

การตัดแปรแป้งข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่างกันด้วยกรดเพื่อทดแทนไขมันในน้ำสัลด



นางสาวนิรมล ศักดิ์สกุลชาญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ

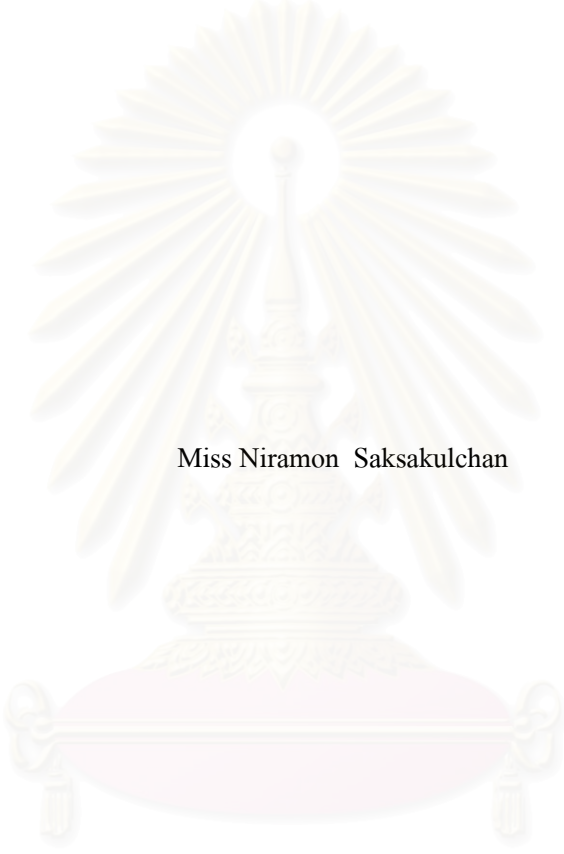
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-14-3301-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ACID MODIFICATION OF RICE STARCH CONTAINING DIFFERENT LEVEL
OF AMYLOSE FOR FAT SUBSTITUTE IN SALAD DRESSING



Miss Niramon Saksakulchan

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Biotechnology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2005

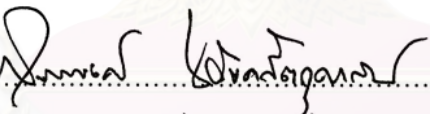
ISBN 974-14-3301-8


หัวข้อวิทยานิพนธ์	การตัดแปรแป้งข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่างกันด้วยกรดเพื่อทดแทนไขมันในน้ำสลัด
โดย	นางสาวนิรมล ศักดิ์สกุลชาญ
สาขาวิชา	เทคโนโลยีชีวภาพ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รมณี สงวนดีกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ ตันตระเชียร


คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

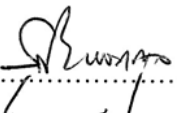

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมณะเสวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพงษ์ นวังคสัตถุศาสน์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รมณี สงวนดีกุล)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ ตันตระเชียร)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรัชัย พรภคกุล)

นิรมล สักดีสกุลชาญ : การตัดแปรแป้งข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่างกันด้วยกรดเพื่อทดแทนไขมันในน้ำสลัด. (ACID MODIFICATION OF RICE STARCH CONTAINING DIFFERENT LEVEL OF AMYLOSE FOR FAT SUBSTITUTE IN SALAD DRESSING) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.รณณี สงวนดีกุล, อ. ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.ดร.สุเมธ ตันตระเชียร 86 หน้า. ISBN 974-14-3301-8.

ปริมาณแอมิโลสจากสตาร์ชข้าวที่เตรียมได้ 3 พันธุ์ คือ พันธุ์สกลนคร พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีค่าเท่ากับร้อยละ 3.06, 15.52 และ 33.39 ตามลำดับ และอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีในเซชันเท่ากับ 70.05, 72.18 และ 81.35 องศาเซลเซียส ตามลำดับ การตัดแปรสตาร์ชด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้นร้อยละ 1.96 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่เวลา 4, 8 และ 12 ชั่วโมง พบว่า ขนาดอนุภาคเล็กที่สุดของสตาร์ชข้าวตัดแปรพันธุ์สกลนคร พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์สุพรรณบุรี 1 คือ 8, 12 และ 8 ชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อศึกษาอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีในเซชันของสตาร์ชข้าวตัดแปร พบว่า อุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีในเซชัน ลดลงเป็น 67.67, 69.33 และ 78.50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ทำการแทนที่ไขมันในน้ำสลัดด้วยสารละลายสตาร์ชตัดแปรที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิเจลลิตีในเซชันความเข้มข้นร้อยละ 40 (w/w) ในระดับร้อยละ 15, 30, 45 และ 60 เมื่อพิจารณาสมบัติด้านความหนืด พบว่า น้ำสลัดสูตรแทนที่ไขมันด้วยสารละลายสตาร์ชตัดแปรความเข้มข้นร้อยละ 40 ทั้ง 3 พันธุ์ ที่ระดับร้อยละ 15 มีความหนืดที่ไม่แตกต่างจากน้ำสลัดสูตรไขมันเต็ม ด้านความคงตัวและคะแนนทางประสาทสัมผัสพบว่า น้ำสลัดสูตรแทนที่ไขมันด้วยสารละลายสตาร์ชตัดแปรความเข้มข้นร้อยละ 40 ทั้ง 3 พันธุ์ ที่ระดับร้อยละ 15, 30, 45 และ 60 ไม่แตกต่างจากน้ำสลัดสูตรไขมันเต็ม ในขณะที่การแทนที่ที่เพิ่มขึ้น ไม่มีผลต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสแต่ความหนืดลดลง

สาขาวิชา.....เทคโนโลยีชีวภาพ.....ลายมือชื่อนิสิต.....นิรมล สักดีสกุลชาญ.....
 ปีการศึกษา2548.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....ผศ.ดร.รณณี.....
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....ผศ.ดร.สุเมธ.....

4572348923 : MAJOR BIOTECHNOLOGY

KEYWORD : RICE STARCH / ACID MODIFICATION / FAT SUBSTITUTE / SALAD DRESSING

NIRAMON SAKSAKULCHAN : ACID MODIFICATION OF RICE STARCH CONTAINING DIFFERENT LEVEL OF AMYLOSE FOR FAT SUBSTITUTE IN SALAD DRESSING. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. ROMANEE SA-NGUANDEEKUL, Ph.D., THESIS COADVISOR : ASST. PROF. SUMATE TANTRATIAN, Ph.D., 86 PP. ISBN 974-14-3301-8.

Rice starches from 3 rice varieties i.e. Sakolnakhon, Jasmine 105 and Supanburi 1 were prepared. The amylose contents were 3.06, 15.52 and 33.39%, respectively. The gelatinization temperatures were 70.05, 72.18 and 81.35°C, respectively. The starches were modified by hydrolysis with acidic solution (1.96% HCl w/w) at 50 °C for 4, 8 and 12 hours. The smallest particle size of modified starch was selected. The time for hydrolysis was 8, 12 and 8 hours for Sakolnakhon, Jasmine 105 and Supanburi 1, respectively. The gelatinization temperatures of the modified starch decreased to 67.67, 69.33 and 78.50°C, respectively. The starch solution was prepared with 40% starch (w/w). Each starch solution was heated at each gelatinization temperature to form slurry. These slurries were used to substitute fat in salad dressing at the level of 15, 30, 45 and 60%. The viscosity of salad dressing that substituted fat with three modified starch at 15% was not differed from the full fat sample. The stability and organoleptic score of all substituted fat samples were the same as the full fat one, while the increase in substitution did not affect the organoleptic score but reduce in viscosity.

Department ...Biotechnology.....

Academic year ...2005.....

Student's signature *Niramom Saksakulchan*

Advisor's signature *Romane Sanguandeekul*

Co-advisor's signature *Sumate Tantratian*

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์จากหลายฝ่าย ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รณณี สงวนดีกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ ตันตระเชียร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือให้คำปรึกษา คำแนะนำ และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ตั้งแต่เริ่มจนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพงศ์ นวังคสัตถุศาสน์ ที่กรุณาเป็นประธานกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรัชย์ พรภคกุล ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และได้เสนอแนวทางแก้ไขและปรับปรุงให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณหน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีแป้งมันสำปะหลังและแป้ง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพบางรายการ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมีอาหาร ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในด้านอุปกรณ์ สารเคมี และสถานที่ตลอดระยะเวลาที่ทำโครงการวิจัย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่น้อง งาม และเพื่อนๆ ที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำ ส่งเสริมและเป็นกำลังใจให้ทุกๆ ด้านด้วยดีเสมอมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ซ
สารบัญรูปภาพ.....	ฅ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
ข้าว (Rice).....	2
การแปรรูปข้าวเป็นแป้ง.....	8
การย่อยเม็ดแป้งด้วยกรด.....	10
ลักษณะรูปร่างและพื้นผิวของเม็ดแป้งที่ผ่านการย่อยด้วยกรด.....	10
สมบัติของเม็ดแป้งที่ผ่านการย่อยด้วยกรดเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ.....	11
คุณสมบัติของแป้ง.....	12
ผลิตภัณฑ์น้ำสลัด.....	17
วัตถุดิบที่ใช้ผลิตน้ำสลัด.....	18
สารทดแทนไขมัน.....	20
การประยุกต์อนุภาคแป้งขนาดเล็กเป็นสารทดแทนไขมัน.....	21
3. วิธีดำเนินการวิจัย.....	24
วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง.....	24
สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	24
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	25
ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย.....	26

4. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	32
4.1 การเตรียมสตาร์ชข้าว.....	32
4.2 ผลของการย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่เวลาต่างกันต่อสมบัติทางกายภาพ ของสตาร์ชข้าวชนิดต่างกัน.....	36
4.3 ผลการศึกษาปริมาณการแทนที่ของสารละลายสตาร์ชข้าวและสารละลาย สตาร์ชตัดแปรความเข้มข้นร้อยละ 40 เพื่อทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์น้ำ สลัด.....	39
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	52
รายการอ้างอิง.....	54
ภาคผนวก.....	61
ภาคผนวก ก.....	62
ภาคผนวก ข.....	66
ภาคผนวก ค.....	69
ภาคผนวก ง.....	72
ภาคผนวก จ.....	73
ภาคผนวก ฉ.....	77
ภาคผนวก ช.....	83
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	86

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	องค์ประกอบทางเคมีของข้าว.....	2
2.2	ปริมาณและสัดส่วนของแอมิโลสและแอมิโลเพกทินในสตาร์ชแต่ละชนิด.....	6
2.3	ปริมาณแอมิโลสในข้าว.....	6
3.1	ปริมาณส่วนประกอบในน้ำสลัดสูตรแทนที่ไขมันด้วยสารละลายสตาร์ชข้าว และสารละลายสตาร์ชข้าวตัดแปร ความเข้มข้นร้อยละ 40 ที่ระดับการแทนที่ไขมันระดับต่างๆ.....	30
4.1	ปริมาณแอมิโลสในฟลาวัวร์ข้าวทั้ง 3 พันธุ์.....	32
4.2	ปริมาณโปรตีน (%) ในฟลาวัวร์ข้าวทั้ง 3 พันธุ์.....	33
4.3	ปริมาณแอมิโลสในสตาร์ชข้าวทั้ง 3 พันธุ์.....	34
4.4	ปริมาณโปรตีน (%) ของสตาร์ชข้าว ทั้ง 3 พันธุ์.....	34
4.5	ขนาดอนุภาคของสตาร์ชทั้ง 3 พันธุ์.....	35
4.6	อุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีในเซชันของสตาร์ชข้าวทั้ง 3 พันธุ์.....	36
4.7	ขนาดอนุภาคของสตาร์ชข้าวตัดแปรทั้ง 3 พันธุ์.....	37
4.8	อุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีในเซชันของสตาร์ชข้าวที่ย่อยด้วยกรดทั้ง 3 พันธุ์.....	37
4.9	ความหนืดของสารละลายสตาร์ชข้าวและสารละลายสตาร์ชข้าวตัดแปร ความเข้มข้นร้อยละ 40 ทั้ง 3 พันธุ์.....	39
4.10	ความหนืดของน้ำสลัดที่แทนที่ไขมันในระดับร้อยละ 15, 30, 45 และ 60 ด้วยสารละลายสตาร์ชข้าว และสารละลายสตาร์ชตัดแปรความเข้มข้นร้อยละ 40 ทั้ง 3 พันธุ์.....	41
4.11	ร้อยละความคงตัวของน้ำสลัดที่แทนที่ไขมันในระดับร้อยละ 15, 30, 45 และ 60 ด้วยสารละลายสตาร์ชข้าว และสารละลายสตาร์ชตัดแปรความเข้มข้นร้อยละ 40 ทั้ง 3 พันธุ์.....	42
4.12	ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำสลัดสูตรไขมันเต็มและสูตรแทนที่ไขมัน.....	50

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1	โครงสร้างโมเลกุลของสตาร์ชประกอบด้วย (ก.) แอมิโลส และ (ข.) แอมิโลเพกทิน ซึ่งอยู่ร่วมกับลิพิด (ไขมัน) ทั้งภายนอกและภายในโมเลกุล.....3
2.2	โครงสร้างโมเลกุลของแอมิโลส.....4
2.3	โครงสร้างโมเลกุลของแอมิโลเพกทิน.....5
2.4	โครงสร้างและโมเลกุลของไขมัน.....7
2.5	สูตรทางเคมีของ 2-แอสีทิล-1-ไพร์โรลีน.....8
2.6	กระบวนการผลิตฟลาวัวร์ข้าวแบบไม่เปียก.....9
2.7	โครงสร้างที่เหลือจากการย่อยเม็ดแป้งข้าวโพดชนิดต่างๆ ด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 35 วัน เมื่อศึกษาลักษณะภายในของเม็ดแป้งโดยการตัดแบ่งเม็ดแป้งออกและตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.....11
2.8	Brabender viscoamylogram ของสตาร์ชข้าวโพดที่ความเข้มข้นต่างๆ.....13
2.9	Brabender viscoamylograph ของแป้งข้าวเจ้า (รูปบน) และแป้งข้าวเหนียว (รูปล่าง) ทางการค่าที่ความเข้มข้นต่างๆ ตัวเลขบนกราฟแต่ละเส้นจะบอกถึงน้ำหนักของแป้งที่นำมาละลายในน้ำ 500 มิลลิลิตร แล้วนำเข้าเครื่อง Brabender viscoamylogram โดยใช้วิธีของ Mazurs และคณะ (1957).....15
2.10	ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA.....16
2.11	ระยะในการเกิดเจลลาติในเซชันของเม็ดสตาร์ช.....16
2.12	ลักษณะการสูญเสียความเป็นอิมัลชันของน้ำสลัด 4 รูปแบบ.....19
2.13	ขั้นตอนการผลิตน้ำสลัดในอุตสาหกรรม.....22
2.14	การกระจายตัวของเม็ดน้ำมันในมายองเนส.....23
4.1	รูปร่างและขนาดเม็ดน้ำมันของน้ำสลัดสูตรไขมันเต็ม.....42
4.2	รูปร่างและขนาดเม็ดน้ำมันของน้ำสลัดสูตรแทนที่ไขมันด้วยสารละลายสตาร์ชข้าวพันธุส์กลนคร ความเข้มข้นร้อยละ 40.....43

ภาพประกอบ	หน้า
4.3 รูปร่างและขนาดเมล็ดน้ำมันของน้ำสลัดสูตรแทนที่ไขมันด้วยสารละลาย สตาร์ชข้าวพันธุข้าวดอกมะลิ 105 ความเข้มข้นร้อยละ 40.....	44
4.4 รูปร่างและขนาดเมล็ดน้ำมันของน้ำสลัดสูตรแทนที่ไขมันด้วยสารละลาย สตาร์ชข้าวพันธุสุพรรณบุรี 1 ความเข้มข้นร้อยละ 40.....	45
4.5 รูปร่างและขนาดเมล็ดน้ำมันของน้ำสลัดสูตรแทนที่ไขมันด้วยสารละลาย สตาร์ชข้าวคัดแปรพันธุสกลนคร ความเข้มข้นร้อยละ 40.....	46
4.6 รูปร่างและขนาดเมล็ดน้ำมันของน้ำสลัดสูตรแทนที่ไขมันด้วยสารละลาย สตาร์ชข้าวคัดแปรพันธุข้าวดอกมะลิ 105 ความเข้มข้นร้อยละ 40.....	47
4.7 รูปร่างและขนาดเมล็ดน้ำมันของน้ำสลัดสูตรแทนที่ไขมันด้วยสารละลาย สตาร์ชข้าวคัดแปรพันธุสุพรรณบุรี 1 ความเข้มข้นร้อยละ 40.....	48
ก1 กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส.....	64
ข1 กราฟแสดงความหนืดและอุณหภูมิในการเกิดเจลลาติโนเซชันของสตาร์ช ข้าวด้วยเครื่องRVA.....	68
จ1 ความคงตัวของน้ำสลัดสูตรไขมันเต็ม และน้ำสลัดที่แทนที่ไขมันในระดับ ร้อยละ 15, 30, 45 และ 60 ด้วยสารละลายสตาร์ชข้าวพันธุสกลนคร ความ เข้มข้นร้อยละ 40 (เรียงตามลำดับจากซ้ายไปขวา).....	73
จ2 ความคงตัวของน้ำสลัดสูตรไขมันเต็ม และน้ำสลัดที่แทนที่ไขมันในระดับ ร้อยละ 15, 30, 45 และ 60 ด้วยสารละลายสตาร์ชข้าวพันธุข้าวดอกมะลิ 105 ความเข้มข้นร้อยละ 40 (เรียงตามลำดับจากซ้ายไปขวา).....	74
จ3 ความคงตัวของน้ำสลัดสูตรไขมันเต็ม และน้ำสลัดที่แทนที่ไขมันในระดับ ร้อยละ 15, 30, 45 และ 60 ด้วยสารละลายสตาร์ชข้าวพันธุสุพรรณบุรี 1 ความเข้มข้นร้อยละ 40 (เรียงตามลำดับจากซ้ายไปขวา).....	74
จ4 ความคงตัวของน้ำสลัดสูตรไขมันเต็ม และน้ำสลัดที่แทนที่ไขมันในระดับ ร้อยละ 15, 30, 45 และ 60 ด้วยสารละลายสตาร์ชข้าวคัดแปรพันธุสกลนคร ความเข้มข้นร้อยละ 40 (เรียงตามลำดับจากซ้ายไปขวา).....	75

ภาพประกอบ

หน้า

จ5	ความคงตัวของน้ำสลัดสูตรไขมันเต็ม และน้ำสลัดที่แทนที่ไขมันในระดับ ร้อยละ 15, 30, 45 และ 60 ด้วยสารละลายสตาร์ชข้าวคัดแปรพันธุ์ขาวดอก มะลิ 105 ความเข้มข้นร้อยละ 40 (เรียงตามลำดับจากซ้ายไปขวา).....	75
จ6	ความคงตัวของน้ำสลัดสูตรไขมันเต็ม และน้ำสลัดที่แทนที่ไขมันในระดับ ร้อยละ 15, 30, 45 และ 60 ด้วยสารละลายสตาร์ชข้าวคัดแปรพันธุ์ สุพรรณบุรี 1 ความเข้มข้นร้อยละ 40 (เรียงตามลำดับจากซ้ายไปขวา).....	76
ฉ1	ขนาดอนุภาคของสตาร์ชข้าวพันธุ์สกลนคร.....	77
ฉ2	ขนาดอนุภาคของสตาร์ชข้าวพันธุ์สกลนคร ย่อยด้วยกรดเป็นเวลา 4 ชม.	77
ฉ3	ขนาดอนุภาคของสตาร์ชข้าวพันธุ์สกลนครย่อยด้วยกรดเป็นเวลา 8 ชม.	78
ฉ4	ขนาดอนุภาคของสตาร์ชข้าวพันธุ์สกลนครย่อยด้วยกรดเป็นเวลา 12 ชม.	78
ฉ5	ขนาดอนุภาคของสตาร์ชข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105.....	79
ฉ6	ขนาดอนุภาคของสตาร์ชข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ย่อยด้วยกรดเป็นเวลา 4 ชม.	79
ฉ7	ขนาดอนุภาคของสตาร์ชข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ย่อยด้วยกรดเป็นเวลา 8 ชม.	80
ฉ8	ขนาดอนุภาคของสตาร์ชข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ย่อยด้วยกรดเป็นเวลา 12 ชม.	80
ฉ9	ขนาดอนุภาคของสตาร์ชข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1.....	81
ฉ10	ขนาดอนุภาคของสตาร์ชข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ย่อยด้วยกรดเป็นเวลา 4 ชม.	81
ฉ11	ขนาดอนุภาคของสตาร์ชข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ย่อยด้วยกรดเป็นเวลา 8 ชม.	82
ฉ12	ขนาดอนุภาคของสตาร์ชข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ย่อยด้วยกรดเป็นเวลา 12 ชม.	82

ภาพประกอบ

หน้า

ช1	ลักษณะและรูปร่างของเมื่อดสตาร์ชข้าวพันธุ์สกลนคร.....	83
ช2	ลักษณะและรูปร่างของเมื่อดสตาร์ชข้าวตัดแปรพันธุ์สกลนคร	83
ช3	ลักษณะและรูปร่างของเมื่อดสตาร์ชข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105.....	84
ช4	ลักษณะและรูปร่างของเมื่อดสตาร์ชข้าวตัดแปรพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105.....	84
ช5	ลักษณะและรูปร่างของเมื่อดสตาร์ชข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1.....	85
ช6	ลักษณะและรูปร่างของเมื่อดสตาร์ชข้าวตัดแปรพันธุ์สุพรรณบุรี 1.....	85



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

น้ำสลัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่คนไทยนิยมรับประทาน แต่เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณไขมันสูง จึงอาจก่อให้เกิดโรคต่อผู้บริโภคได้ เช่น โรคอ้วน โรคโคเลสเตอรอลอุดตันในเส้นเลือด เป็นต้น ปัจจุบันได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำสลัดให้มีไขมันต่ำ โดยใช้สารทดแทนไขมันที่ได้จากคาร์โบไฮเดรต เช่น มอลโทเดกซ์ทริน และแป้งดัดแปรที่ได้จากแป้งต่างๆ เป็นต้น ที่มีสมบัติให้ความลื่น ความหนืด การปลดปล่อยกลิ่นรสในปาก แต่ให้พลังงานที่ต่ำกว่าไขมัน (Anon, 1989) ทำให้สามารถลดปริมาณแคลอรีลงได้ คือ แป้งจะให้พลังงาน 4 กิโลแคลอรี/กรัม ในขณะที่ไขมันให้พลังงาน 9 กิโลแคลอรี/กรัม

ข้าวเป็นอาหารหลักของคนไทยและยังจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่ทำรายได้ให้กับคนไทย โดยในปี พ.ศ. 2548 ประเทศไทยสามารถผลิตข้าวได้ 36,594,568 ตัน ส่งออกต่างประเทศ 7,537,228 ตัน มูลค่า 93,547.6 ล้านบาท (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2549) และได้มีการแปรรูปข้าวให้อยู่ในรูปสตาร์ชและนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์หลายด้าน ซึ่งสตาร์ชข้าวเป็นสตาร์ชที่มีเม็ดสตาร์ชขนาดเล็กอยู่ในช่วง 2-8 ไมครอน (Maningat และ Seib, 1992) ซึ่งใกล้เคียงกับขนาดของเม็ดน้ำมันในระบบอิมัลชันของน้ำสลัด (Ford และคณะ, 1997) สตาร์ชข้าวมีองค์ประกอบหลักคือ แอมิโลสและแอมิโลเพกทิน โดยมีปริมาณแอมิโลส ร้อยละ 0-34 และสามารถแบ่งข้าวเป็น 2 ประเภท คือ ข้าวเหนียวและข้าวเจ้า (กรมวิชาการเกษตร, 2545) ซึ่งมีปริมาณแอมิโลสและแอมิโลเพกทินต่างกัน จึงสนใจที่จะนำสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่างกันมาดัดแปรโดยการย่อยด้วยกรด ซึ่งกรดที่นิยมใช้ได้แก่ กรดไฮโดรคลอริก กรดซัลฟิวริก ให้มีขนาดเล็กและใช้เป็นสารทดแทนไขมัน โดยจะนำมาทดแทนอนุภาคน้ำมันในระบบอิมัลชันของน้ำสลัด

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาสตาร์ชข้าวดัดแปรที่มีปริมาณแอมิโลสต่างกันและศึกษาปริมาณการแทนที่ของสตาร์ชข้าวดัดแปรเพื่อใช้ทดแทนไขมันในน้ำสลัด

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ข้าว (Rice)

ข้าวจัดอยู่ในวงศ์ Gramineae จีนัส *Oryza* มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa* ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ คือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และน้ำหรือความชื้น ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีของข้าวมีดังนี้

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าว

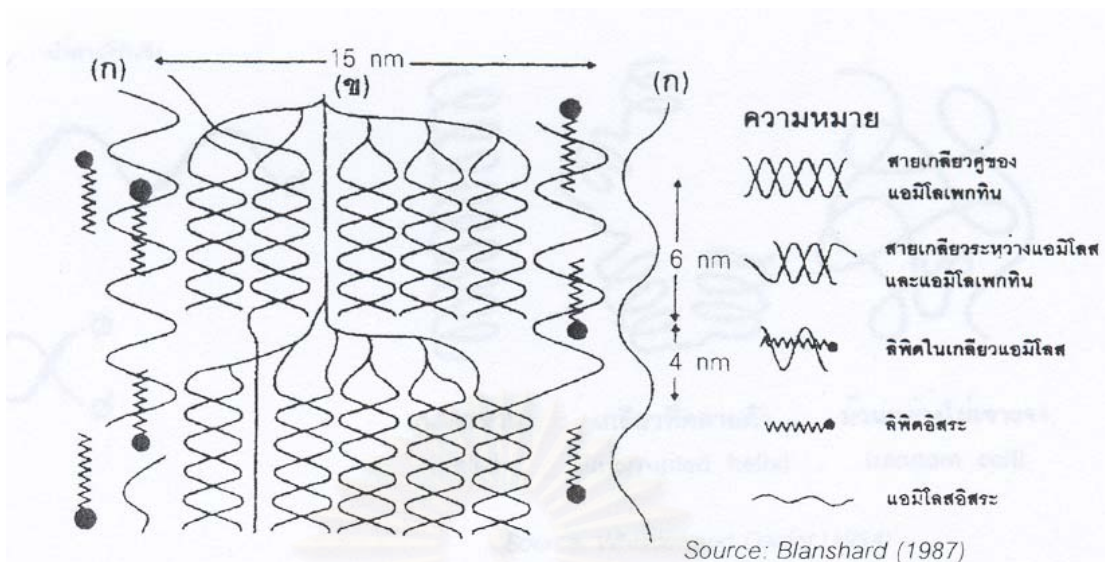
องค์ประกอบทางเคมี	(%)
ความชื้น	12.0
คาร์โบไฮเดรต	79.2
โปรตีน	7.0
ไขมัน	0.4

ที่มา: Knight, 1969

1. คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรต ประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6: 10: 5 โดยมีสูตรเคมีโดยทั่วไป คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ สตาร์ชเป็นคาร์โบไฮเดรตที่พบมากที่สุดใ้ในเนื้อเมล็ดข้าว ประมาณร้อยละ 90 โดยโมเลกุลของสตาร์ชรวมตัวกันเป็นเม็ดสตาร์ช (starch granule) มีขนาด 2-8 ไมครอน ซึ่งนับว่าเล็กที่สุดในกลุ่มธัญพืช รูปร่างลักษณะเป็นเหลี่ยมหลายเหลี่ยม รวมตัวกันอยู่ในแอมิโลพลาสต์หรือคลอโรพลาสต์ของเซลล์จำนวน 20-60 เม็ดสตาร์ชเป็นกลุ่มก้อนกลมหรือยาวรี มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของกลุ่มเม็ดสตาร์ชในแอมิโลพลาสต์นี้ประมาณ 7-39 ไมครอน (Champagne, 1996)

โมเลกุลของสตาร์ชประกอบด้วย พอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ลักษณะ คือ แอมิโลส และ แอมิโลเพกทิน ซึ่งทั้งสองส่วนนี้รวมอยู่กับ โปรตีนและไขมันในผลึกของเม็ดแป้ง โดยแอมิโลสภายในเม็ดแป้งมีทั้งอยู่ในสภาพอิสระ สภาพที่อยู่ร่วมกับไขมัน และอยู่ร่วมกับแอมิโลเพกทินเป็นเกลียวคู่ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของสตาร์ชประกอบด้วย (ก) แอมิโลส และ (ข) แอมิโลเพกทิน ซึ่งอยู่ร่วมกับลิพิด (ไขมัน) ทั้งภายนอกและภายในโมเลกุล (ที่มา: Blanshard, 1987 อ้างถึงใน อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

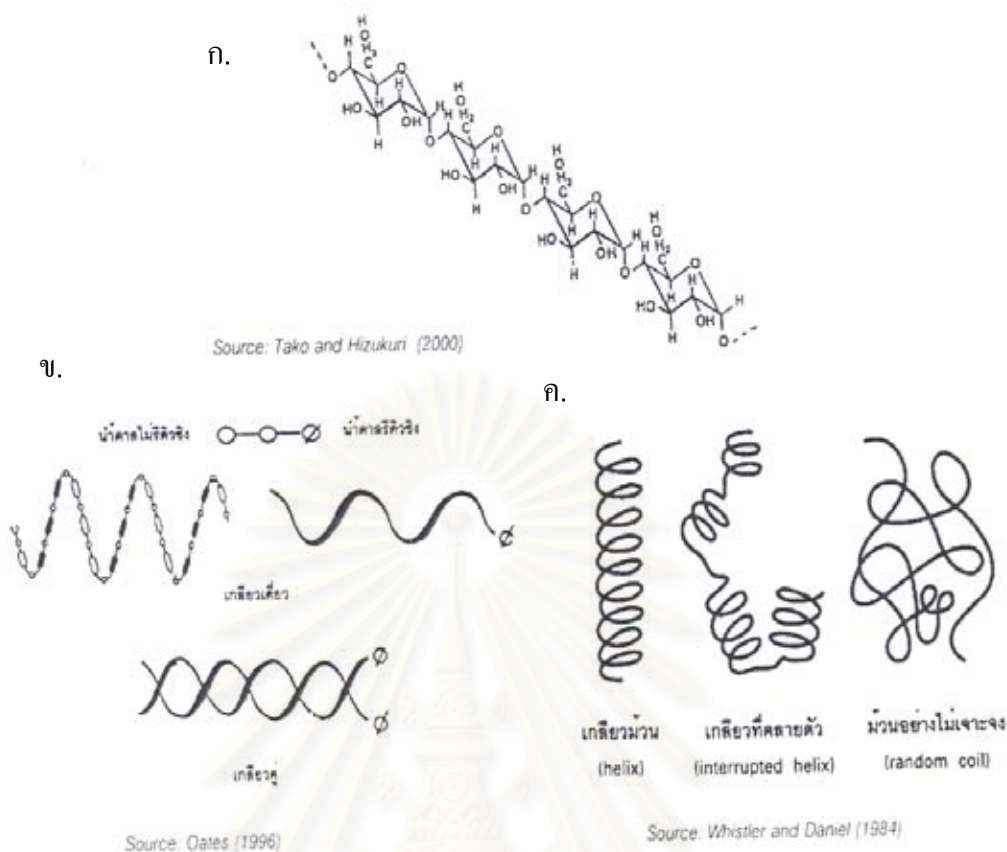
แอมิโลส

แอมิโลส เป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วย น้ำตาลกลูโคสประมาณ 1,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4-glucosidic linkage

โครงสร้างโมเลกุลของแอมิโลสมีหลายรูปแบบ สายตรง (รูปที่ 2.2 ก.) สายพันเป็นเกลียว (helix) เดี่ยวหรือคู่ (รูปที่ 2.2 ข.) มีลักษณะเกลียวม้วน หรือเกลียวที่คลายตัว หรือม้วนอย่างไม่เจาะจง (รูปที่ 2.2 ค.)

