



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาราเร่เสริม nattō
ในเชิงพาณิชย์

**Development of Arare added natto
in Commercial Scale**

โดย

รองศาสตราจารย์ ดร. อรุณี อภิชาติสร่างกูร และคณะ
พฤศจิกายน 2550 ถึง สิงหาคม 2551

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาราเรเสริม nattō
ในเชิงพาณิชย์

Development of Arare added natto
in Commercial Scale

คณะผู้วิจัย

1. รองศาสตราจารย์ ดร. อรุณี อภิชาติสรานุกร
2. นางสาวเกตุการ ดาจันทร์

สังกัด ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

สารบัญ

	หน้า
กิตติคุณประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ง
บทที่ 1 บทนำ	1
1. ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
3. ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
1. อารารเ (Arare)	4
1.1 วัตถุดิบหลักในการผลิตอารารเ	4
1.2 ขั้นตอนการผลิตอารารเ	6
1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะสัมผัสของอารารเ	7
1.4 องค์ประกอบทางเคมีของเม็ดแป้ง (starch granule)	9
1.5 การเกิดเจลาติไนเซชัน (gelatinization)	14
1.6 การเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation)	16
1.7 แป้งคัดแปร	17
1.8 แป้ง pregel	17
2. ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารและวิธีการวัด	17
2.1 ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร	17
2.2 วิธีการวัดเนื้อสัมผัส	18
3. นัตโตะ (Natto)	20
3.1 การผลิตนัตโตะ	20

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.1 ถั่วเหลือง	20
3.1.2 ชนิดของนัตโตะ	21
3.2 วิธีการทำอิโทฮิกินัตโตะ (itohiki-natto)	21
3.3 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักนัตโตะ	23
3.4 การประเมินคุณภาพของนัตโตะ	26
3.5 คุณค่าทางโภชนาการ และ Phamaceutical Values ของนัตโตะ	27
4. ถั่วเหลือง	28
4.1 คุณค่าทางโภชนาการของถั่วเหลือง	28
4.2 ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60	31
4.3 ถั่วเหลืองพันธุ์สจ. 2	31
5. กระบวนการทำแห้งอาหาร	32
5.1 น้ำในอาหาร	33
5.2 กราฟอัตราการทำแห้ง	34
5.3 ปริมาณความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture)	35
5.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง	35
5.5 ผลของการอบแห้งที่มีต่ออาหารอบแห้งในด้านต่างๆ	36
5.6 เครื่องอบแห้งแบบลมร้อน	37
5.7 เครื่องอบแห้งไมโครเวฟ	38
5. การอบและการย่าง (baking and roasting)	39
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	42
3.1 วัตถุประสงค์	42
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง	43
3.3 สารเคมี	43
3.4 อาหารเลี้ยงเชื้อ	44
3.5 วิธีการศึกษา	45
ตอนที่ 1 ศึกษาคุณภาพทางเคมีและกายภาพของข้าวเหนียว 3 พันธุ์	45

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ตอนที่ 2 พัฒนาเนื้อสัมผัสของอาราเร่โดยผสมข้าวเหนียวกับแป้งชนิดต่างๆ	45
ตอนที่ 3 พัฒนาขั้นตอนที่เหมาะสมในการผลิตอาราเร่	48
ตอนที่ 4 พัฒนาเนื้อสัมผัสของอาราเร่ (ตามที่ได้ร่วมประชุมกับบริษัทไทยนิจิ วันที่ 10 มิถุนายน 2551)	48
ตอนที่ 5 ศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตนัตโตะด้วยเชื้อบริสุทธิ์	53
ตอนที่ 6 พัฒนาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์อาราเร่เสริมรสโตะและนัตโตะและถั่วเหลือง อบกรอบ	54
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	58
ตอนที่ 1 ศึกษาคุณภาพทางเคมีและกายภาพของข้าวเหนียว 3 พันธุ์	58
ตอนที่ 2 ศึกษาแนวทางการพัฒนาเนื้อสัมผัสผลิตภัณฑ์อาราเร่	67
2.1 ศึกษาปริมาณอะไมโลสของแป้งชนิดต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนาเนื้อสัมผัสผลิตภัณฑ์อาราเร่	67
2.2 ศึกษาผลของอัตราส่วนผสม ที่มีผลต่อเนื้อสัมผัสของอาราเร่	68
ตอนที่ 3 พัฒนาขั้นตอนที่เหมาะสมในการผลิตอาราเร่โดย ใช้ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 และข้าวเก่า	81
ตอนที่ 4 พัฒนาเนื้อสัมผัสของอาราเร่ (ตามที่ได้ร่วมประชุมกับบริษัทไทยนิจิ วันที่ 10 มิถุนายน 2551	85
4.1 ศึกษาพันธุ์ข้าวที่มีผลต่อเนื้อสัมผัสของอาราเร่	85
4.2 เปรียบเทียบผลิตภัณฑ์อาราเร่ ที่ใช้แป้งที่มีความละเอียดแตกต่างกัน	92
4.3 ศึกษาผลของการผสมแป้งชนิดอื่นใน โดอาราเร่	97
ตอนที่ 5 ศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตนัตโตะด้วยเชื้อบริสุทธิ์	102
ตอนที่ 6 พัฒนาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์อาราเร่เสริมรสโตะและถั่วเหลืองอบกรอบ	107
6.1 พัฒนาอาราเร่เสริมรสโตะรูปแบบใหม่	107
6.2.พัฒนากระบวนการผลิตนัตโตะและถั่วเหลืองอบกรอบ	107

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.3 ศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคของนัตโตะและถั่วเหลืองอบกรอบ ด้วยวิธี Scanning Electron Microscope (SEM)	123
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	128
1. ผลิตภัณฑ์อาราเร่	128
2. ผลิตภัณฑ์นัตโตะ นัตโตะและถั่วเหลืองอบกรอบ	129
ข้อเสนอแนะ	131
เอกสารอ้างอิง	132
ภาคผนวก ก ภาพประกอบ	145
ภาคผนวก ข ตารางผลการทดลอง	153
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์คุณภาพ	164

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ปริมาณสารอาหารของข้าวสารในส่วนที่กินได้ 100 กรัม	5
2.2 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเหนียวสายพันธุ์ต่างๆ	5
2.3 ปริมาณของอะไมโลสในแป้งชนิดต่างๆ	11
2.4 สมบัติที่แตกต่างกันของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน	13
2.5 การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของถั่วเหลืองในระหว่างการหมักนัตโตะ	25
2.6 คุณค่าทางโภชนาการของถั่วเหลืองดิบและนัตโตะ (ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	26
2.7 ปริมาณสารอาหารและไฟโตเคมีคอลที่พบในถั่วเหลือง	30
2.8 การถ่ายเทมวลและความร้อนระหว่างการอบ	41
3.1 เวลาและอุณหภูมิในการย่างอารารุ่	51
3.2 สภาพที่ใช้ในการอบกรอบนัตโตะ	45
3.3 วิธีการและสภาพที่ใช้ในการอบกรอบถั่วเหลือง	45
4.1 คุณภาพทางเคมีของข้าวเหนียว 3 พันธุ์	58
4.2 ปริมาณอะไมโลสในตัวอย่างแป้งที่ใช้ผสมในโคอารารุ่	67
4.3 คุณภาพทางกายภาพ และเคมี ของอารารุ่ โดยผันแปรอัตราส่วนผสมของข้าวเหนียวหนึ่ง ต่อน้ำและแป้ง (National, FA1403 และ FA1807) เนยขาว ผงฟูและเกลือ	69
4.4 คุณภาพทางกายภาพ และเคมี ของอารารุ่ โดยผันแปรอัตราส่วนผสมของข้าวเหนียวหนึ่ง ต่อแป้งยี่ห้อ National เวลาการพักโดในตู้เย็น และเวลาในการไล่ความชื้น	72
4.6 คุณภาพทางกายภาพ และเคมี ของอารารุ่ (ผันแปรอัตราส่วนผสมของข้าวเหนียวหนึ่ง ต่อ กัวกัม โลคัสปีนกัน แป้ง National แป้งข้าวเจ้า และ/หรือ เกลือ)	75
4.7 คุณภาพทางกายภาพ และเคมี ของอารารุ่ โดยผันแปรอัตราส่วนผสมของข้าวเหนียวหนึ่ง กับมันฝรั่ง เผือก และ/หรือเกลือ ในอัตราส่วนต่างๆ	78
4.8 คุณภาพทางเคมี และกายภาพ ของโคอารารุ่และผลิตภัณฑ์อารารุ่ซึ่งเป็นส่วนผสมของ ข้าวเหนียวหนึ่งผสมแป้งมันฝรั่งในอัตราส่วนต่างๆ	80
4.9 คุณภาพทางเคมี และกายภาพ ของโคอารารุ่และอารารุ่สำเร็จ ซึ่งเป็นส่วนผสมของ ข้าวเหนียวพันธุ์กข.6 หรือ ข้าวเหนียวดำ แซ่สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) 0.3%w/w และ/หรือ เกลือ 0.6%w/w ในเวลาพักโดต่างๆ	82

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.10 คุณภาพทางกายภาพ และเคมีของอาราเร่ โดยผันแปรพันธุ์ข้าวของบริษัทไทยนิจิ และข้าว กข 6 (ฉัตร)	87
4.11 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาราเร่ โดยวิธี 5 point hedonic scaling	90
4.12 ขนาดอนุภาคแบ่งต่างๆ ร้อนด้วยความถี่ 46Hz นาน 20 นาที	92
4.13 เปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของอาราเร่ ที่ใช้แป้งที่มีความละเอียดแตกต่างกัน	93
4.14 เปรียบเทียบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาราเร่ที่ผลิตโดยแป้งที่มีความละเอียดแตกต่างกัน โดยวิธี 5 point hedonic scaling	96
4.15 เปรียบเทียบคุณภาพของอาราเร่ ที่ผสมแป้งชนิดอื่นๆ ลงในโคอาราเร่	98
4.16 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาราเร่โดยวิธี 5 point hedonic scaling	101
4.17 คุณภาพทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยาของนัตโตะก่อนการหมัก (ชั่วโมงที่ 0)	103
4.18 คุณภาพทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยาของนัตโตะหลังจากหมักเป็นเวลา 24 ชั่วโมง	104
4.19 สภาพะที่ใช้ในการอบกรอบนัตโตะ	110
4.20 วิธีการและสภาพะที่ใช้ในการอบกรอบถั่วเหลือง	113
4.21 คุณภาพทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยา ของนัตโตะอบกรอบที่อบด้วยวิธีการต่างๆ	118
4.22 คุณภาพทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยา ของผลิตภัณฑ์นัตโตะปรุงรสด้วยปลาป่นอบกรอบที่อบกรอบด้วยวิธีการต่างๆ	119
4.23 คุณภาพทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยา ของผลิตภัณฑ์ถั่วเหลือง (พันธุ์เชียงใหม่ 60) อบกรอบที่อบด้วยวิธีการต่างๆ	120
4.19 คุณภาพทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยา ของผลิตภัณฑ์ถั่วเหลือง (เปลือกสีดำ) อบกรอบที่อบด้วยวิธีการต่างๆ	121
ข-1 ค่าความชื้น (% dry basis), ค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ที่เปลี่ยนไปในระหว่างการอบกรอบนัตโตะด้วยลมร้อนสถานะที่ 1	154
ข-2 ค่าความชื้น (% dry basis), ค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ที่เปลี่ยนไปในระหว่างการอบกรอบนัตโตะด้วยลมร้อนสถานะที่ 2	155
ข-3 ค่าความชื้น (% dry basis), ค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ที่เปลี่ยนไปในระหว่างการอบกรอบนัตโตะด้วยไมโครเวฟสถานะที่ 1	156

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ข-4 ค่าความชื้น (% dry basis), ค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ที่เปลี่ยนไปในระหว่าง การอบกรอบนัตโตด้วยไมโครเวฟสถานะที่ 2	157
ข-5 ค่าความชื้น (% dry basis), ค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ที่เปลี่ยนไปในระหว่าง การอบกรอบถั่วเหลือง (พันธุ์เชียงใหม่ 60) ด้วยลมร้อนสถานะที่ 1	158
ข-6 ค่าความชื้น (% dry basis), ค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ที่เปลี่ยนไปในระหว่าง การอบกรอบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ด้วยลมร้อนสถานะที่ 2	159
ข-7 ค่าความชื้น (% dry basis), ค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ที่เปลี่ยนไปในระหว่าง การอบกรอบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ด้วยไมโครเวฟสถานะที่ 1	160
ข-8 ค่าความชื้น (% dry basis), ค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ที่เปลี่ยนไปในระหว่าง การอบกรอบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ด้วยไมโครเวฟสถานะที่ 2	160
ข-9 ค่าความชื้น (% dry basis), ค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ที่เปลี่ยนไปในระหว่าง การอบกรอบถั่วเหลืองเปลือกสีดำ ด้วยลมร้อนสถานะที่ 1	161
ข-10 ค่าความชื้น (% dry basis), ค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ที่เปลี่ยนไปในระหว่าง การอบกรอบถั่วเหลืองเปลือกสีดำ ด้วยลมร้อนสถานะที่ 2	162
ข-11 ค่าความชื้น (% dry basis), ค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ที่เปลี่ยนไปในระหว่าง การอบกรอบถั่วเหลืองเปลือกสีดำ ด้วยไมโครเวฟสถานะที่ 1	163
ข-12 ค่าความชื้น (% dry basis), ค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ที่เปลี่ยนไปในระหว่าง การอบกรอบถั่วเหลืองเปลือกสีดำ ด้วยไมโครเวฟสถานะที่ 2	163
ง-1 ค่าเอ็มพีเอ็นต่อกรัมหรือมิลลิลิตรของอาหาร ใช้ตัวอย่าง 0.1, 0.01 และ 0.001 กรัม ความเข้มข้นละ 3 หลอด	184

สารบัญภาพ

รูป	หน้า
2.1 เม็ดแป้งที่ดูผ่านกล้องจุลทรรศน์ แป้งข้าวโพด (A), แป้งมันสำปะหลัง (B), แป้งข้าวสาลี (C), แป้งข้าว (D)	9
2.2 ลักษณะสีส้มของแป้งมันฝรั่งที่ดูผ่านกล้องจุลทรรศน์ชนิดใช้ลำแสงโพลาไรส์	10
2.3 โครงสร้างของอะไมโลส	11
2.4 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน	12
2.5 โมเลกุลของอะไมโลเพคติน (ซ้าย) และอะไมโลเพคตินที่รวมเป็นกลุ่ม (ขวา)	12
2.6 visco/amylo/graph curve แสดงการพองตัวและการแตกออกของเม็ดแป้งที่สัมพันธ์กับ ความหนืดของอาหาร ในระหว่างการให้ความร้อน	16
2.7 การวัดค่าความแข็งของอาหาร โดยวิธีเจาะทะลุ	19
2.8 การเคลื่อนที่ของความชื้นออกจากชิ้นอาหารระหว่างการทำแห้ง	32
2.9 อัตราเร็วของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในอาหาร และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ ผันแปรตามค่ากิจกรรมน้ำ (a_w) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส	33
2.10 กราฟอัตราการทำแห้ง	34
3.1 เครื่องหาขนาดอนุภาคแป้ง	52
4.1 โครงสร้างระดับจุลภาคกำลังขยาย 50x โดยใช้วิธี Scanning Electron Microscope ของเมล็ดข้าวเหนียวพันธุ์กข.	60
4.2 โครงสร้างระดับจุลภาคโดยใช้วิธี Scanning Electron Microscope กำลังขยาย 50x ของเมล็ดข้าวเหนียวพันธุ์ข้าวฮ่วน	60
4.3 โครงสร้างระดับจุลภาคโดยใช้วิธี Scanning Electron Microscope กำลังขยาย 43x ของเมล็ดข้าวเหนียวดำเชียงใหม่	61
4.4 โครงสร้างระดับจุลภาคโดยใช้วิธี Scanning Electron Microscope กำลังขยาย 50x ของเมล็ดข้าวเจ้า	61
4.5 โครงสร้างระดับจุลภาคโดยใช้วิธี Scanning Electron Microscope กำลังขยาย 50x ของเมล็ดข้าวเจ้าในกำ	62
4.6 โครงสร้างระดับจุลภาคโดยใช้วิธี Scanning Electron Microscope กำลังขยาย 2500x ของเมล็ดข้าวเหนียวพันธุ์กข.6 ข้าวเหนียวข้าวฮ่วน ข้าวเหนียวดำเชียงใหม่(ข้าวกำ) ข้าวเจ้า และข้าวเจ้าในกำ	63

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.7 โครงสร้างระดับจุลภาคโดยใช้วิธี Scanning Electron Microscope กำลังขยาย 5000x ของเมล็ดข้าวเหนียวพันธุ์ข.6 ข้าวเหนียวข้าวอ้วน ข้าวเหนียวดำเชียงใหม่(ข้าวเก่า) ข้าวเจ้า และข้าวเจ้าในเก่า	64
4.8 โครงสร้างระดับจุลภาคโดยใช้วิธี Scanning Electron Microscope กำลังขยาย 10000x ของเมล็ดข้าวเหนียวพันธุ์ข.6 ข้าวเหนียวข้าวอ้วน ข้าวเหนียวดำเชียงใหม่(ข้าวเก่า) ข้าวเจ้า และข้าวเจ้าในเก่า	65
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายของความแข็ง (แรงต่อพื้นที่ในการวัด) ต่อความถี่ของ ข้อมูล ของข้าวพันธุ์ต่างๆ	88
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายของความแข็ง (แรงต่อพื้นที่ในการวัด) ต่อความถี่ของ ข้อมูล ของอารารเ่สำเร็จที่ผลิตจากแป้งที่มีความละเอียดแตกต่างกัน	94
4.11 รูปจุลภาพของโคอารารเ่ที่ผลิตจากแป้งที่มีความละเอียดแตกต่างกัน	94
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายของความแข็ง (แรงต่อพื้นที่ในการวัด) ต่อความถี่ ของข้อมูล ของอารารเ่ที่ผันแปรส่วนผสมของแป้งชนิดต่างๆ และความแข็งของอารารเ่ ที่ผลิตโดยไทยนิจิ	99
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น (% dry basis) และเวลาอบกรอบ (นาที่) ที่เปลี่ยนแปลง ไปในระหว่างการอบกรอบนัตโตะ ด้วยวิธีอบลมร้อน 2 สภาวะและ ไมโครเวฟ 2 สภาวะ	111
4.14 Sorption Isotherms จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (% dry basis) และค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ของนัตโตะอบกรอบ	112
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น (% dry basis) และเวลาอบกรอบ (นาที่) ที่เปลี่ยนแปลงไป ในระหว่างการอบกรอบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60	114
4.16 Sorption Isotherms จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (% dry basis)และ ค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ของถั่วเหลืองอบกรอบ (ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60)	115
4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น (% dry basis) และเวลาอบกรอบ (นาที่) ที่เปลี่ยนแปลงไป ในระหว่างการอบกรอบถั่วเหลืองเปลือกสีดำ	124

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.18 Sorption Isotherms จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (% dry basis) และค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ของถั่วเหลืองเปลือกสีดำอบกรอบ	125
4.19 โครงสร้างระดับจุลภาคของผลิตภัณฑ์น้ำตาลโตนดและน้ำตาลโตนดปรุงรสด้วยปลาป่นอบกรอบ ที่อบกรอบด้วยวิธีอบลมร้อนและไม่โครเวฟ ด้วยวิธี Scanning Electron Microscope (SEM) กำลังขยาย 100x (a), 500x (b) และ 1000x (c)	126
4.20 โครงสร้างระดับจุลภาคของผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 และถั่วเหลืองเปลือกสีดำอบกรอบ ที่อบกรอบด้วยวิธีอบลมร้อนและไม่โครเวฟ ด้วยวิธี Scanning Electron Microscope (SEM) กำลังขยาย 100x (a), 500 x (b) และ 1000 x (c)	127
ก-1 อารารสำเร็จผลิตจากโคของแปงละเยียดมาก (กข6) และโคแปงละเยียดน้อย (ไไทยนิจิ)	146
ก-2 อารารสำเร็จผลิตจากโคผสมแปงข้าวโพดคัดแปร์ (national) และแปงมันฝรั่งคัดแปร์ (ez100)	146
ก-3 ขั้นตอนการหมักน้ำตาลโตนด	147
ก-4 เชื้อ <i>Bacillus subtilis</i> (natto) BEST 195 บน Nutrent Agar บ่มที่ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 ชั่วโมง	148
ก-5 ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 และ พันธุ์สง.2 เมล็ดแห้ง (a) ที่ผ่านการแช่น้ำเป็นเวลา 16 ชั่วโมง (b) ก่อนนำไปนึ่งที่ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้วเป็นเวลา 40 และ 50 นาที (c)	148
ก-6 เชื้อ <i>Bacillus subtilis</i> (natto) BEST 195 เจริญปกคลุมอยู่บนถั่วเหลือง หลังผ่านการหมักที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และ บ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง	149
ก-7 น้ำตาลโตนดที่หมักด้วยเชื้อ <i>Bacillus subtilis</i> (natto) ในปริมาณ 10^5 cfu/g หมักที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และบ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หลังผ่านการคณผสม	149

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
ก-8 ตู้อบลมร้อน ที่ใช้อบกรอบนัตโตะและถั่วเหลือง และการเตรียมนัตโตะ (a) และถั่วเหลือง (b) เพื่ออบกรอบในตู้อบลมร้อน	150
ก-9 ตู้อบไมโครเวฟที่ใช้อบกรอบนัตโตะและถั่วเหลือง ช่วงวัตต์ที่ใช้ 700W(a), 900W (a) ,100W (b) และการเตรียมนัตโตะ (c) และถั่วเหลือง (d) เพื่ออบกรอบในตู้อบไมโครเวฟ	150
ก-10 ผลิตภัณฑ์นัตโตะอบกรอบที่ผ่านการอบกรอบด้วยลมร้อนสภาวะที่ 1 สภาวะที่ 2 และอบกรอบด้วยไมโครเวฟสภาวะที่ 1 สภาวะที่ 2	151
ก-11 ผลิตภัณฑ์นัตโตะอบกรอบที่ผ่านการอบกรอบด้วยลมร้อนสภาวะที่ 1 สภาวะที่ 2 และอบกรอบด้วยไมโครเวฟสภาวะที่ 1 สภาวะที่ 2	151
ก-12 ผลิตภัณฑ์นัตโตะอบกรอบที่ผ่านการอบกรอบด้วยลมร้อนสภาวะที่ 1 สภาวะที่ 2 และอบกรอบด้วยไมโครเวฟสภาวะที่ 1 สภาวะที่ 2	152
ก-13 ผลิตภัณฑ์นัตโตะอบกรอบที่ผ่านการอบกรอบด้วยลมร้อนสภาวะที่ 1 สภาวะที่ 2 และอบกรอบด้วยไมโครเวฟสภาวะที่ 1 สภาวะที่ 2	152

โครงการวิจัย
การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเสริม nattō ในเชิงพาณิชย์
Development of Arare added natto in Commercial Scale

คณะผู้วิจัยและสัดส่วนที่ทำการวิจัย

1) หัวหน้าโครงการวิจัย :

ชื่อ	: รศ. ดร. อรุณี อภิชาติสร่างกูร สัดส่วน 50 %
คุณวุฒิ	: ปริญญาเอก (Ph.D. Food Technology)
หน่วยงานที่สังกัด	: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
โทรศัพท์	: 0-5394-8244-5
โทรสาร	: 0-5394-8244

2) ผู้ร่วมโครงการวิจัย:

2.1 ชื่อ	: นางสาว เกตุการ ดาจันทา สัดส่วน 50 %
คุณวุฒิ	: ปริญญาโท (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร)
หน่วยงานที่สังกัด	: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
โทรศัพท์	: 0-5394-8244-5
โทรสาร	: 0-5394-8244

3) หน่วยงานที่ร่วมโครงการวิจัย:

หน่วยงาน	: บริษัท ไทย-นิจิ อินดัสทรี จำกัด (Thai-Nichi Industries Co.,Ltd.)
โทรศัพท์	: 0-5358-1222-3
โทรสาร	: 0-5355-2500

กิตติคุณประกาศ

ทีมงานวิจัยและบริษัทไทยนิจิ ขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยแก่โครงการนี้ รวมทั้งผู้ประสานงานโครงการวิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์บัณฑิต อินดวงศ์ ซึ่งให้ข้อเสนอแนะและเป็นที่ปรึกษาในการดำเนินการวิจัยเป็นอย่างดี รวมทั้งคุณนพมาศ พิมจุฬา ผู้ช่วยผู้ประสานงานโครงการ และคุณรุ่งลาวัลย์ สีหะบัณฑิต ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานต่างๆ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้แยกการทดลองออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนแรกเป็นการพัฒนาเนื้อสัมผัสของอาราเร่ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ตอนคือ ตอนแรกศึกษาการลดความแข็งของอาราเร่โดยผสมแป้งที่ก่อเจลแล้วลงในข้าวเหนียวที่นึ่งสุก จึงนำส่วนผสมนี้เป็นโด และยังเป็นอาราเร่ต่อไป สำหรับแป้งที่ใช้ได้แก่ แป้งมันสำปะหลังดัดแปร แป้งข้าวโพดดัดแปร (waxy corn starch pregel) แป้งมันฝรั่ง แป้งข้าวเจ้า แป้งท้าวยายม่อม แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเหนียว กัมชนิดต่างๆ มันฝรั่งและเผือกนึ่งสุก พบว่าแป้งที่เหมาะสมในการลดความแข็งของผลิตภัณฑ์ได้ ได้แก่ แป้งข้าวโพด pregel และมันฝรั่งนึ่ง แต่เนื่องจากกลืนแรงของมันฝรั่งปิดบังกลืนของข้าว ผู้ประกอบการจึงไม่แนะนำให้ทดลองต่อไป ส่วนแป้งข้าวโพด pregel มีราคาค่อนข้างสูงจึงไม่เป็นที่สนใจของผู้ประกอบการ ดังนั้นการพัฒนาในตอนที่ 2 จึงต้องใช้วิธีดัดแปลงกระบวนการผลิตแทน หรือหาแป้งราคาถูกกว่ามาทดแทนจากการศึกษาอุณหภูมิในการไล่ความชื้นของโดก่อนอย่าง พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสม ได้แก่ 45 องศาเซลเซียส จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีผิวบาง และโครงสร้างในส่วนหนึ่งของเนื้อภายในไม่หนาเกินไป ส่วนความชื้นของโดก่อนอย่างที่เหมาะสม คือ 27-30% จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สำเร็จที่มีความแข็งตามต้องการ

ตอนที่สองศึกษาการลดความแข็งของอาราเร่โดยดัดแปลงขั้นตอนการผลิตตามคำแนะนำของไทยนิธิ โดยผสมแป้งดิบลงในข้าวเหนียวคุด จากนั้นนำไปนึ่งเป็นเจลพร้อมกัน และจึงนำส่วนผสมที่นึ่งสุกเป็นโดก่อนอย่างเป็นอาราเร่ต่อไป พบว่าชุดควบคุมซึ่งเป็นโดที่ผสมแป้งข้าวโพดดัดแปร และแป้งมันฝรั่งดัดแปร สามารถลดความแข็งของผลิตภัณฑ์ลงได้ เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ของไทยนิธิ (S-03) สรุปได้ว่าวิธีการผสมแป้งลงในโดอาราเร่ ไม่ว่าจะใช้วิธีในตอนแรกของการทดลอง หรือตอนที่สอง ก็สามารถลดความแข็งของผลิตภัณฑ์สำเร็จได้เหมือนกัน จากการศึกษาลดความแข็งของอาราเร่โดยใช้ข้าวเหนียวคุดที่มีความละเอียดต่างๆ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากความละเอียดของข้าวเหนียวคุดที่ใช้มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (60-100 mesh) จึงไม่เห็นความแตกต่างของเนื้อสัมผัสของอาราเร่สำเร็จที่ชัดเจน หากปรับปรุงเนื้อสัมผัสที่เด่นชัด ควรใช้ข้าวเหนียวคุดที่มีความละเอียดเพิ่มขึ้น (มากกว่า 150 หรือ 200 mesh)

ส่วนที่สองเป็นการพัฒนานัตโตะ โดยใช้ถั่วเหลือง 2 พันธุ์ ได้แก่ เชียงใหม่ 60 และสจ. 2 นำถั่วเหลืองเมล็ดแห้งมาแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 16 ชั่วโมง นึ่งภายใต้ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส คั้นแปรเวลาการให้ความร้อนแก่ถั่วเหลือง 2 ระดับ คือ 40 และ 50 นาที ทำการหมักด้วยเชื้อบริสุทธิ์ *Bacillus natto* ที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24

ชั่วโมง จากนั้นศึกษาคุณภาพทางเคมี กายภาพ จุลชีววิทยา และคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยไทยนิจิ พบว่านัตโตะมีค่าความเป็นกรดต่างอยู่ในช่วงของค่า 7.74 - 7.86 ค่าสี L แสดงความสว่างกว่าถั่วเหลืองนึ่งสุก ยังพบว่านัตโตะที่ใช้เวลานึ่งถั่วนานกว่าจะมีความแน่นเนื้อต่ำกว่า (4.29-5.47 kg) สำหรับนัตโตะสำเร็จมีปริมาณเชื้อ *B. natto* อยู่ในช่วง 9.56 – 9.79 log cfu/g, spore count อยู่ในช่วง 9.36 – 9.74 log cfu/g ตรวจไม่พบยีสต์และรา

การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการอบกรอบนัตโตะและถั่วเหลืองด้วยลมร้อนและไมโครเวฟ คัดเลือกชนิดของนัตโตะโดยไทยนิจิ(ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60)ไปอบ โดยผันแปรอุณหภูมิลมร้อน 2 ระดับ ได้แก่ 210 และ 230 องศาเซลเซียส หรือผันแปรไมโครเวฟ 2 ระดับ ได้แก่ 700 และ 900 วัตต์ พบว่าในการอบนัตโตะด้วยวิธีลมร้อน และวิธีไมโครเวฟ จนกระทั่งนัตโตะมีค่ากิจกรรมของน้ำต่ำกว่า 0.50 จะใช้เวลาการอบทั้งสิ้น 545, 515, 335 และ 305 นาที ตามลำดับ ส่วนถั่วเหลืองจะอบจนกระทั่งความชื้นลดลงต่ำกว่า 2% dry basis โดยใช้เวลาการอบทั้งสิ้น 56, 54, 20 และ 15 นาที ตามลำดับ

จากการศึกษาคุณภาพของนัตโตะและถั่วเหลืองอบกรอบ พบว่านัตโตะมีความชื้นอยู่ในช่วง 4.81 – 4.94% dry basis ค่ากิจกรรมของน้ำอยู่ในช่วง 0.481 – 0.495 ความแน่นเนื้อ (306-328 N) และความกรอบ (727-759 N.sec) ของนัตโตะที่อบด้วยลมร้อนสภาวะที่ 1 ลมร้อนสภาวะที่ 2 และไมโครเวฟสภาวะที่ 1 มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ยกเว้นการอบด้วยไมโครเวฟสภาวะที่ 2 จะมีค่าความแน่นเนื้อ (375 N) และความกรอบ (794 N.sec) สูงกว่าการอบในสภาวะอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นอกจากนั้นยังพบว่าจุลินทรีย์ที่ใช้อากาศมีปริมาณอยู่ในช่วง 9.02 – 9.12 log cfu/g ซึ่งคาดว่าเป็นเชื้อ *Bacillus natto* ที่ปนอยู่ในนัตโตะสด สำหรับเชื้อ coliform และ *E. coli* มีปริมาณ < 3 MPN/g :ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของถั่วเน่า

ถั่วเหลืองอบกรอบ (พันธุ์เชียงใหม่ 60) พบว่ามีความชื้นอยู่ในช่วง 1.80 - 1.92% dry basis มีกิจกรรมของน้ำอยู่ในช่วง 0.285 - 0.296 ความแน่นเนื้อ และความกรอบอยู่ในช่วง 350-363 N และ 775-809 N.sec ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันในทุกหน่วยทดลองอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ตรวจไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้อากาศ เพราะมีปริมาณต่ำกว่า 10 cfu/g กรณี coliform และ *E. coli* มีปริมาณต่ำกว่า 3 MPN/g

งานวิจัยนี้ยังได้ศึกษาถั่วเหลืองเปลือกดำอบกรอบ ตามคำแนะนำของไทยนิจิ พบว่าได้ผลคล้ายคลึงกับถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60อบกรอบ

Abstract

This investigation was divided into two individual parts. The first part was designed to develop arare which was subdivided into two different experiments. The first experiment was studied reduction of hardness of arare by mixing gelled flour or gum with steamed sticky crushed-rice to form dough, prior to grilling to the final product. Various flour and gums were used in this experiment such as modified tapioca starch, pre-gelled waxy-corn starch, potato starch, rice flour, arrow root starch, corn starch, sticky rice flour and gums as well as steamed potato and taro . Within these different addition, pregelled waxy-corn starch seemed to give superior texture of the finish product which was soft and crispy. Since its price is too high, hence this starch was not recommended by Thai Niji. Another addition of steamed potato also displayed soft texture, but it had relatively strong odor which covered the original rice odor, therefore this component was also not considered. To overcome this solution, modified processing condition or used appropriate cheap flour might be taken into account (see second part). A study of drying dough pieces was suggested that an optimum temperature of 45 °C could gave rise to thin crust and crumb of the final products. The optimum moisture content of pieces of dehydrated dough (prior to drying) was in the range 27-30% could brought about finish products with required texture.

