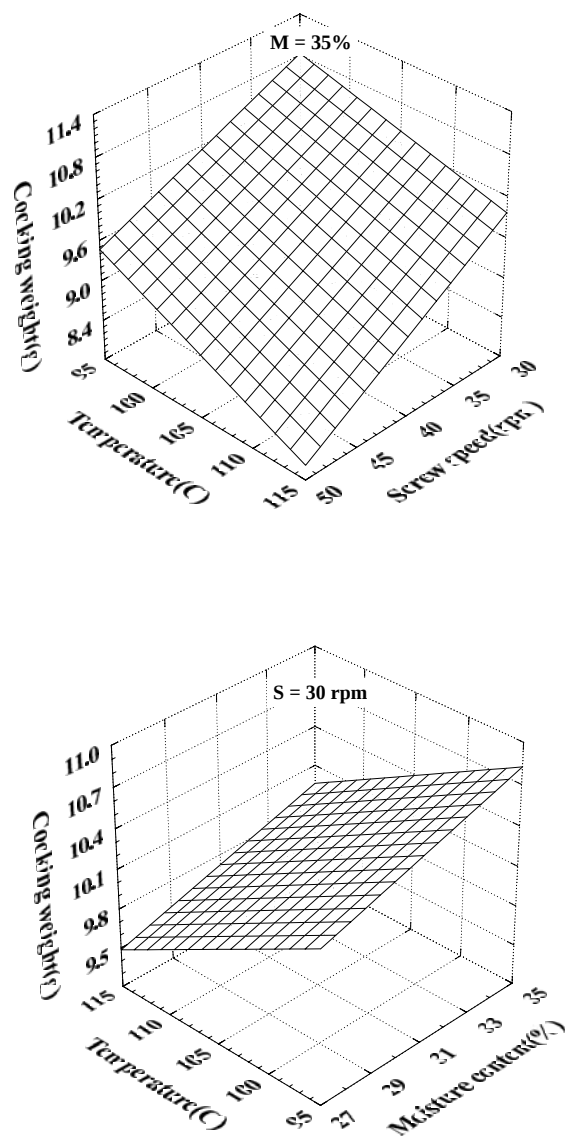
คุณภาพด้านอื่น พบว่าอัตราการพองตัวซึ่งแสดงให้เห็นถึงขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของสเปกเตติ มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับข้าวเหลืองประทิว123 ($p<0.01$) ข้าวขาวดอกมะลิ105 ($p<0.01$) และ ข้าวชาซานิชิกิ ($p<0.01$) ดังแสดงในตารางภาคผนวก ค4 - ค6 ซึ่งถ้าสเปกเตติมีเส้นผ่านศูนย์กลาง ขนาดใหญ่ก็ต้องใช้ระยะเวลาในการต้มตามไปด้วยซึ่ง ผลการทดลองดังกล่าวเป็นไปในทางเดียวกันกับการทดลองของ Wang et al. (1999)

แต่อย่างไรก็ตามจากผลที่ได้เมื่อพิจารณาถึงระยะเวลาในการต้มของสเปกเตติ ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหรืออัตราการพองตัวเท่ากันที่ได้จากสภาวะการผลิตต่างกันกลับใช้ ระยะเวลาในการต้มไม่เท่ากัน เช่น ตัวอย่างสเปกเตติจากข้าวเหลืองประทิว123 ที่ได้จากสภาวะการอัด พอง ที่มีความเร็วรอบของสกรู 30 รอบต่อนาที อุณหภูมิของบารเล 115 องศาเซลเซียส และ ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 31 โดยน้ำหนัก ได้สเปกเตติที่มีอัตราการพองตัวเป็น 1.13 เท่ากับตัวอย่าง สเปกเตติจากข้าวพันธุ์เดียวกันแต่ใช้สภาวะการอัดพองที่มีความเร็วรอบของสกรู 50 รอบต่อนาที อุณหภูมิของบารเล 95 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 31 โดยน้ำหนัก (ตารางภาคผนวก 1ข) แต่กลับใช้ระยะเวลาในการต้มเป็น 18.89 และ 23.65 นาทีตามลำดับ (ตารางภาคผนวก 2ข) ในขณะที่เมื่อทำการผลิตสเปกเตติด้วยสภาวะการผลิตเดียวกันแต่ใช้พันธุ์ข้าวที่ต่างกันก็ใช้ ระยะเวลาในการต้มต่างกัน อีกด้วย ดังแสดงในตารางภาคผนวก ข ดังนั้นปัจจัยที่มีผลต่อระยะเวลา ในการต้ม คือ สภาวะการ อัดพอง และพันธุ์ข้าวที่ใช้ในการผลิต

4.2.2.2 น้ำหนักหลังต้ม (cooking weight)

น้ำหนักหลังต้มของพาสตาและผลิตภัณฑ์เรียกอีกอย่างการพองตัว (swelling) ซึ่งเกิดจากความสามารถในการดูดซับ คุณซึม และเก็บกักน้ำของเม็ดแป้งระหว่างการต้มให้สุกในน้ำ เดือด โดยลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ต้องการคืออัตราการพองตัวหรือน้ำหนักหลังต้มสูง แต่ใน ขณะเดียวกันผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการต้มแล้วต้องไม่เปื่อยยุ่ย (Smewing, 1997)

ผลจากการทดลองพบว่าปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วรอบของสกรูกับอุณหภูมิ ของบารเล ($p<0.01$) และความเร็วรอบของสกรูกับความชื้นเริ่มต้น ($p<0.01$) เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพล กับน้ำหนักหลังต้มของสเปกเตติที่ผลิตจากข้าวเหลืองประทิว123 และข้าวชาซานิชิกิ ดังที่แสดงใน ตารางภาคผนวก 1ค และ 3ค โดยแสดงกราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะ การผลิตกับน้ำหนักหลังต้มของข้าวเหลืองประทิว123 ได้ ดังภาพที่ 4.4 คือ เมื่อเพิ่มความชื้นเริ่มต้น ร่วมกับการลดอุณหภูมิของบารเลหรือการลดความชื้นร่วมกับการลดความเร็วรอบของสกรูจะส่งผล ให้สเปกเตติที่ผลิตได้มีน้ำหนักหลังต้มสูงขึ้น ในขณะที่ปัจจัยอิทธิที่มีผลต่อน้ำหนักหลังต้มของ สเปกเตติจากข้าวขาวดอกมะลิ105 คือ ความเร็วรอบของสกรู ($p<0.01$) ความชื้นเริ่มต้น ($p<0.01$) และ ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิของบารเลกับความชื้นเริ่มต้น ($p<0.05$) แสดงในตารางภาคผนวก ค2 แต่



ภาพที่ 4.4 กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะการผลิตด้วยกระบวนการอัดพอง ที่มีผลต่อน้ำหนักหลังต้มของสเปกเตตจากข้าวเหลืองประทิว 123

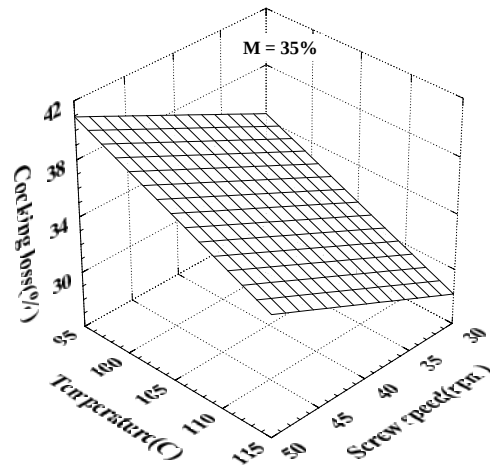
เนื่องจาก R^2 ของค่าความสัมพันธ์ของข้าวขาวดอกมะลิ105 และชาซานิชิกิต่ำจึงไม่สามารถใช้เป็นตัวแทนที่ดีในการแสดงความสัมพันธ์ของคุณภาพและสภาวะการผลิตได้

การเพิ่มอุณหภูมิของบารเลส่งผลต่อระดับการเสื่อมสลาย (degree of degradation) ของเม็ดแป้งซึ่งเกิดได้ดีที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากสามารถทำลายพันธะไฮโดรเจนในสายโซ่ภายในโมเลกุลแป้งได้ดี อีกทั้งการเพิ่มความเร็วยรอบของสกรูหรือลดความชื้นเริ่มต้นมีผลต่อแรงเฉือน (shear) ที่เกิดขึ้นภายในเครื่องอัดพองก็เป็นปัจจัยส่งเสริมให้เกิดการเสื่อมสลายของแป้ง ทั้งนี้การเสื่อมสลายจะส่งผลต่อความสามารถในการดูดซึม อุ่ม และเก็บกักน้ำของเม็ดแป้งและผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอัดพอง (Diosady et al., 1985; Wang et al. 1999)

จากการเปรียบเทียบแนวโน้มน้ำหนักหลังต้มจากข้อมูลของสเปกตรัมข้าวทั้ง 3 พันธุ์พบว่าข้าวขาวดอกมะลิ105 มีน้ำหนักหลังต้มสูงสุด รองลงมาคือ ข้าวชาซานิชิกิ และข้าวเหลืองประทิว 123 (แสดงในตารางภาคผนวก 2ข 5ข และ 8ข) Schoch and Maywald (1968); Tian (1991); และ Bhattacharya et al.(1999) รายงานว่าแป้งที่มีคุณสมบัติความหนืด (pasting properties) ในด้านความหนืดสูงสุด (peak viscosity) มีอัตราการพองตัวหรือสามารถดูดน้ำเข้าสู่เม็ดแป้งได้สูง และจากการศึกษาของ Tian et al. (1991) พบว่าปริมาณอะไมโลสในแป้งมีผลต่อการพองตัวของเม็ดแป้งด้วย กล่าวคือ อะไมโลสที่มีอยู่ในแป้งสามารถจำกัดการพองตัวและความสามารถในการดูดน้ำของเม็ดแป้ง ดังนั้นแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจึงมีการพองตัวได้น้อย ข้อมูลจากการทดลองพบว่าข้าวขาวดอกมะลิ105 มีค่าความหนืดสูงสุด รองลงมาคือ ข้าวชาซานิชิกิ และข้าวเหลืองประทิว123 (ตารางที่ 4.2) และลำดับปริมาณอะไมโลสจากมากไปน้อยของแป้งข้าววัดฤทธิพิ คือ ข้าวเหลืองประทิว123 ข้าวชาซานิชิกิ และข้าวขาวดอกมะลิ105 (แสดงในตารางที่ 4.1) มีแนวโน้มสนับสนุนอัตราการพองตัวของสเปกตรัมที่ผลิตจากข้าวพันธุ์ต่าง ๆ

4.2.2.3 การสูญเสียระหว่างต้ม (cooking loss)

การสูญเสียระหว่างต้มเป็นลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ของพาสตาและผลิตภัณฑ์รวมถึงสเปกตรัมด้วย การสูญเสียระหว่างต้มสังเกตเบื้องต้นได้จากลักษณะการขุ่นขาวของน้ำที่ใช้ในการต้มสิ่งที่จะละลายลงสู่ น้ำที่ใช้ต้มโดยหลักจะเป็นแป้งหรืออะไมโลสที่หลุดออกมาสเปกตรัม (Smewing 1997) จากการทดสอบคุณภาพของสเปกตรัมข้าวเจ้าพบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างการสูญเสียระหว่างต้มกับระยะเวลาที่ใช้ต้มของทั้งสเปกตรัมที่ผลิตจากข้าวเหลืองประทิว123 ข้าวขาวดอกมะลิ105 และข้าวชาซานิชิกิ ดังแสดงในตารางภาคผนวก 4ค 5ค และ 6ค ตามลำดับที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากกระบวนการที่เกิดขึ้นระหว่างต้มเริ่มจากด้านนอกหรือที่ผิวของเส้นสเปกตรัม ก่อนจากนั้นจึงแพร่เข้าสู่แกนกลางซึ่งแกนกลางอาจยังไม่สุกในขณะที่ผิวภายนอกเกิดการสุกอย่างสมบูรณ์จึงเป็นเหตุให้แป้งหลุดล่อนลงสู่ น้ำที่ใช้ต้มได้ ดังนั้นหากใช้ระยะเวลาในการต้มนานการสูญเสียระหว่างต้มจะสูงขึ้นตามไปด้วย (Wang et al., 1999; Kojima et al., 2001)



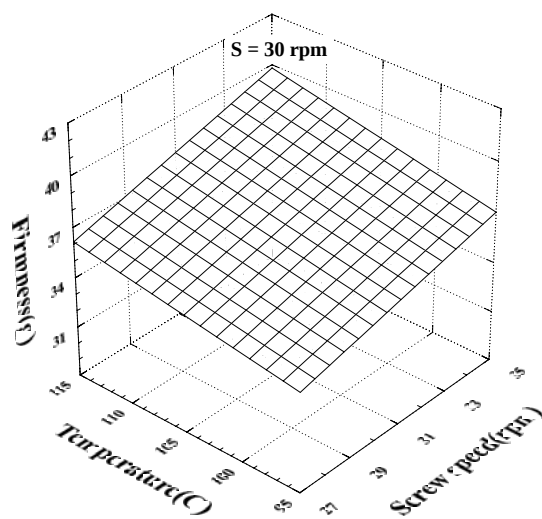
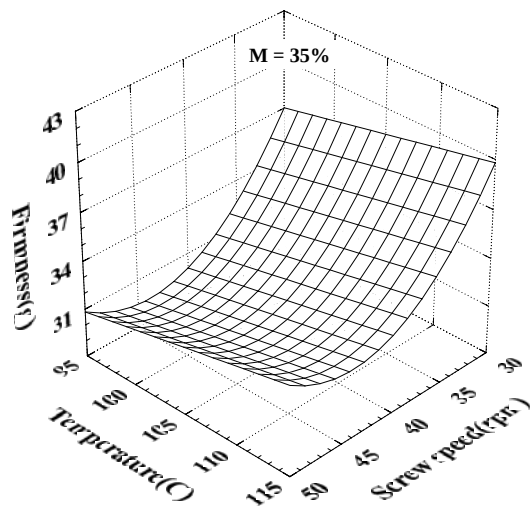
ภาพที่ 4.5 กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสถานะการผลิตด้วยกระบวนการอัดพองที่มีผลต่อการสูญเสียระหว่างต้มของสเปกเตตจากข้าวเหลืองประทิว 123