แอมิโลเพกทิน

แอมิโลเพกทิน ประกอบด้วย น้ำตาลกลูโคสที่จัดเรียงตัวเป็นพอลิเมอร์ที่มีโซ่กิ่งเป็นแขนงมาก ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4-glucosidic linkage มีประมาณร้อยละ 96 และส่วนที่เป็นกิ่งเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,6-glucosidic linkage มีประมาณร้อยละ 4 มีจำนวนโมเลกุลกลูโคสเฉลี่ย 4,700-18,500 หน่วย (รูปที่ 2.3 ก.) (Tako และ Hizukuri, 2000)

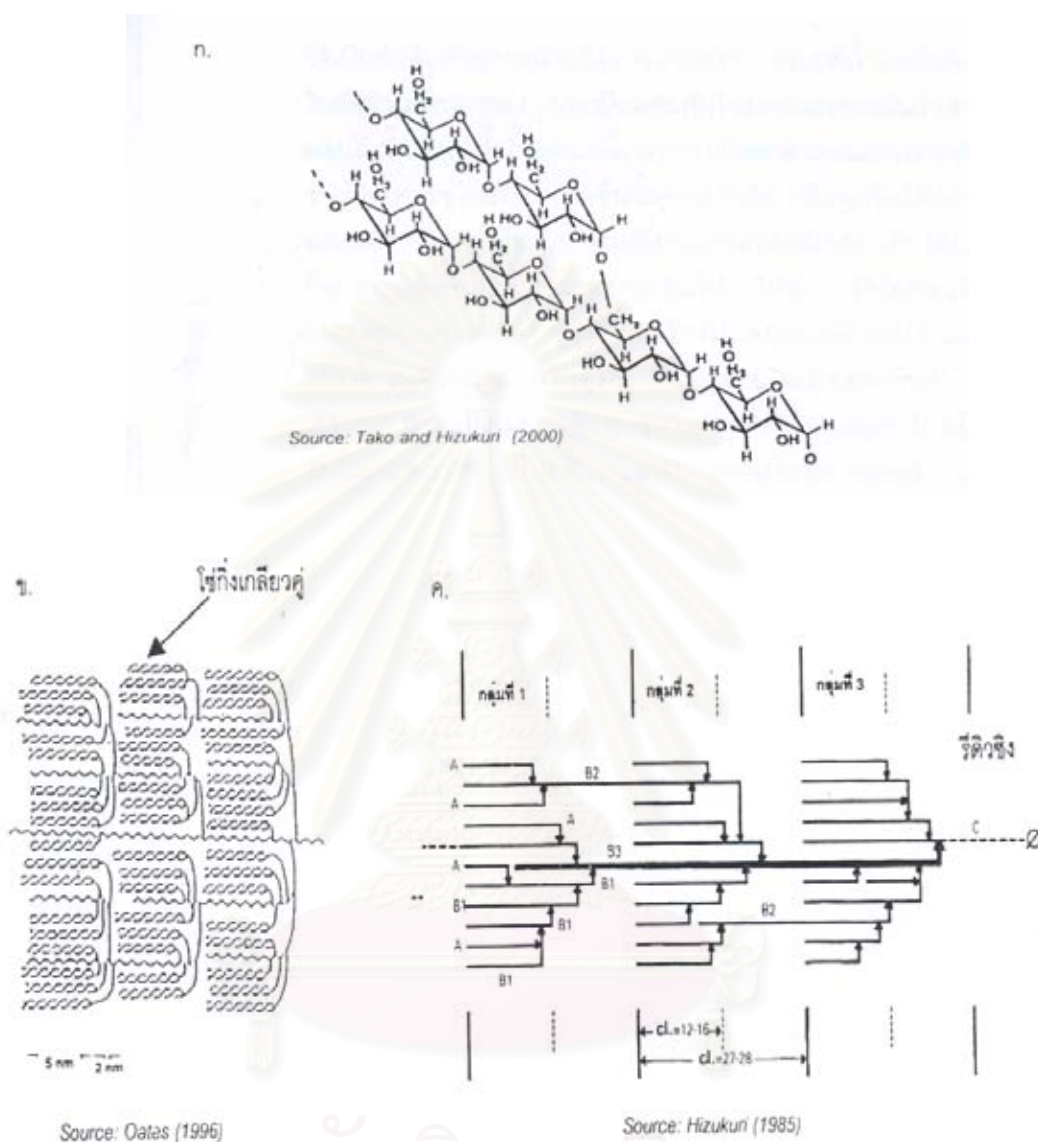


รูปที่ 2.2 โครงสร้างโมเลกุลของเอมิโลส

- โครงสร้างโมเลกุลแบบสายตรง (ที่มา: Tako และ Hizukuri, 2000 อ้างถึงใน อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)
- โครงสร้างโมเลกุลแบบสายพันเป็นเกลียว (helix) เดี่ยวหรือคู่ (ที่มา: Oates, 1996 อ้างถึงใน อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)
- โครงสร้างโมเลกุลแบบมีลักษณะเกลียวม้วน หรือเกลียวที่คลายตัว หรือม้วนอย่างไม่เจาะจง (ที่มา: Whistler และ Deniel, 1984 อ้างถึงใน อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

โครงสร้างโมเลกุลของเอมิโลเพกทินมีลักษณะเป็นกิ่งก้านในลักษณะโซ่กิ่งเกลียวคู่ (รูปที่ 2.3 ข.) จากสายที่ต่อกันด้วยน้ำตาลกลูโคสเริ่มต้น ซึ่งมีคาร์บอนตัวที่หนึ่งเป็นหมู่รีดิวซ์ ดังนั้น โมเลกุลของเอมิโลเพกทินแต่ละโมเลกุลจะประกอบด้วยสายแกนหนึ่งสายเท่านั้น (C-chain) สำหรับสายที่มาต่อกับสายแกนนี้จะเป็นสายกิ่งเชื่อม (B-chain) ซึ่งสาย B มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่นๆ 2 สายหรือมากกว่า โดยสาย B1 เป็นสายที่มีจุดเชื่อม 2 ตำแหน่ง ส่วน B2 และ B3 เป็นสายที่มีจุดเชื่อม มากกว่า 2 ตำแหน่ง และสายที่มีจุดเชื่อมตำแหน่งเดียว (A-chain) โดยลักษณะสาย A และสาย B1 จะประกอบเป็นกลุ่มเดี่ยว สำหรับสาย B2 และสาย B3 มีความยาวของสายแผ่ออกไปทำให้เกิดเป็นกลุ่มสาย 2 และ 3 ตามลำดับ สำหรับพันธุ์ข้าวเหนียวซึ่งมี

แอมิโลเพกทินเกือบร้อยละ 100 ดังนั้นกลุ่มสายโซ่จึงจะรวมเป็นกลุ่มเดี่ยวร้อยละ 80-90 และกลุ่มที่เกาะเกี่ยวกันระหว่างกลุ่มอีกประมาณร้อยละ 10-20 (รูปที่ 2.3 ค.)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลของแอมิโลเพกทิน

- ก. โครงสร้างโมเลกุลของแอมิโลเพกทินส่วนที่เป็นเส้นตรง (ที่มา: Tako และ Hizukuri, 2000 อ้างถึงใน อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)
- ข. โครงสร้างโมเลกุลของแอมิโลเพกทินมีลักษณะเป็นกิ่งก้านในลักษณะไซกิ่งเกลียวคู่ (ที่มา: Oates, 1996 อ้างถึงใน อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)
- ค. โครงสร้างแอมิโลเพกทินที่ประกอบด้วยสาย A, B และ C (ที่มา: Hizukuri, 1985 อ้างถึงใน อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

สตาร์ชที่ได้จากพืชชนิดต่างกันจะมีสัดส่วนของแอมิโลสและแอมิโลเพกทินที่ต่างกัน ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณและสัดส่วนของแอมิโลสและแอมิโลเพกทินในสตาร์ชแต่ละชนิด

ชนิดสตาร์ช	แอมิโลส (% น.น.แห้ง)	แอมิโลเพกทิน (% น.น.แห้ง)
สตาร์ชมันฝรั่ง	21	79
สตาร์ชข้าวเจ้า	17	83
สตาร์ชข้าวโพด	28	72
สตาร์ชข้าวสาลี	28	72
สตาร์ชมันสำปะหลัง	17	83

ที่มา: กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543

สตาร์ชข้าวมีปริมาณแอมิโลส ร้อยละ 0-34 โดยแบ่งเป็นข้าว 2 ประเภท คือ ข้าวเหนียว และข้าวเจ้า ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ปริมาณแอมิโลสในข้าว

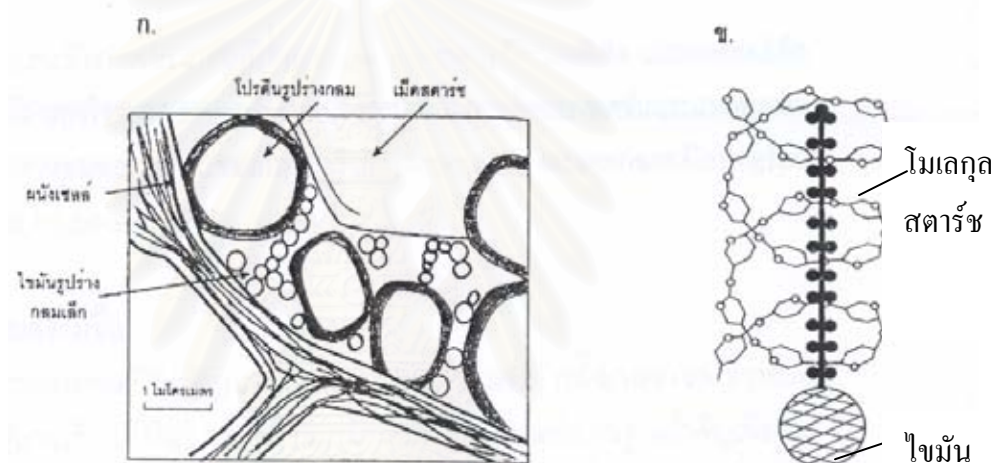
ชนิดข้าว	ปริมาณแอมิโลส (% น้ำหนักแห้ง)	
	Juliano (1993)	งามชื่น คงเสรี (2539)
ข้าวเหนียว	0-5	0-3
ข้าวเจ้าแอมิโลสต่ำมาก	5.1-12.0	4-11
ข้าวเจ้าแอมิโลสต่ำ	12.1-20.0	12-19
ข้าวเจ้าแอมิโลสปานกลาง	20.1-25.0	20-25
ข้าวเจ้าแอมิโลสสูง	>25	26-34

2. โปรตีน

โปรตีนเป็นสารอาหารที่มีในแป้งมากเป็นอันดับสองรองจากคาร์โบไฮเดรต โปรตีนในข้าวมีปริมาณแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว และโดยทั่วไปจะมีปริมาณน้อยกว่าในธัญชาติชนิดอื่น โปรตีนที่มีในข้าวนี้เกิดขึ้นตามส่วนต่างๆ ของเมล็ด โดยมีมากในชั้นเปลือกหุ้มเมล็ด และเนื้อเมล็ด ด้านนอกจะมีโปรตีนมากกว่าใจกลางเมล็ด (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547) การวิเคราะห์ และคำนวณปริมาณโปรตีนในข้าวใช้แฟกเตอร์ 5.95 คูณใน ไตรเจน ซึ่งมาจากร้อยละในไตรเจนที่มีอยู่ในโปรตีนกลูเตลินซึ่งเป็นโปรตีนที่มีมากที่สุดในการข้าว โดยพบว่าโปรตีนกลูเตลิน มีปริมาณในไตรเจนอยู่ร้อยละ 16.8 (Juliano, 1972)

3. ไขมัน

โดยส่วนใหญ่แป้งจะมีองค์ประกอบของไขมันอยู่ต่ำกว่าร้อยละ 1 และมีอยู่ในส่วนด้านนอกของเมล็ดมากกว่าในใจกลางเมล็ด ดังนั้นการขัดสีข้าวให้ขาว ทำให้ข้าวสารเจ้ามีไขมันอยู่เพียงร้อยละ 0.3-0.5 (Hoseney, 1986) ซึ่งเป็นไขมันที่เกาะเกี่ยว (bound lipids) กับสารอื่นอยู่ประมาณร้อยละ 0.3-0.4 ส่วนในข้าวเหนียวมีไขมันที่เกาะเกี่ยวนี้้น้อยกว่า (ร้อยละ 0.03) โดยไขมันมีความสัมพันธ์กับเม็ดสตาร์ช 3 ลักษณะ คือ ไขมันอยู่ชิดกันกับโปรตีน ซึ่งอยู่ที่ผิวของเม็ดสตาร์ชภายนอก (รูปที่ 2.4 ก.) หรืออาจอยู่ร่วมกับโครงสร้างของแอมิโลเพกทินสายนอก เช่น สาย A หรือ B₁ ส่วนผิวของเม็ดสตาร์ช ลักษณะที่สองไขมันอยู่ภายในเม็ดสตาร์ชโดยเกาะเกี่ยวกับสตาร์ช (รูปที่ 2.4 ข.) และลักษณะที่สามอยู่ภายในเม็ดสตาร์ช แต่ไม่เกาะเกี่ยวกับสตาร์ช (Morrison, 1988)



รูปที่ 2.4 โครงสร้างและโมเลกุลของไขมัน

ก. จำลองภาพโครงสร้างของเม็ดสตาร์ช โปรตีน และไขมัน ในชั้นซับแอลิวโรน ของเมล็ดข้าวผ่านกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน

ข. โมเลกุลของไขมันเกาะเกี่ยวกับโมเลกุลของสตาร์ชภายในเม็ดสตาร์ช

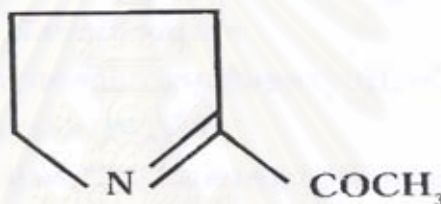
(ที่มา: อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

4. ปริมาณความชื้น

องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ และเกี่ยวข้องกับคุณภาพเมล็ดข้าวทั้งทางตรงและทางอ้อมคือ ปริมาณความชื้นของข้าว ทั้งในข้าวเปลือกและข้าวสาร ใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานสำคัญเพื่อการซื้อขายข้าว เนื่องจากปริมาณความชื้นสามารถบ่งชี้ถึงน้ำหนักของเนื้อข้าวที่ผู้ซื้อ และผู้ขายเกี่ยวข้องโดยตรง ระดับความชื้นทั่วไปของข้าวที่ยอมรับว่าปลอดภัยต่อการเก็บรักษาข้าวที่เหมาะสมคือ ร้อยละ 13 (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

5. กลิ่นสารระเหยของข้าว

ข้าวบางพันธุ์มีกลิ่นสารระเหยบางชนิดที่ผู้บริโภคบางกลุ่มชอบ แต่บางกลุ่มก็ไม่ชอบ ซึ่งเป็นกลิ่นที่มีอยู่ประจำพันธุ์ เช่น ข้าวหอมที่ซื้อขายในตลาดข้าวของโลก คือพันธุ์ข้าวที่มีสาร 2-แอซิติล-1-ไพร์โรลีน (2-acetyl-1-pyrroline) ซึ่งเป็นสารหลักของกลิ่นหอมจากข้าว (รูปที่ 2.5) โดยข้าวหอมที่อยู่ในรูปข้าวกล้องจะมีสารนี้ประมาณ 0.1-0.2 ไมโครกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ในขณะที่ข้าวสารมีเพียง 0.04-0.09 ไมโครกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ส่วนกลิ่นเหม็นอาจเกิดจากปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันไม่อิ่มตัว กรดแอมิโนที่มีสารซัลเฟอร์ใน โมเลกุล สารประเภทไฮโดรเจนซัลไฟด์ แอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ หรือ แอซิแทลดีไฮด์ซึ่งเป็นกลิ่นที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ (Juliano, 1985; Juliano, 1993)



รูปที่ 2.5 สูตรทางเคมีของ 2-แอซิติล-1-ไพร์โรลีน (ที่มา: อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

การแปรรูปข้าวเป็นแป้ง

แป้งที่คนไทยเรียกกันทั่วไปอาจหมายถึงได้ถึงทั้ง ฟลาวัวร์ (flour) และสตาร์ช (starch) ฟลาวัวร์

ฟลาวัวร์ หมายถึง แป้งที่ผลิตจากเมล็ด หัว หรือส่วนอื่นที่ใช้บริโภคได้ของพืช โดยนำวัตถุดิบมาสี โม่ บด หรือตี แล้วร่อนเป็นผงละเอียด ดังนั้นส่วนประกอบของฟลาวัวร์จึงมีสารอาหารต่างๆ ที่มีอยู่ในวัตถุดิบดั้งเดิมทั้งหมด (รูปที่ 2.6)

สตาร์ช หมายถึง แป้งที่ผลิตจากส่วนต่างๆ ของพืชเช่นเดียวกับที่ใช้ผลิตฟลาวัวร์ แต่กรรมวิธีการผลิตจะแยกเอาเฉพาะส่วนที่เป็นสตาร์ช โดยมีองค์ประกอบอื่นมาปะปนน้อยที่สุด

การไม่เปียกหรือการไม่น้ำ

เป็นวิธีการใช้ในการผลิตฟลาร์ข้าวเป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศไทย เนื่องจากใช้วัตถุดิบเป็นข้าวหักซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการสีข้าว ยังมีสิ่งเจือปนมาก ต้องทำความสะอาดในระบบแห้งด้วยเครื่องแยกชนิดต่างๆ ดังกล่าวข้างต้น แล้วยังต้องล้างด้วยน้ำให้สะอาด แช่วข้าวจนนิ่มจึงทำการไม่ด้วยเครื่องไม่



รูปที่ 2.6 กระบวนการผลิตฟลาร์ข้าวแบบไม่เปียก (ที่มา: งามชื่น คงเสรี, 2541)

การย่อยเม็ดแป้งด้วยกรด

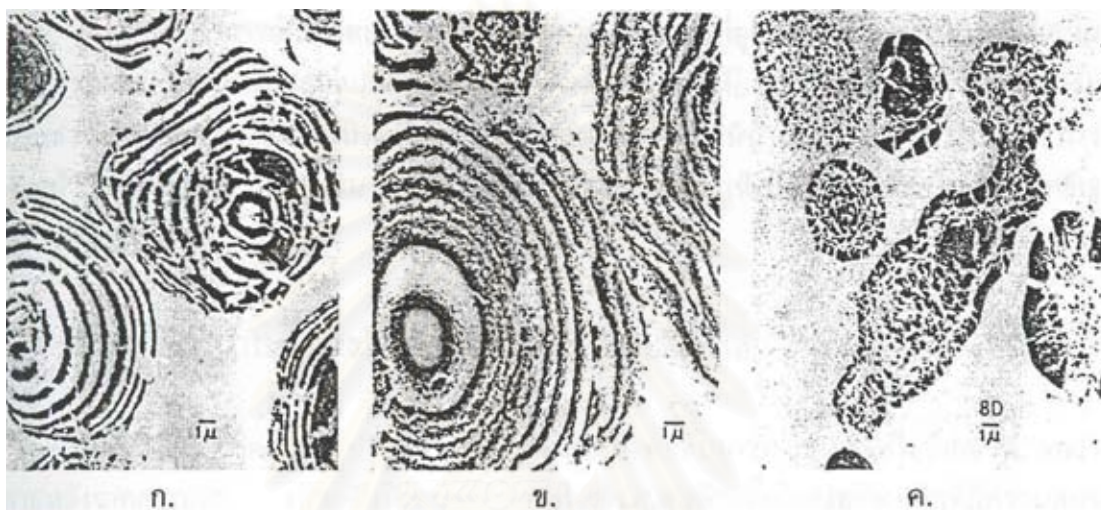
โดยปกติการย่อยเม็ดแป้งด้วยกรด ส่วนใหญ่นิยมใช้กรดไฮโดรคลอริก และกรดซัลฟิวริก ซึ่งเมื่อนำเม็ดแป้งมาย่อยด้วยกรดที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดเจลาติไนเซชัน กรดจะแทรกตัวเข้าไปทำปฏิกิริยาภายในเม็ดแป้งโดยเฉพาะในส่วนออสติฐาน อัตราการย่อยจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยกรดจะเข้าทำลายพันธะภายในเม็ดแป้งและปลดปล่อยสายกลูโคสและโมเลกุลกลูโคสออกมา เมื่อทำปฏิกิริยากับกรดนานขึ้น กรดจะเริ่มแทรกตัวผ่านชั้นโครงสร้างผลึกและย่อยโครงสร้างดังกล่าวได้ในอัตราที่ช้าลง และภายหลังจากการย่อย เม็ดแป้งยังสามารถคงความเป็นเม็ดอยู่ได้ (Kainuma และ French, 1972; Robin และคณะ, 1974; Biliaderis และคณะ, 1981)

ในการย่อยแป้งด้วยกรดนั้น อัตราการย่อยและผลิตภัณฑ์ที่ได้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความเข้มข้นของแป้งและกรด อุณหภูมิและระยะเวลาในการย่อย เป็นต้น เมื่อความเข้มข้นของแป้งที่นำมาย่อยเพิ่มขึ้น อัตราการย่อย (degree of hydrolysis) จะเกิดน้อยลง เนื่องจากการที่มีจำนวนเม็ดแป้งเพิ่มขึ้นขณะที่มีปริมาณกรดคงที่ จะทำให้กรดที่มีอยู่แทรกตัวเข้าไปย่อยภายในเม็ดแป้งได้เป็นสัดส่วนที่น้อยลง ในทางกลับกันหากเพิ่มความเข้มข้นกรดที่ใช้ย่อยมากขึ้น จะทำให้ได้แป้งที่มีค่า Degree of polymerization (DP) ต่ำลง และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการย่อยมากขึ้น จะได้แป้งที่มีค่า DP ต่ำลงเช่นกัน อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้แป้งถูกย่อยได้มากขึ้น โดยอุณหภูมิสูงจะไปกระตุ้นให้พันธะไฮโดรเจนและพันธะในส่วนไม่ชอบน้ำของสายเกลียวคู่ในส่วนโครงสร้างผลึกถูกทำลาย ทำให้ส่วนนี้เปลี่ยนไปเป็นส่วนโครงสร้างออสติฐานที่ง่ายต่อการถูกย่อยด้วยกรด (Robyt และคณะ, 1996) นอกจากนี้ ขณะที่ทำการย่อยเม็ดแป้งด้วยกรดภายใต้อุณหภูมิสูง โปรตอน (H^+) จากกรดที่ทำหน้าที่เป็นสารชอบอิเล็กตรอน (electrophilic) จะเข้าทำลายพันธะ α -1,4-glucosidic linkage ระหว่างตำแหน่ง C_1 และ O ของสายเอมิโลสภายในโมเลกุลแป้งให้แตกออก กลไกดังกล่าวจะต้องอาศัยอุณหภูมิสูงเป็นตัวกระตุ้นให้การทำลายพันธะเกิดได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น (Zherebtsov และคณะ, 1995)

ลักษณะรูปร่างและพื้นผิวของเม็ดแป้งที่ผ่านการย่อยด้วยกรด

Mussulman และ Wagoner (1968) ได้ทำการย่อยเม็ดแป้งข้าวโพดที่มีปริมาณเอมิโลสและปริมาณเอมิโลเพกทินแตกต่างกันโดยใช้กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 7 ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 35 วัน และศึกษาลักษณะภายในของเม็ดแป้งโดยการตัดแบ่งเม็ดแป้งออกและตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่า เม็ดแป้งข้าวโพดชนิด waxy maize (แป้งข้าวโพดที่มีปริมาณเอมิโลเพกทินร้อยละ 100) และชนิด yellow dent corn (แป้งข้าวโพดที่มีเอมิโลเพกทินร้อยละ 75 และเอมิโลสร้อยละ 25) หลังจากถูกย่อยด้วยกรดแล้ว ส่วนชั้นบาง (thin lamellae) ภายในเม็ดแป้ง

จะถูกย่อยได้มากกว่า เหลือส่วนโครงสร้างที่เป็นวงซ้อนกันซึ่งจะเป็นส่วนบอกถึงค่าความเป็นผลึกของเม็ดแป้งนั้นๆ ได้ ส่วนแป้งข้าวโพดชนิด amylo maize (แป้งข้าวโพดที่มีแอมิโลเพกทินร้อยละ 20 และแอมิโลสร้อยละ 80) หลังจากถูกย่อยด้วยกรดแล้วจะไม่เหลือส่วนวงแหวนที่ชัดเจน และจะเห็นเป็นลักษณะของเม็ดแป้งแตกออกเป็นเสี้ยวๆ ภายหลังจากการย่อย ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเม็ดแป้งข้าวโพดชนิด amylo maize ปกติที่ไม่ได้นำมาย่อยด้วยกรด จะไม่มีโครงสร้างที่แข็งแรงเหมือนแป้งข้าวโพดอีก 2 ชนิด



รูปที่ 2.7 โครงสร้างที่เหลือจากการย่อยเม็ดแป้งข้าวโพดชนิดต่างๆ ด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 35 วัน เมื่อศึกษาลักษณะภายในของเม็ดแป้งโดยการตัดแบ่งเม็ดแป้งออกและตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

ก. แป้งข้าวโพดชนิด yellow dent corn

ข. แป้งข้าวโพดชนิด waxy maize

ค. แป้งข้าวโพดชนิด amylo maize

(ที่มา: Mussulman และ Wagoner, 1968)

Atichokudomchai และคณะ (2000) ศึกษาลักษณะผิวนอกของเม็ดแป้งที่ถูกย่อยด้วยกรด พบว่า เกิดลักษณะผุกร่อนภายนอก (exocorrosion) ขึ้นทั่วทั้งผิวเม็ด และเมื่อย่อยกรดเป็นระยะเวลาสั้นขึ้น ผิวที่ผุกร่อนจะหลุดออกไปทั้งชั้นจนหมด เหลือผิวใหม่ที่เรียบเนียนของชั้นที่อยู่ลึกลงไปภายในเม็ดแป้ง จากนั้นกรดจะเริ่มย่อยชั้นที่เกิดใหม่นี้ให้ผุกร่อนจนหลุดร่อนต่อไปได้อีก

สมบัติของเม็ดแป้งที่ผ่านการย่อยด้วยกรดเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ

เม็ดแป้งที่ผ่านการย่อยด้วยกรดจะมีสมบัติที่แตกต่างจากแป้งปกติ เช่น มีค่าความหนืดต่ำ เนื่องจากเม็ดแป้งมีการพองตัวลดลง ความสามารถในการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) ต่ำลง

และค่าการละลายในน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่เริ่มต้นในการเกิดเจลลิตในเซชันจะเพิ่มขึ้นเป็นต้น (Rohwer และ Klem, 1984; Betancur และ Chel, 1997)

การย่อยเม็ดแป้งมันฝรั่ง แป้งสาลี และแป้งข้าวโพดด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส พบว่า อุณหภูมิที่เริ่มต้นในการเกิดเจลลิตในเซชันลดต่ำลง ทำให้ช่วงการเกิดเจลลิตในเซชันกว้างขึ้น เนื่องจากกรดเข้าทำปฏิกิริยาที่ส่วนออสเทนฐานทำให้น้ำเข้าถึงส่วนโครงสร้างผลึกได้ง่ายขึ้น ค่าอุณหภูมิที่เริ่มต้นในการเกิดเจลลิตในเซชันจึงลดต่ำลง นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อเม็ดแป้งถูกย่อยด้วยกรดมากขึ้น การเกิดเจลลิตในเซชันจะมีช่วงกว้างขึ้นตามไปด้วย (Morrisson และคณะ, 1993; Jenkins และ Donald, 1997)

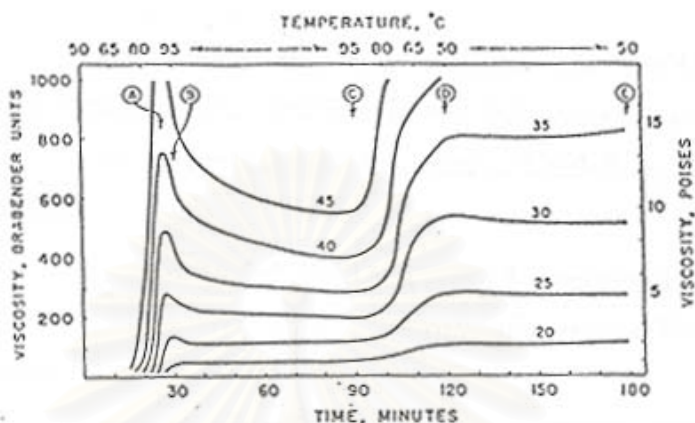
Chun และคณะ (1997) ศึกษาการผลิต amylopectin จากแป้งข้าวโดยการย่อยแป้งด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกในเอซิลแอลกอฮอล์ที่อุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง พบว่า เม็ดแป้งที่ได้มีค่าความเป็นผลึกสูงกว่าเม็ดแป้งธรรมชาติ เมื่อศึกษาลักษณะการเกิดเจลลิตในเซชันด้วยเครื่อง DSC พบว่า แป้งที่ถูกย่อยด้วยกรดจะมีอุณหภูมิเริ่มต้นที่ใช้ในการเกิดเจลลิตในเซชันต่ำลง แสดงให้เห็นว่า สามารถใช้พลังงานน้อยลงในการทำให้โครงสร้างภายในเม็ดแป้งเริ่มเกิดการหลอมละลาย