Second experiment : study of reducing hardness of arare as recommended by Thai Niji, flour was first mixed with crushed rice then steamed to form gel and mixed into dough before the grilling process. In this modified method the flour and crushed rice were simultaneously cooked to form gel. The control finish products made from dough added pre-gelled waxy-corn starch or pre-gelled potato starch exhibited similar to the first experiment softer texture than those Thai Niji product (S-03). This could be indicated that either methods of incorporating gelled flour or non-gelled flour into crushed cooked rice (first experiment) or crushed raw rice (second experiment) could give similar result of softer products. A study of reducing hardness of arare by decreasing particle size of crushed rice, it was found that all finish products did not show significantly different hardness which was due primarily to the slight difference of particle size (60-100 mesh) of all used crushed-rice. To improve a

good pronounced texture of product, higher particle size of crushed-rice should be introduced e.g. more than 150-200 mesh.

Second part, to develop natto using two varieties of soy bean i.e. Chiangmai 60 and Sosjo 2 were studied. The dehydrated soy bean was soaked in drinking water for 16 hr. drained and steamed at pressure 15 lb./ in² (121°C) for processing time of 40 and 50 min. The cooked bean was inoculated with *Bacillus natto* and fermented at 42 °C for 24 hr. Physical, chemical and microbiological qualities as well as sensory evaluation assessed by Thai Niji of finish products were performed. The basic natto had pH 7.74-7.86, also had lighter color than those unfermented soy bean as indicated by higher L value. The natto made from soy bean with longer cooking time showed lower hardness (4.29-5.47 kg). Quantity of *B. natto* in the finish product was 9.56-9.79 log cfu /g, spore count was 9.36-9.74 log cfu /g. Yeast and mould could not be detected.

An investigation of optimum time for dehydrating natto and soy bean by hot air and microwave drying, a selected type of natto by Thai Niji was made from soy variety Chiangmai 60, subsequently, dehydrated under 2 levels of hot air i.e. 210 and 230 °C or under 2 levels of microwave heating 700 and 900 Watt. The dehydration time of these four conditions until a_w less than 0.5 were found to be 545, 515, 335 and 305 min. respectively, whereas dehydrated soy until moisture content less than 2% were 56, 54, 20 and 15 min. respectively.

Natto quality were assessed as follows; moisture content 4.81-4.94, a_w 0.48-0.50. Their hardness (306-328 N) and crispiness (727-759 N.sec) were not significantly different ($p \geq 0.5$) among three conditions of dehydration, except product dried under second condition of microwave had hardness (375 N) and crispiness (794 N.sec) significantly higher than those other products ($p \leq 0.5$). For microbiological quality, aerobic organisms were laid in the range of 9.02-9.12 log cfu /g which speculated as *B. natto* accumulated in the fresh natto. The amount of coliform and *E. coli* were less than 3 MPN /g which considered to be conformed with standard of community products for toa nou (Thai fermented soy bean).

The quality of dehydrated soy bean (Chiangmai 60 variety) had moisture content 1.8-1.9 %, a_w 0.28-0.3. Their hardness and crispiness were 350-363 N and

775-809 N.sec respectively which were not significantly different ($p \geq 0.5$) among four conditions of dehydration.

For microbiological aspect, aerobic bacteria was less than 10 cfu /g., coliform and *E. coli* were also less than 3 MPN /g. The result of dehydration of back soy bean from Thai Niji was identical with dehydrated soy bean Chiangmai 60 variety.

บทที่ 1

บทนำ

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์ที่ทำจากข้าว มีราคาสูงกว่าเมล็ดข้าวขาวอย่างเด่นชัด คือ ต้นละ 22,460 บาท ในขณะที่ข้าวเปลือกมีราคาเพียงต้นละ 13,270 บาทเท่านั้น แต่ในอนาคตประเทศไทยอาจลดการเป็นผู้นำตลาดข้าวเปลือก เพราะมีคู่แข่งมากขึ้น เช่น เวียดนาม อินเดีย เป็นต้น ดังนั้นการสร้างตลาดใหม่ในกลุ่มผลิตภัณฑ์ จึงมีศักยภาพที่ดี ในช่วงปี พ.ศ. 2548 - 2549 มีปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์จากข้าวเพิ่มสูงขึ้นมากกว่า 5 พันตัน (มูลค่า 326 ล้านบาท) (กรมศุลกากร, 2550) ดังเช่นขนมขบเคี้ยวที่ทำจากแป้งข้าวเนื่องจากไทยยังมีความได้เปรียบในแง่ของแหล่งวัตถุดิบ ปัจจุบันประเทศญี่ปุ่นเป็นตลาดที่ใหญ่ที่สุดของขนมขบเคี้ยวจากข้าว โดยมีปริมาณความต้องการบริโภคปริมาณปีละ 100,000 ตัน ซึ่งต้องนำเข้าจากต่างประเทศประมาณร้อยละ 10 ของปริมาณความต้องการทั้งหมด ซึ่งในจำนวนนี้เป็นการนำเข้าจากประเทศไทยประมาณร้อยละ 5 ซึ่งมีแนวโน้มสูงขึ้น ปัจจุบันประเทศไทยมีโรงงานผลิต ขนมขบเคี้ยวจากข้าวประมาณ 10 แห่ง และมีกำลังการผลิตประมาณปีละ 14,800 ตัน นอกจากตลาดญี่ปุ่น ตลาดส่งออกที่น่าสนใจ คือ สหภาพยุโรป สหรัฐฯ ออสเตรเลีย และนิวซีแลนด์ ความนิยมของขนมประเภทนี้เพิ่มขึ้นในแง่ของการเป็นขนมเพื่อสุขภาพ เนื่องจากการทำให้สุกด้วยการอบไม่ใช้การทอด รวมทั้งยังมีการเสริมสาหร่ายทะเลที่มีคุณค่าทางโภชนาการ

บริษัทที่ผลิตขนมขบเคี้ยวที่ทำจากข้าวเหนียว (ผลิตภัณฑ์อาราเร่) ในนิคมอุตสาหกรรมจังหวัดลำพูน คือ บริษัท ไทย-นิจิ อินดัสทรี จำกัด ตลาดส่งออกได้แก่ ญี่ปุ่น ยุโรป เป็นต้น ปัจจุบันประสบปัญหาหลายประการ ได้แก่ การพัฒนาด้านเนื้อสัมผัสและขาดการพัฒนาด้านการพัฒนาผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่ๆ ทำให้ไม่สามารถขยายตลาดผลิตภัณฑ์อาราเร่ทั้งในและต่างประเทศเท่าที่ควร รวมทั้งยังเสียโอกาสในการแข่งขันกับคู่แข่งทั้งในและต่างประเทศ จากปัญหาที่เกิดขึ้น บริษัทไทย-

นิจิ อินคัสทรี จำกัด ได้เสนอความร่วมมือกับผู้วิจัย เพื่อหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว และจากข้อมูลด้านการตลาดในข้างต้น แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของการส่งออกที่สวนทางกันของข้าวเปลือก และผลิตภัณฑ์จากข้าว จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะมีการศึกษาพัฒนากระบวนการผลิต เพื่อช่วยให้ผู้ประกอบการมีศักยภาพที่จะแข่งขันในตลาดทั้งภายในประเทศและต่างประเทศได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงมุ่งเน้นศึกษาพัฒนากระบวนการผลิตอาราเร่เชิงพาณิชย์ เพื่อให้ได้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่โปร่งกรอบ ไม่แข็งกระด้าง และสามารถขยายขนาดการผลิตสู่ระดับอุตสาหกรรมได้ นอกจากนี้ยังพัฒนาผลิตภัณฑ์อาราเร่ให้มีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มสูงขึ้นด้วยการใช้ข้าวกล้องผสมถั่วเหลืองหมัก นัตโตะ (ถั่วเน่า) ที่ผลิตจากถั่วเหลืองสายพันธุ์โปรตีนสูง เช่น ผสมนัตโตะลงในข้าว ขนมอาราเร่สอดไส้ นัตโตะ และนัตโตะอบกรอบ เป็นต้น จะได้ผลิตภัณฑ์อาราเร่รูปแบบใหม่ การใช้ข้าวกล้องเป็นวัตถุดิบในการผลิตก็จะได้ผลิตภัณฑ์อาราเร่ข้าวกล้องที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงขึ้น เพราะข้าวกล้องมีรงควัตถุฟลาโวนอยด์ โทโคฟีโนลที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ทำให้ช่วยต่อต้านการเกิดมะเร็ง ช่วยชะลอหรือยับยั้งกระบวนการออกซิเดชันของคอเลสเตอรอล LDL ซึ่งเป็นสาเหตุของการอุดตันของหลอดเลือดหัวใจ และเกิดภาวะความดันโลหิตสูง งานวิจัยนี้จะช่วยยกระดับของเทคโนโลยีการผลิตอาราเร่ทั้งกระบวนการผลิต เพิ่มมูลค่าของข้าว ถั่วเหลือง และมูลค่าการส่งออกของประเทศ ส่งผลให้เพิ่มศักยภาพในการแข่งขันผลิตภัณฑ์ของข้าวไทยในตลาดโลกได้

2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อทราบคุณภาพทางเคมีและกายภาพเบื้องต้นของวัตถุดิบหลักที่ใช้ผลิตอาราเร่ สำหรับใช้ประกอบการพิจารณาแผนแปรกระบวนการคัดแปลงในขั้นตอนที่ 2 และ 3
2. เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์อาราเร่ ที่มีเนื้อสัมผัสที่โปร่งไม่แข็งกระด้าง โดยการผสมแป้งชนิดต่างๆ ในข้าวเหนียว
3. เพื่อให้ได้กระบวนการผลิตอาราเร่ที่มีต้นทุนต่ำ (เปลี่ยนแปลงตามคำแนะนำของผู้ประกอบการ)
4. เพื่อให้ได้กระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตนัตโตะด้วยเชื้อบริสุทธิ์และพัฒนาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์อาราเร่เสริม นัตโตะ รูปแบบใหม่

3. ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ศึกษาคุณภาพทางเคมีและกายภาพของข้าวเหนียว 3 พันธุ์ ได้แก่ ข้าวเหนียวพันธุ์ กข.6 ข้าวอ้วน และข้าวกำ (ข้าวเหนียวดำเชียงใหม่)
2. พัฒนาระบวนการผลิตอาหารที่เหมาะสมควรโดยผสมแป้งและพืชชนิดต่างๆ
3. พัฒนาระบวนการที่เหมาะสมในการใช้ข้าวเหนียวสายพันธุ์ กข.6 และข้าวกำ ในการผลิตอาหารตามคำแนะนำของผู้ประกอบการ
4. ศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตนัตโตะด้วยเชื้อบริสุทธิ์
5. พัฒนาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารเสริม นัตโตะ และนัตโตะถั่วเหลืองอบกรอบ (ตามคำแนะนำของผู้ประกอบการ)

บทที่ 2

เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. อารารุ่

อารารุ่เป็นข้าวอบกรอบ (Rice Cracker) ที่ทำจากข้าวเหนียว ปรุงรสด้วยน้ำเชื่อม น้ำซอส ซีอิ๊ว ห่อด้วยสาหร่ายทะเลหรือผสมสาหร่ายลงไปในเรื่องแป้ง (สำนักนโยบายอุตสาหกรรม, 2551) อารารุ่เป็นข้าวอบกรอบ (Rice Cracker) พื้นเมืองของประเทศญี่ปุ่น โดยข้าวอบกรอบ ของประเทศญี่ปุ่น มี 2 ประเภทได้แก่ เซนเบ้ (senbei) ทำจากข้าวเจ้า และอารารุ่ (arare) ทำจากข้าวเหนียว (Hsieh & Luh, 1991) อารารุ่มีรสชาติที่เป็นเอกลักษณ์ มีเนื้อสัมผัสที่พองกรอบ ที่เกิดจากการย่างที่อุณหภูมิสูง ไม่ใช้น้ำมันในการทอดจึงทำให้อารารุ่เป็นที่สนใจในตลาดขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพ ปัจจุบันผู้ผลิตอารารุ่และเซนเบ้ ในญี่ปุ่นเหลืออยู่ไม่กี่ราย เนื่องจากภาวะเศรษฐกิจที่ซบเซาและต้นทุนการผลิตที่เพิ่มขึ้น ทำให้ผู้ประกอบการบางรายต้องล้มเลิกกิจการและบางรายขยายฐานการผลิตไปยังประเทศอื่นๆ ฐานการผลิตที่สำคัญได้แก่ ประเทศไทย ซึ่งเป็นแหล่งวัตถุดิบและกำลังแรงงานต่ำ โดยมีบริษัทร่วมทุนระหว่างไทยและญี่ปุ่นรายใหญ่ จำนวน 6 บริษัท และขยายฐานไปยังประเทศอื่นๆ ในแถบเอเชีย เช่น เกาหลี เป็นต้น (สำนักนโยบายอุตสาหกรรม, 2551)

1.1 วัตถุดิบหลักในการผลิตอารารุ่

วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตอารารุ่คือ ข้าวเหนียว ชนิดข้าวท่อนหรือข้าวทั้งเมล็ด ข้าวท่อนที่ผู้ผลิตใช้เพื่อผลิตขนมอบกรอบเพื่อการส่งออก มักเป็นข้าวท่อนเกรดเอ หรือ ข้าวทั้งเมล็ดเกรดเอ ที่คุณภาพดี สะอาด และไม่มีสิ่งเจือปน และต้องคัดเลือกพันธุ์ข้าวเฉพาะที่มีความเหมาะสมกับการผลิตด้วย (สำนักนโยบายอุตสาหกรรม, 2551) นิยมใช้ข้าวเหนียวในการทำข้าวอบกรอบ เนื่องจากข้าวเหนียวสามารถพองตัวได้อย่างรวดเร็วและผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะที่มีรูพรุนมาก (Luh, 2001) พันธุ์ข้าวเหนียวที่ผู้ประกอบการในไทยนิยมนำมาทำอารารุ่ได้แก่ ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6 และพันธุ์กข.10 และนิยมนำข้าวหักของพันธุ์เดียวกันมาผสมเพื่อลดต้นทุนในการผลิตแต่คุณภาพยังคงเดิม (Noomhorm *et al.*, 1997) คุณสมบัติทาง physicochemical ที่มีความสำคัญต่อเนื้อสัมผัสมากที่สุดคือปริมาณอะไมโลส ปริมาณอะไมโลสที่สูงจะส่งผลให้ข้าวเหนียวที่นึ่งสุกมีลักษณะแข็งไม่เหนียวและไม่มันเงา (gloss) (Juliano *et al.*, 1965) จึงมีการจัดแบ่งประเภทของข้าวตามปริมาณอะไมโลส

ได้แก่ ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำกว่า 20% จะให้ข้าวสุกที่นุ่ม ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสปานกลาง 20-25% จะให้ลักษณะข้าวสุกที่ค่อนข้างร่วน สำหรับข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงกว่า 25% ลักษณะข้าวสุกจะมีลักษณะร่วนแข็ง (สำนักพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าว กรมการข้าว, 2551) โดยปริมาณสารอาหารของข้าวสารในส่วนที่กินได้ 100 กรัม และองค์ประกอบทางเคมีของข้าวเหนียวพันธุ์ต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 ปริมาณสารอาหารของข้าวสารในส่วนที่กินได้ 100 กรัม

ประเภท	พลังงาน (แคลอรี)	โปรตีน (กรัม)	ไขมัน (กรัม)	วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม)	วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม)	ใยอาหาร (กรัม)
ข้าวเหนียว	259	8.4	1.6	0.16	0.06	0.8
ข้าวเหนียวไม่ขัดสี	360	7.4	2.1	0.3	0.12	0.8
ข้าวเจ้าขัดสี	353	6.6	1.1	0.11	0.02	0.8
ข้าวกล้อง	352	7.8	3.4	0.61	0.15	3.4

ที่มา : กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข พ.ศ. 2530

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเหนียวพันธุ์ต่างๆ

พันธุ์	ความชื้น %	โปรตีน%	ไขมัน %	คาร์โบไฮเดรต %	ใยอาหาร %	เถ้า %	อะไมโลส %
กข 6	12.44	5.72	0.49	80.95	1.12	0.10	5
กข 10	12.29	5.11	0.70	81.51	1.08	0.40	6.0-6.5
กำแพง 15	11.29	5.64	0.61	82.02	1.54	0.44	5.9
ขาวโป่งไคร้	12.54	7.18	0.34	79.65	2.18	0.29	4.2
ชีวแม่จัน	11.42	6.29	0.53	81.13	1.25	0.63	4.6
ปิอินอบู	11.12	8.9	0.35	79.16	1.82	0.44	4.6
สกลนคร	11.58	8.08	0.13	79.84	1.54	0.37	4.9
สันป่าตอง 1	12.91	6.74	0.57	79.4	1.13	0.4	5.6
หอมนางฟ้า 63	11.41	6.85	0.35	81.02	0.94	0.37	4.9
หางยี 71	10.85	5.38	0.3	83.07	1.43	0.40	4.5
เหนียวแพร่	13.41	5.35	0.38	80.56	0.96	0.30	5.7
เหนียวสันป่าตอง	12.97	5.55	0.33	80.78	0.99	0.39	5.5-6.5
เหนียวอุบล 2	11.16	6.30	0.63	81.48	1.28	0.43	5.4
อาร์ 258	12.44	6.63	0.60	79.97	1.21	0.36	4.2

ที่มา:สำนักพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าว กรมการข้าว, 2551

1.1.1 ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6 (RD6)

ข้าวเหนียวพันธุ์กข6 สูงประมาณ 154 เซนติเมตร ใว้ต่อช่วงแสง ให้ผลผลิตสูงและทนแล้ง เมล็ดข้าวกล้อง กว้าง x ยาว x หนา = $2.2 \times 7.2 \times 1.7$ มิลลิเมตร คุณภาพข้าวสุก เหนียวนุ่ม มีกลิ่นหอม คุณภาพการสีดี (กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2551) องค์ประกอบทางเคมีของข้าวพันธุ์กข 6 ความชื้น 12.44% โปรตีน 5.72% ไขมัน 0.49% คาร์โบไฮเดรต 80.95% โยอาหาร 1.12% เถ้า 0.10% อะไมโลส 5% (สำนักพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าว กรมการข้าว, 2551)

1.1.2 ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1 (San-pah-tawng 1)

ข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1 สูงประมาณ 119 เซนติเมตร ใว้ต่อช่วงแสง เมล็ดข้าวกล้อง กว้างxยาวxหนา = $2.2 \times 7.1 \times 1.8$ มิลลิเมตร คุณภาพข้าวสุก เหนียวนุ่ม (กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2551) องค์ประกอบทางเคมีของข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ความชื้น 12.91% โปรตีน 6.74% ไขมัน 0.57% คาร์โบไฮเดรต 79.40% โยอาหาร 1.13% เถ้า 0.40% อะไมโลส 5.6% (สำนักพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าว กรมการข้าว, 2551)

1.2 ขั้นตอนการผลิตอาราเร่

นำข้าวเหนียวมาล้างทำความสะอาด จากนั้นแช่ในน้ำสะอาดเป็นเวลา 16 - 20 ชั่วโมง ครบเวลาสะเด็ดน้ำออก นำมาบดให้ละเอียดเป็นผง (ขนาดต่ำกว่า 80-mesh sieve) นำไปนึ่งประมาณ 15-30 นาที ทำให้เย็นประมาณ 2-3 นาที นำมานวด 3 ครั้ง จนได้โด นำไปใส่ในภาชนะ นำไปทำให้เย็นอย่างรวดเร็วที่ 2-5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน เพื่อให้โดแข็งตัว จากนั้นนำไปตัดให้ได้รูปร่างและขนาดตามที่ต้องการ นำไปไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 45-75 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้ความชื้นประมาณ 20% นำไปอบในเตาอบ นำมาปรุงรสด้วยซอส เครื่องเทศ หรือเครื่องปรุงอื่นๆ นำไปอบให้แห้งอีกครั้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที กระบวนการอบเพื่อให้แป้งพองขยายตัว เป็นกระบวนการสำคัญที่จะทำให้ได้ข้าวอบกรอบ ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาราเร่ที่ได้ขึ้นกับความชื้นของโดก่อนอบ อุณหภูมิที่ใช้ออบ และอัตราเร็วของการระเหยของความชื้นในโด (Luh, 1991) ซึ่งการทำอาราเร่ของแต่ละแห่งมีขั้นตอนหลักๆ เหมือนกัน ยกเว้นในส่วนรายละเอียดหรือเทคนิคในการทำ เช่นขั้นตอนการผลิตของบริษัทไทยนิจิ จะนำข้าวเหนียวมาเข้าเครื่องแยกสี เมล็ดข้าว ข้าวเหนียวที่มีเมล็ดสีดำถูกคัดออกนำข้าวเหนียวที่คัดแล้วมาแช่ในน้ำเย็นที่มีอุณหภูมิคงที่แช่ทิ้งไว้ 1 คืน น้ำที่ใช้ต้องไหลเวียนอยู่ตลอดเวลา จากนั้นนำข้าวเหนียวที่แช่มาบดและโม่ให้เป็นแป้ง นำไปนึ่งโดยใช้ความร้อนจากไอน้ำ จากนั้นนำมานวดแล้วใส่ในกะละมังแช่ทิ้งไว้ในห้องเย็นประมาณ 2 วันเพื่อให้แป้งแข็งตัว เมื่อแป้งแข็งตัวเป็นก้อนนำออกจากกะละมังเข้าเครื่องตัด เป็นรูปร่างที่ต้องการ เมื่อตัดเป็นรูปร่างแล้ว นำไปอบในเครื่องอบเพื่อไล่ความชื้นในระดับหนึ่ง จากนั้น

อบอีกครั้งเพื่อไล่ความชื้นที่เหลืออยู่ออกให้หมด การอบ 2 ครั้งนี้เป็นเทคนิคที่ทำให้ขนมอาราริไม่แตกหักง่าย จากนั้นนำไปปิ้งรสชีอิ้วและห่อสาหร่าย (ปานทิพย์, 2538)

1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะสัมผัสของอาราริ

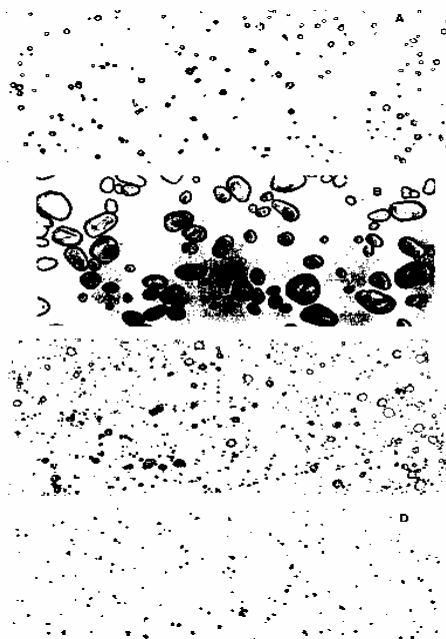
ปัจจัยที่ส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของข้าวอบกรอบมีหลายปัจจัย เช่น คุณภาพของวัตถุดิบ สูตร และกระบวนการผลิต คุณภาพของข้าวเหนียวที่ใช้ผลิต และองค์ประกอบของข้าวที่ใช้ผลิต โดยปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพคตินในแป้ง มีผลต่ออัตราการขยายตัวของแป้ง และลดความแข็งแรงของข้าวอบกรอบที่ได้ Liyan *et al.* (2001) and Wang (1997) รายงานว่าอัตราการขยายตัวของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณอะไมโลเพคตินและลดปริมาณอะไมโลส เนื่องจากอะไมโลสมีคุณสมบัติในการเกิดฟิล์มได้ดีและอะไมโลเพคติน สามารถเกิดโครงข่าย และทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีรูพรุนสูง ทำให้ช่วยเพิ่มการพองตัวของขนมอบกรอบ (Wang, 1997) กรณีคุณภาพของข้าวเหนียวที่ใช้ผลิต Noomhorm *et al.* (1997) รายงานว่าข้าวที่มีอายุการเก็บรักษานานจะทำให้ค่าการดูดซับน้ำต่ำกว่าข้าวที่เพิ่งเก็บเกี่ยว ซึ่งจะมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของอาราริที่ได้จะมีลักษณะแข็งเนื่องจากอาราริมีการพองตัวที่ต่ำ ปัญหาอื่นๆ ได้แก่เนื้อสัมผัสของอาราริที่แห้งและมีรูพรุนมากอาจไม่เป็นที่ยอมรับของกลุ่มผู้บริโภคที่ชอบเนื้อสัมผัสของขนมขบเคี้ยวอื่นๆ ที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่นุ่มและเบากว่า ดังนั้นผู้ประกอบการในไทยพยายามที่จะแก้ปัญหาเรื่องลักษณะสัมผัสของอาราริให้มีลักษณะที่นุ่ม เพื่อสามารถแข่งขันกับขนมขบเคี้ยวอื่นๆ ได้ การใช้แป้งคัดแปรอาจจะสามารถแก้ไขปัญหานี้ได้เนื่องจากแป้งคัดแปรสามารถเปลี่ยนคุณสมบัติทาง physicochemical ของแป้ง เช่นการเกิดเจลาคีโนเซชัน การเกิดรีโทรเกรเดชัน (Sriroth and Piyachomkwan, 2000) ดังเช่นการทดลองของ รวิวรรณ (2547) พบว่าขนมอบกรอบที่เดิมแป้งคัดแปรจากแป้งมันฝรั่งชนิด GTW ปริมาณการเติมน้ำร้อยละ 2.5 มีค่าความแข็งลดลงร้อยละ 39.0 เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้เติมแป้งคัดแปร เนื่องจากเนื้อโดมีความพองตัวสูงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งลดลง รวมทั้งความแข็งที่วัดได้จากเครื่องมือและผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสมีความสัมพันธ์ไปในทางเดียวกัน การปรับปรุงลักษณะสัมผัสโดยใช้แป้ง pregel ที่ได้จาก waxy mazie จะช่วยปรับปรุงลักษณะสัมผัสของขนมอบกรอบได้ และการเติมแป้งข้าวโพดที่มีปริมาณ อะไมโลสสูงหรือแป้งคัดแปรที่มีปริมาณอะไมโลสสูง สามารถช่วยลดการแตกและหักของขนมอบกรอบทำให้ลดการสูญเสียได้ (Huang, 2001) สำหรับปริมาณไขมันในแป้งสามารถจับกับอะไมโลสในแป้งเกิด amylose-lipid complex ที่ไม่สามารถละลายน้ำได้และยับยั้งการก่อเจล (Singh *et al.*, 2003) ด้วยสาเหตุนี้อาจทำให้ขนมที่ทำจากข้าวเหนียวที่เติมแป้งที่มีไขมันสูงเช่นแป้งข้าวโพดข้าวเหนียว ไม่ขยายตัวมากเท่าการเติมแป้งที่มีไขมันต่ำเช่นการเติมแป้งมันฝรั่ง เม็ดแป้งของแป้งมันฝรั่งมีขนาดใหญ่ มีช่องว่างขนาด 20 - 75 mm

และมีรูขนาดเล็กประมาณ 0.5 - 20 mm เม็ดแป้งขนาดใหญ่จึงมีโครงสร้างหลวมๆ ทำให้เกิดการขยายตัวได้ดีต่างจากเม็ดแป้งที่มีขนาดเล็กมักจะขยายตัวไม่มากนัก อย่างไรก็ตามในแป้งมันฝรั่งมี amylophosphoric acid มีข้าวลจะทำให้สามารถจับกับข้าวบวได้ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม คาดว่า จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีการพองตัวดี (Lisinska and Leszczynski, 1989) สอดคล้องกับการทดลองของรวิวรรณ (2547) พบว่าขนมอบกรอบที่เติมแป้งมันฝรั่งร้อยละ 5.0 และ 7.5 มีค่าความแข็งลดลง ร้อยละ 35.2 และ 33.9 เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้เติมแป้งและไม่ส่งผลถึงรสชาติและกลิ่นของขนมอบกรอบ กรณีปริมาณโปรตีนในข้าวเหนียวแป้งข้าวที่มีปริมาณโปรตีนต่ำจะมีอัตราการพองตัวสูงกว่า (สุพิสา, 2547) ในส่วนกระบวนการการผลิตอาหารก็มีผลต่อลักษณะสัมผัสอาหารที่ได้ เช่น ขั้นตอนการบดข้าว ขนาดของข้าวหลังจากบดที่มีขนาดเล็ก จะสามารถเกิดเจลลิตในเซชันได้ดี และผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบที่ได้จะมีการพองตัวมากกว่าใช้ขนาดของข้าวบดที่มีขนาดใหญ่ รวมทั้งถ้าเม็ดแป้งอยู่ในสภาพสมบูรณ์ ผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบที่ได้จะมีการพองตัวมากกว่า ส่วนในขั้นตอนการนวดแป้ง การนวดเป็นเวลานานจะส่งผลให้การพองขยายตัวของผลิตภัณฑ์ที่ได้ดีกว่าการนวดแป้งเป็นเวลาดสั้น (Luh, 1991)

การปรับปรุงเนื้อสัมผัสอาหารนอกจากจะใช้การผสมแป้งในข้าวเหนียว ยังมีรายงานการวิจัยเกี่ยวกับการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของขนมอบกรอบต่างๆ โดยการแช่สารละลายกรดหรือด่าง เช่น รายงานผลการวิจัย เกี่ยวกับการใช้สารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์และเกลือแกงเสริมให้ส่วนของสตาร์ชในส่วนผสมแป้งดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น จึงทำให้ผลิตภัณฑ์เอกซ์ทรูด ที่ได้อัตราการพองตัวสูงขึ้น (Zhou *et al.*, 2006; Chinnaswamy and Hanna, 2006) นอกจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ด่างหรือเบส ที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งอีกชนิดหนึ่ง ได้แก่ โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ประเทศในแถบเอเชีย เช่น ประเทศจีน และไทย มีการใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ในรูปของน้ำด่างหรือน้ำจี้เถ้าใส่ในอาหารมานานมากกว่า 100 ปีแล้ว เช่น ใช้แช่ข้าวเหนียวในการผลิต ก๊วย และขนมข้าวต้มน้ำวุ้น ใช้เป็นส่วนผสมของบะหมี่และเก๋าก๊วย นอกจากนั้นยังใช้ในกระบวนการแปรรูปหัวบุก เป็นต้น โดยโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์จะช่วยให้ข้าวมีลักษณะเป็นเจลอ่อนนุ่มเพิ่มความยืดหยุ่นและเพิ่มสีเหลืองแก่ผลิตภัณฑ์ หากใช้ปริมาณที่ต่ำสีของผลิตภัณฑ์จะไม่เข้มอย่างชัดเจน โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ช่วยให้ starch granule อ่อนตัว ถ้าหากใช้ในปริมาณ 1.7% จะทำให้ starch granule สลายตัว นอกจากนั้นยังลดอุณหภูมิในการก่อเจล ถ้าหากอุณหภูมิในการก่อเจลต่ำ starch granule จะสลายตัวได้น้อย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ของข้าว การสลาย starch granule นี้จะมีผลต่อโครงสร้างของอะไมโลเปคติน โดยทำให้ส่วนที่เป็นแขนงแยกตัวออก ทำให้สตาร์ทส่วนที่เหลือสามารถก่อเจลได้ง่ายขึ้นและที่อุณหภูมิต่ำ (Jahan *et al.*, 2003)

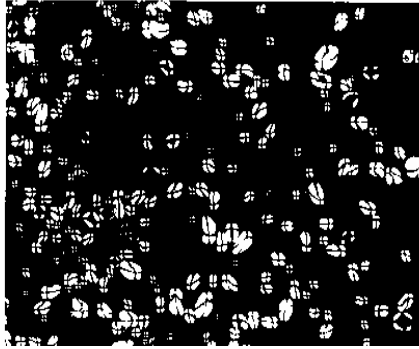
1.4 องค์ประกอบทางเคมีของเม็ดแป้ง (starch granule)