การสูญเสียระหว่างต้มของสปาเกตตีจากข้าวเหลืองประทิว123 ได้รับอิทธิพลหลักจากความเร็วรอบของสกรู ($p < 0.01$) และอิทธิพลร่วมระหว่างความเร็วรอบของสกรูกับความชื้นเริ่มต้น ($p < 0.01$) กับอุณหภูมิของบารเลกับความชื้นเริ่มต้น ($p < 0.01$) แสดงในตารางภาคผนวก 1ค และเมื่อนำมาสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนองพบว่าเมื่อความเร็วรอบของสกรู และ/หรืออุณหภูมิของ บารเลเพิ่มขึ้น และ/หรือความชื้นเริ่มต้นลดลง การสูญเสียระหว่างต้มจะลดลงตามไปด้วย ดังแสดงในภาพที่ 4.5 ในขณะที่การสูญเสียระหว่างต้มของสปาเกตตีจากข้าวขาวดอกมะลิ105 ได้รับอิทธิพลร่วมระหว่างความเร็วรอบของสกรูและอุณหภูมิของบารเล ($p < 0.05$) ในขณะที่ความชื้นเริ่มต้นมีอิทธิพลด้วยเช่นกัน ($p < 0.05$) แสดงในตารางภาคผนวก 1ค สำหรับสปาเกตตีจากข้าวชาซานิชิกิ มีความชื้นเริ่มต้นเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อการสูญเสียระหว่างต้ม ($p < 0.05$) และยังพบว่าปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วรอบของสกรูและความชื้นเริ่มต้นก็มีผลเช่นกัน ($p < 0.05$)

4.2.3 ลักษณะเนื้อสัมผัส (textural properties)

4.2.3.1 ความแน่นเนื้อ (firmness)

คุณสมบัติที่สำคัญของพาสตาและผลิตภัณฑ์หลังจากผ่านการต้มสุก คือความแน่นเนื้อ ซึ่งเป็นลักษณะที่ผู้บริโภคต้องการ โดยความแน่นเนื้อเป็นค่าที่แสดงถึงความทนทานต่อการต้มของพาสตา ผลิตภัณฑ์ที่ดีต้องมีความเหนียวนุ่มและไม่เปื่อยยุ่ยง่ายหลังจากผ่านการต้ม เนื่องจากต้องมีการนำพาสตาสุกไปปรุงร่วมกับส่วนผสมอื่นก่อนการบริโภค จากการศึกษาคุณสมบัติหลังการต้มของสปาเกตตีข้าวเหลืองประทิว123 พบว่าความแน่นเนื้อมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับการสูญเสียระหว่างต้ม ($P < 0.01$) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากระยะเวลาในการต้มนานจะส่งผลให้อะไมโลสหลุดออกมาละลายลงในน้ำ มีผลทำให้ผิวนอกของสปาเกตตีเปื่อยยุ่ยลง ทำให้ความแน่นเนื้อลดลง จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะการผลิตกับความแน่นเนื้อพบว่าอิทธิพลหลักที่ส่งผลต่อความแน่นเนื้อคือ ความเร็วรอบสกรู ($p < 0.01$) ในขณะเดียวกันยังพบอิทธิพลร่วมระหว่างความเร็วรอบสกรูกับความชื้น ($p < 0.01$) และความเร็วรอบของสกรูกับความชื้นเริ่มต้น ($p < 0.01$) อีกด้วย เมื่อนำไปสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงดังภาพที่ 4.6 ซึ่งมีแนวโน้มของความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบของสกรูและอุณหภูมิของบารเลเพิ่มขึ้นหรือเมื่อความชื้นเริ่มต้นลดลง ในขณะที่สปาเกตตีจากข้าวขาวดอกมะลิ105 มีเพียงอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิของบารเลกับความชื้นเริ่มต้นและอิทธิพลหลักจากความชื้นเริ่มต้น ส่วนข้าวชาซานิชิกิได้รับผลจากอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิของบารเลกับความชื้นเริ่มต้นมีผลต่อความแน่นเนื้อ เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองพบว่าค่าความแน่นเนื้อของสปาเกตตีข้าวขาวดอกมะลิ105 มีค่าเพียง 2.95 - 6.52 กรัม ดังแสดงในตารางภาคผนวก 6ข แต่ในสปาเกตตีจากข้าวชาซานิชิกิมีค่าอยู่ระหว่าง 6.60 - 11.47 กรัม แสดงในตารางภาคผนวก 9ข ซึ่งมีความต่างจากสปาเกตตีจากข้าวเหลืองประทิว123 ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 27.64 - 38.66 กรัม แสดงในตารางภาคผนวก 3ข ซึ่งแสดงถึงความแข็งแรง



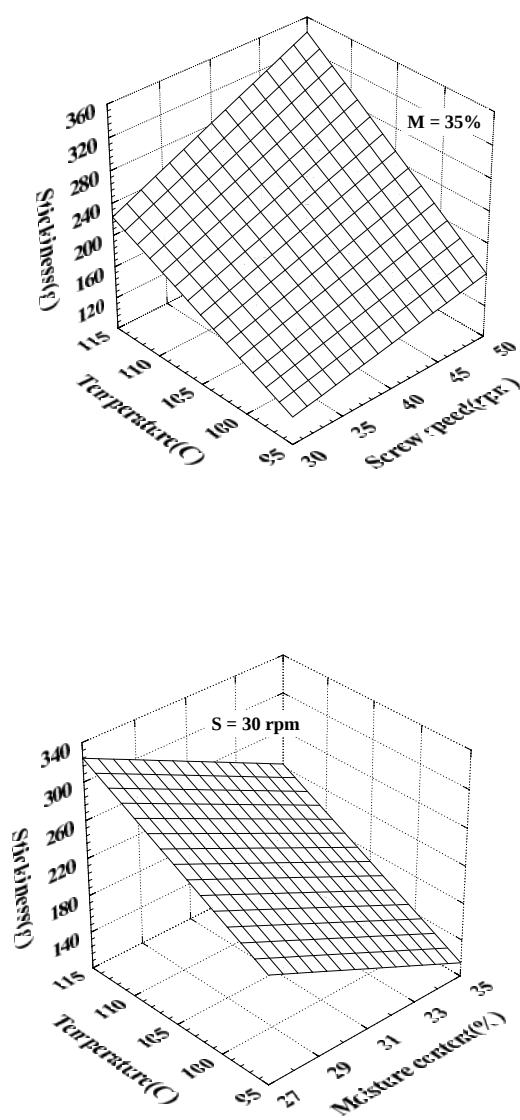
ภาพที่ 4.6 กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสถานะการผลิตด้วยกระบวนการอัดพอง ที่มีผลต่อความแน่นเนื้อของสเปกตติจากข้าวเหลืองประทิว 123

ของเจลเมื่อทำให้เย็นภายใต้สภาวะที่มีแรงเฉือน พบว่าข้าวเหลืองประทิว123 มีค่า break down สูงกว่าข้าวชาธานีชิกิ และข้าวขาวดอกมะลิ105 จึงทำให้สปีเกตตีข้าวเหลืองประทิว123 มีแนวโน้มที่จะมีความทนทานต่อการผลิตด้วยกระบวนการอัดพองซึ่งอยู่ภายใต้สภาวะความร้อนและแรงเฉือนได้สูงกว่า

4.2.3.2 ความเหนียวติดที่ผิวหน้า

ความเหนียวติดที่ผิวหน้าเป็นลักษณะที่ไม่พึงประสงค์อย่างมากของผลิตภัณฑ์พาสตาทุกชนิด ซึ่งส่งผลให้สปีเกตตีเกิดการเกาะติดกันดูไม่น่ารับประทานแม้ว่าจะมีข้อเสนอแนะให้นำน้ำมันพืชคลุกกับเส้นสปีเกตตีหลังจากการต้มสุกหากผู้บริโภคไม่ได้ทำการปรุงในขั้นตอนต่อไปโดยทันที สาเหตุที่สปีเกตตีเกิดการเหนียวติดที่ผิวหน้าเนื่องมาจากน้ำส่วนเกินที่ไม่สามารถดูดซึมได้ที่ผิวของสปีเกตตีเกาะติดอยู่กับโมเลกุลของอะไมโลส (Dexter et al., 1983; Smewing, 1997) จากการศึกษาความเหนียวติดที่ผิวหน้าของสปีเกตตีจากข้าวเหลืองประทิว123 พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วรอบของสกรูกับอุณหภูมิของบาร์เรล ($p < 0.01$) และความเร็วรอบของสกรูกับความชื้นเริ่มต้นมีผลต่อความเหนียวติดของผิวหน้า ($p < 0.01$) แสดงในตารางภาคผนวก 1x ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากเมื่อเพิ่มความเร็วรอบของสกรูและอุณหภูมิของบาร์เรลหรือลดความชื้นเริ่มต้นส่งผลต่อการสุกของแป้งและการเสื่อมสลายของโมเลกุลแป้ง ทำให้อะไมโลสที่อยู่ในแป้งหลุดและละลายออกมาอยู่บริเวณผิวหน้าของสปีเกตตี ส่งผลให้สูญเสียความสามารถในการดูดซับน้ำจึงเกิดเป็นความเหนียวติดที่ผิวหน้าดังกล่าว (Dexter et al., 1983; Matsuo et al., 1986) เมื่อนำไปสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนองได้ผลเป็นดังภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเหนียวติดของผิวหน้ากับคุณภาพในด้านอื่น ๆ ของสปีเกตตี พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกกับระยะเวลาในการต้ม ($p < 0.01$) และอัตราการพองตัว ($p < 0.01$) แสดงในตารางภาคผนวก 4d ซึ่งเป็นไปในทางเดียวกันกับการทดลองของ Kim and Wiesenborn (1996) ทำการศึกษาคูณภาพหลังการต้มของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากแป้งมันฝรั่ง โดยคณะผู้ทำการทดลองอธิบายว่าเป็นเช่นนี้เนื่องมาจากการใช้ระยะเวลาในการต้มสั้นกว่าส่งผลให้อะไมโลสมีโอกาสหลุดออกมาสู่ผิวหน้าได้ลดลง

เมื่อทำการศึกษาคูณภาพความเหนียวติดที่ผิวหน้าของสปีเกตตีจากข้าวขาวดอกมะลิ105 และข้าวชาธานีชิกิพบว่ามีความเหนียวติดที่ผิวหน้าสูงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้าวขาวดอกมะลิ105 คือ มีค่าอยู่ระหว่าง 1099.88 – 2831.25 กรัม (ตารางภาคผนวก ข 6) ส่วนข้าวชาธานีชิกิมีค่าอยู่ระหว่าง 575.65 – 1728.68 กรัม (ตารางภาคผนวก ข9) โดยพบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างความเร็วรอบสกรูกับอุณหภูมิของบาร์เรล ($p < 0.01$) และความเร็วรอบของสกรูกับความชื้นเริ่มต้นมีผลต่อความเหนียวติดที่ผิวหน้า ($p < 0.01$) และยังพบความสัมพันธ์เชิงบวกกับระยะเวลาในการต้ม ($p < 0.01$) อีกด้วย ดังแสดงในตารางภาคผนวก 5ค และ 6ค สาเหตุที่สปีเกตตีจากข้าวขาวดอกมะลิ105 และข้าวชาธานีชิกิมีความเหนียวติดที่ผิวหน้าสูงอาจเนื่องมาจากการที่แป้งข้าวทั้งสองชนิดมีปริมาณอะไมโลสต่ำและมีอะไมโลเพคตินสูงจึงเกิดร่างแหอะไมโลสได้ไม่ดึ้นัก อีกทั้งโครงสร้างของอะไมโล



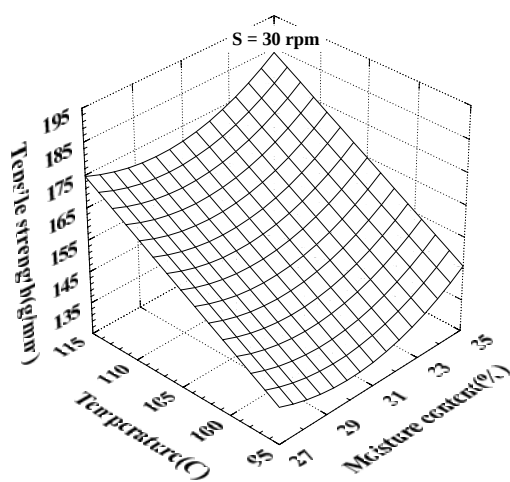
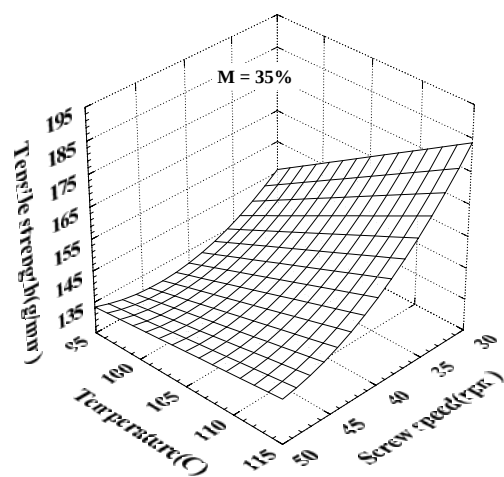
ภาพที่ 4.7 กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะการผลิตด้วยกระบวนการอัดพอง ที่มีผลต่อความเหนียวติดที่ผิวหน้าของสเปกต์จากข้าวเหลืองประทิว 123

เพคติน มีความเป็นกึ่งก้านสาขา เมื่อเกิดการสุกจึงเกิดการเหนียวติดที่ผิวหน้าที่เกิดจากเจลไม่สามารถดูดซับน้ำที่ ผิวหน้าไว้ได้ (Lii and Chang, 1991)

4.2.3.3 ความต้านทานต่อแรงดึง (tensile strength)

ความต้านทานต่อแรงดึงหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าความสามารถในการยืดหยุ่นของสเปกเทตต่อแรงที่ใช้ดึงให้เส้นสเปกแต่นั้นขาดออกจากกัน ซึ่งสเปกแตที่ดีต้องมีความสามารถในการต้านทานแรงดึงได้ดี จากการศึกษาความต้านทานต่อแรงดึงของสเปกแตพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงลบกับระยะเวลาในการต้ม ($p < 0.01$) ดังตารางภาคผนวก 6ค แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการต้มส่งผลให้ความต้านทานต่อแรงดึงลดลง จากข้อมูลทางสถิติพบว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อความต้านทานต่อแรงดึงอุณหภูมิของบารเรล ($p < 0.01$) และความชื้นเริ่มต้น ($p < 0.01$) และปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วรอบและอุณหภูมิของบารเรล เมื่อนำไปสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนองได้ผลดังภาพที่ 4.8 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิของบารเรลและความชื้นเริ่มต้นเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความต้านทานต่อแรงดึงเพิ่มขึ้น ในขณะที่การลดความเร็วรอบของสกรูกลับส่งผลให้ความต้านทานต่อแรงดึงลดลง ในขณะที่สเปกแตจากข้าวชานาชิก็พบปัจจัยหลักคือความชื้นเริ่มต้น ($p < 0.05$) และปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วรอบของสกรูกับอุณหภูมิของบารเรล ($p < 0.01$) ส่วนสเปกแตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 พบเพียงปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วรอบของสกรูกับความชื้นเริ่มต้นที่ส่งผลต่อความต้านทานต่อแรงดึง แสดงในตารางภาคผนวก 2ข และ 3ข