คุณสมบัติของแป้ง

ความหนืด

ความหนืดเป็นสมบัติที่เฉพาะตัวที่สำคัญของแป้ง เป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เกิดเมื่อน้ำแป้งได้รับความร้อน เม็ดสตาร์ชจะดูดซึมน้ำและพองตัวขึ้น ทำให้น้ำบริเวณรอบๆเม็ดสตาร์ชเหลือน้อยลง เม็ดสตาร์ชจึงเคลื่อนไหวได้ยาก เกิดเป็นความหนืดขึ้น ซึ่งการตรวจวัดความหนืดทำได้หลายวิธี เครื่องมือที่ใช้ในการวัดก็มีหลายชนิด แต่ละชนิดก็มีหลักการทำงานและการอ่านค่าความหนืดที่แตกต่างกันไป เช่น เครื่อง Brookfield viscometer จะวัดความหนืดที่อุณหภูมิหนึ่งโดยใช้หลักการหมุนของวัตถุทรงกระบอกหรือแผ่นจานในของเหลวด้วยอัตราเร็วคงที่ ค่าความหนืดที่เกิดขึ้นวัดได้จากค่าความต้านทานการหมุนของของเหลวที่อัตราเร็วคงที่ หน่วยความหนืดเป็นเซนติพอยส์ (centipoise) นอกจากนี้ยังมีการใช้ Brookfield viscoamylograph ติดตามการเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการทำให้ความร้อนจนถึงขั้นการทำให้เย็น โดยน้ำแป้งจะได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 1.5 องศาเซลเซียสต่อนาทีและคงที่ไว้ระยะเวลาหนึ่งที่อุณหภูมินี้ จากนั้นจึงทำให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 1.5 องศาเซลเซียสต่อนาที และคงที่ไว้อีกระยะเวลาหนึ่ง ติดตามผลและแสดงผลในรูปของ Brabender

viscoamylogram ซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป หน่วยความหนืดที่ใช้เป็น Brabender unit (B.U.) ลักษณะของ Brabender viscoamylogram แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 Brabender viscoamylogram ของสตาร์ชข้าวโพดที่ความเข้มข้นต่างๆ (ที่มา: Mazurs, Schoch และ Kite, 1957)

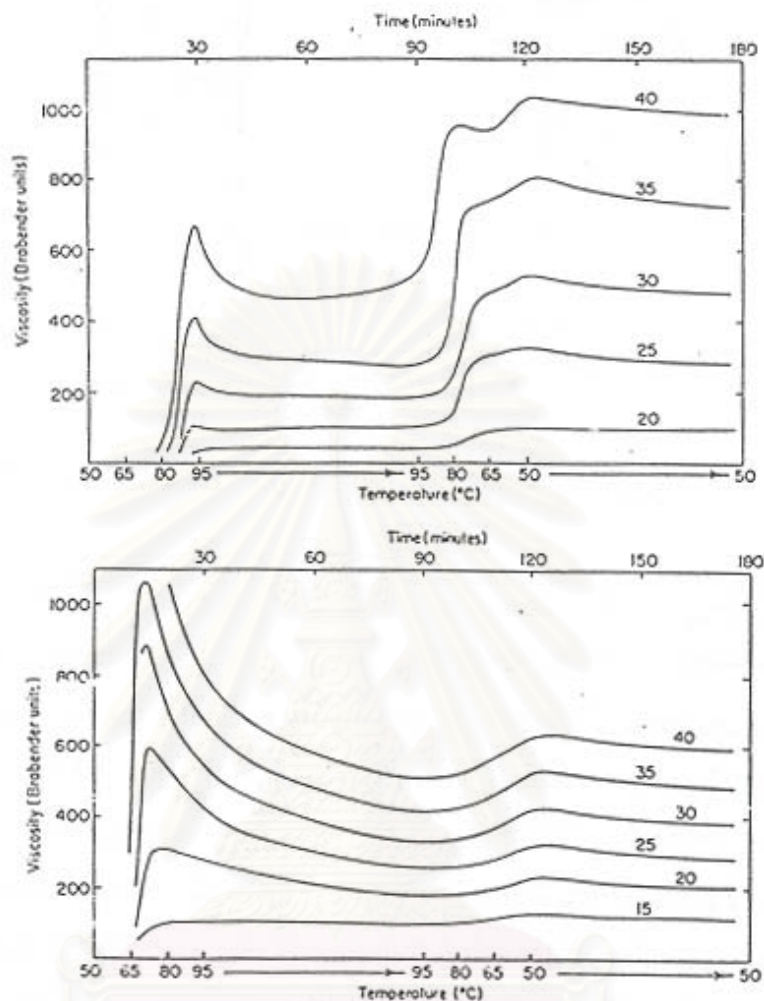
Mazurs และคณะ (1957) ได้เสนอจุดวิกฤต 5 จุดบน viscoamylogram (รูปที่ 2.8) คือ ความหนืดสูงสุด (peak viscosity หรือจุด A) ความหนืดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส (จุด B) ความหนืดหลังจากคงที่ไว้ที่ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง (จุด C) จุดที่ความหนืดเท่ากับ 50 องศาเซลเซียส (จุด D) และจุดสุดท้ายคือที่ความหนืด 50 องศาเซลเซียสหลังจากคงที่ไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (จุด E) นอกจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้แล้ว Leelavathi และคณะ (1987) ได้เสนอวิธีจำแนกแบ่งจากพีชต่างๆ โดยจะพิจารณาจุดสำคัญ คือ peak viscosity (P) hot paste viscosity (H) cold paste viscosity (C) คำนวณค่า breakdown (H/P) setback (C/P) total setback (C/H) และ relative breakdown $\{(P-H)/(C/H)\}$ แต่ในงานวิจัยนี้จะวิเคราะห์ผลของ Brabender viscoamylogram โดยพิจารณาจาก

- pasting temperature หรืออุณหภูมิที่ความหนืดเริ่มปรากฏ แสดงถึงการเกิดเจลลาตินในชั้น
- peak viscosity คือ ความหนืดสูงสุดของน้ำแป้ง เป็นจุดที่เม็ดสตาร์ชพองตัวเต็มที่
- peak temperature คืออุณหภูมิที่ความหนืดของน้ำแป้งสูงสุด หรืออุณหภูมิที่เกิด peak viscosity จะเรียกช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ที่ความหนืดเริ่มปรากฏจนความหนืดมีค่าสูงกว่าช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลลาตินในเซชัน หรือ gelatinized temperature range
- ค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ซึ่งให้เห็นถึงความยากง่ายในการหุงต้ม

- ค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส หลังจากคงไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นระยะเวลาหนึ่ง ในการทดลองนี้ใช้เวลา 20 นาที จุดนี้จะชี้ให้เห็นถึงความคงตัวของน้ำแป้งสุก
- ค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ชี้ให้เห็นถึงการเกิดรีโทรเกรเดชัน เนื่องจากการทำให้เย็น
- ค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส หลังจากคงไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นระยะเวลาหนึ่ง ในการทดลองนี้ใช้เวลา 20 นาที จุดนี้จะชี้ให้เห็นถึงความคงตัวของน้ำแป้งสุกที่ผ่านการให้ความร้อน แล้วนำมาทำให้เย็น
- Breakdown เป็นค่าแสดงถึงเสถียรภาพต่อแรงเฉือนของเม็ดสตาร์ชขณะพองตัว มีการคิดคำนวณแตกต่างกันไป เช่น เป็นผลต่างระหว่างค่า peak viscosity กับความหนืดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส หลังจากคงที่ที่อุณหภูมินี้ไว้ระยะเวลาหนึ่ง (Halick และ Kelly, 1959; Deffenbaug และ Walker, 1989) หรือผลต่างระหว่างความหนืดเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสกับความหนืดสุดท้ายของอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส (Mazurs และคณะ, 1957) ซึ่งเป็นที่นิยมกันมาก แต่การคำนวณโดยใช้วิธีนี้จะเกิดปัญหา ในกรณีที่ความหนืดที่อุณหภูมิเริ่มต้น 95 องศาเซลเซียส หรือ peak viscosity มีค่าต่ำกว่าความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส จะทำให้ได้ค่า breakdown ติดลบ ซึ่งทำให้เกิดปัญหาเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงคำนวณค่า breakdown จากผลหารระหว่าง peak viscosity กับค่าความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ซึ่งถ้าแบ่งมีค่านี้ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 1 แสดงว่าเม็ดสตาร์ชขณะพองตัวมีเสถียรภาพหรือความทนต่อแรงเฉือนต่ำ โดยถ้าสูงกว่า 1 มาก เม็ดสตาร์ชก็จะทนต่อแรงเฉือนต่ำมาก หรือมีเสถียรภาพของเม็ดสตาร์ชต่ำมากนั่นเอง
- Setback เป็นค่าที่แสดงถึงการเกิดรีโทรเกรเดชัน หรือการคืนตัวของสตาร์ช มักคำนวณโดยใช้ผลต่างระหว่างความหนืดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส กับ peak viscosity ซึ่งการคำนวณโดยใช้วิธีนี้อาจให้ค่าติดลบ ในกรณีที่ความหนืดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสมีค่าต่ำกว่า peak viscosity จะทำให้เกิดปัญหาในการวิเคราะห์ผลทางสถิติ ดังนั้นงานวิจัยนี้จะพิจารณาการเกิดรีโทรเกรเดชันโดยใช้ค่าผลหารระหว่างความหนืดที่อุณหภูมิเริ่มต้น 50 องศาเซลเซียสกับค่า peak viscosity ถ้าค่า setback ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 1 แสดงว่าแป้งไม่มี setback หรือไม่เกิดรีโทรเกรเดชัน แต่ถ้าค่า setback สูงกว่า 1 แสดงว่าแป้งชนิดนี้เกิดรีโทรเกรเดชัน โดยถ้าค่ายังสูงกว่า 1 มาก ก็จะเกิดรีโทรเกรเดชันหรือการคืนตัวของสตาร์ชมาก

การศึกษาความหนืดด้วยเครื่อง Brabender viscoamylograph นอกจากจะวิเคราะห์ผลด้านความหนืด ยังสามารถใช้อธิบายการเกิดเจลลาติในเซชันหรือการเกิดรีโทรเกรเดชันได้ ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เครื่องมือชนิดนี้ในการติดตามวัดความหนืด เพื่อนำผลที่ได้มาอธิบายถึงปรากฏการณ์การ

เกิดเจลลาคีโนซ์และการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งข้าว ในที่นี้จะพบว่าแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียวจะมี viscoamylogram ที่แตกต่างกัน แสดงดังรูปที่ 2.9

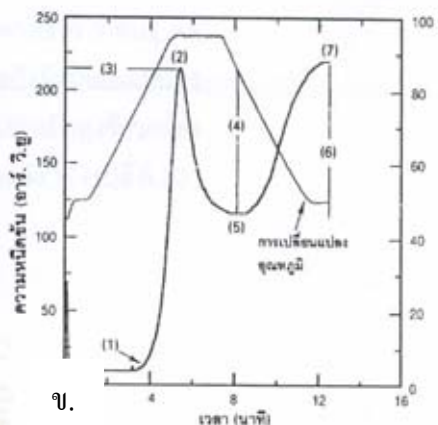


รูปที่ 2.9 Brabender viscoamylograph ของแป้งข้าวเจ้า (รูปบน) และแป้งข้าวเหนียว (รูปล่าง) ทางการค้ำที่ความเข้มข้นต่างๆ ตัวเลขบนกราฟแต่ละเส้นจะบอกถึงน้ำหนักของแป้งที่นำมาละลาย ในน้ำ 500 มิลลิลิตร แล้วนำเข้าเครื่อง Brabender viscoamylogram โดยใช้วิธีของ Mazurs และคณะ, 1957 (ที่มา: Schoch, 1967)

นอกจากเครื่อง Brabender viscoamylograph แล้วยังมีเครื่อง Rapid Visco Analyser (RVA) ที่ใช้ในการศึกษาด้านความหนืด และการเกิดเจลลาคีโนซ์ได้โดยเครื่อง Rapid Visco Analyser (RVA) เป็นเครื่องมือสำหรับประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่จะต้องพิจารณาความหนืดขณะที่ให้ความร้อน คุณสมบัติพิเศษคือ มีความสามารถในการเปลี่ยนระดับอุณหภูมิ สามารถทำให้ร้อนและเย็นได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว สามารถรักษาอุณหภูมิให้คงที่ได้ จึงทำให้สามารถหา pasting curve ได้ภายใน 13 นาที เนื่องจากมีกลไกการส่งผ่านความร้อนที่ดีกว่า และใช้ปริมาณตัวอย่างน้อยกว่า ซึ่งการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA จะได้กราฟดังนี้



ก.

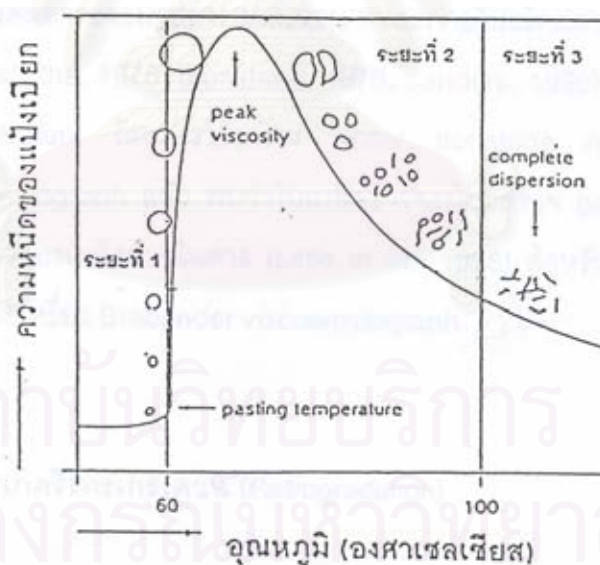


ข.

รูปที่ 2.10 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA
 ก. เครื่องRVA
 ข. กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA
 (ที่มา: อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

การเกิดเจลาตินในเซชัน (Gelatinization)

การเกิดเจลาตินในเซชันอาจแบ่งได้เป็น 3 ระยะ อธิบายได้ตามรูปที่ 2.11 ดังนี้คือ



รูปที่ 2.11 ระยะในการเกิดเจลาตินในเซชันของเม็ดสตาร์ช (ที่มา: Sander, 1996)

ระยะที่ 1 เป็นระยะที่น้ำแป้งไม่ละลายในน้ำเย็น เกิดการดูดซึมน้ำเย็นและการพองตัวอย่างจำกัด ความหนืดของสารแขวนลอยไม่เพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด เม็ดสตาร์ชคงรักษารูปร่างและโครงสร้าง birefringence ได้ ระยะที่ 2 คือ เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งจนมีอุณหภูมิสูงพอที่จะทำให้พันธะไฮโดรเจนหรือ water bridge คลายตัวลง ร้างแหวะหว่างโมเลกุลภายในเม็ดสตาร์ชอ่อนแอลง

เม็ดสตาร์ชจะดูดน้ำและพองตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำบริเวณรอบเม็ดสตาร์ชเหลือน้อยลง เม็ดสตาร์ชเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น จึงเกิดความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว น้ำแป้งมีความใสเพิ่มขึ้น สตาร์ชที่ละลายได้เริ่มละลายออกมา เม็ดสตาร์ชมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และโครงสร้าง birefringence หายไปเรียกว่า gelatinized temperature นิยมตรวจสอบด้วยเครื่อง Kofler hot-stage microscope ซึ่งจะติดตามการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและโครงสร้าง birefringence ของเม็ดสตาร์ชเมื่อถูกให้ความร้อน โดยสังเกตผ่านกล้องจุลทรรศน์ แต่ถ้าตรวจวัดด้วยเครื่อง Brabender viscoamylograph จะเรียกอุณหภูมินี้ว่า อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงการเกิดความหนืด หรือ pasting temperature เมื่อเกิดการเจลาติไนเซชันพบว่าความหนืดของน้ำแป้งจะสูงสุดที่อุณหภูมิหนึ่ง ซึ่งถือว่าเป็นอุณหภูมิที่เม็ดสตาร์ชพองตัวได้สูงสุด เรียกอุณหภูมิ ณ จุดนี้ว่า peak temperature และเรียกความหนืดสูงสุดที่เกิดขึ้นว่า peak viscosity เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาต่อไปอีกจะทำให้โครงสร้างภาพเม็ดสตาร์ชถูกทำลาย ส่งผลให้ความหนืดลดลง ถ้ามีการให้ความร้อนต่อไป ความหนืดจะลดลงเรื่อยๆจนเข้าสู่ระยะที่ 3 ซึ่งพบว่าเม็ดสตาร์ชจะมีรูปร่างไม่แน่นอน พันธะภายในเม็ดสตาร์ชเกิดการแตกออกอย่างสมบูรณ์ (Olkku และ Rha, 1978; Blanshard, 1979; Sanders, 1996) นอกจากการตรวจสอบ gelatinized temperature โดยการใช้เครื่อง Kofler hot-stage microscope และเครื่อง Brabender viscoamylograph แล้ว พบว่าในเมล็ดข้าวจะนิยมตรวจ gelatinized temperature โดยวัดค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในด่าง (Little และคณะ, 1958) สำหรับในงานวิจัยนี้จะตรวจวัดการเกิดเจลาติไนเซชันด้วยเครื่อง Brabender viscoamylograph

ผลิตภัณฑ์น้ำสลัด

น้ำสลัดหรือสลัดครีม คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผสมน้ำมันพืชและ/หรือไขมันพืชกับไข่แดงให้เป็นเนื้อเดียวกันหรือเกิดอิมัลชัน (emulsion) และปรุงรสด้วยน้ำตาล น้ำส้มสายชู และส่วนประกอบอื่นๆ ที่ใช้ปรุงแต่งรสอาหาร ลักษณะทั่วไปของน้ำสลัดจะมีสีขาวนวล มีลักษณะเหลวค่อนข้างข้น เป็นเนื้อเดียวกัน มีปริมาณไขมันทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 30 ถึง 65 โดยน้ำหนัก และมีความเป็นกรดต่ำไม่เกิน 4.1 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2540)

น้ำสลัดเป็นอิมัลชันที่มีการกระจายตัวแบบน้ำมันในน้ำ (oil-in-water emulsion) โดยมีน้ำที่ได้จากน้ำส้มสายชู และไข่เป็นตัวกลาง (continuous phase) ให้เกิดการกระจายตัวของเม็ดน้ำมันขนาดเล็ก (Dispersed phase) (McClements, 1999) นอกจากนี้ ไข่ยังทำหน้าที่เป็นสารช่วยกระจายตัว (emulsifier) โดยส่วนของไข่แดงจะประกอบด้วยไลโปโปรตีน (lipoproteins) และไข่ขาวมีอัลบูมิน (albumin) ที่ทำให้ไข่มีคุณสมบัติเป็นสารช่วยกระจายตัวได้ (Ford และคณะ, 1997) การกระจายตัวของน้ำมันและของเหลวจะอยู่ตัวได้นานมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้เก็บผลิตภัณฑ์ ความเข้มข้นของสารช่วยกระจายตัว ความเป็นกรดเป็นด่าง ประจุบน

อนุภาคน้ำมัน ปริมาณสารแขวนลอยและสารที่มีลักษณะเป็นผง เช่น แป้งและเครื่องเทศต่างๆ ที่ผสมอยู่ในน้ำสลัด เป็นต้น (ศิริลักษณ์ สินธวาลัย, 2525) ความข้นหนืด (viscosity) ของน้ำสลัดจะขึ้นกับขนาดและปริมาณของเม็ดน้ำมัน (oil droplet) หากเม็ดน้ำมันมีขนาดเล็กและมีปริมาณมาก น้ำสลัดที่ได้จะมีความข้นหนืดมาก (Ford และคณะ, 1997)

วัตถุดิบที่ใช้ผลิตน้ำสลัด

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำสลัด ได้แก่ น้ำมันพืช ไข่แดง น้ำส้มสายชู และเครื่องปรุงรส นอกจากนี้ในการผลิตน้ำสลัดไขมันต่ำ อาจมีการใช้สารให้ความคงตัว (stabilizer) สารทดแทนไขมัน (fat substitute) และสารอิมัลซิไฟเออร์อื่นร่วมด้วย

น้ำมัน น้ำมันที่ใช้ผลิตน้ำสลัด ได้แก่ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันมะกอก น้ำมันข้าวโพด น้ำมันดอกทานตะวัน และน้ำมันเมล็ดฝ้าย การผลิตน้ำสลัดโดยทั่วไปนิยมใช้น้ำมันถั่วเหลือง เนื่องจากมีราคาถูกและไม่เป็นไขเมื่อเก็บที่อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส จากการทำน้ำมันถั่วเหลืองมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณมาก จึงป้องกันการเสถียรภาพของอิมัลชันเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่ำ (Wiess, 1970)

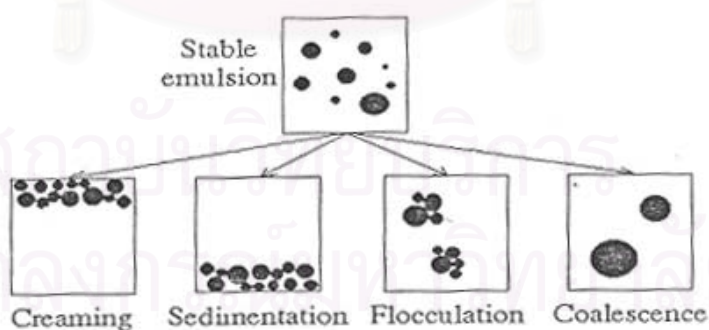
ไข่ เป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตอิมัลชัน โดยไข่แดงทำหน้าที่เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ ประกอบด้วย เลซิธิน (lecithin) ร้อยละ 60 เซฟาลิน (cephalin) ร้อยละ 25 (Matz, 1972) เลซิธิน ทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ เนื่องจากในโมเลกุลของเลซิธินมีส่วนที่เป็นกรดไขมันสายยาว ซึ่งมีสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิกคือไม่ชอบน้ำ และส่วนที่เป็นหมู่ฟอสเฟต จะมีสมบัติเป็นไฮโดรฟิลิกคือชอบน้ำ ดังนั้นใน oil: water system จะมีเลซิธินแทรกตัวอยู่ที่ oil: water interfaces โดยมีส่วนที่เป็นโพลาร์หรือไฮโดรฟิลิกละลายอยู่ในน้ำ และส่วนที่เป็นไฮโดรโฟบิกหรือลิพอฟิลิกละลายอยู่ในน้ำมัน ดังนั้นโมเลกุลของเลซิธินจึงทำหน้าที่ เป็นตัวกั้นอยู่ระหว่างผิวของหยดน้ำมันกับน้ำ ป้องกันไม่ให้หยดน้ำมันมารวมตัวกัน ทำให้อิมัลชันมีความคงตัวได้ดี (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548) โดยไข่ที่ใช้ อาจเป็นไข่สด ไข่ผง หรือไข่แช่แข็ง ไข่สดจะให้เนื้อสัมผัสอ่อน แต่อาจแข็งขึ้นเมื่อเก็บไว้นาน (Kilgore, 1935)

กรดอินทรีย์ กรดอินทรีย์ที่ใช้ในน้ำสลัด นอกจากให้กลิ่นรสแล้วยังเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ป้องกันการเสถียรจากจุลินทรีย์ โดยทั่วไปนิยมใช้น้ำส้มสายชู ซึ่งมีกรดอะซิติกที่สามารถลดความต้านทานความร้อนของ *Salmonella sp.* ที่ปนเปื้อน (Weiss, 1983)

น้ำสลัดที่ดีควรมีความเสถียร (stability) ของอิมัลชันสูง กล่าวคือ ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลาสั้น การสูญเสียความเสถียรของอิมัลชันเกิดจาก 2 สาเหตุ คือ จากแรง

โน้มถ่วงของโลก ซึ่งจะทำให้อิมัลชันเกิดการตกตะกอน (sedimentation) หรือเกิดการลอยตัว (creaming) นอกจากนี้ ยังเกิดได้จากการที่เม็ดน้ำมันเคลื่อนที่เข้าใกล้กันมาก จนทำให้เกิดการเกาะกลุ่ม (flocculation) หรือการรวมตัว (coalescence) กันได้ ดังแสดงในภาพที่ 2.12 (McClements, 1999) การป้องกันการเสียความเสถียรของอิมัลชันสามารถทำได้ดังนี้

- ลดความแตกต่างระหว่างความหนาแน่น (density) ของทั้ง 2 เฟส เช่น เพิ่มความหนาแน่นให้แก่เม็ดน้ำมัน โดยการผสมน้ำมันพืชที่ผ่านการเติมหมู่โบรมีนเข้าไป (น้ำมันชนิดนี้มีมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ) จึงทำให้ความหนาแน่นโดยรวมของน้ำมันมีค่าใกล้เคียงกับน้ำ เป็นต้น
- ลดขนาดเม็ดน้ำมันลงให้มากที่สุด ขนาดเม็ดน้ำมันที่เล็กจะถูกดึงดูดด้วยแรงโน้มถ่วงได้น้อย ทำให้ตกตะกอนได้ยาก การลดขนาดเม็ดน้ำมันสามารถทำได้โดยการเพิ่มประสิทธิภาพการโฮโมจิไนเซชันให้ดียิ่งขึ้น
- เพิ่มความเข้มข้นของเม็ดน้ำมัน เมื่อมีปริมาณเม็ดน้ำมันที่มากเพียงพอ เม็ดน้ำมันจะเรียงตัวต่อกันแน่นไม่สามารถขยับไปมาได้ นี่เป็นสาเหตุที่มายของเนสสามารถทนต่อการลอยตัวได้มากกว่าน้ำสลัด
- ปรับอัตราการเกาะกลุ่มของเม็ดน้ำมัน ในอิมัลชันที่มีความหนืดต่ำ เม็ดน้ำมันที่เกาะกลุ่มกันจะเป็นการเพิ่มขนาดของเม็ดน้ำมันทางอ้อม ทำให้กลุ่มเม็ดน้ำมันดังกล่าวตกตะกอน หรือลอยตัวได้ง่ายขึ้น แต่ในอิมัลชันที่มีความหนืดสูง การเกาะกลุ่มกันกลับเป็นผลดีเนื่องจากสามารถลดการเคลื่อนที่ของเม็ดน้ำมันลงได้ (McClements และคณะ, 1999)



รูปที่ 2.12 ลักษณะการสูญเสียความเป็นอิมัลชันของน้ำสลัด 4 รูปแบบ (ที่มา: McClements และคณะ, 1999)

สารทดแทนไขมัน

สารทดแทนไขมันเป็นสารที่ผลิตจากโปรตีนหรือคาร์โบไฮเดรตที่มีสมบัติให้ความลื่น ความหนืด การปลดปล่อยกลิ่นรสภายในปาก แต่ให้พลังงานต่ำกว่าไขมัน (Anon, 1989) การผลิตสารที่ใช้เป็นตัวแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ต่างๆ ทำได้ค่อนข้างยาก เพราะนอกจากสมบัติที่กล่าวมาแล้ว ไขมันยังมีผลกระทบต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของอาหารและปฏิกิริยาทางด้านเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตอาหาร อาทิ ช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์ขนมอบมีความนุ่ม โดยทำหน้าที่เป็นตัวหล่อลื่น (lubricant) ป้องกันไม่ให้เกิดการพัฒนาของกลูเตนมากไปในช่วงการขึ้นรูป และไขมันช่วยเพิ่มปริมาตรระหว่างการอบ โดยการช่วยกักเก็บฟองอากาศไว้ในก้อนโด (dough) นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันการเคลื่อนที่ของน้ำจากโปรตีนไปยังเม็ดแป้ง ชะลอการสุกของแป้งจึงป้องกันการแข็งตัวของผลิตภัณฑ์ได้ สารทดแทนไขมันแบ่งตามแหล่งที่มาได้ 3 ประเภท คือ สารที่ผลิตจากโปรตีน (protein-based substitute) ไขมัน (fat-based substitute) และคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate-based substitute) แต่ที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์น้ำสลัด ได้แก่ สารทดแทนไขมันจากโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต (Anon, 1989)

สารทดแทนไขมันที่ทำมาจากโปรตีนชนิดที่ใช้กันแพร่หลาย คือ ซิมเพลส[®] (Simplese[®]) ให้พลังงานเพียง 1-2 กิโลแคลอรีต่อกรัม ผลิตมาจากไข่ขาวและ/หรือ โปรตีนหางนมโดยกระบวนการไมโครพาคิวเลชัน (microparticulation) ซึ่งใช้ความร้อนและแรงเฉือนสูง ทำให้โปรตีนที่แข็งตัวเป็นรูปทรงกลมขนาดเล็กกว่าที่ลื่นจะรู้สึกได้ จึงทำให้เกิดความรู้สึกขึ้นเป็นครีมเหมือนลักษณะที่ได้จากไขมัน ซิมเพลส[®] สามารถใช้ในผลิตภัณฑ์นม รวมทั้งผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่มีไขมันเป็นส่วนผสมหลัก ได้แก่ ไอศกรีม โยเกิร์ต ชีสสเปรด ครีมชีส ครีมเปรี้ยว น้ำสลัดน้ำใส ของเนส และเนยเทียม (Anon, 1989) นอกจากนี้ยังมีไฟบรีม[®] (Fibrime[®]) ที่ผลิตได้จากโปรตีนถั่วเหลืองและมีสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ จึงเหมาะที่จะใช้ในอาหารที่มีปริมาณไขมันต่ำ (Buss, 1993)

สารทดแทนไขมันที่ทำมาจากคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ กัม (gum) แป้งดัดแปร (modified starch) และมอลโทเดกซ์ทริน (maltodextrin) จากแป้งชนิดต่างๆ เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งข้าวโพด (Hui, 1996) แป้งข้าว (Chun และคณะ, 1997) เป็นต้น

กัมเป็นอนุภาคที่กระจายตัวได้ดีในน้ำและไม่ละลายในส่วนของน้ำมัน กัมจะให้ความหนืดแก่อิมัลชันและบางชนิดให้ลักษณะเจลแก่ผลิตภัณฑ์ ป้องกันไม่ให้อาหารแขวนลอยตกตะกอนและป้องกันไม่ให้อนุภาคภายในจับตัวกันทำให้อิมัลชันมีเสถียรภาพดี (Glücksman, 1982) กัมที่ใช้ได้ในอาหารมีหลายชนิด ได้แก่ กัวร์กัม (guar gum) โลคัสบีนกัม (locust bean gum) แซนแทนกัม (xanthan gum) กัมอะคาเซีย (gum acacia) และกัมทาร์กาคานท์ (gum targacant) ชนิดที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทอิมัลชัน ได้แก่ แซนแทนกัม (Tanaka และ Fukuda, 1976)

มอลโทเดกซ์ทรินทางการค้าที่ใช้ในอาหาร ผลิตจากแป้งชนิดต่างๆ ที่ผ่านการย่อยสลายด้วยกรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) กรดซัลฟิวริก (sulfuric acid) หรือเอนไซม์อไมเลส (amylase) จนมีค่าสมมูลย์เดกซ์โตรส (dextrose equivalent; DE) ไม่เกิน 15 (Armbruster, 1974) มอลโทเดกซ์ทรินที่ผลิตทางการค้าและที่นิยมใช้ในน้ำสลัด ได้แก่ มอลทริน[®] 040 (Maltrin[®] 040) เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ไม่มีรสหวาน ได้จากการย่อยแป้งข้าวโพดแล้วทำให้แห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer) ไม่มีกลิ่นรส ให้ความรู้สึกเนียนในปาก ไม่เหนียวเหนอะหนะ และให้พลังงานเพียง 4 กิโลแคลอรีต่อกรัม