เม็ดแป้งหรือเม็ดสตาร์ช โดยทั่วไปประกอบด้วยโมเลกุลของแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนี้ยังมีโปรตีน ไขมัน ฟอสฟอรัส สารอินทรีย์อื่นๆ และน้ำในปริมาณที่แตกต่างกัน เม็ดแป้งจากวัตถุดิบต่างกันจะให้เม็ดแป้งที่มีรูปร่างแตกต่างกัน (คุชกีและน้องนุช, 2551) และเมื่อนำแป้งมาผสมน้ำแล้วส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นความแตกต่างนี้ดังในรูป 2.1 (อรุณี, 2548) กรณิเม็ดแป้งของข้าวเหนียวมีขนาดตั้งแต่ 2- 13 μm (ค่าเฉลี่ยประมาณ 5.5 μm) (Satin, 2551) โมเลกุลของแป้งจะจัดเรียงตัวก่อนข้างเป็นระเบียบ (semicrystalline) จากกึ่งกลางของเม็ดแป้ง ทำให้เกิดลักษณะฮิลัม (hilum) การจัดเรียงตัวนี้ทำให้เกิดเป็นชั้นหรือบริเวณที่เป็นผลึก (polycrystalline) และชั้นที่ไม่เป็นผลึก (noncrystalline หรือ amorphous) สลับกัน ส่วนเส้นของอะไมโลเปคติน จะเชื่อมติดกันเป็นเกลียว 2 เส้น (double helices) ซึ่งลักษณะเกลียวนี้จะเป็นบริเวณของผลึกที่จัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ (crystalline regions) สลับกับโมเลกุลที่จัดอย่างไม่เป็นระเบียบ ส่วนอะไมโลส โมเลกุลจะอยู่คละกับอะไมโลเปคตินและจะแยกตัวออกเมื่อเม็ดแป้งพองตัวในน้ำ ลักษณะของฮิลัมที่กึ่งกลางเม็ดแป้งทำให้แป้งเมื่อผสมกับน้ำสังเกตเห็นเป็นรูปกากบาทเมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดใช้ลำแสงโพลาไรส์ดังในรูปที่ 2.2 (อรุณี, 2548a)



รูปที่ 2.1 เม็ดแป้งที่ดูผ่านกล้องจุลทรรศน์ แป้งข้าวโพด (A), แป้งมันสำปะหลัง (B), แป้งข้าวสาลี (C), แป้งข้าว (D)

ที่มา: อรุณี, 2548a



รูป 2.2 ลักษณะสีส้มของแป้งมันฝรั่งที่ดูผ่านกล้องจุลทรรศน์ชนิดใช้ลำแสงโพลาไรส์
ที่มา: อรุณี, 2548a

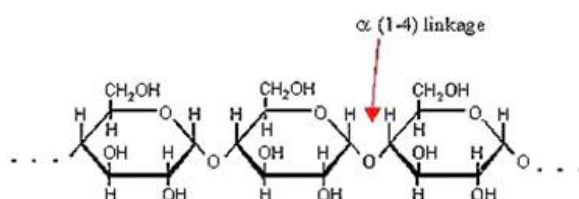
1.4.1 แป้ง (starch)

แป้งหรือสตาร์ชเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6:10:5 มีสูตรเคมีทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ แป้งเป็นโพลิเมอร์ของกลูโคส ซึ่งประกอบด้วย anhydroglucose unit เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -glycosidic linkage ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของหน่วยกลูโคสกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของหน่วยกลูโคสที่อยู่ถัดไป ด้านปลายของโมเลกุลแป้งจะมี anomeric carbon (C1) ซึ่งว่างอยู่ไม่ได้จับกับโมเลกุลอื่นๆ ดังนั้นแต่ละโมเลกุลของแป้งจะมีด้านปลาย ที่มีคุณสมบัติรีดิวซ์ (reducing end) นั่นคือ แป้งหนึ่งโมเลกุลจะมีตำแหน่ง reducing end 1 ตำแหน่ง โมเลกุลแป้งแบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลักๆ ตามขนาดโมเลกุลและลักษณะการจัดเรียงตัว คือ อะไมโลสซึ่งมีขนาดเล็ก มีกิ่งก้านสาขาเพียงเล็กน้อย และอะไมโลเพคตินซึ่งมีขนาดใหญ่และ มีกิ่งก้านสาขามากมาย นอกจากนี้ยังพบโมเลกุลแป้งอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งมี ขนาดใหญ่ กว่าอะไมโลสแต่ เล็กกว่าอะไมโลเพคติน เรียกว่า “ intermediate material ” แต่พบในปริมาณไม่มากนัก (คุชฎีและ นื่องนุษ, 2551) แป้งได้จากธัญพืช จากหัวและราก จากข้าวโพด หรือ waxy corn, high amylose corn แป้งและแป้งดัดแปรใช้มากในอุตสาหกรรมอาหาร มีสมบัติช่วยเชื่อมต่อโมเลกุล, เพิ่มความหนืด ช่วยทำให้ผิวแห้งให้เป็นผง ทำเป็นแผ่นฟิล์ม ช่วยให้โฟมเสถียร, ก่อเจล (binder and stabilizer) ช่วยให้ผิวเงา, ช่วยเก็บความชื้นในอาหาร แป้งดัดแปรบางชนิดยังใช้แทนไขมันได้ เพราะจะให้ความรู้สึกมันคล้ายครีม (อรุณี, 2548a)

1.4.1.1 อะไมโลส (amylose)

อะไมโลสเป็นโพลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคส มากกว่า 250 units ต่อกันด้วย พันธะ α -1,4- glucosidic linkage ดังรูปที่ 2.3 อาจมี α -1,6-glycosidic linkage อยู่ 0.3-0.5% เป็น แขนง สามารถทำเป็นแผ่นฟิล์มได้ดี และเกิดรีโทรเกรเดชัน ได้ง่าย มีน้ำหนักโมเลกุล 10^6 คาลตัน

การจัดตัวของโมเลกุลของกลูโคสแบบ axial equatorial ทำให้โครงสร้างของอะไมโลส ขดเป็นเกลียวขวา (helical shape) ภายในของ helix ส่วนใหญ่จะมีไฮโดรเจนอะตอมและเป็นบริเวณที่ไม่มีประจุ (ชอบไขมัน) ส่วนหมู่ไฮดรอกซิลจะอยู่ด้านนอก ภายในโครงสร้างกักไออ์ดีน, กรดไขมัน หรือโมโนกลีเซอไรด์ (เกิดสีน้ำเงินกับ I_2) แป้งทั่วไปจะมีอะไมโลสประมาณ 25% (อรุณี, 2548a)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของอะไมโลส

ที่มา: คุชกูและน้องนุช, 2551

อะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดจะมีปริมาณที่แตกต่างกันไป ดังแสดงในตารางที่ 2.3 เนื่องจากแป้งแต่ละชนิดมี degree of polymerization (DP) ของอะไมโลสแตกต่างกัน แป้งที่มีสายของอะไมโลสยาวมากจะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชันลดลง อะไมโลสสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไออ์ดีนและสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ เช่น butanol, fatty acid, surfactant, phenol และ hydrocarbon สารประกอบเชิงซ้อนเหล่านี้ จะไม่ละลายในน้ำ โดยอะไมโลสจะพันเป็นเกลียวล้อมรอบสารประกอบอินทรีย์ (Galliard และ Bowler, 1987) อะไมโลสที่มีความยาวสายโซ่มากกว่า 45 หน่วยกลูโคสเมื่อรวมตัวกับไออ์ดีนจะให้สีน้ำเงิน ซึ่งใช้เป็นลักษณะเฉพาะที่บ่งบอกถึงแป้งที่มีอะไมโลสเป็นองค์ประกอบ และใช้ในการตรวจสอบปริมาณอะไมโลสในแป้งปริมาณสมบัติของอะไมโลส และอะไมโลเปคตินมีความแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.4

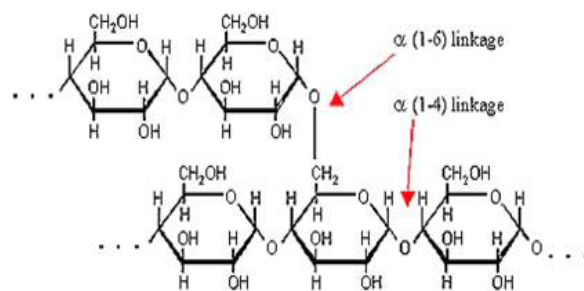
ตารางที่ 2.3 ปริมาณอะไมโลสในแป้งชนิดต่างๆ

แป้ง	ปริมาณอะไมโลส (% น.น. แห้ง) Apparent	ปริมาณอะไมโลส (% น.น. แห้ง) Absolute
ข้าวสาลี	28.8	25.8
ข้าวโพด	29.4	22.5
ข้าวเจ้า	25.0	20.5
ข้าวบาร์เลย์	25.5	23.6
มันฝรั่ง	36.0	16.9
มันสำปะหลัง	23.5	17.8
พุทธรักษา	43.2	22.7
ถั่วเขียว	37.9	30.7

ที่มา: Kasemsuwan *et al.*, 1999

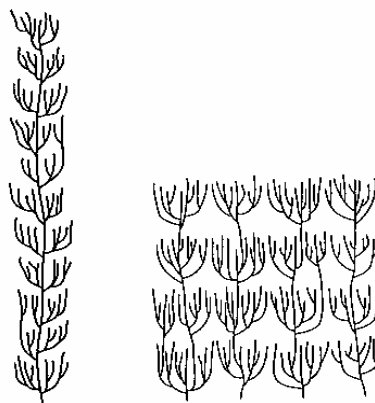
1.4.1.2 อะไมโลเปคติน (amylopectin)

อะไมโลเปคติน (amylopectin) เป็นโพลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วย พันธะ α -1, 4- glycosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นโพลิเมอร์กลูโคสสายสั้นมี DP อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1, 6-glycosidic linkage ดังรูปที่ 2.4 หน่วยกลูโคสที่มีพันธะ α -1, 6 glycosidic linkage มีอยู่ประมาณ 5% ของปริมาณหน่วยกลูโคสใน อะไมโลเปคตินทั้งหมด อะไมโลเปคตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณประมาณ 10^7 ถึง 10^9 ดาลตัน และมีการคั่นตัวต่ำ เนื่องจากอะไมโลเปคตินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่ง อะไมโลเปคตินทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักของเมล็ดแป้ง ดังนั้นเมื่อมีอะไมโลเปคตินเพียงอย่างเดียว จึงยังสามารถรวมตัวเป็นเม็ดแป้งได้ (คุชฎีและน้องนุช, 2551) อะไมโลเปคตินมีในแป้งทุกชนิดในปริมาณ 75% แป้งบางชนิดประกอบด้วยอะไมโลเปคติน 100% เช่น waxy corn starches ทั้งอะไมโลเปคตินและอะไมโลส สามารถก่อเจล ได้ด้วยพันธะไฮโดรเจน (อรุณี, 2548a)



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของอะไมโลเปคติน

ที่มา: คุชฎีและน้องนุช, 2551



รูปที่ 2.5 โมเลกุลของอะไมโลเปคติน(ซ้าย) และอะไมโลเปคตินที่รวมเป็นกลุ่ม (ขวา)

ที่มา: อรุณี, 2548a

ตารางที่ 2.4 สมบัติที่แตกต่างกันของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน

อะไมโลส	อะไมโลเพคติน
1. ประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันเป็น เส้นตรง ด้วยพันธะ α -1,4	1. โมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันด้วยพันธะ α -1,4 และมี การแตกกิ่งด้วยพันธะ α -1,6
2. ประกอบด้วยกลูโคส 200-6000 หน่วย	2. แต่ละกิ่งมีกลูโคส 20-25 หน่วย
3. ละลายน้ำได้น้อยกว่า	3. ละลายน้ำได้ดีกว่า
4. เมื่อต้มในน้ำจะมีความข้นหนืดน้อย	4. ข้นหนืดมากและใส
5. ให้สีน้ำเงินกับสารละลายไอโอดีน	5. ให้สีม่วงแดงหรือน้ำตาลแดงกับสารละลายไอโอดีน
6. ต้มแล้วทิ้งไว้จะจับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็งได้	6. ไม่จับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง

ที่มา: Beynum and Roels, 1985b

1.4.2 ไขมัน (Lipid)

แป้งจากหัว (tuber) หรือราก (root) เช่น แป้งมันฝรั่งและมันสำปะหลังมีไขมันในปริมาณที่ต่ำ (0.1% หรือน้อยกว่า) เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งจากธัญพืช (corn wheat และ sorghum) ซึ่งมีไขมันประมาณ 0.6-0.8 % (w/w) การมีไขมันในแป้งจะมีผลต่อคุณสมบัติของแป้งเนื่องจากไขมันหรือลิพิด (lipid) จะเกิดการรวมตัวกับอะไมโลสในแป้งเกิดเป็นสารเชิงซ้อนของอะไมโลส-ไขมัน (amylose-lipid complex) ซึ่ง amylose-lipid complex นี้ไม่ละลายน้ำ แต่การจับกันจะถูกทำลายเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูง (มากกว่า 120 องศาเซลเซียส) พันธะที่ยึดเหนี่ยวกันจะถูกทำลายทำให้ส่วนของ อะไมโลสสามารถละลายออกมาได้ (Davies *et al.*, 1980) สารประกอบเชิงซ้อนของอะไมโลสและไขมันจะมีผลทำให้กำลังการพองตัว (swelling power) และค่าการละลาย (solubility) ของแป้งลดลง (Davies *et al.*, 1980) นอกจากนี้ไขมันยังทำให้แป้งเกิดการเหม็นหืน (rancid) ขณะเก็บรักษาด้วย (คุชฎีและน้องนุช, 2551) ปริมาณไขมันในแป้งชนิดต่างๆ มีความแตกต่างกันไป

1.4.3 โปรตีน (Protein)

โปรตีนที่สกัดได้จากเมล็ดแป้งแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ โปรตีนที่จับอยู่ที่ผิวของเมล็ดแป้ง (surface protein) ซึ่งสกัดออกได้ง่ายที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตไนซ์ และโปรตีนที่เป็นส่วนหนึ่งของเมล็ดแป้ง (integral protein) ซึ่งการสกัดต้องใช้อุณหภูมิใกล้เคียงหรือสูงกว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตไนซ์ Galliard & Bowler (1987) รายงานว่าประมาณ 10% ของโปรตีนทั้งหมดที่สกัดได้จากแป้งสาลีเป็นโปรตีนที่จับอยู่ที่ผิว โปรตีนที่อยู่ภายในเมล็ดแป้งส่วนใหญ่เป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่สังเคราะห์แป้ง มันฝรั่งและมันสำปะหลังมีโปรตีนในปริมาณที่ต่ำ (0.1% w/w หรือน้อยกว่า) เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งจากธัญพืช เช่น ข้าวโพดและข้าวสาลี ซึ่งมีปริมาณโปรตีน 0.3 - 0.5% (w/w) โปรตีนที่อยู่ในแป้งจะเกี่ยวข้องกับการทำให้เกิดกลิ่นรสและการเกิดฟองในแป้ง

ในแป้งสาลีมีโปรตีนคือ friabilin เนื่องจากเป็นโปรตีนที่เชื่อว่าเกี่ยวข้องกับความเสี่ยงของข้าว (คุชฎีและน้องนุช, 2551)

1.4.4 ฟอสฟอรัส (Phosphorus)

ฟอสฟอรัสในแป้งจากธัญพืชมักพบในรูปของฟอสโฟลิปิด (lysophospholipid) ในขณะที่แป้งจากรากและหัวมักมีฟอสฟอรัสในปริมาณที่ต่ำและอยู่ในรูปของฟอสเฟต แป้งมันฝรั่งเป็นแป้งจากหัวที่มีปริมาณฟอสฟอรัสในรูปของฟอสเฟตเอสเทอร์ (phosphate ester) สูง ปริมาณ phosphate group ในแป้งมันฝรั่งมีประมาณ 1 group ต่อ 200 - 400 หน่วยของน้ำตาลกลูโคส (200 - 800 ppm) โดยหมู่ฟอสเฟตทำให้แป้งมีคุณสมบัติเป็น polyelectrolyte ทำให้เม็ดแป้งกระจายตัวในน้ำและพองตัวได้ดี เนื่องจากโมเลกุลแป้งผลักกันเอง (คุชฎีและน้องนุช, 2551)

1.4.5 เถ้าและสารอินทรีย์อื่นๆ (ash & inorganic components)

สารอนินทรีย์อื่นๆ ในแป้ง เช่น Ca^+ , K^+ , Mg^+ และ Zn^+ พบในปริมาณเล็กน้อย ปริมาณของสารเหล่านี้หาได้จากสิ่งที่เหลือจากการเผาที่อุณหภูมิเฉพาะ แป้งมันฝรั่งมีหมู่ฟอสเฟตในรูปของเกลือที่มีอยู่ในมันฝรั่งเองหรือได้จากการกระบวนการล้างน้ำ ปริมาณเถ้าของแป้งมันฝรั่งเท่ากับปริมาณหมู่ฟอสเฟต ปริมาณเถ้าบางส่วนในแป้งธัญพืชคือปริมาณฟอสโฟลิปิด (คุชฎีและน้องนุช, 2551) ปริมาณเถ้าของแป้งที่ใช้ในทางการค้าโดยทั่วไปคือ สารประกอบโลหะของโซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม (Davies *et al.*, 1980)

1.4.6 ความชื้น (moisture)

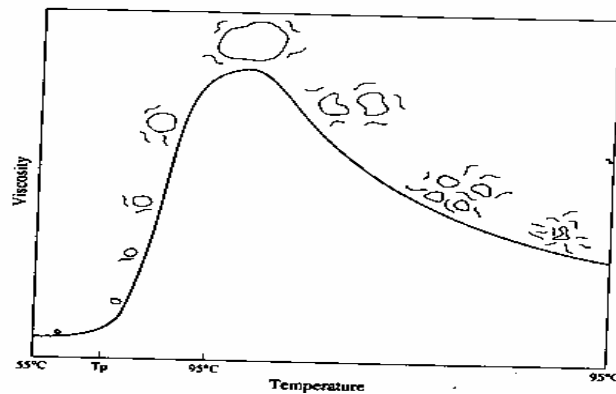
ปริมาณความชื้นของแป้งขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity; RH) ของอากาศขณะที่เก็บผลิตภัณฑ์ ถ้ามีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำแป้งจะมีความชื้นต่ำด้วย ถ้าความชื้นสูงเม็ดแป้งจะดูดซับน้ำไว้มาก ปริมาณความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content) ของแป้งขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง ภายใต้สภาวะอากาศปกติแป้งโดยทั่วไปจะมีความชื้น 10-20% (w/w) (คุชฎีและน้องนุช, 2551)

1.5 การเกิดเจลลิตินเซชัน (gelatinization)

โมเลกุลแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีคุณสมบัติชอบน้ำ แต่เนื่องจากเม็ดแป้งอยู่ในรูปร่างแห micelles ดังนั้นการจัดเรียงตัวในลักษณะนี้ จะทำให้เม็ดแป้งละลายในน้ำเย็นได้ยาก ดังนั้นในขณะที่แป้งอยู่ในน้ำเย็นเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย (Leach *et al.*, 1959) แต่เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายน้ำแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำพองตัว ส่วนผสมของน้ำแป้งจะมีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้น เนื่องจากโมเลกุลอิสระที่เหลืออยู่รอบๆ เม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น

ปรากฏการณ์นี้เรียกรากการเกิด เจลาตินเซชัน อุณหภูมิที่สารละลายเริ่มเกิดความหนืดเรียกว่าอุณหภูมิเริ่มเจลาตินส์ ซึ่งจะแตกต่างกันในแป้งแต่ละชนิด การเกิดเจลาตินเซชันของแป้งเกิดเมื่อให้ความร้อนกับสารละลายน้ำแป้ง การเกิดเจลาตินเซชันแบ่งได้เป็น 3 ระยะ คือระยะแรกเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเย็นได้อย่างจำกัดและเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เนื่องจากร่างแหระหว่าง micelles ปิดหุ้มได้จำกัด ความหนืดของสารแขวนลอยจะไม่เพิ่มขึ้นจนเห็นได้ชัด เม็ดแป้งยังคงรักษารูปร่างและโครงสร้างแบบ birefringence ได้ เมื่อมีการใส่สารเคมี หรือเพิ่มอุณหภูมิกับสารละลายน้ำแป้งจนแป้งถึงประมาณ 65 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิที่แท้จริงขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง) เมื่อเริ่มเข้าสู่ระยะที่ 2 เม็ดแป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็ว ร่างแหระหว่างไมเซลล์ (micelles) ภายในเม็ดแป้งจะอ่อนแอลงเนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเข้ามาและเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ เรียกว่าการเกิดเจลาตินเซชัน เม็ดแป้งมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและโครงสร้าง birefringence ความหนืดของสารละลายน้ำแป้งจะเพิ่มอย่างรวดเร็ว แป้งที่ละลายได้จะเริ่มละลายออกมา ซึ่งถ้าเหวี่ยงแยกส่วนใสและหยดสารละลายไอโอดีนลงในส่วนใสจะเกิดสีน้ำเงินขึ้น เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิต่อไปอีกจนเข้าสู่ระยะที่ 3 รูปร่างเม็ดแป้งจะไม่แน่นอน การละลายของแป้งจะเพิ่มขึ้น เมื่อนำไปทำให้เย็นจะเกิดเจล การเกิดเจลาตินเซชันของแป้งจะทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของแป้งสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆ ได้ดีขึ้น รวมทั้งพร้อมที่จะถูกย่อยด้วยน้ำย่อยต่างๆ ได้ดี (กล้านรงค์และเกื้อกูล, 2543)

การก่อเจลเกิดขึ้นในช่วงของอุณหภูมิไม่ใช่อุณหภูมิเดียว เม็ดแป้งขนาดใหญ่ก่อเจลก่อนขนาดเล็ก ในการที่แป้งก่อเจลจะต้องใช้พลังงานความร้อน พบว่าพลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนจาก glassy state ไปยัง rubbery state จะเกิดขึ้นก่อนในบริเวณที่เป็น amorphous แต่ไม่สามารถตรวจพบพลังงานนี้ได้ เนื่องจากการหลอมละลายของโมเลกุลในบริเวณที่เป็นผลึก (crystal) เกิดตามทันทีและมีปริมาณที่มากกว่ามาก ดังนั้นเวลาตรวจสอบจากเครื่อง DSC จึงเห็นเฉพาะพลังงานที่เกิดจากการหลอมละลายของ crystal เท่านั้นไม่เห็น glass transition temperature(Tg) ของแป้งก่อเจล สำหรับการหลอมละลายของโมเลกุลอะไมโลส เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ (100-120°C) ถ้ามีน้ำมาก ซึ่งสูงกว่าอะไมโลเปคติน เมื่อต้มน้ำแป้ง 5% แป้งจะดูดน้ำเข้าไปในเม็ดแป้งมากทำให้เม็ดแป้งพองตัวและผลึกกัน ในสภาพนี้เม็ดแป้งจะแตกง่ายถ้าเพิ่มแรงคนและทำให้ลดความหนืดและถ้าคนต่อไปความหนืดจะลดลงเรื่อยๆ อะไมโลสและอะไมโลเปคตินจะหลุดออกจากเม็ดแป้งอยู่ในน้ำ (อรุณี, 2548a)



รูป 2.6 visco/amylo/graph curve แสดงการพองตัวและการแตกออกของเม็ดแป้งที่สัมพันธ์กับความหนืดของอาหาร ในระหว่างการให้ความร้อน

ที่มา: อรุณี, 2548a

1.6 การเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation)

การเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัวของแป้งสุกเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลลาติไนเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไป จะทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่แล้วแตกออก โมเลกุลอะไมโลสขนาดเล็กจะกระจัดกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัว โมเลกุลอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจับเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติโครงสร้างที่สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียวคล้ายฟิล์มฟลิก เรียก การเกิดรีโทรเกรเดชัน หรือการคืนตัว หรือการ setback (Smith, 1979) เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงไปอีก ลักษณะการเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้น (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2543) การแช่โดของข้าวเหนียวในหิ้งเย็นจะเกิดปรากฏการณ์รีโทรเกรเดชัน (Watanabe *et al.*, 1999) บ่งชี้ได้จากการที่โดของแป้งมีเนื้อแน่นขึ้นและแข็งขึ้น (Eliasson and Gudmundsson, 1996) อัตราการเกิดรีโทรเกรเดชัน นี้ขึ้นกับหลายปัจจัยเช่นพันธุ์ของข้าว (Jacobson *et al.*, 1997; Fredriksson *et al.*, 1998) สัดส่วนของปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพคติน (Wang and Wang, 2002; Fredriksson *et al.*, 1998; Sasaki *et al.*, 1999) เวลาและอุณหภูมิที่ใช้พักโด (Jacobson and BeMiller, 1998; Ribotta *et al.*, 2003) และความเข้มข้นของแป้ง (Morikawa and Nishinari, 2000) และปริมาณสารอื่นที่ผสมลงไปเช่น surfactant, เกลือ อะไมโลสส่วนใหญ่จะกลับสู่รูปฟลิกเดิมเมื่อเจลเย็นตัว ส่วนอะไมโลเพคตินใช้เวลานานกว่า surfactant ที่นิยมใช้ป้องกัน stale ของขนมปัง ได้แก่ glyceryl monopalmitate (GMP), glyceryl mono myristate, glyceryl monostearate และ sodium stearyl α - Lactylate (SSL) เป็นต้น การเกิดรีโทรเกรเดชัน เกิดได้ทั้ง อะไมโลสและอะไมโลเพคติน ซึ่งอะไมโลสจะเกิดง่ายกว่า (อรุณี, 2548a)

1.7 แป้งดัดแปร

แป้งดัดแปรตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1073-2535 หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำแป้ง (starch) เช่นแป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง แป้งสาลี มาเปลี่ยนสมบัติทางเคมี และ/หรือทางฟิสิกส์จากเดิมด้วยความร้อน และ/หรือเอนไซม์ และ/หรือสารเคมีชนิดต่างๆ เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่างๆ ซึ่งคุณลักษณะเกณฑ์ซึ่งบ่งต่างๆ ของแป้งดัดแปรแต่ละประเภทจะต้อง เป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2535) เนื่องจากแป้งดิบโดยทั่วไปมีสมบัติบางประการไม่เหมาะสมกับการผลิตทางอุตสาหกรรม ได้แก่ ไม่สามารถรักษาสภาพความหนืดที่คงที่ตลอดกระบวนการผลิตเป็นต้น ซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำ จึงต้องนำแป้งมาผ่านกระบวนการเพื่อให้ได้แป้งที่มีสมบัติเหมาะสมกับการใช้งาน การดัดแปรแป้งมี 3 วิธี คือ วิธีทางเคมี(chemical modification) วิธีทางกายภาพ (physical modification) และวิธีทางชีวภาพ(biological modification) (มอก.1073-2535; สุพะไชย์, 2551) ทำให้ได้แป้งดัดแปร 3 ประเภท คือ แป้งพรีเจลาริไนซ์ แป้งดัดแปรทางเคมี และอนุพันธ์แป้งจากการย่อย โดยแป้งดัดแปรที่มีความสำคัญและมีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายในเชิงอุตสาหกรรมมากที่สุด ได้แก่ แป้งดัดแปรทางเคมี (มนสิชา, 2551)

1.8 แป้ง Pregel (Pregel or Pregelatinized Starch)

แป้ง Pregel เป็นแป้งดัดแปรที่ได้จากการดัดแปรแป้งโดยวิธีทางกายภาพ (มนสิชา, 2551) แป้งที่ผ่านการเกิดเจลาคิโนเซชันแล้ว จากนั้นทำให้แห้ง ซึ่งยังคงลักษณะเม็ดแป้งธรรมชาติ ที่พองตัวและให้ความหนืดในน้ำเย็น หรือในอาหารที่เตรียมโดยไม่ผ่านการให้ความร้อน (Shubham Starch Chem (P) Ltd., 2551)

2. ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารและวิธีการวัด (อรุณี, 2548b)

2.1 ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร

2.1.1) ลักษณะเชิงกล (Mechanical Characteristic)

2.1.1.1) ความแข็ง (Hardness) หมายถึง แรงที่ทำให้เกิดการบิดรูปหรือความเครียด (deformation or strain)

2.1.1.2) โคฮีซีฟว (Cohesiveness) หมายถึง แรง (strength) ยึดเหนี่ยวภายในผลิตภัณฑ์

2.1.1.3) ความหนืด (Viscosity) หมายถึง แรงต้านอัตราไหล

- 2.1.1.4) ความยืดหยุ่น (Elasticity) หมายถึงอัตราการคืนสู่สภาพเดิมของวัสดุที่ผิดรูป (deformed) เมื่อปล่อยแรงกระทำ (deforming force)
- 2.1.1.5) แอดฮีซีฟ (Adhesiveness) หมายถึงงานที่ทำให้วัสดุหลุดออกจากสิ่งเกาะติด เช่น ลื่น กับ ฟัน
- 2.1.1.6) ความเปราะ (Brittleness) หมายถึงแรงที่ทำให้วัสดุแตก (fracture) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกับโคฮีซีฟ อาหารเปราะจะมีค่าโคฮีซีฟต่ำ แต่ค่าความแข็งแรงอาจจะสูงหรือต่ำ อาหารเปราะมักจะส่งเสียเวลาเกี่ยว
- 2.1.1.7) ชีววีเนส (Chewiness) หมายถึงพลังงานที่ใช้บดเคี้ยวอาหารแข็ง (solid food) จนกระทั่งพร้อมกลืน ชีววีเนสเป็นความสัมพันธ์ของ ความแข็งแรง+โคฮีซีฟ+ความยืดหยุ่น
- 2.1.1.8) กัมมิเนส (Gumminess) หมายถึงพลังงานที่ใช้ในการบดอาหารกึ่งแข็ง (semi-solid food) จนกระทั่งสภาพพร้อมที่จะกลืน เป็นความสัมพันธ์ของ ความแข็งแรง+โคฮีซีฟ

2.1.2) ลักษณะทางเรขาคณิต (Geometrical Characteristics) เกี่ยวข้องกับขนาดและรูปร่างของอาหาร ได้แก่ ลักษณะเนื้อละเอียด (smooth) หรือเนื้อหยาบ, ความโปร่งของเนื้อสัมผัส (cellular), ลักษณะเส้นใย (fibrous)

2.1.3) ลักษณะอื่นๆ ของอาหาร เกี่ยวข้องกับความชื้นและปริมาณไขมันในอาหารทำให้เกิดลักษณะชื้น (moist) ลักษณะเป็นไข (oily and greasy) เป็นต้น

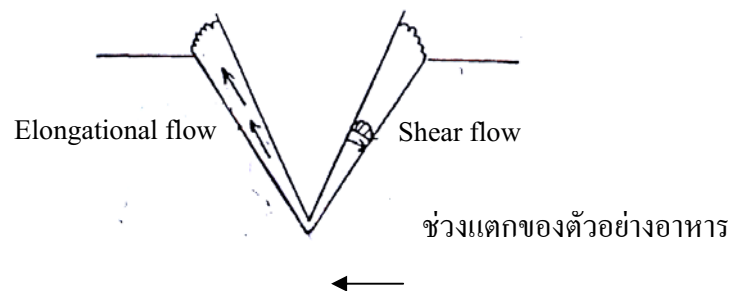
2.2 วิธีการวัดเนื้อสัมผัส

2.2.1 Uniaxial compression test

เป็นวิธีอัดหรือกดตัวอย่างด้วยแรงหรืออัตราเร็วที่กำหนดไว้ จะใช้แท่นอัดกลมมีเส้นผ่าศูนย์กลางกว้างกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวอย่าง วัดค่าแรงต้านการอัดโดยตัวอย่าง ความสูงของ Curve ที่ได้เป็นความแข็งแรง (Hardness) หรือ ความเปราะ (Fracture) ตัวอย่างจะถูกอัดตามระยะทางหรือแรงที่ได้กำหนดไว้สิ่งสำคัญของ compression test นี้คือ ถ้าต้องการเปรียบเทียบการวัดของตัวอย่างหลายชนิด จะต้องเตรียมตัวอย่าง ที่มีขนาดความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากัน มิฉะนั้นจะทำให้ %ความเครียด ของตัวอย่างแต่ละชิ้นแตกต่างกัน ทำให้ค่าที่วัดได้มีความแตกต่างกันมากเกินความเป็นจริง (อรุณี, 2548b)