ความต้านทานต่อแรงดึงมีความสัมพันธ์กับความแข็งแรงของเจลที่ได้จากแป้งเมื่อผ่านกระบวนการผลิต แต่อย่างไรก็ตาม Gudmandsson (1994) อธิบายว่าการเกิดเจลที่แข็งแรงและการเกิดรีโทรเกรเดชันไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณอะไมโลสเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นกับอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างอะไมโลสและอะไมโลเพคตินด้วย เมื่อศึกษากลไกการเกิดเจลของอะไมโลเพคตินพบว่าสามารถเกิดเจลได้จากการเชื่อมข้ามระหว่างพันธะภายในโมเลกุลสายสั้น ๆ (Miles et al., 1985; Ring et al., 1987) จากการศึกษาของ Cameron et al. (1994) พบว่าสายโซ่ที่ยาวจะให้เจลที่แข็งแรงกว่าสายโซ่ขนาดสั้น ๆ ในขณะที่ Parovuori et al. (1997) ศึกษาความแข็งแรงของเจลที่ได้จากการผสมอะไมโลสในปริมาณที่แตกต่างกับอะไมโลเพคตินที่มีความยาวของสายโซ่ต่างกัน พบว่าทั้งปริมาณอะไมโลสและความยาวของสายโซ่อะไมโลเพคตินมีผลต่อความแข็งแรงของเจล และจากการทดลองของ Klucinec and Thomson (1999) พบว่าเจลที่ได้จากการผสมอะไมโลสและอะไมโลเพคตินที่มีกึ่งก้านสาขามาก ๆ ทำให้ได้เจลที่อ่อนนุ่มเนื่องจากสายโซ่ของอะไมโลเพคตินจะขัดขวางการเกิดร่างแหอะไมโลส ดังนั้นในการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดเส้นจากข้าวหรือวัตถุดิบที่ปราศจากโปรตีนกลูเตนจึงต้องเลือกใช้ข้าวหรือวัตถุดิบที่มีปริมาณอะไมโลสและขนาดของสายโซ่อะไมโลเพคตินที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี



ภาพที่ 4.8 กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะการผลิตด้วยกระบวนการอัดฟองที่มีผลต่อความต้านทานต่อแรงดึงของสเปกตติจากข้าวเหลืองประทิว 123

4.3 ผลการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตพาสต้าข้าวเจ้า

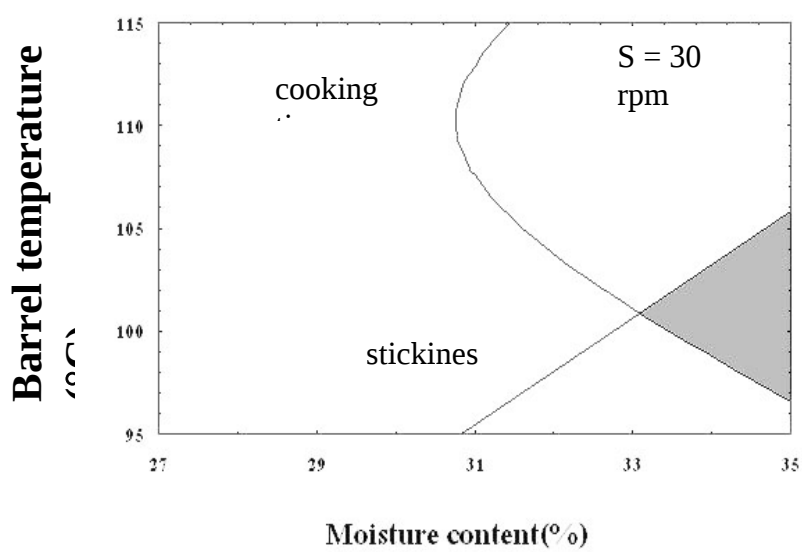
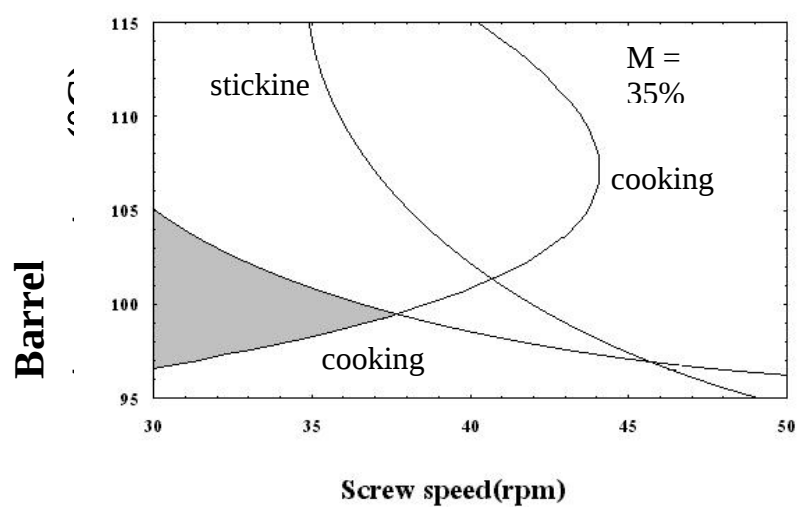
จากการทดลองสามารถนำข้อมูลมาใช้ในการทำนายสภาวะที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้ในการผลิตสปาเกตตีจากข้าว โดยใช้สปาเกตตีทางการค้าที่ผลิตจากข้าวสาลีดูรัมที่มีจำหน่ายในท้องตลาดเป็นต้นแบบในการเปรียบเทียบคุณภาพของสปาเกตตีข้าวเจ้า เพื่อให้สปาเกตตีที่ผลิตได้มีคุณภาพใกล้เคียงกับสปาเกตตีทางการค้าที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากที่สุด สปาเกตตีที่มีทั่วไปในท้องตลาดเป็นผลิตภัณฑ์ที่สำเร็จรูปต้องมีการเตรียมด้วยการต้มสุกก่อนการบริโภค ซึ่งโดยปกติแล้วคุณภาพสปาเกตตีที่ผู้บริโภคต้องการ คือ ใช้เวลาในการต้มสุกน้อย มีอัตราการพองตัว หรือน้ำหนักหลังต้มสุกสูง การสูญเสียระหว่างการต้มต่ำ มีความแน่นเนื้อและความต้านทานต่อแรงดึงสูง และในขณะเดียวกันความเหนียวติดที่ผิวหน้าต่ำ จากการทดสอบข้อมูลคุณภาพในด้านต่าง ๆ ของสปาเกตตีทางการค้าดังแสดงในตารางที่ 4.3 แต่เนื่องจากสปาเกตตีจากข้าวที่ผลิตได้มีคุณภาพบางประการ เช่น คุณภาพการหุงต้ม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสูญเสียระหว่างการต้มที่มีค่าสูงถึงร้อยละ 30.99 – 42.64 โดยน้ำหนัก (แสดงในภาคผนวก ข) ในขณะที่เวลาในการต้มและน้ำหนักหลังต้มต่ำกว่าเล็กน้อย เนื่องจากกลูเตนินโปรตีนในแป้งข้าวเจ้ามีคุณสมบัติต่างจากกลูเตนโปรตีนในแป้งข้าวสาลี กล่าวคือ โปรตีนกลูเตนในแป้งสาลีมีคุณสมบัติการเกิดโครงข่ายร่างแหที่มีความยืดหยุ่นเมื่อนวดกับน้ำและยังมียุทธศาสตร์ในการป้องกันการแตกของเม็ดแป้งระหว่างต้มส่งผลให้การสูญเสียระหว่างการต้มน้อย ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ชนิดเส้นที่ผลิตจากข้าวเจ้า เช่น เส้นก๋วยเตี๋ยว เส้นหมี่ และเส้นขนมจีน อาศัยร่างแหอะไมโลสที่ใช้พันธะไฮโดรเจนเป็นหลัก เมื่อต้มแป้งทำให้พันธะสลายตัวและแตกออกมีผลให้อะไมโลสหลุดออกมาสร้างโครงข่าย และโดยธรรมชาติที่ผ่านการทำให้สุกจะมีความสามารถในการละลายน้ำได้สูงจึงทำให้การสูญเสียระหว่างการต้มสูงตามไปด้วย (Mestres et. al, 1988; Bhattacharya et. al, 1999; Lai, 2001) อย่างไรก็ตามสปาเกตตีข้าวเจ้าที่ได้จากการทดลองมีข้อดีเหนือกว่าสปาเกตตีทางการค้าในด้านความแน่นเนื้อและความต้านทานต่อแรงดึงของเจลที่เกิดจากร่างแหอะไมโลส จากเหตุผลดังกล่าวในการกำหนดขอบเขตคุณภาพของสปาเกตตีจากข้าวเจ้าจึงยกเว้นไม่นำการสูญเสียระหว่างการต้มมาร่วมพิจารณาและกำหนดคุณภาพในด้านอื่น ได้แก่ ระยะเวลาในการต้ม น้ำหนักหลังต้ม ความแน่นเนื้อ ความเหนียวติดที่ผิวหน้า และความต้านทานต่อแรงดึงให้มีคุณภาพต่ำกว่าสปาเกตตีจากท้องตลาดร้อยละ 30 ดังแสดงในตารางที่ 4.3

เมื่อนำสมการที่ได้จากการศึกษาความสัมพันธ์ของสภาวะการผลิตต่อคุณสมบัติในด้านต่าง ๆ จากตารางที่ 4.3 มาสร้างกราฟคอนทัวร์ (contour plot) 2 มิติ พบว่าสปาเกตตีจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวชาวนาชนิดนี้มีคุณภาพในด้าน อัตราการพองตัว น้ำหนักหลังต้ม และเวลาที่ใช้ในการต้มเท่านั้นที่ผ่านเกณฑ์กำหนดไว้ แต่คุณภาพในด้านความแน่นเนื้อ ความเหนียวติดที่ผิวหน้า และความต้านทานต่อแรงดึงต่ำกว่าเกณฑ์ขอบเขตมากจึงไม่สามารถสร้างกราฟทำนายสภาวะที่เหมาะสมได้ มีเพียงสปาเกตตีจากข้าวเหลืองประทิว 123 เท่านั้นที่คุณภาพในด้านต่าง ๆ อยู่ในช่วงของขอบเขตที่กำหนด

และเมื่อนำกราฟคอนทัวร์ของแต่ละลักษณะคุณภาพมาซ้อนกันเพื่อทำนายสภาวะการผลิตที่เหมาะสมที่สุด ได้กราฟดังภาพที่ 4.9 เมื่อกำหนดให้ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก และเมื่อกำหนดให้ความเร็วรอบสกรูเป็น 30 รอบต่อนาที โดยบริเวณที่แรเงา คือ บริเวณที่มีสภาวะการผลิตที่จะทำให้ได้คุณลักษณะตามที่กำหนดไว้และเมื่อนำกราฟทั้งสองมาพิจารณาร่วมกันทำให้ได้สภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ ความเร็วรอบของสกรูระหว่าง 30 - 36 รอบต่อนาที อุณหภูมิของบารเลระหว่าง 97 - 104 องศาเซลเซียส และความชื้นระหว่างร้อยละ 33 - 35 โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 4.3 คุณภาพของสเปกตรัมการค้ำที่ใช้จำกัดเขตคุณภาพของสเปกตรัมข้าวเจ้า

ลักษณะคุณภาพ	สเปกตรัมการค้ำ	ขอบเขตสเปกตรัมข้าวเจ้า
คุณภาพทางกายภาพ		
อัตราการพองตัว	1.0	0.70 - 1.30
คุณภาพการหุงต้ม		
ระยะเวลาต้ม (นาที)	14	≤ 18.25
น้ำหนักหลังต้ม (กรัม)	13.56	≥ 9.492
ลักษณะเนื้อสัมผัส		
ความแน่นเนื้อ (กรัม)	28.9	≥ 20.23
ความเหนียวติดที่ผิวหน้า (กรัม)	131.30	≤ 170.69
ความต้านทานต่อแรงดึง (กรัม/มม.)	126.00	≥ 113.40



ภาพที่ 4.9 กราฟคอนทัวร์ 2 มิติ ทำนายสภาวะการผลิตที่เหมาะสมสำหรับการผลิตสปาเกตตีจากข้าวเหลืองประทิว 123 ให้มีคุณภาพใกล้เคียงกับสปาเกตตีทางการค้ามากที่สุด

4.4 ผลการศึกษาโครงสร้างภายใน

การศึกษาเปรียบเทียบโครงสร้างภายในของสปีเกอติจากการค้ำที่ผลิตจากข้าวสาลีคู่หมักกับสปีเกอติจากข้าวซึ่งเลือกจากสถานะที่เหมาะสมที่สุดเป็นตัวแทนการศึกษา

4.4.1 การศึกษาโครงสร้างภายในด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

จากการศึกษาโครงสร้างภายในของแป้งข้าวเจ้าและแป้งสาลีคู่หมักรวมถึงสปีเกอติทางการค้ำและตัวอย่างสปีเกอติจากข้าวที่ไม่ผ่านและผ่านการค้ำในภาคตัดขวาง (cross section) โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (scanning electron microscope: SEM) ได้ผลการศึกษาดังภาพที่ 4.10 ซึ่งพบว่าแป้งสาลีมีลักษณะของเม็ดแป้ง 2 แบบ คือ แบนรี และเม็ดกลมเล็กขนาดต่าง ๆ อัดตัวกันแน่นโดยมีโปรตีนเรียงตัวล้อมรอบกระจายทั่วไปรวมตัวกันเป็นแป้ง ในขณะที่เม็ดแป้งข้าวดิบจะมีลักษณะเป็นรูปหลายเหลี่ยมอัดเรียงตัวกันโดยมีเม็ดโปรตีนจำนวนเพียงเล็กน้อยฝังรวมอยู่ด้วยดังแสดงในภาพที่ 4.10ก และ 4.10ข เมื่อแป้งสาลีและแป้งข้าวเจ้าผ่านกระบวนการผลิตเป็นสปีเกอติแล้วพบว่าสปีเกอติทางการค้ำที่ยังไม่ผ่านการค้ำเม็ดแป้งยังคงลักษณะไม่ต่างจากแป้งข้าวสาลีคู่หมักที่ยังไม่ผ่านกระบวนการมากนัก ดังแสดงในภาพที่ 4.10ค โดยยังพบลักษณะของเม็ดแป้ง แบนรีขนาดต่าง ๆ เรียงอัดตัวกันแน่นโดยมีโปรตีนที่เป็นเม็ดกลมเล็ก ๆ เรียงตัวเป็นร่างแหล้อมรอบกลุ่มเม็ดแป้งดังกล่าว เช่นเดียวกับที่ Dexter et al. ได้ทำการศึกษาและรายงานไว้เมื่อปี 1978 ในขณะที่สปีเกอติจากข้าวที่ยังไม่ผ่านการค้ำไม่พบเม็ดแป้งและโปรตีนดังแสดงภาพ 4.10ง ซึ่งเมื่อนำความแตกต่างดังกล่าวมาพิจารณาพร้อมกับคุณสมบัติของสปีเกอติทั้ง 2 ประเภท ทำให้สามารถอธิบายได้ว่า เหตุที่สปีเกอติทางการค้ำยังคงลักษณะเม็ดแป้งและโปรตีนค่อนข้างสมบูรณ์นั้นเนื่องมาจากในกระบวนการผลิตมีการใช้น้ำในขั้นตอนการนวดผสมในปริมาณต่ำ (ร้อยละ 29 – 31 โดยน้ำหนัก) อีกทั้งมีการควบคุมอุณหภูมิในระหว่างการนวดและขึ้นรูปให้ไม่เกิน 40 และ 45 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (Lorenz and Kulp, 1991) ด้วยเหตุนี้เม็ดแป้งจึงไม่สุกและไม่เกิดการแตก เมื่อนำไปค้ำร่างแหโปรตีนที่ล้อมรอบเม็ดแป้งเหล่านี้จะเสียสภาพธรรมชาติ (denature) เกิดการตกตะกอน (coagulation) ในขณะที่เดียวกันเม็ดแป้งจะดูดน้ำและพองตัวขึ้น แต่การพองตัวดังกล่าวก็ถูกจำกัดโดยโปรตีนร่างแหที่เสียสภาพ ส่งผลให้เม็ดแป้งไม่แตกออกอะไมโลสที่อยู่ภายในเม็ดแป้งจึงไม่ละลายลงสู่ น้ำที่ใช้ค้ำ สปีเกอติจึงมีการสูญเสียระหว่างค้ำและทนทานต่อการหุงต้มดี (Miller et al., 1973) ในขณะที่สปีเกอติจากข้าวผลิตจากกระบวนการอัดพองที่ใช้อุณหภูมิสูงเป็นเหตุให้เม็ดแป้งส่วนใหญ่เกิดการสุกจึงทำให้ไม่พบเม็ดแป้งในสปีเกอติจากข้าว จากการศึกษาของ Mestres et al. ในปี 1988 พบว่าเส้นก๊วยเตียที่ผลิตจากข้าวสามารถคงรูปร่างได้เนื่องจากร่างแหอะไมโลส (amylose network) ที่สามารถเก็บกักน้ำไว้ในและให้ผลิตภัณฑ์มีความยืดหยุ่นดี ซึ่งการจะทำให้เกิดร่างแหดังกล่าวนี้จะต้องทำให้เม็ดแป้งสุกและแตกออกเพื่อให้อะไมโลสหลุด

ออกมาเรียงตัว เป็นร่างแหดังกล่าวขึ้น ส่งผลต่อคุณภาพในการหุงต้มกล่าวคือทำให้การสูญเสียระหว่างต้มสูงและ

หากใช้เวลาในการต้มนานก็เป็นการเปิดโอกาสให้อะไมโลสหลุดละลายลงสู่ น้ำได้มากยิ่งขึ้น เช่นเดียวกับในกรณีสปาคัดที่ผลิตจากข้าว เมื่อพิจารณาโครงสร้างภายในของสปาคัดทั้ง 2 ชนิด เมื่อผ่านการต้มสุกแล้ว (ภาพที่ 4.10จ และ 4.10ข) จะพบโครงข่ายที่เป็นโครงข่ายรังผึ้ง (honey comb like appearance) เนื่องจากการระเหยของน้ำที่แทรกอยู่ในตัวอย่างด้วยการทำแห้งแบบเยือกแข็งในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง แต่เมื่อเปรียบเทียบขนาดของโครงข่ายของทั้งสองชนิดจะพบว่า สปาคัดทางการค้ามีขนาดโครงข่ายใหญ่กว่าด้วยเหตุนี้เองสปาคัดทางการค้าจึงใช้เวลาในการหุงต้มที่สั้นกว่าเพราะน้ำสามารถแทรกซึมเข้าสู่แกนกลางได้ง่ายกว่า และด้วยขนาดโครงข่ายที่ใหญ่ของสปาคัดทางการค้าจึงสามารถเก็บกักน้ำได้มากกว่าสปาคัดจากข้าวซึ่งมีโครงข่ายขนาดเล็กส่งผลให้น้ำหนักหลังต้มของสปาคัดทางการค้าจึงสูงกว่าสปาคัดจากข้าวเจ้า

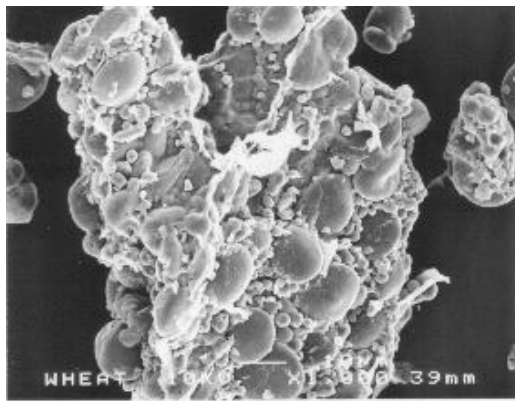
4.4.2 การศึกษาโครงสร้างภายในด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบฟลูออเรสเซนซ์

จากการย้อมตัวอย่างสปาคัดด้วยสารละลายแอซิดฟลูออรีนซึ่งมีความเฉพาะเจาะจงต่อโปรตีนเท่านั้น ซึ่งเมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบฟลูออเรสเซนซ์จะพบส่วนของโปรตีนเป็นสีแดง ดังแสดงในภาพที่ 4.11 สปาคัดทางการค้าทั้งที่ต้มและไม่ผ่านการต้มพบส่วนของโปรตีนสานล้อมรอบเม็ดแป้งซึ่งมีลักษณะแบนรีสีดำ ดังแสดงในภาพ 4.11ก และ 4.11ข โดยมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย คือ เม็ดแป้งของสปาคัดที่ผ่านการต้มมีขนาดขยายใหญ่กว่าที่ยังไม่ผ่านการต้ม เนื่องจากเม็ดแป้งดูดและเก็บกักน้ำไว้ใน แสดงให้เห็นว่าโปรตีนในแป้งสาลีทำหน้าที่เป็นตัวประสานในระหว่างการผลิตทำให้เกิดโคที่ที่มีความเหนียวยืดหยุ่นและเมื่อนำสปาคัดไปต้มโปรตีนนี้จะจำกัดการพองตัวของเม็ดแป้ง ทำให้เม็ดแป้งไม่พองตัวจนแตก อะไมโลสจึงไม่หลุดออกมา ส่งผลให้ความสูญเสียระหว่างต้มและความเหนียวติดที่ผิวหน้าดำ (Fardet et al, 1998) ในขณะที่สปาคัดจากข้าวทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการต้มจะพบโปรตีนกระจายอยู่ทั่วไปบนแป้ง ดังแสดงในภาพ 4.10ค และ 4.10ง โดยไม่พบลักษณะของการเรียงตัวล้อมรอบเม็ดแป้งของโปรตีน สนับสนุนการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดข้างต้น

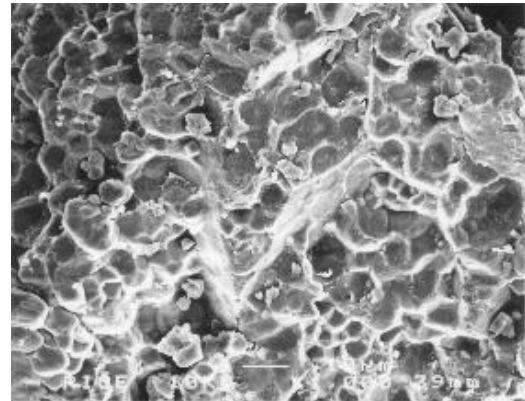
4.4.3 การศึกษาโครงสร้างภายในด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบคอนโฟคอลเลเซอร์สแกนนิ่ง

การศึกษาการจัดเรียงตัวของโปรตีนในสปาคัดทางการค้าและสปาคัดจากข้าวด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบคอนโฟคอลเลเซอร์สแกนนิ่ง ซึ่งสามารถแสดงผลเป็นภาพโครงสร้าง 3 มิติจากการย้อมด้วยสารละลายแอซิดฟลูออรีน ทำให้ทราบว่าโปรตีนที่พบในสปาคัดทางการค้าที่ผลิตจากข้าวสาลีดูรุ่มไม่ได้เพียงล้อมรอบเม็ดแป้งอย่างที่พบจากกล้องจุลทรรศน์แบบฟลูออเรสเซนซ์เท่านั้นแต่ยังมีลักษณะการสานกันเป็นร่างแหโครงข่ายโปรตีนตลอดชิ้นตัวอย่าง ทำให้สปาคัดที่ผลิตได้มีความเหนียวและยืดหยุ่นดีดังแสดงในภาพ 4.12 ในขณะที่สปาคัดจากข้าวซึ่งมีโปรตีน

กระจายโดยทั่วไปดังแสดงในภาพ 4.13 ซึ่งจากภาพพบว่าส่วนที่เป็นสีดำซึ่งเป็นส่วนของแป้งที่ประกอบด้วยทั้งอะไมโลสและอะไมโลเพคตินเป็นหลัก ไม่พบการสานเป็นร่างแหของโปรตีนเหมือนกับสปีเกตตีทางการค้า ซึ่งสนับสนุนผลการทดลองของ Mestres et al. ซึ่งทำการทดลองในปี 1988 ที่กล่าวว่าการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดเส้นจากวัตถุดิบซึ่งไม่มีกลูเตนเป็นส่วนประกอบต้องมีการทำให้แป้งเกิดการสุกบางส่วนเพื่อให้เกิดร่างแหอะไมโลสและทำหน้าที่เป็นตัวจับยึด (binder) ทำให้เกิดโคที่มีความเหนียวและยืดหยุ่นจนสามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดเส้นแบบต่าง ๆ ได้ และด้วยเหตุที่จำเป็นต้องทำให้แป้งสุกบางส่วนนี้ ส่งผลให้อะไมโลสสามารถละลายลงสู่น้ำที่ใช้ต้มได้ง่าย



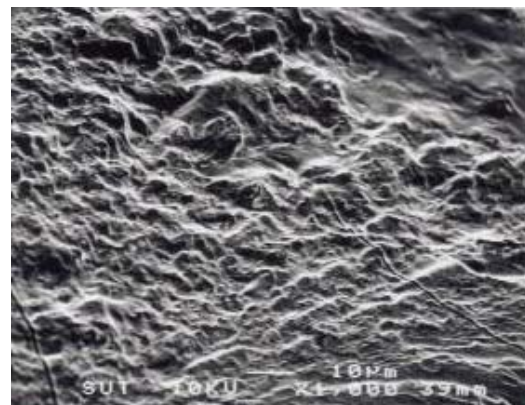
(ก)



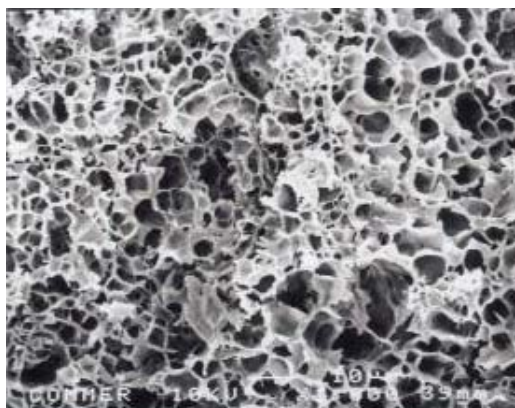
(ข)



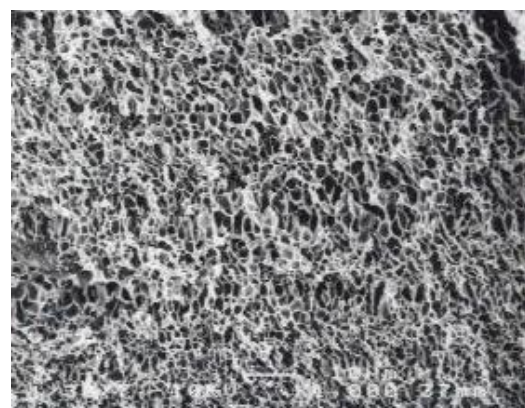
(ค)



(ง)

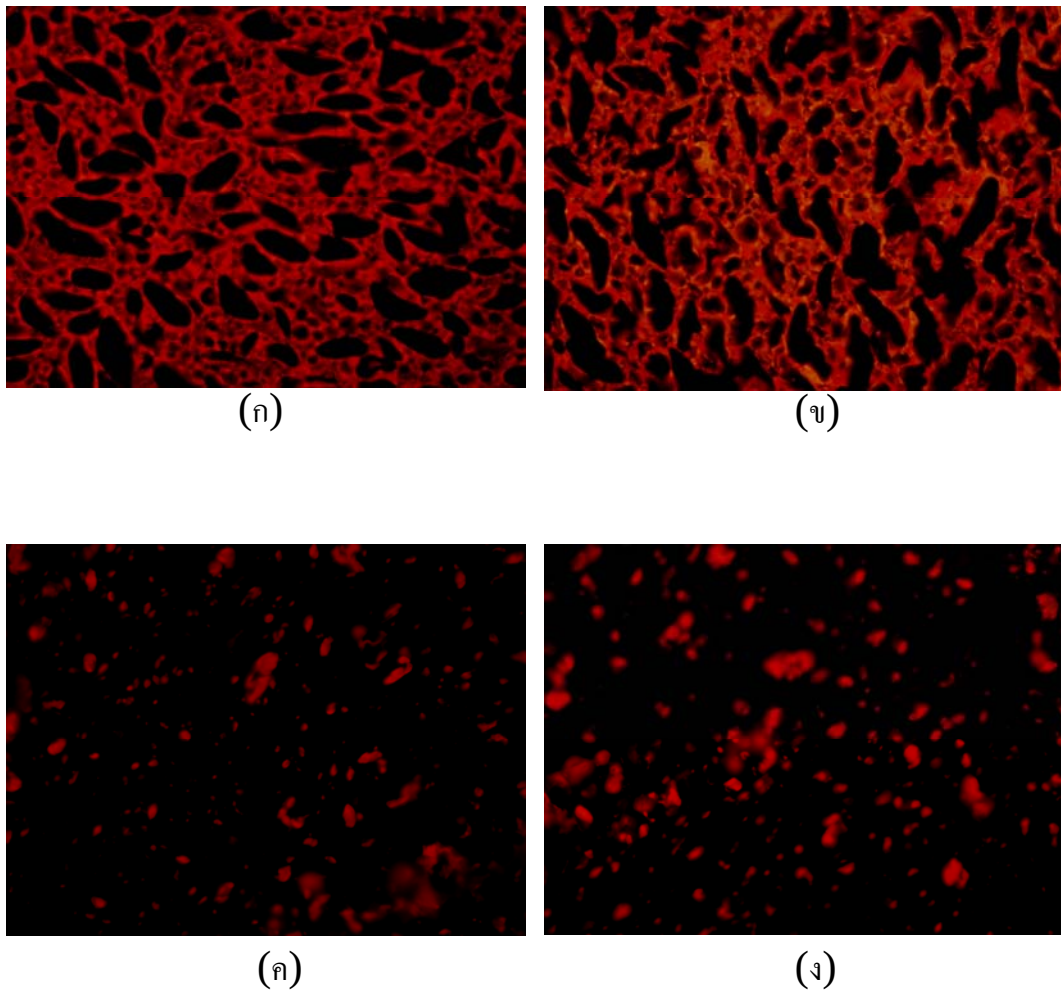


(จ)

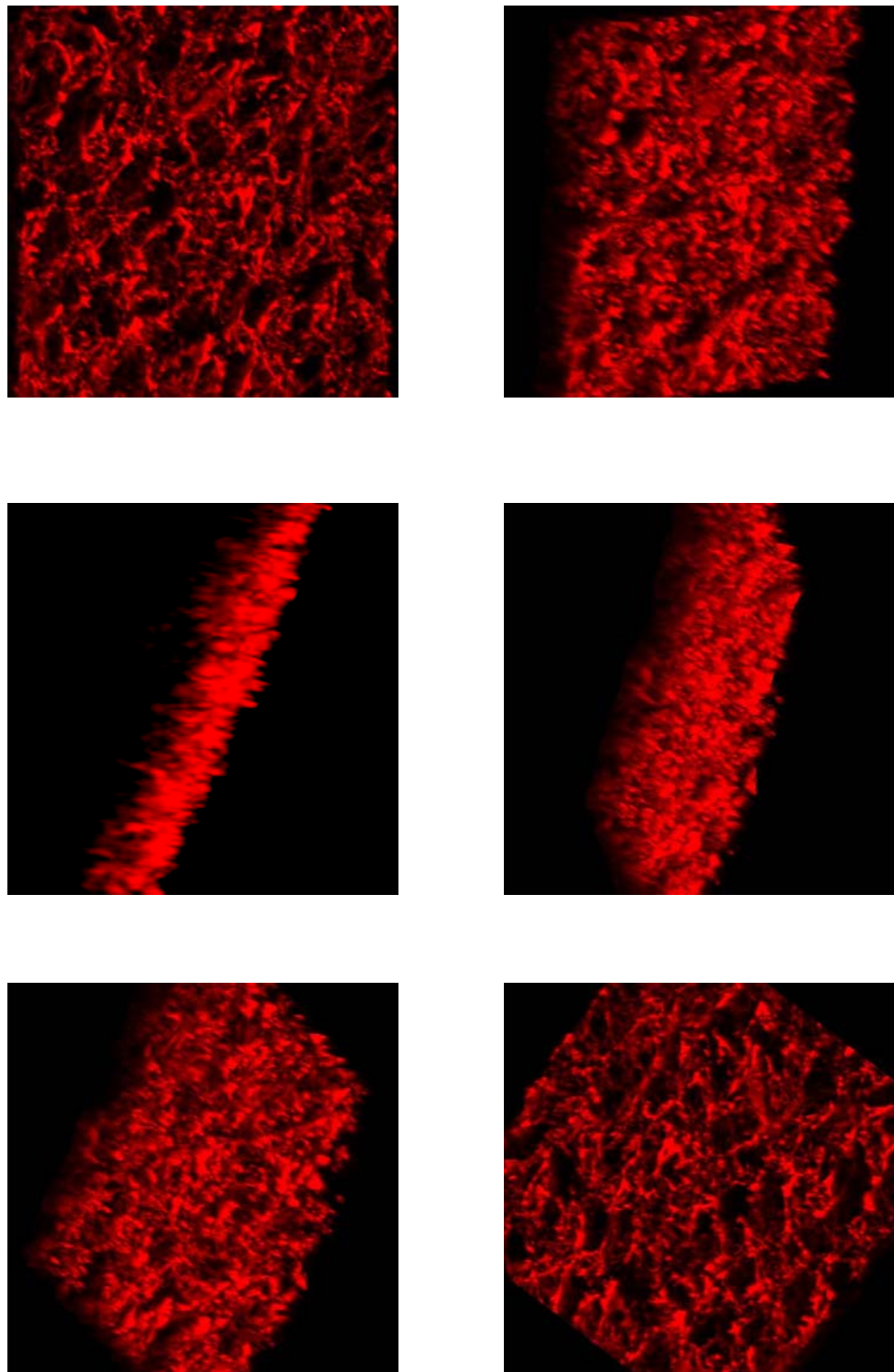


(ฉ)

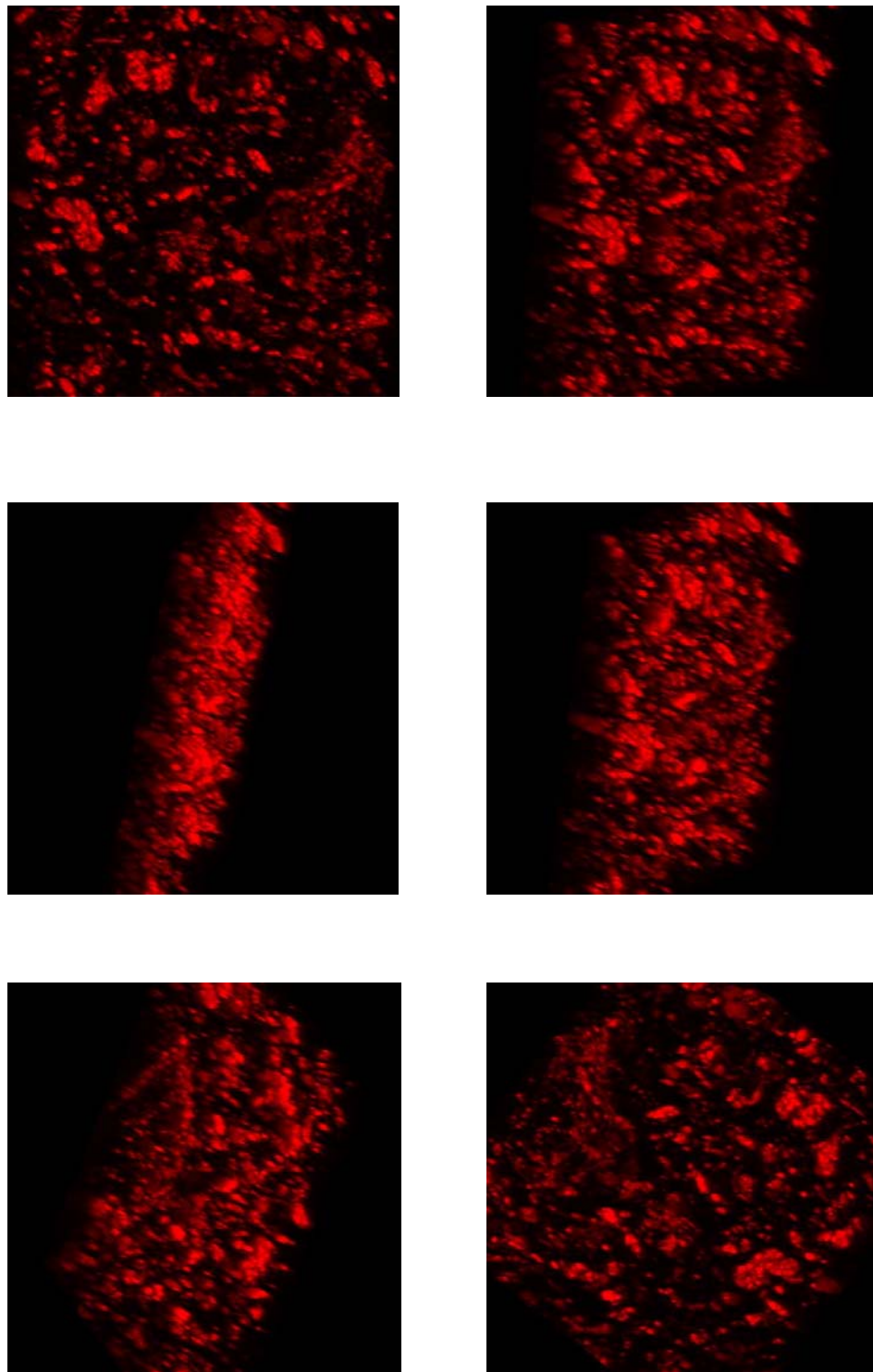
ภาพที่ 4.10 การศึกษาโครงสร้างภายในด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM):
 แป้งสาลี (ก), แป้งข้าวเจ้า (ข), สปาทะติทางการค้าที่ยังไม่ผ่านการต้ม (ค), สปาทะติ
 ข้าวเจ้าที่ยังไม่ผ่านการต้ม (ง), สปาทะติทางการค้าที่ผ่านการต้ม (จ) และสปาทะติ
 ข้าวเจ้าที่ผ่านการต้ม (ฉ)



ภาพที่ 4.11 การศึกษาโครงสร้างภายในด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบฟลูออเรสเซนซ์; สเปกตรัมการคายแสงที่ยังไม่ผ่านการด้อม (ก), สเปกตรัมการคายแสงที่ผ่านการด้อม (ข), สเปกตรัมการคายแสงที่ยังไม่ผ่านการด้อม (ค) และสเปกตรัมการคายแสงที่ผ่านการด้อม (ง)



ภาพที่ 4.12 การศึกษาโครงสร้างภายในด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบคอนโฟคอลเลเซอร์สแกนนิ่ง (CLSM) ของสปีเกตดีทางการค้า



ภาพที่ 4.13 การศึกษาโครงสร้างภายในด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบคอนโฟคอลเลเซอร์สแกนนิ่ง (CLSM) ของสปาทอดี้ข้าวเจ้า

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

จากการทดลองเพื่อศึกษาผลของสภาวะของกระบวนการอัดฟอง ได้แก่ ความเร็วรอบของสกรูอุณหภูมิของบาริล และความชื้นเริ่มต้น ต่อคุณภาพของสเปกตรัมที่ผลิตจากข้าว 3 พันธุ์ ได้แก่ ข้าวเหลืองประทิว123 ข้าวขาวดอกมะลิ105 และข้าวชาธานีชิกิ พบว่าส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพ (อัตราการอัดฟองและความหนาแน่น) คุณภาพในการหุงต้ม (ระยะเวลาในการต้ม น้ำหนักหลังต้ม และการสูญเสียระหว่างการต้ม) และคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (ความแน่นเนื้อ ความเหนียวติดที่ผิวหน้า และความต้านทานต่อแรงดึง) เมื่อเขียนกราฟพื้นผิวตอบสนองสามารถอธิบายสัมพันธ์ระหว่างสภาวะการผลิตกับคุณภาพพบสเปกตรัมที่ผลิตจากข้าวเหลืองประทิว 123 ได้ว่าการเพิ่มความเร็วยรอบของสกรูส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของอัตราการฟองตัว ระยะเวลาในการต้ม ความแน่นเนื้อ และความเหนียวติดที่ผิวหน้า แต่ความหนาแน่น น้ำหนักหลังต้ม ความแน่นเนื้อ และความต้านทานต่อแรงดึงมีแนวโน้มลดลง หากเพิ่มอุณหภูมิของบาริล อัตราการฟองตัว ความแน่นเนื้อ ความเหนียวติดที่ผิวหน้า และความต้านทานต่อแรงดึงเพิ่มสูงขึ้น แต่กลับลดความหนาแน่น ระยะเวลาในการต้ม และการสูญเสียระหว่างการต้ม และการเพิ่มความชื้นกลับทำให้ความหนาแน่น น้ำหนักหลังต้ม ความแน่นเนื้อและความต้านทานต่อแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่อัตราการฟองตัว ระยะเวลาในการต้ม การสูญเสียระหว่างการต้ม และความเหนียวที่ติดผิวหน้ากลับลดลง ส่วนสเปกตรัมที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ105 และข้าวชาธานีชิกิ ไม่สามารถสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนองได้เนื่องจากมีค่า R^2 ต่ำ ยกเว้นการศึกษาอัตราการฟองตัวซึ่งมีทิศทางเดียวกับสเปกตรัมที่ผลิตจากข้าวเหลืองประทิว123

เมื่อนำสมการแบบจำลองที่หาได้ไปเขียนกราฟคอนทัวร์ (contour plot) 2 มิติเพื่อหาสภาวะการผลิตที่ทำให้ได้สเปกตรัมที่ผลิตจากข้าวที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับสเปกตรัมทางการค้ามากที่สุด แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงข้อจำกัดบางประการของสเปกตรัมที่ผลิตจากข้าวซึ่งปราศจากโครงข่ายโปรตีนที่มีคุณสมบัติในการยืดหยุ่นและป้องกันเม็ดแป้งไม่ให้แตกในระหว่างกระบวนการผลิตและการต้มสุก จึงต้องกำหนดขอบเขตการจำกัดคุณภาพด้านการหุงต้มของสเปกตรัมที่ผลิตจากข้าวให้ต่ำกว่าสเปกตรัมทางการค้าเล็กน้อยในขณะที่คุณลักษณะเนื้อสัมผัสของสเปกตรัมที่ผลิตจากข้าวมีแนวโน้มที่ดีเทียบเคียงได้กับสเปกตรัมทางการค้า ซึ่งพบมีเพียงสเปกตรัมที่ผลิตจากข้าวเหลืองประทิว123 เท่านั้นที่อยู่ภายใต้ข้อจำกัดทางคุณภาพโดยสภาวะที่เหมาะสมคือ ความเร็วรอบของสกรูระหว่าง 30 – 33 รอบต่อนาที อุณหภูมิของบาริลระหว่าง 100 – 104 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 33 - 35 โดยน้ำหนัก

จากการศึกษาโครงสร้างภายในเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ในเชิงคุณภาพของสเปกตรัมเปรียบเทียบระหว่างสเปกตรัมการคายและสเปกตรัมจากข้าวที่ผลิตได้ ทำให้เข้าใจและสามารถอธิบายได้ว่าเหตุที่สเปกตรัมการคายมีคุณสมบัติบางประการ ได้แก่ การใช้ระยะเวลาหุงต้ม และการสูญเสียระหว่างต้มที่น้อยกว่าตลอดจนมีน้ำหนักหลังต้มที่มากกว่านั้น มีสาเหตุหลักเนื่องมาจากความแตกต่างทั้งชนิดและคุณสมบัติเฉพาะตัวของโปรตีนและกรรมวิธีการผลิต ซึ่งสเปกตรัมการคายต้องอาศัยโครงสร้างของโปรตีนกลูเตน ในขณะที่สเปกตรัมจากข้าวต้องอาศัยร่างแหอะไมโลสในการคงรูปร่างในระหว่างกระบวนการผลิตและการหุงต้ม

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เนื่องจากข้าวเป็นธัญชาติที่มีโปรตีนต่ำ (ประมาณร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก) ในการผลิตพาสตาจากข้าวจึงควรมีการเสริมโปรตีนจากแหล่งอื่นเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ

5.2.2 จากผลการทดลองพบว่าสเปกตรัมจากข้าวมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียระหว่างต้มสูง จึงควรทำการศึกษาและพัฒนาเพื่อลดการสูญเสียดังกล่าว

5.2.3 จากการทดลองพบว่าปริมาณอะไมโลสในแป้งเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของสเปกตรัมจึงควรทำการศึกษาแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสที่เหมาะสมในการผลิตพาสตาและผลิตภัณฑ์

รายการอ้างอิง

- กมลวรรณ แจ่มชัด. (2541). การแปรรูปอาหารโดยวิธีเอ็กซ์ทรูชัน. *อุตสาหกรรมเกษตร*. 9: 4-8.
- กรรณิการ์ พรหมพันธุ์ใจ. (2536). โรค Black Point ของข้าวสาลี. *วิชาการเกษตร*. 11: 94-100.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. (2543). *เทคโนโลยีของแป้ง*. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- งามชื่น คงศรี. (2540). การทำผลิตภัณฑ์จากข้าว. *จารย์พา*. 39: 25-28.
- ประชา บุญญศิริกุล. (2537). บทบาทของเอ็กทราเดอร์ที่มีต่ออุตสาหกรรมอาหารในประเทศไทย. *อาหาร*. 24: 1-12.
- ประชา บุญญศิริกุล. (2539). เทคโนโลยีการอัดพองในกระบวนการผลิตอาหาร. *อาหาร*. 26: 235-248.
- ประพาส วีระแพทย์. (2531). *ความรู้เรื่องข้าว*. กองการข้าว. กรมวิชาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.
- วิภา สุโรจนะเมธากุล. (2541). เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่อง การพัฒนาเพื่อยกระดับอุตสาหกรรมกล้วยและขนมจีนโดยใช้เทคโนโลยีสะอาด. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- วิรุฬห์ มังคละวิรัช และ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ. (2534). กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน. *ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 1: 129-165.
- รัตนันท์ พรรณารุโณทัย. (2544). การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าว. *จารย์พา*. 60: 60-64.
- ละม้ายมาศ ยังสุข. (2541). เอกสารประกอบการบรรยายหลักสูตรเทคโนโลยีการผลิตข้าวหอมมะลิพันธุ์ดี. กรมวิชาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.
- เสนอ ร่วมจิต. (2522). การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีบางประการของข้าวเจ้าพันธุ์ต่างๆ ที่มีผลต่อลักษณะของเส้นกล้วย. *วิทยานิพนธ์ปริญญาโท*. ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. (2538). *เคมีทางโภชนาการ*. ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อนันต์ ลือขจร. (2536). **กล้องจุลทรรศน์และเทคนิคการถ่ายภาพทางชีววิทยา**. โอ.เอส.พรินท์ติ้ง. กรุงเทพฯ.

Abecassis, J., Abbou, A., Chaurand, M., Morel, M. H., and Vernoux, P. (1994). Influence of extrusion conditions on extrusion speed, temperature, and pressure in the extruder and on pasta quality. **J. Food Sci.** 71: 247-253.

Aguilera, J. M., and Stanley, D. W. (1999). **Microstructural principles of food processing and engineering**. 2nd ed. Aspen Publisher, Inc. Maryland.

Anderson, R. A., Conway, H. F., Pfeifer, V. F., and Griffin, E. R. Jr. (1969). Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. **Cereal Sci. Today**. 14: 4-8.

AOAC. (1997). **Official Method of Analysis**. 16th ed. Association of Official Analytical chemists, Washington, D.C.

Bailey, L.N., Hauck, B. W., Sevason, E. S., and Singer, R.E. (1991). Systems for manufacture of ready-to-eat breakfast cereals using twin screw extrusion. **Cereal Food World**. 36: 863-869.

Bergman, C. J., Gualberto, D. G., and Weber, C. W. (1994). Development of a high-temperature dried soft wheat pasta supplemented with cowpea (*Vigna unguiculate(L.)*) cooking quality, color, and sensory evaluation. **Cereal Chem**. 71: 523-527.

Bhattacharya, M., Zee, S. Y., and Corke, H. (1999). Physical properties related to quality of rice noodle. **Cereal Chem**. 76: 861-867.

Cameron, R. E., Durrani, C. M., and Donald, A. M. (1994). Gelatinization of amylopectin without long range order. **Starch/Staerk**. 46: 285-287.

Chawan, D. B., Merritt, C. G., and Mtuszak, E. A. (1998). Use of propylene glycol alginate to improve the texture of cooked pasta-like food. **US Patent** 5759607.

Chewangkul, C., Naivikul, O., Garnjanagooncharn, W., Oates, C. G., Siroth, K., and Suwonsichon, T. (2001). Microstructure changes in instant noodles during production via triple staining and confocal laser scanning microstructure and scanning electron microscopy. **J. Kasetsart (Nat. Sci.)**. 35: 311-317.

- Davidson, V. J., Paton, D., Diosady, L. L., and Loroque, G. (1984). Degradation of wheat starch in a single screw extruder: Characteristics of extruded starch polymers. **J. Food Sci.** 49: 453-458.
- Dexter, J. E., Matsuo, R. R., and Dronzek, B. L. (1979). A scanning electron microscopy study of Japanese noodle. **Cereal Chem.** 56: 202-208.
- Dexter, J. E., Dronzek, B. L., and Matsuo, R. R. (1978). Scanning electron microscopy of cooked spaghetti. **Cereal Chem.** 55: 23-30.
- Dexter, J. E., Kibom, R. H., Morgan, B. C., and Matsuo, R. R. (1983). Grain research laboratory compression tester: Instrument measurement of cooked pasta stickiness. **Cereal Chem.** 60: 139-142.
- Diosady, L. L., Paton, D., Rossen, N., Rubin, L. J., and Athanssoulis, C. (1985). Degradation of wheat starch in a single screw extruder: mechano-kinetic break-down of cooked starch. **J. Food Sci.** 50: 1697-1706.
- Ding, K. and Gunasekaran, S. (1998). Three-dimensional image reconstruction procedure for food afficrostructure evaluation. **Food Res. Int.** 12: 245-262.
- Fardet, A., Baldwin, P. M., Bertrand, D., Bouchet, B., Gallant, D. J., and Barry, J. L. (1998). Textural images analysis of pasta protein networks to determine influence of technological processes. **J. Food Sci.** 75: 699-704.
- Favero, G. (1998). Method for preparing gluten free pasta base on corn and/or rice gluten free pasta obtained with the method. **EP Patent** 08721882A.
- Frey, A., and Holliger, A. (1972). Paste goods under the microscope. **Buhler Diagram.** 53:21.
- Gudmundsson, M. (1994). Retrogradation of amylopectin and the effects of amylose and added surfactants/emulsifiers. **Carbohydr. Polym.** 13: 295-315.
- Hamaker, B. R. and Griffin, V. K. (1993). Effect of disulfied bond containing protein on rice starch gelatinization and pasting. **Cereal Chem.** 70: 377-380.
- Hauser, T. W., and Lechthaler, J. (1994). Rice pasta. **CH Patent** 684775A5.
- Hermansson, A. M., and Langton, M. (1999). **The effect of structure on water diffusion in dough and pasta like products** [On-line]. Available: <http://www.scioc.org/aacc/99mtg/abstracts/acabal15.htm>.

- Hermansson, A. M., Langton, M., and Loren, N. (2000). **New approaches to characterizing food microstructure** [On-line]. Available: www.mrs.org/publications/bulletin.htm.
- Hermansson, A. M., and Svegmarm, K. (1996). Developments in understanding of starch functionality. **Trends Food Sci. Technol.** 7: 345-353.
- Hoseney, R.C. (1994). Principle of cereal science and technology. 3rd ed. **American Association of Cereal Chemistry**, Inc. St Paul. pp321-326.
- Hsu, J. Y. (1984). Rice pasta composition. **US Patent** 4435435.
- Jin, M., Wu, J., and Wu, X. (1994). A study on the properties of starches used for starch-noodle making. **New approach in the production of food stuffs and intermediate products from cereal grain and oil seeds**. St. Paul. pp488-489.
- Juliano, O.B. (1971). A simplified assay for milled-rice amylose. **Cereal Sci. Today**. 16: 334-336.
- Kim, Y. S., and Wiesenborn, D. P. (1996). Starch noodle quality as related to potato genotypes. **Cereal Chem.** 61: 248-252.
- Klucinec, J. D., and Thomson, D. B. (1999). Amylose and amylopectin interact in retrogradation of dispersed high-amylose starch. **Cereal Chem.** 76: 282-291.
- Kojima, T. I., Horigane, A. K., Yoshida, M., Nagata, T., and Nagasawa, A. 2001. Change in the status of water in Japanese noodles during and after boiling observed by NMR micro imaging. **J. Food Sci.** 66: 1361-1365.
- Lai, H. M. (2001). Effect of rice properties and emulsifiers on the quality of rice pasta. **J. Sci Food Agric.** 82: 203-216.
- Lee, R. I. (1993). **Scanning electron microscopy and x-ray microanalysis**. PTR Prentice-Hall, Inc. Englewood Clifts. pp3-14.
- Lechthaler, J. (1985). Process of preparing a gelled pasta product. **US Patent** US445563.
- Lii, C.Y., and Chang, S.M. (1981). Characterization of red bean (*Phaseolus radiatus* var. *aurea*)starch and its noodles quality. **J. Food Sci.** 46: 78-81.
- Lii, C. Y.,and Chang, S. M. (1991). Study of starch in Taiwan. **Food Rev Inter.** 7: 185-203.
- Lorenz, K. J., and Kulp, K. (1991). **Handbook of cereal science and technology**. Marcel Dekker Inc. New York.

- Marshall, S., and Wasik, K. (1974). Gelatinization of starch during cooking of spaghetti. **Cereal Chem.** 49: 146.
- Matsuo, R. R., Dexter, J. E., and Dronzek, B. L., (1978). Scanning electron microscopy study of spaghetti processing. **Cereal Chem.** 55: 744-753.
- Matsuo, R. R., Dexter, J. E., Boudreau, A., and Daun, J. K. (1986). The role of lipids in determining spaghetti cooking quality. **Cereal Chem.** 63: 484-489.
- Matsuo, R. R., Malcolmson, L. J., Edward, N. M., and Dexter, J. E. (1992). A calorimetric method for estimation pasta cooking losses. **Cereal Chem.** 69: 27-29.
- Mestres, C., Colonna, P., and Buleon, A. (1988). Characteristics of starch network within rice flour noodle and mungbean starch vermicelli. **J. Food Sci.** 53: 1809-1812.
- Miles, M. J., Morris, V. J., and Ring, S. G. (1985). Gelatinization of amylose. **Carbohydr. Res.** 135: 257-269.
- Miller, B. S., Derby, R. I., and Trimbo, B. H. (1973). A pictorial explanation for the increase in viscosity of a heated wheat starch- water suspension. **Cereal Chem.** 50: 271-280.
- Morris, V. J. (1990). Starch gelation and retrogradation. **Trends Food Sci. Technol.** 1: 2-6.
- Moss, H. J. (1985). Flour quality requirements for Chinese noodle manufacture. **J. Cereal Sci.** 3: 379-387.
- Newland, J. R. 1995. **Examination & board review pathology.** 2nd ed. Prentice-hall International Inc. New York.
- Niba, L. L., Bokanga, M. M., Jacson, F. L., Schlimmem, D. S., and Li, B. W. (1994). Physical properties and starch granular characteristics various *Monihot Esculenta* (Cassava) genotypes. **Cereal Chem.** 54: 548-453.
- Olkku, J., and Rha, C. (1978). Gelatinization of starch and wheat flour starch. **J. Food Chem.** 3: 293-317.
- Ogawa, G. (1974b). Tastiness of a noodles. **Kagaku To Seibutsu.** 16: 386.
- Parovuori, P., Manelius, R., Suortti, T., Bertoft, E., and Autio, K. (1997). Effect of enzymatically modified amylopectin on the rheological properties of amylose-amylopectin mixed gels. **Food Hydrocolloids.** 11: 471-477.

- Rasper, V. (1969). Investigation on starches from major starch crops grown in Ghana. II swelling and solubility patterns and amyloelastic susceptibility. **J. Sci. Food Agric.** 20: 642-646.
- Ring, S. G., Colonna, P., I'Anson, K. J., Kalichevsky, M.T., Miles, M. J., Morris, V. J., and Orford, P. D. (1987). The gelation and crystallization of amylopectin. **Carbohydr. Res.** 162: 277-293.
- Rossen, J. L. and Miller, R. C. (1973). Food extrusion. **Food Technol.** 27: 46-53.
- Sandhya Rini, M. R. and Bhattacharya, K. R. (1989). Rheology of rice flour pastes: Effect of variety, concentration, and temperature and time of cooking. **J. Texture Stud.** 20: 127-137.
- Scott, A. (1995). **Coeliac disease** [On-line]. Available: <http://www.celiac.com/frequent.html>.
- Schoch, T. J., and Maywald, E. C. (1968). Preparation and properties of legume starch. **Cereal Chem.** 45: 564-573.
- Sheppard, C. J. R., and Shotton, D. M. (1997). **Confocal laser scanning microscopy**. Information Press Ltd. UK.
- Silver, S. and Silver, N. (1996). Stabilized pasta products. **US Patent** 5492712.
- Smewing, J. (1997). Analyzing the texture of pasta for quality control. **Cereal Food World.** 42: 8-11.
- Stanley, D. W. (1999). **Microstructural principles of food processing and engineering**. Aspen publisher, Inc. Maryland.
- Tian, S. J., Rickard, J. E. and Blanshard, J. M. V. (1991). Physicochemical properties of sweet potato starch. **J. Sci. Food Agric.** 57: 459-461.
- Thorvaldsson, K., Stading, M., Nilsson, K., Kidman, S., and Langton, M. (1999). Rheology and structure of heat-treated pasta dough: Influence of water content and heating rate. **Lebns-Wiss. u.-Technol.** 32: 154-161.
- Vodovotz, Y., Vittadini, E., Coupland, J., McClements, D. J., and Chinahoti, P. (1996). Bridging the gap: Use of confocal microscopy in food research. **Food Technol.** 50: 74-82.
- Walsh, D. E. (1971). Measuring pasta firmness. **Cereal Sci. Today.** 16: 202-205.
- Wang, N., Bhirud, P. R., Sosulski, F. W., and Tyler, R. T. (1999). Pasta-like product from pea flour by twin screw extrusion. **J. Food Sci.** 64: 671-678.

Yoenyongbudchangul, S., and Noomhorm, A. (2002). Effect of physical properties of high amylose thai rice flours on vermicelli qualities. **Cereal Chem.** 79: 481-485.

ภาคผนวก ก

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC 1997)

วิธีการ

1. อบอุ่นสำหรับหาความชื้นในตัวอย่างไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2-3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถสุญญากาศความชื้น จนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะถึงอุณหภูมิห้องแล้วชั่งและบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
2. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 1 - 3 กรัม ใส่ในภาชนะหาความชื้นที่ทราบน้ำหนักแล้ว
3. อบตัวอย่างในตัวอย่างไฟฟ้าด้วยอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 5 - 6 ชั่วโมง
4. นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถสุญญากาศความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก
5. คำนวณปริมาณความชื้นจากสูตร

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

2. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC 1997)

วิธีการ

1. เผาด้วยกระบี่เบี่ยงเคลือบที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส นานประมาณ 3 ชั่วโมง ปิดสวิตช์เตาเผา รอประมาณ 30 - 45 นาที เพื่อให้อุณหภูมิในเตาเผาตกลงก่อนแล้วเอาถ้วยออกจากเตาเผาในโถสุญญากาศความชื้น ปล่อยให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
2. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ในถ้วยกระบี่เบี่ยงเคลือบที่ทราบน้ำหนัก เผาในตู้ดูดควันจนหมดควันแล้วจึงนำเข้าเตาเผาอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส นานประมาณ 5 - 6 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถสุญญากาศความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก
3. คำนวณปริมาณเถ้าจากสูตร

$$\text{ปริมาณเถ้า (ร้อยละโดยน้ำหนัก)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา}} \times 100$$

3. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC 1997)

อุปกรณ์

1. เครื่องย่อยโปรตีน Kjeldatherm (Gerhardt)
2. เครื่องกลั่นไนโตรเจน Vapodest (Gerhardt)

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างบนกระดาดกรองให้ได้น้ำหนักแน่นอนประมาณ 0.5-1.0 กรัม ห่อให้มิดชิดใส่ลงในขวดย่อยโปรตีน
2. ใส่สารผสม คอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO_4) และโพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) 5 กรัม (อัตราส่วนระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟตและโพแทสเซียมซัลเฟตเป็น 1:10) เพื่อเร่งปฏิกิริยา
3. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น (H_2SO_4) ปริมาตร 15 - 20 มิลลิลิตร และสารป้องกันการเกิดโฟม (anti-foaming agent) 4 - 5 หยด
4. ย่อยตัวอย่างบนเตาเครื่องย่อยโปรตีนที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส จนได้สารละลายใสปล่อยทิ้งให้เย็น
5. จัดอุปกรณ์กลั่น แล้วเปิดสวิตช์ไฟ และเปิดน้ำหล่อเย็นเครื่องควบแน่น
6. ใช้ขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุกรดบอริก (ความเข้มข้นร้อยละ 4) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร และน้ำซึ่งเติมอินดิเคเตอร์ 2 - 3 หยด เรียบร้อยแล้ว ไปรองรับของเหลวที่จะกลั่นโดยให้ส่วนปลายของอุปกรณ์ควบแน่นจุ่มลงในสารละลายกรดนี้
7. กำหนดให้เครื่องเติมน้ำกลั่นและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 32 โดยน้ำหนัก และทำการกลั่นประมาณ 10 นาที ล้างปลายอุปกรณ์ควบแน่นด้วยน้ำกลั่นลงในขวดรองรับ
8. ไตรเตทสารละลายที่กลั่นได้กับกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล จนสีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วง
9. ทำ blank และปฏิบัติตามข้อ 1 - 8 โดยไม่เติมตัวอย่าง
10. คำนวณปริมาณโปรตีนจากสูตร

$$\text{ปริมาณโปรตีนคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก} = \frac{(A-B)N \times 1.4 \times F}{W}$$

- เมื่อ
- | | | |
|---|---|--|
| A | = | ปริมาณกรดที่ใช้ไตเตรตกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร) |
| B | = | ปริมาณกรดที่ใช้ไตเตรตกับ blank (มิลลิลิตร) |
| N | = | ความเข้มข้นของกรด (นอร์มัล) |
| F | = | ค่าคงที่สำหรับแป้งข้าวเจ้าคือ 5.25 |
| W | = | น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม) |

4. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC 1997)

อุปกรณ์

ชุดสกัดไขมัน Soxtherm (S306 AK, Gerhardt)

วิธีการ

1. อบถ้วยแก้วสำหรับวิเคราะห์ปริมาณไขมันในตู้อบไฟฟ้า ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งและบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
2. ชั่งตัวอย่างบนกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนัก 3 - 5 กรัม ห่อให้มิดชิดแล้วใส่ลงใน cellulose thimble คลุมด้วยใยแก้วหรือสำลีให้สารทำละลายมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ
2. นำหลอดตัวอย่างใส่ลงในชอคเลต
3. เติมสารตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ ในขวดหาไขมันประมาณ 150 มิลลิลิตร
5. ประกอบอุปกรณ์ชุดสกัดไขมัน พร้อมทั้งเปิดน้ำหล่ออุปกรณ์ควบแน่นและเปิดสวิทช์ให้ความร้อน ใช้เวลาในการสกัดไขมัน 3 - 4 ชั่วโมง
6. ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งและบันทึกน้ำหนักถ้วยแก้ว
7. คำนวณปริมาณไขมันจากสูตร

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)} = \frac{\text{น้ำหนักไขมันในอาหารหลังอบ} \times 100}{\text{น้ำหนักอาหารเริ่มต้น}}$$

5. การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใย (AOAC 1997)

อุปกรณ์

1. ชุดวิเคราะห์ปริมาณใยอาหาร Fibertech System (Auto2010)
2. อ่างควบคุมอุณหภูมิ
3. Filtration module

วิธีการ

1. วางกระดาษกรองบนกระชกนาฬิกา อบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำออกใส่ในโถดูดความชื้นและชั่งน้ำหนัก
2. ใส่ตัวอย่างซึ่งผ่านการสกัดไขมันออกแล้ว ลงในบีกเกอร์ทรงสูงสำหรับวิเคราะห์สารเยื่อใย ขนาด 600 มิลลิลิตร
3. เติมสารละลายกรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1.25 โดยปริมาตร จำนวน 200 มิลลิลิตร

4. วางบีกเกอร์บนอุปกรณ์ให้ความร้อนซึ่งต่อเข้ากับอุปกรณ์ควบแน่น แล้วเปิดน้ำหล่อเครื่องควบแน่น พร้อมเปิดสวิทช์ไฟ
5. ต้มให้เดือดนาน 30 นาที
6. กรองขณะร้อนผ่านกระดาษกรองที่ซังน้ำหนักแล้ว
7. ล้างด้วยน้ำร้อนจนกระทั่งน้ำล้างหมดความเป็นกรด
8. ถ่ายกากที่ได้ลงในบีกเกอร์เดิม
9. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1.25 โดยน้ำหนัก ปริมาตร 200 มิลลิลิตร

10. วางบีกเกอร์บนอุปกรณ์ให้ความร้อน ซึ่งต่อกับอุปกรณ์ควบแน่นเช่นเดิม แล้วจึงต้มต่ออีก 30 นาที

11. กรองขณะร้อนผ่านกระดาษกรองแผ่นเดิม
12. ล้างด้วยน้ำร้อนจนน้ำล้างหมดความเป็นด่าง
13. ล้างด้วยน้ำร้อนจนน้ำล้างหมดความเป็นด่าง
14. ใส่กระดาษกรองพร้อมกากลงในถ้วยกระเบื้องเคลือบ (crucible) ไปอบแห้งในตู้อบไฟฟ้าอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสปริมาณ 3 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น
15. ชั่งน้ำหนักแล้วอบซ้ำอีกครั้งละ 30 นาที จนกระทั่งได้ผลต่างของน้ำหนักสองครั้งติดกันไม่เกิน 1 - 3 มิลลิกรัม

16. เผาถ้วยกระเบื้องเคลือบพร้อมกากที่อบแห้งแล้วในเตาเผาอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที และกระทำเช่นเดียวกับวิธีการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าและคำนวณปริมาณเชื้อไข

6. การวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลส

ทำตามวิธี Colorimetric assay ของ Juliano (1971) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์โดยใช้อะมิโลสบริสุทธิ์ในการสร้างกราฟมาตรฐาน

วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่าง

1. ชั่งแป้งมา 0.1000 กรัม ใส่ในขวดปรับปริมาตรตาม 100 มิลลิลิตรที่แห้งสนิท
2. เติมน้ำกลั่นแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 1 ลิตร เขย่าเบา ๆ
3. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 นอร์มัล ปริมาตร 9 มิลลิลิตร
4. ปั่นกวนตัวอย่างด้วยเครื่องแท่งแม่เหล็ก นาน 10 นาที ให้เป็นแป้งแล้วเติมน้ำกลั่นเพื่อปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร

5. เตรียมขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ชุดใหม่ เติมน้ำกลั่นประมาณ 70 มิลลิลิตร กรดเกลือเชียลอะซีติกปริมาตร 2 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร (ไอโอดีน 0.2 กรัม และ โพแทสเซียมไอโอไดค์ 2.0 กรัม ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร)

6. คูดน้ำแป้ง ตาม 4 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดแก้วปริมาตร 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นเพื่อปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร แล้วตั้งทิ้งไว้ 10 นาที

7. วัดความเข้มของสีของสารละลายตาม 6 ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์โดยอ่านค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นแสง 620 นาโนเมตร หลังปรับเครื่องด้วย blank ให้ได้ค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0 (ศูนย์)

8. ทำ blank โดยเติมกรดเกลือเชียลอะซีติก ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

9. นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปใช้ในหาปริมาณอะไมโลส โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานที่เตรียมไว้

การเขียนเส้นกราฟมาตรฐาน

1. ชั่งอะไมโลสบริสุทธิ์ 0.0400 กรัม ใส่ในขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตรที่แห้งสนิทแล้วดำเนินการเช่นเดียวกับตัวอย่างตามวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างข้อ 3 - 4 ได้เป็นสารละลายมาตรฐาน

2. เตรียมขวดปรับปริมาตรขนาดความจุ 100 มิลลิลิตร จำนวน 5 ขวด เติมน้ำกลั่นขวดละ 70 มิลลิลิตร เติมกรดเกลือเชียลอะซีติก ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร ในขวดที่ 1 ปริมาตร 0.8 มิลลิลิตรในขวดที่ 2 ปริมาตร 1.2 มิลลิลิตร ในขวดที่ 3 ปริมาตร 1.6 มิลลิลิตรในขวดที่ 4 ปริมาตร 2 มิลลิลิตรในขวดที่ 5 ตามลำดับ แล้วเติมสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ลงในแต่ละขวด

3. คูดสารละลายมาตรฐานจาก 1 ปริมาตร 1, 2 ,3 ,4 และ 5 มิลลิลิตร ซึ่งเทียบเท่าปริมาณอะไมโลส 8%, 16 %, 24%, 32% และ 40% ตามลำดับ ใส่ในขวดที่เตรียมไว้ในข้อ 2 เติมน้ำกลั่น เพื่อปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร โดยปรับเครื่องด้วย blank ให้ได้ค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0 (ศูนย์)

4. นำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้กับปริมาณอะไมโลสในสารละลายมาตรฐานจากข้อ 3 มาเขียนเป็นเส้นกราฟมาตรฐาน

5. นำเส้นกราฟมาตรฐานที่ได้จากข้อ 4 มาใช้แปลงค่าการดูดกลืนแสงให้เป็นร้อยละ (โดยน้ำหนัก) ของอะไมโลสในตัวอย่างที่ต้องการศึกษา

ตารางภาคผนวก ข

ตารางที่ 1ข ค่าเฉลี่ยของลักษณะทางกายภาพของสเปกต์ข้าวพันธุ์เหลืองประทิว123 ที่ได้จากการ
อัดพองที่สภาวะต่าง ๆ

screw speed(rpm)	barrel temperature ($^{\circ}\text{C}$)	moisture content (%)	expansion ratio
30	95	31	1.04
30	115	31	1.13
50	95	31	1.13
50	115	31	1.25
30	105	27	1.12
30	105	35	0.98
50	105	35	1.02
50	105	27	1.24
40	95	35	0.90
40	95	27	1.17
40	115	35	1.02
40	115	27	1.32
40	105	31	1.14
40	105	31	1.14
40	105	31	1.13

ตารางที่ 2ข ค่าเฉลี่ยของคุณภาพการหุงต้มของสเปกต์ข้าวพันธุ์เหลืองประทิว123 ที่ได้จากการอัด
พองที่สภาวะต่าง ๆ

screw speed(rpm)	barrel temperature (°C)	moisture content (%)	cooking time (min)	cooking weight (g)	cooking loss (%)
30	95	31	22.39	10.42	36.77
30	115	31	18.89	9.40	32.15
50	95	31	23.65	9.29	42.46
50	115	31	23.25	7.41	36.89
30	105	27	19.70	9.78	34.98
30	105	35	14.77	10.16	31.37
50	105	35	17.65	8.12	37.62
50	105	27	25.65	7.52	41.93
40	95	35	19.10	10.30	37.44
40	95	27	25.27	9.31	41.94
40	115	35	16.54	9.61	30.99
40	115	27	23.42	8.77	37.54
40	105	31	19.94	9.48	33.64
40	105	31	20.39	9.62	37.69
40	105	31	20.53	9.54	39.07

ตารางที่ 3ข ค่าเฉลี่ยของลักษณะเนื้อสัมผัสของสปาเกตตีข้าวพันธุ์เหลืองประทิว123 ที่ได้จากการอัด
พองที่สภาวะต่าง ๆ

xcrew speed(rpm)	barrel temperature ($^{\circ}\text{C}$)	moisture content (%)	firmness (g)	stickiness (g)	tensile strength (g/mm)
30	95	31	30.37	185.83	130.10
30	115	31	38.02	335.20	165.03
50	95	31	29.18	219.2	124.78
50	115	31	30.70	441.15	123.35
30	105	27	37.87	226.58	157.75
30	105	35	38.66	176.08	168.67
50	105	35	32.39	276.68	131.36
50	105	27	29.84	433.38	125.43
40	95	35	31.10	147.35	126.00
40	95	27	27.57	251.78	122.39
40	115	35	34.31	242.78	157.01
40	115	27	28.95	398.05	142.01
40	105	31	30.28	279.43	125.17
40	105	31	28.28	261.65	130.21
40	105	31	27.64	267.13	130.51

ตารางที่ 4ข ค่าเฉลี่ยของลักษณะทางกายภาพของสเปกตัสข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ที่ได้จากการอัด
พองที่สภาวะต่าง ๆ

screw speed(rpm)	barrel temperature ($^{\circ}\text{C}$)	moisture content (%)	expansion ratio
30	95	31	0.99
30	115	31	1.14
50	95	31	1.12
50	115	31	1.20
30	105	27	1.30
30	105	35	1.00
50	105	35	1.02
50	105	27	1.45
40	95	35	0.95
40	95	27	1.25
40	115	35	1.05
40	115	27	1.35
40	105	31	1.10
40	105	31	1.10
40	105	31	1.09

ตารางที่ 5ข ค่าเฉลี่ยของคุณภาพการหุงต้มของสเปกต์ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ที่ได้จากการอัด
พองที่สภาวะต่าง ๆ

screw speed(rpm)	barrel temperature (°C)	moisture content (%)	cooking time (min)	cooking weight (g)	cooking loss (%)
30	95	31	17.50	9.82	30.87
30	115	31	18.50	10.70	31.88
50	95	31	16.80	8.67	31.66
50	115	31	20.80	10.13	31.32
30	105	27	20.65	10.07	31.10
30	105	35	15.80	11.23	39.35
50	105	35	21.00	9.45	29.99
50	105	27	22.80	8.86	31.59
40	95	35	14.50	9.91	30.21
40	95	27	22.80	8.25	31.16
40	115	35	18.00	9.54	31.15
40	115	27	21.80	9.42	31.11
40	105	31	19.50	9.76	31.20
40	105	31	19.80	9.81	31.35
40	105	31	20.00	9.78	31.66

ตารางที่ 6ข ค่าเฉลี่ยของลักษณะเนื้อสัมผัสของสปีเกตติข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ที่ได้จากการอัด
พองที่สภาวะต่าง ๆ

screw speed(rpm)	barrel temperature ($^{\circ}\text{C}$)	moisture content (%)	firmness (g)	stickiness (g)	tensile strength (g/mm)
30	95	31	2.95	1282.05	8.29
30	115	31	4.02	1099.88	12.39
50	95	31	3.20	1969.70	9.31
50	115	31	3.95	2056.77	11.95
30	105	27	2.60	1721.80	9.21
30	105	35	5.68	2292.97	10.65
50	105	35	4.66	2605.78	10.12
50	105	27	3.14	1824.64	10.78
40	95	35	4.12	1273.10	8.98
40	95	27	4.00	1944.65	9.44
40	115	35	6.32	2831.25	11.54
40	115	27	3.54	1991.75	10.91
40	105	31	3.65	1218.80	9.16
40	105	31	3.81	1244.45	8.98
40	105	31	3.45	1330.20	9.06

ตารางที่ 7ข ค่าเฉลี่ยของลักษณะทางกายภาพของสเปกต์จากข้าวชาวนาอินทรีย์ที่ได้จากการ
กระบวนการอัดฟองที่สภาวะต่าง ๆ

screw speed(rpm)	barrel temperature ($^{\circ}\text{C}$)	moisture content (%)	expansion ratio
30	95	31	1.05
30	115	31	1.18
50	95	31	1.13
50	115	31	1.20
30	105	27	1.22
30	105	35	0.99
50	105	35	1.00
50	105	27	1.35
40	95	35	0.97
40	95	27	1.13
40	115	35	1.09
40	115	27	1.25
40	105	31	1.10
40	105	31	1.11
40	105	31	1.10

ตารางที่ 8ข ค่าเฉลี่ยของคุณภาพการหุงต้มของสเปกต์ติจากข้าวชาซานิกิที่ได้จากการกระบวนการอัดพองที่สภาวะต่าง ๆ

screw speed(rpm)	barrel temperature (°C)	moisture content (%)	cooking time (min)	cooking weight (g)	cooking loss (%)
30	95	31	22.30	8.68	20.42
30	115	31	20.30	10.50	20.50
50	95	31	18.30	8.38	20.07
50	115	31	21.30	10.28	20.15
30	105	27	17.00	9.93	20.66
30	105	35	20.80	12.52	21.17
50	105	35	23.55	9.27	19.05
50	105	27	18.75	8.78	20.65
40	95	35	23.03	10.04	20.76
40	95	27	19.33	8.23	20.45
40	115	35	22.08	8.67	20.40
40	115	27	23.15	9.45	20.79
40	105	31	20.15	9.70	20.87
40	105	31	20.76	9.86	20.78
40	105	31	20.73	9.72	20.43

ตารางที่ 9ข ค่าเฉลี่ยของลักษณะเนื้อสัมผัสของสปาเกตตีจากข้าวชาซานิชิกิที่ได้จากการอัดพองที่
สภาวะต่าง ๆ

screw speed(rpm)	barrel temperature (°C)	moisture content (%)	firmness (g)	stickiness (g)	tensile strength (g/mm)
30	95	31	6.60	575.65	21.00
30	115	31	9.61	1045.48	34.72
50	95	31	7.99	861.18	32.21
50	115	31	8.36	1356.68	24.39
30	105	27	4.90	1134.33	24.85
30	105	35	9.52	469.90	26.30
50	105	35	7.69	1430.78	29.00
50	105	27	6.70	1513.87	22.86
40	95	35	5.78	77.375	27.16
40	95	27	5.34	1260.45	26.61
40	115	35	11.47	1545.45	29.70
40	115	27	8.13	1728.68	22.76
40	105	31	8.69	699.73	23.63
40	105	31	8.62	603.70	23.02
40	105	31	8.58	663.375	23.77

ภาคผนวก ก

ตารางที่ 1ค สัมประสิทธิ์สมการถดถอยของคุณภาพพาสต้าข้าวเจ้าที่ผลิตจากข้าวพันธุ์เหลืองประทิว123

regression coefficients	properties						
	expansion ratio	cooking time	cooking weight	cooking loss	firmness	stickiness	tensile
		(min)	(g)	(%)	(g)	(g)	strength(g/mm)
intercept	-1.043	188.615	12.867	54.451	91.008	44.972	367.635
screw speed (S)	ns	$-5.672 \times 10^{-2**}$	ns	-8.938^{**}	-3.400^{**}	ns	ns
barrel temperature (T)	ns	-3.961^{**}	ns	ns	ns	ns	4.298^{**}
moisture content (M)	0.144^{**}	3.489^{**}	ns	ns	ns	ns	-32.971^{**}
S^2	ns	ns	ns	ns	$3.863 \times 10^{-2**}$	ns	$8.751 \times 10^{-2**}$
T^2	ns	$1.694 \times 10^{-2**}$	ns	ns	ns	ns	ns
M^2	$-2.576 \times 10^{-3**}$	-5.672^{**}	ns	ns	ns	ns	0.550^{**}
$S \times T$	$1.501 \times 10^{-4**}$	$7.510 \times 10^{-2**}$	$-1.443 \times 10^{-3**}$	ns	ns	0.180^{**}	$-8.022 \times 10^{-2**}$
$S \times M$	$-3.590 \times 10^{-4**}$	$-1.960 \times 10^{-2**}$	$1.972 \times 10^{-3**}$	$9.253 \times 10^{-3**}$	ns	-0.422^{**}	ns
$T \times M$	ns	ns	ns	$-8.968 \times 10^{-3**}$	$3.982 \times 10^{-3**}$	ns	ns
R^2	0.953	0.983	0.851	0.930	0.808	0.860	0.949

* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$), ** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.05$), และ ns = ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 2ก สัมประสิทธิ์สมการถดถอยของคุณภาพพาสต้าข้าวเจ้าที่ผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ105

regression coefficients	properties						
	expansion ratio	cooking time	cooking weight	cooking loss	firmness	stickiness	tensile
		(min)	(g)	(%)	(g)	(g)	strength(g/mm)
intercept	5.284	31.205	18.180	6.340	-2.547	652.894	1.313
screw speed(S)	-0.271	ns	601	ns	ns	ns	ns
barrel temperature(T)	$5.375 \times 10^{-3**}$	ns	ns	ns	ns	ns	ns
moisture content (M)	$4.180 \times 10^{-3**}$	-0.566 ^{**}	$6.509 \times 10^{-3**}$	ns	ns	ns	ns
S ²	$3.390 \times 10^{-4**}$	ns	ns	ns	ns	ns	ns
T ²	ns	ns	ns	ns	ns	ns	6.15610^{-4**}
M ²	ns	ns	ns	$-3.003 \times 10^{-2*}$	ns	ns	ns
S×T	ns	$1.342 \times 10^{-3**}$	ns	$-3.375 \times 10^{-*}$	ns	2.194 [*]	ns
S×M	$-7.345 \times 10^{-4**}$	ns	ns	ns	ns	0.343 [*]	1.34910^{-3*}
T×M	ns	ns	$1.518 \times 10^{-3*}$	ns	$1.992 \times 10^{-3**}$	ns	ns
R ²	0.985	0.655	0.652	0.501	0.621	0.201	0.565

* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.01), ** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05), และ ns = ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 3ค สัมประสิทธิ์สมการถดถอยของคุณภาพพาสต้าข้าวเจ้าที่ผลิตจากข้าวชาวนาธิภัก

regression coefficients	Properties						
	expansion ratio	cooking time	cooking weight	cooking loss	firmness	stickiness	tensile
		(min)	(g)	(%)	(g)	(g)	strength(g/mm)
intercept	1.162	33.676	5.278	-29.084	-58.674	8.649	307.594
screw speed(S)	ns	ns	ns	0.653 [*]	ns	ns	ns
barrel temperature(T)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
moisture content (M)	ns	-0.582	ns	ns	3.556 ^{**}	ns	-10.370 [*]
S ²	3.381×10 ^{-4**}	ns	ns	ns	ns	ns	ns
T ²	2.592×10 ^{-5**}	ns	ns	ns	ns	ns	ns
M ²	ns	ns	ns	ns	-6.076×10 ^{-2**}	ns	ns
S×T	ns	1.143×10 ^{-3**}	ns	ns	ns	0.567 ^{**}	-3.135×10 ^{-2**}
S×M	-7.719×10 ^{-4**}	ns	-1.994×10 ^{-3**}	-1.319×10 ^{-2*}	ns	-1.114 ^{**}	ns
T×M	ns	ns	2.105×10 ^{-3**}	ns	4.662×10 ^{-3**}	ns	ns
R ²	0.921	0.665	0.738	0.495	0.652	0.521	0.699

* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.01), ** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05), และ ns = ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4ค สหสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพในด้านต่าง ๆ ของสเปกตติจากข้าวเหลืองประทิว¹²³

Properties	cooking time	cooking weight	cooking loss	expansion ratio	firmness	stickiness	tensile strength
cooking time	-						
cooking weight	-0.452 ^{**}	-					
cooking loss	0.817 ^{**}	-0.375 [*]	-				
expansion ratio	0.716 ^{**}	-0.625 ^{**}	0.403 [*]	-			
firmness	0.657 ^{**}	ns	-0.741 ^{**}	-0.424 [*]	-		
stickiness	0.485 ^{**}	-0.855 ^{**}	ns	0.812 ^{**}	ns	-	
tensile strength	0.665 ^{**}	ns	0.812 ^{**}	ns	0.855 ^{**}	ns	-

* = มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$), ** = มีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$) , ns = ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 5ก สหสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพในด้านต่าง ๆ ของสเปกตัสจากข้าวขาวดอกมะลิ105

	cooking time	cooking weight	cooking loss	expansion ratio	firmness	stickiness	tensile strength
cooking time	-						
cooking weight	-0.490 ^{**}	-					
cooking loss	0.371 ^{**}	-0.414 [*]	-				
expansion ratio	0.736 [*]	-0.373 [*]	ns	-			
firmness	ns	0.407 [*]	ns	-0.455 [*]	-		
stickiness	0.451 [*]	ns	ns	ns	ns	-	
tensile strength	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-

* = มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$), ** = มีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$), ns = ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 6 สหสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพในด้านต่าง ๆ ของสปาเกตตีจากข้าวชาซานิกกิ

	cooking time	cooking weight	cooking loss	expansion ratio	firmness	stickiness	tensile strength
cooking time	-						
cooking weight	-0.476 ^{**}	-					
cooking loss	ns	0.392 [*]	-				
expansion ratio	0.669 ^{**}	ns	ns	-			
firmness	ns	0.432 [*]	ns	0.551 ^{**}	-		
stickiness	0.670 ^{**}	ns	ns	ns	ns	-	
tensile strength	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-

* = มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$), ** = มีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$), ns = ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ประวัติผู้เขียน

นางสาวปิยมาศ มหามุณญานนท์ เกิดเมื่อวันที่ 19 เมษายน พ.ศ. 2520 เข้าศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ สำเร็จการศึกษาเมื่อปีการศึกษา 2541 ภายหลังสำเร็จการศึกษาได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในปีการศึกษา พ.ศ. 2542