แป้งดัดแปร คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำแป้งธรรมชาติ (native starch) เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่งมาเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและ/หรือ ฟิสิกส์ โดยใช้เอนไซม์ และ/หรือ สารเคมีชนิดต่างๆ แป้งดัดแปรที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทอิมัลชัน คือ แป้งข้าวโพด ซึ่งประกอบด้วยเอมิโลสร้อยละ 27 และเอมิโลเพกตินร้อยละ 73 จะเกิดเจลที่มีความหนืดต่ำขณะร้อน และจะแข็งขึ้นเมื่อทำให้เย็น (Watson, 1967) เม็ดแป้งข้าวที่มีอนุภาคขนาดเล็กจนมีขนาดใกล้เคียงกับไมเซลล์ของไขมันในอาหาร สามารถนำมาใช้เป็นส่วนทดแทนไขมันในอาหารได้ เนื่องจากการมีขนาดที่เล็กใกล้เคียงกันจะให้ความรู้สึกต่อเนื้อสัมผัส (texture) และความรู้สึกเมื่ออยู่ในปาก (mouthfeel) ใกล้เคียงกับไขมันในอาหาร (Chun และคณะ, 1997)

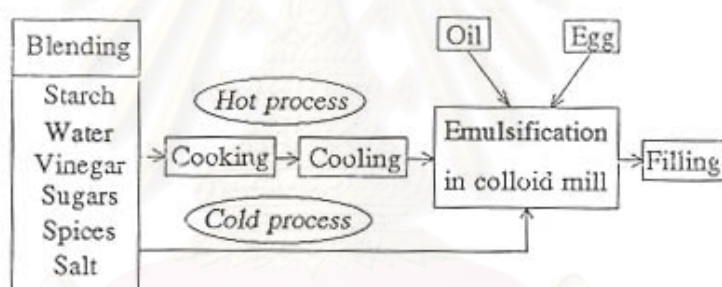
การประยุกต์อนุภาคแป้งขนาดเล็กเป็นส่วนทดแทนไขมัน

อนุภาคแป้งที่มีขนาดเล็กจนกระทั่งมีขนาดใกล้เคียงกับขนาดของเม็ดไขมัน (ประมาณ 2 ไมครอน) สามารถนำมาใช้เป็นส่วนทดแทนไขมันในอาหารได้ (Daniel และ Whistler, 1990) สารทดแทนไขมันที่ทำมาจากแป้งในปัจจุบันเป็นแป้งที่ผ่านการดัดแปรด้วยวิธีทางเคมีและเอนไซม์ ทำให้แป้งมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) ได้ดีขึ้น จนทำให้เกิดลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์และความรู้สึกเมื่ออยู่ในปากคล้ายคลึงกับผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันได้ (Roller, 1996) สารทดแทนไขมันที่ได้จากแป้งและคาร์โบไฮเดรตที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์น้ำสลัดมีหลายชนิด เช่น Maltrin, Paselli, N-Oil ซึ่งจัดเป็นมอลโทเดกซ์ทรินทั้งสิ้น นอกจากนี้ยังมีสารทดแทนไขมันที่ได้จากแป้งชนิดอื่นอีก เช่น Stellar และ Amalean I เป็นต้น (Jones, 1996)

นอกจากสารทดแทนไขมันที่ทำมาจากแป้งและคาร์โบไฮเดรตแล้ว ยังมีสารทดแทนไขมันชนิดอื่น ได้แก่ สารทดแทนไขมันที่ทำมาจากโปรตีน มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ แต่สามารถใช้ทดแทนไขมันได้เพียงบางส่วน สารทดแทนไขมันในกลุ่มนี้ ได้แก่ Complete Milk Protein, Lita และ Nutrilac เป็นต้น และสารทดแทนไขมันชนิดที่เป็นไขมัน สามารถละลายได้ในไขมัน มีคุณสมบัติทางกายภาพและกลิ่นรสที่เหมือนกับไขมัน จึงสามารถทดแทนไขมันได้ทั้งหมด แต่ให้

ปริมาณพลังงานที่ต่ำกว่าไขมันจริง ได้แก่ Olestrin และ Veri-lo 100 เป็นต้น (Drake, Boylston และ Swanson, 1996; Jones, 1996; Singer, 1996)

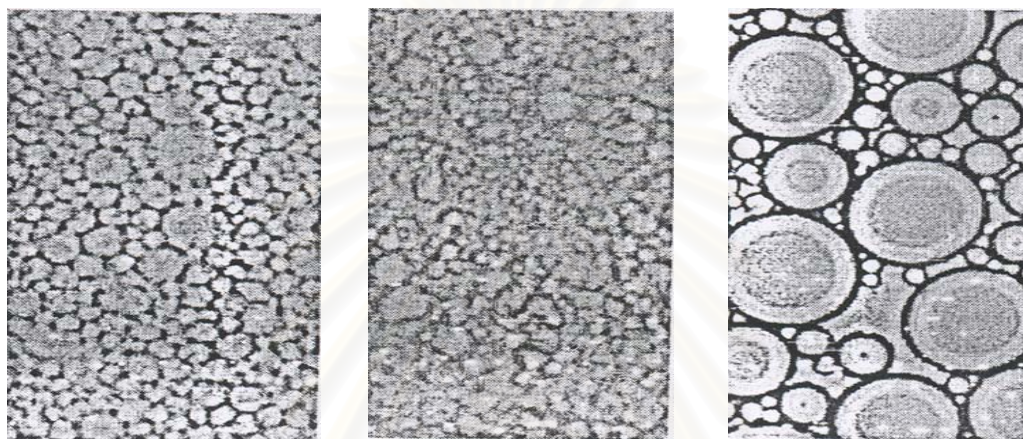
เมื่อปริมาณไขมันในน้ำสลัดลดลง ปัญหาที่ตามมาคือ สัดส่วนของน้ำหรือตัวกลางภายในน้ำสลัดจะเพิ่มขึ้น จำนวนเม็ดน้ำมันในน้ำสลัดจะลดลง ซึ่งจะมีผลทำให้น้ำสลัดมีความข้นหนืดและความเสถียรลดลง สามารถแก้ไขได้โดยการเติมสารที่เพิ่มความหนืด เช่น แป้งหรือสารแขวนลอยอื่น เช่น กัม (gum) เพื่อไปสร้างลักษณะเนื้อ (body) ความคงตัว (consistency) และความเสถียรให้เพิ่มขึ้นได้ ในการผลิตน้ำสลัดในอุตสาหกรรม โดยทั่วไปจะผสมแป้งที่ผ่านการให้ความร้อนเพื่อให้เกิดเจลาตินในเซชันในระดับที่เหมาะสมจากนั้นจึงลดอุณหภูมิลงจนเย็น (Hot process) แล้วจึงนำไปเป็นส่วนผสมในน้ำสลัด เพื่อช่วยลดปริมาณไขมันที่ต้องผสมในน้ำสลัดลง ในบางกรณีกระบวนการผลิตที่ไม่ต้องการใช้ความร้อน (Cold process) ก็สามารถใส่แป้งพรีเจลาตินในซีที่ให้ความหนืดในน้ำเย็นแทนการใช้แป้งดิบได้ ขั้นตอนการผลิตน้ำสลัดในอุตสาหกรรมแสดงไว้ในภาพที่ 2.13 (Cock และ Vanhemelrijck, 1995)



รูปที่ 2.13 ขั้นตอนการผลิตน้ำสลัดในอุตสาหกรรม (ที่มา: Cock และ Vanhemelrijck, 1995)

นอกจากการใช้แป้งที่ผ่านการเจลาตินในเซชันหรือแป้งพรีเจลาตินในซีเป็นตัวเพิ่มความคงตัวให้แก่ น้ำสลัดแล้ว การแทนที่ไขมันโดยการเติมอะมิโลเดกซ์ทริน (amylodextrin) ซึ่งอะมิโลเดกซ์ทรินเป็นเดกซ์ทรินเชิงเส้นที่มีค่า DP เท่ากับ 35 (Te Wierik และคณะ, 1993) ก็สามารถทำได้ น้ำสลัดที่มีความคงตัวอยู่ในเกณฑ์ที่ดีได้ Chun และคณะ (1997) ศึกษาการนำอะมิโลเดกซ์ทรินจากแป้งข้าวไปใช้เป็นส่วนทดแทนไขมันในมายองเนส พบว่า ขนาดของอะมิโลเดกซ์ทรินจากแป้งข้าวมีขนาดเล็ก สม่่าเสมอ ใกล้เคียงกับขนาดของเม็ดน้ำมันในมายองเนส เมื่อผลิตเป็นมายองเนสแล้วจะให้มายองเนสที่มีขนาดเม็ดน้ำมัน ความข้นหนืด และมีความเสถียร ใกล้เคียงกับมายองเนสไขมันเต็ม ภาพการกระจายตัวของเม็ดน้ำมันในมายองเนสไขมันร้อยละ 80 (รูปที่ 2.14 ก.) มายองเนสที่ผลิตด้วยไขมันร้อยละ 40 และทดแทนไขมันที่ลดลงไปด้วยสารละลายข้าวความเข้มข้นร้อยละ 10.53 (รูปที่ 2.14 ข.) และมายองเนสที่ผลิตด้วยไขมันร้อยละ 40 และทดแทนไขมันที่ลดลงไปด้วยสารละลายอะมิโลเดกซ์ทรินความเข้มข้นร้อยละ 25 (รูปที่ 2.14 ค.)

เม็ดแป้งธรรมชาติที่เดิมมีขนาดใหญ่ สามารถลดขนาดให้ได้เป็นอนุภาคขนาดเล็กลงได้ ก่อนที่จะนำมาใช้ทดแทนไขมันในอาหาร อนุภาคแป้งขนาดเล็กที่มีโครงสร้างผลึกสูง เมื่อนำมาทดสอบการละลายจะได้สารละลายที่มีลักษณะเป็นครีมที่มีความเสถียรเป็นระยะเวลานาน เนื่องจากขนาดอนุภาคที่เล็กมากจึงทำให้ยากแก่การตกตะกอน เมื่อทดสอบความสามารถในการเป็นสารทดแทนไขมัน พบว่า อนุภาคแป้งขนาดเล็กที่มีโครงสร้างผลึกสูงสามารถรวมตัวอยู่ในเฟสของน้ำ และผลึกไขมันอยู่ในเฟสน้ำมัน ขนาดอนุภาคที่เล็กมากทำให้ครีมที่ได้มีเนื้อเนียนเรียบ และมีลักษณะเนื้อสัมผัสและความรู้สึกเมื่ออยู่ในปากใกล้เคียงกับไขมัน (Jane และคณะ, 1992)



ก.

ข.

ค.

รูปที่ 2.14 การกระจายตัวของเม็ดน้ำมันในมายองเนส

ก. มายองเนสที่มีไขมันร้อยละ 80

ข. มายองเนสที่ผลิตด้วยไขมันร้อยละ 40 และทดแทนไขมันที่ลดลงไปด้วยสารละลายข้าวความเข้มข้นร้อยละ 10.53

ค. มายองเนสที่ผลิตด้วยไขมันร้อยละ 40 และทดแทนไขมันที่ลดลงไปด้วยสารละลายอะมิโลเดกซ์ทรินความเข้มข้นร้อยละ 25

(ที่มา: Chun และคณะ, 1997)

ในการแทนที่ไขมันในน้ำสลัดนั้น นอกจากสมบัติเฉพาะ เช่น ความหนืด ความคงตัว และขนาดเม็ดน้ำมันในน้ำสลัดจะเปลี่ยนแปลงไปได้แล้ว น้ำสลัดที่ได้จากการแทนที่ไขมันอาจสูญเสียคุณลักษณะที่ดีบางประการของน้ำสลัดปกติไป ได้แก่ สี ความเป็นมันเงา เนื้อสัมผัสและกลิ่นรสของไขมัน (Fat flavor) ที่เป็นกลิ่นรสที่จำเป็นของอาหารประเภทนี้ (Charles และคณะ, 2000) ดังนั้นการพัฒนาสูตรต่างๆ เพื่อเพิ่มการยอมรับของผู้บริโภค จึงเป็นเรื่องสำคัญที่ควรศึกษาต่อไป

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

- ข้าวสาร 3 พันธุ์ แบ่งเป็นข้าวเจ้า 2 พันธุ์ และข้าวเหนียว 1 พันธุ์ ดังนี้
พันธุ์ข้าวเจ้า คือ
 - ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวเจ้าที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ จากศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี
 - ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 เป็นข้าวเจ้าที่มีปริมาณแอมิโลสสูง จากศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานีพันธุ์ข้าวเหนียว คือ
 - ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร เป็นข้าวเหนียว ซึ่งมีปริมาณแอมิโลสต่ำมาก จากศูนย์วิจัยข้าวสกลนคร
- วัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมน้ำสัลด
 - น้ำมันถั่วเหลือง ตรา อุ่น
 - ไข่แดง ของ บริษัท ซีพี
 - น้ำส้มสายชูกลั่น 5% ตรา ภูเขาทอง

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวัวร์ข้าวและสตาร์ชข้าว

- แอมิโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง AR grade
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) AR grade
- เอทิลแอลกอฮอล์ (C_2H_5OH) AR grade
- กรดอะซิติก (CH_3COOH) AR grade
- ไอโอดีน (I_2) AR grade
- โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) AR grade
- กรดบอริก (H_3BO_3) AR grade
- Selenium reagent mixture AR grade
- กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) AR grade
- กรดไฮโดรคลอริก (HCl) AR grade
- เมธิลีนบลู ($C_{16}H_{18}ClN_3S$) AR grade
- เมธิลเรด ($C_{13}H_{15}N_3O_2$) AR grade

สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมสตาร์ช เตรียมและวิเคราะห์คุณสมบัติของสตาร์ชดัดแปร

- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) AR grade
- กรดไฮโดรคลอริก (HCl) AR grade
- ซูโครส (C₁₂H₂₂O₁₁) AR grade
- ไอโอดีน (I₂) AR grade
- โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) AR grade
- น้ำกลั่น

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำสกัด

- สีย้อม Oil Red O AR grade
- ไอโซโพรพานอล AR grade
- เดกซ์ทรินจากแป้งข้าวโพด AR grade

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการแปรรูปข้าวสารเป็นฟลาวัวร์ และสตาร์ช

- เครื่องบด Pin mill รุ่น NSB-6, ประเทศไทย
- เครื่องปั่นเหวี่ยง Hettich รุ่น ROTANTA 460R, Germany
- เครื่องปั่น Pensonic รุ่น PB-330, มาเลเซีย
- ตะแกรงร่อน
- ตู้อบ tray dryer รุ่น HA-100s, บริษัท เขียวเฮง จำกัด, ประเทศไทย
- ตู้อบลมร้อน รุ่น D 06062 Model 600, บริษัท Memmert, ประเทศไทย
- Magnetic stirrer รุ่น M21/1 บริษัท Scientific Promotion
- Magnetic bar
- เครื่องวัดค่า pH HORIBA รุ่น F-21
- เครื่องชั่งหยاب ทศนิยม 3 ตำแหน่ง Sartorius รุ่น BP 310S
- เครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง Mettler Toledo รุ่น AB 204

เครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมและวิเคราะห์คุณสมบัติของสตาร์ชดัดแปร และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวัวร์ข้าวและสตาร์ชข้าว

- เครื่องปั่นเหวี่ยง Hettich รุ่น ROTANTA 460R, Germany
- เครื่องปั่น Pensonic รุ่น PB-330, มาเลเซีย
- ตะแกรงร่อน ขนาด 100 mesh

- ตู้อบลมร้อน รุ่น D 06062 Model 600, บริษัท Memmert, ประเทศไทย
- เครื่องวัดค่า pH HORIBA รุ่น F-21
- เครื่องชั่งหยاب ทศนิยม 3 ตำแหน่ง Sartorius รุ่น BP 310S
- เครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง Mettler Toledo รุ่น AB 204
- อ่างน้ำไฟฟ้าแบบควบคุมอุณหภูมิได้ บริษัท Memmert, ประเทศไทย
- เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง รุ่น Spectronic 20 Genesys, USA
- เครื่องย่อยในการวิเคราะห์โปรตีน BUCHI digestion unit รุ่น K-424, สวิตเซอร์แลนด์
- เครื่องกลั่นในการวิเคราะห์โปรตีน BUCHI distillation unit รุ่น B-324, สวิตเซอร์แลนด์
- เครื่อง Brabender Viscoamylograph รุ่น D-4100, Germany

เครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมน้ำสกัด และวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำสกัด

- เครื่องปั่นผสมอาหาร Bamix รุ่น M133 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
- เครื่องวัดความหนืด Brookfield Viscometer รุ่น RVTD-model DV-I บริษัท Scientific Promotion
- เครื่องปั่นเหวี่ยง Hettich รุ่น EBA 21, Germany
- กล้องจุลทรรศน์ แบบใช้แสงธรรมดา ยี่ห้อ Olympus กำลังขยาย 100 เท่า

ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 สมบัติทางเคมีของฟลาวัวร์ข้าว

เตรียมฟลาวัวร์ข้าวโดยวิธีไม่เปียก โดย

นำข้าวสารทั้ง 3 พันธุ์ใส่น้ำในอัตราส่วน 1: 2 และแช่ไว้ 24 ชั่วโมง บดด้วยเครื่องบด (Pin mill รุ่น NSB-6, ประเทศไทย) แล้วนำมาร้อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh และปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (Hettich รุ่น ROTANTA 460R, Germany) ที่ความเร็ว 9500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที และอบให้แห้งด้วยตู้อบ tray dryer (บริษัท เขียวเฮง จำกัด รุ่น HA-100s, ประเทศไทย) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำฟลาวัวร์ข้าวที่ได้มาปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น (Pensonic รุ่น PB-330, ประเทศมาเลเซีย) และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh จะได้ฟลาวัวร์ข้าว หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมี ดังนี้

3.1.1 ปริมาณแอมิโลส

วิเคราะห์ปริมาณแอมิโลสที่เป็นองค์ประกอบของฟลาวัวร์ข้าว ทั้ง 3 พันธุ์ โดยตัดแปลงจากวิธีของ Juliano (1971) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก

3.1.2 ปริมาณโปรตีน

วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของฟลาวัวร์ข้าว ทั้ง 3 พันธุ์ โดยเครื่อง BUCHI digestion unit และเครื่อง BUCHI distillation unit ตามวิธีของ AOAC (1995) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก

3.1.3. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

โดยวางแผนการทดลองทางสถิติ แบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design) 3 ซ้ำ และวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochan และ Cox, 1957)

3.2 สมบัติทางเคมีและกายภาพของสตาร์ชข้าว

เตรียมสตาร์ชข้าว

เตรียมสตาร์ชข้าว โดยตัดแปลงจากวิธีของ Lumdubwong และ Seib (2000) โดยนำฟลาวัวร์ข้าวทั้ง 3 พันธุ์ จากข้อ 3.1 น้ำหนัก 157.5 กรัม เดิมโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ ปริมาตร 450 มิลลิลิตร กวนตลอดเวลาด้วย magnetic stirrer เป็นเวลา 3 ชั่วโมงและปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (Hettich รุ่น ROTANTA 460R, Germany) ที่ความเร็ว 9500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง แล้วปรับ pH ให้เป็นกลาง ด้วย HCl 1 N และปั่นเหวี่ยงเอาสารละลายทิ้ง ที่ความเร็ว 9500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที และล้างด้วยน้ำกลั่นอีก 2 ครั้ง หลังจากนั้นนำสตาร์ชข้าวที่ได้มาอบให้แห้งด้วยตู้อบ tray dryer (บริษัท เขียวเฮง จำกัด รุ่น HA-100s, ประเทศไทย) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดอาหาร Pensonic รุ่น PB-330 ประเทศมาเลเซีย ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh จะได้สตาร์ชข้าว และนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี หาขนาดอนุภาคของสตาร์ช และอุณหภูมิในการเกิดเจลาคีโนเซชัน ดังนี้

3.2.1 ปริมาณแอมิโลส

วิเคราะห์ปริมาณแอมิโลสที่เป็นองค์ประกอบของสตาร์ชข้าวทั้ง 3 พันธุ์ โดยดัดแปลงจากวิธีของ Juliano (1971) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก

3.2.2 ปริมาณโปรตีน

วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของสตาร์ชข้าวทั้ง 3 พันธุ์ โดยเครื่อง BUCHI digestion unit และเครื่อง BUCHI distillation unit ตามวิธีของ AOAC (1995) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก

3.2.3 ขนาดอนุภาคของเม็ดสตาร์ช

วิเคราะห์ขนาดอนุภาคของสตาร์ชข้าวทั้ง 3 พันธุ์ โดยเครื่อง particle size analyzer (Mastersizer 2000, Malvern Instrument Ltd, Worcestershire, UK). ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.4 การเกิดเจลลาตินในเซชัน

ศึกษาอุณหภูมิที่ทำให้เกิดเจลลาตินในเซชันของสตาร์ชข้าวทั้ง 3 พันธุ์ โดยเตรียมสตาร์ชข้าวความเข้มข้นร้อยละ 6 (โดยน้ำหนัก) และศึกษาอุณหภูมิที่ทำให้เกิดเจลลาตินในเซชันด้วยเครื่อง Brabender Viscoamylograph ตามวิธีของ Mazurs และคณะ (1957) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข

3.2.5 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองทางสถิติ แบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design) ทดลอง 3 ซ้ำ และวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochan และ Cox, 1957)

3.3 การย่อยสตาร์ชข้าวด้วยกรดไฮโดรคลอริก

นำสตาร์ชข้าวทั้ง 3 พันธุ์ จากข้อ 1.2 มาตัวอย่างละ 30 กรัม ใส่กรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้นร้อยละ 4 น้ำหนัก 70 กรัม บ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4, 8 และ 12 ชั่วโมง และนำมาปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (Hettich รุ่น ROTANTA 460R, Germany) ที่ความเร็ว 9,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง แล้วปรับ pH ให้เป็นกลาง ด้วย

NaOH 1 N และปั่นเหวี่ยงเอาสารละลายทิ้งที่ความเร็ว 9,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ล้างด้วยน้ำกลั่นอีก 2 ครั้ง นำสารที่ตัดแปรที่ได้มาหาขนาดอนุภาคของสาร และเกิดการเกิดเจลลิตในเซชัน

3.3.1 ขนาดอนุภาคของสารข้าวตัดแปร

วิเคราะห์ขนาดอนุภาคของสารข้าวตัดแปร ด้วยเครื่อง particle size analyzer (Mastersizer 2000, Malvern Instrument Ltd, Worcestershire, UK). ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เลือกภาวะในการตัดแปรที่ได้ขนาดอนุภาคของสารข้าวทั้ง 3 พันธุ์ที่มีขนาดเล็กที่สุด โดยวางแผนการทดลองทางสถิติ แบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design) 3 ซ้ำ และวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochan และ Cox, 1957)

3.3.2 การเกิดเจลลิตในเซชัน

ศึกษาอุณหภูมิที่ทำให้เกิดเจลลิตในเซชันของสารข้าวตัดแปรทั้ง 3 พันธุ์ โดยเตรียมสารข้าวตัดแปรความเข้มข้นร้อยละ 35 (โดยน้ำหนัก) และศึกษาอุณหภูมิที่ทำให้เกิดเจลลิตในเซชันด้วยเครื่อง Brabender Viscoamylograph ตามวิธีของ Mazurs และคณะ (1957) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข และวางแผนการทดลองทางสถิติ แบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design) 3 ซ้ำ และวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochan และ Cox, 1957)

3.4 การทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์น้ำสลัดด้วยสารละลายสารข้าวและสารละลายสารข้าวตัดแปร

3.4.1 เตรียมน้ำสลัดสูตรพื้นฐาน

น้ำสลัดที่ใช้เป็นสูตรต้นแบบในการทดลองนี้ คือ น้ำสลัดสูตรไขมันเต็มที่เตรียมในห้องปฏิบัติการ มีส่วนผสมคือ น้ำมันถั่วเหลือง ไข่แดง น้ำส้มสายชู โดยตัดแปลงจากสูตรและวิธีการเตรียมของ วรวงศ์มา สงวนพงษ์ (2544) โดยมีขั้นตอนดังนี้

เตรียมน้ำสลัดสูตรไขมันเต็มที่มีส่วนผสมดังนี้ น้ำมันถั่วเหลือง 60 กรัม ไข่แดง 10 กรัม และน้ำส้มสายชู 9 กรัม โดยผสมไข่แดงและน้ำส้มสายชูให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นผสมอาหาร (bamix รุ่น M133, ประเทศสวีเดน) ที่ความเร็วต่ำ เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นเติมน้ำมันถั่วเหลืองทีละน้อยจนหมดขณะปั่นด้วยเครื่องปั่นผสมอาหารที่ความเร็วสูง เป็นเวลา 5 นาที

3.4.2 การทดแทนไขมันในน้ำสลัดด้วยสารละลายสตาร์ชข้าวและสารละลายสตาร์ชข้าว ดัดแปร

น้ำสลัดสูตรแทนที่ไขมันด้วยสารละลายสตาร์ชข้าว และสารละลายสตาร์ชข้าว
ดัดแปรทั้ง 3 พันธุ์ที่ได้จาก ข้อ 3.3.1 ความเข้มข้นร้อยละ 40 (w/w) โดยระดับการแทนที่ไขมัน
ร้อยละ 15, 30, 45 และ 60 มีส่วนประกอบ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ปริมาณส่วนประกอบในน้ำสลัดสูตรแทนที่ไขมันด้วยสารละลายสตาร์ชข้าว และ
สารละลายสตาร์ชข้าวดัดแปรที่ระดับการแทนที่ไขมันระดับต่างๆ

ระดับการแทนที่ ไขมัน (ร้อยละ)	น้ำมันถั่วเหลือง (กรัม)	สารละลายสตาร์ชข้าว		
		หรือสารละลายสตาร์ช ข้าวดัดแปรความเข้มข้น ร้อยละ 40 (กรัม)	ไข่แดง (กรัม)	น้ำส้มสายชู (กรัม)
0	60	0	10	9
15	51	9	10	9
30	42	18	10	9
45	33	27	10	9
60	24	36	10	9

เตรียมเจลสตาร์ชข้าว และเจลสตาร์ชข้าวดัดแปรโดยนำสตาร์ชข้าวและสตาร์ชข้าว
ดัดแปรพันธุ์สกลนคร พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์สุพรรณบุรี 1 เติมน้ำให้ได้ความเข้มข้น
ร้อยละ 40 (w/w) โดยน้ำที่เติมสตาร์ชข้าวและสตาร์ชข้าวดัดแปรพันธุ์สกลนคร มีอุณหภูมิ 70 องศา
เซลเซียส พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีอุณหภูมิ 80
องศาเซลเซียส นำสารละลายสตาร์ชข้าวและสตาร์ชข้าวดัดแปรมาทวนในอ่างน้ำที่อุณหภูมิเดียวกับ
อุณหภูมิ น้ำที่เติมจนกระทั่งเริ่มหนืดและคนต่อไป 2 นาที จะได้ของเหลวข้น และนำมาผสมในน้ำ
สลัด โดยปั่นไข่แดงและน้ำส้มสายชูให้เข้ากันก่อน จากนั้นใส่สารละลายสตาร์ชที่ผ่านการให้ความ
ร้อนข้างต้นและปั่นให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นผสมอาหารที่ความเร็วต่ำ เป็นเวลา 3 นาที และเติมน้ำมัน
ถั่วเหลืองที่ละน้อยจนหมดขณะปั่นให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นอาหารด้วยความเร็วสูง เป็นเวลา 5 นาที

นำน้ำสลัดสูตรไขมันเต็ม และน้ำสลัดที่แทนที่ไขมันด้วยสารละลายสตาร์ชข้าว
และสารละลายสตาร์ชข้าวดัดแปรความเข้มข้นร้อยละ 40 มาวิเคราะห์คุณสมบัติดังนี้

ค่าความหนืดของน้ำสลัด

วัดค่าความหนืดของน้ำสลัดด้วยเครื่อง Brookfield Viscometer ตามวิธี Chun และคณะ (1997) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก

ค่าความคงตัวของน้ำสลัด

ปั่นเหยียงน้ำสลัดด้วยเครื่องปั่นเหยียง Hettich รุ่น EBA 21, Germany ที่ความเร็ว 3,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สังเกตลักษณะการแยกชั้นที่เกิดขึ้น คัดแปลงจากวิธีของ Chun และคณะ (1997) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก

รูปร่างและขนาดของอนุภาคน้ำมันในน้ำสลัด

ตรวจสอบรูปร่างและขนาดของอนุภาคน้ำมันด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงธรรมดา ยี่ห้อ Olympus กำลังขยาย 100 เท่า โดยย้อมสีเมื่อน้ำมันในน้ำสลัดด้วยสีย้อม Oil Red O ตามวิธีของ Flint (1994) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค

เลือกน้ำสลัดจากข้อ 3.4.2 ที่มีคุณสมบัติไม่แตกต่างจากน้ำสลัดสูตรไขมันเต็ม โดยวางแผนการทดลองทางสถิติ แบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design) ทดลอง 3 ซ้ำ และวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochan และ Cox, 1957)

การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Scoring test ผู้ทดสอบ 15 คน รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ง เลือกน้ำสลัดที่มีคุณสมบัติไม่แตกต่างจากน้ำสลัดสูตรไขมันเต็ม โดยนำคะแนนรวมจากผู้ทดสอบทุกคนมาวิเคราะห์แบบหาค่าความแปรปรวน (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างตามแบบ Tukey's test (ปราชญ์ อ่านเปรื่อง, 2547)

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การเตรียมสตาร์ชข้าว

4.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวร์ข้าว

ในการแปรรูปข้าวสารเป็นฟลาวร์ข้าวใช้วิธีการบดแบบโม่เปียก เพื่อแยกโปรตีนบางส่วนออกไป และการโม่เปียกยังช่วยไม่ให้เม็ดสตาร์ชเสียหายในขณะบด (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547) ซึ่งฟลาวร์ข้าวทั้ง 3 พันธุ์มีปริมาณแอมิโลสและปริมาณโปรตีน ดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ปริมาณแอมิโลสในฟลาวร์ข้าวทั้ง 3 พันธุ์

ชนิดฟลาวร์ข้าว	ปริมาณแอมิโลส (%)
ฟลาวร์ข้าวเหนียว พันธุ์สกลนคร	2.75 ± 0.13 ^c
ฟลาวร์ข้าวหอมมะลิ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105	12.48 ± 0.22 ^b
ฟลาวร์ข้าวเจ้า พันธุ์สุพรรณบุรี 1	32.33 ± 0.34 ^a

หมายเหตุ: a, b และ c คือ ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกัน แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

จากการทดลอง พบว่า ฟลาวร์ข้าวทั้ง 3 พันธุ์มีปริมาณแอมิโลสต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยฟลาวร์ข้าวพันธุ์สกลนคร เป็นฟลาวร์ข้าวเหนียว ฟลาวร์ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณแอมิโลสต่ำ ซึ่งเป็น ฟลาวร์ข้าวที่มีแอมิโลสต่ำ และฟลาวร์ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีปริมาณแอมิโลสสูง ซึ่งเป็นฟลาวร์ข้าวเจ้าที่มีแอมิโลสสูง ซึ่งได้ผลสอดคล้องกับงานชิ้น คงเสรี (2539) และ Juliano (1993) คือ ข้าวเหนียวมีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 0-5 ข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ เท่ากับร้อยละ 12.4-20.0 และข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูง เท่ากับ มากกว่าร้อยละ 25 ขึ้นไป