2.2.2 Penetrometer test

วิธีนี้เป็นการวัด compression test อย่างหนึ่ง โดยเจาะลงในตัวอย่าง ถ้ากำหนดระยะทางที่เจาะ จะวัดแรงต้านที่เกิดขึ้น ถ้ากำหนดปริมาณสูงสุดของแรงที่ใช้เจาะ จะวัดระยะทางของหัวเจาะ นิยมใช้หัวเจาะแบบ cone ∇ ดังนั้นระยะลึกที่แรงเจาะลงไป จะเป็นแรงต้านที่เกิดจากการไหลเฉือน (shear flow) และการไหลในแนวตั้ง (elongational flow) ดังรูป 2.7 วิธีเจาะมีแรงต้านเกิดขึ้นสองทิศทาง แต่วิธีนี้มีแรงต้านเกิดขึ้นเพียงทิศทางเดียว คือแบบ elongational flow อย่างเดียว (อรุณี, 2548b)



รูปที่ 2.7 การวัดค่าความแข็งแรงของอาหาร โดยวิธีเจาะทะลุ

ที่มา : อรุณี, 2548b

2.2.3 Uniaxial extension tests

วิธีนี้เป็นการวัดแรงต้านการยืดจนขาดออกจากกัน หรือตัดแยกออกจากกัน ต้องเตรียมตัวอย่างอาหารขนาดใหญ่พอควร บางครั้งอาจทำให้อาหารมีรอยแยกที่ขอบก่อนขาดออกจากกัน ดังนั้นก่อนวัดควรยึดตัวอย่างให้แน่นติดฐาน

2.2.4 Empirical method

การวัดค่าทาง empirical ที่เชื่อถือได้จะต้องคำนึงถึงหลักการดังนี้

- 1) ไม่ขึ้นกับชนิดของวัสดุที่จะวัดหรือสถานะในการวัด เช่นเครื่องวัดความแข็งแรงของผลไม้สามารถใช้กับผลไม้ทุกสภาพทุกชนิด
- 2) การวัดควรจะผันแปรไปตามเวลา
- 3) ถ้าวัดตัวอย่างที่เหมือนกัน ค่าที่วัดได้ควรจะใกล้เคียงกัน
- 4) การวัดแบบ empirical ที่ดีควรมี parameter ที่สามารถอ้างอิงถึงหลักการฟิสิกส์พื้นฐานได้ (fundamental) เช่น การวัดความหนืดของซอสมะเขือเทศด้วยเครื่อง Bostwick consistometer เป็นการวัดค่าโดยจับเวลาในการไหลหลังจากเปิดแผ่นคั่นออก จึงวัดระยะที่ซอสมะเขือไหลซึ่งขึ้นกับค่า σ_y , η_{app} ลดลงตาม γ'/σ (σ_y = ความเค้นที่มี yield η_{app} = ความหนืดที่ปรากฏ γ' = อัตราเครียด)

3. นัตโตะ

นัตโตะเป็นถั่วเหลืองหมักของประเทศญี่ปุ่น มีรสชาติที่มีลักษณะเฉพาะ มีลักษณะสัมผัสนุ่มและเหนียว (sticky) ทำมาจากการใส่เชื้อ *Bacillus natto* ลงในถั่วเหลืองที่ผ่านการทำให้สุก หลังจากหมักจะได้ผลิตภัณฑ์นัตโตะที่มีเมือกเหนียวปกคลุม สามารถรับประทานได้ทันทีโดยไม่ต้องนำมาผ่านความร้อน คนญี่ปุ่นมักรับประทานนัตโตะกับต้นหอมสับ สาหร่ายทะเล มัสตาร์ด และซอสปรุงรส เสิร์ฟพร้อมข้าวสวย (Ohta, 1986) รวมทั้งนัตโตะยังสามารถใช้เป็นเครื่องปรุงรสได้โดยการนำไปเป็นส่วนประกอบของซอสปรุงรสต่างๆ (Lin, 1991)

3.1 การผลิตนัตโตะ (Teng *et al.*, 2004)

วัตถุดิบหลักคือ ถั่วเหลืองและเชื้อ *Bacillus natto*

3.1.1 ถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองที่นิยมนำมานัตโตะ ควรมีขนาดเล็กจนถึงขนาดกลาง เนื่องด้วยง่ายต่อการทำให้สุกและถั่วเหลืองขนาดเล็กจะสามารถดูดซับน้ำได้มากกว่าซึ่งจะทำให้ได้อัตราการผลิตที่สูงกว่า ถั่วเหลืองขนาดเล็กจะมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงและปริมาณไขมันต่ำ (Steinkraus, 1983, Ohta, 1986) และถั่วเหลืองขนาดเล็กจะมีปริมาณ Stachyose สูง ซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอน ช่วยในการเจริญเติบโตของเชื้อ *Bacillus natto* และทำให้ได้นัตโตะที่มีความหวาน (Teira, 1990a) ถั่วเหลืองที่มีผิวและ hila สีเหลือง เมื่อใช้หมักนัตโตะสร้างความเหนียวในระดับที่เหมาะสม มีรสหวาน และส่วนประกอบมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในระหว่างการเก็บรักษา (Hosoi and Kiuchi, 2003) ถั่วเหลืองที่เป็นที่ต้องการในการทำนัตโตะ คือถั่วเหลืองที่มีผิวสีเหลืองอ่อนหรือสีเหลือง และมี helium สีเหลืองอ่อน ขนาดของถั่วเหลืองสามารถแยกตามขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลาง ได้เป็น 4 กลุ่มดังนี้ (Hosoi and Kiuchi, 2003)

1. ขนาดเล็กพิเศษ (extra small) มีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 5.5 มิลลิเมตร
2. ขนาดเล็ก (small) มีเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วง 5.5 – น้อยกว่า 7.3 มิลลิเมตร
3. ขนาดกลาง (medium) มีเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วง 7.3 – น้อยกว่า 7.9 มิลลิเมตร
4. ขนาดใหญ่ (large) มีเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่าหรือเท่ากับ 7.9 มิลลิเมตร

การเตรียมเชื้อ *Bacillus natto* สามารถเตรียมได้โดยการนำถั่วเหลืองมาต้มเป็นเวลา 10 – 20 นาที จะทำให้เชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่นตาย หลังจากนั้นทำการแยกเชื้อ *Bacillus natto* โดยเทคนิคการ

แยกเชื้อบริสุทธิ์ จากนั้นนำเชื้อมาปั่นล้าง และเจือจางในสารละลายอินทรีซ์ หรือทำให้แห้งเป็นผง สำหรับขายทางการค้าได้ (Teng *et al.*, 2004)

3.1.2 ชนิดของนัตโตะ

นัตโตะแบ่งออกเป็น 3 ชนิดดังนี้

1. อิโทฮิกินัตโตะ (itohiki-natto) ได้รับความนิยม และมีการผลิตในเชิงการค้าสูง
2. ยูกิวาริ นัตโตะ (yukiwari natto) ทำมาจากการผสม itohiki natto กับ rice koji และเกลือบ่มที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วัน (Kiuchi *et al.*, 1976)
3. ฮามานัตโตะ (hama natto)

3.2 วิธีการทำอิโทฮิกินัตโตะ (itohiki-natto)

3.2.1 ขั้นตอนการล้างและแช่ถั่วเหลือง

เริ่มจากการคัดขนาดถั่วเหลืองและแยกสิ่งแปลกปลอมออกเช่นก้านพีชหรือ เศษหิน ทราบ จากนั้นชั่งน้ำหนักถั่วเหลือง ถั่วเหลืองให้สะอาด และนำไปแช่น้ำที่อุณหภูมิประมาณ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง หลังผ่านการแช่น้ำ น้ำหนักของถั่วเหลืองจะเพิ่ม (Weight increase ration: WIR) ประมาณ 2.2 – 2.7 เท่า เมื่อครบเวลานำมาล้างน้ำสะอาดอีกครั้ง (Taira *et al.*, 1983; 1987a)

3.2.2 ขั้นตอนการนึ่งถั่วเหลือง

นึ่งถั่วเหลืองที่ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลาไม่ต่ำกว่า 20 นาทีเพื่อให้ถั่วนิ่มและทำลายโปรตีนบางตัวเช่น ฮีมาโตโกทีนิน (hematoglotenin) และสารยับยั้งทริปซิน (trypsin inhibitor) (Chang *et al.*, 1987) และเพื่อทำลายแบคทีเรียชนิดอื่นที่ปนเปื้อน หรือสามารถนึ่งที่ความดันช่วง 1 – 15 kg/cm² อุณหภูมิ 121 – 127 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 – 30 นาที ในขั้นตอนนี้กรดอะมิโนและน้ำตาลจะถูกไฮโดรไลส์ทำให้คุณค่าทางอาหารลดลง สีของถั่วเหลืองจะเข้มขึ้น ซึ่งสามารถใช้ความดันที่ต่ำกว่าได้ที่ 0.8 – 1 kg/cm² เป็นเวลา 30 – 40 นาที ความชื้นของถั่วเหลือง ที่ผ่านการนึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 58.99 – 60.37% (Wei *et al.*, 2004) หรือ 58.2 – 61.6 % (Taira *et al.*, 1987b) โดยปริมาณความชื้นของถั่วเหลืองหลังการนึ่งไม่ขึ้นกับค่า WIR หลังผ่านการแช่น้ำ หรือผ่านการนึ่ง และค่าความแข็งของถั่วเหลืองหลังการนึ่ง (Taira *et al.*, 1987) Wei *et al.* (2001) ระบุว่าระยะเวลาการนึ่งไม่ส่งผลต่อค่าความชื้น อัตราการแตกของถั่วเหลือง (broken bean

ratio) และความแข็งของถั่ว แต่มีผลต่อค่าความสว่าง คือ การนึ่งเป็นเวลา 40 นาที จะมีค่าความสว่างต่ำกว่าการนึ่งที่ 20 – 35 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3.2.3 ขั้นตอนการหมักด้วย *Bacillus natto*

Bacillus natto (*B. natto*) เป็นเชื้อแบคทีเรียดัดสีแกรมบวก รูปร่างท่อน ต้องการอากาศในการเจริญ พบได้ทั่วไปในฟางข้าวและเมล็ดธัญพืช เป็นสายพันธุ์หนึ่งของเชื้อ *Bacillus subtilis* เชื้อ *B. natto* เป็นเชื้อที่ต้องการไบโอติน (biotin) ในการเจริญเติบโต ในขณะที่เชื้อ *Bacillus subtilis* ชนิดอื่นไม่ต้องการ *B. natto* ต้องการไบโอตินอย่างน้อย 0.1% (0.001 ppm) – 1% (0.01 ppm) ซึ่งในถั่วเหลืองมีปริมาณไบโอติน 60 g/100g วิตามินบีที่มีมากในถั่วเหลืองจะช่วยส่งเสริมการเจริญของ *B. natto* ในปัจจุบันมีเชื้อ *Bacillus subtilis* หลายสายพันธุ์ที่เหมาะสมสำหรับหมักถั่ว และมีการขายในทางการค้า (Uehara *et al.*, 1974; Emori *et al.*, 1990; Muramatsu *et al.*, 1995) และสามารถใช้ได้ทั้งในรูป vegetative cell หรือในรูป spore แต่ในรูป spore จะมีขายในทางการค้าเนื่องจากสามารถเก็บรักษาได้ง่าย โดยเชื้อสามารถงอกได้หลังจากเก็บที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ปี (Teng *et al.*, 2004) เชื้อ *B. natto* สามารถเจริญได้ดีในอาหารที่มีโปรตีนโดยใช้โปรตีนและกรดอะมิโนเป็นแหล่งไนโตรเจน *B. natto* สามารถใช้ glutamic acid, arginine, aspartic acid และ proline แต่ไม่สามารถใช้ threonine, tryptophan สำหรับแหล่งคาร์บอนของเชื้อ *B. natto* คือ น้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส และซูโครส โดยน้ำตาลซูโครสจำเป็นสำหรับการสร้างสารเหนียว โดยในถั่วเหลืองมีน้ำตาลซูโครสประมาณ 30% ซึ่งเพียงพอสำหรับการเจริญของเชื้อ

การใส่เชื้อโดยการสเปรย์เชื้อปริมาณ 10^3 cfu/g (Takahashi *et al.*, 1996) – 10^4 cfu/g (Teng *et al.*, 2004) ลงบนถั่วเหลืองที่เพิ่งนึ่งเสร็จ ซึ่งถั่วเหลืองจะมีอุณหภูมิประมาณ 80-85 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากเชื้ออื่นๆ แต่หากมีศักยภาพในการป้องกันการปนเปื้อนจากเชื้ออื่นได้ สามารถใส่เชื้อที่อุณหภูมิประมาณ 45 องศาเซลเซียส แต่ไม่ควรต่ำกว่า 40 องศาเซลเซียส เนื่องจากจะทำให้การงอกของสปอร์ช้า การที่สปอร์ของเชื้อ *B. natto* ได้รับความร้อนสูง 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที หรืออุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที สามารถกระตุ้นให้สปอร์งอกได้ จากนั้นทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 40 – 50 องศาเซลเซียส อย่างรวดเร็วเพื่อให้เหมาะสมต่อการงอกของสปอร์และการเพิ่มจำนวนของสปอร์ ค่าความเป็นกรดต่างก็ส่งผลต่อการเจริญของเชื้อ *B. natto* เชื้อสามารถเจริญได้ดีที่สภาวะแวดล้อมที่เป็นกลางจนถึงเป็นด่างเล็กน้อย (7.2 – 7.6) โดยถั่วเหลืองที่ผ่านการนึ่งจะมีค่าความเป็นกรดต่าง อยู่ในช่วง 6.4 – 6.8 ที่ค่าความเป็นกรดต่าง 4.5 จะสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อชนิดนี้ได้ (Teng *et al.*, 2004)

สภาวะที่เหมาะสมต่อการหมักนั้นจะขึ้นกับสายพันธุ์ของเชื้อ *B. natto* โดยทั่วไปอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการออกของสปอร์ของ *B. natto* คืออุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ใช้หมักนัตโตะนั้น มีรายงานอุณหภูมิ เวลาและปริมาณเชื้อที่ใช้หมักแตกต่างกันไป ขึ้นกับพันธุ์ของถั่วเหลืองที่ใช้หมัก สายพันธุ์เชื้อที่ใช้หมัก และความชอบของผู้บริโภคในแต่ละพื้นที่ Ohta, (1986) รายงานว่าการหมักนัตโตะที่อุณหภูมิช่วง 40 – 42 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 – 20 ชั่วโมง จำเป็นสำหรับการหมักที่สมบูรณ์ Maruo and Yoshikawa (1989) รายงานว่าผลิตภัณฑ์นัตโตะจะมีคุณภาพดีหลังจากหมักที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 – 90% เป็นเวลา 16 – 18 ชั่วโมง กรณี Mustsumoto *et al.* (1993) ศึกษาผลของอุณหภูมิและปริมาณเชื้อที่ใส่ ต่อคุณลักษณะนัตโตะ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการหมักนัตโตะโดยใช้เกณฑ์ในเรื่องสีและความแข็งเป็นเกณฑ์ คือการหมักที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ใส่เชื้อในปริมาณ $10^4 - 10^6$ cfu/g หรือหมักที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ใส่เชื้อในปริมาณ $10^2 - 10^4$ cfu/g โดยใช้เวลาหมัก 18 – 20 ชั่วโมง โดยหลังจากหมักนัตโตะจะมีเชื้อ *B. natto* ประมาณ 10^8 cfu/g

3.3 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักนัตโตะ

ในระหว่างการหมักเชื้อ *B. natto* จะเพิ่มจำนวนขึ้น สร้างสปอร์ และสร้าง extracellular enzymes จำนวนมาก ได้แก่ protease, amylase, gamma-glutamyl transpeptidase (GTP), levansucrase, phytase โดยเฉพาะ protease นั้นเชื้อ *B. natto* สามารถสร้างได้มากกว่าเชื้อ *B. subtilis* สายพันธุ์อื่นถึง 15 – 20 เท่า (Uehara *et al.*, 1974) ในขณะที่ gamma-GTP สร้างได้มากกว่าเชื้อ *B. subtilis* สายพันธุ์อื่นถึง 80 เท่า ในขณะที่เชื้อเจริญขึ้นเชื้อจะปล่อยเอนไซม์เหล่านี้ออกมาเพื่อเร่งปฏิกิริยาทางเคมีและเร่งการทำงานของเอนไซม์ ทำให้ผลิตภัณฑ์นัตโตะที่ได้มีกลิ่น รสชาติ ที่เป็นเอกลักษณ์ และมีสารเหนียวเกิดขึ้น

ในระหว่างการหมัก จะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของโปรตีน ไปเป็น amino acid และ peptide การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ amino acid โดยแบคทีเรีย ทำให้เกิดการสะสมของแอมโมเนียและทำให้ค่าความเป็นกรดต่ำเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าความเป็นกรดต่ำที่สูงขึ้นนี้ทำให้เชื้อชนิดอื่นที่ปนเปื้อนไม่สามารถเจริญได้ (Steinkraus, 1991: 1996) ช่วงแรกของการหมักนัตโตะที่ค่าความเป็นกรดต่ำเท่ากับ 6.4 - 6.6 จะมีปริมาณแอมโมเนีย 1 – 3 mmol/kg (Sarkar *et al*, 1993: Allagheny *et al*, 1996) ช่วงท้ายของการหมักที่มีค่าความเป็นกรดต่ำประมาณ 8.0–8.5 จะมีปริมาณแอมโมเนีย 10 – 45 mmol/kg และจะมีปริมาณแอมโมเนียสูงสุดได้ถึง 200 – 300 mmol/kg (Ohta, 1986: Sarkar *et al*, 1993: Allagheny *et al*, 1996) กลิ่นเฉพาะของนัตโตะนอกจากกลิ่นแอมโมเนียแล้ว ยังเกิดจาก

Tetramethyl pyrazine, sulfur containing compounds (Sugawara *et al*, 1985) และ branched short-chain fatty acids เช่น butyric acid และ 2-methylbutyric acid ซึ่งเกิดจากการ metabolism ของ amino acids เช่น leucine, isoleucine และ valine

สำหรับสารประกอบที่ทำให้เกิดรสอูมามินั้นเกิดจากการที่โปรตีนถูกไฮโดรไลซิสเป็นหลัก โดยในระหว่างการหมักโปรตีนถูกไฮโดรไลซิสไปประมาณ 50–60 % ไปเป็น water-soluble nitrogenous compounds (10% เป็น amino acid) ปริมาณ free amino acid มีการเปลี่ยนแปลงไป มีปริมาณตั้งแต่ 2–26% โดย leucine, alanine, tryptophan และ threonine มีปริมาณสูงสุด aspartic acid, proline, serine, tyrosine และ cystine มีปริมาณต่ำสุด สำหรับ glutamic acid ซึ่งทำให้เกิดรสอูมามิ มีปริมาณประมาณ 10% หรือ 0.36 กรัมต่อ 100 กรัมแห้ง (Nakano, 1983) กรณีสารของน้ำตาลเกิดจาก hydrophobic L-amino acids รสหวานเกิดจากน้ำตาลในถั่วเหลือง (Wei *et al*, 2001) D-amino acids และ peptide บางชนิด (Kato *et al*, 1988) กรดอินทรีย์ มีความสัมพันธ์กับรสชาติของน้ำตาล กรดอะซิติก และกรดแลคติก มีความเข้มข้นสูงที่สุดโดยมีปริมาณไม่เปลี่ยนแปลงมากนักในระหว่างการหมัก กรดนิโคตินิก กรดพิพิอิก กรดซัคซินิกมีปริมาณเพิ่มขึ้นในระหว่างการหมักถึง 0.078% , 0.007% และ 0.009% ตามลำดับ (Watanabe *et al*, 1984) กรดนิโคตินิก จะพบมากในถั่วเหลืองหลังผ่านกระบวนการนี้ และถูกใช้ไปพร้อมกับการสลายตัวของกลูโคส บ่งชี้ว่าใช้เป็นแหล่งคาร์บอนของเชื้อ (Kanno and Takamatsu, 1987) ในขณะเดียวกันสารระเหยที่ทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติของน้ำตาลตัวอื่นๆ ที่ถูกสร้างโดย *B. natto* ได้แก่ acetoin 2,3-butanediol acetic propionic iso-butyric 2-methylbutyric 3-methylbutyric acid ซึ่งปริมาณที่พบขึ้นกับ ระยะเวลาการหมัก และระยะเวลาการเก็บรักษา

สารเหนียวในน้ำตาลประกอบด้วย polysaccharides (a levan-form fructan หรือ fructan polymer) และ gamma-polyglutamic acid (gamma-PGA) (Hara *et al*, 1982; Clous and Berkeley, 1986) โดยเป็น gamma-PGA ประมาณ 60 – 80% องค์ประกอบที่ค่าความเป็นกรดต่าง 7.2–7.4 PGA มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 15,000 ประกอบด้วย glutamic acid ประมาณ 100 units ได้แก่ D และ L-glutamic acid เชื่อมต่อกันด้วย gamma-glutamic bounds สารเหนียวนี้มีปริมาณประมาณ 2% ของน้ำหนักแห้งน้ำตาล (2% of the dry weight of natto beans) (Teng *et al*, 2004) โดย PGA นี้เป็นสารที่เชื้อ *B. natto* ขับออกมาออกเซลล์ ซึ่งจะไม่พบในในถั่วเน่าของประเทศไทย เนื่องจากในถั่วเน่าจะมี เชื้อ *Bacillus* ชนิดอื่นที่สามารถสร้างเอนไซม์ที่สามารถย่อยสลายสาร PGA ได้ในระหว่างการหมัก

ตารางที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของถั่วเหลืองในระหว่างการหมักนัตโตะ

Component	ถั่วเหลืองดิบ	ถั่วเหลืองสุก	นัตโตะ
Total nitrogen (%)	100	100	100
Water-soluble nitrogen (%)	31	11.2	58
Water-soluble nitrogen in 10% brine (%)	16	1.7	8
Soluble nitrogen in 75% alcohol (%)	0.8	0.9	2.5
Soluble nitrogen in 0.2% NaOH (%)	11	22	17.5
Insoluble nitrogen (%)	41.2	64.2	14

ที่มา : Watanabe *et al.*, 1984

หลังจากหมักนัตโตะประมาณ 6 ชั่วโมง ปริมาณ reducing sugar ลดลงประมาณ 15% และปริมาณ soluble carbohydrate ลดลงจนเกือบตรวจไม่พบ ปริมาณ sucrose, raffinose และ stachyose มีปริมาณลดลงในชั่วโมงที่ 8 หลังจากทำการหมักในขณะเดียวกัน glucose, melibiose, manninotriose และ fructose ปริมาณเล็กน้อยถูกปล่อยออกมา โดย glucose และ fructose จะถูกใช้ไปจนหมดหลังจากหมักไปได้ 14 ชั่วโมง ในขณะที่ melibiose, manninotriose และ stachyose จะมีปริมาณไม่เปลี่ยนแปลง ในระหว่างการหมักนัตโตะไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไขมัน กรดไขมัน และกากใย (Kanno and Takamatsu, 1987) รวมถึงปริมาณเถ้า (Nakano, 1983) ซึ่งปริมาณกรดไขมันไม่เปลี่ยนแปลงทำให้บ่งชี้ได้ว่า *B. natto* ไม่สร้างเอนไซม์ไลเปส (lipase) (Kiuchi *et al.*, 1976) สำหรับส่วนประกอบทางเคมีของนัตโตะที่หมักได้จะไม่แตกต่างจากถั่วเหลืองมากนักยกเว้นปริมาณวิตามินเค (ดังแสดงในตารางที่ 2.6) เนื่องจาก *B. natto* สามารถสร้างวิตามิน K₂ (menaquinone-7) ได้ (Kudo, 1990; Sumi, 1999)

ตารางที่ 2.6 คุณค่าทางโภชนาการของถั่วเหลืองดิบและนัตโตะ (ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง)

	ถั่วเหลืองเมล็ดแห้ง			Itohiki-natto
	จากญี่ปุ่น	United States	China	
Energy (Kcal)	476	490	482	493
Protein (g)	40.3	37.4	37.5	40.7
Carbohydrate (g)	21.7	24.6	22.2	24.7
Lipid (g)	32.2	32.6	35.2	29.9
Carbohydrate (g)	5.7	5.4	5.0	4.7
Ash (g)				
Vitamin A				
Retinol (μg)	0	0	0	0
Carotene (μg)	7	8	10	0
Retinol equivalents (μg)	1	1	1	0
Vitamin D (μg)	0	0	0	0
Vitamin E (μg)	4.1	3.9	4.9	3.0
Vitamin K (μg)	21	39	39	2148 ^a
Vitamin B ₁ (mg)	0.95	1.00	0.96	0.17
Vitamin B ₂ (mg)	0.34	0.34	0.34	1.38
Niacin (mg)	2.5	2.4	2.5	2.7
Vitamin B ₆ (mg)	0.61	0.52	0.67	0.59
Vitamin B ₁₂ (μg)	0	0	0	Tr
Folate (μg)	263	249	297	30
Pantothenic acid (mg)	1.74	1.69	1.87	8.89
Ascorbic acid (mg)	Tr	Tr	Tr	Tr

หมายเหตุ - ^a รวมทั้ง menaquinone-7.

- Tr หมายถึง พบปริมาณเล็กน้อย (trace)

ที่มา: Ministry of Finance, Japan, 2000 .

3.4 การประเมินคุณภาพของนัตโตะ

นัตโตะที่มีคุณภาพสูง จะมีความหนืดสูง (high viscosity) มีกลิ่นแอมโมเนียต่ำ คือมีค่าอยู่ในช่วง 100–150 mg/100 g นัตโตะมีลักษณะนุ่ม (Maruo and Yoshkawa, 1989) สามารถประเมินคุณภาพของนัตโตะโดยใช้การทดสอบทางประสาทสัมผัส นัตโตะที่มีคุณภาพสูงจะมีคุณลักษณะดังต่อไปนี้ (Society for Study of Natto and National Food Research Institute, 1989)

1. มีชั้นของแบคทีเรียสีเทาขาวปกคลุมผิวหน้าของถั่วเหลืองอย่างทั่วถึงสม่ำเสมอ
2. ถั่วเหลืองไม่แตกหักเสียหาย และเปลือกไม่ลอกออก
3. นัตโตะควรมีสีน้ำตาล หรือสีน้ำตาลอ่อน สีไม่ควรออกสีน้ำตาลดำ หรือมีสีดำ
4. ควรมีกลิ่นดี ปราศจากกลิ่นแอมโมเนีย
5. มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่นุ่ม
6. มีรสชาติดี มีรสหวานไม่ขม

7. มีความเหนียวในระดับที่เหมาะสม

ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของนัตโตะ ได้แก่ คุณภาพของถั่วเหลืองในแต่ละพื้นที่การเพาะปลูก กระบวนการผลิตนัตโตะในแต่ละขั้นตอน (ขั้นตอนการแช่ถั่ว อุณหภูมิ เวลาที่ใช้แช่ถั่วเหลือง วิธีการหมัก และสายพันธุ์ของแบคทีเรีย) (Sakurai, 1960; Maruo and Yoshikawa, 1989) Taira *et al.* (1983) พบว่าถั่วเหลืองที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูง จะส่งผลให้ความหนืด (viscosity) สูง ($r = 0.80$) และความเหนียว (stickiness) สูง ($r = 0.77$) กลิ่นแอมโมเนียต่ำ ($r = 0.94$) กรดไขมันสูงจะทำให้อัตราส่วนถั่วที่แตก (broken bean ratio) สูง ($r = 0.98$) และความแน่นเนื้อสูง ($r = 0.84$) chewiness สูง ($r = 0.69$) กรดไขมันสูงจะมีความแน่นเนื้อสูง ($r = 0.98$) และเมื่อเก็บนัตโตะไว้เป็นเวลานานจะเกิด tyrosine crystal บนผิวของถั่วเหลือง แสดงว่านัตโตะมีคุณภาพต่ำ (Society for Study of Natto and National Food Research Institute, 1989)

การแช่ถั่วเหลืองเป็นเวลานานจะทำให้ลดระยะเวลาการหมักนัตโตะและลดกลิ่นแอมโมเนียที่เกิดขึ้น (Wei *et al.*, 2001; Taira *et al.*, 1987) Ohta (1986) รายงานว่าถั่วเหลืองที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงจะให้กลิ่นแอมโมเนียต่ำกว่าถั่วเหลืองที่มีคาร์โบไฮเดรตต่ำ (Taira *et al.*, 1983)

ในระหว่างการเก็บรักษาการเกิดกลิ่นรสที่ไม่ดีและมีรสขมของนัตโตะเกิดจากการเจริญของเชื้อรา ซึ่งจะสร้าง peptide ที่มี isoleucine terminal, tyrosine crystals และ modorous isovaleric acid และกลิ่นที่ไม่ดีของนัตโตะที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาเนื่องจากกลิ่นแอมโมเนีย กรดอินทรีย์ fatty acid และ diacetyl compounds โดยเมื่อ tetramethylpyrazine ในนัตโตะเพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่งจะทำให้เกิดกลิ่นที่ไม่ดี (Teng *et al.*, 2004)

3.5 คุณค่าทางโภชนาการ และ Pharmaceutical Values ของนัตโตะ

นัตโตะเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง นัตโตะเป็นถั่วเหลืองหมัก เป็นแหล่งของโปรตีน เนื่องจาก โปรตีนในถั่วเหลืองถูกไฮโดรไลซ์ นัตโตะเป็นอาหารที่สามารถย่อยได้ง่าย จากการทดลองหาอัตราการดูดซึมของสารอาหาร โดยการให้อาหารซึ่งประกอบด้วย แป้ง 68% นัตโตะ 28 % เกลือ 4% แก่หนูทดลองพบว่าหนูทดลองสามารถดูดซึมโปรตีนในนัตโตะได้ถึง 86.8% ไขมันดูดซึมได้ 89.9% น้ำตาล 97.4% (Teng *et al.*, 2004) วิตามินบีสอง ในนัตโตะมีมากกว่าถั่วที่ไม่ได้หมักประมาณ 5 – 10 เท่า (1 mg ใน 100 g) วิตามินบีหนึ่ง สูญเสียไปในระหว่างแช่ถั่วเหลือง แต่เพิ่มขึ้นในระหว่างการหมักนัตโตะประมาณ 30% digestive emzymes ในนัตโตะ ช่วยป้องกัน

โรคที่เกี่ยวข้องกับทางเดินอาหาร เช่น โรคท้องร่วง โรคไทฟอยด์ และนัตโตะยังช่วยป้องกันอาหารเป็นพิษและโรคเกี่ยวกับลำไส้เล็กได้ (Teng *et al.*, 2004) นัตโตะมีปริมาณวิตามิน K₂ (menaquinone-7) วิตามิน K₂ เป็นโคแฟกเตอร์ที่เปลี่ยน nonactivated osteocalcin ไปเป็น activated osteocalcin โดย carboxylation (Yamaguchi *et al.*, 1999; Yamaguchi *et al.*, 2001)

4. ถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองเป็นพืชตระกูลถั่ว อยู่ในวงศ์ Leguminosae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Glycine max* (L) Merrill เมล็ดถั่วเหลืองมีรูปร่างกลมจนถึงรูปไข่ ส่วนมากมีสีเหลือง แต่ในบางพันธุ์มีสีเขียว สีน้ำตาลเข้ม สีม่วงเข้ม หรือสีดำ (Liu, 2004a)

ถั่วเหลืองเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย เนื่องจากใช้เป็นพืชอาหารของมนุษย์และสัตว์โดยตรงแล้ว ยังมีส่วนสำคัญในอุตสาหกรรมอีกหลายชนิดเช่น ใกล้เคียงแข็ง ทำสี สบู่ เครื่องสำอาง หมึกพิมพ์ ตลอดจนยารักษาโรคอื่นๆ และปัจจุบันเกษตรกรหันมาปลูกถั่วเหลืองมากขึ้น ในปี 2523/2534 มีพื้นที่ปลูกถั่วเหลือง 7.88 แสนไร่ และเพิ่มขึ้นในปี 2533/2534 เป็น 2.18 ล้านไร่ พันธุ์ถั่วเหลืองที่กรมวิชาการเกษตรแนะนำให้เกษตรกรนำไปปลูก มี 7 พันธุ์ได้แก่เช่น สจ.1, สจ.2, สจ.4, สจ. 5, เชียงใหม่ 60, นครสวรรค์ 4, สุโขทัย 1 แหล่งปลูกในประเทศไทย ได้แก่ ภาคเหนือและภาคกลาง เช่น สุโขทัย เชียงใหม่ เพชรบูรณ์ พิจิตร พิษณุโลกแพร่ ลำปาง ดาก กำแพงเพชร ลพบุรี สระบุรี ชัยนาท สิงห์บุรี อ่างทอง กาญจนบุรี ปราจีนบุรี ฉะเชิงเทรา สำหรับในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ จังหวัดเลย นครราชสีมา ขอนแก่น อุดรธานี อุบลราชธานี มหาสารคาม หนองคาย (กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2551)