Varavinit และคณะ (2003) ศึกษาปริมาณแอมิโลสของฟลาวร์ข้าวพันธุ์ข้าวเหนียว กข 6 ได้ร้อยละ 4.47 ฟลาวร์ข้าวหอมมะลิ มีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 14.63 และฟลาวร์ข้าวพันธุ์เขียวปราจีนบุรี มีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 26.42 ซึ่งเป็นข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูง

ตารางที่ 4.2 ปริมาณโปรตีน (%) ในฟลาวร์ข้าวทั้ง 3 พันธุ์

ชนิดฟลาวร์ข้าว	ปริมาณโปรตีน (%)
ฟลาวร์ข้าวเหนียว พันธุ์สกลนคร	6.21 ± 0.01 ^a
ฟลาวร์ข้าวหอมมะลิ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105	6.24 ± 0.01 ^a
ฟลาวร์ข้าวเจ้า พันธุ์สุพรรณบุรี 1	4.72 ± 0.05 ^b

หมายเหตุ: a, b คือ ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกัน แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

จากการทดลอง พบว่า ฟลาวร์ข้าวเหนียว พันธุ์สกลนคร มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 6.21 ฟลาวร์ข้าวหอมมะลิ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 6.24 ซึ่งแตกต่างจากฟลาวร์ข้าวเจ้า พันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 4.72 งานวิจัยของ Juliano และคณะ (1964) ซึ่งรายงานถึงปริมาณโปรตีนของข้าวสารหลายพันธุ์ไว้ โดยมีปริมาณโปรตีนในช่วงร้อยละ 6.5 ถึง 13.3

Varavinit และคณะ (2003) ศึกษาปริมาณโปรตีนของฟลาวร์ข้าวพันธุ์ข้าวเหนียว กข 6 ได้ร้อยละ 7.99 ฟลาวร์ข้าวหอมมะลิซึ่งมีปริมาณแอมิโลสต่ำ มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 8.79 และฟลาวร์ข้าวพันธุ์เขียวปราจีนบุรีซึ่งมีปริมาณแอมิโลสสูง มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 7.19

โดยทั่วไปปริมาณโปรตีนในข้าวสารเฉลี่ยแล้วมีปริมาณร้อยละ 7 (Athwal, 1975) แต่พบว่าปริมาณโปรตีนในฟลาวร์ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ย ซึ่งปริมาณโปรตีนใน ฟลาวร์ข้าวขึ้นอยู่กับปริมาณการใส่ธาตุไนโตรเจน โดยมีงานวิจัยหลายงานที่ยืนยันว่าธาตุไนโตรเจนมีอิทธิพลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณโปรตีนภายในเมล็ดข้าว เมื่อให้ปริมาณธาตุไนโตรเจนกับต้นข้าวเพิ่มขึ้น ปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวจะเพิ่มขึ้นด้วย (บุญลักษณ์ วงศ์สุทธาชิน และคณะ, 2517; ตติยสิทธิ์ 2538; Vergara, 1979; Mosse, Huet และ Baudet, 1988; Islam และคณะ, 1996; Perez และคณะ, 1996) โดยต้นข้าวจะดูดซึมธาตุไนโตรเจนจากดินร้อยละ 1.27 ถึง 2.0 ไปใช้ในการสร้างโปรตีนดังกล่าวไปยังเมล็ดในขณะที่ข้าวออกรวง (Mosse และคณะ, 1988)

4.1.2 องค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพของสตรัซข้าว

สตรัซข้าวทั้ง 3 พันธุ์มีปริมาณแอมิโลส ปริมาณ โปรตีน ขนาดอนุภาค และอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีในเซชัน ดังตารางที่ 4.3, 4.4, 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ปริมาณแอมิโลสในสตรัซข้าวทั้ง 3 พันธุ์

ชนิดสตรัซข้าว	ปริมาณแอมิโลส(%)
สตรัซข้าวเหนียว พันธุ์สกลนคร	3.06 ± 0.19 ^c
สตรัซข้าวหอมมะลิ พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105	15.52 ± 1.41 ^b
สตรัซข้าวเจ้า พันธุ์สุพรรณบุรี1	33.39 ± 0.53 ^a

หมายเหตุ: a, b และ c คือ ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกัน แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

จากการทดลอง พบว่า สตรัซข้าวทั้ง 3 พันธุ์มีปริมาณแอมิโลสต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยสตรัซข้าวพันธุ์สกลนคร ซึ่งเป็นสตรัซข้าวเหนียว สตรัซข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 มีปริมาณแอมิโลสต่ำ ซึ่งเป็นสตรัซข้าวที่มีแอมิโลสต่ำ และสตรัซข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี1 มีปริมาณแอมิโลสสูง ซึ่งเป็นสตรัซข้าวเจ้าที่มีแอมิโลสสูง และได้ผลสอดคล้องกับงานชิ้น คงเสรี (2539) และ Juliano (1993)คือ ข้าวเหนียวมีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 0-5 ข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ เท่ากับร้อยละ 12.4-20.0 และข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูง เท่ากับ มากกว่าร้อยละ 25 ขึ้นไป

Noosuk และคณะ (2003) ศึกษาปริมาณแอมิโลสของสตรัซข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ได้ร้อยละ 2.56 สตรัซข้าวหอมมะลิพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 มีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 15.12 และสตรัซข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 33.08

ตารางที่ 4.4 ปริมาณโปรตีน (%) ของสตรัซข้าว ทั้ง 3 พันธุ์

ชนิดสตรัซข้าว	ปริมาณโปรตีน (%)
สตรัซข้าวเหนียว พันธุ์สกลนคร	0.79 ± 0.00 ^a
สตรัซข้าวหอมมะลิ พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105	0.40 ± 0.01 ^c
สตรัซข้าวเจ้า พันธุ์สุพรรณบุรี 1	0.75 ± 0.00 ^b

หมายเหตุ: a, b และ c คือ ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกัน แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

จากการทดลอง พบว่า สตาร์ชข้าวทั้ง 3 พันธุ์มีปริมาณโปรตีนต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยสตาร์ชข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 0.79 สตาร์ชข้าวหอมมะลิพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 0.40 และสตาร์ชข้าวเจ้า พันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 0.75 ซึ่งปริมาณโปรตีนลดลงจากฟลาวร์ข้าวเนื่องจากขั้นตอนการเตรียมสตาร์ชเป็นการสกัดโปรตีนออก ดังนั้นโปรตีนจึงลดลง ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับงานวิจัยของ Noosuk และคณะ (2003) ซึ่งศึกษาปริมาณโปรตีนของสตาร์ชข้าวที่ผ่านการสกัดโปรตีนโดยสารละลายต่าง พบว่า สตาร์ชข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 0.64 สตาร์ชข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 0.70 และสตาร์ชข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 0.79 ซึ่งการลดปริมาณโปรตีนในฟลาวร์ข้าวจะเพิ่มความหนืด (Lim และคณะ, 1999) และปริมาณโปรตีนมีความสัมพันธ์ในเชิงตรงข้ามกับความหนืดสูงสุด และความหนืดขณะร้อน (Tan และ Corke, 2002)

ตารางที่ 4.5 ขนาดอนุภาคของสตาร์ชทั้ง 3 พันธุ์

ชนิดสตาร์ชข้าว	ขนาดอนุภาคสตาร์ชเฉลี่ย (μm)
สตาร์ชข้าวพันธุ์สกลนคร	6.44 ± 0.95^b
สตาร์ชข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105	5.09 ± 1.02^b
สตาร์ชข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1	8.18 ± 0.23^a

หมายเหตุ: a, b คือ ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มนี้เดียวกัน แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

จากการทดลอง พบว่า สตาร์ชข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีขนาดเล็กที่สุด รองลงมาคือ สตาร์ชข้าวพันธุ์สกลนคร และสตาร์ชข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ตามลำดับ ซึ่งโดยทั่วไปเมล็ดแป้งข้าวจะมีขนาดเล็กอยู่ในช่วง 2-8 ไมครอน (Maningat และ Seib, 1992) และได้ผลใกล้เคียงกับ Noosuk และคณะ (2003) ซึ่งศึกษาขนาดอนุภาคของเมล็ดสตาร์ชข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 สตาร์ชข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และสตาร์ชข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ได้เท่ากับ 5.29 5.80 และ 6.02 ไมครอน ตามลำดับ

ตารางที่ 4.6 อุณหภูมิในการเกิดเจลลิตในเซชันของสตาร์ชข้าวทั้ง 3 พันธุ์

ชนิดสตาร์ชข้าว	อุณหภูมิในการเกิดเจลลิตในเซชัน ($^{\circ}\text{C}$)
สตาร์ชข้าวพันธุ์สกลนคร	70.05 ± 0.40^c
สตาร์ชข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105	72.18 ± 0.58^b
สตาร์ชข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี1	81.35 ± 0.05^a

หมายเหตุ: a, b และ c คือ ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกัน แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

จากการทดลองการศึกษาการเกิดเจลลิตในเซชันของสตาร์ชข้าว พบว่า สตาร์ชข้าวพันธุ์สกลนครมีอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตในเซชัน 70.05 องศาเซลเซียส สตาร์ชข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตในเซชัน 72.18 องศาเซลเซียส และสตาร์ชข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี1 มีอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตในเซชัน 81.35 องศาเซลเซียส จะเห็นว่าสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำจะมีอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตในเซชันต่ำกว่าสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูง ซึ่งจากผลการทดลอง มีค่าใกล้เคียงกับ งานวิจัยของ Noosuk และคณะ (2003) รายงานถึงอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตในเซชันของสตาร์ชข้าว 3 พันธุ์ พบว่า อุณหภูมิในการเกิดเจลลิตในเซชันของสตาร์ชข้าวเหนียวพันธุ์กข 6 เท่ากับ 67.13 องศาเซลเซียส สตาร์ชข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตในเซชัน เท่ากับ 69.88 องศาเซลเซียส และสตาร์ชข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี1 มีอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตในเซชัน เท่ากับ 78.28 องศาเซลเซียส และงานวิจัยของ Piyachomkwan และคณะ (2004) รายงาน อุณหภูมิในการเกิดเจลลิตในเซชันของสตาร์ชข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 เท่ากับ 64.5 องศาเซลเซียส สตาร์ชข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตในเซชัน เท่ากับ 65.2-72.0 องศาเซลเซียส และสตาร์ชข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี1 มีอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตในเซชัน เท่ากับ 73.3-75.5 องศาเซลเซียส

4.2 ผลของการย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่เวลาต่างกันต่อสมบัติทางกายภาพของสตาร์ชข้าวชนิดต่างกัน

จากการย่อยสตาร์ชข้าวทั้ง 3 พันธุ์ด้วยกรดไฮโดรคลอริก เป็นเวลา 4, 8 และ 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตในเซชันของสตาร์ชข้าวทั้ง 3 พันธุ์ และสตาร์ชข้าวตัดแปรมีขนาด และอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตในเซชัน ดังตารางที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.7 ขนาดอนุภาคของสตาร์ชข้าวคัดแปรทั้ง 3 พันธุ์

ระยะเวลาในการ ย่อย (ชั่วโมง)	ขนาดอนุภาคสตาร์ชข้าวคัดแปรเฉลี่ย (μm)		
	สตาร์ชข้าวพันธุ์ สกลนคร	สตาร์ชข้าวพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105	สตาร์ชข้าวพันธุ์ สุพรรณบุรี 1
4	5.52 ± 0.04^a	4.65 ± 0.09^a	5.24 ± 0.25^a
8	4.90 ± 0.44^a	4.42 ± 0.14^a	4.31 ± 0.71^b
12	5.00 ± 0.35^a	4.00 ± 0.19^b	4.21 ± 0.03^b

หมายเหตุ: a, b คือ ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันในสตาร์ชเดียวกัน แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลอง พบว่า ขนาดอนุภาคของสตาร์ชข้าวคัดแปรพันธุ์สกลนครไม่แตกต่างกันที่เวลาในการย่อยต่างกัน จึงเลือกสตาร์ชข้าวคัดแปรที่มีขนาดเล็กที่สุด และมีขนาดใกล้เคียงกัน คือ ย่อยด้วยกรด เป็นเวลา 8 ชั่วโมง มีขนาดใกล้เคียงกับ 12 ชั่วโมงจึงเลือก 8 ชั่วโมงเพราะใช้เวลาในการย่อยน้อยกว่า สำหรับสตาร์ชข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ย่อยด้วยกรด เป็นเวลา 12 ชั่วโมงมีขนาดเล็กที่สุด และสตาร์ชข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ย่อยด้วยกรด เป็นเวลา 8 ชั่วโมงและ 12 ชั่วโมงมีขนาดไม่แตกต่างกันจึงเลือก 8 ชั่วโมงเพราะใช้เวลาในการย่อยน้อยกว่า โดยรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ฉ

งานวิจัยของ Jane และคณะ (1992) ศึกษาขนาดอนุภาคของสตาร์ชข้าวโพดเมื่อย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริกพบว่า เมื่อย่อยสตาร์ชข้าวโพดด้วยกรดความเข้มข้นร้อยละ 4.3 ที่ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชม. มีขนาดเล็กลงเป็น 8.60 ± 4.68 จากเดิม เท่ากับ 17.23 ± 7.94

ตารางที่ 4.8 อุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีในเซชันของสตาร์ชข้าวคัดแปรทั้ง 3 พันธุ์

ชนิดสตาร์ชข้าวคัดแปร	อุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีในเซชัน ($^{\circ}\text{C}$)
สตาร์ชข้าวคัดแปรพันธุ์สกลนคร	67.67 ± 0.58^c
สตาร์ชข้าวคัดแปรพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105	69.33 ± 0.58^b
สตาร์ชข้าวคัดแปรพันธุ์สุพรรณบุรี 1	78.50 ± 0.50^a

หมายเหตุ: a, b และ c คือ ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกัน แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

จากการทดลองการศึกษาการเกิดเจลาตินในเซชันของสตาร์ชข้าวคัดแปร พบว่า สตาร์ชข้าวคัดแปรพันธุ์สกลนครมีอุณหภูมิในการเกิดเจลาตินในเซชัน 67.67 องศาเซลเซียส สตาร์ชข้าวคัดแปรพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีอุณหภูมิในการเกิดเจลาตินในเซชัน 69.33 องศาเซลเซียส และสตาร์ชข้าวคัดแปรพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีอุณหภูมิในการเกิดเจลาตินในเซชัน 78.50 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิในการเกิดเจลาตินในเซชันลดลงเมื่อสตาร์ชถูกย่อยด้วยกรด เนื่องจากในการย่อยเม็ดแป้งด้วยกรด ส่วนอัสติฐานจะถูกย่อย ทำให้เกิดช่องว่างภายใน น้ำสามารถแทรกตัวผ่านเข้าทำปฏิกิริยากับสายเกลียวคู่ในโครงสร้างผลึกได้ง่ายขึ้น ทำให้ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นที่ใช้ในการเกิดเจลาตินในเซชันลดลง (วรางคณา สงวนพงษ์, 2544) ซึ่งสอดคล้องกับ งานวิจัยของ Chun และคณะ (1997) ศึกษา DSC thermograms ของสตาร์ชข้าวและสตาร์ชข้าวที่ย่อยด้วยกรด เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่า อุณหภูมิในการเกิดเจลาตินในเซชัน และพลังงานในการหลอมละลายลดลงเมื่อสตาร์ชข้าวถูกย่อยด้วยกรด และอุณหภูมิในการเกิดเจลาตินในเซชันลดลงเมื่อความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้น

งานวิจัยของ วรางคณา สงวนพงษ์ (2544) ศึกษาอุณหภูมิในการเกิดเจลาตินในเซชันของแป้งมันสำปะหลังดิบ และแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการย่อยด้วยกรด เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า อุณหภูมิในการเกิดเจลาตินในเซชันของแป้งมันสำปะหลังดิบ เท่ากับ 60.80 องศาเซลเซียส และแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการย่อยด้วยกรด เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เท่ากับ 54.52 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าเมื่อแป้งมันสำปะหลังถูกย่อยด้วยกรดแล้ว อุณหภูมิในการเกิดเจลาตินในเซชันลดลง

งานวิจัยของ Chang, Lin และ Chang (2006) ศึกษาอุณหภูมิในการเกิดเจลาตินในเซชันของสตาร์ชข้าวโพด และสตาร์ชข้าวโพดที่ผ่านการย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้นร้อยละ 0.36 ในแอลกอฮอล์ที่ต่างกัน ที่ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าสตาร์ชข้าวโพดมีอุณหภูมิในการเกิดเจลาตินในเซชัน เท่ากับ 65.00 ± 0.1 และเมื่อผ่านการย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริกในเอทานอล พบว่า อุณหภูมิในการเกิดเจลาตินในเซชันลดลงเหลือ 63.60 ± 0.1 ในเมทานอลพบว่า อุณหภูมิในการเกิดเจลาตินในเซชันลดลงเหลือ 63.30 ± 0.1

การย่อยเม็ดแป้งมันฝรั่ง แป้งสาลี และแป้งข้าวโพดด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส พบว่า อุณหภูมิที่เริ่มต้นในการเกิดเจลาตินในเซชันลดต่ำลง ทำให้ช่วงการเกิดเจลาตินในเซชันกว้างขึ้น เนื่องจากกรดเข้าทำปฏิกิริยาที่ส่วนอัสติฐานทำให้น้ำเข้าถึงส่วนโครงสร้างผลึกได้ง่ายขึ้น ค่าอุณหภูมิที่เริ่มต้นในการเกิดเจลาตินในเซชันจึงลดต่ำลง นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อเม็ดแป้งถูกย่อยด้วยกรดมากขึ้น การเกิดเจลาตินในเซชันจะมีช่วงกว้างขึ้นตามไปด้วย (Morrison และคณะ, 1993; Jenkins และ Donald, 1997)

4.3 ผลการศึกษาปริมาณการแทนที่ของสารละลายสตาร์ชข้าวและสารละลายสตาร์ชตัดแปรความเข้มข้นร้อยละ 40 เพื่อทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์น้ำสลัด

วิเคราะห์สมบัติของน้ำสลัดสูตรไขมันเต็ม เปรียบเทียบกับน้ำสลัดที่แทนที่ไขมันในระดับร้อยละ 15, 30, 45 และ 60 ด้วยสารละลายสตาร์ชข้าว และสารละลายสตาร์ชข้าวตัดแปรความเข้มข้นร้อยละ 40 ทั้ง 3 พันธุ์ ดังนี้

ความหนืดและความสามารถในการอุ้มน้ำของสารละลายสตาร์ชข้าวและสารละลายสตาร์ชข้าวตัดแปรความเข้มข้นร้อยละ 40 ทั้ง 3 พันธุ์ ที่ผ่านความร้อนที่อุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีในเซชัน ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ความหนืดและความสามารถในการอุ้มน้ำของสารละลายสตาร์ชข้าวและสารละลายสตาร์ชข้าวตัดแปรความเข้มข้นร้อยละ 40 ทั้ง 3 พันธุ์ที่ผ่านความร้อนที่อุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีในเซชัน

ชนิดของสตาร์ชข้าวความเข้มข้นร้อยละ 40	ความหนืด (cPs)	ความสามารถในการอุ้มน้ำ (%)
สารละลายสตาร์ชข้าว พันธุ์สกลนคร	22,020 ± 141.42	90.39
สารละลายสตาร์ชข้าว พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105	19,750 ± 494.97	87.09
สารละลายสตาร์ชข้าว พันธุ์สุพรรณบุรี 1	8,600 ± 141.42	79.79
สารละลายสตาร์ชข้าวตัดแปร พันธุ์สกลนคร	5,525 ± 205.06	100
สารละลายสตาร์ชข้าวตัดแปร พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105	12,080 ± 141.42	100
สารละลายสตาร์ชข้าวตัดแปร พันธุ์สุพรรณบุรี 1	19,800 ± 565.69	100

จากผลการทดลอง พบว่าความหนืดของสารละลายสตาร์ชข้าว พันธุ์สกลนคร พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 และพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ผ่านความร้อนที่อุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีในเซชันเท่ากับ 22,020, 19,750 และ 8,600 cPs ตามลำดับ ความหนืดของสารละลายสตาร์ชข้าวตัดแปร พันธุ์สกลนคร พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 และพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ผ่านความร้อนที่อุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีในเซชันเท่ากับ 5,525, 12,080 และ 19,800 cPs ตามลำดับ ส่วนความสามารถในการอุ้มน้ำของสารละลายสตาร์ชข้าวพันธุ์สกลนคร พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 และพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ผ่านความร้อนที่อุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีในเซชัน โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับความคงตัวของน้ำสลัดเท่ากับร้อยละ 90.39, 87.09 และ 79.79 ตามลำดับ ความสามารถในการอุ้มน้ำของสารละลายสตาร์ชข้าวตัดแปรพันธุ์สกลนคร พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 และพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ผ่านความร้อนที่อุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีในเซชัน โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับความคงตัวของน้ำสลัดเท่ากับร้อยละ 100, 100 และ 100 ตามลำดับ

ความหนืดของน้ำสลัดสูตรไขมันเต็ม มีค่า $35,144.44 \pm 1,521.09$ cP ในขณะที่ความหนืดของน้ำสลัดที่แทนที่ไขมันในระดับร้อยละ 15, 30, 45 และ 60 ด้วยสารละลายสตาร์ชข้าว และสารละลายสตาร์ชข้าวตัดแปรความเข้มข้นร้อยละ 40 ทั้ง 3 พันธุ์ ได้ผลดังตารางที่ 4.10

จากการทดลอง พบว่า ค่าความหนืดของน้ำสลัดสูตรแทนที่ไขมันด้วยสารละลายสตาร์ชข้าวพันธุ์สกลนคร ย่อยด้วยกรด 8 ชม. สารละลายสตาร์ชข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ย่อยด้วยกรดเป็นเวลา 12 ชม. และสูตรแทนที่ไขมันด้วยสารละลายสตาร์ชข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี1 ย่อยด้วยกรดเป็นเวลา 8 ชม. ความเข้มข้นร้อยละ 40 ที่ระดับการแทนที่ร้อยละ 15 ไม่แตกต่างกับน้ำสลัดสูตรไขมันเต็ม ส่วนน้ำสลัดสูตรแทนที่ไขมันในระดับการแทนที่ร้อยละ 30 45 และ 60 มีค่าความหนืดแตกต่างจากน้ำสลัดสูตรไขมันเต็ม พบว่า การแทนที่ไขมันด้วยอนุภาคแป้งขนาดเล็กที่ระดับการแทนที่ต่างกันมีผลต่อสมบัติด้านความหนืดของน้ำสลัด โดยค่าความหนืดของน้ำสลัดจะลดต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 95 ความหนืดของน้ำสลัดที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อทำการแทนที่ไขมันด้วยน้ำแป้งที่ระดับการแทนที่ร้อยละ 10, 20 และ 30 ตามลำดับ เป็นผลเนื่องมาจากน้ำสลัดมีองค์ประกอบส่วนที่เป็นน้ำในเฟสตัวกลางเพิ่มขึ้น ขณะที่ปริมาณไขมัน ซึ่งให้สมบัติด้านความหนืดแก่น้ำสลัดลดลง (วารงคณา สงวนพงษ์, 2544) เมื่อปริมาณไขมันในน้ำสลัดลดลง ทำให้จำนวนเม็ดน้ำมันในน้ำสลัดลดลง สัดส่วนของน้ำหรือเฟสตัวกลางภายในน้ำสลัดจะเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้น้ำสลัดมีความหนืดลดลง และความเสถียรลดลง ดังตารางที่ 4.10 และ 4.11 เราสามารถเติมสารที่เพิ่มความหนืด ความคงตัว ให้แก่เฟสตัวกลางมากขึ้นเพื่อให้น้ำสลัดมีความหนืดมากขึ้น

น้ำสลัดสูตรไขมันเต็ม และน้ำสลัดที่แทนที่ไขมันในระดับร้อยละ 15, 30, 45 และ 60 ด้วยสารละลายสตาร์ชข้าว และสารละลายสตาร์ชตัดแปรทั้ง 3 พันธุ์ ความเข้มข้นร้อยละ 40 (w/w) มีค่าความคงตัวดังแสดงในตารางที่ 4.11 และรูปที่ จ1-จ6 แสดงในภาคผนวก จ

จากผลการทดลอง พบว่าค่าความคงตัวของน้ำสลัดสูตรไขมันเต็ม เท่ากับร้อยละ 100 ซึ่งมีค่าเท่ากับ น้ำสลัดสูตรแทนที่ด้วยสารละลายสตาร์ชข้าวทั้ง 3 พันธุ์ ที่ระดับการแทนที่ร้อยละ 15 และน้ำสลัดสูตรแทนที่ด้วยสารละลายสตาร์ชตัดแปรของข้าวทั้ง 3 พันธุ์ ที่ระดับการแทนที่ 15, 30, 45 และร้อยละ 60 ตามลำดับ เนื่องจากขนาดอนุภาคที่เล็กมากจึงทำให้ยากแก่การตกตะกอน ส่วนค่าความคงตัวของน้ำสลัดสูตรแทนที่ด้วยสารละลายสตาร์ชข้าวพันธุ์สกลนครที่ระดับการแทนที่ร้อยละ 30, 45 และ 60 เท่ากับ 72.929, 66.475 และ 42.476 ตามลำดับ ค่าความคงตัวของน้ำสลัดสูตรแทนที่ด้วยสารละลายสตาร์ชข้าวพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการแทนที่ร้อยละ 30, 45 และ 60 เท่ากับ 73.256, 66.632 และ 45.231 ตามลำดับ และค่าความคงตัวของน้ำสลัดสูตรแทนที่ด้วยสารละลายสตาร์ชข้าวพันธุ์ สุพรรณบุรี1 ที่ระดับการแทนที่ร้อยละ 30, 45 และ 60 เท่ากับ 77.794, 66.667 และ 53.548 ตามลำดับ ซึ่งได้ผลที่ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Chun และคณะ (1997) ศึกษาการทดแทนไขมันในมายองเนสในระดับร้อยละ 50 ด้วยอะมิโลเดกซ์ทรินที่ได้จากการย่อยสตาร์ชข้าวด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกในแอลกอฮอล์ ร้อยละ 13.25 มีความคงตัวร้อยละ 94

ตารางที่ 4.10 ความหนืดของน้ำสลัดที่แทนที่ไขมันในระดับร้อยละ 15, 30, 45 และ 60 ด้วยสารละลายสตาร์ชข้าว และสารละลายสตาร์ชตัดแปรความเข้มข้นร้อยละ 40 ทั้ง 3 พันธุ์

ชนิดของสตาร์ชข้าว	ความหนืดของน้ำสลัดที่แทนที่ไขมันในระดับ (cP)			
	15%	30%	45%	60%
สตาร์ชข้าวพันธุ์สกลนคร	22,311.11± 878.34 ^c	10,077.78± 750.06 ^f	4,722.22± 167.77 ^e	1,633.33± 120.19 ^f
สตาร์ชข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105	25,477.78± 895.26 ^b	10,077.78± 328.86 ^f	3,448.89± 50.48 ^e	1,888.89± 146.87 ^f
สตาร์ชข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี1	19,722.22± 505.89 ^d	14,700.00± 338.30 ^e	8,500± 176.38 ^d	3,933.33± 88.19 ^e
สตาร์ชข้าวพันธุ์สกลนคร ย่อยด้วยกรด เป็นเวลา 8 ชม.	37,088.89± 2,350.02 ^a	29,502.22± 1,188.56 ^d	15,533.33± 868.59 ^c	7,755.56± 300.62 ^d
สตาร์ชข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ย่อยด้วยกรด เป็นเวลา 12 ชม.	35,911.11± 1,555.04 ^a	33,111.11± 646.64 ^b	20,400.00± 1,097.47 ^b	15,800.00± 638.57 ^c
สตาร์ชข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี1 ย่อยด้วยกรด เป็นเวลา 8 ชม.	34,788.89± 1,296.29 ^a	31,355.56± 1,181.49 ^c	20,744.44± 890.90 ^b	19,066.67± 484.19 ^b

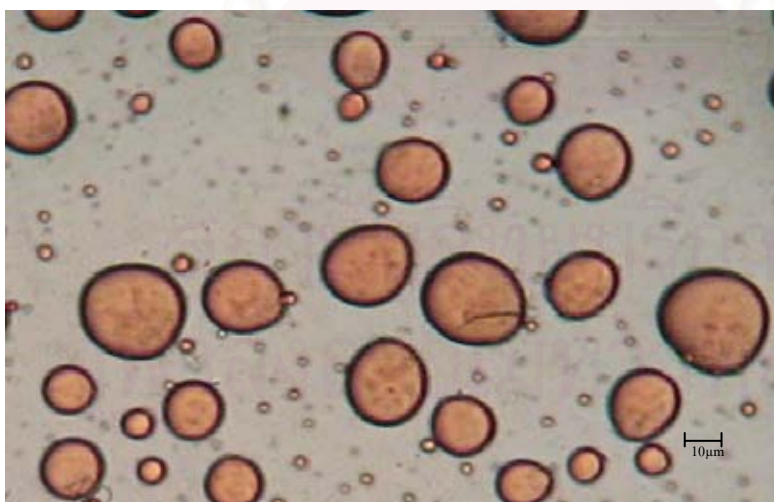
หมายเหตุ: ความหนืดของน้ำสลัดสูตรไขมันเต็ม มีค่า 35,144.44 ± 1,521.09^a cP.

a, b, c, d, e และ f คือ ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกัน แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.11 ร้อยละความคงตัวของน้ำสลัดที่แทนที่ไขมันในระดับร้อยละ 15, 30, 45 และ 60 ด้วยสารละลายสตาร์ชข้าว และสารละลายสตาร์ชตัดแปรทั้ง 3 พันธุ์ ความเข้มข้นร้อยละ 40

ชนิดของสตาร์ช	ร้อยละความคงตัวของน้ำสลัดที่แทนที่ไขมันในระดับ (%)			
	15%	30%	45%	60%
สตาร์ชข้าวพันธุ์สกลนคร	100 ± 0.00	77.56 ± 0.24	66.77 ± 0.09	53.72 ± 0.16
สตาร์ชข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105	100 ± 0.00	73.56 ± 0.30	66.65 ± 0.09	45.36 ± 0.11
สตาร์ชข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี1	100 ± 0.00	72.60 ± 0.31	66.46 ± 0.08	42.57 ± 0.09
สตาร์ชข้าวพันธุ์สกลนคร ที่ย่อยด้วยกรด เป็นเวลา 8 ชม.	100 ± 0.00	100 ± 0.00	100 ± 0.00	100 ± 0.00
สตาร์ชข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ย่อยด้วยกรด เป็นเวลา 12 ชม.	100 ± 0.00	100 ± 0.00	100 ± 0.00	100 ± 0.00
สตาร์ชข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี1 ที่ย่อยด้วยกรด เป็นเวลา 8 ชม.	100 ± 0.00	100 ± 0.00	100 ± 0.00	100 ± 0.00

รูปร่างและขนาดของอนุภาคน้ำมันของน้ำสลัดสูตรไขมันเต็ม และน้ำสลัดที่แทนที่ไขมันในระดับร้อยละ 15, 30, 45 และ 60 ด้วยสารละลายสตาร์ชข้าว และสารละลายสตาร์ชตัดแปรความเข้มข้นร้อยละ 40 ทั้ง 3 พันธุ์ โดยย้อมสีเม็ดน้ำมันในน้ำสลัดด้วยสีย้อม Oil Red O ซึ่งได้ผลดังรูปที่ 4.1

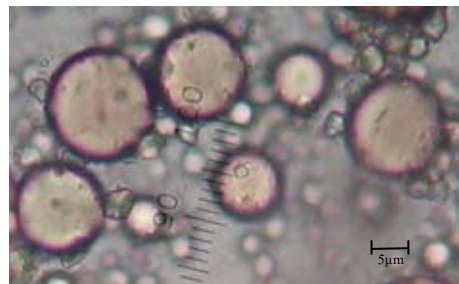


รูปที่ 4.1 รูปร่างและขนาดเม็ดน้ำมันของน้ำสลัดสูตรไขมันเต็ม

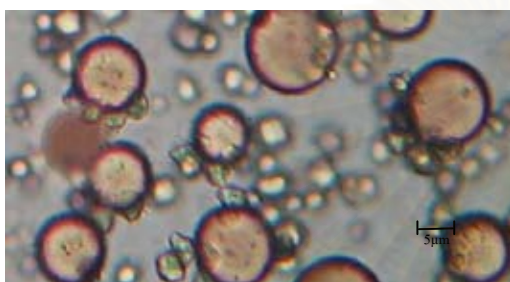
หมายเหตุ: ลักษณะเม็ดน้ำมัน ได้จากการย้อมสีด้วย Oil Red O กำลังขยาย 100 เท่า



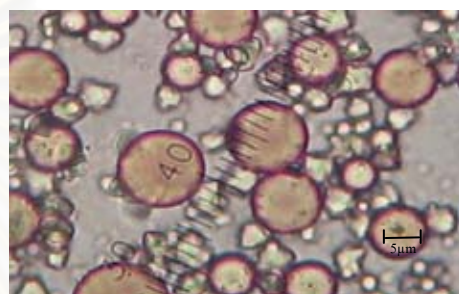
ก.