4.1 คุณค่าทางโภชนาการของถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองเป็นเมล็ดพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการ แสดงในตารางที่ 2.7 เป็นแหล่งที่ดีของไขมันและโปรตีน มีประโยชน์ต่อสุขภาพและช่วยป้องกันโรค ถั่วเหลืองมีไขมันประมาณร้อยละ 20 แต่มีโปรตีนถึงร้อยละ 40 น้ำมันจากถั่วเหลืองจะมีกรดไขมันอิ่มตัวต่ำ แต่เป็นแหล่งที่ดีของกรดไขมันจำเป็นคือ กรดไลโนเลอิกและกรดไลโนเลนิกซึ่งกรดไขมันเหล่านี้ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นมาได้ จำเป็นต้องได้รับจากอาหาร ถ้าอาหารที่รับประทานไม่มีกรดไขมันจำเป็นก็จะทำให้เกิดอาการของโรคขาดกรดไขมันจำเป็นได้แก่ ผิวหนังแห้งและตกสะเก็ด บาดแผลหายช้า ถ้าเป็นเด็กการเจริญเติบโตจะหยุดชะงักมีปัญหาเกี่ยวกับสายตาและการฟัง ถั่วเหลืองมีโปรตีนสูง ถั่วเหลืองจึงเป็นแหล่งโปรตีนสำหรับบุคคลที่ไม่บริโภคเนื้อสัตว์ โปรตีนในถั่วเหลืองจัดเป็นโปรตีนที่

มีคุณภาพสูง มีคุณค่าทางโภชนาการใกล้เคียง กับโปรตีนจากสัตว์ ปัจจุบันพบว่าการใช้ถั่วเหลืองในปริมาณที่สูงพอร่างกายจะได้รับโปรตีนเพียงพอกับความต้องการได้

ผลการวิจัยคุณค่าทางอาหารเปรียบเทียบปริมาณโปรตีน และปริมาณน้ำมันของถั่วเหลือง 15 พันธุ์ พบว่าถั่วจำแนกโดยปริมาณโปรตีนสามารถจำแนกออกเป็น 4 กลุ่มดังนี้ กลุ่มโปรตีนสูง คือ มากกว่า 40% ได้แก่ถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 และพันธุ์เชียงใหม่ 60 กลุ่มโปรตีนค่อนข้างสูง (37–39%) ได้แก่ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.4 สจ.5 เชียงใหม่ 1 เชียงใหม่ 3 เชียงใหม่ 4 สุโขทัย 1 สุโขทัย 2 และนครสวรรค์ 1 และ นว.1 กลุ่มโปรตีนปานกลาง (36–37%) ได้แก่ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.2 เชียงใหม่ 2 กลุ่มโปรตีนต่ำ (น้อยกว่า 36%) ได้แก่ถั่วเหลืองพันธุ์สุโขทัย 3 มข.35 ถั่วจำแนกโดยปริมาณไขมันสามารถจำแนกออกเป็น 4 กลุ่มดังนี้ กลุ่มน้ำมันสูง คือ มากกว่า 23% ได้แก่ถั่วเหลืองพันธุ์สุโขทัย 3 กลุ่มน้ำมันค่อนข้างสูง (20–23%) ได้แก่ถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 สจ.1 สจ.2 สจ.3 สจ.5 เชียงใหม่ 1 เชียงใหม่ 3 เชียงใหม่ 4 เชียงใหม่ 60 สุโขทัย 2 กลุ่มน้ำมันปานกลาง (18–20%) ได้แก่ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 2 กลุ่มน้ำมันต่ำ (น้อยกว่า 18%) ได้แก่ถั่วเหลืองพันธุ์สุโขทัย 1

การวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใยในถั่วเหลือง พบว่า กลุ่มที่มีปริมาณเยื่อใยสูง คือ 9.45% ได้แก่ถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 กลุ่มที่มีปริมาณเยื่อใยปานกลาง (7–8%) ได้แก่ถั่วเหลืองพันธุ์ เชียงใหม่ 60 และ สจ.5 และกลุ่มปริมาณเยื่อใยต่ำสุด (36–37%) ได้แก่ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 2 กรณีปริมาณคาร์โบไฮเดรต ถั่วเหลืองพันธุ์ที่มีคาร์โบไฮเดรตสูงสุดคือ พันธุ์มข. 35 มีปริมาณ 24.23% และพันธุ์จักรพันธ์ 1 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำสุดคือ 16.73% (อรรณ, 2551)

ปริมาณองค์ประกอบกรดไขมันในถั่วเหลือง 15 พันธุ์ (ปลูกในฤดูแล้ง ปี 2544 ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่) พบว่านครสวรรค์ 1 มีปริมาณกรดลิโนเลนิกสูงสุด 9% จักรพันธ์ 1 มีปริมาณกรดลิโนเลนิกสูงสุด 58.51% และสจ. 1 มีปริมาณกรดโอเลอิกสูงสุด 32.31% ขณะที่เชียงใหม่ 60 มีปริมาณกรดลิโนเลนิก 7.64% กรดลิโนเลนิก 53.36% กรดโอเลอิก 23.44% (อรรณ, 2551)

ชนิดและปริมาณองค์ประกอบกรดอะมิโนในถั่วเหลืองพันธุ์แนะนำ 6 พันธุ์ โดยคัดจากถั่วเหลืองพันธุ์ที่มีปริมาณโปรตีนสูงจาก 15 พันธุ์ที่ปลูกในฤดูแล้งปี 2544 ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ ได้แก่ พันธุ์จักรพันธ์ 1 เชียงใหม่ 60 เชียงใหม่ 1 เชียงใหม่ 4 สจ.4 และสจ.5 พบว่าพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีปริมาณเมทไธโอนีนสูงสุด 549.5 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ขณะที่จักรพันธ์ 1 และสจ.4 มีปริมาณ 457.48 และ 164.52 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตามลำดับ ส่วนเชียงใหม่ 1 เชียงใหม่ 4 และสจ.5 มีปริมาณต่ำมาก (< 0.05 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) (อรรณ, 2551)

ตารางที่ 2.7 ปริมาณสารอาหารและไฟโตเคมีคอลที่พบในถั่วเหลือง

Component	Unit	Range	Typical	References
Protein	%	30-50	40	Orf 1988 (7); Liu, Orthoefer, and Brown 1995 (8)
Amino acid composition	g/100 g seed			Han, Parsons, and Hymowitz 1991 (9)
<i>Non-essential</i>				
Alanine		1.49-1.87	1.69	
Arginine		2.45-3.49	2.90	
Aspartic acid		3.87-4.98	4.48	
Glutamic acid		6.10-8.72	7.26	
Glycine		1.88-2.02	1.69	
Cysteine		0.56-0.66	0.60	
Proline		1.88-2.61	2.02	
Serine		1.81-2.32	2.07	
<i>Essential</i>				
Histidine		0.89-1.08	1.04	
Isoleucine		1.46-2.12	1.76	
Leucine		2.71-3.20	3.03	
Lysine		2.35-2.86	2.58	
Methionine		0.49-0.66	0.54	
Phenylalanine		1.70-2.08	1.95	
Threonine		1.33-1.79	1.58	
Tryptophan		0.47-0.54	0.49	
Tyrosine		1.12-1.62	1.43	
Valine		1.52-2.24	1.83	
Oil		12-30	20	Orf 1988 (7); Liu, Orthoefer, and Brown 1995 (8)
Fatty acid composition	% relative to total oil			Hammond and Glatz 1988 (10), Liu 1999 (11), Fehr and Curtiss 2004 (12).
Palmitic acid		4-23	11	Hammond and Glatz 1988 (10), Liu 1999 (11), Fehr and Curtiss 2004 (12).
Stearic acid		3-30	4	
Oleic acid		25-86	25	
Linoleic acid		25-60	53	
Linolenic acid		1-15	7	
Carbohydrates	%	26-38	34	Orf 1998 (7); Liu, Orthoefer, and Brown 1995(8)
Sucrose		2.5-8.2	5.5	Hymowitz <i>et al.</i> 1972 (13)
Raffinose		0.1-0.9	0.9	Hymowitz <i>et al.</i> 1972 (13)
Sachyose		1.4-4.1	3.5	Hymowitz <i>et al.</i> 1972 (13)
Ash	%	4.61-5.94		Taylor <i>et al.</i> 1999 (14)
<i>Vitamins</i>				
Thiamine	µg/g	6.26-6.85		Fernando and Murphy 1993 (15)
Riboflavin	µg/g	0.92-1.19		Fernando and Murphy 1993 (15)
Vitamin E	µg/g			Fernando and Murphy 1986 (16)
α-tocopherol		10.9-28.4		
τ-tocopherol		150-190		
δ-tocopherol		24.6-72.5		
Isoflavones	%	0.1-0.4	2.5	Coward <i>et.al.</i> 1993 (17), Wang and Murphy 1994 (18)

ตารางที่ 2.7 (ต่อ)

Component	Unit	Range	Typical	References
Isoflavones	%	0.1-0.4	2.5	Coward <i>et.al.</i> 1993 , Wang and Murphy 1994
Saponins	%	0.1-0.3		Arditi, Meredith, and Flowerman 2000
Phytate	%	1.0-1.5	1.1	Lolas, Palamidis, and Markakis 1976
Phytosterols	mg/g	0.3-0.6		Rao and Janezic 1992
Trypsin inhibitors	mg/g	16.7-27.2	22.3	Liener 1994 , Anderson and Wolf 1995
Lectin	HU*/ mg protein	1.2-6.0	3.0	Padgett <i>et al.</i> 1996
Lunasin	% defatted flour	0.33-0.95	0.65	De Mejia, Wang, <i>et al.</i> 2004

*HU = Hemagglutinin unit

ที่มา: Liu, 2004b

ถั่วเหลืองพันธุ์ที่เหมาะสมสำหรับนำไปแปรรูป เป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่บริโภคโดยตรง คือ พันธุ์เชียงใหม่ 60 และพันธุ์จักรพันธุ์ 1 เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนสูงมากกว่าร้อยละ 40 รวมทั้ง พันธุ์เชียงใหม่ 60 เป็นถั่วเหลืองที่มีเมล็ดขนาดใหญ่ ปริมาณกรดเมทิลโอนีนสูงที่สุด ตามเมล็ดไม่ค้ำปลุกกันมากในภาคเหนือ ขณะที่พันธุ์จักรพันธุ์ 1 เมล็ดมีลักษณะเล็กและมีกลิ่นเหม็นเขียว (อรรณ, 2551)

4.2 ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60

เป็นพันธุ์ที่ทนทานต่อโรคราสนิม โรคราสีน้ำตาล และโรคแอนแทรกโนสดีกว่าพันธุ์ สจ.4 และสจ. 5 มีการแตกกิ่งน้อยทำให้สามารถเพิ่มจำนวนต้นต่อไร่เป็นการเพิ่มผลผลิตด้วย สามารถปลูกได้ทั้งฤดูแล้งและฤดูฝน โดยให้ผลผลิตอยู่ในระดับใกล้เคียงกับพันธุ์ สจ.4 และสจ. 5 (กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2551) องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดอยู่ในกลุ่มโปรตีนสูง คือ มากกว่า 40% และกลุ่มน้ำมันค่อนข้างสูง (20 – 23%) คือมีปริมาณโปรตีน 43.8% มีน้ำมัน 20% มีกรดไขมันปาล์มิติก 12.75% สเตริก 3.78% โอเลอิก 19.57 – 23.44% ลิโนเลอิก 53.36 - 53.53% ลิโนเลนิก 7.64 - 9.57% และมีปริมาณเมทิลโอนีนสูงถึง 549.5 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (ศูนย์สารสนเทศกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2551)

4.3 ถั่วเหลืองพันธุ์สจ. 2

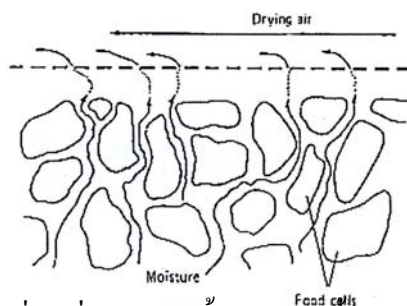
เป็นพันธุ์ที่เจริญเติบโตได้ดี และให้ผลผลิตสูงในปลายฤดูฝนและฤดูแล้ง ฝักไม่แตกง่าย แต่ไม่ต้านทานต่อโรคราสนิม ตามเมล็ดสีน้ำตาลแดง (ชาวบ้านเรียกพันธุ์ตาแดง) (กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2551) องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ด ปริมาณโปรตีนอยู่ในระดับ

ปานกลาง (36 – 37%) และมีน้ำมันค่อนข้างสูง (20 – 23%) (ศูนย์สารสนเทศกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2551)

5. กระบวนการทำแห้งอาหาร

การทำแห้ง (Drying) คือ การลดความชื้นของอาหารจนถึงระดับที่สามารถระงับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้คือ มีค่ากิจกรรมของน้ำ (Water activity; a_w) ต่ำกว่า 0.70 การทำแห้งเป็นการกำจัดความชื้นออกจากอาหาร เพื่อเก็บรักษาถนอมผลิตภัณฑ์ ยืดอายุการเก็บรักษา โดยการลดความชื้นของอาหารลงจนถึงระดับที่สามารถป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์หรือปฏิกิริยาอื่นๆ ได้ นอกจากนี้ยังมีผลต่อการเก็บรักษากลิ่นรสและคุณค่าทางอาหาร (รุ่งนภา, 2535) โดยทั่วไปการทำแห้งของอาหารจะแบ่งได้เป็น 3 ระยะ คือ ระยะปรับตัวเป็นระยะที่ผิวหน้าของอาหารปรับตัวให้เข้าสู่สมดุลกับสถานะของลมร้อน ระยะอัตราแห้งคงที่ระยะนี้ผิวหน้าของอาหารจะอึดตัวด้วยน้ำ และระยะอัตราแห้งลดลง เมื่อความชื้นของอาหารลดลงต่ำกว่าความชื้นวิกฤตอัตราแห้งจะลดลงอย่างช้าๆ จนเกือบเป็นศูนย์ (ไพศาล, 2540) การทำแห้งจะต้องมีการให้พลังงานแก่อาหารเพื่อทำให้น้ำในอาหารเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำและระเหยออกจากอาหาร ดังรูป 2.4 การใช้เครื่องอบแห้งจะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและมวลสารของอาหารได้อย่างรวดเร็ว โดยการให้กระแสลมร้อนเคลื่อนที่ผ่านอาหาร การถ่ายเทความร้อนแบบนี้เรียกว่า การพาความร้อน ถ้าใช้พลังงานจากแสงแดดจะเรียกว่า การตากแห้ง แต่ถ้าใช้พลังงานจากไฟฟ้า แก๊สหรือไอน้ำจะเรียกว่า การอบแห้ง (สุคนธ์ชื่น, 2539)

การทำแห้งมีประโยชน์หลายด้าน เช่น ป้องกันการเน่าเสียเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ ปฏิกิริยาเคมีและเอนไซม์ เก็บไว้ได้นานโดยไม่ต้องใช้ตู้เย็น ทำให้มีใช้ในยามขาดแคลน นอกฤดูการผลิตหรือแหล่งห่างไกล ลดขนาดและน้ำหนักอาหาร ทำให้สะดวกในการบรรจุ เก็บรักษาและขนส่งได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ และความสะดวกในการใช้ (สุคนธ์ชื่น, 2539)

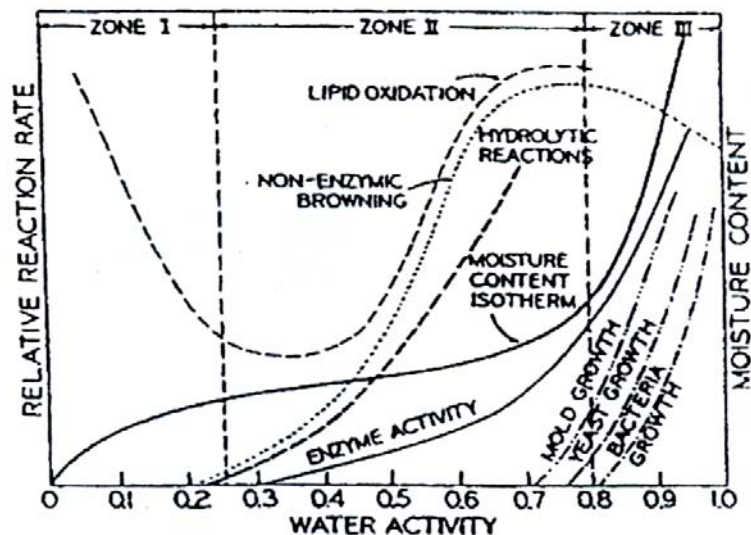


รูปที่ 2.8 การเคลื่อนที่ของความชื้นออกจากเซลล์อาหารระหว่างการทำแห้ง

ที่มา: วิล, 2545

5.1 น้ำในอาหาร

ค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) หมายถึง ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหารเป็นน้ำที่ไม่ได้เป็นองค์ประกอบของโมเลกุลทางเคมีของอาหาร (bound water) และยังเป็นอิสระ (free water) อยู่ในอาหาร ถ้ามีมากจะทำให้อาหารเก็บไว้ได้ไม่นานหรืออายุการเก็บรักษาสั้น ถ้าความชื้นของอาหารน้อยกว่าร้อยละ 50 หรือในอาหารแห้ง โดยทั่วไปควรหาค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) เพื่อให้เห็นความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของอาหารได้ชัดเจนกว่าโดยถ้าค่าความชื้นในอาหารเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยก็จะเห็นความแตกต่างของค่า a_w ทันที อาหารที่มีความชื้นสูงหรือมีปริมาณน้ำมากกว่าส่วนที่เป็นของแข็ง จะมีค่า a_w เท่ากับ 1.0 และเมื่ออาหารมีความชื้นต่ำลงหรือมีปริมาณน้ำน้อยกว่าส่วนที่เป็นของแข็ง ค่า a_w จะลดลงต่ำกว่า 1.0 อาหารที่มีค่ากิจกรรมของน้ำต่ำจะทำให้จุลินทรีย์เจริญช้า และลดปฏิกิริยาของเอนไซม์จึงลดการเกิดสีน้ำตาลและลดการเหม็นหืน ดังนั้นอาหารที่มีค่ากิจกรรมของน้ำต่ำจะมีอายุการเก็บรักษานานกว่าอาหารที่มีค่ากิจกรรมของน้ำสูง อาหารที่เก็บรักษาได้นานที่สุดคือ มีค่ากิจกรรมของน้ำในช่วง 0.2 – 0.4 ดังรูป 2.5 (สุคนธ์ชื่น, 2539)

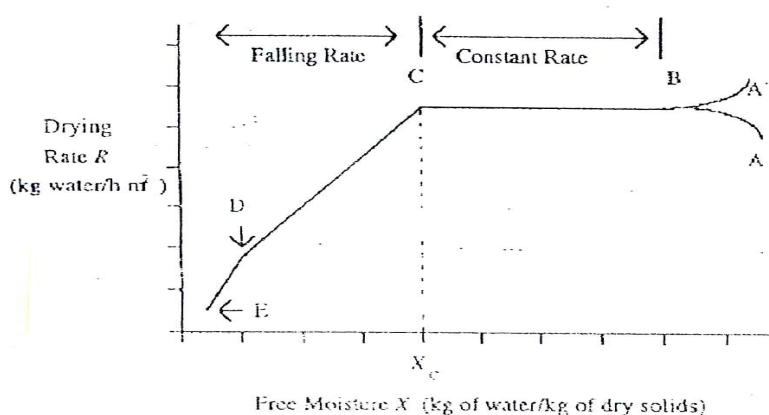


รูปที่ 2.9 อัตราเร็วของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในอาหาร และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ผันแปรตามค่ากิจกรรมน้ำ (a_w) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส
ที่มา: สุคนธ์ชื่น, 2539

การจำแนกประเภทของอาหารโดยใช้ค่ากิจกรรมของน้ำเป็นเครื่องวัด แบ่งได้ 3 ประเภท คือ High Moisture Food (HMF) เป็นอาหารที่มีค่ากิจกรรมของน้ำมาก อยู่ในช่วง 0.85 – 1.00 แยกที่เรียส่วนใหญ่เจริญได้ Intermediate Moisture Food (IMF) เป็นอาหารที่มีค่ากิจกรรมของน้ำปานกลางอยู่ในช่วง 0.65 – 0.85 ยีสต์และราเจริญได้ และ Low Moisture Food (LMF) เป็นอาหารที่มีค่ากิจกรรมของน้ำต่ำ อยู่ในช่วง 0.01 -0.65 จุลินทรีย์ส่วนใหญ่ไม่สามารถเจริญได้ (วิไล, 2545)

5.2 กราฟอัตราการแห้ง

กราฟอัตราการแห้ง ได้จากการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและเวลาที่เปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการทำแห้ง มีลักษณะโดยทั่วไปดังรูป 2.6 ซึ่งสามารถใช้หาเวลาในการอบแห้งที่สภาวะเดียวกันได้ จากรูป 2.6 เส้นกราฟแบ่งออกเป็น 4 ช่วง ดังนี้ช่วง A → B หรือ A' → B เป็นช่วงของการ warm up ของอุณหภูมิในชั้นผลิตภัณฑ์ ช่วง B → C เรียกว่า ช่วงอัตราการแห้งคงที่ (constant rate period) มีลักษณะการถ่ายเทความร้อนและมวลระหว่างผลิตภัณฑ์และอากาศกับการถ่ายเทความร้อนและมวลที่เกิดขึ้นที่กระเปาะเปียกของเทอร์โมมิเตอร์ ซึ่งการเคลื่อนที่ของน้ำที่เกิดขึ้นเป็นน้ำพวก unbound water เป็นน้ำที่บริเวณผิวของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการระเหยกลายเป็นไอ และเคลื่อนที่ไปกับอากาศร้อน การเคลื่อนที่ของน้ำในผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นเนื่องจาก hydraulic gradient และอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์น้อยกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ ซึ่งอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำที่ผิวจะเท่ากับอัตราการระเหยที่ผิวของผลิตภัณฑ์ และสามารถใช้เป็นค่าอัตราการแห้งได้ ปัจจัยที่เป็นตัวควบคุมการทำแห้งในช่วงนี้คืออุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และอัตราเร็วของอากาศ จุด C เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้น จุดนี้เรียกว่า ความชื้นวิกฤต (critical moisture content) เกิดจากตอนแรกผลิตภัณฑ์มีความชื้นสูงเมื่อทำแห้งไปเรื่อยๆ



รูปที่ 2.10 กราฟอัตราการแห้ง

ที่มา: สุนทรชัย, 2539

ปริมาณความชื้นที่ผิวลดลงจนกระทั่งน้ำที่บริเวณผิวระเหยไปหมดและความชื้นในผลิตภัณฑ์ต่ำลง ทำให้อัตราการทำแห้งเปลี่ยนไป ซึ่งสามารถพบการเปลี่ยนแปลงเช่นนี้ในการทำแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่มีโครงสร้างในเป็นรูพรุน ช่วง $C \rightarrow D$ และ $D \rightarrow E$ เรียกว่า ช่วงที่อัตราการทำแห้งลดลง (falling rate period) การถ่ายเทความร้อนและมวลไม่ได้เกิดที่ผิวของผลิตภัณฑ์ แต่เกิดที่ภายในเนื้อของผลิตภัณฑ์การเคลื่อนที่เป็นลักษณะของการแพร่ (diffusion) ของน้ำหรือไอน้ำที่อยู่ใน pore หรือ capillary ภายในเนื้อผลิตภัณฑ์ไปที่ผิวของผลิตภัณฑ์จึงเคลื่อนที่ไปกับอากาศร้อนซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ที่ช้ากว่าแบบการพา ทำให้อัตราการทำแห้งช่วงนี้ลดลงปัจจัยที่ควบคุมการทำแห้งในช่วงนี้ คือ ความต้านทานการเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำในผลิตภัณฑ์ และในช่วงนี้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จะสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของเทอร์โมมิเตอร์ จากกราฟเห็นว่าในช่วงอัตราการทำแห้งลดลง 2 ช่วง เนื่องจากช่วง $C \rightarrow D$ ยังคงมีความชื้นอยู่ที่ผิวหลงเหลืออยู่บ้างเล็กน้อย แต่ที่จุด D ความชื้นที่ผิวระเหยไปหมดทำให้ผิวหน้าแห้งสนิท อัตราการระเหยจึงช้าลงไปอีก

5.3 ปริมาณความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture)

ปริมาณความชื้นสมดุล คือ ปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในตัวอย่างที่ความดันไอสมดุลกับสิ่งแวดล้อมในกระบวนการทำแห้งปริมาณความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์ คือค่าความชื้นสมดุลสุดท้ายของผลิตภัณฑ์เมื่อสิ้นสุดกระบวนการทำแห้ง ซึ่งค่าของปริมาณความชื้นสมดุลขึ้นกับโครงสร้างของอาหารและลักษณะของน้ำที่เกาะกับโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ (สุคนธ์ชื่น, 2539)

5.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง

ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้งอาหาร มีดังนี้ (สุคนธ์ชื่น, 2539)

1. ธรรมชาติของอาหาร อาหารที่มีลักษณะเนื้อโปรงมีการเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารแบบผ่านช่องแคบเร็วกว่าการแพร่ในอาหารที่มีลักษณะเนื้อแน่น จึงแห้งเร็วกว่า อาหารที่มีน้ำตาลสูงจะกีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำทำให้การทำแห้งช้า และอาหารที่มีการลวก นวด คลึง จะทำให้เซลล์แตกและแห้งได้เร็วขึ้น
2. ขนาดและรูปร่าง มีผลต่อพื้นที่ผิวต่อน้ำหนัก เช่น อาหารที่มีรูปร่างเหมือนกันถ้ามีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่จึงแห้งได้เร็วกว่า ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศที่จะเกิดการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปได้ด้วย ถ้าชิ้นเล็กมากทาบถมกันการระเหยเกิดได้เฉพาะที่ผิวสัมผัสกับอากาศจึงเกิดได้ช้าๆ ที่พื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมีมาก
3. ตำแหน่งของอาหารในเครื่องอบแห้ง อาหารที่สัมผัสกับลมร้อนได้ดีหรือสัมผัสกับลมร้อนที่มีความชื้นต่ำย่อมระเหยได้ดีกว่า

4. ปริมาณอาหารต่อภาค มากเกินไป อาหารส่วนล่างจะไม่ได้สัมผัสกับอากาศร้อนหรืออาจได้รับความร้อนจากภาคแล้วแต่ไอน้ำไม่สามารถแพร่กระจายผ่านชั้นอาหารตอนบนออกมาได้ จึงแห้งช้า

5. ความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศร้อน อากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่มากจะรับไอน้ำได้น้อยกว่าอากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่น้อย

6. อุณหภูมิของอากาศร้อน ถ้าอากาศมีความชื้นคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิของอากาศร้อนเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำ และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้กระจายของน้ำในอาหารดีขึ้นด้วย

7. ความเร็วของอากาศร้อน อากาศร้อนทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกดังนั้น เมื่อความเร็วของอากาศร้อนเพิ่มขึ้นการเคลื่อนย้ายไอน้ำก็จะเกิดขึ้นเนื่องจากเกิดกระแสปั่นป่วนของอากาศในเครื่องอบแห้งอากาศจึงสัมผัสอาหารได้ดี การเคลื่อนย้ายไอน้ำเกิดขึ้นเต็มที่ที่ความเร็วลม 244 เมตร/นาที่

5.5 ผลของการอบแห้งที่มีต่ออาหารอบแห้งในด้านต่างๆ

การอบแห้งมีผลต่ออาหารอบแห้งในด้านต่างๆ ดังนี้ (กุลยา, 2540)

1. คุณค่าอาหาร การอบแห้งจะระเหยความชื้นหรือน้ำออกจากอาหาร และเพิ่มความเข้มข้นขององค์ประกอบของอาหาร เช่น แป้ง ไขมัน โปรตีน การถนอมอาหารโดยวิธีอบแห้งจะทำให้คุณภาพลดลงโดยเฉพาะวิตามินที่ละลายน้ำจะสูญเสียไปกับน้ำจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน

(Oxidation) และถ้ามีการการอบแห้งโดยวิธีการตากแดดต่างจากการใช้เครื่องอบแห้งคือ ไม่สามารถควบคุมความชื้นอากาศ แสงแดด อุณหภูมิได้

2. โปรตีน จะเสียคุณค่าไปมากหรือน้อยเพียงขึ้นกับวิธีการอบแห้งอาหาร ถ้าใช้เวลานานเกินไปและอุณหภูมิโปรตีนจะเปลี่ยนสภาพและคุณค่าทางโภชนาการจะลดลง แต่ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำทำให้อาหารแห้งโปรตีนจะใช้ประโยชน์มากกว่าแต่จะขึ้นอยู่กับนชนิดของโปรตีนด้วย

3. คาร์โบไฮเดรต การเปลี่ยนสีของผลไม้ตากแห้งเกิดจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวกับเอนไซม์ (non-enzymatic browning reaction) เกิดโดยกรดอะมิโนในผลไม้รวมกับน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) ทำให้เกิดสีน้ำตาลป้องกันโดยใช้สารเคมีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) หรือโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์

4. ไขมัน อุณหภูมิในการอบแห้งสูงจะทำให้อาหารที่อบแห้งเหม็นหืน ดังนั้นจึงควรใช้อุณหภูมิต่ำ หรือใช้สารกันหืน (antioxidants) ป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น BHT (Butylated hydroxyl toluene)

5. เอนไซม์ จะหยุดกิจกรรม เมื่อใช้ความร้อนถึง 100 องศาเซลเซียส เวลา 1 นาที แต่ถ้าใช้ความร้อนในการอบแห้ง ปฏิริยาของเอนไซม์จะทนทาน ดังนั้นการอบแห้งจึงต้องลวกน้ำร้อน หรือใช้สารเคมีเพื่อหยุดยังปฏิริยาของเอนไซม์ก่อนที่จะนำไปอบ

6. จุลินทรีย์ เป็นสาเหตุของการทำให้อาหารเสียหายหรือเน่า การลดความชื้นในอาหาร ให้เหลือน้อยที่สุดก็จะทำให้อาหารไม่เสียหายและเก็บไว้ได้นาน ถ้าความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 12 เชื้อราจะเจริญได้ ส่วนแบคทีเรียและยีสต์จะเจริญเติบโตได้ดีถ้าความชื้นสูงกว่าร้อยละ 30 การอบแห้ง นิยมใส่เกลือแกงลงในอาหารที่จะอบแห้งเพื่อควบคุมจุลินทรีย์ เมื่ออบแห้งแล้วต้องเก็บใส่หีบห่อ ให้ดี ไม่เก็บในที่ที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงเพราะเชื้อจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตเร็ว

7. เม็ดสีในอาหาร อาหารอบแห้งจะมีคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมีเปลี่ยนไป สีของอาหารจะเปลี่ยนไป เม็ดสีพวกแคโรทีนอยด์และแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) จะซีดจางลง ถ้าใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลานาน หรือใช้สารเคมีบางชนิดในการอบแห้งเพื่อยับยั้งปฏิริยาของเอนไซม์ เช่น รมควันด้วยกำมะถัน จะฟอกสีอาหารให้จางลง ดังนั้น พวกผักและผลไม้จึงมีการ fixed สีก่อนอบแห้ง โดยการลวกน้ำร้อนหรือแช่สารเคมี เช่น สารละลายด่างอ่อนจะทำให้สีผักผลไม้ไม่ซีดจางลงหรือเป็นสีน้ำตาล แต่อาจจะทำให้อาหารแข็งกระด้างขึ้น

5.6 เครื่องอบแห้งแบบลมร้อน

เครื่องอบแห้งถูกพัฒนาขึ้นมาใช้เนื่องจากการตากแห้งมีข้อด้อยหลายด้าน เช่น พลังงาน ความร้อนจากแสงอาทิตย์ให้อุณหภูมิที่ไม่สูงนักและกระแสนลมธรรมชาติไม่แรงพอ ทำให้ใช้เวลานาน ใช้พื้นที่มากและมักทำในที่เปิดโล่ง ซึ่งทำให้มีโอกาสนปนเปื้อน (Potter and Hotchkiss, 1995) เครื่องอบแห้งแบบลมร้อนเป็นวิธีการอบแห้งแบบดั้งเดิมสำหรับการเก็บรักษาอาหารและมีความสำคัญมากในกระบวนการผลิตอาหาร การอบแห้งแบบลมร้อนเป็นกระบวนการที่เกิดการถ่ายเทความร้อนและมวลสารในเวลาเดียวกันรวมทั้งเป็นการดำเนินการทำให้ค่ากิจกรรมของน้ำต่ำลงโดยการกำจัดน้ำโดยการระเหยไปยังไอน้ำที่ไม่อิ่มตัว (Khraisheh *et al.*, 1997) วัตถุประสงค์หลักของการอบแห้งของผลิตภัณฑ์อาหาร คือการกำจัดน้ำออกจากของแข็งเพื่อให้ถึงระดับที่ไม่ให้เกิดสปอร์ของจุลินทรีย์ ดังนั้นเหตุผลหลักที่เป็นที่นิยมของการอบแห้งอาหารการเก็บรักษาอาหารที่ยาวนานขึ้นรวมถึงปริมาณที่ลดลงของผลิตภัณฑ์ (Prabhanjan *et al.*, 1995) การอบแห้งแบบลมร้อนผลิตภัณฑ์จะแห้งที่อุณหภูมิสูงและเวลาในการอบแห้งยาวนานข้อเสียของการอบแห้งแบบลมร้อน คือ ความเสียหายของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งที่เกิดจากการอบแห้งแบบลมร้อน คือ อุณหภูมิและเวลาในการอบแห้ง การอบแห้งแบบลมร้อนใช้อุณหภูมิและระยะเวลาที่ยาวนานเป็นสาเหตุที่สำคัญที่ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดลงซึ่งได้แก่ สี กลิ่น คุณค่าทางอาหาร ความ

หนาแน่น และการคืนรูป (Lin *et al.*, 1998; Drouzas *et al.*, 1999) การแข็งตัวของเปลือกก็เป็นปัญหาพื้นฐานของการอบแห้งผักและผลไม้ซึ่งเกิดจากการอบแห้งอย่างรวดเร็วซึ่งเกิดขึ้นเพราะในกระบวนการอบแห้งอัตราการระเหยของน้ำมีสูงกว่าการเคลื่อนที่ของน้ำบริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ทำให้ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์แข็ง (case hardening) (Yongsawatdigul and Gunasekaran, 1996) ข้อเสียอื่น ๆ ของการอบแห้งแบบลมร้อนคือ ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานต่ำทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน ดังนั้นจึงมีการค้นคว้าหาวิธีการอบแห้งแบบอื่น ๆ เพื่อให้ได้กระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพที่ดีกว่าการอบแห้งแบบลมร้อนซึ่งการอบแห้งแบบลมร้อนสามารถแก้ไขปัญหของการอบแห้งแบบลมร้อนได้

5.7 เครื่องอบแห้งไมโครเวฟ

การให้ความร้อนโดยใช้เครื่องไมโครเวฟเกิดจากการเปลี่ยนรูปพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนโดยอาศัยโมเลกุลที่มีขั้วของวัตถุดิบนั้น มีลักษณะพิเศษที่สำคัญ คือเป็นการให้ความร้อนแบบ volumetric heating (Mullin, 1995) คือ การที่วัตถุดิบสามารถดูดซับพลังงานไมโครเวฟได้โดยตรงและเข้าสู่ภายในวัตถุดิบและเปลี่ยนเป็นความร้อนได้ ซึ่งต่างจากการอบแห้งแบบลมร้อนที่อาศัยการพาความร้อนต่อการนำความร้อน โดยความร้อนจะแพร่จากผิวหน้าของวัตถุดิบเข้าไปในวัตถุ ในการให้ความร้อนแบบไมโครเวฟ ความร้อนจะเกิดขึ้นในวัตถุดิบตลอดเวลาทำให้อัตราการอบแห้งที่เร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การอบแห้งแบบลมร้อนที่ความร้อนจะแพร่จากผิวหน้าเข้าสู่วัตถุดิบ (Gowen *et al.*, 2006) การอบแห้งด้วยไมโครเวฟเกิดจากความดันที่แตกต่างกันระหว่างภายในกับบริเวณผิวหน้าของวัตถุทำให้เป็นแรงผลักดันทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำออกจากวัตถุ ข้อดีของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ คือ การอบแห้งด้วยไมโครเวฟใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูง ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าและได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงกว่าการอบแห้งแบบลมร้อน การอบแห้งด้วยไมโครเวฟช่วยในการกำจัดความชื้นของผลิตภัณฑ์โดยไม่เกิดปัญหาผิวหน้าของผลิตภัณฑ์แข็ง (case hardening) (Prabhajan *et al.*, 1995) การอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนจะสามารถลดเวลาในการอบแห้งของวัตถุดิบที่เป็นพืชลงอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับ การอบแห้งแบบลมร้อน โดยคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายไว้ได้ดี (Ren and Chen., 1998) การอบแห้งด้วยไมโครเวฟใช้พื้นที่ในกระบวนการผลิตน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับ การอบแห้งแบบลมร้อนเนื่องจากการเพิ่มอัตราการผลิตสามารถทำได้โดยการออกแบบเครื่องมือให้ใช้วัตถุดิบที่มากและหนาแน่นขึ้นในพื้นที่น้อยได้โดยไม่ต้องเพิ่มพื้นที่ในการอบให้มากขึ้นได้ ในการอบแห้งด้วยไมโครเวฟต้นทุนการผลิตจะต่ำเพราะในการอบแห้งจะไม่มี การสูญเสียพลังงานความร้อนให้แก่ผนังของเครื่องและสิ่งแวดล้อม (Mullin, 1995; Thuery, 1992) ความร้อนที่เกิดจากไมโครเวฟเกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ ไม่ได้เกิดขึ้นจากผนังหรือเกิดจากอากาศรอบผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงมี

การสูญเสียพลังงานต่ำมาก ดังนั้นจึงทำให้ในกระบวนการอบแห้งด้วยไมโครเวฟมีอุณหภูมิรอบๆ ผลิตภัณฑ์ไม่สูง อีกทั้งยังสามารถควบคุมการเปิดและปิดได้อย่างรวดเร็วและมีความแม่นยำในการให้ความร้อน (Mulling, 1995) ข้อดีอื่นๆของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟคือการยับยั้งอุณหภูมิบริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ไม่ให้สูง ยับยั้งการหายใจของผลิตภัณฑ์ มีอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ต่ำเมื่อใช้ร่วมกับเทคนิคสูญญากาศลดการสูญเสียความสามารถในการละลายน้ำของสารประกอบและประหยัคพลังงาน การอบแห้งด้วยไมโครเวฟมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อผลิตภัณฑ์มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 20 ดังนั้น จึงควรใช้การอบแห้งด้วยไมโครเวฟในช่วง Falling rate หรือในผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นต่ำจนเสร็จสิ้นการอบแห้ง (Maskan, 2000) เพราะต้นทุนในการอบแห้งที่ความชื้นสูงของการอบแห้งแบบลมร้อนจะเป็นร้อยละ 30 ของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ (IEA, 1996) เช่นเดียวกันการอบแห้งแบบลมร้อนในช่วงที่ความชื้นต่ำจะใช้เวลาในการอบแห้งนานใช้พลังงานมากกว่าการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ มีรายงานการอบแห้งด้วยไมโครเวฟจะมีคุณภาพของกลิ่น การคืนรูปที่ดีกว่าและเร็วกว่า ที่สำคัญประหยัคพลังงานและใช้เวลาในการอบแห้งเร็วกว่า การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟกับการอบแห้งด้วยวิธีอื่น เช่น Freeze drying, radio frequency drying การอบแห้งด้วยไมโครเวฟมีอัตราการอบแห้งที่ดีกว่า ผลิตภัณฑ์มีความยืดหยุ่นสูง สี กลิ่น คุณค่าทางอาหาร มีความคงทนต่อเชื้อจุลินทรีย์ การยับยั้งเอนไซม์ การคืนรูป ผลิตภัณฑ์กรอบและดูสดมากกว่าการอบแห้งแบบอื่นๆ (Vadivambal and Jayas , 2007)

6. การอบและการย่าง (baking and roasting)

การอบและการย่างเป็นหน่วยปฏิบัติการที่เหมือนกันคือเป็นการใช้ลมร้อนหรืออากาศร้อนเพื่อเปลี่ยนแปลงคุณภาพการบริโภคของอาหาร โดยอาหารได้รับความร้อนจากการแผ่รังสีจากผนังเครื่องอบ การพาความร้อนจากอากาศที่หมุนเวียนและการนำความร้อนผ่านภาชนะที่มีอาหารวางอยู่ ความร้อนส่วนใหญ่จะถ่ายเทไปยังอาหารโดยการนำความร้อน ส่วนการถ่ายเทความร้อนของอากาศก๊าซอื่นๆ และไอน้ำในเครื่องอบเกิดขึ้นโดยการพาความร้อน และเปลี่ยนเป็นการนำความร้อนที่ผิวหน้าของอาหารและที่ผนังเครื่องอบ ฟิล์มบางๆ ของอากาศเป็นตัวต้านทานการถ่ายเทความร้อนสู่อาหารและการเคลื่อนที่ของไอน้ำจากอาหาร ความเร็วของอากาศและคุณสมบัติผิวหน้าของอาหารจะเป็นตัวกำหนดความหนาของชั้นฟิล์ม กระแสการพาความร้อนส่งเสริมให้เกิดการกระจายความร้อนอย่างสม่ำเสมอในตู้อบ มีการติดตั้งพัดลมในตู้อบอุตสาหกรรมเพื่อเสริมกระแสการพาความร้อนตามธรรมชาติ ลดความหนาของฟิล์มฉนวนและเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (วิไล, 2545)

ความชื้นที่ผิวหนังจะระเหยและถูกกำจัดไปโดยความร้อนเมื่ออาหารวางอยู่ในตู้อบ อากาศในตู้อบซึ่งมีความชื้นต่ำจะทำให้เกิดความแตกต่างของความดันไอบริเวณผิวหนังและทำให้ความชื้นเคลื่อนที่จากใจกลางอาหารออกมายังผิวของอาหาร คุณสมบัติของอาหารและอัตราการให้ความร้อนจะเป็นตัวกำหนดปริมาณความชื้นที่สูญเสียไป เมื่ออัตราการสูญเสียความร้อนสูงกว่าอัตราการเคลื่อนที่ของความชื้นจากภายในจะทำให้แนวของการระเหยเคลื่อนที่เข้าไปภายในอาหาร ทำให้ผิวหนังแห้งและอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นถึงอุณหภูมิลมร้อน (100 – 240 องศาเซลเซียส) จึงเกิดเปลือกแข็งด้านนอกขึ้น อุณหภูมิภายในอาหารจะไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส เนื่องจากการอบเกิดขึ้นที่ความดันบรรยากาศและความชื้นจะเคลื่อนที่ออกจากอาหารอย่างอิสระ การเปลี่ยนแปลงนี้เหมือนกับกรอบแห้งด้วยลมร้อน แต่การให้ความร้อนอย่างรวดเร็วและที่อุณหภูมิสูงกว่าทำให้องค์ประกอบของอาหารที่ผิวหนังเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างซับซ้อน การเปลี่ยนแปลงนี้ช่วยเพิ่มคุณภาพการบริโภคและรักษาความชื้นภายในก้อนอาหารให้คงอยู่ ตารางที่ 2.8 แสดงการถ่ายเทมวลและความร้อนในส่วนต่างๆ ของอาหารในระหว่างการอบปริมาณการใช้พลังงานระหว่างการอบอยู่ระหว่าง 450 – 650 กิโลจูลต่อกิโลกรัมของอาหาร ความร้อนส่วนใหญ่ถูกใช้ไปในการให้ความร้อนแก่อาหารเพื่อระเหยน้ำและทำให้เกิดเปลือกแข็งรวมทั้งเพื่อให้ความร้อนแก่ไอน้ำซึ่งเคลื่อนย้ายผ่านเปลือกและทำให้เปลือกแข็งแห้งและร้อนจัด (วิลโลว์, 2545)

ผลกระทบต่ออาหารวัตถุประสงค์ของการอบและการย่างนอกจากจะเป็นการเปลี่ยนคุณสมบัติด้านประสาทสัมผัสของอาหารและเพื่อเพิ่มกลิ่นรสและลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารแล้วการอบยังเป็นการทำลายเอนไซม์และเชื้อจุลินทรีย์ ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาเนื่องจากสามารถลดค่ากิจกรรมของน้ำของอาหารได้ในระดับหนึ่ง (วิลโลว์, 2545)

1. ลักษณะเนื้อสัมผัส การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ลักษณะของอาหาร (ความชื้น องค์ประกอบของไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรตโครงสร้างเช่น เซลลูโลส แป้งและ เพคติน) อุณหภูมิ และเวลาการให้ความร้อน ลักษณะเฉพาะของอาหารอบได้แก่การเกิดเปลือกแข็งซึ่งจะช่วยรักษาความชื้นภายในอาหารไว้ เช่นขนมปัง มันฝรั่ง อาหารอื่นๆ เช่น บิสกิต จะถูกอบจนมีความชื้นต่ำและเกิดลักษณะเหมือนเปลือกแห้งทั่วไปในอาหาร

2. สี กลิ่น รส กลิ่นที่ได้จากการอบเป็นลักษณะเฉพาะด้านประสาทสัมผัสที่สำคัญของอาหาร การได้รับความร้อนที่สูงของผิวอาหารทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลระหว่างน้ำตาลและกรดอะมิโน Maron (1982) และ Danehy (1986) ศึกษารายละเอียดทางเคมีของปฏิกิริยามอลาร์ดและ Streaker degradation พบว่าอุณหภูมิสูงและความชื้นต่ำในชั้นผิวของอาหารทำให้น้ำตาลกลายเป็นคาราเมล กรดไขมันเกิดออกซิเดชันและเปลี่ยนไปเป็นแอลดีไฮด์ แล็กโตน คีโตน แอกออสต์ และเอสเทอร์ได้ ปฏิกิริยามอลาร์ดและ Streaker degradation ทำให้เกิดกลิ่นต่างๆ เนื่องจากการรวมตัวกัน

ของกรดอะมิโนอิสระและน้ำตาลที่อยู่ในอาหารบางชนิด กรดอะมิโนแต่ละชนิดจะให้กลิ่นเฉพาะตัวเมื่อได้รับความร้อนร่วมกับน้ำตาลและเปลี่ยนไปเป็นแอลดีไฮด์เฉพาะอย่างขึ้น กลิ่นที่ได้แตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของน้ำตาลและสภาวะการให้ความร้อน เช่น กรดอะมิโนโปรลีน จะให้กลิ่นมันฝรั่ง เห็ด หรือไข่ไหม้ เมื่อได้รับความร้อนกับน้ำตาลต่างๆ ที่อุณหภูมิต่างๆ การให้ความร้อนต่อไปจะทำให้สารหอมระเหยที่เกิดจากกลไกดังกล่าวเสื่อมสภาพและกลายเป็นสารที่ให้กลิ่นไหม้แทน จึงเกิดสารให้กลิ่นมากมายหลายชนิดในระหว่างการอบ ชนิดของกลิ่นจะขึ้นอยู่กับการรวมตัวกันของไขมัน กรดอะมิโนและน้ำตาลเฉพาะอย่างในชั้นผิวของอาหาร อุณหภูมิและความชื้นของอาหารตลอดระยะเวลาการให้ความร้อน สีนํ้าตาลทองที่เกิดขึ้นในอาหารอบหรือเกิดการไฮโดรไลซิสเป็นเฟอร์เฟอร์อัล (furfural) และไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์เฟอร์อัล (hydroxymethyl furfural) การเกิดคาร์บอนไนเซชัน (carbonization) ของน้ำตาล ไขมัน และโปรตีน

3. คุณค่าทางโภชนาการ การเปลี่ยนแปลงทางด้านคุณค่าทางโภชนาการเกิดขึ้นมากที่สุดที่ผิวของอาหาร อัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดผลกระทบต่อ การสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ มีการสูญเสียวิตามินซีในระหว่างการอบ รวมทั้งไทอามีนเป็นวิตามินที่ไวต่อความร้อนที่สำคัญที่สุดทั้งในอาหารธัญพืชและเนื้อ ลักษณะทางกายภาพของโปรตีนและไขมันจะเปลี่ยนไปในระหว่างการอบ คาร์โบไฮเดรตกลายเป็นเจลและถูกย่อยเป็นเด็คซทรินและน้ำตาลรีดิซ แต่ก็ไม่มียผลมากต่อคุณค่าทางโภชนาการทั้งใน 2 กรณี การสูญเสียกรดอะมิโนและน้ำตาลรีดิซในปฏิกิริยาเมลลาร์ดทำให้คุณภาพของโปรตีนลดลงเล็กน้อย

ตารางที่ 2.8 การถ่ายเทมวลและความร้อนระหว่างการอบ

โซนอาหาร	ชนิดการถ่ายเทมวล	ชนิดการถ่ายเทความร้อน
ฟิล์มบาง	การแพร่ของไอน้ำ	การนำความร้อน การพาความร้อน การแผ่รังสี
เปลือกแข็ง	การแพร่ของไอน้ำ	การนำความร้อน การเคลื่อนที่ของไอน้ำ (การพาความร้อน)
โซนของการระเหย	การแพร่ของไอน้ำ การแพร่ที่ผิว การไหลเนื่องจากแรงแคปิลารี	การนำความร้อน การเคลื่อนที่ของไอน้ำและน้ำ
ภายในอาหาร	การเคลื่อนที่เนื่องจากแรงแคปิลารี	การนำความร้อน

ที่มา: วิไล, 2545

บทที่ 3

อุปกรณ์ สารเคมี และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 วัตถุดิบสำหรับพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร

- ข้าวเหนียวพันธุ์ กข.6 ผ่านการแช่และ โม่ละเอียด, บริษัทไทยนิจิ
- ข้าวเหนียวพันธุ์ กข.6, ยี่ห้อเกษตรทิพย์
- ข้าวเก่า (ข้าวเหนียวดำ), ยี่ห้อไร่ทิพย์
- แป้งมันสำปะหลังคัดแปร, ยี่ห้อ Crispioca, บริษัทสยามโมดิไฟร์สตาร์ทจำกัด
- แป้งมันสำปะหลังคัดแปร, ยี่ห้อ FA1403, บริษัทสยามโมดิไฟร์สตาร์ทจำกัด
- แป้งมันสำปะหลังคัดแปร, ยี่ห้อ FA1807, บริษัทสยามโมดิไฟร์สตาร์ทจำกัด
- แป้งมันสำปะหลังคัดแปร, ยี่ห้อ FA8906, บริษัทสยามโมดิไฟร์สตาร์ทจำกัด
- แป้งข้าวโพด (waxy corn starch) , ยี่ห้อ National, บริษัท National starch
- แป้ง ELIANE EZ100, ยี่ห้อ National, บริษัท National starch
- แป้งมันฝรั่ง, ยี่ห้อ Winner
- แป้งข้าวเจ้า, ยี่ห้อไบหยก
- แป้งท้าวยายหม่อม, ยี่ห้อปลาไทยห้าดาว
- แป้งข้าวโพด, ยี่ห้อซูเปอร์ไฟน์
- โคลัสบีนกัม
- กวักัม
- เกลือ, ยี่ห้อปรงทิพย์
- ผงฟู, ยี่ห้อเบสท์ฟูดส์
- โซเดียมไบคาร์บอเนต, ยี่ห้อแม็กกาเรต
- โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์, Merck, Germany

3.1.2 วัตถุดิบสำหรับทำนัตโตะ

- ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 และ ถั่วเหลืองพันธุ์สจ. 2 ที่เก็บเกี่ยวในช่วงเดือน ตุลาคม 2550 จากบริษัท เกษตรวิวัฒน์ จำกัด อ.สันป่าตอง จ. เชียงใหม่
- ถั่วเหลืองเปลือกสีดำ จากบริษัทไทย-นิจิ อินคัสทรี จำกัด
- เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นได้แก่ เชื้อ *Bacillus subtilis (natto)* BEST 195

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

- เครื่องปั่นผสม (ใช้หัวใบพัด), ยี่ห้อ Mixer, Model B10, บริษัทกล้วยน้ำไทเตาอบ
- เตาอบ, ยี่ห้อ House Worth, Model HW8089
- เตาย่าง, ยี่ห้อ BENERI, Thailand
- เตาไมโครเวฟ, ยี่ห้อ Electrolux, Model EMS2820S และ Model EMM2450
- เครื่องปั่นผสม, ยี่ห้อ Moulinex, Model Depose, France
- pH meter (Cosort, Model C830, Belgium)
- อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Memmert, Model WB45, USA)
- เครื่องวัดสี (Minolta Chroma Meter, Model CR-300, Japan)
- เครื่องวัดคุณสมบัติทางกายภาพของอาหาร (Texture Analyzer, Model TA.XT plus, UK)
- เครื่องวัดค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ใช้เครื่อง Water Activity Meter (AquaLab รุ่น TE3, Decagon Devices, Inc Pullman, USA)
- - ตู้บ่มเชื้ออุณหภูมิ 35 ± 1 องศาเซลเซียส (Binder, USA)
- - ตู้บ่มเชื้ออุณหภูมิ 42 ± 1 องศาเซลเซียส (Thailand)
- - ตู้อบลมร้อน (Binder, USA)
- เครื่องปั่นเหวี่ยง (HERMLE, Model Z 200A, Germany)
- เครื่องปิดผนึก (Sea Master Peak, Thailand)
- เครื่องปิดผนึกสุญญากาศ (Multivac 200, Model T15, Germany)

3.3 สารเคมี

- กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Sulfuric acid, Merck, Germany)
- กรดบอริก (Boric acid, Ajax, Australia)
- กรดทาร์ทาริก (Tartaric acid, Ajax, Australia)
- กรดอะซิติก (Acetic acid, Merck, Germany)
- กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, Merck, Germany)
- คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulfate, Merck, Germany)
- ซีลีเนียมไดออกไซด์ (Selenium dioxide, Ajax, Australia)
- โซเดียมซัลเฟต (Sodium Sulfate, Ajax, Australia)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, Merck, Germany)

- เมทิลเรด (Methylred, May&Baker, USA)
- ปีโตเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether, LAB-SCAN, Ireland)
- โบรโมครีซอลกรีน (Bromocresol glycerine; Merck, Germany)
- ไดเอทิลอีเทอร์ (Diethyl ether; LAB-SCAN, Ireland)
- แอมโมเนียไฮดรอกไซด์ (Ammonia hydroxide; Merck, Germany)
- ซิลินียมไดออกไซด์ (Silinium hydroxide; Merck, Germany)
- อะไมโลสบริสทูรี จากมันฝรั่ง (Pure amylase form potato; Fluka Germany)
- เอทานอล (Ethanol; Chemical & Lab Supplies, Thailand)
- ไอโอดีน (Iodine; Merck, Germany)

3.4 อาหารเลี้ยงเชื้อ

- Plate Count Agar (Merck, Germany)
- Potato Dextrose Agar (Merck, Germany)
- Peptone water (Merck, Germany)
- Lauryl Sulphate Broth (Merck, Germany)
- EC broth (Merck, Germany)
- Nutrient Broth (Merck, Germany)
- Nutrient Agar (Merck, Germany)

3.5 วิธีการศึกษา

ตอนที่ 1 ศึกษาคุณภาพทางเคมีและกายภาพของข้าวเหนียว 3 พันธุ์ ได้แก่ กข.6 ข้าวฮ่วน ข้าวก่ำ (ข้าวเหนียวดำเชียงใหม่) และข้าวเจ้า 1 พันธุ์

- ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)
- ปริมาณโปรตีนทั้งหมด (AOAC, 2000)
- ปริมาณอะไมโลส (AOAC, 2000) และ คาร์โบไฮเดรต
- โครงสร้างระดับจุลภาคของเมล็ดข้าวเหนียวเก่า ข้าวเหนียวใหม่ และข้าวเจ้า โดยใช้วิธี Scanning Electron Microscope (SEM) (ทราบความแตกต่างของโครงสร้าง endosperm ของข้าวแต่ละชนิด รวมทั้งคุณภาพด้านอื่น เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับใช้ประกอบการพิจารณาแผนแปรกระบวนการดัดแปลงในขั้นตอนที่ 5.2 และ 5.3 ต่อไป)

ตอนที่ 2 ศึกษาแนวทางการพัฒนาเนื้อสัมผัสผลิตภัณฑ์อาหาร

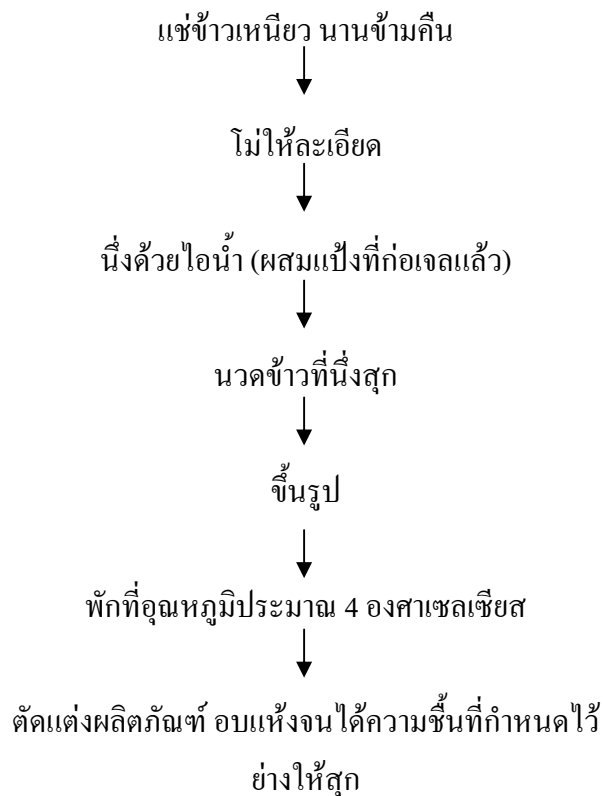
พัฒนาเนื้อสัมผัสของอาหาร โดยศึกษาผลการผสมแป้งในข้าวเหนียวหนึ่ง พันแปรชนิดของแป้ง อัตราส่วนแป้งต่อน้ำ และแผนการผสมส่วนผสมอื่น ได้แก่ เกลือ เนยขาว ผงฟู ลงในข้าวเหนียว ซึ่งเป็นส่วนผสมหลัก ทำการทดลองทีละชุด วางแผนการทดลองแบบ CRD และนำผลการทดลองที่ได้ ไปวางแผนการทดลองในชุดต่อไป จนได้ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ไม่แข็ง

2.1 ตรวจวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสของแป้งที่นำมาผสมเพื่อพัฒนาเนื้อสัมผัสของอาหาร ได้แก่ แป้งมันสำปะหลังดัดแปร ยี่ห้อ Crispioca แป้งมันสำปะหลังดัดแปร ยี่ห้อ FA1403 และยี่ห้อ FA1807 แป้งข้าวโพด (waxy corn starch) pregel ยี่ห้อ National แป้งมันฝรั่ง แป้งข้าวเจ้า แป้งท้าว ยายม่อม แป้งถั่วเขียว แป้งข้าวโพด และแป้งมันฝรั่งดัดแปร (pregel)

2.2 พัฒนาเนื้อสัมผัสของอาหาร โดยศึกษาผลการผสมแป้งในข้าวเหนียวหนึ่งซึ่งเป็นส่วนผสมหลัก พันแปรชนิดของแป้ง อัตราส่วนแป้งต่อน้ำ และแผนการผสมส่วนผสมอื่น ได้แก่ เกลือ เนยขาว ผงฟู ลงในข้าวเหนียว ทำการทดลองทีละชุด วางแผนการทดลองแบบ CRD และนำผลการทดลองที่ได้ ไปวางแผนการทดลองในชุดต่อไป วิเคราะห์คุณภาพทางเคมี-กายภาพ ของผลิตภัณฑ์อาหารดังนี้

- ความแข็ง โดยเครื่อง Texture analyzer
- ค่ากิจกรรมของน้ำค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ใช้เครื่อง Water Activity Meter
- ความชื้น (AOAC, 2000)

กระบวนการผลิตอาราเร่ แสดงดังแผนผัง



วิธีเตรียมส่วนผสมหลักและการผสมโคอาราเร่

1. เตรียมส่วนผสมหลัก

ส่วนผสมหลักคือข้าวเหนียวพันธุ์ กข.6 ซึ่งผ่านการแช่และไม่ให้ละเอียด ชั่งข้าวในปริมาณชุดละ 500 กรัม จากนั้นนำไปนึ่งที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 15 ปอนด์ ต่อตารางนิ้วเป็นเวลา 15 นาที เก็บในภาชนะที่หุ้มด้วยฉนวน

2. การผสมโคอาราเร่

2.1 การเตรียมแป้งที่ใช้ผสมกับส่วนผสมหลัก

- กรณีใช้แป้งยี่ห้อ Crispioca, ยี่ห้อ FA1403 ยี่ห้อ FA1807 ยี่ห้อ National ซึ่งตามปริมาณที่กำหนดไว้ นำไปใส่ในเครื่องผสม (โดยใช้หัวใบพัด) (ยี่ห้อ Mixer, Model B10) พร้อมกับใส่น้ำที่ซึ่งตามปริมาณที่กำหนดไว้ (กรณีใส่เกลือ ให้ละลายกับน้ำก่อน) ทำการปั่นผสมด้วยความเร็วระดับปานกลาง (ความเร็วระดับ 2) จนส่วนผสมก่อเจลใส กรณีเติมส่วนผสมอื่นๆ เช่น เนยหรือผงฟู เติม

ลงไปก่อนผสม จากนั้นเทส่วนผสมหัวข้อที่ 1 ลงในส่วนผสมโดยใช้ความเร็วปานกลาง ตามด้วยความเร็วสูง จนได้โดที่เนียนผสมเข้ากันดี

- กรณีใช้แป้งท้าวยายม่อม แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวโพด กว๊ากัม และโลคัส-ปิ่นกัม ผสมกับน้ำและคัมเป็นเจล จากนั้นนำข้าวเหนียวจากหัวข้อที่ 1 ใส่ในส่วนผสม ผสมด้วยความเร็วปานกลาง เมื่อโดผสมเข้ากันดี ให้เร่งความเร็วเป็นความเร็วสูง จนส่วนผสมทั้งหมดผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

- กรณีใช้มันฝรั่งหรือเผือก เตรียมโดยการล้าง ปอกเปลือก หั่นเป็นชิ้นขนาดเล็ก นำไปนึ่งเป็นเวลา 20 นาที จึงนำไปใส่ในเครื่องผสม (ยี่ห้อ Mixer, Model B10) โดยใช้ความเร็วปานกลาง ผสมประมาณ 1 นาที จากนั้นนำข้าวเหนียวจากหัวข้อที่ 1 ใส่ในส่วนผสม ผสมด้วยความเร็วปานกลาง เมื่อโดผสมเข้ากันดี ให้เร่งความเร็วเป็นความเร็วสูง จนส่วนผสมทั้งหมดผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

3. ใส่โดที่ได้ในกล่องพลาสติก ไล่อากาศออกให้มากที่สุด ปิดฝา เก็บที่อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 หรือ 48 ชั่วโมง หั่นโดเป็นชิ้นๆ สี่เหลี่ยมผืนผ้า ความหนาไม่เกิน 3 มิลลิเมตร ความยาวไม่เกิน 6 เซนติเมตร จากนั้นไล่ความชื้นโดยใช้ตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 45-50 องศาเซลเซียส ตามเวลาที่กำหนดไว้ และนำไปย่างในเตาอบ (Oven) ที่อุณหภูมิประมาณ 220 องศาเซลเซียส จนโดเกิดการขยายตัวและสีเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์

ตอนที่ 3 พัฒนารูปแบบที่เหมาะสมในการผลิตอาหารโดยใช้ข้าวเหนียวพันธุ์ กข.6 และข้าวเก่า

แช่ข้าวเหนียวพันธุ์ กข.6 และข้าวเก่า ที่อุณหภูมิห้อง ในสารละลายเบส เกลือ หรือกรดอินทรีย์ โดยผันแปรชนิดและระดับ ของเบส เกลือ หรือกรดอินทรีย์ที่ใช้แช่ข้าว และผันแปรเวลาพักโดที่หนึ่ง แล้วในตู้เย็น ทำการทดลองที่ละเอียด วางแผนการทดลองแบบ CRD และนำผลการทดลองที่ได้ ไปวางแผนการทดลองในชุดต่อไป จนได้ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีลักษณะสัมผัสที่ไม่แข็ง

เบสที่ใช้ได้แก่ สารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ความเข้มข้น 0.05% หรือ โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) ความเข้มข้น 0.3% 0.5% 1% 3% ผันแปรเวลาพักโดที่หนึ่งสูงสุดในตู้เย็น เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมง

วิเคราะห์คุณภาพทางเคมี-กายภาพ ของผลิตภัณฑ์อาหารดังนี้

- ความแข็ง โดยเครื่อง Texture analyzer
- ค่ากิจกรรมของน้ำ/ค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ใช้เครื่อง Water Activity Meter
- ความชื้น (AOAC, 2000)

วิธีเตรียมส่วนผสมหลักและการผสมโดอาหารดังเช่นตอนที่ 2

ตอนที่ 4 พัฒนารูปแบบสัมผัสของอาหาร (ตามที่เข้าร่วมประชุมกับบริษัทไทยนิจิ วันที่ 10 มิถุนายน 2551)

จากการศึกษาตอนที่ 1, 2, 3 และการรวบรวมแนวความคิดจากการประชุมร่วมกับบริษัท ไทยนิจิ ทำให้เพิ่มแนวทางในการพัฒนาเนื้อสัมผัสผลิตภัณฑ์อาหาร โดยทางบริษัทมีความประสงค์ คือ

1. ในการพัฒนาเนื้อสัมผัสผลิตภัณฑ์อาหาร หากมีการผสมแป้งดัดแปร (Modified starch) ในส่วนผสมหลัก แป้งดัดแปรนั้นต้องเป็นที่ยอมรับของผู้ซื้อผลิตภัณฑ์ของบริษัท โดยเฉพาะชาวญี่ปุ่น นอกจากนั้นยังต้องทราบขั้นตอนการผลิตที่ชัดเจน
2. ในการพัฒนาเนื้อสัมผัสอาหาร ที่มีการผสมแป้งดัดแปร (Modified starch) สามารถเพิ่มต้นทุนการผลิตจากเดิมได้ แต่ไม่ควรเกินร้อยละ 2 ของต้นทุนข้าวเหนียว (18-20 บาท/กิโลกรัม)
3. ที่ประชุมมีความเห็นให้ทดลองลดความแข็งอาหาร โดยลดขนาดของอนุภาคของข้าวเหนียวบด ดังนั้น ในการทดลองตอนที่ 4 จึงทำการพัฒนาเนื้อสัมผัสของอาหารดังนี้

4.1 ศึกษาพันธุ์ข้าวที่มีผลต่อเนื้อสัมผัสผลิตภัณฑ์ของอารารุ

ศึกษาพันธุ์ข้าวเหนียวที่บริษัทใช้ประจำ ได้แก่ พันธุ์ข้าวอ้วน พันธุ์ผสมข้าวหัก พันธุ์สัน-ป่าตอง และพันธุ์ กข6 โดยทำการทดลองที่ละชุด วางแผนการทดลองแบบ CRD ทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ คุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อารารุดังนี้

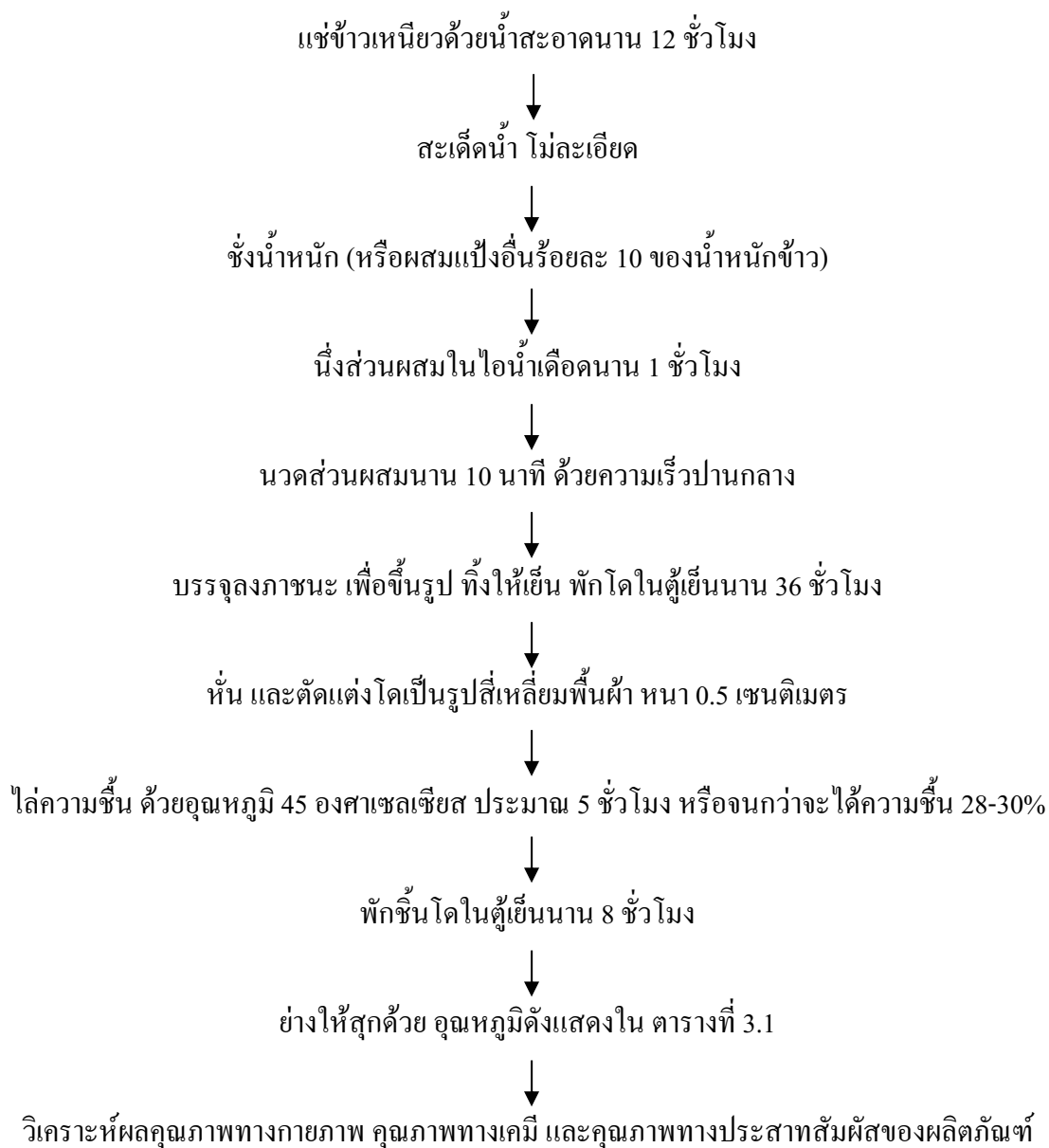
- ความแข็ง โดยเครื่อง Texture analyzer
- ความกรอบ โดยเครื่อง Texture analyzer
- ค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) โดยใช้เครื่อง Water Activity Meter
- ความชื้น (AOAC, 2000)

วิธีวัดความแข็งและความกรอบ โดยเครื่อง Texture analyzer กระทำดังนี้

- คัดเลือกผลิตภัณฑ์สำเร็จที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน จำนวน 50-80 ชิ้น
- วัดเส้นรอบวงของผลิตภัณฑ์สำเร็จเพื่อคำนวณหาพื้นที่ในส่วนที่ใช้วัด
- วัดความแข็งและความกรอบโดยใช้หัวเขื่อน (Blade set) โดยให้หัววัดตัด ช่วงกลางของตัวอย่างลงไป 5 เซนติเมตร ใช้ความเร็วในการวัด 2 มิลลิเมตรต่อวินาที จนกระทั่งตัวอย่างจะขาดออกจากกัน
- คำนวณหาอัตราส่วนระหว่างความแข็งที่วัดได้ต่อพื้นที่ของตัวอย่างที่ใช้วัด (นิวตันต่อตารางเซนติเมตร)
- plot กราฟระหว่างค่าความถี่ในการวัดและความแข็งต่อพื้นที่ที่คำนวณได้

4.2 ศึกษาผลของการผสมแป้งชนิดอื่นในโคอาราเร่

ทำการผสมโคอาราเร่โดยใช้ขั้นตอนดัดแปลง ดังแสดงในแผนผังที่ 2



แผนผัง ที่ 2 ขั้นตอนดัดแปลง การผลิตโคอาราเร่

ตารางที่ 3.1 เวลาและอุณหภูมิในการย่างอาราเร่

ช่วง	เวลาในการย่าง (นาที)	อุณหภูมิ (°C)	หมายเหตุ
1	2.45	150	ช่วงไล่ความชื้นของโด
		170	
		175	
2	2.30	400 - 500	ช่วงขยายตัวของโด
3	4.45	273	ช่วงทำให้โดภายในสุก
		300	
		330	
4	1.57	350	ช่วงเพิ่มสีภายนอก
		400	
รวมเวลา	11.17	-	-

ในการผสมแป้งชนิดอื่นๆ ได้แก่ แป้งข้าวเหนียว แป้งมันฝรั่ง แป้งมันสำปะหลัง pregel (FA8906) waxy corn starch pregle (National) แป้งมันฝรั่ง pregel (Ez100) สำหรับแป้ง 2 ชนิดหลังจะเป็น ชุดควบคุม

วางแผนการทดลองแบบ CRD จากนั้นทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ คุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาราเร่ดังนี้

- ความแข็ง โดยเครื่อง Texture analyzer
- ความกรอบ โดยเครื่อง Texture analyzer
- ค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ใช้เครื่อง Water Activity Meter
- ความชื้น (AOAC, 2000)
- คุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยวิธี 5 point hedonic scaling ใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 25 คน

4.3 ศึกษาการลดขนาดของแป้งต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

ใช้ข้าวเหนียวที่ผ่านการแช่น้ำนาน 1 คืน บดโดยเครื่องของบริษัทไทยนิจิ และ บดโดยเครื่องบด molinex ซึ่งมีความละเอียดกว่าเครื่องบดของบริษัทไทยนิจิ จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จนได้ความชื้น 27-31% และประมาณ 6% ตามลำดับ ชั่งแป้งที่อบแล้ว 50 กรัม ใส่ในตะแกรงร่อนที่หยาบสุด (60 mesh) ร่อนด้วยความถี่ 46 Hz นาน 20 นาที ทำการทดลอง 2 ชั่วโมง นำแป้งที่เหลืออยู่บนตะแกรงแต่ละชั้น มาชั่งน้ำหนัก เพื่อกำหนดหาความละเอียดของแป้งต่อไป



รูปที่ 3.1 เครื่องหาขนาดอนุภาคของแป้ง

ตอนที่ 5 ศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตนัตโตะด้วยเชื้อบริสุทธิ์

5.1 ศึกษาผลของสายพันธุ์ถั่วเหลือง 2 สายพันธุ์ ได้แก่ เชียงใหม่ 60 และ สจ.2 โดยนำถั่วเหลืองภายใต้ความดันและอุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ผ่านระยะเวลาในการให้ความร้อนแก่ถั่วเหลือง 2 ระดับ คือ 40 และ 50 นาที จากนั้นหมักด้วยเชื้อบริสุทธิ์ *Bacillus subtilis* (natto) วางแผนการทดลองแบบ 2 x 2 Factorial in CRD ทำการทดลอง 2 ซ้ำ ตรวจสอบวิเคราะห์คุณภาพของนัตโตะเพื่อคัดเลือกนัตโตะที่ดีที่สุดสำหรับการพัฒนาในขั้นตอนต่อไป

คุณภาพทางเคมี-กายภาพ

- ค่าสี $L^*a^*b^*$ โดยเครื่องวัดสีหือ Minolta รุ่น CR-300 Series
- ค่าความแข็ง โดยเครื่อง Texture analyzer
- ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)
- ค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ใช้เครื่อง Water Activity Meter
- ค่าความเป็นกรดต่าง โดยใช้ pH Meter

คุณภาพทางจุลชีววิทยา

- Aerobic plate count (AOAC, 2000)
- Yeast and Mould (AOAC, 2000)
- Spore count (AOAC, 2000)

5.2 ในกรณีที่คุณภาพในข้อ 5.1 ไม่แตกต่างจะวิเคราะห์คุณภาพถั่วเหลือง 2 พันธุ์ ได้แก่ เชียงใหม่ 60 และ สจ.2 เพื่อเป็นข้อมูลในการคัดเลือกสายพันธุ์ถั่วเหลือง (หากผลการทดลองข้อ 5.1 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ละเว้นข้อ 5.2)

คุณภาพทางเคมี-กายภาพ

- ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)
- ค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ใช้เครื่อง Water Activity Meter
- ปริมาณโปรตีนทั้งหมด และแอมโมเนีย ด้วยวิธี Kjeldahl Method (AOAC, 2000)
- ปริมาณไขมัน ด้วยวิธี Soxhlet (AOAC, 2000)

ทำการทดลอง 2 ซ้ำ

ตอนที่ 6 พัฒนาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์อาราเร่เสริมน้ำตาลโตน้และน้ำตาลโตน้และถั่วเหลือง
อบกรอบ

6.1 คัดเลือกน้ำตาลโตน้ที่มีคุณภาพเหมาะสมที่สุดจากตอนที่ 5 มา 1 วิธี เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาราเร่เสริมน้ำตาลโตน้รูปแบบใหม่ คือ อาราเร่สอดไส้น้ำตาลโตน้ปรุงรส โดยผันแปรปริมาณน้ำตาลโตน้ 2 ระดับ ในการผสมในไส้ซึ่งทำจากอาราเร่หัก วางแผนการทดลองแบบ CRD ทำการทดลอง 2 ซ้ำ

6.2. พัฒนาระบวนการผลิตน้ำตาลโตน้และถั่วเหลืองอบกรอบ

พัฒนาระบวนการผลิตน้ำตาลโตน้และถั่วเหลืองอบกรอบ กรณีน้ำตาลโตน้อบกรอบคัดเลือกน้ำตาลโตน้ที่มีคุณภาพเหมาะสมที่สุดจากตอนที่ 5 มา 1 วิธี มาอบกรอบ กรณีถั่วเหลืองอบกรอบ นำถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 มาอบกรอบโดยผันแปรวิธีการอบกรอบ 2 วิธี คือ อบกรอบด้วยลมร้อนและไม่โครเวฟ

6.2.1 คัดเลือกผลิตภัณฑ์อบกรอบที่เหมาะสมเบื้องต้นโดยใช้การทดสอบทางประสาทสัมผัส

กรณีน้ำตาลโตน้ นำน้ำตาลโตน้ที่มีคุณภาพเหมาะสมที่สุดจากตอนที่ 5 มา 1 วิธี นำผลิตภัณฑ์น้ำตาลโตน้ที่ได้ไปอบกรอบ กรณีถั่วเหลือง นำถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 มาแช่น้ำเป็นเวลา 16 ชั่วโมง นำไปอบกรอบ และคัดเลือกผลิตภัณฑ์อบกรอบเบื้องต้น โดยใช้ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสจากบริษัทไทยนิจิ เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกผลิตภัณฑ์เบื้องต้นเพื่อนำไปศึกษาคุณภาพทางเคมีกายภาพ และจุลชีววิทยา

6.2.2 พัฒนาระบวนการผลิตน้ำตาลโตน้และถั่วเหลืองอบกรอบ

6.2.2.1 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการอบกรอบน้ำตาลโตน้และถั่วเหลืองอบแห้ง

ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการอบกรอบน้ำตาลโตน้และถั่วเหลือง ด้วยวิธีอบลมร้อนและไม่โครเวฟ กรณีน้ำตาลโตน้ที่ได้หลังจากหมักเสร็จ ไปอบกรอบ โดยผันแปรวิธีการอบคืออบด้วยลมร้อน 2 สภาวะและไม่โครเวฟ 2 สภาวะ รายละเอียดสภาวะที่ใช้อบกรอบแสดงในตารางที่ 3.2 กรณีอบด้วยลมร้อนใช้น้ำตาลโตน้ปริมาณ 300 กรัม (150 กรัม จำนวน 2 ถาด) กรณีอบด้วยไม่โครเวฟใช้น้ำตาลโตน้ปริมาณ 100 กรัม) สุ่มหาความชื้นและค่ากิจกรรมของน้ำของน้ำตาลโตน้ในระหว่างการอบกรอบเป็นระยะ จนน้ำตาลโตน้มีค่ากิจกรรมของน้ำต่ำกว่า 0.50 นำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น (% dry basis) กับเวลาอบกรอบ (นาท) และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น (% dry basis) กับค่ากิจกรรมของน้ำ

ตารางที่ 3.2 สภาวะที่ใช้ในการอบกรอบนัตโตะ

วิธีการอบ กรอบ	สภาวะ	ระดับอุณหภูมิ/พลังงาน และเวลาที่ใช้
ลมร้อน	1	อบด้วยอุณหภูมิ 210°C 5 นาที จากนั้นอบต่อที่อุณหภูมิ 60°C จนค่า a_w ต่ำกว่า 0.50
	2	อบด้วยอุณหภูมิ 230°C 5 นาที จากนั้นอบต่อที่อุณหภูมิ 60°C จนค่า a_w ต่ำกว่า 0.50
ไมโครเวฟ	1	อบด้วยระดับพลังงาน 700W 5 นาที (กลับนัตโตะทุก 2.5 นาที) จากนั้นอบต่อที่ระดับพลังงาน 100W จนค่า a_w ต่ำกว่า 0.50
	2	อบด้วยระดับพลังงาน 900W 5 นาที (กลับนัตโตะทุก 2.5 นาที) จากนั้นอบต่อที่ระดับพลังงาน 100W จนค่า a_w ต่ำกว่า 0.50

กรณีถั่วเหลือง ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการอบกรอบถั่วเหลือง (ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 และถั่วเหลืองเปลือกสีดำ) โดยนำไปอบกรอบด้วยวิธีอบลมร้อน 2 สภาวะและไมโครเวฟ 2 สภาวะ รายละเอียดสภาวะที่ใช้อบกรอบแสดงในตารางที่ 3.3 กรณีอบด้วยลมร้อนใช้นัตโตะปริมาณ 300 กรัม (150 กรัม จำนวน 2 ถาด) กรณีอบด้วยไมโครเวฟใช้นัตโตะปริมาณ 100 กรัม) สุ่มหาความชื้นและค่ากิจกรรมของน้ำของถั่วเหลืองในระหว่างการอบกรอบเป็นระยะ จนถั่วเหลืองมีความชื้นต่ำกว่า 2% นำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น (% dry basis) กับเวลาอบกรอบ (นาที) และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น (% dry basis) กับค่ากิจกรรมของน้ำ

ตารางที่ 3.3 วิธีการและสภาวะที่ใช้ในการอบกรอบถั่วเหลือง

วิธีการ อบกรอบ	สภาวะ	ระดับอุณหภูมิ/พลังงาน และเวลาที่ใช้
ลมร้อน	1	อบด้วยอุณหภูมิ 190°C จนถั่วเหลืองเริ่มมีผิวสีน้ำตาล (หรือมีความชื้นต่ำกว่า 5%) จากนั้นอบต่อที่อุณหภูมิ 90°C จนมีความชื้นต่ำกว่า 2%
	2	อบด้วยอุณหภูมิ 210°C จนถั่วเหลืองเริ่มมีผิวสีน้ำตาล (หรือมีความชื้นต่ำกว่า 5%) จากนั้นอบต่อที่อุณหภูมิ 90°C จนมีความชื้นต่ำกว่า 2%
ไมโครเวฟ	1	อบด้วยระดับพลังงาน 700W จนถั่วเหลืองมีความชื้นต่ำกว่า 2%
	2	อบด้วยระดับพลังงาน 900W จนถั่วเหลืองมีความชื้นต่ำกว่า 2%

6.2.2.2 ศึกษาคุณภาพทางเคมี กายภาพและจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์น้ำตาลโตนดและถั่วเหลืองอบกรอบ

ทำการอบกรอบน้ำตาลโตนด (น้ำตาลโตนดและน้ำตาลโตนดปรุงรสด้วยปลาป่น 10%) และถั่วเหลือง (พันธุ์เชียงใหม่ 60 และถั่วเหลืองเปลือกสีดำ) ด้วยวิธีอบลมร้อน 2 สภาวะ และไมโครเวฟ 2 สภาวะ ตามเวลาที่ศึกษาได้จากข้อ 6.2.2.1 นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยา

คุณภาพทางเคมี-กายภาพ

- ค่าสี $L^*a^*b^*$ โดยเครื่องวัดสีหือ Minolta รุ่น CR-300 Series
- ค่าความแข็ง โดยเครื่อง Texture analyzer
- ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)
- ค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ใช้เครื่อง Water Activity Meter

คุณภาพทางจุลชีววิทยา

- Aerobic plate count (AOAC, 2000)
- Coliform (AOAC, 2000)
- *Escherichia coli* (AOAC, 2000)

วิธีการเก็บรักษาเชื้อ *Bacillus subtilis* (natto) เพื่อใช้เป็น stock culture

กระจายเชื้อในอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient broth ที่ผสม glycerol 15% จากนั้นนำเชื้อไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นำมาใช้ภายใน 6 เดือน

วิธีการเตรียมเชื้อ *Bacillus subtilis* (natto)

นำเชื้อจาก stock culture มา streak บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar ที่ผสม $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ในปริมาณ 0.005 g/L และ $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ในปริมาณ 0.005 g/L (Arunsi, 2000) โดยทำการขีดเชื้อ (streak) ให้เต็ม plate บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน จากนั้นใช้ห่วงเชยเชื้อ (loop) ทำการขูดเชื้อที่เจริญบน plate นำเชื้อมากระจายไปปั่นล้างในน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว เป็นจำนวน 3 ครั้ง จากนั้นนำเชื้อมากระจายในน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วในปริมาณประมาณ 2 มิลลิลิตร จากนั้นทำการนับปริมาณเชื้อและสปอร์ เพื่อทราบปริมาณเชื้อที่แน่นอน ก่อนนำไปหมักนัตโตะในปริมาณ 10^5 cfu/g

วิธีการหมักนัตโตะ

นำถั่วเหลืองมาคัดแยกเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์และมีตำหนิออก จากนั้นล้างทำความสะอาด 3 ครั้ง แช่ถั่วเหลืองในน้ำสะอาดคุณภาพน้ำดื่ม เป็นเวลา 16 ชั่วโมง ครบเวลานำมาล้างทำความสะอาดอีก 3 ครั้ง นำถั่วเหลืองใส่ถุงทนร้อน ปริมาณถุงละประมาณ 300 -500 กรัม นำไปนึ่งภายใต้ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40-50 นาที นำถั่วเหลืองที่ผ่านการนึ่งมาเติมเชื้อ *Bacillus subtilis* (natto) ในปริมาณ 10^5 cfu/g ทำการผสมให้เข้ากันโดยการเขย่าถุงไปมา ให้เข้ากันดี นำทัพพีที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว ตักถั่วเหลืองใส่กล่องพลาสติก (มีรูระบายอากาศเข้าออก) ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วปริมาณประมาณ 300 กรัม นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ครบเวลานำนัตโตะมาบ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 - 48 ชั่วโมง

วิธีการเตรียมนัตโตะปรุงรสด้วยปลาป่น 10%

เตรียมน้ำปรุงรสปลาป่น 10 % โดยการนำผงปลาป่น 10 กรัม ผสมกับน้ำสะอาด 100 มิลลิลิตร นำมาผสมกับนัตโตะในอัตราส่วน 1:1 ผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที นำมาเทในกระชอนทิ้งให้สะเด็ดน้ำประมาณ 5 นาที จะได้นัตโตะปรุงรสด้วยปลาป่น

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

ตอนที่ 1 ศึกษาคุณภาพทางเคมีและกายภาพของข้าวเหนียว 3 พันธุ์ ได้แก่ กข 6 ข้าวฮ่วน ข้าวก่ำ (ข้าวเหนียวดำเชียงใหม่) และข้าวเจ้า 1 พันธุ์

คุณภาพทางเคมีของข้าวเหนียว 3 พันธุ์ ได้แก่ กข 6, ข้าวฮ่วน, ข้าวก่ำ (ข้าวเหนียวดำเชียงใหม่) และข้าวเจ้า 1 พันธุ์ แสดงในตารางที่ 4.1 และโครงสร้างทางจุลภาคแบบส่องกลาด (Scanning Electron Microscope SEM) ของเมล็ดข้าวเหนียวพันธุ์กข 6 ข้าวฮ่วน ข้าวเหนียวดำ ข้าวเจ้า และข้าวเจ้าในก่ำ แสดงในรูปที่ 4.1- 4.8

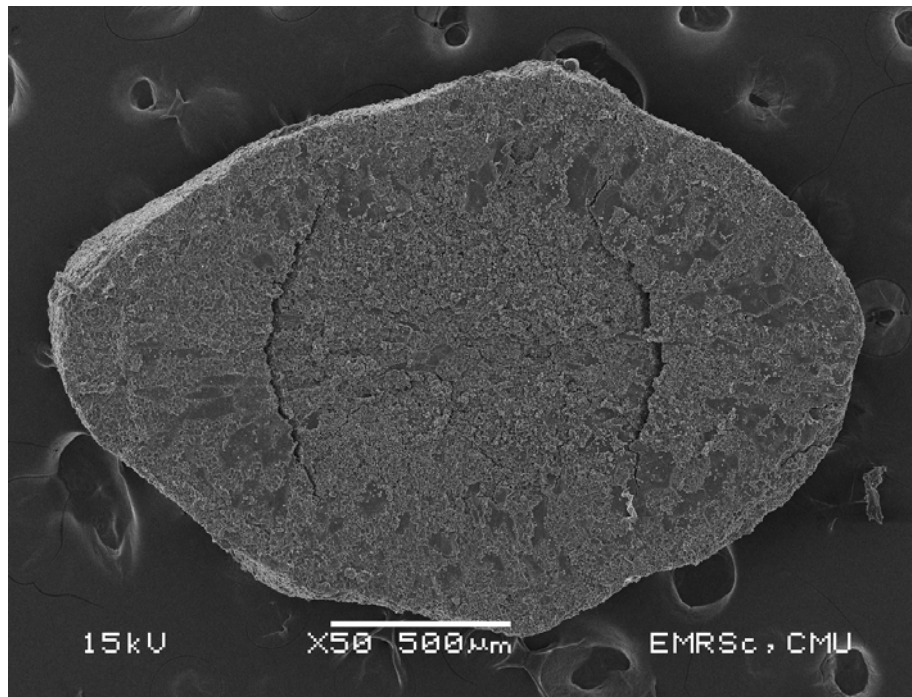
ตารางที่ 4.1 คุณภาพทางเคมีของข้าวเหนียว 3 พันธุ์ ได้แก่ กข 6, ข้าวฮ่วน, ข้าวก่ำ (ข้าวเหนียวดำเชียงใหม่) และข้าวเจ้า 1 พันธุ์

คุณภาพทางเคมี	ข้าวพันธุ์ กข 6	ข้าวหักผสม	ข้าวฮ่วน	ข้าวก่ำ	ข้าวเจ้า
ความชื้น (%)	10.42 ^c ±0.26	11.04 ^b ±0.02	11.55 ^a ±0.03	11.42 ^a ±0.01	11.07 ^b ±0.27
กิจกรรมของน้ำ	0.56 ^d ±0.00	0.58 ^c ±0.03	0.62 ^a ±0.00	0.60 ^b ±0.00	0.60 ^b ±0.01
ไขมัน (%)	2.01 ^{ab} ±0.32	2.24 ^a ±0.67	1.92 ^{ab} ±0.28	1.37 ^b ±0.21	1.41 ^b ±0.13
โปรตีน (%)	3.30 ^d ±0.09	3.36 ^d ±0.03	3.56 ^c ±0.03	8.05 ^a ±0.03	3.72 ^b ±0.09
เถ้า(%)	0.298 ^b ±0.00	0.336 ^a ±0.04	0.337 ^{ab} ±0.00	0.191 ^c ±0.00	0.336 ^a ±0.04
เส้นใย (%)	0.24 ^b ±0.05	0.17 ^c ±0.02	0.14 ^c ±0.01	0.54 ^a ±0.00	0.27 ^b ±0.04
คาร์โบไฮเดรต(%)	83.73 ^a ±0.14	82.84 ^b ±0.66	82.45 ^b ±0.20	77.83 ^c ±0.22	83.19 ^b ±0.27
อะไมโลส(%w/w)	7.70 ^c ±0.38	7.56 ^c ±0.07	8.46 ^b ±0.22	7.52 ^c ±0.13	19.84 ^a ±0.09

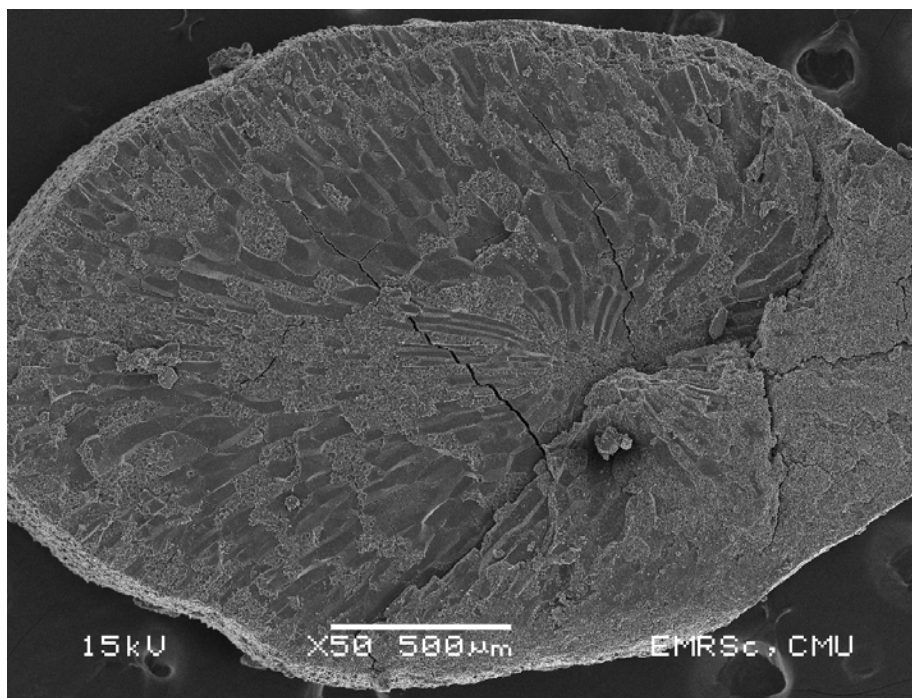
หมายเหตุ - ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ยจากการวัด 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแถวเดียวกันที่เหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

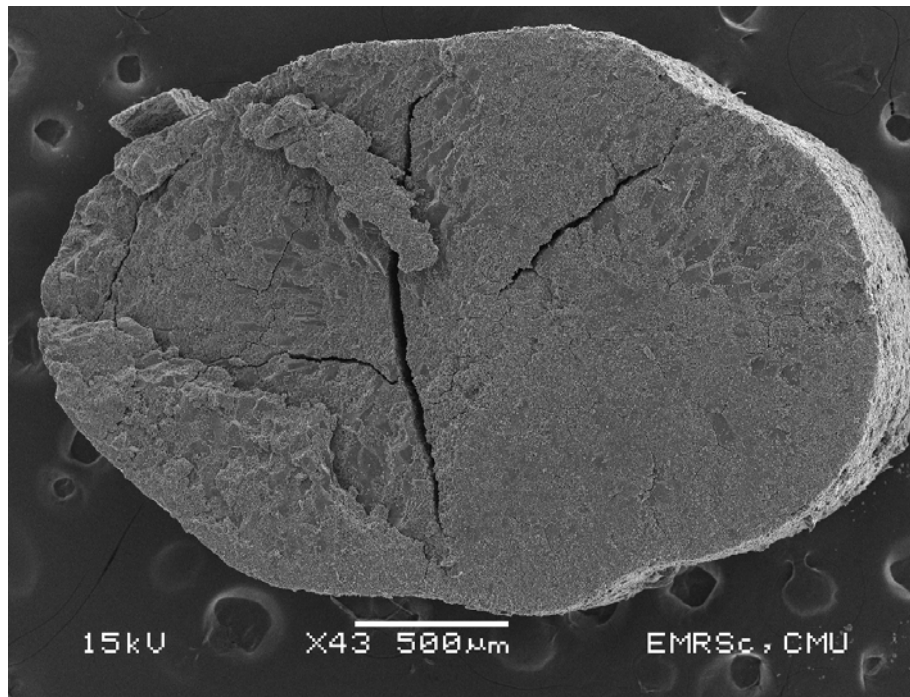
ตารางที่ 4.1 แสดงความชื้นและกิจกรรมของน้ำของข้าวฮวันและข้าวเก่าซึ่งเป็นข้าวราคาถูก มีค่าสูงกว่าข้าวพันธุ์อื่น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามความชื้นของข้าวทั้งหมดที่ทำการวิเคราะห์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งความชื้นของข้าวปกติมีค่าต่ำกว่า 14% (มาตรฐานสินค้าข้าว พ.ศ. 2540) ปริมาณไขมันของข้าวทั้งหมดที่นำมาวิเคราะห์ อยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.37 – 2.24% ซึ่งมีปริมาณไขมันสูงกว่าเกณฑ์ของข้าวเหนียวปกติ (0.13 – 0.70%) ปริมาณโปรตีนของข้าวเก่ามีค่าสูงสุดในบรรดาข้าวทั้ง 5 ชนิด อยู่ในช่วง 3.30 – 8.05% ซึ่งอยู่ในช่วงของเกณฑ์ของข้าวเหนียวทั่วไป คือ 5.11 – 8.90% ปริมาณเถ้าของข้าวทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.19 – 0.34% ซึ่งมีปริมาณเถ้าอยู่ในเกณฑ์ คือ 0.10 – 0.63 % ปริมาณเส้นใยของข้าวเก่ามีค่าสูงสุดเนื่องจากมีส่วนของรำผสมอยู่บ้าง ส่วนพันธุ์ข้าวอีก 4 ชนิด ถือว่ามีปริมาณเส้นใยอยู่ในเกณฑ์ คือ 0.14 – 0.27% เนื่องจากเป็นส่วนของเอนโดสเปิร์ม ปริมาณคาร์โบไฮเดรตอยู่ในช่วง 77.83 – 83.73% เป็นช่วงมาตรฐานทั่วไปของข้าวเหนียว (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว, 2549) ปริมาณอะไมโลสจะเห็นว่าข้าวเจ้ามีปริมาณอะไมโลสสูงสุดซึ่งสอดคล้องกับปริมาณอะไมโลส มาตรฐานของข้าวเจ้าคือ 15 – 31% (ธิดารัตน์ และคณะ, 2551) ส่วนข้าวเหนียวอีก 4 พันธุ์ มีปริมาณอะไมโลสที่ใกล้เคียงกันยกเว้นข้าวฮวันมีปริมาณอะไมโลสสูงกว่าพันธุ์อื่น ซึ่งปริมาณอะไมโลสของข้าวเหนียวโดยทั่วไปมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.2 – 6.5% (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว, 2549)



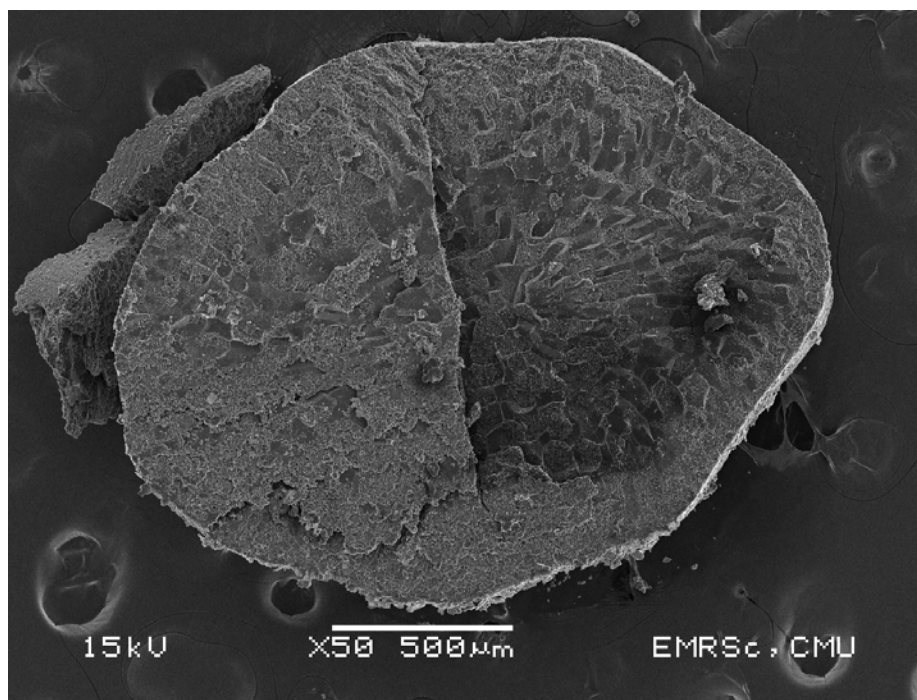
รูปที่ 4.1 โครงสร้างระดับจุลภาคกำลังขยาย 50x โดยใช้วิธี Scanning Electron Microscope ของเมล็ดข้าวเหนียวพันธุ์กข. 6



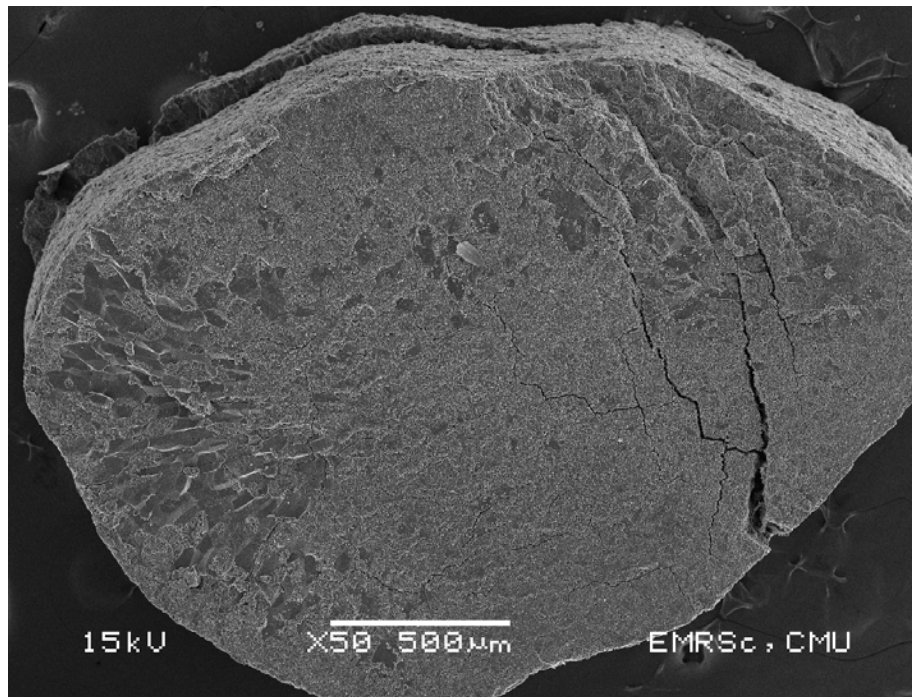
รูปที่ 4.2 โครงสร้างระดับจุลภาคโดยใช้วิธี Scanning Electron Microscope กำลังขยาย 50x ของเมล็ดข้าวเหนียวข้าวอ้วน



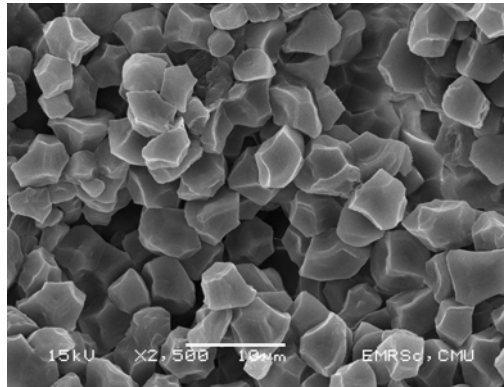
รูปที่ 4.3 โครงสร้างระดับจุลภาคโดยใช้วิธี Scanning Electron Microscope กำลังขยาย 43x ของเมล็ดข้าวเหนียวดำเชียงใหม่



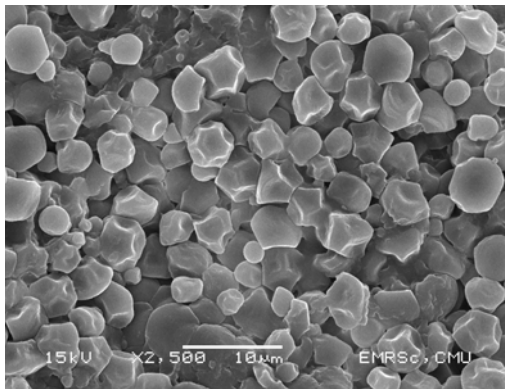
รูปที่ 4.4 โครงสร้างระดับจุลภาคโดยใช้วิธี Scanning Electron Microscope กำลังขยาย 50x ของเมล็ดข้าวเจ้า



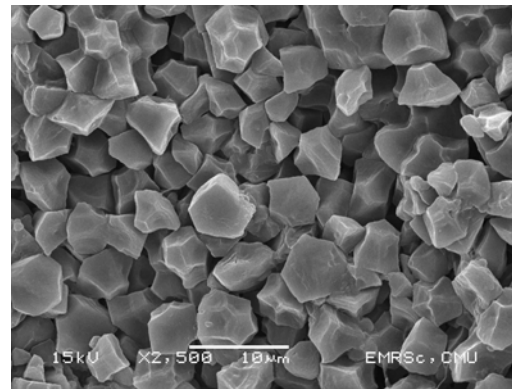
รูปที่ 4.5 โครงสร้างระดับจุลภาคโดยใช้วิธี Scanning Electron Microscope กำลังขยาย 50x ของเมล็ดข้าวเจ้าในก่ำ



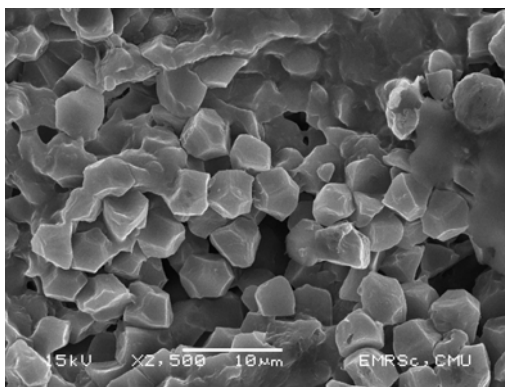
ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6



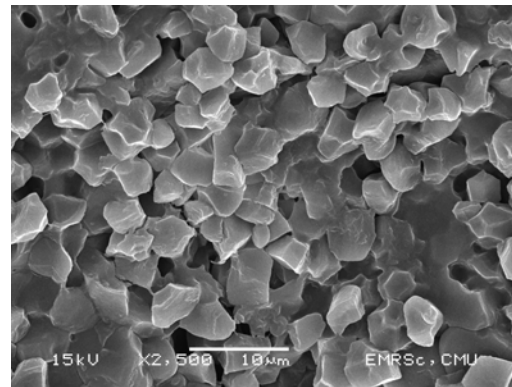
ข้าวเหนียวข้าวอ้วน



ข้าวเหนียวดำเชียงใหม่

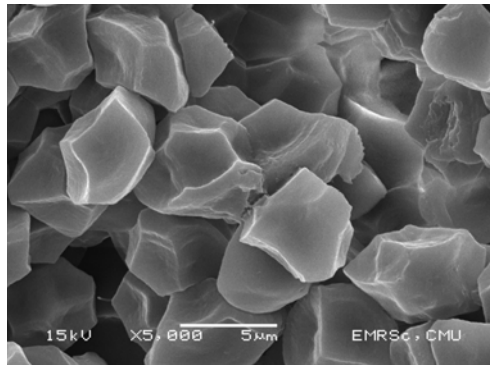


ข้าวเจ้า

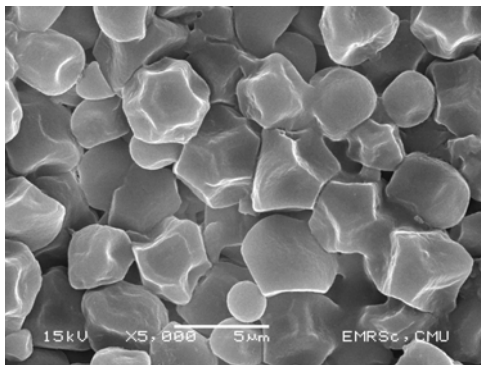


ข้าวเจ้าในกำ

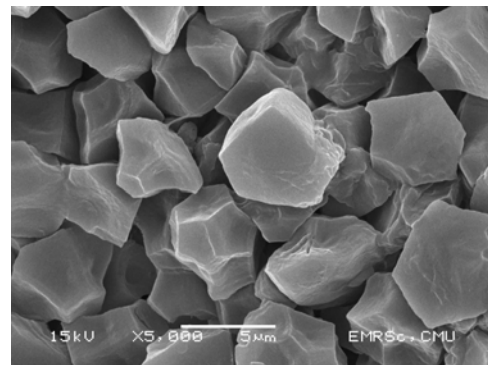
รูปที่ 4.6 โครงสร้างระดับจุลภาคโดยใช้วิธี Scanning Electron Microscope กำลังขยาย 2500x ของเมล็ดข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ข้าวเหนียวข้าวอ้วน ข้าวเหนียวดำเชียงใหม่ (ข้าวกำ) ข้าวเจ้า และข้าวเจ้าในกำ



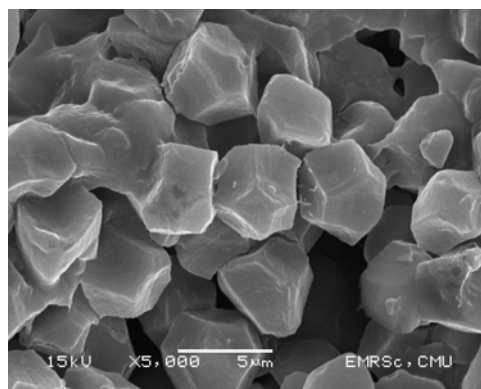
ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6



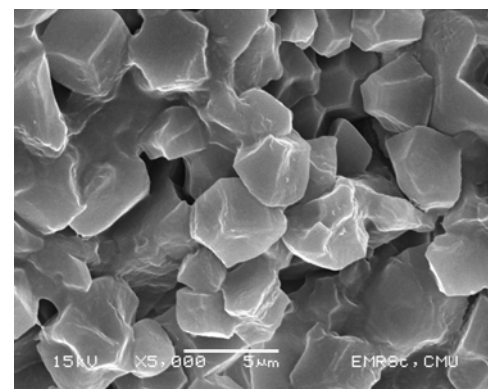
ข้าวเหนียวข้าวอ้วน



ข้าวเหนียวดำเชียงใหม่

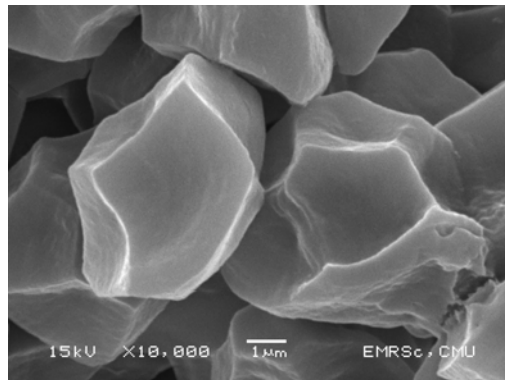


ข้าวเจ้า

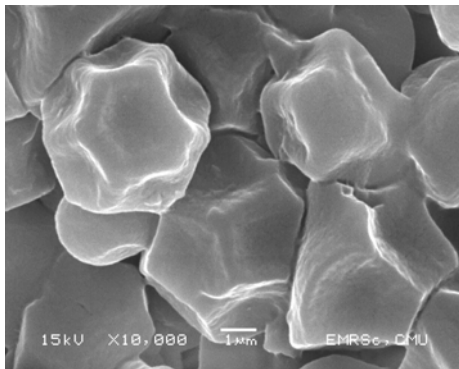


ข้าวเจ้าในกำ

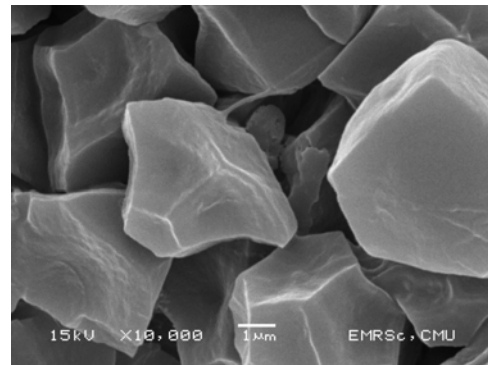
รูปที่ 4.7 โครงสร้างระดับจุลภาคโดยใช้วิธี Scanning Electron Microscope กำลังขยาย 5000x ของเมล็ดข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ข้าวเหนียวข้าวอ้วน ข้าวเหนียวดำเชียงใหม่(ข้าวกำ) ข้าวเจ้า และข้าวเจ้าในกำ



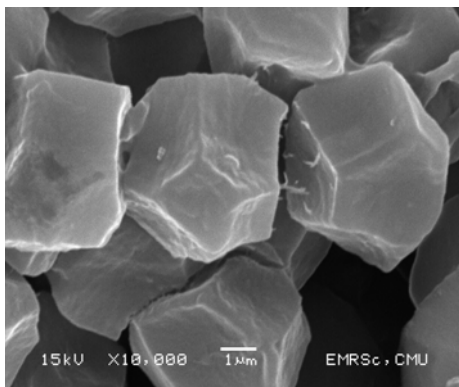
ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6



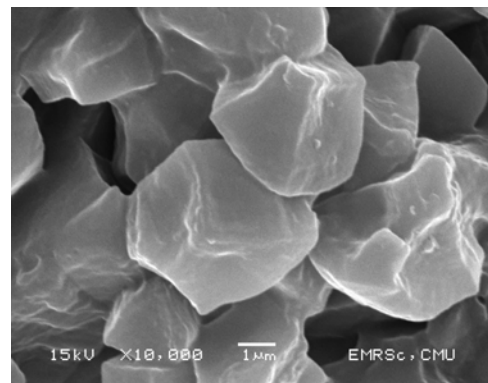
ข้าวเหนียวข้าวอ้วน



ข้าวเหนียวดำเชียงใหม่



ข้าวเจ้า



ข้าวเจ้าในกำ

รูปที่ 4.8 โครงสร้างระดับจุลภาคโดยใช้วิธี Scanning Electron Microscope กำลังขยาย 10000x ของเมล็ดข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ข้าวเหนียวข้าวอ้วน ข้าวเหนียวดำเชียงใหม่(ข้าวกำ) ข้าวเจ้า และข้าวเจ้าในกำ

รูปที่ 4.1 – 4.8 แสดงภาพโครงสร้างระดับจุลภาคโดยใช้วิธี Scanning Electron Microscope ของเมล็ดข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ข้าวอ้วน ข้าวเหนียวดำเชียงใหม่ (ข้าวกำ) ข้าวเจ้า และข้าวเจ้าในกำ โดยใช้กำลังขยาย 50x, 2500x, 5000x, 10000x ตามลำดับ จากรูปจะเห็น starch granules ของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ข้าวอ้วน ข้าวกำ ข้าวเจ้า และข้าวเจ้าในกำ มี starch granule ที่มีลักษณะขอบที่คม ต่างจากลักษณะของ starch granule ของข้าวอ้วนซึ่งมีลักษณะ starch granule ที่มีขอบมน ส่วนลักษณะข้าวอ้วนและข้าวเจ้าจะมีโพรงมากกว่า แสดงถึงข้าวที่เก็บรักษาไว้นาน อาจมีการย่อยสลายของสตาร์ช เกิดขึ้น de-polymerisation of starch (Zhout et.al., 2002) ส่วนข้าวชนิดอื่นๆ จะมี starch granule ที่แน่นกว่าแสดงถึงเป็นข้าวใหม่กว่า ดังนั้นทางโรงงานจึงตัดสินใจให้ใช้ข้าว กข 6 ชนิดเดียวเท่านั้นใช้ในการทำวิจัยช่วงแรก และเป็นพันธุ์ข้าวที่ทางโรงงานใช้เป็นประจำ Singh *et al.* (2003) ศึกษาคุณภาพของ starch granules ของข้าวเจ้าและข้าวเหนียวพันธุ์ต่างๆ โดยวิธี Scanning Electron Microscope พบว่า starch granules ของข้าวดังกล่าวมีลักษณะคล้ายกับรูปที่ 4.1 – 4.8 ซึ่งขนาดของ starch granules นี้จะแตกต่างกันตามชนิดของพันธุ์ข้าว นอกจากนั้นยังพบว่าข้าวเหนียวจะมี amyloplasts และช่องอากาศที่กระจายตัวมากกว่าข้าวเจ้าและไม่สม่ำเสมอเท่าข้าวเจ้า Zhout et.al.(2002) กล่าวว่าปริมาณอะไมโลสมีความสัมพันธ์ต่อคุณภาพของข้าวหุงสุกมาก เพราะอะไมโลสมีความสัมพันธ์ต่อการดูดซับน้ำของเมล็ด การขยายขนาด ความโปร่งของเมล็ด และการกระจายตัวของเมล็ด แต่มีความสัมพันธ์ผกผันกับ cohesiveness ความนุ่มของข้าว และความเงาของข้าว เพราะอะไมโลสมีคุณสมบัติด้านการพองตัวของเมล็ด โดยเฉพาะถ้ามีไขมันปนอยู่ ส่วน Martin et.al. (2002) ระบุว่าคุณภาพของข้าวหุงสุกขึ้นอยู่กับปริมาณสตาร์ช เช่น ปริมาณอะไมโลส การละลายของอะไมโลส ความยาวของโมเลกุลของอะไมโลเปคติน การละลายของโมเลกุลของอะไมโลเปคตินในการก่อเจล และปริมาณของสารที่เหลืออยู่ในโครงสร้างของสตาร์ช เป็นต้น

นอกจากสตาร์ช ส่วนของโปรตีน ก็มีความสำคัญต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าว Xie et.al. (2008) ใช้เอนไซม์ Protease และ สาร DTT ในการย่อยโปรตีนในข้าวเหนียว และข้าวเจ้า จากนั้น พบว่าสาร 2 ชนิดนี้ สามารถลดอุณหภูมิในการก่อเจล และลดความหนืดของเจลในข้าวเจ้า นอกจากนั้นยังพบว่า การเติม DTT ลงในข้าวทั้งสองชนิด สามารถลดความแข็งแรงของข้าวหุงสุก และยังทำให้ลักษณะเหนียวของข้าวเหนียวลดลงด้วย แต่ไม่มีผลในลักษณะเหนียวของข้าวเจ้า ดังนั้นจึงสรุปว่า ส่วนของโปรตีนสามารถเพิ่มความแข็งแรงของเจลในข้าวได้ โดยเฉพาะพันธะไดซัลไฟด์ Zhout et.al. (2002) เสริมว่าในขณะที่เก็บรักษามล็ดข้าว ปริมาณพันธะไดซัลไฟด์อาจเพิ่มขึ้น ทำให้เพิ่มขนาดของโมเลกุลโปรตีน อาจจะเป็นสองเท่า ส่งผลให้เพิ่มความแข็งแรงของข้าวที่หุงสุกได้

จากตาราง 4.1 พบว่าข้าวที่ใช้ทดลอง ซึ่งได้จากบริษัทไทยนิจิ มีปริมาณโปรตีน อยู่ในช่วง 3.30-7.00% โดยเฉพาะข้าวก่ำมีโปรตีนสูงมาก แสดงว่าโปรตีนอาจมีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ได้

ตอนที่ 2 ศึกษาแนวทางการพัฒนาเนื้อสัมผัสผลิตภัณฑ์อาหาร

จากความสำเร็จของบริษัทไทยนิจิ อินคัสทรี จำกัด ที่จะให้ปรับปรุงความนุ่มของเนื้อสัมผัสโดยผสมแป้งชนิดอื่นเป็นหลัก ดังนั้นงานวิจัยส่วนใหญ่จึงมุ่งเน้นหาแป้งที่เหมาะสมในการพัฒนาอาหารที่มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มขึ้น

2.1 ศึกษาปริมาณอะไมโลสของแป้งชนิดต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนาเนื้อสัมผัสผลิตภัณฑ์อาหาร

แป้งที่นำมาผสมเพื่อพัฒนาเนื้อสัมผัสของอาหาร ได้แก่ แป้งมันสำปะหลังคัดแปร ยี่ห้อ Crispioca ยี่ห้อ FA1403 และยี่ห้อ FA1807 แป้งข้าวโพด (waxy corn starch) pregel ยี่ห้อ National แป้งมันฝรั่ง แป้งข้าวเจ้า แป้งท้าวยายหม่อม แป้งถั่วเขียว และ แป้งข้าวโพด ได้ทำการตรวจวัดปริมาณอะไมโลสในตัวอย่างแป้งที่ใช้ผสมกับโคอาารั่วแสดงใน ตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณอะไมโลสในตัวอย่างแป้งที่ใช้ผสมในโคอาารั่ว

ชนิดแป้ง	ปริมาณอะไมโลส (%)
แป้งมันสำปะหลังคัดแปร ยี่ห้อ Crispioca	29.07 ^{bc} ± 0.09
แป้งมันสำปะหลังคัดแปร ยี่ห้อ FA1403	22.24 ^{def} ± 0.33
แป้งมันสำปะหลังคัดแปร ยี่ห้อ FA1807	24.29 ^{dc} ± 0.40
แป้งข้าวโพด (waxy corn starch) pregel ยี่ห้อ National	8.45 ^e ± 0.08
แป้งมันฝรั่ง	18.73 ^f ± 1.97
แป้งข้าวเจ้า	25.37 ^{cd} ± 0.52
แป้งมันสำปะหลัง	20.93 ^{ef} ± 3.64
แป้งท้าวยายหม่อม	22.85 ^{de} ± 2.38
แป้งถั่วเขียว	36.20 ^a ± 2.41
แป้งข้าวโพด	29.70 ^b ± 0.42
แป้งสาลี	28.39 ^{bc} ± 0.58
ข้าวเหนียว พันธุ์ กข6 (ฉัตร ชูคควบคุม)	7.70 ^h ± 0.38

หมายเหตุ - ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ยจากการวัด 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

(p > 0.05)

ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณอะไมโลสของแป้งชนิดต่างๆ พบว่าแป้งถั่วเขียวมีปริมาณอะไมโลสสูงสุด รองลงมาได้แก่แป้งข้าวโพด แป้งมันสำปะหลังคัดแปรรูปหือ Crispioca แป้งสาธิต ส่วนแป้งที่มีปริมาณ อะไมโลสต่ำที่สุดได้แก่ แป้งข้าวโพด (waxy corn starch) pregel ยี่ห้อ National แป้งชนิดนี้มีคุณสมบัติคล้ายข้าวเหนียวมากที่สุด เพราะมีปริมาณอะไมโลสใกล้เคียงกับแป้งข้าวเหนียว Zhout et.al. (2002) กล่าวว่า แป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูง ทำให้มีอัตราการขยายของเจล และการพองตัวลดลง

2.2 ศึกษาผลของอัตราส่วนผสม ที่มีผลต่อเนื้อสัมผัสของอาราเร่

โดยผันแปรชนิดของแป้ง อัตราส่วนแป้งต่อน้ำ พันธุ์ของข้าว กระบวนการผลิต และผันแปรการผสมส่วนผสมอื่น (เกลือ เนยขาว และผงฟู) วางแผนการทดลองแบบ CRD และนำผลการทดลองที่ได้ไปวางแผนการทดลองในชุดต่อไป โดยทำการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพ ของผลิตภัณฑ์อาราเร่ดังนี้

ตารางที่ 4.3 คุณภาพทางกายภาพ และเคมี ของอาราเร่ โดยผันแปรอัตราส่วนผสมของข้าวเหนียวหนึ่ง ต่อน้ำและแป้ง (National, FA1403 และFA1807) เนยขาว ผงฟู และเกลือ

ปริมาณ (ร้อยละของส่วนผสมหลัก ¹)	โดอาราเร่พักในตู้เย็น 24 ชม.		โดอาราเร่ก่อนย่าง			อาราเร่สำเร็จ		
	ความชื้น (%) wet basis	กิจกรรมของน้ำ	เวลาไล่ความชื้นที่ 70°C (ชม.)	ความชื้น (%) wet basis	กิจกรรมของน้ำ	ความชื้น (%) wet basis	กิจกรรมของน้ำ	ความแข็ง (force-N)
1. แป้ง National 20% (แป้ง:น้ำ = 1:1.7)	46.15 ^b ±0.40	0.88 ^a ±0.00	3	21.39 ^{hi} ±0.13	0.77 ^{fg} ±0.00	1.52 ^g ±0.04	0.21 ^g ±0.02	150.91 ^{cde} ±11.79
			4	19.29 ^j ±0.43	0.77 ^{fg} ±0.00	1.18 ⁱ ±0.03	0.11 ^k ±0.02	223.50 ^{bcd} ±76.02
2. แป้ง National 50% (แป้ง:น้ำ = 1:1.7)	49.27 ^a ±0.41	0.82 ^b ±0.00	3	29.73 ^c ±0.23	0.80 ^{abc} ±0.00	0.43 ^l ±0.05	0.13 ⁱ ±0.02	95.77 ^e ±36.29
			4	21.52 ^{hi} ±0.05	0.785 ^{de} ±0.01	0.25 ^m ±0.02	0.12 ^j ±0.02	152.83 ^{cde} ±46.77
3. แป้ง National 20%, ผงฟู 1.2% (แป้ง:น้ำ=1:1.7)	42.91 ^c ±0.13	0.82 ^b ±0.01	3	30.82 ^b ±0.05	0.805 ^{ab} ±0.01	1.21 ^{hi} ±0.02	0.31 ^c ±0.05	84.81 ^e ±12.87
			4	22.00 ^{hi} ±0.01	0.80 ^{abc} ±0.00	0.57 ^k ±0.02	0.22 ^{efg} ±0.02	151.27 ^{cde} ±32.72
4. แป้ง National 20%, เนยขาว 2.4% (แป้ง:น้ำ=1:1.7)	42.78 ^c ±0.28	0.82 ^b ±0.00	3	34.96 ^a ±0.09	0.80 ^{abc} ±0.00	4.10 ^a ±0.03	0.211 ^{fg} ±0.03	156.37 ^{cde} ±9.53
			4	27.67 ^d ±0.27	0.78 ^{ef} ±0.01	3.07 ^b ±0.04	0.21 ^g ±0.04	179.59 ^{bcde} ±74.58
5. แป้ง National 20%, เกลือ 0.6% (แป้ง:น้ำ=1:1.7)	44.47 ^{cd} ±0.16	0.81 ^c ±0.00	3	26.58 ^c ±0.04	0.80 ^{abc} ±0.00	1.56 ^g ±0.01	0.211 ^{fg} ±0.01	88.46 ^e ±0.26
			4	21.96 ^{hi} ±0.06	0.795 ^{bcd} ±0.01	1.26 ^{hi} ±0.05	0.10 ^k ±0.04	126.14 ^{de} ±10.42
6. แป้ง National 30%, เกลือ 0.6% (แป้ง:น้ำ = 1:1.5)	45.03 ^c ±0.19	0.81 ^c ±0.00	3	30.50 ^{bc} ±0.02	0.805 ^{ab} ±0.01	3.03 ^b ±0.02	0.46 ^a ±0.01	97.25 ^e ±11.52
			4	16.35 ^k ±0.07	0.765 ^g ±0.01	2.70 ^c ±0.06	0.24 ^d ±0.003	124.54 ^{de} ±3.61
			5	8.53 ^l ±0.06	0.72 ^h ±0.00	1.03 ^j ±0.03	0.16 ⁱ ±0.01	134.84 ^{de} ±9.01
7. แป้ง FA1403 20% (แป้ง:น้ำ=1:2.5)	38.30 ^f ±0.45	0.80 ^d ±0.00	3	24.48 ^g ±0.31	0.795 ^{bcd} ±0.01	1.87 ^f ±0.04	0.23 ^{de} ±0.003	116.56 ^{de} ±42.23
			4	24.09 ^g ±0.06	0.79 ^{cde} ±0.00	1.51 ^g ±0.02	0.19 ^h ±0.005	194.42 ^{bcde} ±70.10
			5	21.24 ⁱ ±1.48	0.79 ^{cde} ±0.00	1.29 ^h ±0.1	0.15 ⁱ ±0.004	257.20 ^{bc} ±68.24
8. แป้ง FA1807 20% (แป้ง:น้ำ=1:2.5)	43.93 ^d ±0.48	0.82 ^b ±0.00	3	25.52 ^f ±0.43	0.81 ^a ±0.00	2.50 ^d ±0.03	0.33 ^b ±0.004	286.26 ^b ±13.59
			4	22.25 ^h ±0.40	0.785 ^{de} ±0.01	2.45 ^d ±0.01	0.23 ^{de} ±0.006	446.24 ^a ±65.37
			5	15.90 ^k ±0.34	0.77 ^{fg} ±0.00	2.35 ^e ±0.05	0.225 ^{ef} ±0.002	443.58 ^a ±168.96

ตารางที่ 4.3 ต่อ

- หมายเหตุ - ¹ = ส่วนผสมหลักคือข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่ผ่านการแช่และบดละเอียด จากบริษัทไทยนิจิ ผ่านการนึ่งที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ภายใต้อุณหภูมิ 15 psi เวลา 15 นาที
- ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ยจากการวัด 3 ซ้ำ $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 - ตัวอักษรภาษาอังกฤษในคอลัมน์เดียวกันที่เหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)