ข.



ค.



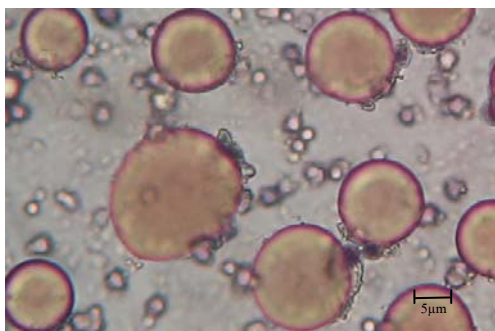
ง.

รูปที่ 4.2 รูปร่างและขนาดเม็ดน้ำมันของน้ำสลัดสูตรแทนที่ไขมันด้วยสารละลายสตาร์ชข้าว
พันธุ์สกกลนคร ความเข้มข้นร้อยละ 40

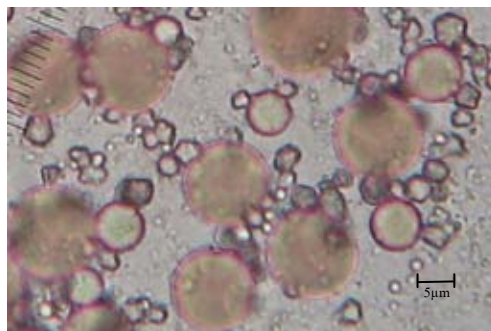
- ก. ระดับการแทนที่ร้อยละ 15
- ข. ระดับการแทนที่ร้อยละ 30
- ค. ระดับการแทนที่ร้อยละ 45
- ง. ระดับการแทนที่ร้อยละ 60

หมายเหตุ: ลักษณะเม็ดน้ำมันได้จากการย้อมสีด้วย Oil Red O กำลังขยาย 400 เท่า

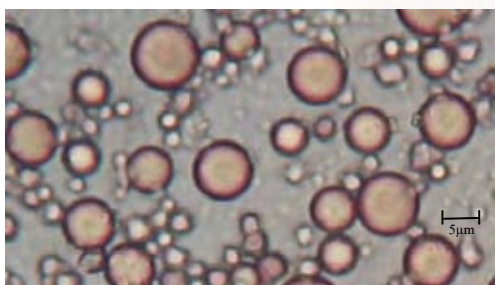
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



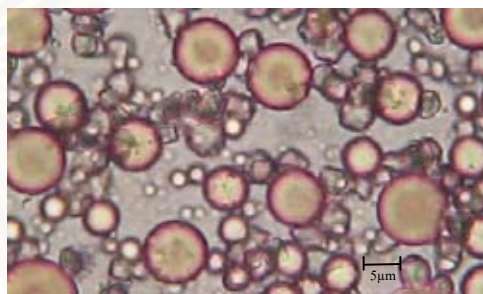
ก.



ข.



ค.



ง.

รูปที่ 4.3 รูปร่างและขนาดเม็ดน้ำมันของน้ำสลัดสูตรแทนที่ไขมันด้วยสารละลายสตาร์ชข้าว
พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ความเข้มข้นร้อยละ 40

ก. ระดับการแทนที่ร้อยละ 15

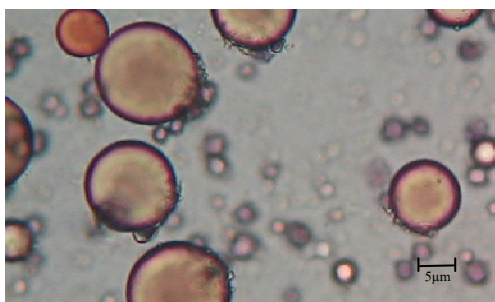
ข. ระดับการแทนที่ร้อยละ 30

ค. ระดับการแทนที่ร้อยละ 45

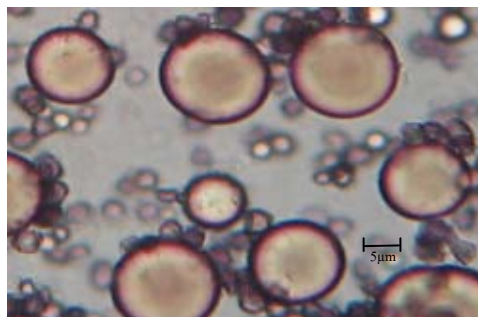
ง. ระดับการแทนที่ร้อยละ 60

หมายเหตุ: ลักษณะเม็ดน้ำมันได้จากการย้อมสีด้วย Oil Red O กำลังขยาย 400 เท่า

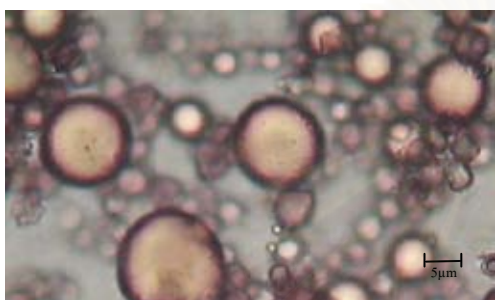
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



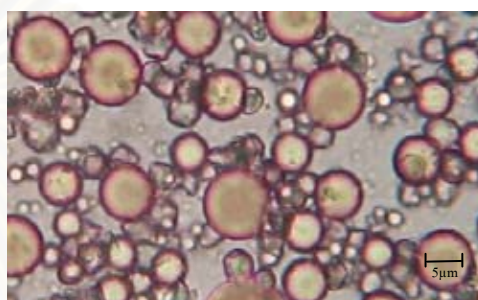
ก.



ข.



ค.



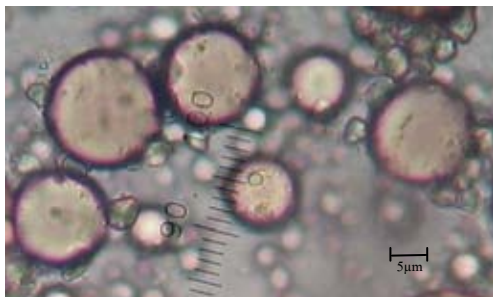
ง.

รูปที่ 4.4 รูปร่างและขนาดเม็ดน้ำมันของน้ำสลัดสูตรแทนที่ไขมันด้วยสารละลายสตาร์ชข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ความเข้มข้นร้อยละ 40

- ก. ระดับการแทนที่ร้อยละ 15
- ข. ระดับการแทนที่ร้อยละ 30
- ค. ระดับการแทนที่ร้อยละ 45
- ง. ระดับการแทนที่ร้อยละ 60

หมายเหตุ: ลักษณะเม็ดน้ำมันได้จากการย้อมสีด้วย Oil Red O กำลังขยาย 400 เท่า

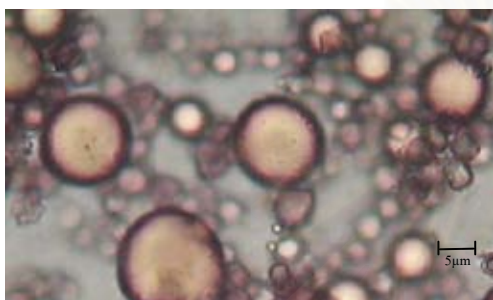
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



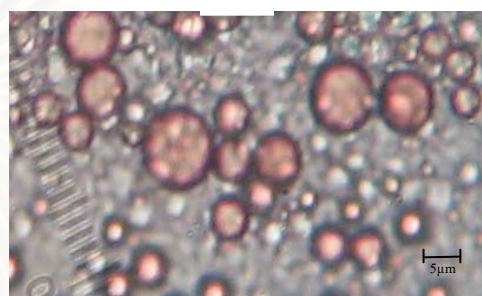
ก.



ข.



ค.



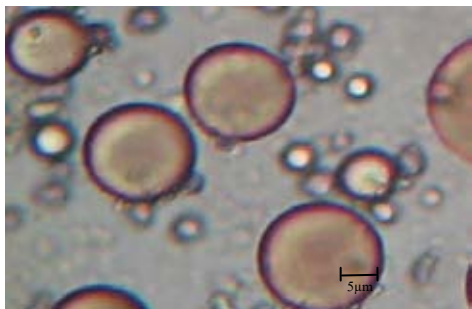
ง.

รูปที่ 4.5 รูปร่างและขนาดเม็ดน้ำมันของน้ำสลัดสูตรแทนที่ไขมันด้วยสารละลายสตาร์ชข้าวคั่ว
แปรพันธุ์สกลนคร ความเข้มข้นร้อยละ 40

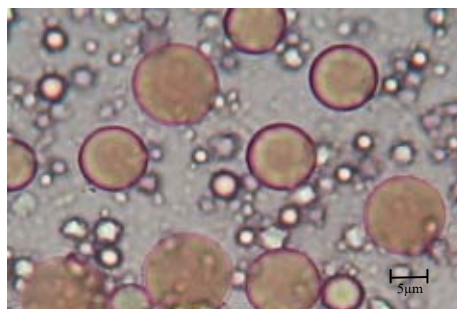
- ก. ระดับการแทนที่ร้อยละ 15
- ข. ระดับการแทนที่ร้อยละ 30
- ค. ระดับการแทนที่ร้อยละ 45
- ง. ระดับการแทนที่ร้อยละ 60

หมายเหตุ: ลักษณะเม็ดน้ำมันได้จากการย้อมสีด้วย Oil Red O กำลังขยาย 400 เท่า

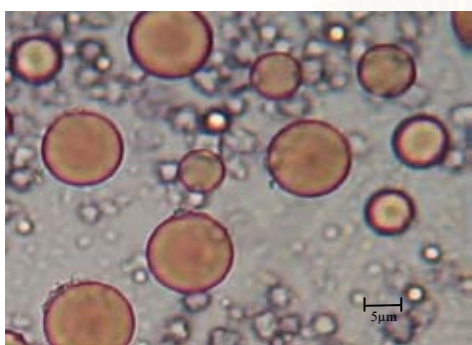
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



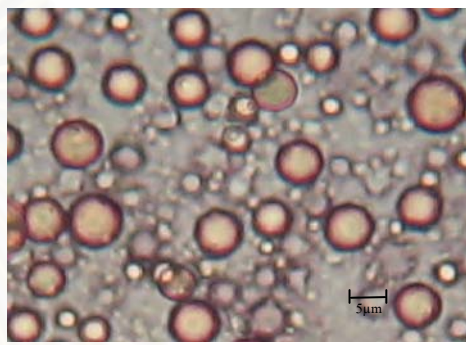
ก.



ข.



ค.



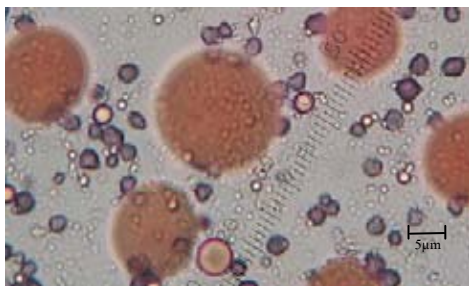
ง.

รูปที่ 4.6 รูปร่างและขนาดเม็ดน้ำมันของน้ำสลัดสูตรแทนที่ไขมันด้วยสารละลายสตาร์ชข้าวคั่วคัดแปรพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ความเข้มข้นร้อยละ 40

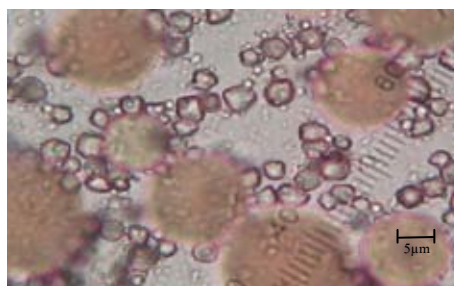
- ก. ระดับการแทนที่ร้อยละ 15
- ข. ระดับการแทนที่ร้อยละ 30
- ค. ระดับการแทนที่ร้อยละ 45
- ง. ระดับการแทนที่ร้อยละ 60

หมายเหตุ: ลักษณะเม็ดน้ำมัน ได้จากการย้อมสีด้วย Oil Red O กำลังขยาย 400 เท่า

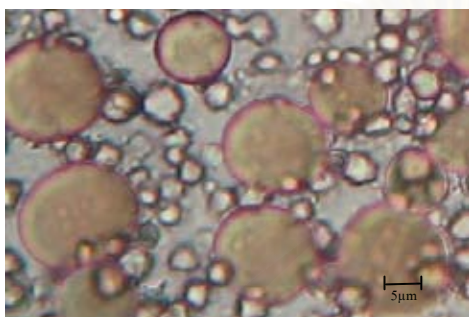
สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



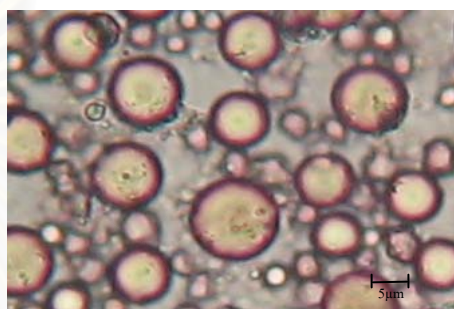
ก.



ข.



ค.



ง.

รูปที่ 4.7 รูปร่างและขนาดเม็ดน้ำมันของน้ำสลัดสูตรแทนที่ไขมันด้วยสารละลายสตาร์ชข้าวคั่วคัดแปรพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ความเข้มข้นร้อยละ 40

- ก. ระดับการแทนที่ร้อยละ 15
- ข. ระดับการแทนที่ร้อยละ 30
- ค. ระดับการแทนที่ร้อยละ 45
- ง. ระดับการแทนที่ร้อยละ 60

หมายเหตุ: ลักษณะเม็ดน้ำมันได้จากการย้อมสีด้วย Oil Red O กำลังขยาย 400 เท่า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการทดลอง พบว่า น้ำสลัดที่แทนที่ด้วยสารละลายสตาร์ชข้าวและสารละลายสตาร์ชข้าวตัดแปรทั้ง 3 พันธุ์ ความเข้มข้นร้อยละ 40 ที่ระดับร้อยละ 15 และ ร้อยละ 30 มีรูปร่างและขนาดของเม็ดน้ำมันเฉลี่ยเท่ากับ 15 ไมครอน ใกล้เคียงกับน้ำสลัดสูตรไขมันเต็ม และที่ระดับการแทนที่ร้อยละ 45 และ ร้อยละ 60 เม็ดน้ำมันมีขนาดเล็กลงตามลำดับ คือน้ำสลัดที่แทนที่ที่ระดับการแทนที่ร้อยละ 45 และ ร้อยละ 60 ขนาดของเม็ดน้ำมันเฉลี่ยเท่ากับ 7 และ 5 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Worrasinchai และคณะ (2005) ศึกษาการแทนไขมันในมายองเนสใน ระดับร้อยละ 25, 50 และ 70 ด้วย เบต้า กลูแคน จากยีสต์ที่ได้จากการหมักเบียร์ ซึ่งพบว่า ขนาดเม็ดน้ำมันในมายองเนสสูตรไขมันเต็มมีขนาด 10 ไมครอน ส่วนสูตรทดแทนไขมันในระดับร้อยละ 25 50 และ 75 เม็ดน้ำมันมีขนาด ประมาณ 2-4 ไมครอน ขนาดของเม็ดน้ำมันเล็กลง เนื่องจากอนุภาคสตาร์ชทำให้ความหนืดของเฟสต่อเนื่องเพิ่มขึ้นและขัดขวางการรวมตัวของเม็ดน้ำมัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Thammakiti และคณะ, 2004 ความคงตัวของมายองเนสสูตรแทนที่ไขมันด้วย เบต้า กลูแคนเพิ่มขึ้น เนื่องจากความหนืดของเฟสต่อเนื่องเพิ่มขึ้น ดังนั้น เม็ดน้ำมันถูกขัดขวางโดยอนุภาคของ เบต้า กลูแคน จึงทำให้เม็ดน้ำมันมีขนาดเล็ก และเกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มของเม็ดน้ำมัน (coalescence) น้อยกว่าสูตร ไขมันเต็ม มายองเนสสูตรแทนที่ไขมันด้วย กัมทำให้เม็ดน้ำมันมีขนาดเล็ก ทำให้ลดแรงแวนเดอร์วาลส์ในการดึงเม็ดน้ำมันมารวมกัน (Deprece และ Svage, 2001) เม็ดน้ำมันในน้ำสลัดที่ได้จากการแทนที่ไขมันด้วยด้วยแป้งมันสำปะหลังที่ย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และลดขนาดเป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่ระดับการแทนที่ร้อยละ 30 จะมีขนาดใหญ่กว่าเมื่อแทนที่ไขมันในระดับร้อยละ 60 เนื่องจากปริมาณอนุภาคแป้งประกอบกับน้ำที่เดิมเข้าไปแทนที่ไขมันมีผลต่อการเกิดการเกาะกลุ่มและรวมตัวของเม็ดน้ำมัน ซึ่งทำให้เม็ดน้ำมันมีขนาดเล็กลง เนื่องจากแป้งที่ผ่านการย่อยด้วยกรดมีความสามารถในการละลายน้ำ และเกิดการจับกับน้ำได้ดีกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการย่อย (วารงคณา สงวนพงษ์, 2544)

การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำสลัด ตามข้อ 3.2 ได้ผลดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำสลัดสูตรไขมันเต็มและสูตรแทนที่ไขมัน

น้ำสลัดสูตรแทนที่ไขมัน	คะแนนเฉลี่ยทางประสาทสัมผัส		
	สี	ความเป็นเนื้อเดียวกัน	การยอมรับรวม
	ns	ns	ns
น้ำสลัดสูตรไขมันเต็ม	4.00 ± 0.65	4.33 ± 0.72	4.13 ± 0.64
+ RSK 15%	3.67 ± 0.49	4.00 ± 0.65	4.00 ± 0.53
+ RJM 105 15%	3.80 ± 0.41	4.33 ± 0.72	3.80 ± 0.68
+RSB 1 15%	3.67 ± 0.49	4.13 ± 0.74	4.13 ± 0.74
+ RSK ที่ย่อยด้วยกรด			
เป็นเวลา 8 ชม. 15%	3.80 ± 0.68	4.33 ± 0.72	4.33 ± 0.49
30%	3.67 ± 0.49	4.33 ± 0.72	4.00 ± 0.53
45%	3.67 ± 0.49	3.87 ± 0.64	4.20 ± 0.68
60%	3.67 ± 0.49	3.67 ± 0.49	3.53 ± 0.52
+ RJM 105 ที่ย่อยด้วยกรด			
เป็นเวลา 12 ชม. 15%	4.13 ± 0.64	4.13 ± 0.35	4.33 ± 0.49
30%	4.00 ± 0.53	3.8 ± 0.68	4.00 ± 0.53
45%	3.67 ± 0.72	4.00 ± 0.85	3.67 ± 0.72
60%	3.67 ± 0.72	3.80 ± 0.94	3.87 ± 0.74
+RSB 1 ที่ย่อยด้วยกรด			
เป็นเวลา 8 ชม. 15%	4.00 ± 1.00	3.80 ± 0.86	4.00 ± 0.85
30%	3.80 ± 0.67	3.67 ± 0.72	4.00 ± 0.85
45%	4.00 ± 0.85	3.53 ± 0.83	3.80 ± 0.68
60%	4.00 ± 0.85	3.53 ± 0.52	3.60 ± 0.51

หมายเหตุ: แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส แสดงในภาคผนวก ง

- ns หมายความว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)
- + RSK หมายความว่า น้ำสลัดที่แทนที่ไขมันด้วยสารละลายสตาร์ชพังก์สกลนคร ความเข้มข้นร้อยละ 40
- + RJM 105 หมายความว่า น้ำสลัดที่แทนที่ไขมันด้วยสารละลายสตาร์ชพังก์ชวดอกมะลิ 105 ความเข้มข้นร้อยละ 40
- +RSB 1 หมายความว่า น้ำสลัดที่แทนที่ไขมันด้วยสารละลายสตาร์ชพังก์สุพรรณบุรี 1 ความเข้มข้นร้อยละ 40

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า น้ำสกัดสูตรแทนที่ไขมันในระดับ 15 30 45 และ 60 ให้ สี ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากสูตรไขมันเต็ม ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Worrasinchai และคณะ (2005) ศึกษาการแทนไขมันในมายองเนสในระดับร้อยละ 25 50 และ 75 ด้วย เบต้ากลูแคนจากยีสต์ที่ได้จากการหมักเบียร์ ในด้านการทดสอบทางประสาทสัมผัส ซึ่งพบว่า การให้คะแนนลดลง ในระดับที่มีการแทนที่ไขมันที่มากขึ้นตามลำดับ ในส่วนของลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับให้ผลไม่แตกต่างกับสูตรไขมันเต็ม ยกเว้นสูตรที่แทนที่ไขมันในระดับร้อยละ 75 ที่แตกต่างจากสูตรอื่น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการเตรียมสสารชีวพันธุ์สกลนคร พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 และ พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และทำการลดขนาดโดยการย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้นร้อยละ 4.0 ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาต่างๆ กัน ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

1. สสารชีวพันธุ์สกลนคร เป็นสสารชีวพันธุ์ที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำมาก สสารชีวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 เป็นสสารชีวพันธุ์ที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ และสสารชีวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 เป็นสสารชีวพันธุ์ที่มีปริมาณแอมิโลสสูง
2. เมื่อทำการย่อยสสารชีวพันธุ์ด้วยกรด พบว่า สสารชีวพันธุ์สกลนครที่ผ่านการย่อยด้วยกรดเป็นเวลา 8 ชั่วโมง มีขนาดอนุภาคเล็ก เท่ากับ 4.90 ไมครอน สสารชีวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่ผ่านการย่อยด้วยกรด เป็นเวลา 12 ชั่วโมง มีขนาดเล็ก เท่ากับ 4.00 ไมครอนและสสารชีวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ผ่านการย่อยด้วยกรด เป็นเวลา 8 ชั่วโมง มีขนาดอนุภาคเล็ก เท่ากับ 4.31 ไมครอน ซึ่งมีขนาดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
3. การเกิดเจลลิตีในเซชัน พบว่า สสารชีวพันธุ์ที่ผ่านการย่อยด้วยกรดมีค่าอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีในเซชันต่ำกว่า สสารชีวพันธุ์
4. การแทนที่ไขมันด้วยสารละลายสสารชีวพันธุ์ทั้ง 3 พันธุ์ ความเข้มข้นร้อยละ 40 ที่ระดับการแทนที่ต่างกัน มีผลต่อคุณสมบัติด้านความหนืด ความคงตัวของน้ำสลัดสูตรแทนที่ไขมัน โดยสสารชีวพันธุ์ทั้ง 3 พันธุ์ สามารถแทนที่ไขมันได้ในระดับร้อยละ 15 ซึ่งให้ความหนืด และความคงตัวไม่แตกต่างจากน้ำสลัดสูตรไขมันเต็ม
5. น้ำสลัดสูตรแทนที่ไขมันด้วยสารละลายสสารชีวพันธุ์ตัดแปร ความเข้มข้นร้อยละ 40 ที่ระดับการแทนที่ต่างกันมีสมบัติด้านความหนืด คือ สารละลายสสารชีวพันธุ์ตัดแปรทั้ง 3 พันธุ์ ที่ระดับการแทนที่ร้อยละ 15 มีความหนืดไม่แตกต่างจากน้ำสลัดสูตรไขมันเต็ม
6. น้ำสลัดสูตรแทนที่ไขมันด้วยสารละลายสสารชีวพันธุ์ตัดแปรความเข้มข้นร้อยละ 40 ทั้ง 3 พันธุ์ ที่ระดับการแทนที่ร้อยละ 15, 30, 45 และ 60 มีความคงตัวไม่แตกต่างจากน้ำสลัดสูตรไขมันเต็ม

7. น้ำสลัดสูตรแทนที่ไขมันด้วยสารละลายสตาร์ชข้าวคัดแปร ความเข้มข้นร้อยละ 40 ทั้ง 3 พันธุ์ มีขนาดของเม็ดน้ำมันสม่ำเสมอ และเล็กลงตามระดับการแทนที่ไขมันที่มากขึ้นตามลำดับ ซึ่งเป็นผลให้น้ำสลัดมีความคงตัวมาก
8. การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส พบว่าน้ำสลัดที่แทนที่ด้วยสารละลายสตาร์ชข้าวคัดแปร ความเข้มข้นร้อยละ 40 ทั้ง 3 พันธุ์ มีสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมไม่แตกต่างกับน้ำสลัดสูตรไขมันเต็ม

ข้อเสนอแนะ

1. จากการศึกษาการย่อยสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่างกัน ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ซึ่งได้ขนาดเล็กลงเล็กน้อย เราอาจจะศึกษาการย่อยด้วยเอนไซม์ หรือปรับความเข้มข้นของกรดหรือเวลาในการย่อย
2. ในการผลิตน้ำสลัดเราสามารถศึกษาคุณสมบัติของน้ำสลัดเมื่อส่วนผสมอื่นๆ เช่น น้ำตาลเกลือ หรือเครื่องปรุงอื่นๆ มะนาว เพื่อให้ได้รสชาติ และกลิ่น ตามความต้องการ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2549. สถิติปริมาณการส่งออกข้าวของไทยปี 2548. กรมส่งเสริมการเกษตร. กรุงเทพฯ.
- กรมวิชาการเกษตร. 2545. คุณภาพข้าวและการทดสอบข้าวปนในข้าวหอมมะลิไทย. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2543. องค์ประกอบภายในแป้ง. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- งามชื่น คงเสรี. 2539. คุณภาพข้าว และผลิตภัณฑ์, น. 241-259. ใน การสัมมนาวิชาการครบรอบ 80 ปี ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตร และสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- งามชื่น คงเสรี. 2541. ผลิตภัณฑ์ข้าว, น. 45-96. ใน คณะกรรมการกลุ่มผลิตชุดวิชาผลิตภัณฑ์อาหาร สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์, บรรณาธิการ. เอกสารการสอนชุดวิชาผลิตภัณฑ์อาหาร หน่วยที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช, นนทบุรี.
- ตติย สีหราช. 2538. สมบัติทางชีวเคมีของข้าวไทย *Oryza sativa L.* ในสภาพการปลูกที่แตกต่างกัน และความสัมพันธ์กับคุณภาพการสีและการหุง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นิธิยา รัตนานนท์. 2548. เลชิติน. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ.
- บุญลักษณ์ วงศ์สุทธาชิน, ชอบ คณะฤกษ์, งามชื่น คงเสรี, เครือวัลย์ อัดตะวีริยะสุข และอัมพวัน สิมะกรัย. 2517. อิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจนอัตราต่างๆ ต่อคุณภาพของเมล็ดข้าว. รายงานผลการทดลองและวิจัยกรมวิชาการเกษตร. ทะเบียนวิจัยเลขที่ กกข-IX-1(5).
- ปราณี อานเป็รื่อง. 2547. การทดสอบเชิงพรรณนา. หลักการวิเคราะห์อาหารด้วยประสาทสัมผัส. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2540. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมายองเนสและสลัดครีม. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ.
- วรางคณา สงวนพงษ์. 2544. การลดขนาดเม็ดแป้งมันสำปะหลังคัดแปรและสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของแป้งที่ได้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต(เทคโนโลยีชีวภาพ) ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศิริลักษณ์ สีนธวาลัย. 2525. ทฤษฎีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. บริษัท บี เอฟ ไอ. กรุงเทพฯ. 247 น.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. คุณภาพเมล็ดข้าวทางเคมี. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภาษาอังกฤษ

- Anon, 1989. Fat, oil and fat substitute. Food Technology. 43: 72-73.
- AOAC. 1995. Official method of analysis. 16th ed. Washington: The Association of Official Agricultural Chemists.
- Armbruster, F.C. 1974. Process for producing non-waxy starch hydrolysates. US. Patent. 3,853,706.
- Athwal, D.S. 1975. Present and future research on rice. Cereal Foods World. 20(8): 354.
- Atichokudomchai, N., Shobsngob, S. and Varavinit, S. 2000. Morphological properties of acid-modified tapioca starch. Starch/Starke. 52: 283-289.
- Betancur, A.D. and Chel, G.L. 1997. Acid hydrolysis and characterization of *Canacalia ensiformis* starch. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 45: 4237-4241.
- Biliaderis, C.G., Grant, D.R. and Vose, J.R. 1981. Structural characterization of legume starch. II. Study on acid-treated starch. Cereal Chemistry. 58: 502-507.
- Blanshard, J.M.V. 1979. Physicochemical aspects of starch gelatinization. In Blanshard J.M.V. and Mitchell, J.R. (eds.). Polysaccharides in food. London: Butterworths.
- Blanshard, J.M.V. 1987. Starch granule structure and function: A physicochemical approach. In Gailliard, T. (ed.). Starch Properties and Potential. New York. John Wiley and Sons, อ้างถึงใน อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. คุณภาพเมล็ดข้าวทางเคมี. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Buss, D.D. 1993. A fresh look at latest for replacer food processing. Food Engineering International. 54: 61-62.
- Cagampang, G.B., Cruz, L.T., Espirtu, S.G., Santiago, R.G. and Juliano, B.O. 1996. Studies on the extraction and composition of rice protein. Cereal Chemistry. 43: 145.
- Champagne, E.T. 1996. Rice starch composition and characteristic. Cereal Foods World. 42: 813-819.
- Chang, Y-H. Lin, J-H. and Chang, S-Y. 2006. Physicochemical properties of waxy and normal corn starches treated in different anhydrous alcohols with hydrochloric acid. Food Hydrocolloids. 20: 332-339.
- Charles, M., Rosselin, V., Beck, L., Sauvageot, F. and Guichard, E. 2000. Flavor release from salad dressing: sensory and physicochemical approaches in relation with the structure. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 48: 1810-1816.

- Chun, J., Lim, S., Takeda, Y. and Shoki, M. 1997. Properties of high-crystalline rice amyloextrins prepared in acid-alcohol media as fat replacers. Cereal Foods World. 42: 813-819.
- Cochan, W.G. and Cox, G.M. 1957. Experimental Design. New York.
- Cock, P. and Vanhemelrijck, J. 1995. Predictive rheology for texture design of starch-based emulsified sauces. A report submitted to Cerestar, Application Centre Food, Belgium. 7p.
- Daniel, J.R. and Whistler, R.L. 1990. Fatty sensory qualities of polysaccharides. Cereal Food World. 35: 825. (Abstr.)
- Deffenbaugh, L.B. and Walker, C.E. 1989. Starch gelatinization studies II A method for showing the stages in swelling of starch during heating in the amylograph. Cereal Chemistry. 25: 213.
- Depree, J.A. and Savage, G.E. 2001. Physical and flavour stability of mayonnaise. Trends in Food Science and Technology. 12: 157-163.
- Drake, M.A., Boylston, T.D. and Swanson, B.G. 1996. Fat mimetics in low-fat cheddar cheese. Journal of Food Science. 61(6): 1267-1270.
- Flint, O. 1994. A Manual of Practical Method, Using Optical Microscopy. Food Microscopy. BIOS Scientific Publishers, Ltd., Oxford. 125 p.
- Ford, L.D., Borwankar, R., Martin, R.W. and Holcomb. 1997. Dressings and sauces. In Friberg, S.E. and Larsson, K.(eds.). Food Emulsions. 3rd ed., New York. Marcel Dekker.
- Glicksman, M. 1982. Food hydrocolloids. Florida: CRC. Press.
- Halick, J.V. and Kelly, V.J. 1959. Gelatinization and pasting characteristics of rice varieties as related to cooking behavior. Cereal Chemistry. 36: 91.
- Hizukuri, S. 1985. Relationship between the distribution of the chain length of amylopectin and crystalline structure of starch granules. Carbohydrate Research. 141: 295-306, อ้างถึงใน อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. คุณภาพเมล็ดข้าวทางเคมี. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Hoseney, R.C. 1986. Principles of Cereal Science and Technology. The American Association of Chemists, Inc., St. Paul, Minnesota.
- Hui, Y.H. 1996. Bailey's industrial oil and fat products. New York: John-Wiley & Son.
- Islam, N., Inanaga, S., Chishaki, N. and Horiguchi, T. 1996. Effect of N top-dressing on protein content in japonica and indica rice grains. Cereal Chemistry. 73(5): 571.

- Jane, J.L., Shen, L., Wang, L. and Maningat, C.C. 1992. Preparation and properties of small-particle corn starch. Cereal Chemistry. 69(3): 280-283.
- Jenkins, P.J. and Donald, A.M. 1997. The effect of acid hydrolysis on native starch granule structure. Starch/Starke. 49: 262-267.
- Jones, S.A. 1996. Classified list of fat replacers and their application, pp. 275-307. In Roller, S. and Jones, S.A. (eds.). Handbook of Fat Replacers. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.
- Juliano, B.O. 1971. Amplified assay for milled-rice amylose. Cereal Science Today. 16: 334-340.
- Juliano, B.O. 1972. The Rice Caryopsis. In Houston, D.F. (ed.). Rice Chemistry and Technology, pp. 16-74. Minnesota: American Association of Cereal Chemists.
- Juliano, B.O. 1985. Criteria and tests for rice grain qualities, pp. 443-524. In Juliano, B.O. ed. Rice: Chemistry and Technology. 2nd ed. The American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, Minnesota.
- Juliano, B.O. 1993. Rice in Human Nutrition. FAO Food and Nutrition Series, No 26. The International Rice research Institute (IRRI), Los Banos, Laguna (Philippines), and Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- Juliano, B.O., Bautista, G.M., Lugay, J.C. and Reyes, A.C. 1964. Studies on the physicochemical properties of rice. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 12(2): 131.
- Kainuma, K. and French, D. 1972. Nageli amylopectin and its relationship to starch granule structure. II. Role of water in crystallization of B-starch. Biopolymer. 11: 2241-2250.
- Kilgore, L.B. 1935. Egg yolk "makes" mayonnaise food industry. cited in Weiss, T.J. 1970. Food oil and their uses. Westport, Connecticut: The AVI Publishing.
- Knight, J.W. 1969. The Starch Industry. Pergamon Press, Oxford. 189 p.
- Leelavathi, K., Indrani, D. and Sidhu, J.S. 1987. Amylograph pasting behavior of cereal and tuber starches. Starch/Starke. 39: 378.
- Lim, H.S., Lee, J.-H., Shin, D.-H. and Lim, H.S. 1999. Comparison of protein extraction solutions for rice starch isolation and effects of residual protein content on starch pasting properties. Starch/Starke. 51: 120-125.
- Little, R.R., Hilder, G.B. and Dawson, E.H. 1958. Differential effect of dilute alkaline on 25 varieties of milled white rice. Cereal Chemistry. 45: 225-235.
- Lumdubwong, N. and Seib, P.A. 2000. Rice starch isolation by alkaline protease digestion of wet-milled rice flour. Journal of Cereal Science. 31: 63-74.

- Maningat, C.C. and Seib, P.A. 1992. Starch: Occurrence, isolation and properties of starch granules. In AACC Short Course "Starch: Structure, Properties and Food Uses." December 3-4, 1992. Chicago.
- Matz, S.A. 1972. Bakery Technology and Engineering. Westport: The AVI Publishing.
- Mazurs, E.G., Schoch, Y.T. and Kite, F.E. 1957. Graphical analysis of the Brabender viscosity curves of various starches. Cereal Chemistry. 34: 141.
- McClements, D.T., Dungan, S.R., German, J.B., Simononeau, C. and Kinsella, E.J. 1999. Droplet size and emulsifier type affect crystallization and melting of hydrocarbon-in-water emulsion. Journal of Food Science. 58: 1148-1151.
- Morrison, W.R. 1988. Lipids. In Pomeranz V., ed., Wheat: Chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota.
- Morrison, W.R., Tester, R.F., Gidley, M.J. and Karkalas, J. 1993. Resistance to acid hydrolysis of lipid-complexed amylose and lipid-free amylose in lintnerised waxy and non-waxy barley starch. Carbohydrate Research. 245: 289-302.
- Mosse, J., Huet, J.C. and Baudet, J. 1988. The amino acid composition of rice grain as a function of nitrogen content as compared with other cereal: A reappraisal of rice chemical scores. Journal of Cereal Science. 8(2): 165.
- Mussulman, W.C. and Wagoner, J.A. 1968. Electron microscopy of unmodified and acid-modified corn starch. Cereal Chemistry. 45: 162-171.
- Noosuk, P., Sandra E.H., Pradipasena, P. and John R.M. 2003. Structure-Viscosity Relationships for Thai Rice Starches. Starch/Starke. 55: 337-344.
- Oates, C.G. 1996. Physical modification of starch. In Advanced Post Academic Course on Tapioca Starch Technology. Jan. 22-26 & Feb. 19-23, 1996. AIT Center, Bangkok, อ้างอิงใน อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. คุณภาพเมล็ดข้าวทางเคมี. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Olkku, J. and Rha, C.K. 1978. Gelatinization of starch and wheat flour starch- A review. Food Chemistry. 3: 293.
- Perez, C.M., Juliano, B.O., Liboon, S.P., Alcantara, J.M. and Cassman, K.G. 1996. Effects of late nitrogen fertilizer application on head rice yield, protein content, and grain quality of rice. Cereal Chemistry. 73(5): 556.

- Piyachomkwan, K., Chatakanonda, P., Wansuksri, R. and Sriroth, K. 2004. Grain quality index for evaluating the textural properties of cooked rice. Starch Progress in structural studies, Modifications and Applications. 235-244.
- Robin, J.P., Mercier, C., Charbonniere, R. and Guilbot, A. 1974. Lintnerized starch: gel filtration and enzymatic studies of insoluble residues from prolonged acid treatment of potato starch. Cereal Chemistry. 51: 389-406.
- Robyt, J.F., Choe, J-Y., Hahn, R.S. and Fuchs, E.B. 1996. Acid modification of starch granules in alcohol: effects of temperature, acid concentration, and starch concentration. Carbohydrate Research. 283: 141-150.
- Rohwer, R.G. and Klem, R.E. 1984. Acid-modified starch: production and uses, pp. 529-541. In Whistler R.L., Bemiller, J.N. and Paschall, E.F. (eds.). Starch: Chemical and Technology. 2nd ed., New York. Academic Press.
- Roller, S. 1996. Starch-derived fat mimetics: maltodextrins, pp. 99-118. In Roller, S. and Jones, S.A. (eds.). Handbook of Fat Replacers. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.
- Sanders, J.P.M. 1996. Starch manufacturing in the world. Advanced Post Academic Course on Tapioca Starch Technology. Jan. 22-26 and Feb. 19-23. AIT center, Bangkok.
- Schoch, T.J. 1967. Properties and uses of rice starch. In Whistler, R.L. and Paschall, E.F. (eds.). Starch: Chemistry and technology. Vol. II. New York: Academic Press
- Singer, N.S. 1996. Microparticulated proteins as fat mimetics, pp. 175-189. In Roller, S. and Jones, S.A. (eds.). Handbook of Fat Replacers. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.
- Tako, M. and Hizukuri, S. 2000. Retrogradation mechanism of rice starch. Cereal Chemistry. 77: 473-477, อ้างถึงใน อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. คุณภาพเมล็ดข้าวทางเคมี. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Tan, Y. and Corke, H. 2002. Factor analysis of physiochemical properties of 63 rice varieties. Journal of the Science of Food and Agriculture. 82: 745-752.
- Tanaka, M. and Fukuda, H. 1976. Studies on the texture of salad dressing containing xanthan gum. Journal of Canadian Institute of Food Science and Technology. 9(3): 130-134.
- Te Wierik, G.H.P., Eissens, A.C., Besemer, A.C. and Lerk, C.F. 1993. Preparation, characterization and pharmaceutical application of linear dextrans: I. Preparation and characterization of amyloextrin, metastable amyloextrins and metastable amylose. Pharmacological Research. 10: 1274-1279.

- Thammakiti, S., Suphantharika, M., Phaesuwan, T. and Verduyn, C. 2004. Preparation of spent brewer's yeast β -glucans for potential applications in the food industry. International Journal of Food Science and Technology. 39: 21-29.
- Varavinit, S.Y.V., Shobsngob, S.J., Varayanond, W.R.N., Chinachoti, P.V.N. and Naivikul, O.A.N. 2003. Effect of amylose content on gelatinization retrogradation and pasting properties of flours from different cultivars of thai rice. Starch/Starke. 55: 410-415.
- Vergara, B.S. 1979. A farmer's primer on growing rice. International Rice Research Institute.
- Weiss, T.J. 1970. Food oil and their uses. Westport: The AVI Publishing.
- Weiss, T.J. 1983. Food oil and their uses. Westport: The AVI Publishing.
- Watson, S.A. 1967. Manufacture of corn and milo starch. cited in Weiss T.J. 1983. Food oil and their uses. Westport: The AVI Publishing.
- Whistler, R.L. and Deniel J.R. 1984. Molecular structure of starch, pp. 153-178. In Whistler, R.L., BeMiller, J.N. and Paschall, E.F. (eds.). Starch: Chemistry and Technology. Academic Press, Inc., Florida, อ้างถึงใน อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. คุณภาพเมล็ดข้าวทางเคมี. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Worrasinchai, S., Suphantharika, M., Pinjai, S. and Jamnong, P. 2005. β -Glucan prepared from spent brewer's yeast as a fat replacer in mayonnaise. Food Hydrocolloids. 1-11.
- Zherebtsov, N.A., Ruadze, I.D. and Yakovlev, A.N. 1995. Mechanism of acid-catalyzed and enzymatic hydrolysis of starch. Applied Biochemistry and Microbiology. 31: 511-514.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

ดัดแปลงจากวิธีของ AACC 44-15A แบบขั้นตอนเดียว (1995)

อุปกรณ์

ตู้อบลมร้อน D 06062 Model 600 บริษัท Memmert

วิธีทดลอง

1. ชั่งแป้งมา 2-3 กรัม ให้ทราบน้ำหนักแน่นอน ใสลงในภาชนะอลูมิเนียม
2. นำตัวอย่างเข้าอบในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
3. นำตัวอย่างออกจากตู้อบ ทิ้งให้เย็นใน desiccator เป็นเวลา 60 นาที
4. ชั่งน้ำหนักภาชนะอลูมิเนียมพร้อมตัวอย่าง
5. นำตัวอย่างเข้าอบต่ออีกจนน้ำหนักคงที่ โดยให้มีค่าความชื้นมีความคลาดเคลื่อนได้

ร้อยละ 0.2

6. ชั่งน้ำหนักภาชนะอลูมิเนียมพร้อมตัวอย่างแล้วห้กลับด้วยน้ำหนักภาชนะอลูมิเนียมเปล่า จะได้น้ำหนักของตัวอย่างหลังอบ

7. คำนวณความชื้น โดยใช้สูตร

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

2. การวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส

ตามวิธีของ Juliano, 1971

อุปกรณ์

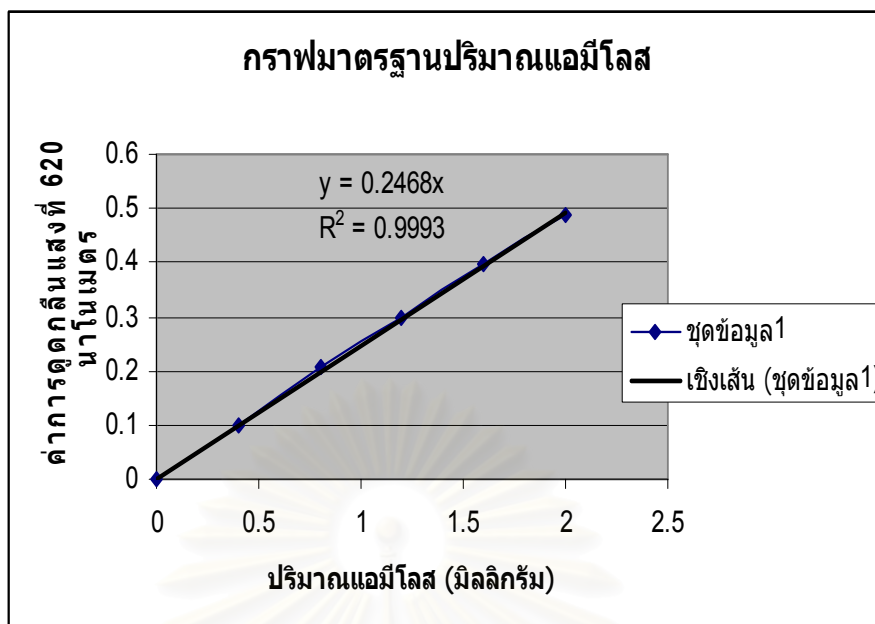
Spectrophotometer รุ่น Spectronic 20 Genesys, USA

สารเคมี

1. แอมิโลสบริสุทธิ์ (แอมิโลสจากมันฝรั่ง บริษัท Sigma, Germany)
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 นอร์มัล
3. เอทิลแอลกอฮอล์ 95%
4. สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 1 นอร์มัล
5. สารละลายไอโอดีน เตรียมโดยละลายไอโอดีน 0.200 กรัม และโปแทสเซียมไอโอไดด์ 2.000 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

การสร้างกราฟมาตรฐาน

1. ชั่งแอมิโลสบริสุทธิ์ (แอมิโลสจากมันฝรั่ง บริษัท Sigma, Germany) น้ำหนักแน่นอน 0.04 กรัม ใส่ในขวดรูปกรวยขนาด 50 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 นอร์มัล ปริมาตร 9 มิลลิลิตร
3. เติมเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 1 มิลลิลิตร แล้วเขย่าให้เข้ากัน
4. นำไปแช่ในอ่างน้ำเดือด เป็นเวลา 5-10 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
5. ชะสารละลายแบ่งมาตรฐานที่ได้ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร แล้วเขย่าให้เข้ากัน
6. คุดสารละลายแบ่งมาตรฐานมา 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร ที่มีน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร กรดอะซิติก 1 นอร์มัล ปริมาตร 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 มิลลิลิตร ตามลำดับ และสารละลายไอโอดีน ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร แล้วเขย่าให้เข้ากัน
7. ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer รุ่น Spectronic 20 Genesys, USA
8. สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณแอมิโลส ดังรูป ก1



รูปที่ ก1 กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส

การหาปริมาณแอมิโลสในตัวอย่าง

1. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่าง ที่ผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh ปริมาณ 0.1 กรัม ใส่ในขวดรูปกรวยขนาด 50 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 นอร์มัล ปริมาตร 9 มิลลิลิตร
3. เติมหิวแอคทอสอล 95% ปริมาตร 1 มิลลิลิตร แล้วเขย่าให้เข้ากัน
4. นำไปแช่ในอ่างน้ำเดือด เป็นเวลา 5-10 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
5. ใส่น้ำกลั่นมาปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร แล้วเขย่าให้เข้ากัน
6. ใส่น้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร กรดอะซิติก 1 นอร์มัล ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร แล้วเขย่าให้เข้ากัน
7. ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer รุ่น Spectronic 20 Genesys, USA
8. จากค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ นำไปอ่านค่าปริมาณแอมิโลสจากกราฟมาตรฐานแล้วคำนวณหาปริมาณแอมิโลส (ร้อยละ) โดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณแอมิโลส (ร้อยละ)} = \frac{\text{ค่าที่อ่านได้จากกราฟมาตรฐาน (กรัม)} \times 100 \times 20}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)}}$$

9. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

ตามวิธีของ AOAC, 1995

อุปกรณ์

1. เครื่องย่อย BUCHI digestion unit รุ่น K-424 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
2. เครื่องกลั่น BUCHI distillation unit รุ่น B-324 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

สารเคมี

1. Selenium reagent mixture
2. กรดซัลฟูริกเข้มข้น
3. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มัล

วิธีทดลอง

1. ชั่งแบ่ง 1 กรัม เติม Selenium reagent mixture 5 กรัม และกรดซัลฟูริกเข้มข้นปริมาตร 20 มิลลิลิตร
2. ย่อยด้วยเครื่อง BUCHI digestion unit รุ่น K-424 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ จนตัวอย่างกลายเป็นสีเขียวใส แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
3. นำมากลั่นด้วยเครื่อง BUCHI distillation unit รุ่น B-324 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
4. นำสารละลายที่กลั่นได้มาไตเตรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล โดยมีเมธิลีนบลู และเมธิลเรดเป็นอินดิเคเตอร์ จนได้สารละลายสีม่วงแดง

คำนวณหาปริมาณโปรตีน

$$\text{ปริมาณโปรตีน (\%)} = \frac{(V_a - V_b) \times N \times 1.4 \times CF}{\text{น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (กรัม)}}$$

เมื่อ V_a คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

V_b คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรต blank (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรต มีหน่วยเป็น นอร์มัล

CF คือ Conversion Factor สำหรับเปลี่ยนไนโตรเจนให้เป็นโปรตีน (ในการทดลองใช้ 5.95)

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของสตาร์ชและสตาร์ชดัดแปร

1. การศึกษาการเกิดเจลลิตีในเข้ชั้นด้านความหนืดของสตาร์ชข้าวและสตาร์ชข้าวดัดแปร

ดัดแปลงจากวิธีของ Mazurs และคณะ (1957) โดยเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในช่วงควบคุมให้อุณหภูมิคงที่ที่ 95 องศาเซลเซียสให้สั้นลง จาก 1 ชั่วโมง เป็น 20 นาที

อุปกรณ์

Brabender Viscoamylograph รุ่น D-4100, Germany

วิธีทดลอง

1. เตรียมสารละลายของตัวอย่างของสตาร์ชข้าวและสตาร์ชข้าวดัดแปรในน้ำกลั่นความเข้มข้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนักแห้ง

เตรียมโดยชั่งตัวอย่าง 30 กรัม (โดยน้ำหนักแห้ง) ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่นลงไป 300 กรัม ใช้แท่งแก้วคนกวนไม่ให้ตกตะกอน จากนั้นจึงเทตัวอย่างใส่ลงในภาชนะใส่ตัวอย่าง (bowl) ของเครื่องซึ่งได้ประกอบกับตัวเครื่องแล้ว ชะบีกเกอร์ที่ใส่ตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นอีก 170 กรัม ใส่ลงในภาชนะใส่ตัวอย่าง ใช้แท่งแก้วคนกวนเพื่อให้เข้ากันได้

 2. ประกอบตัวเครื่อง และให้เครื่องเริ่มทำงาน
 3. ปรับสภาวะการทำงานของเครื่องดังนี้
 - 3.1 ให้เครื่องกวนมีอัตราเร็ว 75 รอบต่อนาที
 - 3.2 การตั้งโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิ เป็นดังนี้ คือ
 - ให้อุณหภูมิสูงขึ้นในอัตราเร็ว 1.5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนกระทั่งอุณหภูมิถึง 95 องศาเซลเซียสคงที่ที่ 95 องศาเซลเซียสไว้ 20 นาที
 - ให้อุณหภูมิลดลงในอัตราเร็ว 1.5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนกระทั่งอุณหภูมิลดลงถึง 50 องศาเซลเซียสคงที่ที่ 50 องศาเซลเซียสไว้ 20 นาที
 4. ถ้าขณะเดินเครื่องเส้นกราฟความหนืดเพิ่มขึ้นจนสุดสเกล ให้ถ่วงด้วยตุ้มน้ำหนักขนาด 125 กรัม ซึ่งมีค่าเท่ากับความข้นหนืด 500 BU. หรือตุ้มน้ำหนักขนาด 250 กรัม ซึ่งมีค่าเท่ากับความข้นหนืด 1,000 BU.
 5. นำกราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดของตัวอย่างมาวิเคราะห์ผล

2. การวิเคราะห์การเกิดเจลลาติโนเซชันและสมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) ตามวิธี AACC Method 61-02

อุปกรณ์

1. เครื่อง RVA รุ่น 4D พร้อมด้วย can อลูมิเนียมที่มีใบพัดปิด
2. เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมเครื่อง RVA

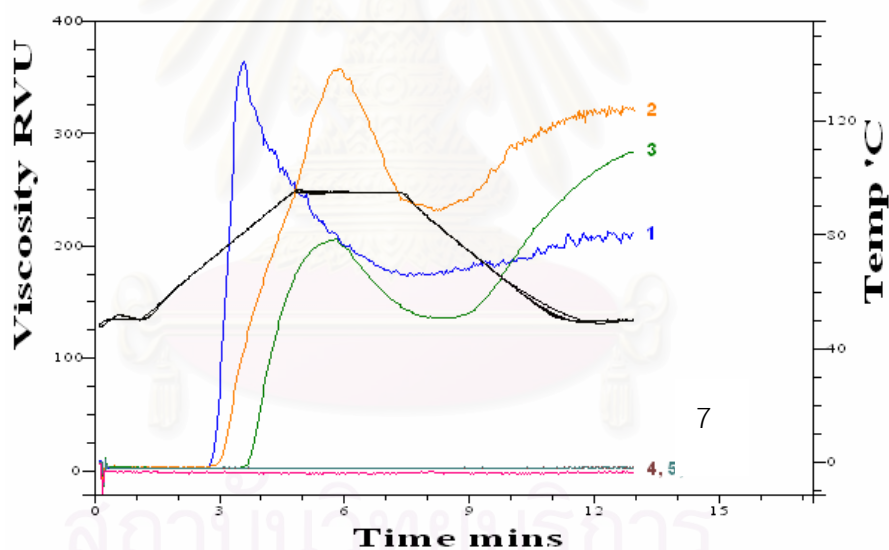
วิธีการทดลอง

1. เปิดเครื่อง RVA ทิ้งไว้นาน 30 นาที เพื่ออุ่นเครื่อง RVA ก่อนใช้งานจริง
2. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์ควบคุม RVA โดยเลือกเงื่อนไขใน profile ป้อนลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ ตั้งชื่อไฟล์แล้วเซฟไว้ โดยเลือกเงื่อนไขดังนี้

Temperature profile

1. ให้ความร้อนที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.25 นาที
2. ให้ความร้อนที่ 50 ถึง 95 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็ว 12 องศาเซลเซียส/ นาที เป็นเวลา -3.75 นาที
3. ให้ความร้อนที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2.50 นาที
4. ให้ความร้อนที่ 50 ถึง 95 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็ว 12 องศาเซลเซียส/ นาที เป็นเวลา -3.75 นาที
5. ให้ความร้อนที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.25 นาที
โดยความเร็วรอบในการกวนมอเตอร์เท่ากับ 160 รอบต่อนาที
3. ตวงน้ำปริมาตร 25.00 ± 0.1 ml (สำหรับตัวอย่างที่มีความชื้น 14%) ใส่ลงใน can ของ RVA
4. ชั่งตัวอย่าง 3.00 g ใส่ลงใน can ที่มีน้ำอยู่แล้ว
5. ใส่ใบพัดกวน (paddle) ลงใน can หมุนใบพัดกวนไปมาแรง ๆ และดึงขึ้นเพื่อกวนตัวอย่างแรง ๆ ประมาณ 10 ครั้ง ถ้ามีตัวอย่างจับกันเป็นก้อนที่ผิวน้ำหรือติดที่ใบพัดกวนให้ทำซ้ำอีกครั้ง
6. นำ can ที่ใส่ใบพัดกวนไว้แล้วสอดเข้าไปในเครื่อง RVA กดมอเตอร์เพื่อให้ RVA ทำงานเสร็จแล้วนำ can ออกมา เครื่อง RVA จะรายงานการวิเคราะห์ที่เป็นค่าต่างๆ (หน่วยต่อมิลลิลิตร จำนวน 1 มิลลิลิตรRVU)

1. เวลาที่เกิด peak ของความหนืด (peak time) มีหน่วยต่อมิลลิลิตรเป็นนาที
2. อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดหรือมีความหนืดเพิ่มขึ้น 2 RVU ในเวลา 20 นาที (pasting temperature) มีหน่วยต่อมิลลิลิตรเป็น $^{\circ}\text{C}$
3. อุณหภูมิที่เกิด peak (peak temperature) มีหน่วยต่อมิลลิลิตรเป็น องศาเซลเซียส
4. ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (breakdown) มีหน่วยต่อมิลลิลิตร จำนวน 1 มิลลิลิตรเป็น RVU
5. ความหนืดสุดท้ายของการทดลอง (final viscosity) มีหน่วยต่อมิลลิลิตรเป็น RVU
6. ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดที่จุด peak (setback from peak) มีหน่วยต่อมิลลิลิตรเป็น RVU
7. ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (trough) (setback from trough) มีหน่วยต่อมิลลิลิตร จำนวน 1 มิลลิลิตรRVU



- 1 คือ สตาร์ชข้าวพันธุส์กลนคร
- 2 คือ สตาร์ชข้าวพันธุส์ขาวดอกมะลิ 105
- 3 คือ สตาร์ชข้าวพันธุส์สุพรรณบุรี 1
- 4 คือ สตาร์ชข้าวพันธุส์กลนคร ที่ย่อยด้วยกรด 8 ชม.
- 5 คือ สตาร์ชข้าวพันธุส์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ย่อยด้วยกรด 12 ชม.
- 6 คือ สตาร์ชข้าวพันธุส์สุพรรณบุรี 1 ที่ย่อยด้วยกรด 8 ชม.
- 7 คือ เส้นแสดงอุณหภูมิ

รูปที่ ข1 กราฟแสดงความหนืดและอุณหภูมิในการเกิดเจลลาติในเซชันของสตาร์ชข้าวด้วยเครื่อง RVA

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำสลัด

1. ค่าความหนืดของน้ำสลัด (Chun และคณะ, 1997)

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดค่าความหนืด (Brookfield Viscometer RVDV-I, บริษัท Scientific Promotion)
2. อ่างน้ำไฟฟ้าที่ปรับและควบคุมอุณหภูมิได้
3. บีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักน้ำสลัดที่เตรียมใหม่ประมาณ 400 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร โดยพยายามกวนน้ำสลัดให้น้อยที่สุด
2. นำน้ำสลัดมาบ่มในอ่างน้ำที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที
3. วิเคราะห์ค่าความหนืดโดยใช้เครื่องวัดความหนืด โดยใช้ความเร็วรอบของ Spinder 10 รอบต่อนาที
4. อ่านค่าความหนืดที่เวลา 5 นาที
5. นำค่าที่ได้มาคำนวณดังสูตร

$$\text{ความหนืด (cP)} = \text{ค่าที่อ่านได้} \times \text{พารามิเตอร์}$$

2. ความคงตัวของน้ำสลัด (ดัดแปลงจากวิธีการของ Chun และคณะ, 1997)

อุปกรณ์

1. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Hettich รุ่น EBA 21, Germany)
2. หลอดเหวี่ยงปริมาตร 15 มิลลิลิตร

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักน้ำสลัดที่เตรียมใหม่ 5 กรัม ใส่ลงในหลอดหยิ่ง
2. นำน้ำสลัดมาปั่นหยิ่งที่ความเร็ว 3,500 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที
3. สังเกตลักษณะการแยกชั้นที่เกิดขึ้น และบันทึกภาพ
4. คำนวณความคงตัว (%)

$$\text{ความคงตัว (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำสลัดก่อนปั่นหยิ่ง} - \text{น้ำหนักน้ำที่แยกชั้น}}{\text{น้ำหนักน้ำสลัดก่อนหยิ่ง}} \times 100$$

3. รูปร่างและขนาดของเม็ดน้ำมันในน้ำสลัด (Flint, 1994)

อุปกรณ์

1. กล้องจุลทรรศน์ที่ต่อเข้ากับโปรแกรม Image Analysis (Image Pro Plus 3.0, Media Cybernetic, LP, USA)
2. แผ่นสไลด์กระจก
3. กระจกปิดแผ่นสไลด์
4. หลอดหยดสารละลาย
5. ซ้อนดักสาร
6. งานแก้วเพาะเชื้อจุลินทรีย์ที่มีฝาปิด

สารเคมี

1. สารละลายสีย้อม Oil Red O
2. สารละลาย Isopropanol ในน้ำกลั่นความเข้มข้นร้อยละ 60

วิธีวิเคราะห์

1. เตรียมแผ่นสไลด์แปดตัวอย่าง โดยใช้ซ้อนดักสารดักน้ำสลัดเล็กน้อย หยดลงบนแผ่นสไลด์ที่สะอาด
2. นำแผ่นสไลด์อีกแผ่นปิดผิวน้ำสลัดให้เรียบและบางติดสไลด์
3. หยดสารละลายสีย้อม Oil Red O ลงบนน้ำสลัดให้คลุมทั่วผิวน้ำสลัด รินน้ำสไลด์น้ำสลัดในงานแก้วเพาะเชื้อจุลินทรีย์ ปิดฝาให้สนิททันทีเพื่อป้องกันสีย้อมระเหย ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที

4. ล้างสีที่เหลืออยู่บนผิวน้ำสไลด์โดยจุ่มลงในสารละลาย isopropanol ในน้ำกลั่นความเข้มข้นร้อยละ 60 และยกขึ้นอย่างรวดเร็ว

5. เช็ดสารละลายที่เปียกอยู่รอบนอกอย่างรวดเร็ว แล้วรีบปิดทับน้ำสไลด์ที่ข้อมสีแล้วด้วยกระจกปิดแผ่นสไลด์ ห้ามกดทับกระจกปิดแผ่นสไลด์เด็ดขาด

6. นำสไลด์น้ำสไลด์ที่ข้อมสีมาตรวจสอบรูปร่างและการกระจายตัวของเม็ดน้ำมันและแป้งภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงธรรมดา และบันทึกภาพ โดยควรตรวจสอบให้เสร็จภายใน 1 ชั่วโมง

หมายเหตุ สารละลายสีข้อม Oil Red O ที่ใช้ในการข้อมสีเม็ดน้ำมันมีส่วนประกอบ ดังนี้

-สีข้อม Oil Red O (CI 26125)	0.5 กรัม
-Isopropanol	100 มิลลิลิตร
-เดกซ์ทรินจากแป้งข้าวโพด	0.4 กรัม
- น้ำกลั่น	40 มิลลิลิตร

เตรียมสารละลายสีข้อมเข้มข้น โดยละลายสีข้อม Oil Red O ใน Isopropanol คนให้สีละลายได้มากที่สุด จากนั้นนำไป reflux เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำสารละลายสีที่ reflux แล้วมากรองขณะร้อนผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 จะได้สารละลายสีเข้มข้นที่สามารถเก็บได้นาน

เตรียมสารละลายสีข้อมที่นำไปใช้ โดยการเตรียมสารละลายเดกซ์ทรินจากแป้งข้าวโพดความเข้มข้นร้อยละ 1.0 ปริมาตร 40 มิลลิลิตร เติมสารละลายสีข้อมเข้มข้นปริมาตร 60 มิลลิลิตรลงในสารละลายเดกซ์ทรินที่เตรียมไว้ ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที กรองก่อนใช้ โดยทิ้งส่วนที่กรองได้ 4-5 มิลลิลิตรแรกไปก่อน แล้วจึงนำส่วนต่อมาไปข้อมได้ สารละลายสีข้อมที่จะนำไปใช้จะต้องเตรียมใหม่ก่อนใช้ทุกวัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

แบบสอบถามการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์น้ำสลัด

ชื่อ.....วันที่

หมายเลขตัวอย่าง

ผลิตภัณฑ์น้ำสลัด

น้ำสลัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่รับประทานกับสลัดทั้งสลัดผักและสลัดผลไม้ โดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ สลัดน้ำใส และสลัดน้ำข้น แต่ผลิตภัณฑ์ที่ท่านชิมเป็นชนิดน้ำข้น โปรดให้คะแนน โดยมีระดับการให้คะแนนดังนี้

ลักษณะคุณภาพ	ระดับคะแนนของคุณภาพ				
สี	..... 5	..... 4	..... 3	..... 2	..... 1
	สีเหลือง	สีเหลืองอ่อน	สีเหลืองปานกลาง	สีค่อนข้างขาว	สีขาว
ความเป็นเนื้อเดียวกัน	..... 5	..... 4	..... 3	..... 2	..... 1
	เป็นเนื้อเดียวกัน	ค่อนข้างเป็นเนื้อเดียวกัน	เป็นเนื้อปานกลาง	ค่อนข้างไม่เนื้อเดียวกัน	ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน
ยอมรับรวม	..... 5	..... 4	..... 3	..... 2	..... 1
	ยอมรับได้มาก	ยอมรับได้ค่อนข้างมาก	ยอมรับได้ปานกลาง	ยอมรับได้ค่อนข้างน้อย	ยอมรับได้น้อย

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

ภาคผนวก จ

ความคงตัวของน้ำสลัดสูตรไขมันเต็มและสูตรแทนที่ไขมันด้วยสารละลายสตาร์ชข้าวและสารละลายสตาร์ชข้าวตัดแปร ความเข้มข้นร้อยละ 40 ที่ระดับการแทนที่ต่างๆ แสดงดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ จ1 ความคงตัวของน้ำสลัดสูตรไขมันเต็ม และน้ำสลัดที่แทนที่ไขมันในระดับร้อยละ 15, 30, 45 และ 60 ด้วยสารละลายสตาร์ชข้าวพันธุ์สกลนคร ความเข้มข้นร้อยละ 40 (เรียงตามลำดับจากซ้ายไปขวา)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ๒ ความคงตัวของน้ำสลัดสูตรไขมันเต็ม และน้ำสลัดที่แทนที่ไขมันในระดับร้อยละ 15, 30, 45 และ 60 ด้วยสารละลายสตาร์ชข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ความเข้มข้นร้อยละ 40 (เรียงตามลำดับจากซ้ายไปขวา)



รูปที่ ๓ ความคงตัวของน้ำสลัดสูตรไขมันเต็ม และน้ำสลัดที่แทนที่ไขมันในระดับร้อยละ 15, 30, 45 และ 60 ด้วยสารละลายสตาร์ชข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ความเข้มข้นร้อยละ 40 (เรียงตามลำดับจากซ้ายไปขวา)



รูปที่ ๔ ความคงตัวของน้ำสลัดสูตรไขมันเต็ม และน้ำสลัดที่แทนที่ไขมันในระดับร้อยละ 15, 30, 45 และ 60 ด้วยสารละลายสตาร์ชข้าวคัดแปร พันธุ์สกลนคร ความเข้มข้นร้อยละ 40 (เรียงตามลำดับจากซ้ายไปขวา)



รูปที่ ๕ ความคงตัวของน้ำสลัดสูตรไขมันเต็ม และน้ำสลัดที่แทนที่ไขมันในระดับร้อยละ 15, 30, 45 และ 60 ด้วยสารละลายสตาร์ชข้าวคัดแปร พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ความเข้มข้นร้อยละ 40 (เรียงตามลำดับจากซ้ายไปขวา)

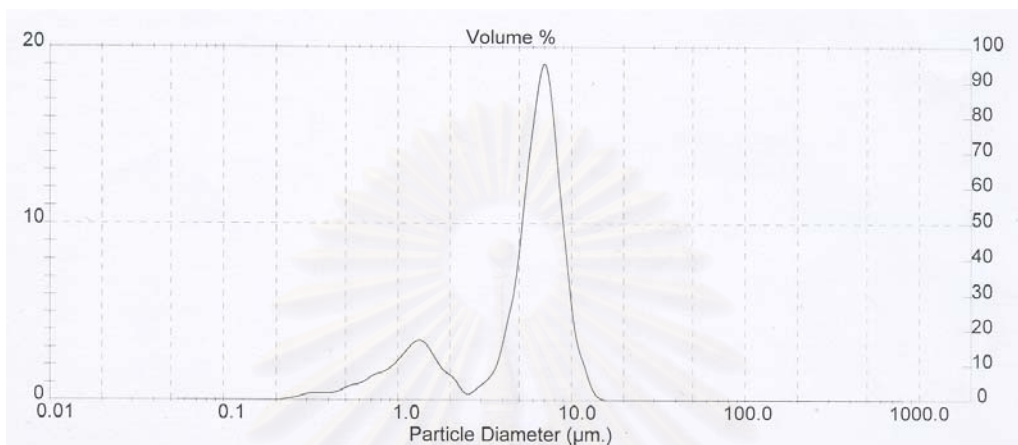


รูปที่ ๖ ความคงตัวของน้ำสลัดสูตรไขมันเต็ม และน้ำสลัดที่แทนที่ไขมันในระดับร้อยละ 15, 30, 45 และ 60 ด้วยสารละลายสตาร์ชข้าวคัดแปรพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ความเข้มข้นร้อยละ 40 (เรียงตามลำดับจากซ้ายไปขวา)

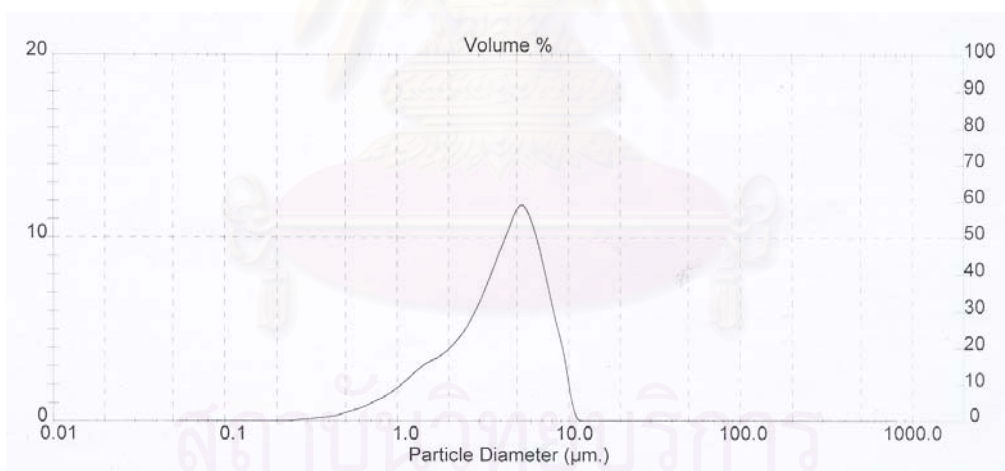
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฉ

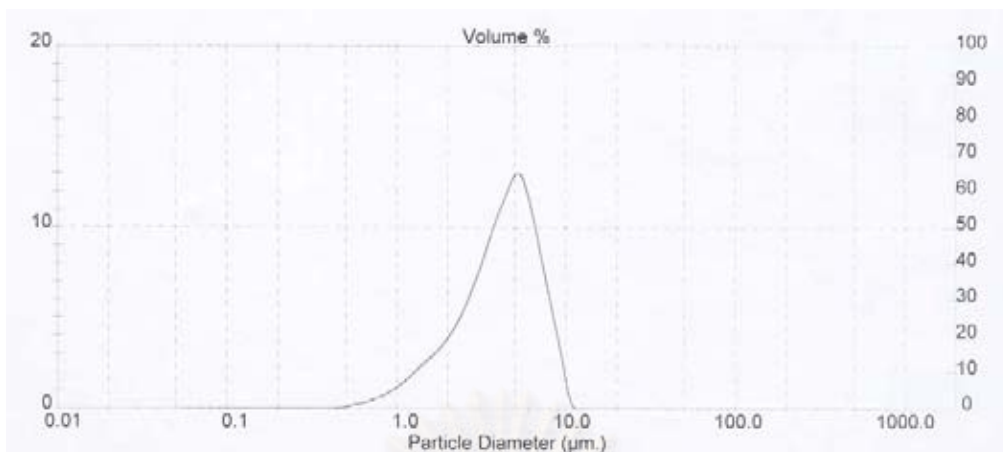
ขนาดอนุภาคของสตาร์ชข้าวและสตาร์ชข้าวตัดแปร



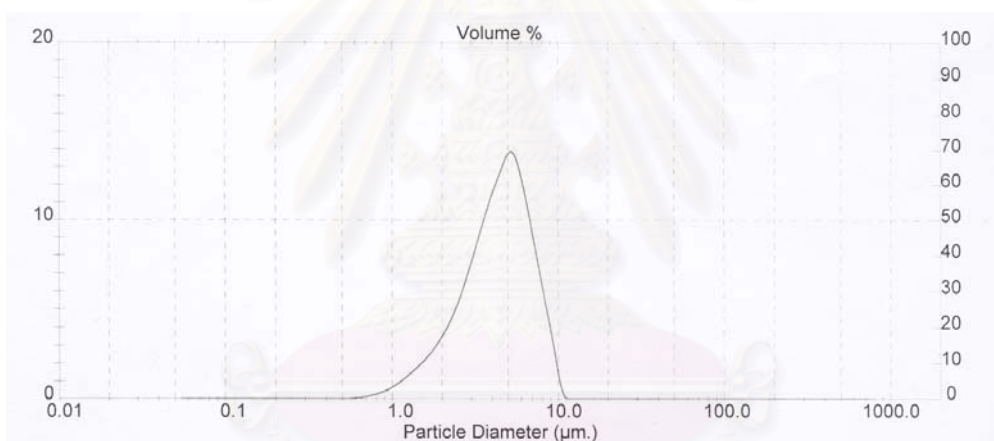
รูปที่ ฉ1 ขนาดอนุภาคของสตาร์ชข้าวพันธุ์สกลนคร



รูปที่ ฉ2 ขนาดอนุภาคของสตาร์ชข้าวพันธุ์สกลนคร ย่อยด้วยกรดเป็นเวลา 4 ชม.

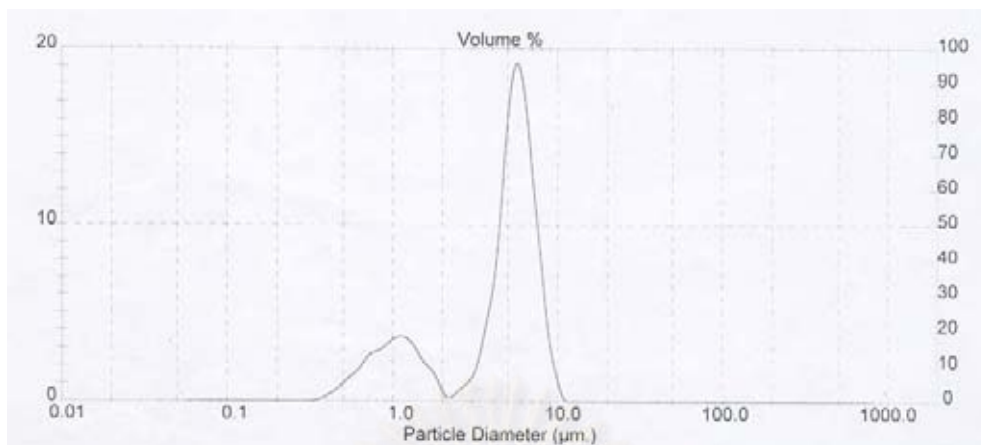


รูปที่ ๓ ขนาดอนุภาคของสตาร์ชข้าวพันธุ์สกลนครย่อยด้วยกรดเป็นเวลา 8 ชม.

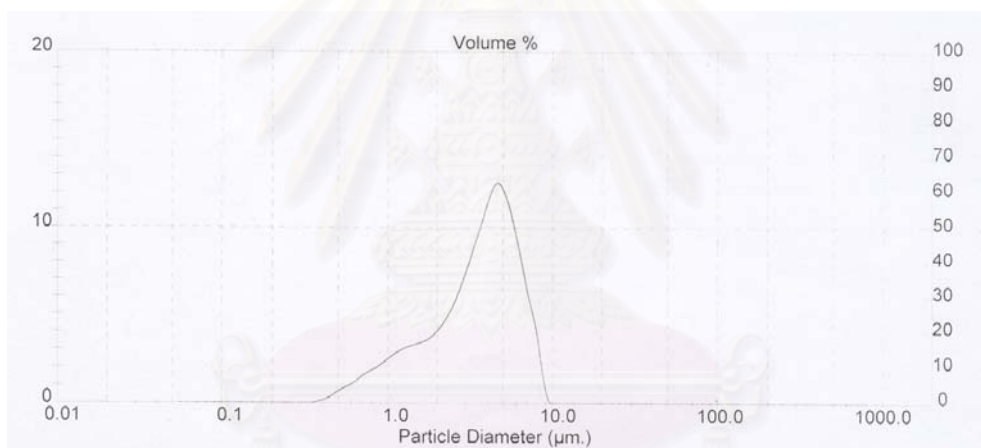


รูปที่ ๔ ขนาดอนุภาคของสตาร์ชข้าวพันธุ์สกลนครย่อยด้วยกรดเป็นเวลา 12 ชม.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

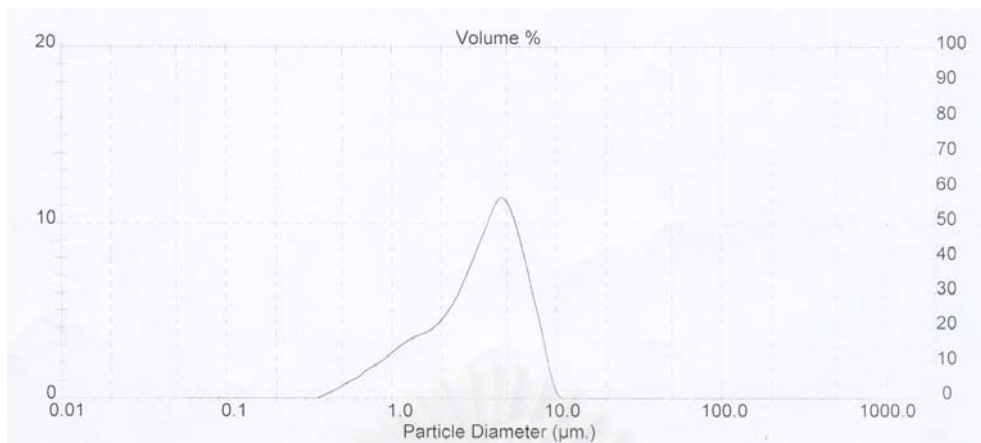


รูปที่ ๕ ขนาดอนุภาคของสตาร์ข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะติ 105

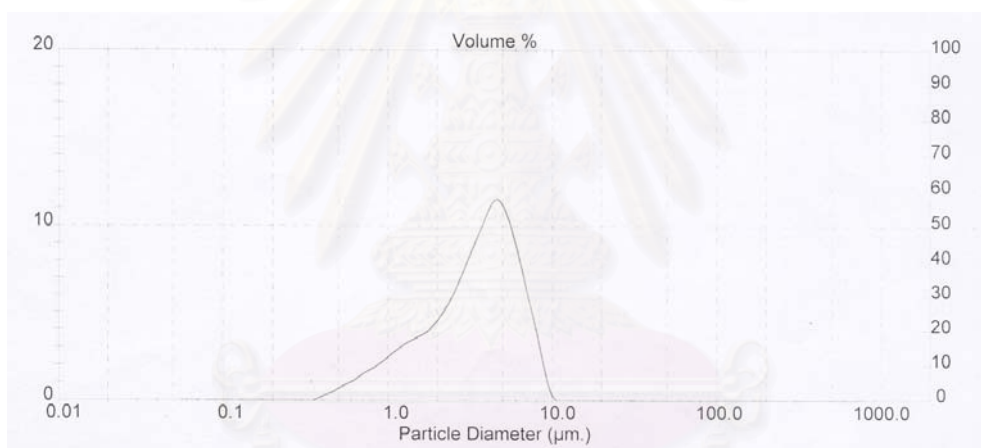


รูปที่ ๖ ขนาดอนุภาคของสตาร์ข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะติ 105 ย่อยด้วยกรดเป็นเวลา 4 ชม.

สถาบันนวัตกรรมการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

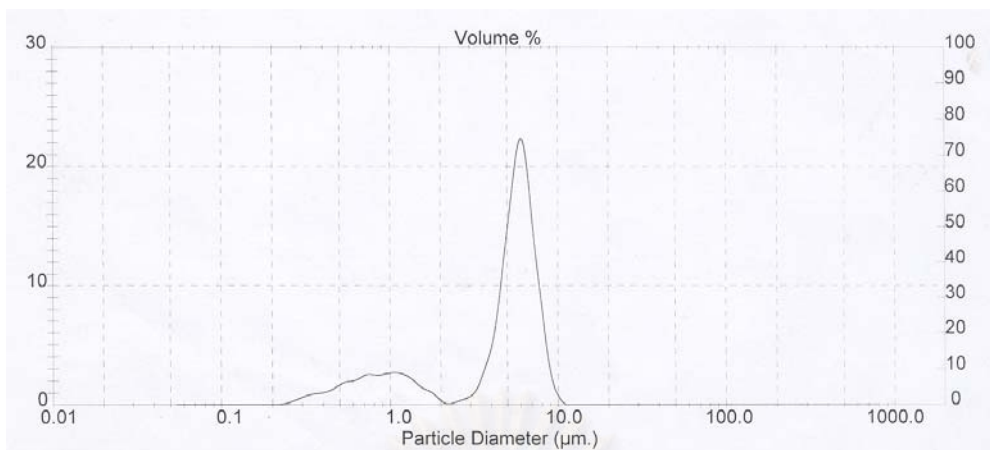


รูปที่ ๗ ขนาดอนุภาคของสสารสีขาวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ย่อยด้วยกรดเป็นเวลา 8 ชม.

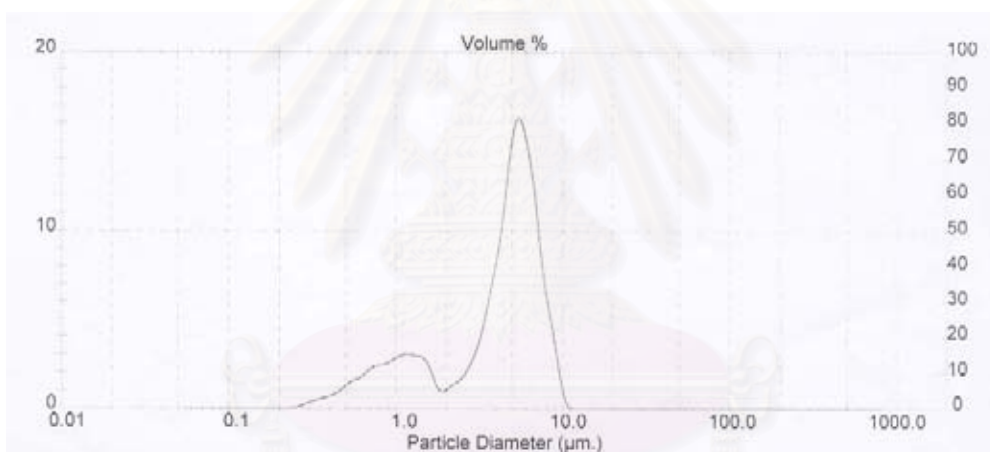


รูปที่ ๘ ขนาดอนุภาคของสสารสีขาวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ย่อยด้วยกรดเป็นเวลา 12 ชม.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

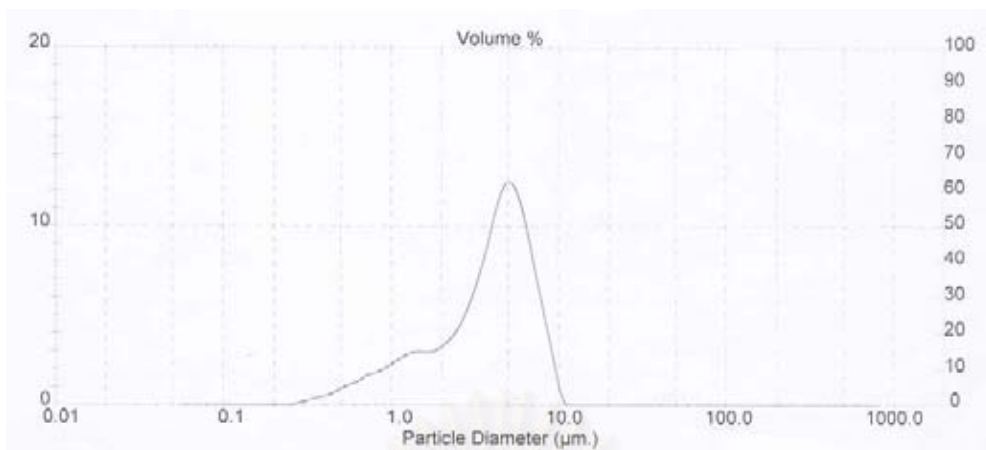


รูปที่ ๙ ขนาดอนุภาคของสตร้าซ์ข้าวพันธุสุพรรณบุรี 1

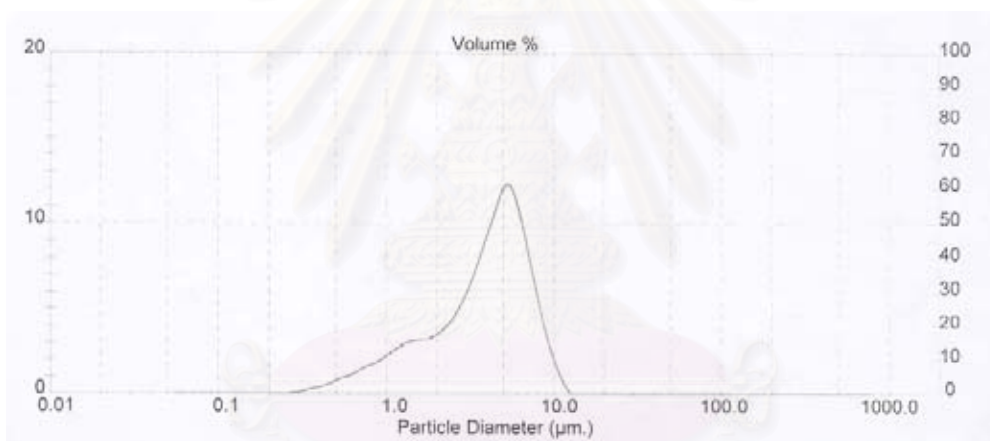


รูปที่ ๑๐ ขนาดอนุภาคของสตร้าซ์ข้าวพันธุสุพรรณบุรี 1 ย่อยด้วยกรดเป็นเวลา 4 ชม.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ๑1 ขนาดอนุภาคของสตา์ซ้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ย่อยด้วยกรดเป็นเวลา 8 ชม.



รูปที่ ๑2 ขนาดอนุภาคของสตา์ซ้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ย่อยด้วยกรดเป็นเวลา 12 ชม.

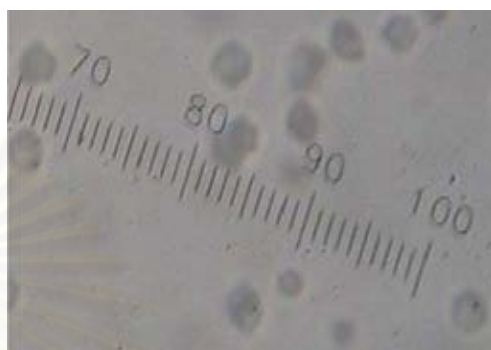
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ลักษณะและรูปร่างของเม็ดสตาร์ชข้าวและเม็ดสตาร์ชข้าวตัดแปร



ก.



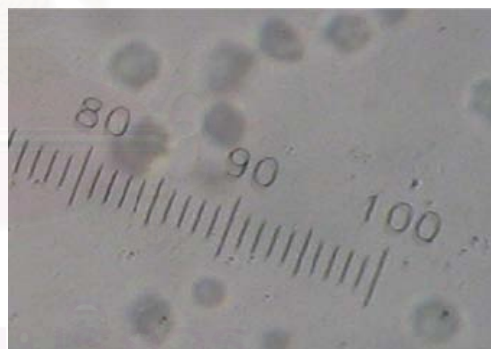
ข.

รูปที่ ข1 ลักษณะและรูปร่างของเม็ดสตาร์ชข้าวพันธุ์สกลนคร

- ก. สตาร์ชข้าว
- ข. เจลสตาร์ชข้าว



ก.



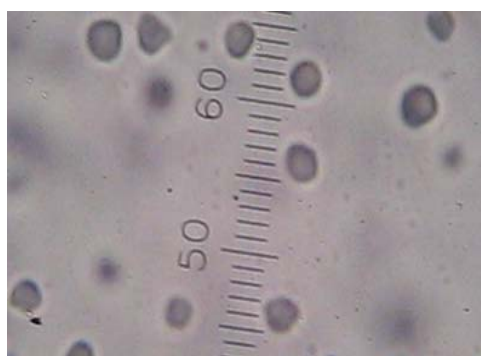
ข.

รูปที่ ข2 ลักษณะและรูปร่างของเม็ดสตาร์ชข้าวตัดแปรพันธุ์สกลนคร

- ก. สตาร์ชข้าวตัดแปร
- ข. เจลสตาร์ชข้าวตัดแปร



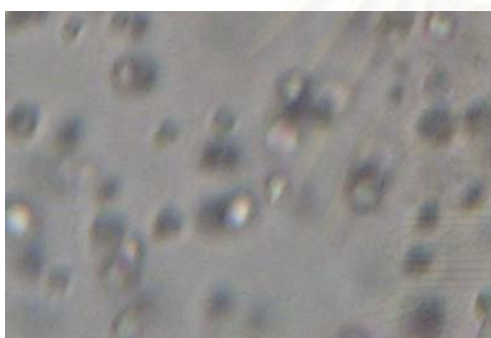
ก.



ข.

รูปที่ ๓3 ลักษณะและรูปร่างของเมื่อดสตาร์ชข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

- ก. สตาร์ชข้าว
- ข. เจลสตาร์ชข้าว



ก.

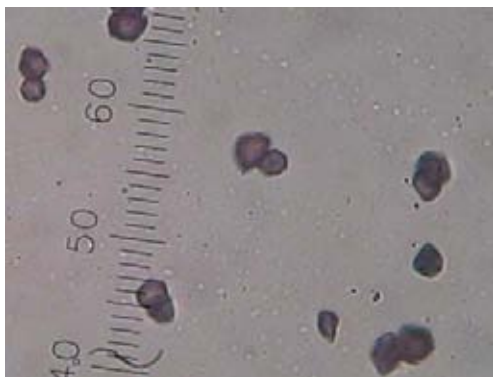


ข.

รูปที่ ๓4 ลักษณะและรูปร่างของเมื่อดสตาร์ชข้าวตัดแปรพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

- ก. สตาร์ชข้าวตัดแปร
- ข. เจลสตาร์ชข้าวตัดแปร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก.

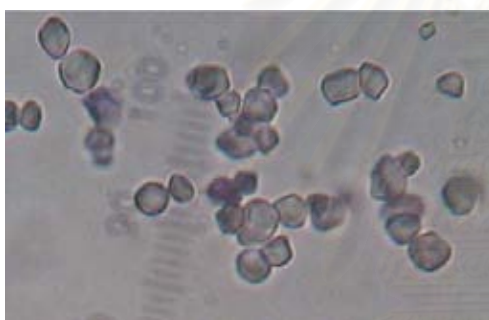


ข.

รูปที่ ข5 ลักษณะและรูปร่างของเมล็ดสตาร์ชข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1

ก. สตาร์ชข้าว

ข. เจลสตาร์ชข้าว



ก.



ข.

รูปที่ ข6 ลักษณะและรูปร่างของเมล็ดสตาร์ชข้าวตัดแปรพันธุ์สุพรรณบุรี 1

ก. สตาร์ชข้าวตัดแปร

ข. เจลสตาร์ชข้าวตัดแปร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

วัน เดือน ปี เกิด : 5 พฤศจิกายน 2522

สถานที่เกิด : นครสวรรค์

การศึกษา : วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีการเกษตร)
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย