



**ฝ่ายวิจัย
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**

เสนอ

**รายงานฉบับสมบูรณ์
ชุดโครงการสำรวจสำหรับการประเมินและวางแผนการวิจัย
เพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมเกษตร-อุตสาหกรรมอาหาร**

**โครงการสำรวจสำหรับการดำเนินการวิจัย
แปรงและผลพลอยได้จากแปรง**

**โครงการนี้ได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดิน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีงบประมาณ 2544**

RDO 40 27 501

คณะผู้วิจัย
โครงการสำรวจสำหรับการดำเนินการวิจัย
แปงและผลพลอยได้จากแปง

ภาควิชาเคมี

อ.มล. ศิริพัศตร์ ไชยันต์

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

รศ. ดร. กัลยา เลาสงคราม

ผศ. ดร. พาสวดี ประทีปะเสน

ผศ. ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ

อ. ดร. ชิดพงษ์ ประดิษฐ์สุวรรณ

อ. ดร. จิรรัตน์ ทัดติยกุล (ผู้ประสานงาน)

สารบัญ

สารบัญ.....	i
สารบัญตาราง.....	vi
สารบัญภาพ.....	ix
ความสำคัญและที่มา.....	1
วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	1
บทที่ 1. ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับแป้ง.....	2
1.1. แหล่งวัตถุดิบของแป้ง.....	2
1.2. สมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้ง.....	2
1.2.1. การหาปริมาณแป้งในผลิตภัณฑ์.....	11
1.2.2. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของแป้ง.....	12
1.3. ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างกับสมบัติหรือหน้าที่ของสตาร์ช.....	13
1.3.1. ขนาดและรูปร่างของเม็ดสตาร์ช.....	13
1.3.2. อัตราส่วนระหว่างอะมิโลสต่ออะมิโลเพกติน.....	14
1.3.3. ขนาดโมเลกุลของอะมิโลสและอะมิโลเพกติน.....	14
1.3.4. Phosphorus.....	15
1.4. การดัดแปรแป้ง.....	15
1.5. การดัดแปรแป้งและสตาร์ชโดยวิธีการทางกายภาพ.....	20
1.6. การเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) และปัจจัยที่ส่งผล.....	23
1.6.1. ความหมายของ Retrogradation.....	23
1.6.2. ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิด Retrogradation.....	23
1.7. การใช้แป้งและสตาร์ชในอุตสาหกรรม.....	24
1.8. เอกสารอ้างอิง.....	31
บทที่ 2. ข้อมูลทางการผลิตและการค้าของผลิตภัณฑ์ประเภทแป้ง.....	35
2.1. ข้อมูลทางการเกษตรและการส่งออกของข้าว.....	35
2.2. ข้อมูลทางการเกษตรและการส่งออกของมันสำปะหลัง.....	39
2.3. ข้อมูลทางการเกษตรและการส่งออกของพืชให้แป้งอื่นๆ.....	41
2.4. เอกสารอ้างอิง.....	45
บทที่ 3. ข้อมูลจำเพาะของพืชให้แป้งบางชนิดในประเทศไทย.....	46
3.1. ข้าวเจ้า.....	47
3.1.1. ข้อมูลทางด้านองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของข้าว.....	48
3.1.2. เกณฑ์ที่ใช้ในการชี้บ่งคุณภาพของข้าว.....	53
3.1.3. ข้อมูลทางอุตสาหกรรม.....	54
3.1.4. การบริโภคข้าวและผลิตภัณฑ์ข้าวแปรรูปในไทย.....	56
3.1.5. แนวโน้มการประยุกต์ใช้ข้าวเจ้า.....	58

3.1.6.	แนวโน้มความต้องการในการหาพืชให้แบ่งชนิดอื่นๆมาทดแทนข้าวเจ้าเพื่อการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์และ/หรือการลดต้นทุนในการผลิต	59
3.1.7.	งานวิจัยที่เกี่ยวกับข้าวเจ้า	60
3.1.8.	เอกสารอ้างอิง	61
3.2.	ข้าวเหนียว	65
3.2.1.	ข้อมูลทางการเกษตรของข้าวเหนียว	65
3.2.2.	ข้อมูลทางการใช้ภายในประเทศและการส่งออก	66
3.2.3.	ข้อมูลทางเคมีกายภาพ	67
3.2.4.	การผลิตสตาร์ชข้าวเหนียว	69
3.2.5.	ปัจจัยของกระบวนการผลิตที่มีผลต่อคุณภาพของแป้งและสตาร์ชจากข้าว	70
3.2.6.	เอกสารอ้างอิง	73
3.3.	มันสำปะหลัง	75
3.3.1.	ข้อมูลทางด้านองค์ประกอบทางเคมีของมันสำปะหลัง	75
3.3.2.	ข้อมูลทางอุตสาหกรรมและการผลิต	79
3.3.3.	เอกสารอ้างอิง	82
3.4.	ข้าวฟ่าง	86
3.4.1.	ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	86
3.4.2.	ชนิดของข้าวฟ่าง	86
3.4.3.	ลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบของเมล็ดข้าวฟ่าง	87
3.4.4.	การใช้ประโยชน์จากข้าวฟ่าง	92
3.4.5.	งานวิจัยเกี่ยวกับข้าวฟ่าง	93
3.4.6.	เอกสารอ้างอิง	94
3.5.	ถั่วเขียว	95
3.5.1.	องค์ประกอบทางเคมีของถั่วเขียวและสตาร์ชถั่วเขียว	95
3.5.2.	สมบัติทางกายภาพของสตาร์ชถั่วเขียว	96
3.5.3.	เอกสารอ้างอิง	98
3.6.	ลูกเดือย	99
3.6.1.	สมบัติเชิงการไหลของแป้งจากลูกเดือย	101
3.6.2.	สมบัติเชิงเภสัชกรรม	102
3.6.3.	เอกสารอ้างอิง	103
3.7.	กล้วย (Musa sp.)	104
3.7.1.	องค์ประกอบทางเคมีของกล้วย	104
3.7.2.	สมบัติเชิงกายภาพและการไหลของแป้งกล้วย	106
3.7.3.	สมบัติเชิงเภสัชกรรมของกล้วย	106
3.7.4.	เอกสารอ้างอิง	108
3.8.	กลอย	110

3.8.1. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกลอย	112
3.8.2. องค์ประกอบของกลอย.....	112
3.8.3. สารพิษในกลอย.....	114
3.8.4. การใช้ประโยชน์จากกลอย.....	115
3.8.5. แนวโน้มทางเศรษฐกิจของกลอย.....	116
3.8.6. เอกสารอ้างอิง.....	117
3.9. ฝือก.....	119
3.9.1. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์.....	119
3.9.2. ลักษณะทั่วไป.....	119
3.9.3. ชนิดของฝือก.....	120
3.9.4. การจำแนกพันธุ์ฝือกในประเทศไทย.....	120
3.9.5. การเพาะปลูกฝือกในประเทศไทย.....	121
3.9.6. แนวโน้มทางด้านเศรษฐกิจ.....	122
3.9.7. องค์ประกอบและสมบัติของฝือกและผลิตภัณฑ์จากฝือก.....	122
3.9.8. ประโยชน์และการนำไปใช้.....	123
3.9.9. เอกสารอ้างอิง.....	125
3.10. มะม่วง (<i>Mangifera indica</i> , Linn).....	126
3.10.1. องค์ประกอบของมะม่วงและแป้งมะม่วง.....	126
3.10.2. เอกสารอ้างอิง.....	130
3.11. ทุเรียนหม่อม.....	131
3.11.1. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์.....	131
3.11.2. การเจริญเติบโต.....	131
3.11.3. ข้อมูลการวิจัยการสารสกัด.....	132
3.11.4. การใช้ประโยชน์.....	132
3.11.5. การทำแป้งทุเรียนหม่อม.....	133
3.11.6. การศึกษาแป้งทุเรียนหม่อม.....	133
3.11.7. การตลาดของแป้งทุเรียนหม่อม.....	134
3.11.8. เอกสารอ้างอิง.....	138
บทที่ 4. วารสารปริทรรศน์เรื่องการวิเคราะห์กรดอะมิโนในอาหารและน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมแป้ง.....	141
4.1. บทนำ.....	141
4.2. วิธีการวิเคราะห์กรดอะมิโน.....	141
4.2.1. การวิเคราะห์โดยวิธี Kjeldahl.....	142
4.2.2. การวิเคราะห์กรดอะมิโนโดยวิธีการทางสเปกโตรสโคปี.....	142
4.2.3. การวิเคราะห์กรดอะมิโนโดยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี.....	142
4.2.4. การวิเคราะห์กรดอะมิโนโดยเทคนิคไอออนเอ็กซ์เชนจ์โครมาโตกราฟี.....	143
4.2.5. การวิเคราะห์กรดอะมิโนโดยเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโตกราฟี.....	145

4.2.6. การวิเคราะห์กรดอะมิโนโดยเทคนิครีเวอร์สเฟสโครมาโตกราฟี	145
4.3. การเตรียมตัวอย่าง	152
4.4. การเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์ฮิสทีนและเมทไทโอนีน	152
4.5. การเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์ทริปโตเฟน	152
4.6. การเตรียมตัวอย่างสำหรับอาหาร	153
4.7. เอกสารอ้างอิง	154
บทที่ 5. ข้อมูลจากการทดลองเบื้องต้น: การเกิดเจลของแป้ง	156
5.1. การสืบเอกสาร	156
5.2. การทดลองเบื้องต้น	158
5.3. เอกสารอ้างอิง	163
บทที่ 6. ข้อมูลจากการทดลองเบื้องต้น: การนำกลับโปรตีนในน้ำทิ้งจากโรงงานแป้งโดยวิธี Progressive Freeze-Concentration	164
6.1. ความเป็นมาของโครงการ	164
6.2. วัตถุประสงค์	164
6.3. ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	164
6.3.1. ถั่วเขียว	164
6.3.2. กระบวนการ Ultrafiltration (15)	168
6.3.3. Freeze concentration	169
6.4. การทดลอง	171
6.5. ผลการทดลอง	171
6.6. สรุปผลการทดลอง	172
6.7. แนวทางในการศึกษาต่อไป	174
6.8. เอกสารอ้างอิง	175
บทที่ 7. ข้อมูลจากการทดลองเบื้องต้น: การผลิตสารทดแทนไขมันสำหรับอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำจากโปรตีนถั่วเขียว (Production of Fat Replacer for Oil in Water Emulsion from Mungbean Protein)	177
บทคัดย่อ	177
7.1. บทนำ	178
7.2. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	179
7.2.1. การแยกโปรตีนออกจากน้ำทิ้งของโรงงาน	179
7.2.2. วิเคราะห์สมบัติด้านต่างๆของโปรตีนถั่วเขียว	179
7.2.3. การดัดแปรทางเคมีและการวิเคราะห์สมบัติต่างๆของโปรตีนดัดแปร	181
7.2.4. การผลิตสารทดแทนไขมัน	181
7.3. ผลการทดลอง	182
7.3.1. องค์ประกอบและสมบัติของโปรตีนถั่วเขียว	182
7.3.2. การดัดแปรทางเคมีและสมบัติต่างๆของโปรตีนดัดแปร	184
7.3.3. การผลิตสารทดแทนไขมัน	186

7.4. สรุปผลการทดลอง.....	190
7.5. กิตติกรรมประกาศ.....	190
7.6. เอกสารอ้างอิง.....	191
บทที่ 8. ข้อมูลจากการทดลองเบื้องต้น: สมบัติเชิงความร้อนของสตาร์ชถั่วเขียว (Thermal Properties of Mung Bean Starch).....	192
บทคัดย่อ.....	192
8.1. บทนำ.....	193
8.2. วิธีการทดลอง.....	193
8.2.1. วัตถุประสงค์.....	193
8.2.2. ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย.....	193
8.3. ผลการทดลองและวิจารณ์.....	194
8.3.1. องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชถั่วเขียว.....	194
8.3.2. ผลของความชื้นต่อการเกิดเจลลิตีในเซชันของสตาร์ชถั่วเขียว.....	195
8.3.3. ผลของอุณหภูมิและเวลาการเก็บต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันของเจลสตาร์ชถั่วเขียว.....	198
8.4. สรุปผลการทดลอง.....	202
8.5. เอกสารอ้างอิง.....	203
8.6. กิตติกรรมประกาศ.....	204
ภาคผนวก.....	205
ภาคผนวก ก. วิธีการวิเคราะห์ปริมาณแป้งโดยวิธีการวัดค่าการดูดกลืนแสง.....	206
ภาคผนวก ข. วิธีวิเคราะห์หาปริมาณแป้งโดยใช้วิธีโพลาไรเมตริก.....	208
ภาคผนวก ค. วิธีวิเคราะห์หาปริมาณแป้งโดยการย่อยด้วยกรด.....	210
ภาคผนวก ง. วิธีวิเคราะห์หาปริมาณแป้งโดยการย่อยด้วยเอนไซม์.....	212
ภาคผนวก จ. วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้ง.....	214
ภาคผนวก ฉ. วิธีวิเคราะห์รูปร่างและการกระจายขนาดของเม็ดแป้งโดยใช้กล้องจุลทรรศน์.....	216
ภาคผนวก ช. วิธีวิเคราะห์หะมิโลสในเชิงคุณภาพและปริมาณโดยใช้ High Performance Size Exclusion Chromatography (HPSEC).....	217

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตผลเกษตรจำพวกแป้ง (ร้อยละโดยน้ำหนักทั้งหมด).....	3
ตารางที่ 1.2 สมบัติที่สำคัญของอะมิโลสและอะมิโลเพกติน.....	5
ตารางที่ 1.3 คุณสมบัติทางโครงสร้างของอะมิโลสในแป้งชนิดต่างๆ.....	5
ตารางที่ 1.4 รวบรวมคุณสมบัติทางโครงสร้างของอะมิโลเพกตินในแป้งชนิดต่างๆ.....	6
ตารางที่ 1.5 ขนาดของเม็ดแป้งชนิดต่างๆ.....	7
ตารางที่ 1.6 ปริมาณอะมิโลส อะมิโลเพกติน และสมบัติทางกายภาพแป้งชนิดต่างๆ.....	8
ตารางที่ 1.6 ปริมาณอะมิโลส อะมิโลเพกติน และสมบัติทางกายภาพแป้งชนิดต่างๆ (ต่อ).....	9
ตารางที่ 1.6 ปริมาณอะมิโลส อะมิโลเพกติน และสมบัติทางกายภาพแป้งชนิดต่างๆ (ต่อ).....	10
ตารางที่ 1.7 ประเภทของการตัดแปรแป้ง.....	17
ตารางที่ 1.7 ประเภทของการตัดแปรแป้ง (ต่อ).....	18
ตารางที่ 1.7 ประเภทของการตัดแปรแป้ง (ต่อ).....	19
ตารางที่ 1.8 สมบัติของแป้งและสตาร์ชซึ่งนำมาใช้ประโยชน์เชิงอุตสาหกรรม.....	24
ตารางที่ 1.9 ประโยชน์เชิงอุตสาหกรรมของสตาร์ช สตาร์ชตัดแปรและผลพลอยได้.....	27
ตารางที่ 2.1 เนื้อที่ปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิตและผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ของข้าวนาปรังและข้าวนาปีไทย.....	35
ตารางที่ 2.2 ราคาและมูลค่าของผลผลิตข้าวรวม (นาปีและนาปรัง) ตามราคาที่เหมาะสมที่ได้ ปีเพาะปลูก 2534/35 - 2543/44.....	36
ตารางที่ 2.3 ปริมาณและมูลค่าสินค้าขาออกประเภทข้าว พ.ศ. 2536 – 2540.....	37
ตารางที่ 2.4 สถิติมูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์ข้าวและข้าวแปรรูปของไทยปี 2539-2544 (ล้านบาท).....	38
ตารางที่ 2.5 อัตราการขยายตัว (%) ของมูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์ข้าวและข้าวแปรรูปของไทยปี 2539-2544.....	38
ตารางที่ 2.6 มูลค่าการส่งออกข้าวไทยล่าสุด มค. - มิย. 2545.....	39
ตารางที่ 2.7 มันท่ำปะหลัง : เนื้อที่ปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิตและผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ พ.ศ. 2535-2544.....	40
ตารางที่ 2.8 มูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์มันท่ำปะหลังของไทยปี 2543-2545.....	40
ตารางที่ 2.9 อัตราการขยายตัว (%) ของมูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์มันท่ำปะหลังของไทยปี 2543-2545.....	41
ตารางที่ 2.10 ถั่วเขียว : เนื้อที่ ผลผลิต ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ ราคาและมูลค่าของผลผลิต ตามราคาที่เหมาะสมที่ได้ ปี เพาะปลูก 2534/35 - 2543/44.....	42
ตารางที่ 2.11 ข้าวฟ่าง : เนื้อที่ ผลผลิต ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ ราคาและมูลค่าของผลผลิต ตามราคาที่เหมาะสมที่ได้ ปีเพาะปลูก 2534/35 - 2543/44.....	43
ตารางที่ 2.12 ลูกเดือย : เนื้อที่ ผลผลิต ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ ปีเพาะปลูก 2539 - 2543.....	43
ตารางที่ 2.13 ปริมาณและมูลค่าสินค้าขาออก พ.ศ. 2536 – 2540.....	44
ตารางที่ 3.1.1 ขนาดของ Rough rice และ Brown rice ของข้าวบางพันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทย.....	50
ตารางที่ 3.1.2 องค์ประกอบของเมล็ดข้าวหัก.....	50
ตารางที่ 3.1.3 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้อง (rough rice) และผลิตภัณฑ์จากข้าว (14% moisture) (10 g).....	51
ตารางที่ 3.1.4 สมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวพันธุ์ต่างๆที่ปลูกในประเทศไทย.....	51
ตารางที่ 3.1.5 Vitamin and mineral content ของข้าวกล้องและผลิตภัณฑ์จากข้าว (14 % moisture).....	52
ตารางที่ 3.1.6 Amino acid content ของข้าวกล้อง (rough rice) และผลิตภัณฑ์จากข้าว (14 % moisture).....	52

ตารางที่ 3.1.7 ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม กระบวนการผลิต และพันธุ์ ที่มีผลต่อคุณภาพของข้าวเจ้า	53
ตารางที่ 3.1.8 ปริมาณอะมิโลสที่เหมาะสมสำหรับการแปรรูปข้าวเจ้าไปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ.....	56
ตารางที่ 3.2.1 ปริมาณการส่งออกข้าวและผลิตภัณฑ์ข้าว ปี ค.ศ. 1998-1999.....	67
ตารางที่ 3.2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าว.....	67
ตารางที่ 3.3.1 องค์ประกอบของหัวมันสำปะหลัง.....	75
ตารางที่ 3.3.2 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง.....	76
ตารางที่ 3.3.3 เกณฑ์การจำแนกคุณภาพของแป้งมันสำปะหลัง.....	76
ตารางที่ 3.3.4 ปริมาณ HCN ที่เหลือในผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังในขั้นตอนต่าง ๆ.....	78
ตารางที่ 3.3.5 ปริมาณ HCN ที่เหลือในมันสำปะหลังหลังจากผ่านการแช่น้ำ.....	78
ตารางที่ 3.3.6 ปริมาณ HCN ที่เหลือในมันสำปะหลังหลังจากผ่านการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ.....	79
ตารางที่ 3.3.7 สารอาหารของหัวมันสำปะหลังเทียบกับมันฝรั่งและข้าว.....	79
ตารางที่ 3.3.8 กรดอะมิโนที่สำคัญในมันสำปะหลัง.....	79
ตารางที่ 3.4.1 องค์ประกอบของเมล็ดข้าวฟ่าง.....	88
ตารางที่ 3.4.2 สารอาหารในข้าวฟ่าง.....	89
ตารางที่ 3.4.3 สารอาหารใน sorghum millets และธัญพืชอื่นๆ (ในส่วนของกินได้ 100 กรัม และความชื้นร้อยละ 12)	89
ตารางที่ 3.4.4 สมบัติของสตาร์ชจากข้าวฟ่าง.....	90
ตารางที่ 3.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของถั่วเขียว (ร้อยละโดยน้ำหนักทั้งหมด).....	95
ตารางที่ 3.5.2 องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชถั่วเขียว (ร้อยละโดยน้ำหนักทั้งหมด).....	95
ตารางที่ 3.6.1 ขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้ง.....	99
ตารางที่ 3.6.2 องค์ประกอบทางเคมีของลูกเดี๋ย.....	100
ตารางที่ 3.6.3 สมบัติเชิงความร้อน.....	101
ตารางที่ 3.6.4 สมบัติทางการละลาย.....	101
ตารางที่ 3.6.5 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity).....	101
ตารางที่ 3.7.1 องค์ประกอบทางเคมีของกล้วยน้ำว้าที่มีความสุกในระดับต่างๆต่อ 100 กรัมของน้ำหนักผลสด.....	105
ตารางที่ 3.7.2 องค์ประกอบทางเคมีของกล้วยหักมุกที่มีความสุกในระดับต่างๆต่อ 100 กรัมของน้ำหนักผลสด.....	105
ตารางที่ 3.7.3 องค์ประกอบทางเคมีของกล้วยหอมที่มีความสุกในระดับต่างๆต่อ 100 กรัมของน้ำหนักผลสด.....	105
ตารางที่ 3.7.4 องค์ประกอบทางเคมีของ flour ที่ทำจากกล้วยดิบ.....	106
ตารางที่ 3.8.1 พืชในตระกูลถั่วที่สามารถรับประทานได้.....	110
ตารางที่ 3.8.2 ประเทศในแถบต่างๆที่มีการใช้ประโยชน์จากพืชตระกูลถั่ว.....	111
ตารางที่ 3.8.3 คุณค่าทางอาหารของถั่วในส่วนของบริโภคได้ 100 กรัม.....	113
ตารางที่ 3.9.1 สถิติพื้นที่เพาะปลูก ผลผลิตและผลผลิตเฉลี่ยของเผือก.....	122
ตารางที่ 3.10.1 คุณค่าทางอาหารของผลมะม่วงดิบ.....	126
ตารางที่ 3.10.2 ขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้งจากมะม่วง.....	126
ตารางที่ 3.10.3 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมะม่วง.....	127
ตารางที่ 3.10.4 สมบัติเชิงความร้อน.....	129

ตารางที่ 3.10.5 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity)	129
ตารางที่ 5.1 สมบัติทางความหนืดในระหว่างการเกิดเจล วัดโดยใช้ Rapid Visco-Analyzer (RVA)	157
ตารางที่ 5.2 สภาวะการทดลองแบบ STD1	158
ตารางที่ 5.3 สมบัติทางความหนืดในระหว่างการเกิดเจลวัดโดยใช้ Rapid Visco-Analyzer (RVA)	159
ตารางที่ 5.3 สมบัติทางความหนืดในระหว่างการเกิดเจลวัดโดยใช้ Rapid Visco-Analyzer (RVA) (ต่อ)	160
ตารางที่ 5.3 สมบัติทางความหนืดในระหว่างการเกิดเจลวัดโดยใช้ Rapid Visco-Analyzer (RVA) (ต่อ)	161
ตารางที่ 6.1 ปริมาณสารอาหารในส่วนต่างๆ ของเมล็ดถั่วเขียว (กรัม / 100 กรัม)	165
ตารางที่ 7.1 องค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนถั่วเขียวที่เตรียมได้	182
ตารางที่ 7.2 ปริมาณกรดอะมิโนในโปรตีนถั่วเขียวที่เตรียมได้	183
ตารางที่ 7.3 การดูดซับน้ำและน้ำมัน ค่า surface hydrophobicity และค่า Emulsifying Activity index ของโปรตีนถั่วเขียวและ soy protein isolate (SPI)	184
ตารางที่ 7.4 ความสามารถในการละลาย ของโปรตีนถั่วเขียว	186
ตารางที่ 7.5 ค่า EAI ของสารละลายโปรตีน 0.5%(w/v) ใน phosphate buffer pH 7	186
ตารางที่ 7.6 ผลของแรงที่ใช้ในการปั่นเหวี่ยงนาน 10 นาที ต่อปริมาณของอนุภาคโปรตีนในช่วง 0.1-3 μm	189
ตารางที่ 7.7 ผลของแรงที่ใช้ในการปั่นเหวี่ยงนาน 10 นาที ต่อผลได้ของอนุภาคโปรตีนในช่วง 0.1-3 μm	189
ตารางที่ 8.1 ระดับการเกิดเจลลาตินในเซชันของสตาร์ถั่วเขียวในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 30-80 โดยน้ำหนัก.....	198

สารบัญภาพ

ภาพที่ 1.1 โครงสร้างของอะมิโลสและอะมิโลเพกติน.....	3
ภาพที่ 1.2 A : โครงสร้างของอะมิโลเพกติน B : การจัดเรียงตัวของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินที่ก่อให้เกิดส่วนผลึก (crystalline) และอสัณฐาน (amorphous) สลับกันไปทำให้เกิด "growth rings" ที่สามารถมองเห็นได้จาก light microscope C : การจัดเรียงตัวของอะมิโลเพกตินในภาพตัดขวางของเม็ดแป้ง.....	4
ภาพที่ 1.3 กระบวนการสกัดแป้งและสตาร์ชจากพืช.....	25
ภาพที่ 1.4 ผลิตภัณฑ์หรือสารเคมีต่างๆที่สามารถผลิตได้จากสตาร์ชโดยกระบวนการทางเคมีและหรือชีวเคมี.....	28
ภาพที่ 1.5 โครงสร้างทางเคมีของสารลดแรงตึงผิว ตัวให้โครงสร้างหรือตัวร่วมให้โครงสร้าง และตัวกระตุ้นการกักขังที่ผลิตได้จากสตาร์ช.....	29
ภาพที่ 3.1.1 พื้นที่เพาะปลูกข้าวของโลกสามารถจำแนกได้ตามปริมาณน้ำในพื้นที่และชนิดของข้าวที่ปลูก.....	47
ภาพที่ 3.1.2 ภาพตัดครึ่งตามแนวยาวของเมล็ดข้าว	48
ภาพที่ 3.1.3 แผนภูมิแสดงถึงการแปรรูปข้าวเจ้าไปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ.....	55
ภาพที่ 3.11.1 เท้ายายม่อมพันธุ์ก้านเขียว	135
ภาพที่ 3.11.2 เท้ายายม่อมพันธุ์ก้านม่วง	135
ภาพที่ 3.11.3 เมล็ดพันธุ์เท้ายายม่อม.....	136
ภาพที่ 3.11.4 หัวเท้ายายม่อมอายุ 1 ปี.....	136
ภาพที่ 3.11.5 หัวเท้ายายม่อมอายุ 3 ปี.....	137
ภาพที่ 6.1 ก) ความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์กับความเข้มข้น ข) ความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์กับความดัน.....	169
ภาพที่ 6.2 อุปกรณ์การทำเข้มข้นแบบ progressive freeze-concentration.....	171
ภาพที่ 6.3 ความสัมพันธ์ของอัตราเร็วการเกิดชั้นน้ำแข็ง(u) กับความเร็วรอบของใบกวน(Nr) ที่มีต่อประสิทธิภาพการแยก(Kc)ของสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้น2.5%	172
ภาพที่ 6.4 ความสัมพันธ์ของอัตราเร็วการเกิดชั้นน้ำแข็ง (u) กับความเร็วรอบของใบกวน (Nr) ที่มีต่อประสิทธิภาพการแยก (Kc) ของสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้น10.0%	173
ภาพที่ 6.5 ความสัมพันธ์ของอัตราเร็วการเกิดชั้นน้ำแข็ง(u)กับความเร็วรอบของใบกวน(Nr) ที่มีต่อประสิทธิภาพการแยก (Kc) ของสารละลายเกลือที่ความเข้มข้น 2.5%	173
ภาพที่ 6.6 ความสัมพันธ์ของอัตราเร็วการเกิดชั้นน้ำแข็ง (u) กับความเร็วรอบของใบกวน(Nr) ที่มีต่อประสิทธิภาพการแยก(Kc)ของสารละลายเกลือที่ความเข้มข้น10.0%.....	174
ภาพที่ 7.1 ความสามารถในการละลายของไนโตรเจนในโปรตีนถั่วเขียวที่ pH ต่างๆ.....	183
ภาพที่ 7.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Degree of chemical modification กับปริมาณสารดัดแปร.....	185
ภาพที่ 7.3 ผลของการดัดแปรทางเคมีต่อ surface hydrophobicity ของโปรตีนถั่วเขียว.....	185
ภาพที่ 7.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของอนุภาคโปรตีนในช่วง 0.1-3 μm กับเวลาที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 83 $^{\circ}\text{C}$ พร้อมการตีปั่นที่ความเร็วรอบ 17,000 ต่อนาที	187
ภาพที่ 7.5 ผลของความเร็วยรอบที่ใช้ในการตีปั่นนาน 5 นาที ต่อปริมาณของอนุภาคโปรตีนในช่วง 0.1-3 μm	188
ภาพที่ 7.6 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการตีปั่นที่ความเร็วรอบ 23,000 ต่อนาที ต่อปริมาณของอนุภาคโปรตีนในช่วง 0.1-3 μm	188

ภาพที่ 7.7 ภาพของอนุภาคโปรตีนถั่วเขียวในช่วง 0.1-3 μm จาก scanning electron microscope ที่กำลังขยาย 7,500 เท่า.....	189
ภาพที่ 8.1 Endothermic peak ของสตาร์ชถั่วเขียวที่ระดับความชื้นร้อยละ 30-80 โดยน้ำหนัก	196
ภาพที่ 8.2 Endothermic peak ของสตาร์ชถั่วเขียวที่ระดับร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก หลังการเก็บที่ 4 และ $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ นาน 1, 3, 7 และ 14 วัน.....	200
ภาพที่ 8.3ความสัมพันธ์ระหว่าง ΔH_r กับเวลาที่เก็บเจลสตาร์ชที่ $4\text{ }^{\circ}\text{C}$	201

ความสำคัญและที่มา

แป้งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากธัญชาติ ถั่ว และพืชหัวต่าง ๆ ซึ่งประเทศไทยมีการปลูกพืชเหล่านี้เป็นจำนวนมาก โดยทั่วไปประเทศไทยมีการส่งออกพืชผลทางการเกษตรในรูปวัตถุดิบ หรือมีเพียงการแปรรูปเบื้องต้น เช่น ส่งออกในรูปของข้าวสาร ข้าวเหนียว มันสำปะหลังตากแห้ง ในขณะที่เดียวกันเราก็มีการสั่งผลิตภัณฑ์แปรรูปจากวัตถุดิบเหล่านี้เข้ามา เช่น แป้งดัดแปรประเภทต่าง ๆ เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ซึ่งจะเห็นว่าเป็นการขาดดุลทางการค้าของประเทศ อย่างไรก็ตามในระยะ 10 ปีที่ผ่านมาไทยเราได้มีการวิจัยและพัฒนาวิธีการที่ทำให้เราสามารถแปรรูปหรือดัดแปรวัตถุดิบที่มีแป้งเหล่านี้มากขึ้น เพื่อใช้ในวัตถุประสงค์เฉพาะอย่างไป เช่น การทำแป้งดัดแปรเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมกระดาษ และอื่น ๆ นอกจากนี้ในกระบวนการผลิตแป้งยังมีของเหลือใช้หรือเหลือทิ้งที่อาจก่อปัญหาในด้านการกำจัด ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น ดังนั้น ทางคณะผู้วิจัยจึงเห็นความจำเป็นในการศึกษาพันธุ์ และอายุการเก็บพืชที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก เพื่อนำมาแปรรูปเป็นแป้ง ก่อนทำการสกัดสารสกัดจากแป้งนั้น เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ-เคมี (physico-chemical properties) และสมบัติการนำไปใช้ (functional property) ^{เชิงหน้าที่} เพื่อให้สามารถวิเคราะห์และเสนอแนะการนำไปใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสมกับอุตสาหกรรมต่าง ๆ รวมถึงการศึกษาการสกัดโปรตีนออกจากแป้งหรือการแยกโปรตีนจากน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งและการวิเคราะห์คุณภาพของโปรตีนเพื่อประโยชน์ในการประยุกต์ใช้ต่อไป

วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อสำรวจข้อมูลทางด้านการเกษตรและการวิจัยที่เกี่ยวกับการนำไปใช้ของพืชให้แป้ง รวมทั้งข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยการพัฒนากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากแป้ง เพื่อนำมาเป็นข้อมูลประกอบในการวางแผนดำเนินการวิจัยการผลิตแป้งและผลพลอยได้จากแป้ง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ข้อมูลที่ครอบคลุมถึงความต้องการพร้อมทั้งแนวทางการดำเนินการวิจัยเพื่อ
- ใช้ประโยชน์จากพืชให้แป้งซึ่งเป็นเกษตรผลหลักของประเทศไทยอย่างมีประสิทธิภาพ
 - ลดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมจากโรงงานผลิตแป้ง
 - สร้างผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มจากอุตสาหกรรมแป้ง
 - เพิ่มศักยภาพให้แก่อุตสาหกรรมอาหารของไทย
 - ลดต้นทุนของผลิตภัณฑ์

บทที่ 1. ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับแป้ง

ดร. จีรารัตน์ ทัดติยกุล

ดร. พาสวดี ประทีปะเสน

คำว่า "แป้ง" หรือ "ผลิตภัณฑ์แป้ง" หมายความรวมถึงแป้งฟลาว (flour) และแป้งสตาร์ช (starch) แป้งฟลาว หมายถึง ผลิตภัณฑ์แป้งจากเมล็ด หัว หรือส่วนอื่นที่ใช้บริโภคได้ของพืช เช่น ข้าวเจ้า ข้าวเหนียว ข้าวฟ่าง ข้าวสาลี ข้าวโพด มันสำปะหลัง มันเทศ เป็นต้น โดยนำวัตถุดิบมาสี โม่ บด หรือตี แล้วร่อนเป็นผงละเอียด ดังนั้นส่วนประกอบของแป้งฟลาวจึงมีสารอาหารต่างๆที่มีอยู่ในวัตถุดิบทั้งหมด คือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เส้นใยและแร่ธาตุต่างๆ เป็นต้น ส่วนแป้งสตาร์ช หมายถึง ผลิตภัณฑ์แป้งที่ผลิตจากส่วนต่างๆของพืช เช่นเดียวกับที่ใช้ในการผลิตแป้งฟลาว แต่ในขั้นตอนการผลิตจะแยกเอาเฉพาะส่วนที่เป็นสารอาหารคาร์โบไฮเดรต โดยมีสารอื่นปะปนมาน้อยที่สุด ดังนั้นแป้งสตาร์ชจึงประกอบด้วยสารอาหารที่เป็นคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนใหญ่ (~99%)

ผลิตภัณฑ์แป้งที่เป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญของประเทศไทย ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว แป้งมันสำปะหลัง เป็นต้น การนำผลิตภัณฑ์แป้งมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่างๆขึ้นอยู่กับ คุณสมบัติของแป้งแต่ละชนิด และผลิตภัณฑ์แปรรูปจากผลิตภัณฑ์แป้งจะถูกเรียกโดยรวมว่า "ผลิตภัณฑ์จากแป้ง"

1.1. แหล่งวัตถุดิบของแป้ง

แป้งเป็นสารประกอบประเภทคาร์โบไฮเดรตที่ได้จากการสังเคราะห์แสงของพืช ส่วนของพืชที่เป็นแหล่งของแป้งที่นำมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์แป้ง มีดังนี้

- แป้งที่ผลิตจากเมล็ดธัญพืชและถั่ว ได้แก่ ข้าวเจ้า ข้าวเหนียวข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าวฟ่าง ถั่วเขียว เป็นต้น
- แป้งที่ผลิตจากส่วนหัว ได้แก่ มันฝรั่ง
- แป้งที่ผลิตจากส่วนของรากพืช ได้แก่ มันสำปะหลัง มันเทศ เหง้ายายม่อม (arrowroot)
- แป้งที่ผลิตจากส่วนลำต้นพืช ได้แก่ สาคุ (sago palm)

1.2. สมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้ง

องค์ประกอบของแป้งจะแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ประเภทสายพันธุ์ อายุ ลักษณะดินที่ปลูก และสภาพดินฟ้าอากาศ องค์ประกอบของแป้งที่ได้จากส่วนของหัว ราก และลำต้น จะแตกต่างกันไปจากแป้งที่ผลิตจากเมล็ดธัญพืชและถั่ว อย่างไรก็ตาม ปริมาณแป้งในพืชให้แป้งเมื่อคำนวณตามน้ำหนักแห้งจะประกอบด้วยแป้งประมาณร้อยละ 70-85 เมื่อทำการวิเคราะห์ทางเคมี พบว่าแป้งจากแต่ละแหล่งจะมีองค์ประกอบแตกต่างกัน (ตารางที่ 1.1)

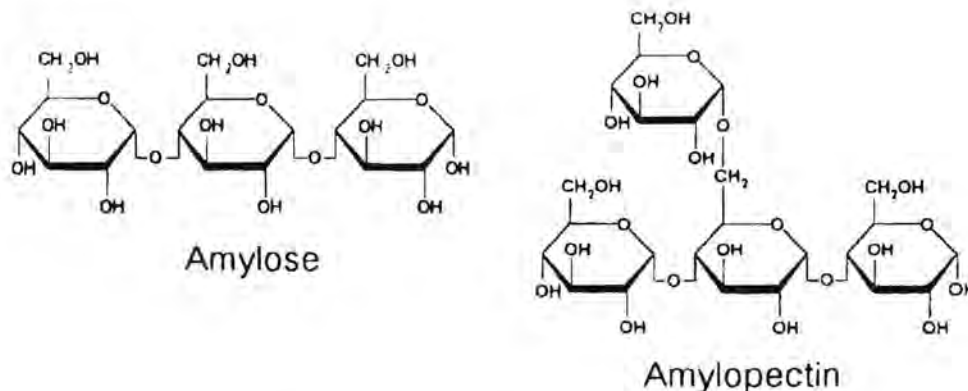
ตารางที่ 1.1 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์เกษตรจำพวกแป้ง (ร้อยละโดยน้ำหนักทั้งหมด)

ผลิตภัณฑ์เกษตร	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เยื่อใย	สตาร์ช ^a	สตาร์ช ^b
ข้าวโพด (corn)	16	9	4	2	60	71
มันฝรั่ง (potato)	78	2	0.1	0.7	18	82
ข้าวสาลี (wheat)	14	13	2	3	64	74
มันสำปะหลัง (cassava)	66	1	0.3	1	26	77
ข้าวโพด (เหนียว) (waxy maize)	20	11	5	2	57	71
ข้าวฟ่าง (sorghum)	16	9	3	2	63	75
ข้าวเจ้า (rice)	12	8	0.5	-	78	89
มันเทศ (yam)	68	1.5	0.3	-	23	72
ท้าวยายม่อม (arrowroot)	70	-	-	-	25	83

^a % wet basis ^b % dry basis

ที่มา: Van Beynum and Roels, 1985

สตาร์ชที่เกิดโดยธรรมชาติแล้วจะอยู่ในรูปของเม็ด (granule) เม็ดแป้งนี้ประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคสสองชนิด คือ อะมิโลส (Amylose) และอะมิโลเพกติน (Amylopectin) (ภาพที่ 1.1)

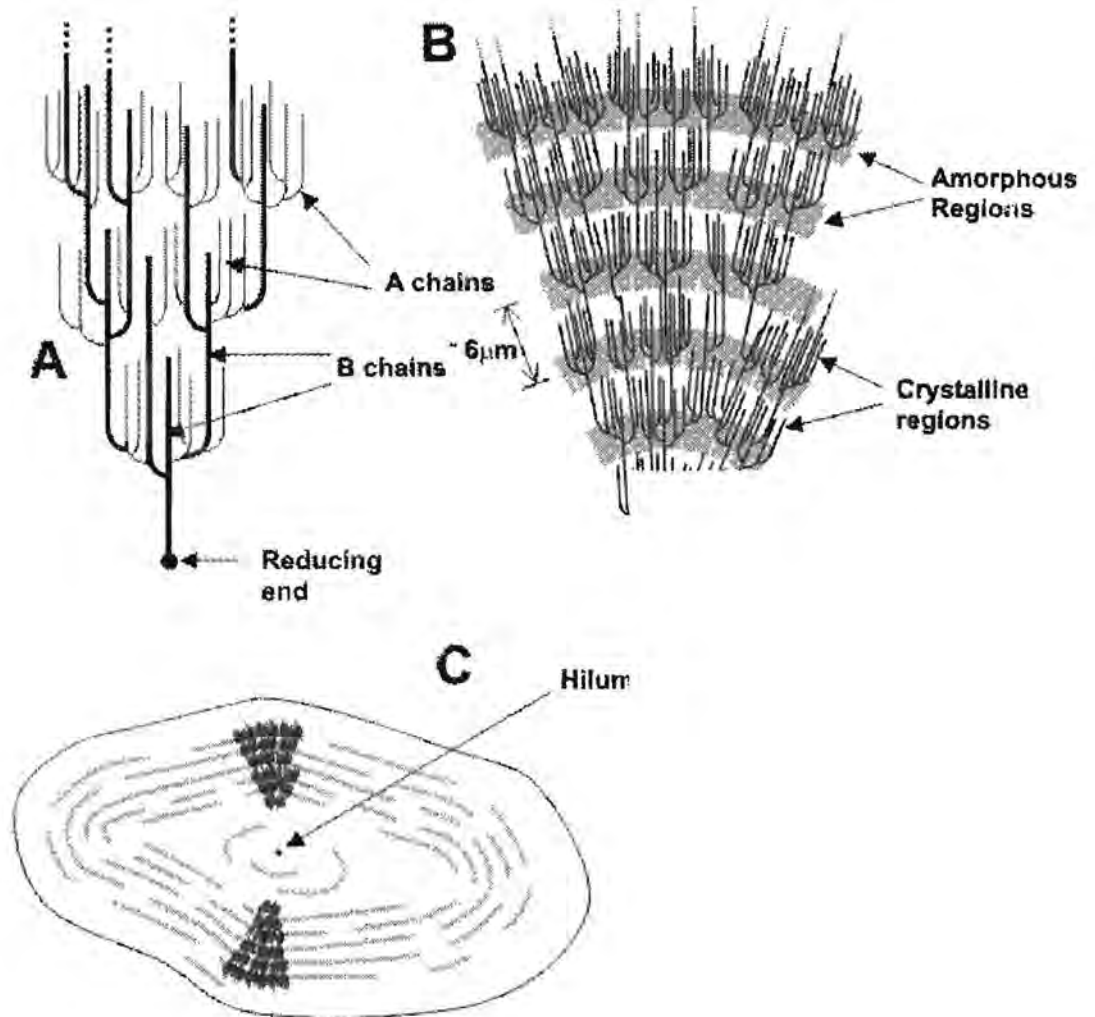


ภาพที่ 1.1 โครงสร้างของอะมิโลสและอะมิโลเพกติน

(ที่มา: ดัดแปลงจาก Vissers, 1996)

พอลิเมอร์ของกลูโคสนี้ประกอบด้วย anhydroglucose unit เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ glucosidic linkage อะมิโลสเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสที่มีพันธะต่อเชื่อมกันที่จุด α -1,4- จึงเป็นพอลิเมอร์สายตรง ส่วนอะมิโลเพกตินเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสที่นอกจากจะเชื่อมต่อกันที่จุด α -1,4- แล้วยังมีการต่อเชื่อมกันที่จุด α -1,6- ด้วย จึงทำให้พอลิเมอร์มีลักษณะเป็นกิ่งก้าน (branch) อะมิโลเพกตินเป็นโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่าอะมิโลสถึง 1000 เท่า (Swinkels, 1985) อะมิโลสและอะมิโลเพกตินในเม็ดแป้งจะเรียงตัวกันในแนวระนาบอย่างเป็นระเบียบทำให้เกิดส่วนผลึกและอสัณฐานซึ่งทำให้เม็ดแป้งตามธรรมชาติมีลักษณะ Birefringence ขึ้น

(ภาพที่ 1.2) ส่วนผลึกเป็นส่วนที่อะมิโลเพกตินเรียงตัวกันอย่างมีระเบียบ พอลิเมอร์ของอะมิโลเพกตินที่ขนานกันจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจน และส่วนอสัณฐานเกิดจากบริเวณที่เป็นจุดเชื่อมต่อกิ่ง มีการจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบและมีการเกาะเกี่ยวกันด้วยพันธะไฮโดรเจนอย่างหลวมๆ ส่วนผลึกในเม็ดแป้งเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ให้โครงสร้างที่แข็งแรงและยึดโครงสร้างไว้ด้วยกัน โมเลกุลของอะมิโลสบางส่วนจะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับกรดไขมันซึ่งช่วยให้เม็ดแป้งมีความแข็งแรงขึ้นและช่วยด้านการพองตัวของเม็ดแป้ง (Leach และคณะ, 1959; French, 1975; Oates, 1997)



ภาพที่ 1.2 A : โครงสร้างของอะมิโลเพกติน B : การจัดเรียงตัวของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินที่ก่อให้เกิดส่วนผลึก (crystalline) และอสัณฐาน (amorphous) สลับกันไปทำให้เกิด "growth rings" ที่สามารถมองเห็นได้จาก light microscope C : การจัดเรียงตัวของอะมิโลเพกตินในภาพตัดขวางของเม็ดแป้ง
(ที่มา: คัดแปลงจาก Parker และ Ring, 2001)

แป้งที่มาจากแหล่งที่ต่างกันจะมีสัดส่วนของอะมิโลสต่ออะมิโลเพกตินต่างกันไป ทำให้แป้งมีคุณสมบัติแตกต่างกัน สมบัติที่สำคัญของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินมีดังแสดงในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 สมบัติที่สำคัญของอะมิโลสและอะมิโลเพกติน

คุณสมบัติ	อะมิโลส	อะมิโลเพกติน
ลักษณะโครงสร้าง	พอลิเมอร์ของกลูโคสมีพันธะเชื่อม α -1,4-linkage	พอลิเมอร์ของกลูโคสมีพันธะเชื่อม α -1,4- และ α -1,6-linkage
ขนาด	200-2,000 หน่วยกลูโคส	> 10,000 หน่วยกลูโคส
การละลาย	ละลายน้ำได้น้อยกว่า	ละลายน้ำได้ดีกว่า
การทำปฏิกิริยากับไอโอดีน	สีน้ำเงิน	สีแดงม่วง
การคืนตัว (retrogradation)	มีการคืนตัวสูง	มีการคืนตัวต่ำ

ที่มา: Van Beynum และ Roels, 1985

แบ่งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด แป้งข้าวฟ่าง มีปริมาณ อะมิโลส สูงประมาณ 28% แป้งจากรากและหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง จะมีปริมาณอะมิโลสต่ำประมาณ 20% แป้งประเภท waxy จะไม่มีอะมิโลส เลย ในขณะที่แป้ง amylo maize จะมีอะมิโลสสูงถึง 80% ซึ่งอะมิโลสในแป้งแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกัน (ตารางที่ 1.3) แป้งที่มีอะมิโลสที่โมเลกุลยาวขึ้นจะมีแนวโน้มในการเกิด retrogradation ลดลง เนื่องจากโมเลกุลที่มีสายยาวมีความสามารถในการกลับมาเกิดพันธะระหว่างกันได้ดีกว่าโมเลกุลที่มีสายสั้น

ตารางที่ 1.3 คุณสมบัติทางโครงสร้างของอะมิโลสในแป้งชนิดต่างๆ

แป้ง	ปริมาณอะมิโลส(%)	β -Amylolysis ^a limit (%)	Degree of Polymerization (DP)	จำนวนสายเฉลี่ย	ความยาวสายเฉลี่ย	โมเลกุลที่เป็นกิ่ง (%)
แป้งสาลี	28	88	1,300	4.8	270	27
แป้งข้าวโพด	28	82	930	2.7	340	44
แป้งข้าวเจ้า						
Indica	17	73	1,000	4.0	250	49
Japonica	17	81	1,100	3.4	320	31
แป้งมันสำปะหลัง	17	75	2,600	7.6	340	42
แป้งมันฝรั่ง	21	80	4,900	9.5	240	-

^a β -Amylolysis = % การย่อยแป้งโดยใช้ β -amylase

สำหรับอะมิโลเพกตินของแป้งข้าวเจ้า ข้าวเหนียว มันสำปะหลัง และมันฝรั่ง สายส่วนใหญ่ประมาณ 80-90% ประกอบด้วยกลุ่มเดี่ยวๆ และสายที่เหลืออีก 10-20% จะเป็นส่วนเชื่อมต่อของแต่ละกลุ่ม ในแต่ละกลุ่มประกอบไปด้วยสายประมาณ 22-25 สาย ทำให้เกิดเป็นส่วนผลึก (Crystalline) ของเม็ดแป้ง จุดเชื่อมกิ่งของอะมิโล

เพกตินอยู่ในส่วนอสัณฐาน (Amorphous) (French, 1984) อะมิโลเพกตินที่ปรากฏในแป้งจากแหล่งต่างๆ จะมีลักษณะทางกายภาพที่ต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 1.4

ตารางที่ 1.4 รวบรวมคุณสมบัติทางโครงสร้างของอะมิโลเพกตินในแป้งชนิดต่างๆ

แป้ง	ปริมาณ อะมิโลเพกติน (%)	DP	ความยาว สายเฉลี่ย	จำนวนสาย เฉลี่ย	ความยาว สายภายนอก เฉลี่ย	ความยาว สายภายใน เฉลี่ย
แป้งสาลี	72	4,800	19	250	13	5
แป้งข้าวโพด	72	8,200	22	370	15	6
แป้งข้าวเจ้า						
Indica(IR36)		4,700	21	220	14	6
Japonica		12,800	19	670	13	5
Waxy rice		18,500	18	1,000	12	5
แป้งมันฝรั่ง	79	9,800	24	410	15	8

ที่มา: ดัดแปลงจาก Hizukuri, 1988

แป้งที่มาจากแหล่งต่างกันจะมีรูปทรง ขนาดของเม็ดแป้ง และสัดส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินต่างกัน (ตารางที่ 1.5 และ 1.6) สัดส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินที่แตกต่างกันนี้ ส่งผลให้แป้งมีคุณสมบัติต่างๆกัน โดยเฉพาะในส่วนของความเป็นผลึก (Crystallinity) Lugay และ Juliano (1965) ได้ทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะมิโลส ความเป็นผลึก และการเกิดเจลของน้ำแป้ง โดยใช้แป้งข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสตั้งแต่ 13.7-32.8% นักวิจัยทั้งสองพบว่า เมื่อปริมาณอะมิโลสเพิ่มขึ้น ค่าความเป็นผลึกของแป้งจะเพิ่มขึ้นตาม ซึ่งส่งผลให้เม็ดแป้งมีการพองตัวได้น้อยลง ทำให้อุณหภูมิที่เริ่มเกิดเจล (Gelatinization temperature) สูงขึ้น และให้ความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) ในระหว่างเกิดเจลต่ำลง ข้อดี คือ แป้งมีความคงทนต่อความร้อนได้ดีขึ้น จึงเกิดการลดลงของความหนืด (Breakdown) ไม่มากเท่าแป้งที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำเมื่อมีการให้ความร้อนเป็นเวลานาน

ตารางที่ 1.5 ขนาดของเม็ดแป้งชนิดต่างๆ

แป้ง	ประเภท	ขนาด (micron)	รูปร่าง	เอกสารอ้างอิง
ข้าวโพด	ธัญพืช	3-26		(1)
ข้าวโพด (เหนียว)	ธัญพืช	3-26 5-15	กลม	(1) (2)
ข้าวบาร์เลย์	ธัญพืช	20-25	กลม หรือรูปไข่	(2)
ข้าวสาลี	ธัญพืช	2-35 20-35	กลม หรือกลมแบน	(1) (2)
ข้าวฟ่าง	ธัญพืช	3-26 35	กลม	(1) (2)
ข้าวเจ้า	ธัญพืช	3-8	ขนาดเล็ก มีหลายเหลี่ยม	(1) (2)
Amylomaize	ธัญพืช	3-24 25	กลม หรือเป็นทรงรี	(1) (2)
ถั่วเขียว	ธัญพืช	ยาว 12-32 กว้าง 8-16 ยาว 16-25 กว้าง 10-15	มีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ มีทั้งรูปไข่ รูปกลม และรูปร่างคล้ายถั่ว รูปไต	(3) (5)
มันฝรั่ง	หัว	5-100 15-100	รูปไข่ รี	(1) (2)
มันสำปะหลัง	ราก	4-35		(1)
มันเทศ	ราก	5-25		(1)
ท้าวยายหม่อม	ราก	5-70		(1)
กล้วย	ผล	5-70	รูปร่างคล้ายเม็ดแป้งมันฝรั่ง แต่ ยาวกว่า	(4)
สา쿠	ลำต้น	5-65		(1)

ที่มา : (1) Van Beynum และ Roels, 1985; (2) Lineback, 1984; (3) Naivikul และ D'Appolonia, 1979; (4) International Starch Institute, 1999; (5) กิตติพงษ์ นวรักษ์, 2529

ตารางที่ 1.6 ปริมาณอะมิโลส อะมิโลเพกติน และสมบัติทางกายภาพแป้งชนิดต่างๆ

แป้ง	% ต่อ starch 100 กรัม		อุณหภูมิในการเกิด เจล (°C)	การพองตัว (g.แป้งที่พองตัว /g.แป้งแห้ง)	การละลาย (%)	ความเข้มข้นวิกฤติ (Close-packing concentration) (g/100 mL.)	เอกสารอ้างอิง
	อะมิโลส	อะมิโลเพกติน					
ข้าวโพด	28	72	-	-	-	-	(1)และ (2)
	-	-	62-72	24**	25**	4.4**	(3)
	-	-	-	15.1*	-	2.8*	(4)
มันฝรั่ง	21	79	-	-	-	-	(1)
	23	77	-	-	-	-	(2)
	-	-	56-66	>1000**	82**	<0.1**	(3)
	-	-	-	115*	-	0.25*	(4)
ข้าวสาลี	28	72	-	-	-	-	(1)
	23-27	77-73	-	-	-	-	(2)
	-	-	52-63	21**	41**	5.0**	(3)
	-	-	-	-	-	3.8*	(4)
มันสำปะหลัง	17	83	-	-	-	-	(1)
	-	-	58.5-70	71**	48**	1.4**	(3)
	-	-	-	21.9*	-	1.7*	(4)
	17-23	83-77	67-74	40-62 ที่ 85°C	22-42 ที่ 85°C	-	(8)

ตารางที่ 1.6 ปริมาณอะมิโลส อะมิโลเพกติน และสมบัติทางกายภาพแป้งชนิดต่างๆ (ต่อ)

แป้ง	% ต่อ starch 100 กรัม		อุณหภูมิในการเกิด เจล (°C)	การพองตัว (g.แป้งที่พองตัว /g.แป้งแห้ง)	การละลาย (%)	ความเข้มข้นวิกฤติ (Close-packing concentration) (g/100 mL.)	เอกสารอ้างอิง
	อะมิโลส	อะมิโลเพกติน					
มันเทศ (Sweet potato)	-	-	-	46**	18**	2.2**	(3)
ข้าวโพด (เหนียว)	0	100	-	-	-	-	(1)
	1	99	-	-	-	-	(2)
	-	-	63-72	64**	23**	1.6**	(3)
ข้าวฟ่าง	28	72	-	-	-	-	(1)
	23-28	77-72	-	-	-	-	(2)
	-	-	68.5-75	22**	22**	4.8**	(3)
ข้าวเจ้า	17	83	-	-	-	-	(1)
	-	-	61-77.5	19**	18**	5.6**	(3)
ข้าว Indica	21	79	-	-	-	-	(2)
ข้าว Japonica	17-19	83-81	-	-	-	-	(2)
สาคุ	27	73	-	-	-	-	(1)
	-	-	-	97**	39**	1.0**	(3)
ข้าวยายม่อม	20	80	-	-	-	-	(1)
	-	-	-	54**	28**	1.9**	(3)

ตารางที่ 1.6 ปริมาณอะมิโลส อะมิโลเพกติน และสมบัติทางกายภาพแป้งชนิดต่างๆ (ต่อ)

แป้ง	% ต่อ starch 100 กรัม		อุณหภูมิในการเกิด เจล (°C)	การพองตัว (g.แป้งที่พองตัว /g.แป้งแห้ง)	การละลาย (%)	ความเข้มข้นวิกฤติ (Close-packing concentration) (g/100 mL.)	เอกสารอ้างอิง
	อะมิโลส	อะมิโลเพกติน					
ข้าว	~ 25.3	~74.7	75-76.5	1.97 ที่ 30°C 13.9 ที่ 95°C	2.6 ที่ 30°C 16.1 ที่ 95°C	-	(5)
amylomaize	50-80	20-50	-	-	-	-	(1)
	52	48	-	-	-	-	(2)
	-	-	-	6**	12**	20**	(3)
กล้วย	-	-	68-76	24.2 ที่ 70°C 37.3 ที่ 80°C 50.0 ที่ 90°C	2-3 ที่ 70°C 5-6 ที่ 80°C 7-8 ที่ 90°C	-	(6), (7)

* สำหรับแป้งที่เกิด gelatinization แล้ว

** ที่อุณหภูมิ 95 °C

ที่มา: (1) Van Beynum และ Roels, 1985; (2) Lineback, 1984; (3) Leach, 1965; (4) Evan and Haisman, 1979; (5) กิตติพงษ์ หงษ์รักษ์, 2529; (6) Da Mota และคณะ, 2000; (7) Bello-Perez และคณะ, 2000; (8) กล้าณรงค์ ศรีรอด, 2544

1.2.1. การหาปริมาณแป้งในผลิตภัณฑ์

(กลั่นรงค์ ศรีรอต และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543.)

วิธีวิเคราะห์แป้ง (starch) จากผลิตภัณฑ์ต่างๆ รวมทั้งแป้งที่ผลิตได้ แป้งได้เป็น 2 วิธีใหญ่ คือ

1.2.1.1 วิธีทางตรง (direct method)

แป้งจะถูกแยกสารเจือปน (เช่น โปรตีน ไขมัน และน้ำตาล) ออกมาโดยใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสม และคุณสมบัติทางด้าน physical และ physico-chemical เปลี่ยนไปน้อยที่สุด แป้งได้ 3 วิธีคือ

Gravimetric method

วิธีการโดยทั่วไปจะเริ่มจากการให้แป้งในตัวอย่างกระจายตัวในตัวทำละลายที่เหมาะสม เช่น กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น, caustic soda, trichloroacetic acid, salicylic acid และ lactic acid แล้วตกตะกอนแป้งด้วยแอลกอฮอล์ กรองเอาเฉพาะส่วนตะกอน นำตะกอนไปอบแห้ง แล้วชั่งน้ำหนัก วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่าย แต่ความถูกต้องน้อย จึงไม่ค่อยนิยมใช้กันมากในการวิเคราะห์ปริมาณแป้ง

Optical method based on starch-iodine reaction

วิธีนี้เป็นการวิเคราะห์สารเชิงซ้อนสีฟ้าที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างอะมิโลสและไอโอดีน โดยไอโอดีนในสารละลายโพตัสเซียมไอโอไดด์จะให้ peak ของการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร แต่เมื่อไอโอดีนจับกับอะมิโลสในแป้งจะให้สารเชิงซ้อนสีฟ้าที่มี peak ของการดูดกลืนแสงเปลี่ยนไปที่ความยาวคลื่น 600 ถึง 620 นาโนเมตร วัดสารสีฟ้าที่เกิดขึ้นแล้วนำค่าที่ได้ไปเทียบกับกราฟมาตรฐานของแป้ง อย่างไรก็ตาม ความยาวคลื่นและค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (absorbtion coefficient) จะขึ้นอยู่กับค่า degree of polymerization (DP) ของโมเลกุลแป้ง อะมิโลเพกทินในแป้งสามารถจับกับไอโอดีน แต่จะให้สารประกอบสีม่วงแดง ซึ่งอาจรบกวนการวิเคราะห์ได้

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณแป้งโดยวิธีการวัดค่าการดูดกลืนแสง มีรายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก.

Polarimetric methods

วิธีนี้เป็นวิธีการวิเคราะห์แป้งที่นิยมกันมากที่สุดและเป็นวิธีที่กำหนดโดยสำนักงานคณะกรรมการมาตรฐานอุตสาหกรรมในการตรวจปริมาณแป้ง (ภาคผนวก ข.) แป้งในตัวอย่างจะถูกทำให้กระจายตัวในตัวทำละลายที่เหมาะสม แล้ววัดปริมาณแป้งจากส่วนของเหลวใส โดยใช้ค่ามุมของการเบี่ยงเบนแสงโพลาไรซ์ระนาบ (angle of rotation of the plane polarized light) ปริมาณแป้งหาได้จากค่าความแตกต่างระหว่างค่า optical rotation ของตัวอย่างและสารอื่นที่ไม่ใช่แป้งที่สามารถเบี่ยงเบนแสงโพลาไรซ์ระนาบ (blank) คูณด้วยแฟคเตอร์ที่ทราบค่า $[\alpha]_D^{20}$ ซึ่งค่านี้แตกต่างกันไปตามชนิดของแป้ง สำหรับแป้งมันสำปะหลัง ค่า $[\alpha]_D^{20}$ เท่ากับ 184 วิธีนี้เป็นวิธีที่ให้ผลการวิเคราะห์ใกล้เคียงกันในการวัดแต่ละครั้ง (good reproducibility) ง่ายและใช้เวลาน้อย แต่การปนเปื้อนของเฮมิเซลลูโลสและพอลิแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง จะมีผลกระทบต่อค่าทาง polarimetric เนื่องจากสารเหล่านี้สามารถกระจายตัวในกรดได้ ค่าที่ได้จะสูงกว่าความเป็นจริง

1.2.1.2 วิธีทางอ้อม (Indirect method)

แป้งถูกแยกออกจากสารเจือปน โดยจะถูกย่อยเป็น oligosaccharides หน่วยที่เล็กลง จากนั้นจึงหาปริมาณแป้งจากผลิตภัณฑ์ที่ถูกย่อย

วิธีนี้เป็นการวัดผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยแป้งเป็นน้ำตาล โดยการย่อยแป้งอาจใช้วิธีการย่อยด้วยกรด (Direct hydrolysis) (ภาคผนวก ค.) หรือเอนไซม์ (ภาคผนวก ง.) แล้ววัดคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่เกิดขึ้น เช่น การเปียงเบนแสงโพลาไรซ์ ความสามารถในการรีดิวิซ์ การใช้เอนไซม์ในการวัดน้ำตาล เป็นต้น ในกรณีที่น้ำตาลที่เกิดเป็นน้ำตาลกลูโคส ปริมาณแป้งคำนวณจาก

$$\text{ปริมาณแป้ง} = \text{ปริมาณกลูโคส} \times 0.9$$

1.2.2. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของแป้ง

1.2.2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้ง

ประกอบด้วยวิธีการวิเคราะห์หาความชื้น ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณเส้นใย ปริมาณเถ้า และปริมาณคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 1995) โดยมีรายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก จ. นอกจากนี้ยังสามารถหารายละเอียดวิธีการทดสอบสมบัติทางเคมีของแป้งได้จาก website ของ International Starch Institute, Science Park Aarhus, Denmark (<http://home3.inet.tele.dk/starch/isi/methods/>)

1.2.2.2 วิธีวิเคราะห์รูปร่างและการกระจายขนาดของเม็ดแป้งโดยใช้กล้องจุลทรรศน์

แป้งที่พบในธรรมชาติจะอยู่ในรูปของเม็ดแป้งที่มีรูปร่างและขนาดแตกต่างกันไปตามชนิดของแป้ง ลักษณะของเม็ดแป้งสามารถตรวจสอบได้โดยการส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ ซึ่งเป็นวิธีที่รวดเร็วและง่ายที่สุด สามารถตรวจดูลักษณะต่างๆของเม็ดแป้ง ได้แก่ รูปร่าง ตำแหน่งของ hilum (ตำแหน่งที่แขนของ maltese cross ตัดกันภายใต้แสงโพลาไรซ์) และการกระจายตัวของขนาดของเม็ดแป้ง รวมทั้งตรวจสอบความเสียหายของเม็ดแป้งที่สภาวะต่างๆและการปนเปื้อนของแป้งอีกชนิดหนึ่งได้ นอกจากนี้ในกรณีที่ต้องการดูโครงสร้างพื้นผิวอย่างละเอียดของเม็ดแป้ง สามารถใช้ scanning electron microscope (SEM) ซึ่งมีกำลังขยายมากกว่ากล้องจุลทรรศน์หลายร้อยเท่า

การวัดขนาดของเม็ดแป้งสามารถทำได้โดยตรงจากกล้องจุลทรรศน์ โดยใช้ haemocytometer แล้วอ่านค่าด้วยสายตา ความถูกต้องของข้อมูลขนาดเม็ดแป้งที่วัดจากกล้องจุลทรรศน์ขึ้นอยู่กับขนาดและจำนวนอนุภาคที่วัด ในการวัดอาจใช้อุปกรณ์ที่ช่วยให้การวัดรวดเร็วขึ้น ได้แก่ counters หรือโปรแกรม image analysis ซึ่งจะช่วยให้การวัดขนาดได้ค่าที่ถูกต้องมากขึ้น นอกจากนี้การวัดขนาดและการกระจายตัวของเม็ดแป้งสามารถใช้หลักการของ x-ray diffraction ได้ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวกและรวดเร็ว แต่เครื่องมือมีราคาแพง

วิธีวิเคราะห์รูปร่างและการกระจายขนาดของเม็ดแป้งโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ มีรายละเอียด ดังแสดงในภาคผนวก ฉ.

1.2.2.3 การหาปริมาณอะมิโลส (Amylose content)

แป้งจะประกอบด้วยพอลิเมอร์ 2 ชนิด คือ อะมิโลส และ อะมิโลเพกทิน ซึ่งปริมาณของพอลิเมอร์ทั้งสองจะแตกต่างกันตามชนิดของแป้ง และมีผลต่อคุณสมบัติต่างๆของแป้ง วิธีในการวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสที่สำคัญ ได้แก่

การทำให้เกิดสี (colorimetric method)

วิธีนี้อาศัยคุณสมบัติของอะมิโลสในการจับกับไอโอดีนแล้วได้สารประกอบสีน้ำเงิน วัดสีที่เกิดขึ้นได้ด้วย spectrophotometer เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุด แต่วิธีนี้จะใช้เวลา และต้องเตรียมกวาฟมาตรฐาน

ซึ่งส่วนใหญ่จะหาได้เฉพาะอะมิโลสของแป้งมันฝรั่งและปริมาณน้อย นอกจากนี้อะมิโลเพกทินที่มีกิ่งแขนงเป็นจำนวนมาก จะจับกับไอโอดีนได้น้อย ให้สารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีม่วงแดง ซึ่งสามารถบวกรวณการวัดค่าการดูดกลืนแสงของไอโอดีนกับอะมิโลสได้

การใช้ Differential Scanning Calorimeter

วิธีนี้จะคำนวณค่าปริมาณอะมิโลสจากพลังงานที่ใช้ในการละลายสารประกอบเชิงซ้อนของอะมิโลสและไขมัน ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อน้ำแป้งถูกให้ความร้อนในสภาพที่มีไขมันมากเกินไปเพื่อให้อะมิโลสในแป้งทั้งหมดจับกับไขมัน พลังงานที่ใช้ในการละลายจะได้จากพื้นที่ใต้กราฟของพีคที่เกิดขึ้น วิธีนี้จะสะดวกและรวดเร็ว ให้ผลการทดลองที่ถูกต้องสำหรับตัวอย่างที่ปริมาณอะมิโลสสูง

การใช้ High Performance Size Exclusion Chromatography (HPSEC)

วิธีนี้อาศัยความแตกต่างของเส้นผ่านศูนย์กลางและน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) ของตัวอย่าง โดยโมเลกุลที่มีขนาดแตกต่างกัน เมื่อเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ที่บรรจุด้วยวัสดุที่มีรูพรุน (packing material) จะมีความสามารถในการแพร่ผ่านแตกต่างกัน โมเลกุลที่มีขนาดเล็กสามารถแพร่ผ่านเข้าไปในรูพรุนและถูกกักไว้ ทำให้ถูกชะออกมาได้ช้าที่สุด ส่วนโมเลกุลที่มีขนาดกึ่งกลาง ไม่น้อยมากนักจะแพร่ผ่านได้เฉพาะบางส่วนของรูพรุนและจะถูกกักจากรูที่เล็กมากๆ ในขณะที่โมเลกุลที่มีขนาดใหญ่มากจะไม่สามารถแพร่เข้าไปในรูพรุนได้ จึงถูกชะออกมาจากคอลัมน์เป็นอันดับแรก (ภาคผนวก ข.)

1.2.2.4 การวิเคราะห์โครงสร้างของอะมิโลเพกทิน

ในการวิเคราะห์โครงสร้างของอะมิโลเพกทิน จะอาศัยการทำงานของเอนไซม์ที่มีความจำเพาะต่อพันธะต่างๆ ในโมเลกุลของอะมิโลเพกทิน ที่สำคัญคือ debranching enzymes ที่สามารถย่อยพันธะ α -1,6-glycosidic ที่ตำแหน่งกิ่งได้ โดยอาจใช้เอนไซม์ pullulanase หรือ isoamylase และเอนไซม์ β -amylase ที่สามารถย่อยพันธะ α -1,4-glycosidic จากปลาย non-reducing ให้น้ำตาลมอลโตส แต่ไม่สามารถย่อยพันธะ α -1,6-glycosidic ได้ ในการวิเคราะห์โครงสร้างของอะมิโลเพกทิน จะแยกส่วนของอะมิโลเพกทินออกจากอะมิโลสก่อน ดังแสดงไว้ในภาพที่ 2 จากนั้นจะศึกษาโครงสร้างอะมิโลเพกทินโดยใช้เอนไซม์ทั้งสองชนิด ส่วนประกอบที่ได้จากการย่อยจะตรวจสอบปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง ซึ่งค่าที่ได้จะนำมาคำนวณค่าต่างๆ ดังนี้ คือ จำนวนสายโดยเฉลี่ยของอะมิโลเพกทิน ความยาวโดยเฉลี่ยของสายอะมิโลเพกทิน เปอร์เซ็นต์เบตาอะไมโลไลซิส

1.3. ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างกับสมบัติหรือหน้าที่ของสตาร์ช

Hegenbart (1996) รายงานเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างกับสมบัติหรือหน้าที่ของสตาร์ช ที่มีส่วนสำคัญต่อการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารดังนี้

1.3.1. ขนาดและรูปร่างของเม็ดสตาร์ช

(Granule size and shape)

ขนาดของเม็ดสตาร์ชไม่ค่อยมีผลต่อสมรรถภาพของสตาร์ช แต่ก็เป็นปัจจัยต่อความเร็วในการเจลาติไนซ์ของสตาร์ชและอุณหภูมิที่เกิดเจลาติไนซ์ ตัวอย่างเช่น สตาร์ชจากข้าวและจากมันสำปะหลัง มีปริมาณอะมิโลสอยู่ในช่วงเดียวกัน แต่เม็ดสตาร์ชของมันสำปะหลังใหญ่กว่า ทำให้บวมน้ำได้เร็วกว่า กล่าวคือขนาดที่ใหญ่กว่าของเม็ดสตาร์ชเป็นผลจากพันธะระหว่างโมเลกุลภายในเม็ดสตาร์ชน้อยกว่า ทำให้บวมน้ำเร็วกว่า จึงเกิดเจลาติไนซ์ได้เร็วกว่า แต่ก็แตกได้เร็วกว่าด้วย เม็ดสตาร์ชขนาดใหญ่เป็นผลทำให้ความข้นหนืดที่สูงกว่า แต่ก็ไม่ทนต่อแรงเฉือน

เมื่อพิจารณาเม็ดสตาร์ชจากข้าวสาลีซึ่งประกอบไปด้วยเม็ดสตาร์ชขนาดแตกต่างกัน 2 ช่วง โดยที่มีองค์ประกอบของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินเช่นเดียวกัน ถึงแม้ว่าเม็ดสตาร์ชขนาดเล็กจะมีอุณหภูมิสูงสุดของการเกิดเจลลาคีในที่สูงกว่าขนาด 3°C แต่อุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลลาคีในซึ่ก็เท่าๆกัน ดังนั้นในกรณีขนาดของเม็ดสตาร์ชก็ไม่ใช่ว่าปัจจัยสำคัญต่อการเกิดเจลลาคีในซึ่ของสตาร์ช

1.3.2. อัตราส่วนระหว่างอะมิโลสต่ออะมิโลเพกติน

(Amylose:amylopectin ratio)

เมื่อเทียบขนาดเม็ดสตาร์ชที่เท่ากันพบว่าสตาร์ชจาก waxy corn ซึ่งองค์ประกอบทั้งหมดเป็นอะมิโลเพกติน สามารถบวมน้ำได้เร็วกว่าสตาร์ชจากข้าวโพดที่มีประมาณอะมิโลสสูงกว่า (ปริมาณ อะมิโลส 70%) ทั้งนี้เนื่องจากอะมิโลสเป็นโมเลกุลสายตรงทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายได้ดีกว่า ดังนั้นจึงต้องการพลังงานที่สูงกว่าเพื่อทำลายพันธะนี้ระหว่างเกิดเจลลาคีในซึ่ โดยทั่วไปสตาร์ชที่มีปริมาณ อะมิโลสที่สูงกว่าเจลลาคีในซึ่ที่อุณหภูมิสูงกว่า นอกจากนี้อัตราส่วนระหว่างอะมิโลสต่ออะมิโลเพกตินยังมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของสตาร์ชหลังเจลลาคีในซึ่ กล่าวคืออะมิโลสให้ความแข็งแรงของเจล แต่อะมิโลเพกตินให้ความข้นหนืด ดังนั้นอัตราส่วนที่สูงให้สมบัติในการเกิดเจล แต่ถ้าอัตราส่วนนี้ต่ำ เช่นพวก waxy starch จะให้ความข้นหนืดสูง ทั้งนี้สายโมเลกุลที่ตรงของอะมิโลสทำให้เกิดการเรียงตัวกันและจับกันระหว่างสายด้วยพันธะไฮโดรเจน เกิดเป็นเจลได้ง่าย ขณะที่อะมิโลเพกตินมีโครงสร้าง โมเลกุลที่เป็นกิ่งทำให้การจัดเรียงตัวกันของสายโมเลกุลเป็นไปได้ยาก เป็นผลทำให้มีพันธะไฮโดรเจนน้อยและความแข็งแรงของเจลต่ำ

สำหรับผลิตภัณฑ์จากการอัดรีด (extruded products) อะมิโลสทำหน้าที่ให้เกิดโครงร่างเจลและฟิล์ม ซึ่งสมบัติในการเกิดฟิล์มนี้ทำให้เกิดความกรอบของผลิตภัณฑ์ ในขณะที่อะมิโลเพกตินเป็นส่วนที่ช่วยให้เกิดการพองขยายตัวของโครงสร้างเซลล์อากาศ (ซึ่งเกิดเมื่อน้ำกลายเป็นไอ) ของผลิตภัณฑ์

ระหว่างเก็บผลิตภัณฑ์อะมิโลสเกิดเรียงตัวกันอีกได้ง่าย เกิดโครงสร้างผลึกและขับน้ำออกมาเรียกว่าเกิด retrograde ซึ่งให้ผลเสียต่อคุณภาพ ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ขณะที่ลักษณะโครงร่างแบบกิ่งของอะมิโลเพกตินทำให้มี steric hindrance มักจะไม่เกิด retrograde.

1.3.3. ขนาดโมเลกุลของอะมิโลสและอะมิโลเพกติน

(Molecular structure of amylose and amylopectin)

อะมิโลสที่มีสายยาวกว่าจะให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่เป็นสายเป็นเส้น เนื่องจากการจับกันระหว่างสายโมเลกุล ขนาดหรือน้ำหนักโมเลกุลของสายอะมิโลสยังมีผลต่อ elasticity ของเจลด้วย เมื่อขนาดโมเลกุลยาวขึ้น การจับกันระหว่างสายก็มากขึ้น เป็นผลทำให้ได้เจลที่แข็งแต่เปราะ (brittle) อย่างไรก็ตามเมื่อความยาวเลขนานหนึ่ง ($\approx MW$ ซึ่งเป็นขนาดของอะมิโลสในข้าวโพด) สายอะมิโลสที่ยาวกว่านี้ทำให้การเรียงตัวและจับกันระหว่างสายยาก ทำให้โครงร่างตาข่ายของเจลไม่ประสานกันทั่ว เกิดเป็นก้อนๆ (cohesive mass) แทนเจล เช่นที่เกิดในสตาร์ชจากมันฝรั่งและมันสำปะหลัง นอกจากนี้ยังพบว่าอะมิโลเพกตินที่มีสายกิ่งยาวๆมีแนวโน้มที่ทำให้เกิดเจลและความยาวของสายกิ่งที่เพิ่มขึ้นทำให้ความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น แต่ความสัมพันธ์ระหว่างความข้นหนืดกับความยาวของสายอะมิโลสบ่งว่าความยาวของสายอะมิโลสขนาดกลาง ให้ความข้นหนืดสูงสุด ขณะที่สายสั้นและสายยาวให้ความหนืดต่ำ

พันธะไฮโดรเจนระหว่างสายอะมิโลสเพิ่มขึ้นเมื่อความยาวของสายอะมิโลสเพิ่มขึ้น ทำให้ความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น แต่ก็จะทำให้เกิด retrograde เร็วขึ้นและง่ายขึ้นขณะเก็บผลิตภัณฑ์ เช่นเดียวกับสายกิ่งของอะมิโลเพกตินที่ยาวขึ้นก็ทำให้แนวโน้มในการเกิด retrograde เพิ่มขึ้นด้วย

1.3.4. Phosphorus

ในสตาร์ชมี phosphorus เป็นองค์ประกอบในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง สตาร์ชจากเมล็ดพืชจำพวกข้าว (cereal starch) phosphorus อยู่ในรูปของ lysophospholipid ซึ่งจับอยู่กับอะมิโลส ทำให้ความสามารถในการจับน้ำกับ phosphorus น้อย และทำให้แบ่งเปียกขุ่น ส่วน phosphorus ในสตาร์ชจากพืชหัว เช่น มันฝรั่งอยู่ในรูปของ phosphorus monoesters และอยู่ในโมเลกุลของสตาร์ชในรูปของกลุ่มที่มีประจุลบ ทำให้โมเลกุลของสตาร์ชจับกันน้อยลงและเพิ่มความสามารถในการจับน้ำของสตาร์ช

1.4. การดัดแปรแป้ง

แป้งดิบโดยทั่วไปมีสมบัติทางประการไม่เหมาะสมกับการผลิตในอุตสาหกรรม เช่น มีความคงทนต่อแรงเฉือนในกระบวนการผลิต ความคงทนต่อสภาวะต่างๆ ต่ำ ดังนั้นจึงมีการดัดแปรคุณสมบัติบางประการของแป้งดิบเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งาน เช่น ทำให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีขึ้น มีความคงตัวในการละลายจากการแช่แข็ง (freeze-thaw) เพิ่มขึ้น เป็นต้น การดัดแปรแป้งอาจทำได้หลายวิธี เช่น การดัดแปรสมบัติทางเคมีและ/หรือทางกายภาพด้วยความร้อน และ/หรือเอนไซม์ และ/หรือ สารเคมีชนิดต่างๆ เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่างๆ ซึ่งคุณลักษณะเกณฑ์ซึ่งบ่งต่างๆ ของแป้งดัดแปรแต่ละประเภทจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2535) สามารถจำแนกวิธีการดัดแปรแป้งได้เป็น 3 วิธีหลัก คือ การดัดแปรทางเคมี การดัดแปรทางกายภาพ และการดัดแปรโดยใช้เทคโนโลยีชีวภาพ (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543) ดังแสดงในตารางที่ 1.7

ตารางที่ 1.7 ประเภทของการดัดแปรแป้ง

ประเภทของการดัดแปรแป้ง*	วิธีการดัดแปร*	วัตถุประสงค์ของการดัดแปร	เอกสารอ้างอิง
การดัดแปรทางเคมี (Chemical modification)			
<ul style="list-style-type: none"> การเกิดอนุพันธ์ (derivatization) 	<ul style="list-style-type: none"> แทนที่สารใน โมเลกุลเดี่ยวของแป้ง (monostarch substitution) โดยปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน (esterification) เช่น แป้งแอซิเตต (starch acetate) หรือปฏิกิริยาอีเธอร์ริฟิเคชัน (etherification) เช่น แป้งไฮดรอกซีเอทิล (hydroxyethyl starch) แทนที่โมเลกุลที่มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่า 1 หมู่ เช่น แป้งครอสลิงก์ (cross-linked starch) 	<ul style="list-style-type: none"> ลดการพองตัวของเม็ดแป้ง ทำให้มีความหนืดต่ำลง และทำให้แป้งมีความคงทนต่อความร้อนและแรงเฉือน (Improved viscosity stability) ลดการเกิด retrogradation ความหนืดคงที่ที่อุณหภูมิต่ำ 	<p>นูชฤดี ศิริบุญ, 2534; Rutenberg และ Solarek, 1984; Hofreiter, 1986; Moser, 1986; Solarek, 1986; Tuschhoff, 1986; Sanders, 1996; Tessler และ Billmers, 1996; Kwon และคณะ, 1997; Kavitha and BeMiller, 1998;</p>
<ul style="list-style-type: none"> การลดขนาดโมเลกุลแป้ง โดยกรดหรือเอนไซม์ (acid or enzyme hydrolysis) 	<p>ตัดพันธะ glucosidic โดยการเติมกรด (HCl หรือ H_2SO_4) หรือ เอนไซม์ ลงในน้ำแป้งโดยมีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่เกิดเจลลิต์ในเซชันควบคู่ไปจนกระทั่งได้น้ำแป้งที่มีความหนืดตามที่ต้องการ</p>	<ul style="list-style-type: none"> ลดความหนืดของน้ำแป้ง การย่อยแป้งโดยใช้เอนไซม์ต่างๆ ตามกระบวนการที่เหมาะสมสามารถใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ ได้แก่ น้ำเชื่อม กลูโคส น้ำเชื่อมฟรักโทส ไฮโดล เดกซ์ทริน 	<p>Wurzburg, 1986; Hosney and Lineback, 1996; Aggarwal and Dollimore, 1998; Slominska และคณะ, 1998</p>
<ul style="list-style-type: none"> เดกซ์ทริไนเซชัน (dextrinization) 	<p>เป็นการลดขนาดหรือเปลี่ยนการจับเกาะ (depolymerization / transglycosylation) โดยใช้ความร้อน หรือความร้อนกับกรด แป้งที่ได้ จะมี degree of polymerization ต่ำ (DP = 20-50)</p>	<p>ลดความหนืดของน้ำแป้ง ทำให้มีความสามารถในการไหลดีขึ้น</p>	<p>Hosney and Lineback, 1996</p>

ตารางที่ 1.7 ประเภทของการดัดแปรแป้ง (ต่อ)

ประเภทของการดัดแปรแป้ง*	วิธีการดัดแปร*	วัตถุประสงค์ของการดัดแปร	เอกสารอ้างอิง
<ul style="list-style-type: none"> ออกซิเดชัน (oxidation) 	ทำให้เกิดการฟอกสีและลดขนาดของโมเลกุล(bleaching and depolymerization) โดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน	<ul style="list-style-type: none"> ลดการเกิด retrogradation แป้งเปียก สารละลาย และฟิล์มมีความใสมากขึ้น เจลที่ได้มีความคงตัวสูง 	Smith, 1982; Gron and Eklund, 1998; Zhu และคณะ, 1998
<ul style="list-style-type: none"> Granular cold-water-soluble starch 	ปรับสภาพแป้งด้วยแอลกอฮอล์และด่าง ทำให้เม็ดแป้งพองตัวแล้วปรับให้เป็นกลางด้วยกรดไฮโดรคลอริก	<ul style="list-style-type: none"> เพื่อให้ได้แป้งที่สามารถละลายได้ในน้ำเย็น จลของแป้งนี้มีลักษณะเนื้อสัมผัสเรียบ มีความยืดหยุ่น ความมันเงา และความแข็งแรงสูงกว่าแป้งฟรีเจล 	Jane and Seib, 1991; Chen และ Jane, 1994
การดัดแปรทางกายภาพ (Physical modification)			
<ul style="list-style-type: none"> เจลาติไนเซชัน (gelatinization) 	ให้ความร้อนแป้งจนผ่านขั้นตอนของเจลาติไนเซชันแล้วทำแห้งทันที ใช้ในการผลิตแป้งฟรีเจลาติไนเซชัน	เพิ่มความสามารถในการละลาย สามารถละลายในน้ำเย็นได้ทันที และไม่เกิดเจล	Powell, 1967; Gardiner, 1975
<ul style="list-style-type: none"> การลดขนาดเม็ดแป้งโดยทางกล 	บดให้เม็ดแป้งแตกโดยทางกล จะได้เม็ดแป้งขนาดเล็กกว่าปกติ	ปรับสมบัติทางการละลายและการเกิดเจล ทำให้แป้งถูกย่อยโดยเอนไซม์ได้ดีขึ้น	นิตติ เต็มเวชชยานนท์, 2543; Tamaki และคณะ, 1997; Piyachomkwan และคณะ, 1998

ตารางที่ 1.7 ประเภทของการดัดแปรแป้ง (ต่อ)

ประเภทของการดัดแปรแป้ง*	วิธีการดัดแปร*	วัตถุประสงค์ของการดัดแปร	เอกสารอ้างอิง
• Annealing	ให้ความร้อน ในขณะที่เม็ดแป้งอยู่ในอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเกิดเจลลาติในเซชัน	ทำให้ความหนืดสูงสุดขณะเกิดเจลลดต่ำลง และอุณหภูมิในการเกิดเจลเปลี่ยนไป	Jacobs and Delcour, 1998; Jacobs และคณะ, 1998; Muhrbeck and Wischmann, 1998; Schmiedl และคณะ, 1998
• การแปรรูปด้วยความร้อนชื้น (heat moisture treatment)	ให้ความร้อนสูงกว่าจุดเจลลาติในเซชันแก่แป้งมีความชื้นต่ำ	ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในด้านโครงสร้างของผลึกในเม็ดแป้ง โดยเฉพาะแป้งที่มีผลึกประเภท B (พืชหัว เช่น มันฝรั่ง) จะมีส่วนหนึ่งเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลึกประเภท A ซึ่งจะทำให้คุณสมบัติทางด้านความร้อนและความหนืดเปลี่ยนไป	Sari, 1964; Stute, 1992; Jacobs and Delcour, 1998
• Retrograding	ให้ความร้อนแป้งจนผ่านขั้นตอนของเจลลาติในเซชันแล้วทำให้เป็นลงจนแป้งเกิดการคืนตัว (Retrogradation)	ผลิต resistance starch ซึ่งไม่สามารถถูกย่อยสลายได้โดยเอนไซม์ในลำไส้เล็ก	เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ และ กล้าณรงค์ ศรีรอด, 2544
การดัดแปรทางเทคโนโลยีชีวภาพ (Biotechnological modification)	เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของแป้ง โดยใช้เทคนิคการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม	เพื่อให้ได้แป้งที่มีลักษณะพิเศษ เช่น waxy starch คือ แป้งที่อะมิโลสต่ำหรือไม่มีเลย หรือ high-amylose starch คือ แป้งที่มีอะมิโลสสูง	Zuber, 1965; Baba and Arai, 1984; Kortstee และคณะ, 1998.

* ดัดแปลงจาก กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543

ซึ่งการดัดแปรด้วยวิธีทางกายภาพนี้ได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่ใช้สารเคมี และสามารถดัดแปรแป้งให้มีสมบัติต่างๆได้ตามความต้องการในระดับที่ตัดเทียมกันดังจะกล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

1.5. การดัดแปรแป้งและสตาร์ชโดยวิธีการทางกายภาพ

(Physical Modification of Flours and Starches)

จากการวิจัยผลของวิธีการทางกายภาพต่างๆที่ใช้ในกระบวนการผลิตอาหารต่อโครงสร้างและสมบัติของแป้งและสตาร์ช พบว่าสามารถนำวิธีการเหล่านี้มาดัดแปรแป้งและสตาร์ชเพื่อให้มีสมบัติเชิงหน้าที่ (functional properties) เพื่อการใช้งานต่างๆได้อย่างหลากหลาย ซึ่งปัจจุบัน The National Starch and Chemical Company แห่ง Bridgewater, N.J., USA ได้วางตลาดผลิตภัณฑ์ที่ดัดแปรด้วยกระบวนการทางกายภาพล้วนๆไม่มีการใช้สารเคมีและ/หรือเอนไซม์เลย กระบวนการทางกายภาพนี้ทำให้ native starch ซึ่งไม่ทนต่อความร้อน แรงเฉือนและสภาวะที่เป็นกรดซึ่งใช้ในระหว่างกระบวนการผลิตและการเก็บผลิตภัณฑ์ให้มีสมบัติเช่นเดียวกับสตาร์ชที่ผ่านการดัดแปรทางเคมีหรือด้วยเอนไซม์ โดยเรียกผลิตภัณฑ์นี้ว่า Functional native starch (Vega Garca and Bontous, 2002)

สมบัติของ Functional native starch ในตลาดปัจจุบันคือ

- ◆ เสถียรต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ทนต่อความร้อน (temperature resistance)
- ◆ ทนต่อแรงเฉือนและ pH (shear and pH tolerance)
- ◆ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บยาว (storage stability)
- ◆ มีเนื้อสัมผัสเนียน (smooth texture)
- ◆ ไม่รู้สึกเป็นแป้งเปียกในปาก (non-pasty mouthfeel)
- ◆ ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีรสนุ่มนวลและมีรสพิเศษเฉพาะที่โดดเด่น (provider of a flavor

profile that allows delicate and distinct flavors in finished food products)

นอกจากนี้ข้อดีของการดัดแปรโดยวิธีการทางกายภาพคือเป็นส่วนผสมที่สามารถบ่งบอหลากหลายอาหารได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ โดยไม่ต้องแจ้ง "E-number" บนฉลากผลิตภัณฑ์ เนื่องจาก ปัจจุบันผู้บริโภคในประเทศที่มีฐานะทางเศรษฐกิจสูง นิยมบริโภคผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ ดังนั้นถึงแม้ว่า E-number จะบ่งว่า the European Unions อนุญาตให้ใช้ผลิตภัณฑ์หรือส่วนผสมนี้ในผลิตภัณฑ์อาหารได้ ก็ยังเป็นภาพลบของผลิตภัณฑ์ต่อผู้บริโภค ทำให้ผู้ผลิตพยายามสรรหาส่วนผสมที่สามารถบ่งได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ แต่สามารถทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะตามที่ต้องการ จึงถือได้ว่าการดัดแปรสตาร์ชทางกายภาพเป็น breakthrough ทาง สตาร์ช เทคโนโลยี และทำให้สามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์ ต่างๆได้หลากหลาย Functional native starch นี้สามารถใช้ได้ในผลิตภัณฑ์นม ชุป เครื่องปรุงรส น้ำสลัด เกรวี่ทั้งที่มี pH สูงและต่ำ ซอส อาหารเด็กอ่อน และผลิตภัณฑ์จากผลไม้

วิธีการทางกายภาพต่างๆที่มีการศึกษาสำหรับดัดแปรแป้งและสตาร์ชสรุปได้ดังนี้

- ◆ Annealing
- ◆ Heat moisture treatment หรือ Hydrothermal treatment
- ◆ Ultra high pressure
- ◆ Extrusion cooking
- ◆ Microwave

Annealing ทำได้โดยผสมแป้งหรือสตาร์ชกับน้ำ โดยใช้ปริมาณน้ำต่อแป้งสูง (น้ำ:แป้ง = 1:1 - 5:1) และนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิที่สูงกว่า glass transition temperature แต่ต่ำกว่า gelatinization temperature ของแป้งนั้นเป็นเวลานาน (อย่างต่ำ 6 ชั่วโมง และเพื่อให้มีการตัดแปรงมากต้องใช้เวลา 95 ชั่วโมง) annealing ทำให้แป้งเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยไม่เกิดเจลาติโนสหรือเกิดความเสียหายต่อขนาด รูปร่างและลักษณะ birefringence ของเม็ดแป้ง แต่มีผลทำให้แป้งที่ได้เจลาติโนสที่อุณหภูมิสูงขึ้น แต่เอนทาลปีของการเจลาติโนสลดลง เนื่องจากกระบวนการนี้เปลี่ยนแปลงแรงของพันธะระหว่างส่วนผลึกกับส่วนอสัณฐานภายในเม็ดแป้ง (Larsson and Eliasson, 1991)

Heat moisture treatment (HMT) เช่นเดียวกันกับวิธี annealing แป้งเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยไม่เกิดเจลาติโนสหรือความเสียหายต่อขนาด รูปร่างและลักษณะ birefringence ของเม็ดแป้ง แต่การหลีกเลี่ยงการเกิดเจลาติโนสของแป้งทำโดยการใช้ความชื้นหรืออัตราส่วนของน้ำต่อแป้งต่ำ ขณะใช้อุณหภูมิสูง ซึ่งวิธีการนี้สามารถตัดแปรงแป้งได้มากกว่าและเร็วกว่า แป้งที่ตัดแปรงโดยวิธีนี้พบว่ามีสมบัติการเกิดเจลาติโนสและสมบัติทางการไหลไม่แตกต่างจากที่ตัดแปรงโดย annealing แต่การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในเม็ดแป้งต่างกันคือ heat moisture treatment ทำให้ผลึกแบบ B จัดเรียงเป็นแบบ A (Stute, 1992) กระบวนการนี้ประกอบด้วย การปรับให้แป้งมีความชื้นที่ต้องการ ($\approx 20\%$) โดยบ่มไ้ระยะเวลาหนึ่งเพื่อให้น้ำแพร่กระจายทั่วจนแป้งมีความชื้นสม่ำเสมอ แล้วจึงนำไปให้ความร้อนด้วยไอน้ำ (เช่นการ autoclave ที่ $\approx 120^{\circ}\text{C}$ นาน 240 นาที) แต่วิธีการนี้ออกนอกทำให้ผลึกภายในเม็ดแป้งเปลี่ยนแปลงไป โดยมีการจัดเรียงตัวใหม่หรือเกิดการจับกับของสายโมเลกุล (association of the starch chain) แล้ว ยังทำให้แป้งเจลาติโนสบางส่วนด้วย (14-20%) โดยเฉพาะตรงส่วนที่แป้งสัมผัสกับไอน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากการควบคุมของไอน้ำระหว่างกระบวนการ (Lerenz and Kulp, 1983, Stute, 1992 และ Abraham, 1993) เพื่อป้องกันการควบคุมของไอน้ำซึ่งมีผลทำให้แป้งตรงนั้นมีความชื้นสูงพอ และเจลาติโนสได้ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการลดความดันในเครื่องให้มีความดัน 30 Torr ก่อนให้ความร้อนด้วยไอน้ำ (Maruta และคณะ, 1994) วิธีนี้แป้งเจลาติโนสเพียง 2.6% เรียกว่า reduced pressurized heat-moisture treatment (RP-HMT) แป้งที่ตัดแปรงด้วยวิธี HMT หรือ RP-HMT มีลักษณะแตกต่างจาก native starch (Abramham, 1993; Kawabata และคณะ, 1994 และ Maruta และคณะ, 1994) ดังนี้

- ◆ อุณหภูมิของเจลาติโนสสูงขึ้น แต่เอนทาลปีของการเจลาติโนสและค่าความหนืดสูงสุดระหว่างการเจลาติโนสลดลง จากการศึกษา Brabender diagram pattern และ DSC pattern
- ◆ ความสามารถในการบวมน้ำ (swelling property) ลดลง
- ◆ ผิวเม็ดแป้งเปลี่ยนแปลงโดยพบว่ามีการติดสี Safranin T และ Direct Sky Blue 5B เพิ่มขึ้น แต่โครงสร้างรวมของเม็ดสตาร์ชไม่เปลี่ยนแปลง
- ◆ ค่า α -amylase digestibility และ absorbability สูงขึ้น และค่าทั้งสองนี้เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในกระบวนการตัดแปรง บ่งว่าแป้งที่ผ่านการตัดแปรงที่น้อยได้ง่ายขึ้น (แต่แป้งที่ตัดแปรงด้วยวิธี RP-HMT มีตะกอนที่ตกหลังจากการย่อยด้วยเอนไซม์แล้วเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งบ่งว่ามีส่วนของแป้งที่ต้านทานการย่อยด้วยเอนไซม์เพิ่มขึ้นด้วย)
- ◆ ความสามารถในการทนความร้อนและแรงเฉือนเพิ่มขึ้น
- ◆ ความชื้นหนืดลดลง
- ◆ ผลึก type B เปลี่ยนการจัดเรียงเป็น type A แต่ผลึก type A ไม่มีการเปลี่ยนการจัดเรียง

ในการใช้ ultra high pressure ตัดแปรงนั้น แป้งถูกเจลาติโนสด้วยความดัน 600-900 MPa ที่ 30°C (Stolt and Autio, 2002) โดยผสมแป้งหรือสตาร์ชที่ต้องการตัดแปรงลงในสารแขวนลอยสตาร์ชที่มีความเข้มข้น 2% และ

ผ่านการเจลาติไนซ์แล้ว ขั้นตอนนี้ป้องกันการตกตะกอนของสตาร์ชในระหว่างการอัดความดัน สตาร์ช (ที่ผ่านการดัดแปรที่ความดันต่าง ๆ เป็นเวลานานต่างๆกัน) ถูกนำไปศึกษาด้วย

- ◆ กล้องจุลทรรศน์ภายใต้ polarized light
- ◆ การย้อมสีแล้วศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ภายใต้แสงธรรมดา
- ◆ ลักษณะทางการไหล

พบว่า

◆ สตาร์ชจาก waxy corn (8.2%) เกิดเป็นเจลอ่อนๆหลังจากถูกอัดที่ 600 MPa นาน 10 นาที เจลนี้มีค่า storage modulus สูงกว่าเจลที่ได้จากการเจลาติไนซ์ด้วยความร้อนประมาณ 10 เท่า จากกล้องจุลทรรศน์พบว่าเจลนี้เกิดจากการบวมของเม็ด สตาร์ช ซึ่งทั้ง birefringence และโครงสร้างเม็ดสตาร์ชหายไป เกิดเป็นโครงร่างตาข่ายแบบ colloid

◆ เม็ดสตาร์ชของ amilomaize (8.2%) มีการบวมเพียงเล็กน้อยหลังการอัดที่ 900 Mpa นาน 50 นาที และ birefringence ยังคงอยู่ นอกจากนี้ค่าความหนืดก็ไม่เปลี่ยนแปลง

◆ สตาร์ชจากมันฝรั่ง (8.2%) เกิดเจลที่แข็งมากจากการอัดที่ 750 MPa นาน 30 นาที เช่นเดียวกับ waxy corn เจลนี้มีค่า storage modulus สูงกว่าเจลที่ได้จากการเจลาติไนซ์ด้วยความร้อนประมาณ 10 เท่า เนื่องจากระหว่างการอัดที่ความดันสูง เม็ดสตาร์ชมันฝรั่งสูญเสียลักษณะ birefringence บวมและแตก นอกจากนี้ยังพบว่าอะมิโลสและอะมิโลเพกตินออกมาอยู่ใน continuous phase ด้วย

สตาร์ชจาก barley (10%) ไม่เกิดเจลจากการอัดที่ 600 MPa นาน 50 นาที แต่ความข้นหนืดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากเม็ดสตาร์ชบวมเป็นบางส่วนแต่ลักษณะ birefringence สูญเสียหมด

นอกจากนี้ยังพบว่าผลิตภัณฑ์ type B ทนความดันได้ดีกว่า type A และ C (Stute และคณะ, 1996)

การดัดแปรด้วย extrusion cooking (Pérez-Sira and González-Parada, 1997) โดยปรับความชื้นของแป้งเป็น 25% แล้วอัดรีดที่ 150°C หรือปรับความชื้นของแป้งเป็น 10.21% แล้วอัดรีดที่ 100°C ความเร็วสกรู 90 รอบต่อนาที พบว่ากระบวนการนี้ทำให้สตาร์ชมันสำปะหลังมีความสามารถในการดูดซับ ละลายและบวมน้ำลดลง

การอบสตาร์ชจากพืชหัวเช่นมันฝรั่งและมันสำปะหลังที่ความชื้น $\leq 20\%$ ด้วยไมโครเวฟไม่มีผลต่อลักษณะโครงสร้างผลึก สมบัติทางการไหล และความสามารถในการละลาย แต่ลดปริมาณ resistant starch¹ (RS) ส่วนที่ความชื้น 20-35% การอบด้วยไมโครเวฟมีผลทำให้สตาร์ชที่ได้มีอุณหภูมิที่สตาร์ชเจลาติไนซ์สูงขึ้น และลักษณะของ gelatinization curve ก็เปลี่ยนไป โดยมีลักษณะเหมือนกับการเจลาติไนซ์ของสตาร์ชจากเมล็ดพืชจำพวกข้าว (cereal) ลักษณะโครงสร้างผลึกเปลี่ยนโดยผลิตภัณฑ์ type B เปลี่ยนเป็น type A ในสตาร์ชมันฝรั่ง ความสามารถในการละลายและปริมาณ RS ลดลง สรุปได้ว่าสามารถใช้วิธีการอบด้วยไมโครเวฟเพื่อผลิตสตาร์ชที่ร่างกายสามารถย่อยได้ดีขึ้น (yna Lewandowicz และคณะ, 1997)

¹ Resistant starch มีคำจำกัดความทาง physiology คือเป็นสตาร์ชส่วนที่ไม่ถูกย่อยในลำไส้เล็กและถูกจำแนกออกเป็น 3 ชนิด คือ physically inaccessible starch (RS1), resistant starch granules (RS2) และ retrograded starch (RS3)

1.6. การเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) และปัจจัยที่ส่งผล

1.6.1. ความหมายของ Retrogradation

Retrogradation เป็นคำที่ใช้เรียกการเปลี่ยนแปลงของเจล เพสต์ หรือสารละลายของแป้งที่เกิดขึ้น เนื่องจากการกลับเข้ามารวมตัวกันใหม่ของโมเลกุลแป้งที่มีลักษณะเป็นสายตรง ถ้าความเข้มข้นของแป้งน้อย (2% หรือต่ำกว่า) สารละลายของแป้งจะมีความขุ่นเพิ่มขึ้น ถ้าความเข้มข้นของแป้งสูง หรือในแป้งที่มีลักษณะเป็นเจล เมื่อทำให้เย็นเจลของแป้งจะเกิดการแข็งตัวและมีการปลดปล่อยน้ำออกมาบางส่วน

การเกิด retrogradation จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงดังต่อไปนี้ คือ

- แป้งจะทนต่อการย่อยของ amylase มากขึ้น
- เจลหรือสารละลายแป้งมีความขุ่นเพิ่มขึ้น
- สารละลายแป้งมีความหนืดลดลง
- เมื่อสารละลายหรือเจลแป้งที่เกิด retrogradation ทำปฏิกิริยากับไอโอดีนจะให้สารประกอบเชิงซ้อนสีม่วง หรือม่วงแดงแทนสีน้ำเงิน
- การละลายของแป้งลดลง

1.6.2. ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิด Retrogradation

1.6.2.1 ปริมาณอะมิโลสและอะมิโลเพกตินในแป้ง

แป้งที่มีปริมาณอะมิโลสมากกว่ามีแนวโน้มที่จะเกิด retrogradation ได้มากกว่า เนื่องจากอะมิโลสมีลักษณะโมเลกุลเป็นสายตรงยาว สามารถรวมตัวกันได้ง่าย อะมิโลเพกติน สามารถเกิด retrogradation ได้แต่จะเกิดในอัตราที่ต่ำกว่า เนื่องจากมีลักษณะเป็นกิ่งก้านสาขา

1.6.2.2 น้ำหนักโมเลกุลของอะมิโลส

อะมิโลส ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมากจะเกิด retrogradation ได้น้อย เนื่องจากเกิดการเคลื่อนที่แบบ Brownian มากไป ทำให้โมเลกุลมารวมตัวกันเกิดพันธะได้ยาก ในทางกลับกัน อะมิโลส ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่มาก (น้ำหนักโมเลกุลสูง) จะเกิด steric effect ทำให้เกิดพันธะไม่สะดวก อะมิโลส ที่มีขนาดโมเลกุลพอเหมาะเท่านั้นที่จะเกิด retrogradation ได้ในอัตราสูงสุด

1.6.2.3 อุณหภูมิ

ถ้าอุณหภูมิสูงมาก โมเลกุลจะมีพลังงานจลน์สูง มีการเคลื่อนที่มาก ทำให้การจัดเรียงโมเลกุลเป็นไปได้ยาก ถ้าอุณหภูมิต่ำลง การเคลื่อนที่น้อยลง ทำให้โมเลกุลจัดเรียงตัวกันได้มากขึ้น จึงเกิด retrogradation ได้มากขึ้น

1.6.2.4 ความเข้มข้นของแป้ง

ถ้าความเข้มข้นของแป้งเพิ่มขึ้น อัตราเร็วการเกิด retrogradation จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากโมเลกุลมีโอกาสที่จะอยู่ใกล้กันและเกิดพันธะต่อกันได้มากขึ้น

1.6.2.5 pH ของระบบ

Retrogradation จะเกิดได้ดีกว่าในระบบที่มี pH ต่ำๆ เนื่องจากแป้งบางส่วนจะถูกย่อยให้มีโมเลกุลเล็กลง ทำให้เกิดการรวมตัวได้ดีขึ้น ในขณะที่ถ้า pH สูงขึ้นมากๆ ($\text{pH} \gg 7$) อัตราการเกิด retrogradation จะลดลง เนื่องจากแป้งมีการละลายได้ดีขึ้น

1.6.2.6 สารอื่นๆในระบบ

สารที่ทำให้เกิด retrogradation ได้ดีขึ้น

lead acetate, barium acetate, calcium chloride, calcium sulfate, ferric sulfate และเกลือ sulfate อื่นๆ สารประเภทนี้จะทำให้เกิดการรวมตัวของโมเลกุลแป้งได้ดีขึ้น

สารที่ทำให้เกิด retrogradation ลดลงน้อย

Ammonium thiocyanate (NH_4SCN), tannin, chloroform, ether, protein, amino acid และ น้ำตาล

สารที่ทำให้เกิด retrogradation ลดลงมาก

Anionic arylalkyl-sulfonate, nonionic surfactant และ polyethylene stearate เป็นต้น สารประเภทนี้จะไปเกาะเคลือบที่ผิวของเม็ดแป้ง ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลลดลง

1.7. การใช้แป้งและสตาร์ชในอุตสาหกรรม

แป้งและสตาร์ชมีสมบัติที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์เชิงอุตสาหกรรมคือให้ความข้นหนืด ให้โครงสร้างสามารถอุ้มน้ำได้ดีภายหลังการเกิดเจลลาติโนส สามารถประสานและทำให้วัตถุติดกัน (ตารางที่ 1) จากสมบัตินี้จึงมีการนำสตาร์ชไปใช้ในอุตสาหกรรมทั้งอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมอื่นๆ

ตารางที่ 1.8 สมบัติของแป้งและสตาร์ชซึ่งนำมาใช้ประโยชน์เชิงอุตสาหกรรม

▪ ความข้นหนืด (viscosity)
▪ ความสามารถในการเกิดโครงร่างตาข่าย (gel formation)
▪ ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water binding capacity)
▪ ความสามารถในการประสานให้เป็นเนื้อเดียวกัน (binder)
▪ ความสามารถในการติดระหว่างผิว (adhesion and adhesive power)

ในอุตสาหกรรมอาหารมีการใช้แป้งและสตาร์ชในปริมาณมากและอย่างหลากหลาย โดยทำหน้าที่ต่างๆ เหล่านี้

เป็นส่วนประกอบหลักและให้คุณค่าทางโภชนาการ(ให้พลังงาน)

ให้โครงสร้างและเนื้อสัมผัส

เพิ่มความข้นหนืด

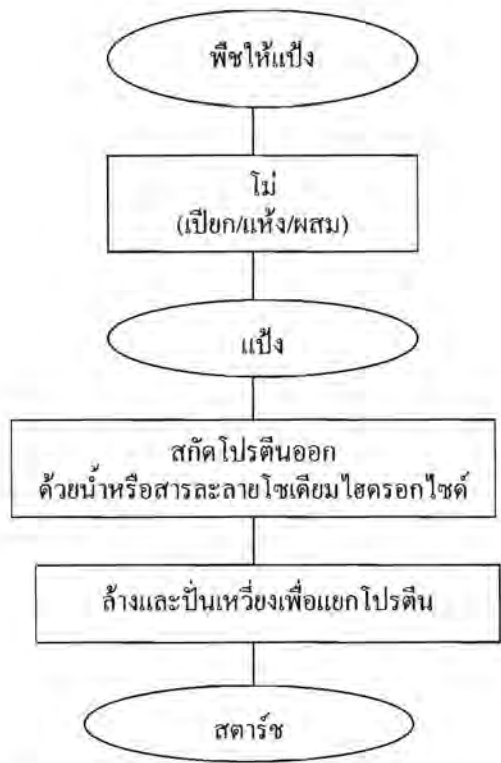
เพิ่มความเสถียรโดยต้านทานการแยกชั้นของผลิตภัณฑ์

การใช้แป้งและสตาร์ชในอุตสาหกรรม/ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใช่อาหาร (non-food applications) นั้นเนื่องจากจากสมบัติในการประสานให้เป็นเนื้อเดียวกันและในการติดระหว่างผิว(เป็นกาบ) การใช้สตาร์ชใน ยุโรป (Röder, 2002) สำหรับ

อุตสาหกรรมกระดาษและกระดาษลูกฟูก	1.9 ล้านตัน/ปี
เป็นตัวประสานและกา	0.5 ล้านตัน/ปี
วัตถุดิบในการหมักและผลิตสารเคมี	1.0 ล้านตัน/ปี

การใช้สตา์รซ์เป็นวัตถุดิบในกระบวนการหมักและการผลิตสารเคมีนั้น สตา์รซ์ต้องผ่านการย่อยสลายก่อน ในการผลิตสารเคมีจะใช้กลูโคสและอนุพันธ์ของกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลาย ในอุตสาหกรรมกระดาษและสิ่งทอ ใช้สตา์รซ์เพื่อการเคลือบผิวด้วย ปัจจุบันมีการนำสตา์รซ์ไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆเพื่อใช้ทดแทนสารเคมีสังเคราะห์เช่นสารซักฟอก (detergent) พลาสติกทนความร้อน (thermo-plastic) องค์กรประกอบในผลิตภัณฑ์เภสัชกรรมและเครื่องสำอางค์

กระบวนการสกัดแป้งและสตา์รซ์จากพืช เพื่อนำไปใช้เชิงพาณิชย์สำหรับอุตสาหกรรมต่างๆสรุปได้ดังในภาพที่ 1.3 เนื่องจากรายละเอียดของกระบวนการนี้สำหรับพืชเศรษฐกิจที่ให้แป้งต่างๆได้รวบรวมไว้ในหนังสือเทคโนโลยีแป้ง (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมหาวิญ, 2545) ดังนั้น จึงไม่รายงานในเอกสารนี้ กระบวนการผลิตแป้งและสตา์รซ์เป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานสูง แต่มีผลทำให้เกิดมลภาวะเป็นพิษต่ำ เนื่องจากเป็นระบบปิด อีกทั้งยังสามารถแยกผลพลอยได้ (by-products) ทั้งหมดจากขั้นตอนต่างๆกลับมาใช้เชิงอุตสาหกรรมได้อีก เช่น โยอาหาร (food fibers ซึ่งเป็น hemicellulose) น้ำมัน (เช่นน้ำมันจากรำข้าว ข้าวโพดและข้าวสาลี) โปรตีนในน้ำสกัดโปรตีนจากกระบวนการสกัดโปรตีนออกจากแป้งเพื่อให้ได้สตา์รซ์ หรือโปรตีนในข้าวสาลี (wheat gluten) โดยนำกลับมาเป็นองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์อาหารและอาหารสัตว์ หรือนำไปเป็นวัตถุดิบในการหมักเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์อื่น



ภาพที่ 1.3 กระบวนการสกัดแป้งและสตา์รซ์จากพืช

เพื่อขยายประโยชน์เชิงอุตสาหกรรมของสตา์รซ์ จึงได้มีการนำสตา์รซ์มาดัดแปร การดัดแปรสามารถทำได้โดยการย่อยด้วยกรดหรือเอนไซม์เพื่อลดขนาดโมเลกุล และโดยการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ในโมเลกุลของคาร์โบไฮเดรตของสตา์รซ์ด้วยการ esterify หรือ etherify การดัดแปรนี้ทำให้สมบัติต่างๆของ สตา์รซ์ที่กล่าวมาข้าง

ต้นเปลี่ยนแปลงไป ทั้งยังอาจเปลี่ยนแปลงสมบัติการละลายและอุณหภูมิที่เกิดเจลติไนซ์ด้วย การใช้งานในอุตสาหกรรมของสตาร์ช (Röper, 1996) สตาร์ชดัดแปรและผลพลอยได้นั้นสรุปได้ดังในตารางที่ 2 และในรูปที่ 1 แสดงสารต่างๆที่สามารถผลิตได้จากสตาร์ชและนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆได้

นอกจากอุตสาหกรรมอาหารแล้วอุตสาหกรรมกระดาษมีการใช้สตาร์ชและสตาร์ชดัดแปรมากที่สุด และใช้ในหลายขั้นตอนในกระบวนการผลิตดังนี้

- ใช้สตาร์ชดัดแปรที่มีประจุบวกเพื่อจับกับเยื่อกระดาษซึ่งเป็นเซลลูโลสที่มีประจุลบ ทำให้มีการจับกันของเยื่อกระดาษเป็นก้อน (flocculation) ที่แข็งแรง เป็นผลทำให้ขี้น้ำออกจากก้อนเยื่อกระดาษได้ดี และเพิ่มความแข็งแรงของแผ่นกระดาษแห้ง
- พ่นน้ำสตาร์ชบนแผ่นกระดาษเปียกก็มีผลทำให้ความแข็งแรงของแผ่นกระดาษเพิ่ม นอกจากนี้สตาร์ชที่ถูกพ่นยังมีสมบัติเป็นกาวหลังจากที่เกิดเจลติไนซ์ในระหว่างการอบแห้ง จึงทำให้สามารถประกบแผ่นกระดาษเป็นชั้นๆได้ในการผลิตกระดาษแข็ง
- ใช้สตาร์ชเพื่อปรับผิวกระดาษ (surface sizing) โดยฉีดน้ำสตาร์ชแล้วผ่านเครื่องอัดลูกกลิ้ง แรงอัดระหว่างลูกกลิ้งทำให้สตาร์ชที่เจลติไนซ์แทรกเข้าไปในเนื้อกระดาษ เป็นผลทำให้แผ่นกระดาษแข็งแรงและแข็งแรงขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้หมึกพิมพ์ติดสμάเสมอ

นอกจากในกระบวนการผลิตกระดาษแล้ว ในการผลิตหมึกพิมพ์ก็ใช้สตาร์ช เพื่อทำให้ลักษณะการไหลของหมึกเหมาะสมต่อการพิมพ์ด้วย

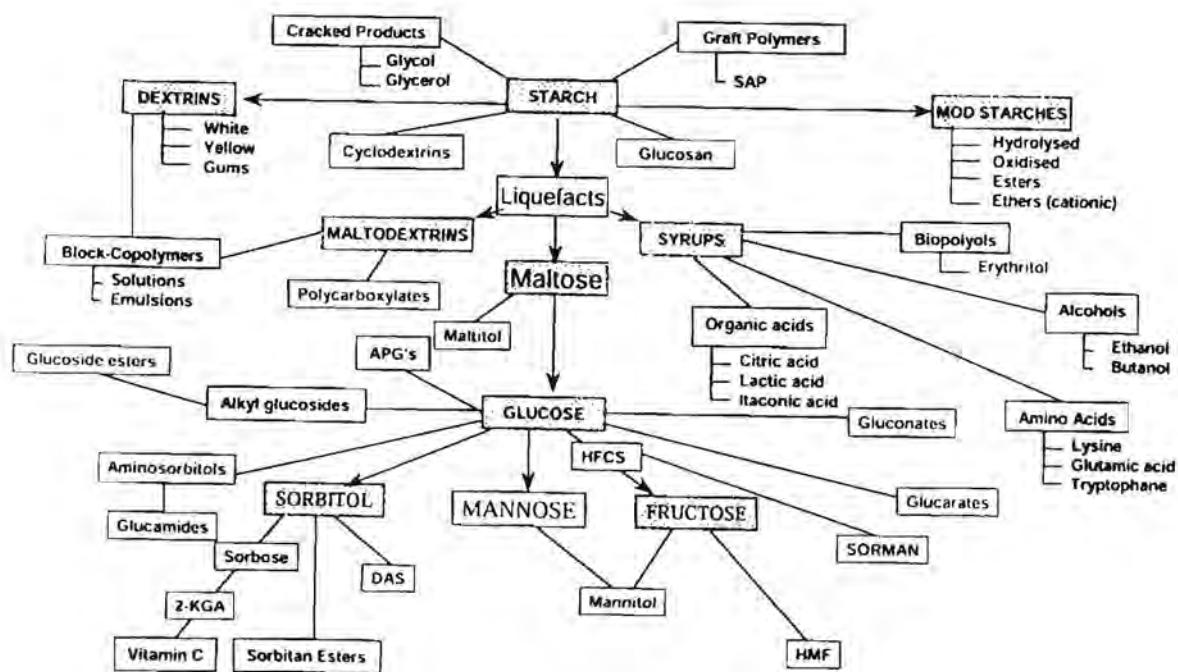
ตัวประสานที่ผลิตมาจากสตาร์ช (starch-based binder) ก็สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมหลากหลาย (Koch et.al., 1993 ข) เช่น

- ประสานผงยาในการตอกเม็ดยา
- ใช้สตาร์ชที่มีประจุบวกเพื่อทำให้เกิดการจับกันเป็นก้อนของวัสดุเซรามิกในการผลิต เซรามิกสำหรับเตาไฟฟ้า กรณีนี้สตาร์ชทำหน้าที่เป็นทั้งตัวประสาน และเป็นตัวช่วยในการจับกันเป็นก้อนและช่วยในการดึงน้ำออกจากก้อนที่จับตัวกันด้วย ซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่า green bonding
- ประสานผงอลูมิเนียม ผ่านหิน โลหะ ในการผลิตอิฐผ่านหินก้อน (briquette) ในกรณีนี้ถ้าสตาร์ชที่ใช้เป็น carbamate starch ซึ่ง carbonise ที่ 300°C ซึ่งเพิ่มโครงกระดูกคาร์บอนจึงทำให้อิฐผ่านหินนี้เสถียรระหว่างการเผาไหม้
- ประสานผงผ่านหินเพื่อผลิตกราฟไฟท์สังเคราะห์สำหรับขั้วไฟฟ้า (electrode) เช่นเดียวกับการผลิตอิฐผ่านหินก้อน การผลิตกราฟไฟท์สังเคราะห์ต้องการการเกิด carbonise ของสตาร์ชที่โครงกระดูกคาร์บอนที่ 300°C และต้องมีการเผาต่อที่ $\approx 3000^{\circ}\text{C}$

ตารางที่ 1.9 ประโยชน์เชิงอุตสาหกรรมของสตาร์ช สตาร์ชดัดแปรและผลพลอยได้

Raw Materials	Processes	Products and Byproducts	Applications	Industries
Cereals/Tubers	Milling Extraction Deproteinization	Product: Starch	Thickener Binder Adhesive Cobuilder Thermo-plastic Complexing agent Floculating agent Coating/Sizing Extender Filler Stabilizer Texture modifier Processing aid	Food/Feed Paper & Corrugating Textile Packaging Cosmetics & toiletries Pharmaceuticals
		Byproducts:		
		• Fibers, hemicellulose, bran	Food ingredient	Food/Feed
		• Germ oil	Food ingredient	Food/Feed
		• Gluten	Food ingredient	Food/Feed
		• Steepwater	Fermentation feed stock	Food
Starch	Modification	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Modified starches <ul style="list-style-type: none"> • Hydrolysed • Oxidised • Esters • Ethers • Crossbonded ◆ Dextrins 	Thickener Binder Adhesive Cobuilder Thermo-plastic Complexing agent Floculating agent Coating/Sizing Extender Filler Stabilizer Texture modifier Processing aid	Food/Feed Paper & Corrugating Textile Packaging Cosmetics & toiletries Pharmaceuticals
Starch	Hydrolysalation	Maltodextrins	Fat replacer Latex copolymers	Food Chemicals
		Starch Hydrolysates	Fermentation feed stock	Food
Starch Hydrolysates	Chemical reactions	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Polyols ◆ Surfactants 	Sweetener Surface active agent	Food Cosmetics & toiletries Household products
		◆ Pharma & cosmetic aids		Pharmaceutical Cosmetics & toiletries

ที่มา: RÖder, 2002



ภาพที่ 1.4 ผลิตภัณฑ์หรือสารเคมีต่างๆที่สามารถผลิตได้จากสตาarch โดยกระบวนการทางเคมีและหรือชีวเคมี

- ❖ APG: alkylpolyglucoside
- ❖ 2-KGA: 2-keto-L-gulonic acid
- ❖ DAS: dianhydrosorbitol
- ❖ HFCS: high-fructose corn syrup
- ❖ HMF: hexamethylfurfural
- ❖ SAP: superabsorbent polymer

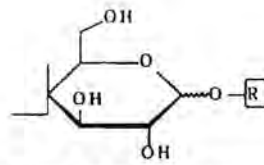
ที่มา: Röder, 2002

สตาarchสามารถนำมาผลิตสารที่เป็นองค์ประกอบของผงซักฟอก (Koch et al., 1993) แทนที่สารลดแรงดึงผิว (surfactant) builder/cobuilder และตัวกระตุ้นการกัดขาว (bleach activator) ที่ผลิตจาก petrochemical ได้ถึง 50-60% สารเหล่านี้ได้แก่

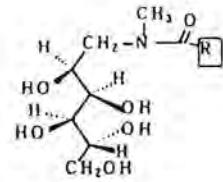
- Alky poly glucoside (APG) และ N-methylglucamide ที่ผลิตจากกลูโคส และแอลกอฮอล์/กรดไขมัน [fatty alcohols(acids)] ซึ่งนำมาเป็นส่วนชอบน้ำ (hydrophilic end group) ของสารลดแรงดึงผิว ใช้แทนที่ สารลดแรงดึงผิวที่ไม่มีประจุ (non-ionic surfactant)
- Oxidised (carboxylated) starch หรือ citric acid เป็น builder/cobuilder นำมาผสมกับ zeolite ใช้แทน sodium polyphosphate ซึ่งลดความกระด้างของน้ำ

- Acetylated polyols (เช่นของผสมระหว่าง peracetylated sorbitol และ mannitol ที่เรียกว่า Sorman) สามารถทำหน้าที่ของ petrochemical tetraacetythylenediamide (TAED) ที่เป็นตัวกระตุ้นการกัดขาวที่อุณหภูมิต่ำได้
- โครงสร้างทางเคมีของสารดังกล่าวนี้แสดงในภาพที่ 1.5

Surfactants

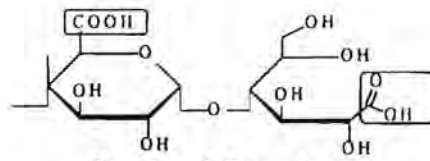


Alkyl poly glucosides

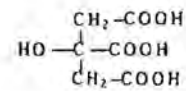


Glucamides

Builder/Cobuilder

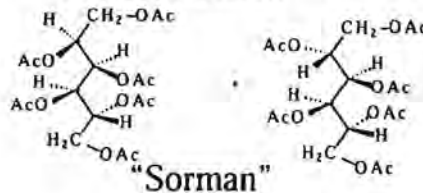


Oxidised Starch



Citric Acid

Bleach activators



"Sorman"

ภาพที่ 1.5 โครงสร้างทางเคมีของสารลดแรงดึงผิว ตัวให้โครงสร้างหรือตัวร่วมให้โครงสร้าง และตัวกระตุ้นการกัดขาวที่ผลิตได้จากสตาร์ช

ที่มา : RÖder, 2002

การใช้สตาร์ชในพลาสติกทนความร้อนที่ย่อยสลายได้ (biodegradable thermoplastic) เริ่มโดยการผสม 6-20% สตาร์ชลงในพอลิเมอร์สังเคราะห์เช่น polyethylene และ polypropylene ซึ่งปัจจุบันไม่นิยมทำกันแล้ว เนื่องจากสตาร์ชเท่านั้นที่ย่อยสลายได้ ปัจจุบันวัสดุนี้ทำจากวัสดุผสม (composited material) ที่ผลิตด้วยการอัดรีด (extrusion) ≈50% สตาร์ชกับพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ชอบน้ำ (hydrophilic polymer) เช่น polyvinyl alcohol ซึ่งวัสดุผสมนี้สามารถย่อยสลายได้ดีถึงดีมาก นอกจากนี้วัสดุที่ได้จากการอัดรีดสตาร์ช (ทั้ง native starch และ high amylose starch) ก็สามารถนำมาใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้วทิ้งและวัสดุกันกระแทกในการบรรจุหีบห่อได้ (Röper and Koch, 1990) ส่วนสาร polyols (เช่น sorbitol, mannitol, xylitol, erythritol และ maltitol) ที่ผลิตจากกลูโคสซึ่งได้จากการย่อยสตาร์ช ก็ใช้เป็น plasticizer และ flow improver สำหรับการผลิตพลาสติกทนความร้อนที่ย่อยสลายได้ ปัญหาของพลาสติกทนความร้อนที่ย่อยสลายได้ที่ผลิตจากสตาร์ชคือมีความต้านทานความชื้นและน้ำต่ำ แต่ก็แก้ไขได้ด้วยการเติมสารเจือปน (additive) และการเคลือบ (coating)

การเพิ่มมูลค่าของสตาร์ชที่สูงที่สุดคือการผลิตสารสำหรับใช้ในผลิตภัณฑ์เภสัชกรรมและเครื่องสำอางค์ นอกจากเป็นต้นประสานในการผลิตยาเม็ดแล้ว ยังใช้สตาร์ชเพื่อเคลือบยา และใช้เป็นทั้งสารห่อหุ้มและทำให้เกิดการปลดปล่อยตัวยาในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการควบคุมการปล่อยตัวยา (controlled release) ผลิตภัณฑ์จากสตาร์ชที่

ใช้มานานในในเภสัชกรรมคือ dextrose, maltodextri, cyclodextrin, glucose syrup, citric acid/citrates และพวก polyol ผลิตภัณฑ์ระหว่างกลาง (intermediate products) สำหรับการสังเคราะห์ตัวยาเชิงอุตสาหกรรมหลายตัวก็ผลิตมาจากสตาร์ช เช่น dextrose และ sorbitol เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิต 2-keto-L-gulonic acid (2-KGA) ตัวตั้งต้นของวิตามินซี 1,4,3,6-dianhydrosorbitol (DAS) เป็นวัตถุดิบสำหรับ 2,5-dinitro-DAS ซึ่งเป็นตัวยาต้านทานการหอบในผลิตภัณฑ์ชื่อ vasodilator (Röper, 2002)

สตาร์ชชนิด hydrophobic สามารถนำมาใช้เพื่อผลิตเครื่องสำอางค์ที่เป็น emulsion โดยใช้ emulsifier ที่เป็นผลิตภัณฑ์จากสตาร์ชคือ alkyl poly glucoside และ alkylglucoside-6-ester มีการใช้ sorbitol เป็น humectant ในยาสีฟัน และ sorbitan ester ซึ่งผลิตจาก sorbitol ก็มีสมบัติเป็น emulsifier (Röper, 2002)

อุตสาหกรรมเทคโนโลยีชีวภาพใช้ผลิตภัณฑ์จากการย่อยสลายสตาร์ช (starch hydrolysate) เป็นวัตถุดิบในการหมักเพื่อผลิตกรดอินทรีย์(เช่นกรด citric, lactic, gluconic และ 2-keto-L-gulonic) กรดอะมิโน พอลิเมอร์ชีวภาพ(เช่น xanthan และ polyhydroxybutanoic acid) polyerythritol และ เอ็นไซม์ (Röper, 2002)

1.8. เอกสารอ้างอิง

- กล้าณรงค์ ศรีรอด. 2544. แป้งไทยดีอย่างไร? *ข่าวสารวิชาการในวงการแป้ง* 1(1) : 1-2.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2543. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 292 หน้า
- กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์. 2529. ตัวแปรในกระบวนการผลิตและการทดแทนแป้งถั่วเขียวด้วยแป้งถั่วชนิดอื่นในการผลิตวุ้นเส้น. *วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.*
- เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ และ กล้าณรงค์ ศรีรอด. 2544. ท้องโลกกับคุณแป้ง ตอน... "มารู้จักแป้งสุขภาพ (Resistance Starch) กันเถอะ". *ข่าวสารวิชาการในวงการแป้ง* 1(1) : 4-5.
- นิติ เต็มเวชชยานนท์. 2543. การดัดแปรแป้งมันสำปะหลังด้วยวิธี Ball-mill และการศึกษาสมบัติของแป้งดัดแปร. *วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.*
- นุชฤดี ศิริบุญ. 2534. การดัดแปรสตาร์ชข้าวเจ้าแบบครอสลิงกิง. *วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.*
- AOAC. 1995. *Official Method of Analysis*. The Association of Official Analytical Chemists. 16th ed., Washington D.C., USA.
- Abraham, T.E. 1993. Stabilization of paste viscosity of cassava starch by heat moisture treatment. *Starch/Stärke* 45 131.
- Aggarwal, P. and Dollimore, D. 1998. A thermal analysis investigation of partially hydrolyzed starch. *Thermochimica Acta* 319(1-2): 17-25.
- Baba, T. and Arai, Y. 1984. Structural characterization of amylopectin and intermediate material in amylomaize starch granules. *Agric. Biol. chem.* 48(7) : 1763-1775.
- Bello-Perez, L.A., Romero-Manilla, R. and Paredes-Lopez, O. 2000. Preparation and properties of physically modified banana starch prepared by alcoholic-alkaline treatment. *Starch/Stärke* 52(5): 154-159.
- Chen, J., and Jane, J.-L. 1994. Preparation of granular cold-water-soluble starches by alcoholic-alkaline treatment. *Cereal Chem.* 71(6) : 618-622.
- Da Mota, R.V., Lajolo, F.M., Ciacco, C. and Cordenunsi, B.R. 2000. Composition and functional properties of banana flour from different varieties. *Starch/Stärke* 52(2-3): 63-68.
- Evan, I.D. and Haisman, D.R. 1979. Rheology of gelatinized starch suspensions. *J. Texture Stud.* 10: 347-370.
- French, D. 1975. " Chemistry and biochemistry of starch" . In W.J. Whelan(ed), *Biochemistry of Carbohydrates*. London:Butterworths.
- French, D. 1984. Organization of starch granules. pp.184-242. In R.L. Whistler, J.N. BeMiller, and E.F. Paschall (eds.) *Starch: Chemistry and Technology*. 2nd ed. Academic Press Inc., Florida.
- Gardiner, D.S. 1975. *Dessert Composition*. British-Patent. 1 417 996.

- Gron, J. and Eklund, D. 1998. Influence of starch modification on coating colour and coated layer properties. Wochenblatt Fur Papierfabrikation. 126(18): 879-884.
- Hegenbart, S. 1996. Understanding Starch Functionality. [www.foodproductdesign.com.archive/1996/0196cs.html](http://www.foodproductdesign.com/archive/1996/0196cs.html)
- Hizukuri, S. 1988. Recent advances in molecular structure of starch. J. Jpn. Soc. Starch Sci. 31:185.
- Hofreiter, B.T. 1986. Miscellaneous modifications. In O.B.Wurzburg (ed.) Modified Starches: Properties and Uses, CRC Press, Inc., Florida. pp. 179-191.
- Hoseney, R.C. and Lineback, D.R. 1996. Methods of synthesis and characterization. In R.C.Hoseney (Ed.), AACC Short course on "starch:Structure, Properties, and Food Uses
- International Starch Institute. 1999. Banana. Available online :
<http://home3.inet.tele.dk/starch/isi/starch/banana.htm>
- Jacobs, H. and Delcour, J.A. 1998. Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of granular structure: A review. J Agri. Food Chem. 46(8): 2895-2905.
- Jacobs, H., Mischenko, N., Koch, M.H.J., Eerlingen, R.C., Delcour, J.A. and Reynaers, H. 1998. Evaluation of the impact of annealing on gelatinization at intermediate water content of wheat and potato starches: A differential scanning calorimetry and small angle X-ray scattering study. Carbohydrate Res. 306(1-2): 1-10.
- Jane, J. and Seib, P.A. 1991. Preparation of Granular Cold Water Swelling/Soluble Starches by Alcoholic-Alkali Treatment. U.S. patent 5,057,157.
- Kavitha, R. and BeMiller, J.N. 1998. Characterization of hydroxypropylated potato starch. Carbohydr. Polym. 37(2): 115-121.
- Kkawabata, A., Takase, N., Miyoshi, E., Sawayama, S., Kimura, T. and Kudo, K. 1994. Starch/ Stärke 46(12) 463-469.
- Koch, H., Beck, R. and Roper, H. 1993. Starch derive prodvels for detergents. Starch/Stärke 45 2-7.
- Koch, H., Röper, H. and Höpcke, R. 1993. New Industrial Uses of Starch, Plant Polymeric Carbohydrates (Eds. F. Menser, D.J. Marners and W. Seibel) Special Publication No 134. The Royal Chemical Society, Cambridge 157-179.
- Kortstee, A.J., Suurs, L.C.J.M., Vermeesch, A.M.G., Keetels, C.J.A.M., Jacobsen, E. and Visser, R.G.F. 1998. Carbohydr. Polym. 37(2): 173-184.
- Kwon, K.S., Auh, J.H., Kim, J.W., Park, J.H., Park, C.H. and Ko, C.J. 1997. Physicochemical properties and functionality of highly carboxymethylated starch. Starch/Stärke 49(12): 499-505.
- Larsson, I. And Eliasson, A.C., 1991. Annealing of starch at an intermediate water content. Starch/ Stärke 43(6) 227-231.
- Leach, H.W. 1965. Gelatinization of starch. Ch. 7 In R.L. Whistler and E.F. Paschall (eds.), Starch: Chemistry and Technology. Academic Press, New York, USA.
- Leach, H.W., Mcbowen, L.D., and Schoch, T.J. 1959. Structure of the starch granule I . Swelling and solubility patterns of various starches. Cereal Chem. 36:534 – 544.

- Lerenz, K. and Kulp, K. 1983. Starch/ Stärke 35 123.
- Lineback, D.R. 1984. The starch granule organization and properties. Bakers Digest. 58(2): 16-21.
- Lugay, J.C. and Juliano, B.O. 1965. Crystallinity of rice starch and its fractions in relation to gelatinization and pasting characteristics. J. App. Polymer Sci. 9: 3775-3790.
- Maruta, I., Kurahashi, Y., Takano, R., Hayashi, K., Yoshino, Z., Komaki, T. and Hara, S. 1994. Starch/ Stärke 46(5) 177-181.
- Moser, K.B. 1986. Hydroxyethylated Starches. In O.B. Wurzburg (Ed.), Modified Starches: Properties and Uses, CRC Press Inc., Florida. pp. 79-88.
- Muhrbeck, P. and Wischmann, B. 1998. Influence of phosphate esters on the annealing properties of starch. Starch/Stärke 50(10): 423-426.
- Naivikul, O. and D'Appolonia, B.L. 1979. Carbohydrates of legume flours compared with wheat flour. II. Starch. Cereal Chem. 56(1): 24-28.
- Parker, R. and Ring, S. G. 2001. Aspects of the physical chemistry of starch. J. Cereal Sci. 34: 1-17.
- Pérez-Sira, E. and González-Parada, Z. 1997. Functional properties of cassava (*Manihot esculenta Crantz*) starch modified by physical methods. Starch/ Stärke 49(2) 49-53.
- Piyachomkwan, K., Cholladup, R., Chotimeeranat, S., Termvejsayanon, N. and Sriroth, K. 1998. Thermal properties of physically treated cassava (*Manihot esculenta Crantz*.) starch. In The 10th Annual Meeting of the National Center for Genetic Engineering and Biotechnology 1998 on "Biotechnology for a self-sufficient economy" November 25-27, 1998. Sol Twin Tower Hotel, Bangkok.
- Powell, E.L. 1967. Production and use of pregelatinized starch. In R.L. Whistler, and E.F. Paschall (Eds.), Starch: Chemistry and Technology Vol. II, Academic Press Inc., New York pp. 253-536.
- Röper, H. 1996. Starch present use and future utilisation, Carbohydrates as Organic Raw Materials III (Eds. H. vanBekkom, H. Röper and F. Voragen), VCH Verlagsgesellschaft Weinheim, 17-35.
- Röper, H. 2002. Renewable raw Materials in Europe Industrial Utilization of starch and sugar. Starch/Stärke 54 89-99.
- Röper, H. and Koch, H. 1995. The role of starch in biodegradable thermoplastic materials. Starch//Stärke (42)123-130.
- Rutenberg, M.W., and D. Solarek, 1984. Starch derivatives: technology and uses. In R.L. Whistler, J.N. BeMiller, and E.F. Paschall (Eds.), Starch: Chemistry and Technology. 2nd Ed. Academic Press Inc., Florida. pp. 311-388.
- Sanders, J.P.M. 1996. Chemical modification of starch. In Advanced Post-Academic Course on Tapioca starch Technology (I), January 22-26 & February 19-23, 1996. Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Sari, L. 1964. Heat-moisture treatment of starches. In R.L. Whistler, R.J. Smith, and J.N. BeMiller (Eds.), Methods in Carbohydrate Chemistry Vol. IV : Starch. Academic Press Inc., New York. pp. 283-283.

- Schmiedl, D., Konig, B. and Jacobasch, G. 1998. Hydrothermal treatment of starch in presence of maltose syrup. Part 1. Effect on DSC parameters and consistency of potato starch gels. Starch/Stärke 50(7): 297-305.
- Slominska, L., Grajek, W., Grzeskowiak, A. and Gocalek, M. 1998. Enzymatic starch saccharification in an ultrafiltration membrane reactor. Starch/Stärke 50(9): 390-396.
- Smith, P.S. 1982. Starch derivatives and their uses in foods. In D.R. Lineback, and G.E. Inglett (Eds.). Food Carbohydrates, AVI Publishing Co., Inc., Connecticut. pp. 237-269.
- Solarek, D.B. 1986. Cationic starches. In O.B. Wurzburg (Ed.) Modified Starches: Properties and Uses, CRC Press Inc., Florida. pp. 113-124.
- Stolt, M. and Autio, K. 2002. Microscopic and rheological characterization of high pressure treated starch dispersions. Available online: www.vtt.fi/bel/
- Stute, R. 1992. Hydrothermal modification of starches: the difference between anaeroling and heat/moisture treatment. Starch/ Stärke 44(6) 205-214.
- Stute, R., Klingler, R.W., Boguslawski, S., Eshtiaghi, M.N. and Knorr, D. 1996. Starch/ Stärke 48(11/12) 399-408.
- Tamaki, S., Hisamatsu, M., Teranishi, K. and Yamada, T. 1997. Structural change of potato starch granules by ball-mill treatment. Starch/Stärke 49(11): 431-438.
- Tessler, M.M., and R.L. Billmers. 1996. Preparation of starch esters. J. Env. Polym. Degra. 4(2) : 85-89.
- Tuschhoff, J.V. 1986. Hydroxypropylated starches. In O.B. Wurzburg (Ed.) Modified Starches: Properties and Uses, CRC Press Inc., Florida, pp. 89-96.
- Van Beynum, G.M.A. and Roels, J.A. 1985. Starch Conversion Technology. Marcel Dekker, Inc. New York. 326p.
- Vega Garca, M. and Bontoux, L. 2002. Food applications of the new polysaccharides technology. Available online: www.jrc.es/mptsreport/vol20/english/FOO1E206.htm.
- Vussers, R.G.F. 1996. Comparison of starches from different botanical sources. In Advanced Post Academic Course on Tapioca Starch Technology. Jan. 22-26 & Feb. 19-23, 1996. AIT Center, Bangkok, Thailand.
- Wurzburg, O.B. 1986. Modified Starches: Properties and Uses. CRC Press Inc., Florida. 277p.
- Yna Lewandowicz, G., zef Forml, J., Soral-mietana, M. and Walkowski, A. 1997. Microwave modified starch-structure, properties and resistant starch formation. Available online: www.man.poznan.pl/~lewal/wied97/reo-prohtm.
- Zhu, Q., Sjolholm, R., Nurmi, K. and Bertoft, E. 1998. Structural characterization of oxidized potato starch. Carbohydrate Res. 309(2): 213-218.
- Zuber, M.S. 1965. Genic control of starch development. In R.L. Whistler, and E.F. Paschall (Eds.) Starch: Chemistry and Technology Vol. I, Academic Press, New York. Pp. 43-62.

บทที่ 2. ข้อมูลทางการผลิตและการค้าของผลิตภัณฑ์ประเภทแป้ง

ดร. จิราวัฒน์ ทัดติยกุล

ดร. พาสวดี ประทีปะเสน

2.1. ข้อมูลทางการเกษตรและการส่งออกของข้าว

ข้าวเจ้าที่ผลิตได้ส่วนใหญ่เป็นข้าวนาปี โดยจะมีการเพาะปลูกในช่วงฤดูฝนและเก็บเกี่ยวในฤดูหนาว ส่วนข้าวนาปรังจะสามารถเพาะปลูกและเก็บเกี่ยวได้ตลอดปี จากข้อมูลทางการผลิตจะเห็นได้ว่าแนวโน้มการผลิตนั้นเพิ่มขึ้นทุกปี โดยปริมาณผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ของข้าวนาปรังนั้นสูงกว่าข้าวนาปี แต่ข้าวนาปีจะมีราคาต่ำกว่าข้าวนาปรัง โดยราคาที่แตกต่างกันนี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปีเพาะปลูกและคุณภาพของข้าว ในปี พ.ศ. 2544 ข้าวนาปีจะมีราคาสูงกว่าข้าวนาปรังโดยเฉลี่ย 400-600 บาทต่อเกวียน (ตัน) (เศรษฐกิจการเกษตร, 2545)

ตารางที่ 2.1 เนื้อที่ปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิตและผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ของข้าวนาปรังและข้าวนาปีไทย

พ.ศ.	ข้าวนาปรัง				ข้าวนาปี			
	เนื้อที่ปลูก	เนื้อที่เก็บเกี่ยว	ผลผลิต	ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่	เนื้อที่ปลูก	เนื้อที่เก็บเกี่ยว	ผลผลิต	ผลผลิตเฉลี่ย
	1,000 ไร่	1,000 ไร่	1,000 ตัน	กก.	1,000 ไร่	1,000 ไร่	1,000 ตัน	กก.
2533	5,244	4,567	2,124	465	59,195	57,177	18,477	323
2534	3,705	3,646	2,291	628	58,205	51,303	14,902	290
2535	4,494	4,379	2,882	658	55,177	52,202	17,518	336
2536	4,158	4,049	2,615	646	56,295	53,199	17,302	325
2537	3,098	3,013	1,964	652	56,153	50,002	16,483	330
2538	4,304	4,251	2,950	694	56,373	51,844	18,161	350
2539	5,946	5,908	4,287	726	57,407	51,048	17,729	347
2540	6,437	6,343	4,550	717	57,291	51,577	17,782	345
2541	7,231	7,081	4,791	677	56,958	54,874	18,789	342
2542	6,458	6,367	4,336	681	56,240	53,080	19,272	363
2543	7,861	7,591	5,233	689	57,052	54,748	20,983	383
(F)2544	7,405	-	4,953	669*	57,070	-	19,042	334*

* หมายถึง ผลผลิตต่อเนื้อที่ปลูก

(F) หมายถึง ข้อมูลพยากรณ์ ประจำเดือนธันวาคม 2543

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

(<http://www.nso.go.th/eng/stat/subject/toc2.xls>)

ตารางที่ 2.2 ราคาและมูลค่าของผลผลิตข้าวรวม (นาปีและนาปรัง) ตามราคาที่เกี่ยวข้องการขายได้ ปีเพาะปลูก
2534/35 - 2543/44

เพาะปลูก	ราคาที่เกี่ยวข้องการขายได้	มูลค่าของผลผลิตตามราคาที่เกี่ยวข้องการขายได้
	บาท/เกวียน (ตัน)	ล้านบาท
2534/35	3,808	77,683
2535/36	3,286	65,447
2536/37	3,727	68,752
2537/38	3,857	81,425
2538/39	4,764	104,884
2539/40	5,522	123,317
2540/41	6,962	164,164
2541/42	5,756	132,382
2542/43	4,679	113,101
2543/44	4,621	118,335

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (<http://oae.go.th/statistic/>)

ผลิตภัณฑ์ข้าวและข้าวแปรรูปของไทยที่มีรายงานการส่งออกติดอันดับประกอบด้วย ข้าว แบ่งข้าวเจ้า แบ่งข้าวเหนียว เส้นหมี่ เส้นก๋วยเตี๋ยว แป้งแผ่น ขนมบึงกรอบ เด็กซ์ตริน และโมดิไฟด์สตาร์ชอื่นๆ การส่งออกผลิตภัณฑ์ข้าวแปรรูปของไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยตลอด ทั้งนี้โดยส่วนใหญ่ผลิตภัณฑ์ข้าวแปรรูปเกือบทุกผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มการส่งออกเพิ่มขึ้นนับตั้งแต่ปี พ.ศ.2542 จนถึงปี พ.ศ.2543 โดยผลิตภัณฑ์เส้นหมี่ เส้นก๋วยเตี๋ยว ขนมบึงกรอบ เด็กซ์ตรินและโมดิไฟด์สตาร์ชมีมูลค่าการส่งออกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องนับตั้งแต่ปี พ.ศ.2539 เป็นต้นมา และมีแนวโน้มว่าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (ตารางที่ 2.5) ในแง่ของสัดส่วนมูลค่านั้น พบว่า เด็กซ์ตรินและโมดิไฟด์สตาร์ชมีสัดส่วนของมูลค่าการส่งออกเกินกว่า 50% ของมูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์ข้าวแปรรูปทั้งหมด และผลิตภัณฑ์ขนมบึงกรอบมีสัดส่วนมูลค่าการส่งออกรองลงมา (16.3% ในปี 2544) ตามด้วยแบ่งข้าวเหนียว และเส้นหมี่ เส้นก๋วยเตี๋ยว (10.3% ในปี 2544) ตามลำดับ (ตารางที่ 2.4)

ตารางที่ 2.3 ปริมาณและมูลค่าสินค้าขาออกประเภทข้าว พ.ศ. 2536 – 2540

รายการสินค้า	2543		2544	
	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (พันบาท)	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (พันบาท)
รวมข้าวส่งออก	6,141,341	65,516,281	7,685,050	70,122,977
ข้าวเจ้าขาว	4,160,277	47,387,273	5,026,706	47,831,845
ข้าวเจ้าขาว 100%	2,340,614	33,954,559	2,402,458	28,356,153
ข้าวเจ้าขาว 5%	647,070	4,980,409	523,313	3,982,294
ข้าวเจ้าขาว 10%	245,619	2,082,899	98,191	722,578
ข้าวเจ้าขาว 15%	160,726	1,133,914	365,211	2,601,633
ข้าวเจ้าขาว 20%	3,463	25,898	3,000	19,864
ข้าวเจ้าขาว 25%	81,014	562,085	382,791	2,423,042
ข้าวเจ้าขาว 35%	535	3,311	2,741	16,411
ข้าวเจ้าขาวอื่น ๆ	46	293	1,341	15,246
ปลายข้าวเจ้าขาว เอ 1 เลิศ	590,696	3,683,565	1,037,737	6,662,394
ปลายข้าวเจ้า	90,494	960,340	88,474	870,086
ข้าวหอมมะลิไทย	-	-	121,449	2,162,144
ข้าวเหนียว	197,311	2,066,068	209,944	2,079,420
ข้าวเหนียว 10%	142,095	1,676,094	154,601	1,614,445
ข้าวเหนียว 25%	679	6,046	7,050	68,955
ข้าวเหนียว 35%	-	-	259	2,424
ข้าวเหนียวอื่น ๆ	10,039	92,054	2,478	21,102
ปลายข้าวเหนียว	44,498	291,874	45,556	372,494
ข้าวกล้อง	127,221	1,541,421	118,042	1,312,544
ข้าวกล้อง 100%	79,237	1,167,435	82,317	1,042,780
ข้าวกล้อง 5%	8,087	59,376	12,094	78,956
ข้าวกล้อง 10%	39,081	306,997	22,432	167,862
ข้าวกล้องนึ่ง	334	2,737	269	2,171
ข้าวกล้องอื่น ๆ	482	4,876	930	20,775
ข้าวมัน	1,647,907	14,457,005	2,323,448	18,827,009
ปลายข้าวมัน	6,282	41,313	3,587	23,439
ข้าวอื่น ๆ	2,328	23,086	3,323	48,720
ข้าวเปลือก	15	115	-	-

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ตารางที่ 2.4 สถิติมูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์ข้าวและข้าวแปรรูปของไทยปี 2539-2544 (ล้านบาท)

ผลิตภัณฑ์	ปี					
	2539	2540	2541	2542	2543	2544
ข้าว	50,734.8	65,093.4	86,803.1	73,812.1	65,556.6	70,095.2
มูลค่ารวมของผลิตภัณฑ์ข้าวแปรรูปอื่นๆ	6,888.3	7,805.2	9,408.4	9,887.4	11,109.5	12,607.0
• แป้งข้าวเจ้า	320.2	386.4	395.6	371.4	431.0	429.7
• แป้งข้าวเหนียว	1,134.8	1,280.6	1,285.7	1,181.2	1,331.7	1,299.7
• เส้นหมี่, ก๋วยเตี๋ยว	690.8	821.0	940.0	1,015.1	1,143.5	1,295.0
• แป้งแผ่น	89.5	70.3	66.2	79.3	80.9	85.8
• ขนบปิ้งกรอบ	1,068.8	1,161.5	1,446.5	1,633.4	1,865.1	2,056.4
• เด็กซ์ตรินและ โมดิไฟด์สตาร์ช	3,584.2	4,085.4	5,274.4	5,607.0	6,257.3	7,440.4

ที่มา: สารสนเทศเศรษฐกิจการค้า, 2545

ตารางที่ 2.5 อัตราการขยายตัว (%) ของมูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์ข้าวและข้าวแปรรูปของไทยปี 2539-2544

ผลิตภัณฑ์	ปี					
	2539	2540	2541	2542	2543	2544
ข้าว	-	28.3	33.4	-15.0	-11.2	6.92
มูลค่ารวมฯ	-	13.3	20.5	5.1	12.4	13.5
• แป้งข้าวเจ้า	-	20.7	2.4	-6.1	16.0	-0.29
• แป้งข้าวเหนียว	-	12.8	0.4	-8.1	12.7	-2.40
• เส้นหมี่, ก๋วยเตี๋ยว	-	18.8	14.5	8.0	12.6	13.24
• แป้งแผ่น	-	-21.5	-5.8	19.8	2.0	6.11
• ขนบปิ้งกรอบ	-	8.7	24.5	12.9	14.2	10.25
• เด็กซ์ตรินและ โมดิไฟด์สตาร์ช	-	14.0	29.1	6.3	11.6	18.91

ที่มา: สารสนเทศเศรษฐกิจการค้า, 2545

ตารางที่ 2.6 มูลค่าการส่งออกข้าวไทยล่าสุด มค. - มิย. 2545

ผลิตภัณฑ์	การส่งออก มค. - มิย. 2544 (ล้านบาท)		การส่งออก มค. - มิย. 2545 (ล้านบาท)		% เปลี่ยนแปลง	
	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)	ปริมาณ	มูลค่า
ข้าว	3,203,896	29,796	3,381,074	30,164	5.53	1.23

ที่มา: กรมศุลกากร (อาหาร, 2545)

ในส่วนของการผลิตเพื่อใช้ในประเทศนั้น จากข้อมูลปี 2543 พบว่า โรงงานที่ผลิตผลิตภัณฑ์จากข้าว แบ่งและธัญพืชมีทั้งสิ้น 52,227 โรงงาน ในจำนวนนี้เป็นโรงสีข้าวประมาณ 47,983 โรงงาน ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตเพื่อการส่งออกมีมากกว่าหนึ่งแสนตันต่อปี คิดเป็นมูลค่าประมาณ 2,600 ล้านบาท ในจำนวนนี้เป็นแป้งข้าวเจ้าถึง 400 ล้านบาท (~22,000 ตัน) และเป็นเส้นหมี่และเส้นก๋วยเตี๋ยวถึง 1,000 ล้านบาท (~35,000 ตัน)

2.2. ข้อมูลทางการเกษตรและการส่งออกของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจเป็นอันดับสองรองจากข้าว อย่างไรก็ตาม การเพาะปลูกและปริมาณผลผลิตของมันสำปะหลังมีแนวโน้มที่ลดลงมาโดยตลอดนับตั้งแต่ปี พ.ศ.2535 เหตุผลที่สำคัญ คือ การที่ราคามันสำปะหลังตกต่ำ เกษตรกรจึงหันไปเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจชนิดอื่นแทน อย่างไรก็ตาม จากข้อมูลทางการเกษตรล่าสุด ยังคงมีการเพาะปลูกมันสำปะหลังถึงประมาณ 7 ล้านไร่ และผลิตมันฯ ได้ถึง มากกว่า 18 ล้านตันต่อปี (ตารางที่ 2.7)

ในปี พ.ศ. 2544 การส่งออกมันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์มีมูลค่ารวมสูงกว่า 24,000 ล้านบาท (ตารางที่ 2.8) โดยการส่งออกของมันสำปะหลังอัดเม็ดและมันเส้นจัดเป็นสินค้าส่งออกลำดับที่ 6 ที่ทำรายได้ให้แก่ประเทศเป็นจำนวนมาก (สถาบันอาหาร, พ.ศ.2545) นับแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ประเทศไทยผลิตมันสำปะหลังออกสู่ตลาดโลกเป็นอันดับต้นๆ ของโลก โดยประเทศไทยผลิตมันสำปะหลังออกไปยังตลาดโลกถึงเกือบร้อยละ 50 ของผลผลิตมันสำปะหลังรวมทั่วโลก (Ostertag, 1996) ผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังที่มีมูลค่าการส่งออกสูงที่สุด คือ มันสำปะหลังอัดเม็ดและมันเส้น โดยมีลูกค้าที่สำคัญคือประเทศเนเธอร์แลนด์และประเทศจีน ผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าการส่งออกรองลงมาคือแป้งมันสำปะหลัง โดยมีลูกค้าหลัก คือ ประเทศไต้หวันและประเทศญี่ปุ่น (สถาบันอาหาร, พ.ศ.2545)

ตารางที่ 2.7 มันท้าปะหลัง : เนื้อที่ปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิตและผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ พ.ศ. 2535-2544

พ.ศ.	เนื้อที่ปลูก 1,000 ไร่	เนื้อที่เก็บเกี่ยว 1,000 ไร่	ผลผลิต 1,000 ตัน	ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ กก.
2535	9,323	9,066	20,356	2,245
2536	9,100	8,988	20,203	2,248
2537	8,817	8,642	19,091	2,209
2538	8,093	7,782	16,217	2,084
2539	7,885	7,676	17,388	2,265
2540	7,907	7,690	18,084	2,352
2541	6,694	6,527	15,591	2,388
2542	7,200	6,659	16,507	2,479
(P)2543	-	7,096	18,752	2,643
(F) 2544	-	6,902	18,283	2,649

(P) หมายถึง ข้อมูลเบื้องต้น

(F) หมายถึง ตัวเลขพยากรณ์ ประจำเดือน ธันวาคม 2543

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

(<http://www.nso.go.th/eng/stat/subject/toc2.xls>)

ตารางที่ 2.8 มูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์มันท้าปะหลังของไทยปี 2543-2545

ผลิตภัณฑ์	มูลค่าการส่งออก (ล้านบาท)			
	2542	2543	2544	2545 (มค.-ธค.)
ห้วมันท้าปะหลัง	2.7	1.9	4.3	3.2
แป้งมันท้าปะหลัง	4,819.0	6,171.5	6,304.8	4,029.4
สตาร์ชมันท้าปะหลัง	4,121.8	5,342.1	5,475.9	3,616.9
สาकुท้าจากมันท้าปะหลัง	164.5	150.1	183.9	136.1
มันท้าปะหลังอัดเม็ดและ มันเส้น	12,405.9	7,699.4	11,639.3	6,297.1
ผลิตภัณฑ์มันท้าปะหลัง อื่นๆ	168.1	152.0	190.0	139.3
รวมมูลค่า	21,682	19,517	23,798.2	14,222

ที่มา: สารสนเทศเศรษฐกิจการค้า, 2545

ตารางที่ 2.9 อัตราการขยายตัว (%) ของมูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของไทยปี 2543-2545

ผลิตภัณฑ์	มูลค่าการส่งออก (ล้านบาท)			
	2542	2543	2544	2545 (มก.-สก.)
หัวมันสำปะหลัง	-44.65	-28.32	125.47	16.34
แป้งมันสำปะหลัง	-7.62	28.07	2.16	-0.42
สตาร์ชมันสำปะหลัง	-1.72	29.61	2.50	3.50
สาธูทำจากมันสำปะหลัง	-11.14	-8.74	22.56	14.95
มันสำปะหลังอัดเม็ดและ มันเส้น	8.69	-37.94	51.17	-28.44
ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง อื่นๆ	-11.48	-9.59	24.98	14.98

ที่มา: สารสนเทศเศรษฐกิจการค้า, 2545

อย่างไรก็ดี แม้ไทยจะส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังออกสู่ตลาดโลกได้ในปริมาณมาก แต่ผลิตภัณฑ์ส่งออกส่วนใหญ่เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ซึ่งมีมูลค่าต่ำ ทั้งยังเห็นได้ว่าปริมาณการส่งออกนั้นลดลงอย่างมากในปีนี้ สาเหตุเนื่องจากสหภาพยุโรปซึ่งเป็นลูกค้าที่สำคัญของไทยที่มีสัดส่วนของการนำเข้าจากไทยสูง ลดการนำเข้า เพราะการปลูกสัตว์เพิงจะเริ่มจะฟื้นตัวจากการระบาดของโรคสุกรและโรควัวบ้า (เกษตรและสหกรณ์, 2545) จึงควรที่จะมีการส่งเสริมการพัฒนาผลิตภัณฑ์แปรรูปมูลค่าเพิ่มจากมันสำปะหลังเพื่อเป็นสินค้าส่งออก

2.3. ข้อมูลทางการเกษตรและการส่งออกของพืชให้แบ่งอื่นๆ

ข้อมูลเกี่ยวกับการผลิตพืชให้แบ่งอื่นๆ นับว่ามีน้อยมากเมื่อเทียบกับข้อมูลทางการผลิตของข้าวและมันสำปะหลัง จากข้อมูลที่สืบค้น พบว่าการผลิตพืชให้แบ่งอื่นๆ มีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณการผลิตข้าวและมันสำปะหลัง (ถั่วเขียวประมาณ 200,000 ตัน ข้าวพ่างประมาณ 150,000 ตัน ในปีการเพาะปลูก 2543/2544 และลูกเดือยประมาณ 17,000 ตันในปีการเพาะปลูก 2542/2543 ดังแสดงในตารางที่ 2.10-2.12) แต่เมื่อพิจารณาถึงปริมาณและมูลค่าการส่งออกของพืชให้แบ่งอื่น ๆ และผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 2.13) พบว่า มูลค่าการส่งออกนั้นสูงถึงกว่า 10,000 ล้านบาทในปี พ.ศ. 2545 คิดเป็น 1 ใน 2 ของมูลค่าการส่งออกมันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์ และ 1 ใน 10 ของมูลค่าการส่งออกข้าวและผลิตภัณฑ์ โดยผลิตภัณฑ์ที่มีสัดส่วนสูง คือ ผลิตภัณฑ์อาหารจากแป้ง และข้าวโพดตามลำดับ โดยผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าการส่งออกเพิ่ม คือ วุ้นเส้น ผลิตภัณฑ์อาหารจากแป้ง เมล็ดธัญพืชอื่น ๆ และถั่วตากแห้งอื่น

ตารางที่ 2.10 ถั่วเขียว : เนื้อที่ ผลผลิต ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ ราคาและมูลค่าของผลผลิต ตามราคาที่เหมาะสมที่ได้ ปี
เพาะปลูก 2534/35 - 2543/44

ปีเพาะปลูก	เนื้อที่ปลูก	เนื้อที่เก็บเกี่ยว	ผลผลิต	ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่	ราคาที่เหมาะสมที่ได้	มูลค่าของผลผลิตตามราคาที่เหมาะสมที่ได้
	1,000 ไร่	1,000 ไร่	1,000 ตัน	กก.	บาท/กก.	ล้านบาท
2534/35	2,754	2,610	304	116	10.90	3,314
2535/36	2,404	2,189	261	119	9.23	2,409
2536/37	2,147	1,966	231	117	9.44	2,181
2537/38	2,267	2,094	256	122	9.72	2,488
2538/39	2,197	2,080	234	113	11.88	2,780
2539/40	1,978	1,896	215	113	11.62	2,498
2540/41	1,804	1,709	200	117	11.26	2,252
2541/42	1,892	1,805	226	125	12.70	2,870
2542/43	2,012	1,925	249	129	11.10	2,764
2543/44	1,899	1,801	233	129	12.58	2,931

ที่มา: กรมส่งเสริมการเกษตร

ตารางที่ 2.11 ข้าวฟ่าง : เนื้อที่ ผลผลิต ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ ราคาและมูลค่าของผลผลิต ตามราคาที่เหมาะสม
ปีเพาะปลูก 2534/35 - 2543/44

ปีเพาะปลูก	เนื้อที่ปลูก	เนื้อที่เก็บเกี่ยว	ผลผลิต	ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่	ราคาที่เหมาะสม	มูลค่าของผลผลิตตามราคาที่เหมาะสม
	ไร่	ไร่	ตัน	กก.	บาท/กก.	ล้านบาท
2534/35	1,231	1,203	250	208	2.40	600
2535/36	1,168	1,082	250	231	2.23	558
2536/37	1,097	913	208	228	2.30	478
2537/38	1,104	1,045	228	218	2.73	622
2538/39	887	806	194	241	3.67	712
2539/40	930	839	225	268	2.75	619
2540/41	677	652	156	239	3.94	615
2541/42	615	609	146	240	2.56	374
2542/43	549	544	142	261	3.65	518
2543/44	575	534	148	277	3.06	453

ที่มา : กรมส่งเสริมการเกษตร

ตารางที่ 2.12 ลูกเดือย : เนื้อที่ ผลผลิต ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ ปีเพาะปลูก 2539 - 2543

ปีเพาะปลูก	เนื้อที่ปลูก	เนื้อที่เก็บเกี่ยว	ผลผลิต	ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่	ราคาที่เหมาะสม	มูลค่าของผลผลิตตามราคาที่เหมาะสม
	ไร่	ไร่	ตัน	กก.	บาท/กก.	ล้านบาท
2539/40	75,021	73,220	21,546	294	6.72	145
2540/41	84,384	48,480	32,465	670	11.89	386
2541/42	54,993	52,741	15,560	295	9.38	146
2542/43	55,842	54,952	17,442	317	8.78	153

ที่มา : กรมส่งเสริมการเกษตร

ตารางที่ 2.13 ปริมาณและมูลค่าสินค้าขาออก พ.ศ. 2536 - 2540

รายการสินค้า	2543		2544	
	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (พันบาท)	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (พันบาท)
พืชอาหาร	205,982	7,497,175	663,969	10,631,686
ข้าวโพด	24,429	337,907	501,624	2,463,890
ข้าวโพดบด	573	6,086	76	837
แป้งข้าวโพดและสตาร์ช	3,472	34,424	2,006	35,517
ข้าวสาลีบด	61	2,038	68	2,290
แป้งข้าวสาลีหรือแป้งเมสลิน	15,184	176,208	11,215	149,368
แป้งจากเมล็ดธัญพืชอื่น ๆ	668	18,846	1,467	111,563
แป้งจากถั่วต่าง ๆ	947	36,156	506	36,366
ข้าวบาเลย์	22	710	n.a.	25
ข้าวสาลีชนิดสุรม	1	42	10	273
แป้งจากพืชอื่น ๆ	1,162	122,199	3,813	98,165
วุ้นเส้น	1,856	203,211	2,268	268,844
เส้นบะหมี่	1,164	83,238	1,319	84,332
มักกะโรนีและสปาเก็ตตี้	286	16,116	254	15,033
ผลิตภัณฑ์อาหารจากแป้ง	84,652	5,251,524	75,327	6,244,462
ลูกเดือย	19,888	246,606	11,275	238,687
ข้าวฟ่าง	81	1,602	293	2,434
เมล็ดธัญพืชอื่น ๆ	429	22,154	15,714	94,521
เมล็ดธัญพืชหักและรำข้าวอื่น ๆ	333	4,134	285	4,493
ถั่วขาว	13	401	23	698
ถั่วแดง	351	8,295	385	8,527
ถั่วดำ	1,874	33,818	1,503	35,439
ถั่วเขียวผิวมัน	22,340	318,376	13,065	242,153
ถั่วเขียวผิวดำ	10,175	167,846	5,017	107,369
ถั่วเขียวนางแดง	6,986	121,382	7,963	88,133
ถั่วตากแห้งอื่น ๆ	6,846	162,470	6,233	179,222
ถั่วลิสงปรุงแต่ง	1,039	94,909	1,063	90,897
พืชอื่น ๆ ที่ใช้หัว	1,150	26,477	1,197	28,148

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

2.4. เอกสารอ้างอิง

- เกษตรและสหกรณ์, กระทรวง. 2545ก. สถานการณ์เศรษฐกิจการเกษตร [online]. Available from :
<http://www.moac.go.th/situation.htm> [2002, August 30].
- เกษตรและสหกรณ์, กระทรวง. 2545ข. สถานการณ์เศรษฐกิจการเกษตร [online]. Available from :
http://oae.go.th/about/economy_status/2542/situation/export/export.html#cuss [2002, August 30].
- เกษตรและสหกรณ์, กระทรวง. 2545ค. นโยบายด้านการเกษตรของประเทศ [online]. Available from :
http://www.moac.go.th/policy_agro_national.htm [2002, August 30].
- สารสนเทศการเกษตร, ศูนย์. 2539. ข้อมูลสถิติการเกษตรที่สำคัญ. [online]. Available from :
<http://www.oic.thaigov.go.th/ginfo/> [2002, October 30].
- สารสนเทศเศรษฐกิจการค้า, ศูนย์. กรมเศรษฐกิจพาณิชย์. 2545. ตลาดส่งออกของไทยรายสินค้า [online].
 Available from : <http://tes.moc.go.th/prog/cgi/excomm1.asp>[2002, August 30].
- เศรษฐกิจการเกษตร, สำนักงาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2545. สถิติการเกษตรของประเทศไทย. [online].
 Available from : <http://oae.go.th/statistic/>
- อาหาร, สถาบัน. 2545. Import Export System[online]. Available from :
http://www.nfi.or.th/import_export/main_im_ex.asp[2002, May].

บทที่ 3. ข้อมูลจำเพาะของพืชให้แก่งบางชนิดในประเทศไทย

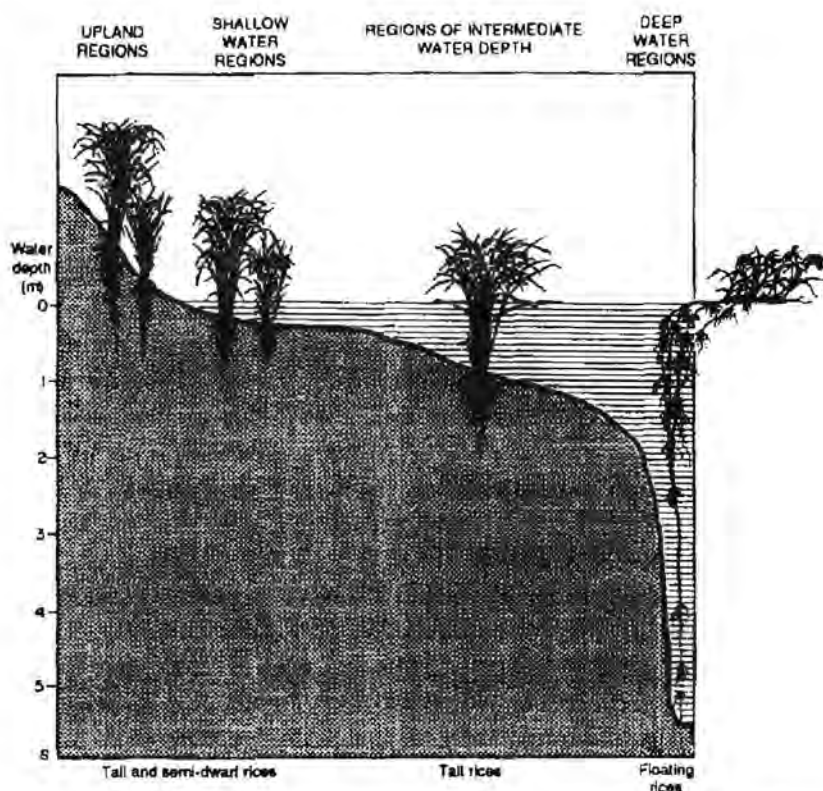
3.1. ข้าวเจ้า

ดร. จิราวัฒน์ ทัดติยกุล

ข้าว (*Oryza Sativa*) เป็นผลผลิตทางการเกษตรที่สำคัญมากในประเทศกำลังพัฒนา ทั้งยังเป็นอาหารหลัก ของประชากรมากกว่าครึ่งหนึ่งของประชากรโลก การปลูกข้าวสามารถทำได้ตลอดปีโดยการปลูกในที่ชื้นแฉะมีน้ำขัง ในปัจจุบันข้าวที่เป็นที่รู้จักอย่างกว้างขวางมีประมาณ 20 species ใน genus *Oryza* แต่ข้าวที่มีการเพาะปลูก อย่างแพร่หลาย คือ *O. Sativa* L.

เนื่องจากประวัติศาสตร์การเพาะปลูกที่ยาวนานและการถูกนำไปเพาะปลูกในสภาวะที่หลากหลาย ทำให้ *O. Sativa* L มีความสามารถในการปรับตัวต่อสภาวะแวดล้อมได้ดี และสามารถขึ้นได้ในพื้นที่ที่มีความแตกต่างกันในด้านสภาพทางภูมิศาสตร์อย่างมาก นับตั้งแต่พื้นที่ที่มีน้ำท่วมถึงจนถึงพื้นที่แห้งบนภูเขา (Lu and Chang, 1980) (ภาพที่ 2.1) สำหรับในภูมิภาคเอเชียอาคเนย์ ข้าวที่พบว่ามี การเพาะปลูกกันมาก คือ *sinica* (หรือ *japonica*), *indica* และ *javanica* (หรือที่เรียกว่า *bulu* ในประเทศอินโดนีเซีย)

ร้อยละ 90 ของพื้นที่เพาะปลูกข้าวรวมของโลกนั้นอยู่ในประเทศในแถบเอเชีย โดยประเทศไทยถูกจัดว่าเป็นประเทศที่ผลิตข้าวส่งออกสู่ตลาดโลกเป็นอันดับหนึ่งจนกระทั่งถึงปี พ.ศ. 2531 ที่ประเทศเวียดนามเริ่มแสดงบทบาทสำคัญในการผลิตข้าวเข้าสู่ตลาดโลก (FAO, 1990A) ในปี พ.ศ. 2544 ประเทศไทยผลิตข้าวได้มากกว่า 25 ล้านตัน และส่งออกข้าวเป็นปริมาณ ถึง 5.3 ล้านตัน

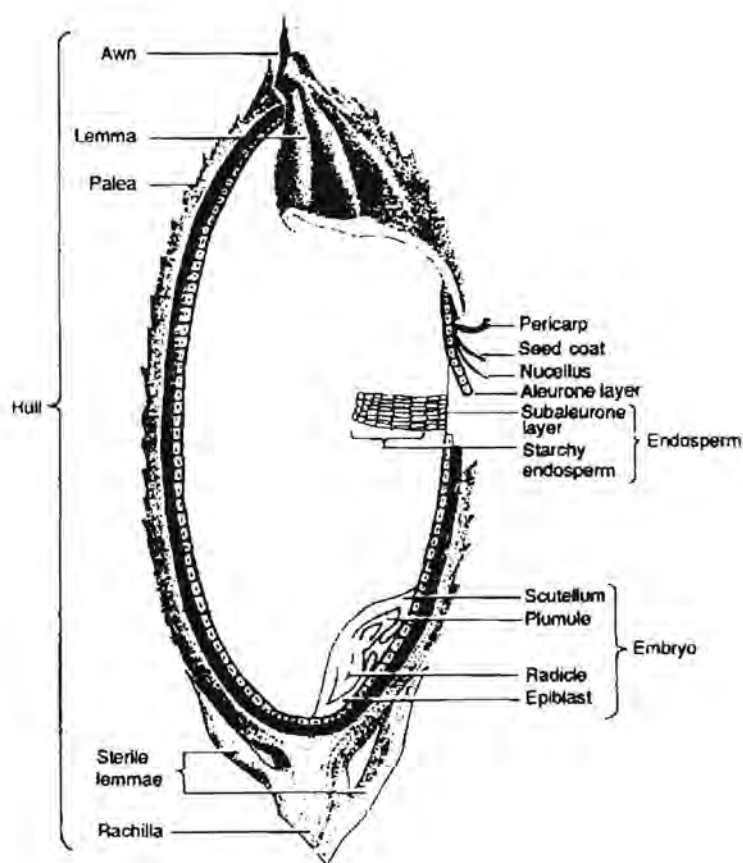


ภาพที่ 3.1.1 พื้นที่เพาะปลูกข้าวของโลกสามารถจำแนกได้ตามปริมาณน้ำในพื้นที่และชนิดของข้าวที่ปลูก

3.1.1. ข้อมูลทางด้านองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของข้าว

3.1.1.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

เมล็ดข้าวประกอบด้วยเปลือกนอกที่ทำหน้าที่ปกป้องเมล็ดข้าวจากภายนอก (hull) และเมล็ดข้าว (ภาพที่ 3.1.2) ข้าวที่ถูกเอาเปลือกออกแต่ไม่ได้ขัดขาว (brown rice) จะประกอบด้วยเปลือกหุ้มผล (pericarp) เปลือกหุ้มเมล็ด (seed-coat) คัพภะ (germ หรือ embryo) และ endosperm ซึ่งประกอบด้วย aleurone layer subaleurone layer starchy หรือ inner endosperm (Juliano and Bechtel, 1985).



ภาพที่ 3.1.2 ภาพตัดครึ่งตามแนวยาวของเมล็ดข้าว

โดยปกติ เมล็ดข้าวเจ้าจะมีความโปร่งแสง ในขณะที่เมล็ดข้าวเหนียวจะทึบแสง ทั้งนี้ เนื่องจากจะมีโพรงระหว่างโมเลกุลของแป้งในเมล็ดแป้งข้าวเหนียว ดังนั้น เมล็ดแป้งข้าวเหนียวจึงมีน้ำหนักเพียง 95 - 98 % ของเมล็ดข้าวเจ้า

3.1.1.2 การจำแนกประเภทของข้าวเจ้า

เกณฑ์ที่ International Rice Research Institute (IRRI; <http://www.irri.org>) ประเทศฟิลิปปินส์ ใช้ในการจำแนกชนิด ของข้าวเจ้า มีดังนี้

ชนิดข้าวเจ้า	ความยาวของเมล็ด (มม.)
extra long	มากกว่า 7.50 mm
long	6.61 - 7.50 mm
medium	5.51 - 6.60 mm
short	น้อยกว่า 5.50 mm

ขนาดของข้าวเจ้า	สัดส่วนความยาวต่อความกว้างของเมล็ด
slender	มากกว่า 3.0
medium	2.1 - 3.0
bold	1.1 - 2.0
round	น้อยกว่า 1.0

ในขณะที่ Rice Research Unit, United States Department of Agriculture

(<http://usda-ars-beaumont.tamu.edu/qual5.html>) ใช้ค่าสัดส่วนความยาวต่อความกว้างของ เมล็ดข้าวเป็นเกณฑ์ ในการแบ่งขนาดของเมล็ดข้าวสารที่ผ่านการสีแล้ว ดังนี้

ขนาดของข้าวเจ้า	สัดส่วนความยาวต่อความกว้างของเมล็ด
long grain	มากกว่า 3.0
medium grain	2.1 - 2.9
short grain	น้อยกว่า 2.0

ข้าวที่ปลูกในประเทศไทยมีขนาดจัดอยู่ในกลุ่มข้าวเมล็ดยาว (long grain) ข้าวบางพันธุ์มีขนาดดังแสดงในตารางที่ 3.1.1

ตารางที่ 3.1.1 ขนาดของ Rough rice และ Brown rice ของข้าวบางพันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทย

พันธุ์	Rough rice				Brown rice	
	ความยาว (L; mm)	ความกว้าง (W; mm)	LW ratio	Hull (% wet basis)	นน. ของข้าว 100 เมล็ด (g)	โปรตีน (%)
Nahng Mon S-4	10.6	2.9	3.6	23.2	2.78	7.20
Leuang Yai 34	9.7	2.9	3.3	20.8	2.41	7.27
ข้าวเหนียวดำ	9.0	3.0	3.0	22.8	1.96	11.95
ขาวดอกมะลิ 105	10.0	2.3	4.3	22.6	2.03	8.46
Gam Pai 41	10.0	3.1	3.2	24.1	2.68	7.42
เหนียวสันปาดอง	9.8	2.9	3.4	23.8	2.10	8.16
นางพญา 132	9.8	2.4	4.0	22.9	2.05	9.09
ปิ่นแก้ว 56	10.1	2.5	4.1	19.5	2.26	8.50
ข้าวหอมมะลิ 105	9.3	2.4	3.8	22.4	1.94	9.64
คำเจ็ล	9.8	2.7	3.6	22.5	2.25	8.63

ที่มา : Juliano และคณะ, 1964

3.1.1.3 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเจ้า

องค์ประกอบส่วนใหญ่ในเมล็ดข้าวเจ้า คือ แป้ง (ตารางที่ 3.1.2 และ 3.1.3) แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส สองชนิด คือ อะมิโลส และอะมิโลเพกตินซึ่งจัดเรียงตัวกันเป็นเม็ดแป้ง (starch granule) เม็ดแป้งข้าวเจ้าจะมีขนาดที่เล็กประมาณ 3-5 ไมครอน มีรูปร่างแบน และมีหลายเหลี่ยม เม็ดแป้งข้าวเจ้า มีความเป็นผลึก (crystallinity) 38% และมีอุณหภูมิการเกิดเจลลาติโนเซชันประมาณ 70°C (Oates, 1996) ทั้งนี้ อุณหภูมิการเกิดเจลลาติโนเซชันขึ้นกับสัดส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินซึ่งขึ้นกับพันธุ์ข้าว (ตารางที่ 3.1.4) นอกจากนี้ ข้าวเจ้ายังประกอบด้วยสารอาหารที่สำคัญหลายชนิด ดังแสดงในตารางที่ 3.1.5

ตารางที่ 3.1.2 องค์ประกอบของเมล็ดข้าวหัก

องค์ประกอบ	%
แป้ง	79.2
ความชื้น	12.0
โปรตีน	7.0
ไขมัน	0.4
เถ้า	0.5
อื่นๆ	0.9

ตารางที่ 3.1.3 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้อง (rough rice) และผลิตภัณฑ์จากข้าว (14% moisture) (10 g)

Rice fraction	Crude protein (g N x 5.95)	Crude fat (g)	Crude fiber (g)	Crude ash (g)	Neutral detergent fiber (g)	Energy content (hcal)	Density (g/ml)	Bulk density (g/ml)	Available carbohydrates (g)
Rough rice	5.8-7.7	1.5-2.3	7.2-10.4	2.9-5.2	16.4-19.2	378	1.17-1.23	0.56-0.64	64-73
Brown rice	7.1-8.3	1.6-2.8	0.6-1.0	1.0-1.5	2.9-3.9	363-385	1.31	0.68	73-87
Milled rice	6.3-7.1	0.3-0.5	0.2-0.5	0.3-0.8	0.7-2.3	349-373	1.44-1.46	0.78-0.85	77-89
Rice bran	11.3-14.9	15.0-19.7	7.0-11.4	6.6-9.9	24-29	399-476	1.16-1.29	0.20-0.40	34-62
Rice hull	2.0-2.8	0.3-0.8	34.5-45.9	13.2-21.0	66-74	265-332	0.67-0.74	0.10-0.16	22-34

ตารางที่ 3.1.4 สมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวพันธุ์ต่างๆที่ปลูกในประเทศไทย

พันธุ์	Amylose (%)	Gelatinization Temperature (°C)	Amylograph viscosity		
			Peak (BU)	Breakdown (BU)	Setback (BU)
Nahng Mon S-4	26.2	58.5	660	210	+240
Leuang Yai 34	31.2	58	850	40	+620
ข้าวเหนียวดำ	5.7	57.5	550	225	-125
ขาวดอกมะลิ 105	17.3	57.5	1085	625	-405
Gam Pai 41	5.2	56.5	730	350	-210
เหนียวสันป่าตอง	2.8	57	700	340	-230
นางพญา 132	29.4	67	870	200	+335
ปิ่นแก้ว 56	30.4	61.5	795	195	+275
ข้าวหอมนครปฐม	29.4	62.5	510	105	+320
ค่าเฉลี่ย	19.7	59.5	750	255	+90

ที่มา : Juliano และคณะ, 1964

ตารางที่ 3.1.5 Vitamin and mineral content ของข้าวกล้องและผลิตภัณฑ์จากข้าว (14 % moisture)

Rice fraction	Thiamin (mg)	Riboflavin (mg)	Niacin (mg)	α - Tocopherol (mg)	Calcium (mg)	Phosphorus (g)	Phytin P (g)	Iron (mg)	Zinc (mg)
Rough rice	0.26-0.33	0.06-0.11	2.9-5.6	0.90-2.00	10-80	0.17-0.39	0.18-0.21	1.4-6.0	1.7-3.1
Brown rice	0.29-0.61	0.04-0.14	3.5-5.3	0.90-2.50	10-50	0.17-0.43	0.13-0.27	0.2-5.2	0.6-2.8
Milled rice	0.02-0.11	0.02-0.06	1.3-2.4	0.75-0.30	10-30	0.08-0.15	0.02-0.07	0.2-2.8	0.6-2.3
Rice bran	1.20-2.40	0.18-0.43	26.7-49.9	2.60-13.3	30-120	1.1-2.5	0.9-2.2	8.6-43.0	4.3-25.8
Rice hull	0.09-0.21	0.05-0.07	1.6-4.2	0	60-130	0.03-0.07	0	3.9-9.5	0.9-4.0

ที่มา: Juliano, 1985; Pedersen และ Eggum, 1983.

ตารางที่ 3.1.6 Amino acid content ของข้าวกล้อง (rough rice) และผลิตภัณฑ์จากข้าว (14 % moisture)

Rice fraction	Histidine (mg)	Isoleucine (mg)	Leucine (mg)	Lysine + cysteine (mg)	Methionine + tyrosine (mg)	Phenylalanine (mg)	Threonine (mg)	Tryptophan (mg)	Valine (mg)	Amino acid score ^a
Rough rice	1.5-2.8	3.0-4.8	6.9-8.8	3.2-4.7	4.5-6.2	9.3-10.8	3.0-4.5	1.2-2.0	4.6-7.0	55-81
Brown rice	2.3-2.5	3.4-4.4	7.9-8.5	3.7-4.1	4.4-4.6	8.6-9.3	3.7-3.8	1.2-1.4	4.8-6.3	64-71
Milled rice	2.2-2.6	3.5-4.6	8.0-8.2	3.2-4.0	4.3-5.0	9.3-10.4	3.5-3.7	1.2-1.7	4.7-6.5	55-69
Rice bran	2.7-3.3	2.7-4.1	6.9-7.6	4.8-5.4	4.2-4.8	7.7-8.0	3.8-4.2	0.6-1.2	4.9-6.0	83-93
Rice hull	1.6-2.0	3.2-4.0	8.0-8.2	3.8-5.4	3.5-3.7	6.6-7.3	4.2-5.0	0.6	5.5-7.5	66-93

^a Based on 5.8 g lysine per 16 g N as 100%

Sources: Juliano, 1985; Eggum และคณะ, 1982; Pedersen และ Eggum, 1983.

3.1.1.4 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของเมล็ดข้าวเจ้า

องค์ประกอบของเมล็ดข้าวเจ้าเป็นดัชนีหนึ่งซึ่งบ่งคุณภาพของข้าวเจ้า ซึ่งเป็นที่รู้กันดีว่า ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมมีผลกระทบต่อองค์ประกอบของเมล็ดข้าวเจ้า (Juliano, 1985) ตัวอย่าง เช่น เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของสภาพดินฟ้าอากาศ เช่น มีปริมาณฝนน้อยในพื้นที่เพาะปลูก พื้นที่เพาะปลูกมีความเค็มมาก หรือมีความเป็นด่างมาก และรวมถึงการใช้ปุ๋ยที่มีไนโตรเจนมาก ปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวจะสูงขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณโปรตีนก็หมายถึงการลดลงของปริมาณแป้ง นอกจากนี้ องค์ประกอบของข้าวเจ้ายังขึ้นอยู่กับพันธุ์ ซึ่งปัจจัยทางด้านพันธุ์ข้าวนี้ ถือเป็นปัจจัยที่สำคัญมากปัจจัยหนึ่ง การปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยวที่ถูกต้องเพื่อลดการสูญเสียทั้งทางกล ทางเคมี และทางจุลชีววิทยาเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่จะรักษาคุณภาพของข้าวเจ้า ตารางที่ 3.1.7 ได้สรุปปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพและ สมบัติของข้าวเจ้า

ตารางที่ 3.1.7 ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม กระบวนการผลิต และพันธุ์ ที่มีผลต่อคุณภาพของข้าวเจ้า

Post-harvest process and associated grain property	สภาวะแวดล้อม	วิธีการแปรรูป	สายพันธุ์
Harvesting	^a	+	+ (Growth duration, photoperiod, degree of ripening, dormancy)
Threshing	+	+	+ (Threshability, shattering)
Drying	+	+	+ (Crack resistance)
Storage/ageing	+	+	+ (Waxy rice ages less than non-waxy)
Parboiling	+	+	+ (Gelatinization temperature)
Dehulling	0	+	+ (Hull tightness and content)
Size and shape	+	0	+ (Genetically determined)
Degree of milling (whiteness)	+	+	+ (Depth of grooves)
Head rice	+	+	+ (Crack resistance)
Translucency	+	+	+
Aroma	+	+	+
Foreign matter	+	+	0
Shelf life	+	+	0
Amylose content	+	0	+ (Volume expansion and texture)
Gelatinization temperature	+	0	+ (Cooking time)
Gel consistency	+	0	+
Texture of cooked rice	+	+	+
Grain elongation	+	+	+

^a+, มีผลต่อคุณภาพ; 0. ไม่มีผลต่อคุณภาพ

3.1.2. เกณฑ์ที่ใช้ในการชี้บ่งคุณภาพของข้าว

คุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ความยาว ความกว้าง ความโปร่งแสง การสีข้าว สีและอายุของข้าวที่สี คือ ดัชนีชี้บ่งคุณภาพของข้าวเจ้า นอกจากนี้ ปริมาณ อะมิโลส ของแป้งข้าวก็เป็นดัชนีหลักที่ชี้บ่งคุณภาพของข้าวเจ้า ปริมาณ อะมิโลส ที่มีเป็นปฏิสัมพันธ์โดยตรงกับการพองตัว (volume expansion) และความสามารถในการดูดน้ำ (water absorption) ระหว่างการทำให้อุ่น และยังเป็นปฏิสัมพันธ์กับความแข็ง (hardness) ความขาว (whiteness) และ ความขุ่นทึบ (dullness) ของข้าวสุก (Juliano, 1985) ในภาพรวมสำหรับข้าวเจ้า (ไม่รวมข้าวเหนียว) นั้น ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูงจะมีคุณภาพดีกว่าข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสปานกลาง และ ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสปานกลางจะมีคุณภาพดีกว่าข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ (Kumar and Khush, 1987).

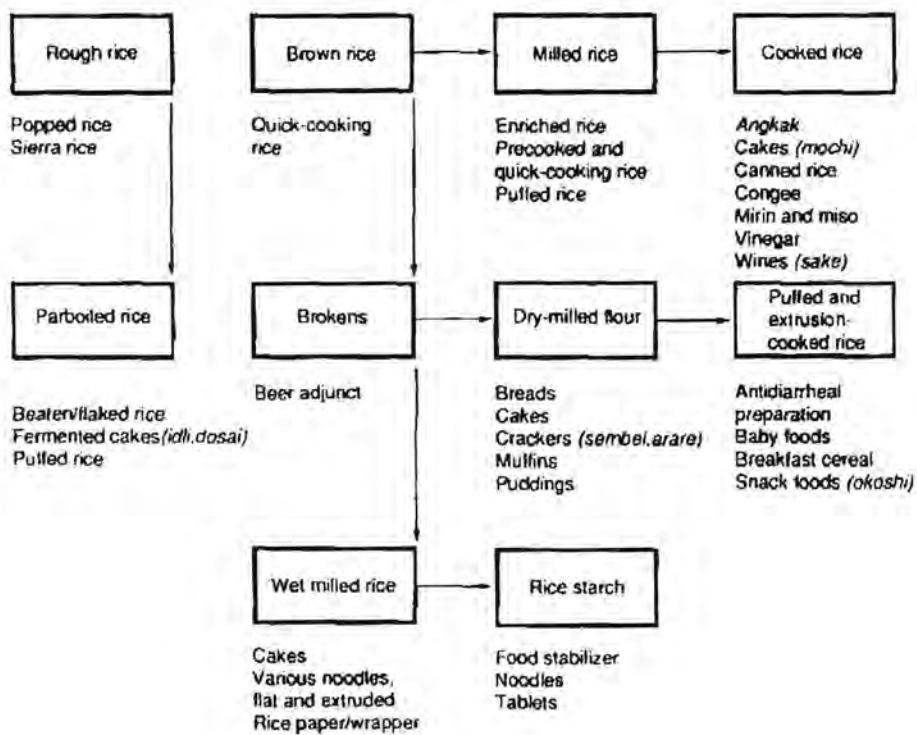
อุณหภูมิสุดท้ายของการเจลาติไนซ์สามารถใช้เป็นดัชนีบ่งคุณภาพของข้าวได้เช่นกัน ค่าจำกัดความของอุณหภูมิสุดท้ายของเจลาติไนเซชัน (final temperature of gelatinization) คือ อุณหภูมิที่ทำให้เม็ดแป้งอย่างน้อย 90% เจลาติไนซ์ หรือเกิดการสูญเสียลักษณะ birefringence หรือ maltose cross อุณหภูมิสุดท้ายของการเจลาติไนซ์ของสตาร์ชจากข้าวจัดว่าต่ำถ้าอยู่ในช่วง 55-69.5 °C ปานกลางถ้าอยู่ในช่วง 70-74 °C และสูงเมื่ออยู่ในช่วง 74.5-80 °C ในข้าวที่มีปริมาณ อะมิโลส สูงอุณหภูมิของการเกิดเจลาติไนซ์มักจะต่ำ

ในการวัดความกระด้าง (hardness) ของข้าวที่มี อะมิโลส สูงหุงสุกนั้นมักจะใช้วิธีวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลแป้ง (gel consistency) สามารถแบ่งชนิดของข้าวได้ตามความยาวของเจล (gel length) กล่าวคือ ข้าวนั้นจะถือว่ามีค่า gel length เท่ากับ 61-100 มม ปานกลางถ้ามี gel length เท่ากับ 41-60 มม และกระด้างถ้ามี gel length เท่ากับ 21-40 มม ข้าวที่ให้เจลที่มี gel consistency ในช่วงนุ่มและปานกลาง (soft to medium gel) จะจัดว่ามีคุณภาพดีทั้งใน waxy และ non-waxy varieties ข้าวที่มีปริมาณโปรตีนมากกว่ามักจะทำให้เจลที่มีความกระด้างมากกว่า ทั้งนี้ปริมาณ อะมิโลเพกติน ในข้าวจะเป็นตัวบ่งชี้ที่ถึงลักษณะเนื้อสัมผัสของแป้งข้าว ข้าวที่มีปริมาณ อะมิโลเพกติน สูงมักจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่ม

3.1.3. ข้อมูลทางอุตสาหกรรม

ภาพที่ 3.1.3 แสดงแผนภูมิการนำข้าวเจ้าและผลิตภัณฑ์ข้าวเจ้าชนิดอื่นๆ เช่น ข้าวหัก (ปลายข้าว) แป้งข้าวเจ้า ไปใช้ในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่างๆ และตารางที่ 3.1.8 แสดงถึงชนิดของข้าวเจ้าและปริมาณ อะมิโลส ในข้าวเจ้าที่มีความเหมาะสมในการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ

ข้อดีของการนำข้าวเจ้ามาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆในประเทศไทย คือ ข้าวเจ้าเป็นวัตถุดิบที่มีมาก และมีราคาถูก ข้อเสียของการใช้ข้าวเจ้าในการผลิตผลิตภัณฑ์แปรรูปนั้น คือ ความสม่ำเสมอของคุณภาพของวัตถุดิบ เนื่องจากข้าวที่ปลูกจากพื้นที่ต่างๆ และข้าวพันธุ์ต่างๆมีคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพที่ต่างกันมาก และในการรับซื้อข้าวเพื่อการผลิตนั้น โรงงานมักจะซื้อจากเกษตรกรหลายราย ทำให้การควบคุมคุณภาพของ วัตถุดิบข้าวมีความยากลำบากและทำให้มีความแปรปรวนในตัววัตถุดิบมาก



ภาพที่ 3.1.3 แผนภูมิแสดงถึงการแปรรูปข้าวเจ้าไปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ
(FAO, 1990a)

ตารางที่ 3.1.8 ปริมาณอะมิโลสที่เหมาะสมสำหรับการแปรรูปข้าวเจ้าไปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณอะมิโลส				สมบัติอื่นๆ
	Waxy	Low	Intermediate	High	
ข้าวเหนียว	+	+	⊕	⊕	
ข้าวหุงสุกไว ^a	+	+	+	+	
ข้าวเจ้ากระป๋อง ^a	+	+	+	+	
ข้าวพองและผลิตภัณฑ์	+	+	+	+	(Amylose content not a major factor)
Rice cereals and snacks	+	+	+		Low fat; texture affected by amylose content
Extrusion-cooked rice foods	+	+	+		Low fat
Rice-based infant formulations		+	+		Low fat
แป้งและสตาร์ชจากข้าวเจ้า	+	+	+	+	Wet milling process, freshly milled
Rice puddings and breads		+	+	+	Low GT
Rice cakes	+	+	+		Low GT, aged (for fermented cakes), freshly milled
Flat rice noodles and rice paper	(+)	⊕			
Extruded rice noodles				+	Hard gel consistency
Rice wines	⊕	⊕	+	+	Low protein and fat, higher ethanol yield for waxy and low amylose
Beer adjunct		+			Low GT and low fat
Rice frozen sauces, desserts, sweets	+	+			Slow retrogradation (syneresis)

^a ขึ้นกับความชอบของผู้บริโภคในแต่ละท้องถิ่น ⊕ ปริมาณอะมิโลสที่เหมาะสมที่สุด

3.1.4. การบริโภคข้าวและผลิตภัณฑ์ข้าวแปรรูปในไทย

3.1.4.1 ข้าวสวยที่ผ่านการหุงต้มแล้ว

รูปแบบดังกล่าวเป็นรูปแบบที่มีการบริโภคกันมากที่สุด แต่ในขณะนี้แนวโน้มที่ลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผู้บริโภคที่อาศัยในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล เนื่องจาก ผู้บริโภคมีการปรุงอาหาร รับประทานเองลดลง และหันไปบริโภคอาหารจานเดียว รวมทั้งอาหารจานด่วนแบบต่างชาติมากขึ้น

การปรับตัวในแนวทางธุรกิจเพื่อรักษาระดับและเพื่อขยายการบริโภคข้าวสารมี 3 แนวทางใหญ่คือ

ปรับปรุงภาชนะบรรจุข้าวสารให้มีความสวยงามมากขึ้นและมีขนาดเล็กลง เพื่อให้เหมาะสมกับพฤติกรรมของผู้บริโภคในปัจจุบัน

ผลิตและจำหน่ายข้าวสารกึ่งสำเร็จรูปและข้าวสารหุงเร็ว (quick cook rice) โดยมีทั้งข้าวสารหุงเร็วธรรมดาและผลิตภัณฑ์ที่ปรุงรสแล้วเป็นโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป

ผลิตอาหารจานเดียวจากข้าวแช่เยือกแข็ง ซึ่งนอกจากจะให้น้ำนำใจผู้บริโภคภายในประเทศแล้ว ยังเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมมากในต่างประเทศ เช่น ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา และ สหภาพยุโรป อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์นี้จะมีราคาค่อนข้างสูงและมีข้อจำกัดของผลิตภัณฑ์ คือต้องแช่เย็นอยู่เสมอ

3.1.4.2 แป้งข้าว

ในปัจจุบันนี้ นอกจากจะมีการผลิตแป้งข้าวเจ้าแล้ว ยังมีการผลิตแป้งข้าวเจ้าตัดแปร หรือ โมดิไฟด์สตาร์ช ซึ่งแป้งข้าวเจ้า และโมดิไฟด์สตาร์ชนี้ นอกจากจะผลิตเพื่อใช้เองในประเทศแล้ว ยังมีการส่งออกไปยังต่างประเทศด้วย โดยโมดิไฟด์สตาร์ชมีสัดส่วนของมูลค่าการส่งออกเกินกว่า 50% ของมูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์ข้าวแปรรูปทั้งหมด

3.1.4.3 เส้นหมี่ เส้นก๋วยเตี๋ยว และแป้งแผ่น

เช่นเดียวกับแป้งข้าวเจ้า และโมดิไฟด์สตาร์ การผลิตเส้นหมี่ เส้นก๋วยเตี๋ยว และแป้งแผ่น (มันตา โอมะคุปต์, 2539) นี้ นอกจากจะผลิตเพื่อการบริโภคภายในประเทศแล้ว ยังมีการผลิตเพื่อการส่งออกนับเป็นสินค้าที่ทำรายได้เป็นอันดับต้นๆ ของประเทศ และแนวโน้มการส่งออกยังเพิ่มขึ้นทุกปี

3.1.4.4 ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการหมัก เช่น ข้าวหมาก ขนมจีน และผลิตภัณฑ์ประเภทสุรา

ได้แก่ อุ สาโท และกระแช่ นอกจากนี้ยังมีผลิตภัณฑ์ที่ใช้ข้าวเหนียวในการหมัก เช่น สาเก และ น้ำส้มสายชู ในส่วนของผลิตภัณฑ์จากแป้งข้าวเจ้า 3 ชนิดนั้น ขณะนี้มีเพียงขนมจีน (ลลนา ยังประสิทธิ์พร, 2532) เท่านั้นที่มีการผลิต ในเชิงอุตสาหกรรม ส่วนข้าวหมากนั้นมีการผลิตในเชิงการค้าแต่ยังไม่ถึงกับเป็นโรงงานอุตสาหกรรม

การใช้ประโยชน์จากข้าวในกระบวนการหมักอีกทางหนึ่ง คือ การนำเข้าไปใช้ในการหมักเบียร์ แต่ยังมีปัญหาคือ ประสิทธิภาพในการผลิตน้ำตาลจากข้าวเจ้านั้นอยู่ในอัตราที่ต่ำเมื่อเทียบกับข้าวบาร์เลย์ ดังนั้นจึงยังต้องมีการใช้ร่วมกับข้าวบาร์เลย์ ซึ่งควรจะต้องมีการศึกษาต่อไปเพื่อเพิ่มปริมาณข้าวเจ้าในการหมักเบียร์

3.1.4.5 ผลิตภัณฑ์อาหารเช้า ผลิตภัณฑ์อาหารทานเล่น และผลิตภัณฑ์อาหารเสริม

ในผลิตภัณฑ์อาหารเช้านั้นยังมีการใช้ข้าวสาลี ข้าวโพด มันฝรั่งเป็นวัตถุดิบอยู่มาก และใช้ข้าวเจ้าเป็นส่วนน้อย แต่จะมีการใช้ข้าวเจ้าในสัดส่วนที่มากกว่าในผลิตภัณฑ์อาหารทานเล่นและอาหารเสริม โดยในผลิตภัณฑ์อาหารทานเล่นนั้นจะผลิตโดยกระบวนการ extrusion ทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านเครื่องอัดความดัน สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารทานเล่นที่ไม่ผ่านกระบวนการ extrusion ก็มีเช่น ข้าวเกรียบปรุงรสต่างๆ ซึ่งมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องทุกปี และมีการส่งออกไปยังตลาดต่างประเทศด้วย

ในส่วนของผลิตภัณฑ์อาหารเสริมทั้งสำหรับเด็กและผู้ใหญ่นั้น ได้มีความพยายามอย่างต่อเนื่องที่จะแปรรูปข้าวเพื่อนำมาใช้เป็นอาหารเสริมสำหรับทารก โดยมีทั้งอาหารเสริมสมบูรณ์ หมายถึง มีสารอาหาร ที่ร่างกายต้องการได้รับครบถ้วน กับอาหารเสริมแบบไม่สมบูรณ์ โดยอยู่ในรูปผลิตภัณฑ์อาหารแห้งเพื่อความสะดวก ในการเก็บและการขนส่ง อุดม กาญจนปกรณัมชัย (2519) ได้พัฒนาสูตรอาหารเด็กอ่อนจากข้าวเจ้าโดยใช้

แป้งข้าวเหลืองเป็นแหล่งสารอาหารโปรตีน ผลิตภัณฑ์อาหารเสริมจากข้าวเจ้านี้มักไม่ได้รับความนิยม โดยถูกมองว่ามีคุณภาพต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้วัตถุดิบอื่นๆ เช่น นมหรือข้าวโอ๊ต เป็นต้น

3.1.5. แนวโน้มการประยุกต์ใช้ข้าวเจ้า

อาหารหลักของประชากรในประเทศทางซีกโลกตะวันตกมักจะทำจากข้าวสาลี มันฝรั่ง หรือข้าวโพดเป็นส่วนใหญ่ การบริโภคข้าวเจ้าของประชากรในเขตนี้อยู่ในระดับต่ำมากในอดีต แต่ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ปริมาณการบริโภคข้าวเจ้าของประชาชนในสหรัฐอเมริกาได้เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า หรือเป็นปริมาณมากกว่า 21 ปอนด์ (ประมาณ 10 กิโลกรัม) ต่อปีต่อคน ซึ่งยังถือว่าอยู่ในเกณฑ์ต่ำเมื่อเทียบกับปริมาณการบริโภคข้าวเจ้าของประชากรในทวีปเอเชีย (300 ปอนด์ หรือ 136 กิโลกรัม ต่อปีต่อคน) อย่างไรก็ตาม ไร่ที่ดี the California Rice Commission คาดการณ์ว่าปริมาณการบริโภคข้าวของประชาชนชาวอเมริกันจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 4 ต่อปี โดยปริมาณการบริโภคข้าวของประชากรในรัฐแคลิฟอร์เนียเองจะมีอัตราการเพิ่มสูงกว่านั้นมาก เนื่องมาจากมีการเพิ่มขึ้นของประชากรที่มีเชื้อสายเอเชียและอเมริกาใต้ (Pszczola, 2001; Mukprasit และคณะ, 2000)

สืบเนื่องมาจากความนิยมในการบริโภคข้าวเจ้าที่เพิ่มขึ้นนี้ การแปรรูปข้าวเจ้าไปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ กำลังได้รับความนิยมอย่างสูง ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากข้าวเจ้าที่เพิ่งถูกนำเสนอสู่ตลาดมีหลายประเภท ดังจะกล่าวถึงต่อไปนี้

3.1.5.1 สตาร์ชข้าวเจ้า

ข้อดีของข้าวเจ้าคือมีขนาดเม็ดแป้งที่เล็ก สตาร์ชที่สกัดได้จากข้าวเจ้ามีความคงทนต่อสภาวะการผลิตได้ดี เมื่อนำไปผสมในผลิตภัณฑ์จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสและให้กลิ่นที่ดี รวมทั้งมีความเสถียรต่อความร้อนและแรงกดอัด ในปัจจุบัน บริษัท A&B Ingredients ในรัฐนิวเจอร์ซีย์ ประเทศสหรัฐอเมริกาได้ผลิต rice starch ออกมาจำหน่ายแล้วในชื่อทางการค้า Remyline XS

3.1.5.2 ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการลดการดูดซับน้ำมันในกระบวนการทอด

จากการทดลองเบื้องต้นของนักวิจัยจาก USDA Agricultural Research Service's Southern Regional Research Center ในเมืองนิวออร์ลีนส์ รัฐหลุยเซียน่า พบว่าโดนัท (doughnut) ที่ทำจากโดที่มีแป้งข้าวเจ้าดัดแปร แป้งข้าวเจ้า และส่วนผสมอื่น เป็นส่วนผสมจะมีการดูดซับน้ำมันน้อยกว่าโดนัทธรรมดาที่ประกอบด้วยแป้งจากข้าวสาลีถึง 70% นอกจากนี้ ยังมีรายงานว่าแป้งชุบทอดที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าดูดซับน้ำมันน้อยกว่าแป้งชุบทอดที่ทำจากแป้งข้าวสาลีถึง 60% อย่างไรก็ตาม การใช้แป้งข้าวเจ้าธรรมดาในแป้งชุบทอดยังไม่ประสบความสำเร็จ 100% เนื่องจาก ยังมีปัญหาเกี่ยวกับคุณสมบัติของแป้งทอดกรอบที่ได้ ผู้วิจัยพบว่าการดัดแปรแป้งข้าวเจ้าด้วยเอนไซม์และโดยวิธีการดัดแปรอื่นๆจะทำให้ได้แป้งชุบทอดที่มีคุณภาพดีขึ้นและมีคุณภาพใกล้เคียงกับแป้งชุบทอดที่ทำจากแป้งสาลี

3.1.5.3 การแปรรูปข้าวเจ้าเป็นข้าวพองเพื่อใช้ในการผลิตคุกกี้

การแปรรูปข้าวเจ้าเป็นข้าวพอง (Rice crispy) อาจทำได้ 2 แบบคือ ทำจากข้าวเจ้า 100% โดยตรง และทำจากแป้งข้าวเจ้าโดยผ่านกระบวนการ extrusion cooking ให้อยู่ในรูปข้าวพอง ข้าวพองนี้สามารถนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของคุกกี้ และ confectionery product ชนิดอื่นๆ เพื่อลดปริมาณแคลอรี โดยอาจมีการเสริมสารอาหารอื่นๆ เช่น โปรตีน วิตามิน และแร่ธาตุ

3.1.5.4 เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากรำข้าว

รำข้าวประกอบด้วยวิตามินและองค์ประกอบต่างๆที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น โปแตสเซียม inositol choline vitamin E vitamin B tocotrienol โปรตีนและน้ำมันรำข้าว เครื่องดื่มจากรำข้าวประกอบด้วยองค์ประกอบเหล่านี้เช่นกัน

3.1.5.5 Rice syrups

Rice syrups ผลิตได้โดยการตัดแปรรูปข้าวเจ้าโดยใช้เอนไซม์ rice syrup ที่ผลิตได้โดยบริษัท California Natural Products ในรัฐ California ประเทศสหรัฐอเมริกา ในปัจจุบันมีค่า Dextrose equivalence (D.E.) อยู่ในช่วง 26 ถึง 70

- Rice dextrin syrup (D.E. 26) เป็น syrup ที่มีความหนืดสูง มีรสหวานเล็กน้อย มีคุณสมบัติเป็นสารเชื่อม และเพิ่มจุดเยือกแข็ง สามารถนำไปใช้ได้ ในอาหารหวานประเภทแช่แข็ง และอาหารที่ผลิตโดยกระบวนการ extrusion cooking
- High maltose rice syrup (D.E. 42-50) ช่วยเพิ่มปริมาณ maltose ในอาหาร ใช้ได้ในลูกอม (hard candy) และ confectionery product อื่นๆ
- High glucose rice syrup (D.E. 70) มีความหวานมากที่สุดในกลุ่มที่มีความหนืดต่ำ และสามารถช่วยลดจุดเยือกแข็งของอาหารได้ โดยปกติจะใช้ในอาหารประเภทที่มีถั่วเหลืองเป็นองค์ประกอบ (soy-based product) ซอสซัน

3.1.6. แนวโน้มความต้องการในการหาพืชให้แป้งชนิดอื่นมาทดแทนข้าวเจ้าเพื่อการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์และ/หรือการลดต้นทุนในการผลิต

แนวโน้มการหาพืชให้แป้งชนิดอื่นมาทดแทนข้าวเจ้าในปัจจุบันนี้ยังไม่ปรากฏ ในทางตรงกันข้ามทั้งภาครัฐและเอกชนมีความพยายามที่จะนำข้าวเจ้าและแป้งจากข้าวเจ้านี้ไปทดแทนในผลิตภัณฑ์ ที่มีการใช้แป้งที่ต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศ เช่น แป้งสาลี แป้งมันฝรั่ง เป็นต้น นอกจากนี้ ยังมีรายงานความพยายามนำข้าวเจ้าไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเบียร์ โดยขณะนี้ได้มีการทดลองใช้ข้าวเจ้าร่วมกับ ข้าวบาร์เลย์ในการผลิตเบียร์ ข้อดีของการใช้ข้าวเจ้าเป็นส่วนผสมในการผลิตเบียร์ คือ ข้าวเจ้ามีปริมาณโปรตีนต่ำ นอกจากนี้ ข้าวเจ้ายังให้กลิ่นรสที่อ่อนเมื่อเทียบกับข้าวบาร์เลย์และข้าวสาลี (จาก <http://www.beer-brewing.com/ch06-beer-adjuncts.htm>)

3.1.7. งานวิจัยที่เกี่ยวกับข้าวเจ้า

ประเภทของงานวิจัย	เอกสารอ้างอิง
Microstructure characterization	Lugay and Juliano, 1965; Takeda and Hizukuri, 1986; Hizukuri และคณะ, 1989; Takeda และคณะ, 1989; Takeda และคณะ, 1993; Delwiche และคณะ, 1995
Influence of composition and processing conditions on physical properties	Juliano และคณะ, 1964; Juliano และคณะ, 1965; Bhattacharya และคณะ, 1972; Villareal และคณะ, 1976; Hibi, 1994; Archer and Siebenmorgen, 1995; Petrofsky and Hosenev, 1995; Dintzis และคณะ, 1996; Guraya และคณะ, 1997; Lii และคณะ, 1997; Perdon และคณะ, 1997; Tsai และคณะ, 1997; Champagne และคณะ, 1998; Fan and Marks, 1998; Bhattacharya และคณะ, 1999; Lyon และคณะ, 1999; Lisle และคณะ, 2000; Lyon และคณะ, 2000; Meullenet และคณะ, 2000; Teo และคณะ, 2000; Tsai and Lii, 2000;
Rice protein separation and usage	Cagampang และคณะ, 1966; Shih, 1996; Shih and Daigle, 1997; Shih and Daigle, 2000
Rice starch retrogradation	Jacobson และคณะ, 1997; Villareal และคณะ, 1997; Riva และคณะ, 2000
Modified rice starch and its properties	Lu และคณะ, 1996; Nurul Islam and Mohd. Azemi, 1997; Chatakanonda และคณะ, 2000; Koch and Jane, 2000

3.1.8. เอกสารอ้างอิง

- จิราภา เมืองคล้าย. 2539. การพัฒนามลิตภัณฑ์อาหารเข้าชนิดแผ่นจากแป้งข้าว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาพัฒนามลิตภัณฑ์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มันตา โอมะคุปต์. 2539. การออกแบบควบคุมคุณภาพการผลิตแป้งแผ่น. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาพัฒนามลิตภัณฑ์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ลลิตา ยังประสิทธิ์พร. 2532. การใช้แป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนซ์ในขนมจีน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อุดม กาญจนปกรณ์ชัย. 2519. การทำอาหารเด็กอ่อนจากแป้งข้าวเจ้าและแป้งถั่วเหลืองโดยวิธีแยกส่วนผสมทำให้สุกด้วยเครื่องคั่วเคอเอ็กซ์ทูตเตอร์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Archer, T.R. and Siebenmorgen, T.J. 1995. Milling quality as affected by brown rice temperature. *Cereal Chem.* 72(3):304-307.
- Bhattacharya, K.R., Sowbhagya, C.M., and Indudhara Swamy, Y.M. 1972. Interrelationship between certain physicochemical properties of rice. *J. Food Sci.* 37:733-735.
- Bhattacharya, M., Zee, S.Y., and Corke, H. 1999. Physicochemical properties related to quality of rice noodles. *Cereal Chem.* 76(6):861-867.
- Cagampang, G.B., Cruz, L.J., Espiritu, S.G., Santiago, R.G. and Juliano, B.O. 1966. Studies on the extraction and composition of rice proteins. *Cereal Chem.* 43(2): 145-155.
- Champagne, E.T., Lyon, B.G., Min, B.K., Vinyard, B.T., Bett, K.L., Barton II, F.E., Webb, B.D., McClung, A.M., Moldenhauer, K.A., Linscombe, S., McKenzie, K.S., and Kohlwey, D.E. 1998. Effect of postharvest processing on texture profile analysis of cooked rice. *Cereal Chem.* 75(2):181-186.
- Chatakanonda, P., Varavinit, S., and Chinachoti, P. 2000. Relationship of gelatinization and recrystallization of cross-linked rice to glass transition temperature. *Cereal Chem.* 77(3):315-319.
- Delwiche, S.R., Bean, M.M., Miller, R.E., Webb, B.D., and Williams, P.C. 1995. Apparent amylose content of milled rice by near-infrared reflectance spectrophotometry. *Cereal Chem.* 72(2): 182-187.
- Dintzis, F.R., Berhow, M.A., Bagley, E.B., Wu, Y.V., and Felker, F.C. 1996. Shear-thickening behavior and shear-induced structure in gently solubilized starches. *Cereal Chem.* 73(5):638-643.
- Eggum, B.O., Juliano, B.O. and Maniñgat., C.C. 1982. Protein and energy utilization of rice milling fractions by rats. *Qual. Plant. Plant Foods Hum. Nutr.*, 31: 371 -376.
- Fan, J. and Marks, B.P. 1998. Retrogradation kinetics of rice flours as influenced by cultivar. *Cereal Chem.* 75(1): 153-155.
- FAO. 1990. Rice. *FAO Q. Bull. Stat.*, 3(1): 20-28, 55, 73.

- Guraya, H.S., Kadan, R.S. and Champagne, E.T. 1997. Effect of rice starch-lipid complex on In Vitro digestibility, complexing index, and viscosity. Cereal Chem. 74(5): 561-565.
- Hibi, Y. 1994. Effect of lipids on the viscoelastic properties of rice starch gel. Starch/Starke 46(2):44-48.
- Hizukuri, S., Takeda, Y. and Maruta, N. 1989. Molecular structure of rice starch. Carbohydrate Res. 189: 227-235.
- Jacobson, M.R., Obanni, M., and BeMiller, J.N. 1997. Retrogradation of starches from different botanical sources. Cereal Chem. 74(5): 511-518.
- Juliano, B.O. 1985. Rice: chemistry and technology, 2nd ed. St Paul, MN, USA, Am. Assoc. Cereal Chem. 774 pp.
- Juliano, B.O., Bautista, G.M., Lugay, J.C., and Reyes, A.C. 1964. Studies on the physicochemical properties of rice. Rice Quality 12(2):131-138.
- Juliano, B.O. and Bechtel, D.B. 1985. The rice grain and its gross composition. In B.O. Juliano, ed. Rice chemistry and technology, 2nd ed., p. 17-57. St Paul, MN, USA, Am. Assoc. Cereal Chem.
- Juliano, B.O., Cagampang, G.B., Cruz, L.J. and Santiago, R.G. 1964. Some physicochemical properties of rice in southeast asia. 41: 275-286.
- Juliano, B.O., Onate, L.U. and Del Mundo, M. 1965. Relation of starch composition, protein content, and gelatinization temperature to cooking and eating qualities of milled rice. Food Technol. 6: 116-121.
- Koch, K., and Jane, J.L. 2000. Morphological changes of granules of different starches by surface gelatinization with calcium chloride. Cereal Chem. 77(2): 115-120.
- Kumar, I. and Khush, G.S. 1987. Genetic analysis of different amylose levels in rice. Crop Sci., 27: 1167-1172.
- Lii, C.Y., Lai, V.M.F., Liu, K.F., and Chang, W.H. 1997. Influences of polyols on thermal and dynamic viscoelastic properties of rice starches during gelatinization. Starch/Starke 49(9):346-354.
- Lisle, A.J., Martin, M., and Fitzgerald, M.A. 2000. Chalky and translucent rice grains differ in starch composition and structure and cooking properties. Cereal Chem. 77(5): 627-632.
- Lu, S., Chen, C.Y., and Lii, C.Y. 1996. Gel-Chromatography fractionation and thermal characterization of rice starch affected by hydrothermal treatment. Cereal Chem. 73(1): 5-11.
- Lugay, J.C. and Juliano, B.O. 1965. Crystallinity of rice starch and its fractions in relation to gelatinization and pasting characteristics. J. App. Polymer Sci. 9: 3775-3790.
- Lyon, B.G., Champagne, E.T., Vinyard, B.T., and Windham, W.R. 2000. Sensory and instrumental relationships of texture of cooked rice from selected cultivars and postharvest handling practices. Cereal Chem. 77(1):64-69.
- Lyon, B.G., Champagne, E.T., Vinyard, B.T., Windham, W.R., Barton II, F.E., Webb, B.D., McClung, A.M., Moldenhauer, K.A., Linscombe, S., McKenzie, K.S., and Kholwey, D.E. 1999. Effects of degree

- of milling, drying condition, and final moisture content on sensory texture of cooked rice. Cereal Chem. 76(1):56-62.
- Meullenet, J.F., Marks, B.P., Hankins, J.A., Griffin, V.K., and Daniels, M.J. 2000. Sensory quality of cooked long-grain rice as affected by rough rice moisture content, storage temperature, and storage duration. Cereal Chem. 77(2):259-263.
- Mukprasirt, A., Herald, T.J., Boyle, D.L. and Rausch, K.D. 2000. Adhesion of rice flour-based batter to chicken drumsticks evaluated by laser scanning confocal microscopy and texture analysis. Poultry Sci. 79(9): 1356-1363.
- Nurul Islam, M., and Mohd. Azemi, B.M.N. 1997. Rheological properties of calcium treated hydroxypropyl rice starches. Starch/Starke 49(4):136-141.
- Oates, C.G. 1996. Physical modification of starch. In Advanced Post Academic Course on Tapioca Starch Technology. Jan 22-26 & Feb 19-23, 1996. AIT Center, Bangkok, THAILAND.
- Pedersen, B. and Eggum, B.O. 1983. The influence of milling on the nutritive value of flour from cereal grains. IV. Rice. Qual. Plant. Plant Foods Hum. Nutr. 33: 267-278.
- Perdon, A.A., Marks, B.P., Siebenmorgen, T.J., and Reid, N.B. 1997. Effect of rough rice storage conditions on the amylograph and cooking properties of medium-grain rice cv. Bengal. Cereal Chem. 74(6):864-867.
- Petrofsky, K.E., and Hosenev, R.C. 1995. Rheological properties of dough made with starch and gluten from several cereal sources. Cereal Chem. 72(1): 53-58.
- Pszczola, D.E. 2001. Rice: Not just for throwing. Food Technol. 55(2): 53-59.
- Riva, M., Fessas, D., and Schiraldi, A. 2000. Starch retrogradation in cooked pasta and rice. Cereal Chem. 77(4):433-438.
- Shih, F.F. 1996. Edible films from rice protein concentrate and pullulan. Cereal Chem. 73(3): 406-409.
- Shih, F.F., and Daigle, K.W. 1997. Use of enzymes for the separation of protein from rice flour. Cereal Chem. 74(4):437-441.
- Shih, F.F., and Daigle, K.W. 2000. Preparation and Characterization of rice protein isolates. J.A.O.C.S. 77(8): 885-889.
- Takeda, Y., Maruta, N., Hizukuri, S. and Juliano, B.O. 1989. Structures of indica rice starches (IR48 and IR46) having intermediate affinities for iodine. Carbohydrate Res. 187: 287-294.
- Takeda, Y., Hizukuri, S., and Juliano, B.O. 1986. Purification and structure of amylose from rice starch. Carbohydrate Res. 148:299-308.
- Takeda, Y., Tomooka, S., and Hizukuri, S. 1993. Structures of branched and linear molecules of rice amylose. Carbohydrate Res. 246:267-272.
- Teo, C.H., Abd. Karim, A., Cheah, P.B., Norziah, M.H. and Seow, C.C. 2000. On the roles of protein and starch in the aging of non-waxy rice flour. Food Chem. 69: 229-236.
- Tsai, M.L., Li, C.F., and Lii, C.Y. 1997. Effects of granular structures on the pasting behaviors of starches. Cereal Chem. 74(6): 750-757.

- Tsai, M.L., and Lii, C.Y. 2000. Effect of hot-water soluble components on the rheological properties of rice starch. Starch/Starke 52(2-3):44-53.
- Villareal, C.P., Hizukuri, S., and Juliano, B.O. 1997. Amylopectin staling of cooked milled rices and properties of amylopectin and amylose. Cereal Chem. 74(2):163-167.
- Villareal, R.M., Resurreccion, A.P., Suzuki, L.B. and Juliano, B.O. 1976. Changes in physicochemical properties of rice during storage. Starch/Stärke 28(3): 88-94.

3.2. ข้าวเหนียว

สุพัตรา งามอรุเลิศ

ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ

ดร. กัลยา เลहनสงคราม

ข้าวเหนียวเป็นอาหารหลักของคนไทยอีกอย่างหนึ่งนอกเหนือจากข้าวเจ้า นิยมปลูกและบริโภคในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ข้าวเหนียวที่มีเมล็ดค่อนข้างสมบูรณ์จะนำมาบริโภค ส่วนเมล็ดที่หักหรือปลายข้าวที่มีคุณภาพต่ำซึ่งได้มาจากการสีข้าวสามารถนำไปผสมกับข้าวที่สีแล้วเพื่อการบริโภค หรือใช้ทำเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปได้อีกหลายชนิด ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากข้าว เช่น แป้งข้าวเหนียว (Luh and Liu, 1991) ซึ่งมีปริมาณการส่งออกเป็นอันดับสองรองจากแป้งมันสำปะหลัง คือ ประมาณ 1,700,000 ตันต่อปี (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2536) นอกจากนี้ แป้งข้าวเหนียวมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆแล้วยังสามารถนำมาผลิตเป็นสตาร์ชเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมต่างๆต่อไป

สตาร์ช (starch) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากวัตถุดิบทางการเกษตร ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนใหญ่ สตาร์ชมีกระบวนการผลิตเช่นเดียวกับแป้ง (flour) แต่สตาร์ชจะแยกเอาเฉพาะส่วนของคาร์โบไฮเดรต (รุ่งทิภา วันสุขศรี, 2542)

สตาร์ชข้าวเหนียวมีเม็ดสตาร์ชขนาดเล็ก มีความสามารถในการพองตัวสูง สารละลายสตาร์ชที่ได้จะมีลักษณะใสโปร่งแสงและมีความหนืดสูง (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543) สตาร์ชข้าวเหนียวสามารถทำหน้าที่เป็นสารเชื่อม (binder) หรือใช้รักษาเนื้อสัมผัสของอาหารเนื่องจากกระบวนการแช่แข็งและการละลาย (freeze-thaw) ในผลิตภัณฑ์แช่แข็ง หรือใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดในซอส เกรวี่ คัสตาร์ด ใส้พาย พุดดิ้ง อาหารเด็กอ่อน (Luh and Liu, 1991; Matz, 1969) นอกจากนี้ยังมี การนำสตาร์ชข้าวเหนียวไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรม สิ่งทอ อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง อุตสาหกรรมกาว และอุตสาหกรรมแป้งตัดแปร เป็นต้น (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543)

3.2.1. ข้อมูลทางการเกษตรของข้าวเหนียว

ข้าวเป็นพืชตระกูลหญ้า (semi-aquatic grass plant) มีใบเลี้ยงเดี่ยว อยู่ในวงศ์ (family) Graminae สกุล (genus) *Oryza* เจริญเติบโตได้ดีทั้งในเขตร้อนและเขตอบอุ่น ข้าวที่บริโภคอยู่ทุกวันนี้มีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด (species) คือ *Oryza sativa* L. ซึ่งมีถิ่นกำเนิดแถบทวีปเอเชีย และ *Oryza glaberrima* Steud. ซึ่งมีถิ่นกำเนิดแถบทวีปแอฟริกา แต่ข้าว *O. sativa* L. เป็นที่รู้จักและยอมรับกันอย่างกว้างขวาง เป็นพันธุ์ที่มีการปลูกและจำหน่ายกันอย่างแพร่หลายในทุกวันนี้ในท้องตลาด มีหลายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์อินดิกา (*O. sativa indica*) ปลูกมากในแถบมรสุม ซึ่งมีฝนตกชุกและแสงแดดเพียงพอ และพันธุ์จาปอนิกา (*O. sativa japonica*) ปลูกในพื้นที่ใน เขตอบอุ่น (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543; วราภรณ์ คำบุญ-เรือง, 2535; Juliano, Perez, and Kaosa-Ard, 1990)

การแบ่งประเภทของข้าว

หากแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณของอะไมโลส (จาร์ส โปรงศิริวัฒนา, 2534; Juliano, 1979) สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) ข้าวเหนียว เป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสน้อยกว่า 2% เมล็ดข้าวสารมีสีขาวขุ่น เมื่อนำไปหุงให้สุกจะได้ข้าวสุกที่เหนียวจับตัวติดแน่นและมีลักษณะใส

2) ข้าวเจ้า เป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสมากกว่า 2% เมล็ดข้าวสารมีสีขาวใสกว่า เมื่อนำไปหุงข้าวจะมีสีขาวขุ่นและร่วน ปริมาณอะไมโลสในข้าวเจ้า สามารถแบ่งเป็นกลุ่มย่อยตามหลักของ International Rice Research Institute (IRRI) ปี 1972 ได้ดังนี้

- 2.1) ปริมาณน้อยมาก (very low) อยู่ในช่วง 2 - 10%
- 2.2) ปริมาณน้อย (low) อยู่ในช่วง 10 - 20%
- 2.3) ปริมาณปานกลาง (intermediate) อยู่ในช่วง 20 - 25%
- 2.4) ปริมาณสูงปานกลาง (moderately high) อยู่ในช่วง 25 - 27%
- 2.5) ปริมาณสูง (high) มีมากกว่า 27%

นอกจากนี้อาจแบ่งประเภทข้าวจากขนาดและรูปร่างของเมล็ดข้าว ตามหลักของ IRRI (Juliano, 1993) โดยถ้าวัดตามความยาวของเมล็ดข้าวจะแบ่งได้เป็น 4 ประเภท คือ ข้าวเมล็ดสั้น (short) มีความยาวน้อยกว่า 5.50 มิลลิเมตร ข้าวเมล็ดปานกลาง (medium) มีความยาว 5.51-6.60 มิลลิเมตร ข้าวเมล็ดยาว (long) มีความยาว 6.61-7.50 มิลลิเมตร และข้าวเมล็ดยาวมาก (extra long) มีความยาวมากกว่า 7.50 มิลลิเมตร และสำหรับรูปร่างของเมล็ดข้าว จะแบ่งได้เป็น 4 ประเภท โดยประเมินจากอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของเมล็ด คือ ข้าวเมล็ดเรียวยาว (slender) มีอัตราส่วนมากกว่า 3.0 ข้าวเมล็ดค่อนข้างเรียวยาว (medium) มีอัตราส่วน 2.1-3.0 ข้าวเมล็ดป้อม (bold) มีอัตราส่วน 1.1-2.0 และข้าวเมล็ดกลม (round) มีอัตราส่วนน้อยกว่า 1.0

3.2.2. ข้อมูลทางการใช้ภายในประเทศและการส่งออก

ในการขัดสีข้าวจะมีข้าวหักหรือปลายข้าวเกิดขึ้น ซึ่งปลายข้าวที่ได้จากการสีข้าวนี้สามารถนำไปผสมกับข้าวที่สีแล้วเพื่อการบริโภค หรือใช้ทำเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปได้อีกหลายชนิด ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากข้าว เช่น แป้งข้าวเหนียว และสตาร์ชข้าวเหนียว ซึ่งสามารถส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศได้เช่นเดียวกับข้าว

ปริมาณการส่งออกของข้าวและผลิตภัณฑ์จากข้าว ในปี พ.ศ. 2541-2542 ดังตารางที่ 3.2.1

ตารางที่ 3.2.1 ปริมาณการส่งออกข้าวและผลิตภัณฑ์ข้าว ปี ค.ศ.1998-1999

Rice Products Export 1998 - 1999				
Product	Quantity (Metric ton)		Value (Million Baht)	
	1998	1999	1998	1999
White non-glutinous rice 100 %	2,137,753.39	2,477,766.17	37,917.48	33,339.37
White non-glutinous rice 5-10 %	708,501.19	699,549.63	8,421.88	8,475.99
White non-glutinous rice 15-20 %	205,396.09	114,025.09	2,275.91	996.38
White non-glutinous rice 25-35 %	1,658,104.93	681,670.90	171,00.01	5,423.54
White non-glutinous rice 40-45 %	601.40	41.50	8.20	0.42
Glutinous rice	110,192.63	239,835.56	1,981.25	2,658.49
Brown rice	119,904.94	114,406.38	2,031.40	1,507.16
Broken rice	665,545.38	967,223.37	5,993.88	7,917.90
Parboiled rice	933,770.74	1,334,524.86	11,068.23	13,413.04
Glutinous rice flour	55,624.75	58,523.46	1,285.65	1,181.21
Non-glutinous rice flour	20,179.39	21,585.90	395.58	570.91
Glutinous rice starch	213.25	177.25	6.70	3.88
Non-glutinous rice starch	14.51	145.06	0.50	2.82
Glutinous rice groats/meals	6.18	13.58	0.13	0.25
Non-glutinous rice groats/meals	-	12.50	-	0.22
Non-glutinous rice in the husk	11.95	-	0.14	-
Total	6,615,027.72	6,909,501.16	88,486.95	75,281.18

ที่มา : <http://www.nfi.or.th>

3.2.3. ข้อมูลทางเคมีกายภาพ

เมล็ดข้าวที่เจริญเติบโตสมบูรณ์เต็มที่จะประกอบด้วยองค์ประกอบทางเคมี คือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เส้นใย และเถ้า ดังแสดงในตารางที่ 3.2.2

ตารางที่ 3.2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าว

วัตถุดิบ	องค์ประกอบทางเคมี (กรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง)				
	คาร์โบไฮเดรต	โปรตีน	ไขมัน	เส้นใย	เถ้า
ข้าวเปลือก	71.2	9.1	2.2	10.2	7.2
ข้าวกล้อง	83.2	11.0	2.7	1.2	1.8
ข้าวสาร	88.9	9.8	0.5	0.3	0.6

ที่มา : Kent (1983)

คาร์โบไฮเดรต เป็นองค์ประกอบที่มีมากที่สุดในเมล็ดข้าว ซึ่งชนิดของคาร์โบไฮเดรตที่มีมากที่สุดคือ สตาร์ช มีประมาณ 64% โดยน้ำหนักแห้งของคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด นอกนั้นเป็นน้ำตาลซูโครส ลิกนิน เพนโทแซน ฮีมิเซลลูโลส และเพคตินที่มีลักษณะเป็นวุ้น (Kent, 1983)

สตาร์ช ประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ พอลิเมอร์เชิงเส้น(อะไมโลส) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง (อะไมโลเพคติน) วางตัวในแนวระนาบ สตาร์ชจากพืชต่างชนิดกันจะมีอัตราส่วนของอะไมโลสและ อะไมโล

เพกตินแตกต่างกัน ทำให้คุณสมบัติของสตาร์ชแต่ละชนิดแตกต่างกัน (กล้านรงค์ ศรีรอต และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543)

1) อะไมโลส เป็นพอลิเมอร์สายยาวที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 20-6,000 หน่วยของกลูโคส (glucose unit) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -(1 \rightarrow 4)-glucosidic linkage สตาร์ชจากธัญพืช เช่น สตาร์ชจากข้าวโพด ข้าวสาลี มีปริมาณอะไมโลสประมาณ 28% สตาร์ชจากพืชรากและพืชหัว เช่น สตาร์ชจากมันสำปะหลัง มันฝรั่ง มีปริมาณอะไมโลส ประมาณ 20% waxy starch เช่น สตาร์ชจากข้าวโพด ข้าวเหนียว ข้าวเหนียวนั้นแทบจะไม่มีอะไมโลสเลย และสตาร์ชจากข้าวโพดที่มีอะไมโลสสูง (amylomaize) อาจมีอะไมโลสสูงถึง 80% น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของอะไมโลส อยู่ในช่วง 10^7 ถึง 10^8 ดาลตัน ซึ่งอะไมโลสในสตาร์ชแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันไป (กล้านรงค์ ศรีรอต และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543) ในธรรมชาติอะไมโลสมีกิ่งก้านอยู่บ้างแต่ไม่มาก อะไมโลสสามารถทำปฏิกิริยากับไอโอดีนและ สารประกอบอินทรีย์อื่นๆ เช่น บิวทานอล กรดไขมัน สารลดแรงตึงผิว ฟีนอลและไฮโดรคาร์บอน ได้เป็น สารประกอบเชิงซ้อน ซึ่งไม่ละลายน้ำโดยอะไมโลสจะพันเป็นเกลียวล้อมรอบสารประกอบอินทรีย์ นอกจากนี้อะไมโลสที่รวมตัวกับไอโอดีนจะให้สีน้ำเงิน ซึ่งใช้เป็นลักษณะเฉพาะที่บ่งบอกถึงสตาร์ชที่มีองค์ประกอบของอะไมโลส (Swinkels, 1985)

2) อะไมโลเพกติน เป็นพอลิเมอร์ที่มีขนาดใหญ่และแตกเป็นสาขามากมาย โดยมีกลูโคสประมาณ 2 ล้านหน่วยที่เชื่อมต่อกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะ α -(1 \rightarrow 4)-glucosidic linkage และทุก ๆ 20-30 หน่วยของกลูโคสจะมีส่วนที่เป็นกิ่งสาขาเป็น พอลิเมอร์กลูโคสสายสั้นมีกลูโคสอยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วยของกลูโคส เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -(1 \rightarrow 6)-glucosidic linkage หน่วยของกลูโคสที่มีพันธะ α -(1 \rightarrow 6)-glucosidic linkage มีอยู่ประมาณ 5% ของปริมาณหน่วยกลูโคสในอะไมโลเพกตินทั้งหมด มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยประมาณ 1,000 เท่าของอะไมโลส คือ ประมาณ 10^7 ถึง 10^8 ดาลตัน (กล้านรงค์ ศรีรอต และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543; Swinkels, 1985)

อัตราส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพกติน มีผลต่อการพองตัวของเม็ดแป้ง ความหนืด ความใส และการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งเปียก เนื่องจากสมบัติของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินมีความแตกต่างกัน คือ อะไมโลสเป็นส่วนที่ละลายน้ำได้ดี เมื่อต้มในน้ำเดือดจะมีความหนืดน้อยกว่า แต่ข้นมากกว่า อะไมโลเพกตินเมื่อทิ้งไว้ให้เย็น อะไมโลสจะมีอัตราเกิดการเกิดรีโทรเกรเดชันสูงกว่าอะไมโลเพกตินเนื่องจาก อะไมโลเพกตินมีลักษณะโครงสร้างที่เป็นกิ่ง แป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะมีอุณหภูมิในการพองตัวสูงกว่าปกติเมื่อทำให้เกิดการพองตัวอย่างสมบูรณ์ แป้งที่มีน้ำหนักโมเลกุลของอะไมโลสต่างกัน อัตราในการเกิด รีโทรเกรเดชันจะแตกต่างกัน (Whistler and Paschall, 1965)

สตาร์ชข้าวเหนียวมีปริมาณอะไมโลเพกตินเป็นส่วนใหญ่และมีอะไมโลสเพียง 0-2 % เม็ดสตาร์ชมีลักษณะเป็นรูปหลายเหลี่ยม (polyhedric) และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 3-8 ไมครอน (กล้านรงค์ ศรีรอต และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543; Hosoney, 1994) สตาร์ชข้าวเหนียวมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย 8.9×10^7 ดาลตัน (Yokoyama, Renner-Nantz and Shoemaker, 1998) อุณหภูมิการเกิดเจลลิตีไนซ์ 64.5°C (กล้านรงค์ ศรีรอต และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543) สตาร์ชข้าวเหนียวมีสมบัติที่ดีกว่าสตาร์ชจากพืชชนิดอื่นๆ คือ สตาร์ชข้าวเหนียวสามารถทนต่อกระบวนการแช่แข็งและการละลาย (freeze - thaw) โดยไม่เกิดการแยกน้ำ (syneresis) ออกจากอาหาร ไม่มีรีโทรเกรเดชันหลังจากการทำให้สุก ดังนั้นจึงสามารถนำไปใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด หรือรักษาเนื้อสัมผัสของอาหารในผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็ง (Luh and Liu, 1991; Matz, 1969)

สมบัติเชิงหน้าที่ (functional properties) เป็นเกณฑ์ในการแบ่งกลุ่มสตาร์ชข้าวเหนียว สามารถจัดได้เป็นกลุ่มย่อย ๆ (Knight, 1969; Luallen, 1985) ได้แก่ การใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด (thickener) ในผลิตภัณฑ์ซูปรอบอง เกรวี อาหารเด็กอ่อน พุดดิ้ง ซึ่งสตาร์ชควรจะมีสมบัติเป็นของเหลวข้นหนืด (paste property) ใส ไม่เกิดริโพรเกรเดชันระหว่างกระบวนการผลิตและการเก็บรักษา ไม่เกิดการแยกชั้น หรือการใช้เป็นสารรักษาเนื้อสัมผัส (texturizer) ในผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็ง ซึ่งสตาร์ชควรจะมีความคงทนต่อกระบวนการแช่แข็งและละลาย (freeze-thaw stability) โดยไม่เกิดการแยกน้ำ (syneresis) ออกจากอาหาร

3.2.4. การผลิตสตาร์ชข้าวเหนียว

การผลิตสตาร์ชข้าวเหนียว จะใช้ข้าวเหนียวที่หักหรือไม่ใช้ในการบริโภคโดยตรงมาเป็นวัตถุดิบ ซึ่งอาจนำเมล็ดข้าวเหนียวมาแช่ในสารละลายต่าง เพื่อสกัดเอาโปรตีนและสิ่งแปลกปลอมออกจนเกือบหมด เหลือไว้เฉพาะส่วนที่เป็นแป้ง แล้วนำมาบด หรืออาจนำเมล็ดข้าวเหนียวมาบดเป็นแป้งก่อนแล้วแช่ใน สารละลายต่าง จากนั้นจึงทำให้แห้ง

วิธีการไม่เมล็ดข้าวเหนียวให้เป็นแป้ง อาจแบ่งออกเป็น 4 วิธี คือ ไม่แห้ง ไม่เปียก ไม่ผสม และไม่กึ่งแห้ง

1) วิธีไม่แห้ง เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการผลิตแป้งเพราะเพียงแต่ป้อนวัตถุดิบเข้าเครื่องบดหรือเครื่องโม่เท่านั้นก็จะได้แป้งออกมา แต่แป้งที่ได้จากวิธีนี้จะมีคุณภาพต่ำเพราะมีความสะอาดไม่เพียงพอและค่อนข้างหยาบ ไม่สามารถเก็บไว้ได้นาน มีกลิ่นเหม็นหืนเพราะยังมีไขมันสูงและเกิดมอดได้ง่าย (วราทัศน์ วงศ์สุรไกร, 2539) อีกทั้งยังทำให้เมล็ดสตาร์ชเกิดการเสียหาย (Chen, Lu, and Li, 1999) แป้งชนิดนี้จะมีราคาค่อนข้างถูก

2) วิธีไม่เปียก หรือโม่แห้งเป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด วิธีนี้ทำได้โดยนำวัตถุดิบมาทำความสะอาดก่อนจึงนำไปล้างน้ำและแช่น้ำให้นิ่ม เพื่อให้โม่เป็นน้ำแป้งได้ง่ายขึ้น แล้วแยกน้ำออก และอบให้แห้งด้วยลมร้อนต่อไป แป้งที่ได้จะมีคุณภาพดีและสามารถเก็บไว้ได้นาน เหมาะแก่การนำไปใช้ เนื่องจากแป้งชนิดนี้มีความละเอียดและมีคุณภาพสูง ไม่มีกลิ่นเหม็นหืนเพราะได้แยกสิ่งสกปรกต่าง ๆ รวมทั้งรำและไขมัน ออกไป (วราทัศน์ วงศ์สุรไกร, 2539) แต่วิธีนี้มีต้นทุนในการผลิตสูง เกิดการสูญเสียวิตามินและสารอาหารอื่น ๆ ที่สามารถละลายได้ในน้ำ และทำให้มีน้ำทิ้งเกิดขึ้น (Chen และคณะ, 1999)

3) วิธีไม่ผสม เป็นวิธีที่ไม่ต้องการแป้งที่มีความละเอียดมากเกินไป เหมาะสำหรับนำไปใช้ประโยชน์เฉพาะอย่าง เช่น การนำไปทำขนมญี่ปุ่นบางชนิดที่เมื่อทำเป็นขนมแล้วจะมีรูปร่างสวยไม่แบนราบ วิธีการผลิตแป้งชนิดนี้คล้ายกับวิธีไม่เปียก คือ ทำความสะอาดวัตถุดิบด้วยเครื่องจักรก่อนจึงนำไปล้างน้ำให้สะอาดและแช่น้ำ จากนั้นจึงอบให้แห้งและโม่ให้เป็นแป้งต่อไป (วราทัศน์ วงศ์สุรไกร, 2539)

4) วิธีไม่แบบกึ่งแห้ง (semi-dry milling) ซึ่งจะนำเมล็ดข้าวหักไปแช่น้ำก่อนให้เมล็ดข้าวนิ่มเพื่อลดการเสียหายของเมล็ดสตาร์ชที่จะเกิดขึ้นในช่วงของการโม่ แล้วแยกน้ำออก จากนั้นจึงโม่และทำให้แห้ง (Chen และคณะ, 1999)

การผลิตสตาร์ชข้าว เริ่มจากการนำข้าวหักมาล้างทำความสะอาดและแยกสิ่งแปลกปลอม แช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.3-0.5% พร้อมกับมีการกวนช้า ๆ ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อแยกโปรตีนที่ติดอยู่กับแป้งออก ปล่อยให้ข้าวตกตะกอน แยกส่วนใสที่มีโปรตีน (steep liquor) ออก ทำซ้ำในขั้นตอนนี้จนกระทั่งเมล็ดข้าวนิ่ม แล้วนำเมล็ดข้าวมาโม่เปียกโดยใช้สารละลายโซเดียม-ไฮดรอกไซด์แทนน้ำ จากนั้นล้างน้ำและเหวี่ยงแยกโปรตีนส่วนที่ติดอยู่ในสารแขวนลอยแป้งออก นำมาผ่านไฮโดรไซโคลน กำจัดน้ำ แล้วทำให้

แห้ง (Juliano, 1984; Schoch, 1967) สำหรับส่วนใสที่มีโปรตีนที่แยกได้ นำมาปรับสภาพให้เป็นกลางด้วยกรด ทำให้โปรตีนตกตะกอนแล้วกรองออก นำไปอบแห้งสามารถใช้เป็นอาหารสัตว์ได้

ในการผลิตสตาร์ชข้าวนอกจากจะสามารถผลิตได้จากเมล็ดข้าวหักแล้ว ยังสามารถผลิตได้โดยการนำแป้งข้าวแช่ในสารละลายต่าง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะมีกระบวนการผลิตเช่นเดียวกับการผลิตสตาร์ชจากเมล็ดข้าวหัก

การใช้สารละลายต่างในกระบวนการผลิตสตาร์ชนั้น จะได้สตาร์ชที่มีความบริสุทธิ์สูง มีต้นทุนในการผลิตต่ำ แต่จะทำให้โครงสร้างของเม็ดสตาร์ชเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะส่งผลไปถึงสมบัติทางกายภาพของ สตาร์ช และทำให้มีน้ำที่ติดกับสตาร์ชละลายต่างและเกลือปนอยู่ (Lim และคณะ, 1999; Lumdubwong and Seib, 2000) นอกจากการใช้สารละลายต่างแล้วยังสามารถใช้วิธีอื่น ๆ ได้ 2 วิธี คือ การใช้ anionic detergent และ การใช้เอนไซม์โปรตีเอส (protease) การใช้ anionic detergent ในการสกัดมีประสิทธิภาพในการแยกโปรตีนออกดีพอสมควร อีกทั้งยังสามารถแยกเส้นใย (fiber) ออกจากเอนโดสเปิร์มได้อีกด้วย แต่สารเคมีประเภทนี้จะทำให้มีปัญหาเกี่ยวกับน้ำที่ติดและมีผลทำให้ความหนืดของแป้งเปียก (paste consistency) มีค่าลดลง (Lumdubwong and Seib, 2000) ตัวอย่างสารประเภท anionic detergent ที่ใช้ในการสกัด เช่น โซเดียมลอริลซัลเฟต (sodium lauryl sulfate, SLS) โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (sodium dodecyl sulfate, SDS) โดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนต (dodecylbenzene sulfonate, DoBS) (Juliano, 1984; Lim และคณะ, 1999; Lumdubwong and Seib, 2000) ส่วนการใช้เอนไซม์โปรตีเอส (protease) นั้นจะไม่ทำลายเม็ดแป้งเนื่องจากเอนไซม์มีความจำเพาะ (enzyme specificity) แต่ใช้เวลาในการสกัดนานซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาด้านจุลินทรีย์และสตาร์ชที่ได้มีความบริสุทธิ์ต่ำเนื่องจากแยกเอนไซม์ออกจากสตาร์ชได้ยาก อีกทั้งเอนไซม์ยังมีราคาแพงจึงทำให้ต้นทุนในการผลิตสูง (Lim และคณะ, 1999; Lumdubwong and Seib, 2000)

ถึงแม้การใช้สารละลายต่างในการสกัดโปรตีนจะมีข้อเสียอยู่บ้าง แต่ในการผลิตสตาร์ชในทางอุตสาหกรรมก็ยังนิยมใช้สารละลายต่างมากกว่าการใช้ detergent หรือเอนไซม์โปรตีเอส (Hoseney, 1994) เนื่องจากโปรตีนในข้าวส่วนใหญ่เป็นโปรตีนชนิดกลูเตลิน ซึ่งสามารถละลายได้ในสารละลายต่าง สารละลายต่างที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และ โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (Lim และคณะ, 1999)

3.2.5. ปัจจัยของกระบวนการผลิตที่มีผลต่อคุณภาพของแป้งและสตาร์ชจากข้าว

ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อคุณภาพของสตาร์ชข้าว ได้แก่

1) วิธีโม่

ในการโม่แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวเหนียวจากการโม่แห้งจะมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าแป้งข้าวเหนียวจากการโม่กึ่งแห้งและการโม่เปียก (Chen และคณะ, 1999; Jomduang and Mohamed, 1994) การโม่แห้งสามารถรักษาองค์ประกอบทางเคมีของแป้งได้มากกว่าการโม่เปียกและการโม่กึ่งแห้ง เนื่องจากเมื่อแช่เมล็ดข้าวเหนียวในน้ำ โปรตีนที่สามารถละลายได้ในน้ำ น้ำตาล และไขมันที่จับกับส่วนที่ไม่ใช่สตาร์ช (nonstarch bound lipid) จะละลายน้ำออกมา (Chen และคณะ, 1999) แป้งข้าวเหนียวจากการโม่แห้งจะมีความหนืดต่ำกว่าแป้งจากการโม่เปียก เนื่องจากการโม่แห้งทำให้มีความร้อนเกิดขึ้นขณะโม่ ดังนั้น สตาร์ชบางส่วนจึงเกิดการเสียหายและเกิดเจล ส่วนการโม่เปียกเป็นการโม่พร้อมด้วยน้ำ ดังนั้นน้ำจึงช่วยลดอุณหภูมิและลดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในการโม่ (Jomduang and Mohamed, 1994) นอกจากนี้แป้งที่ได้จากการโม่แห้งมีอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) และมีการเกิดรีโทรเกรดชัน (retrogradation) สูงกว่าการโม่ด้วยวิธีอื่นๆ การโม่แบบกึ่ง

แห้ง ทำให้อุดหนุมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด ค่า setback viscosity และ ค่าเอนทาลปี (enthalpy) มีค่าต่ำสุด เมื่อเทียบกับการไม่แห้งและการไม่เปียก (Chen และคณะ, 1999)

2) ชนิดของเครื่องโม่

การใช้ชนิดของเครื่องโม่ที่แตกต่างกัน ทำให้แป้งข้าวเจ้ามีขนาดอนุภาค สมบัติทางความหนืด และ ค่าเอนทาลปีแตกต่างกัน แป้งข้าวเจ้าที่โม่ด้วย burr mill มีขนาดอนุภาคใหญ่ที่สุด (290 μm) ส่วนแป้งที่โม่ด้วย pin mill จะมีขนาดอนุภาคเล็กที่สุด (111 μm) แป้งที่มีขนาดอนุภาคเล็กจะมีค่าเอนทาลปีต่ำกว่าแป้งที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ แป้งที่โม่ด้วย burr mill จะมีอุดหนุมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดสูงกว่าและมีความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ต่ำกว่าแป้งที่โม่ด้วยเครื่องโม่ชนิดอื่น ๆ เนื่องจากแป้งที่โม่ด้วย burr mill มีขนาดอนุภาคใหญ่ มีแรงเสียดทานที่เกิดในการลดขนาดน้อย ดังนั้นสตาร์ชจึงเกิดการเสียหายน้อย (Nishita and Bean, 1982)

3) ความเร็วรอบของเครื่องโม่

เมื่อเพิ่มความเร็วรอบในการโม่แป้งข้าวเจ้า จะทำให้แป้งมีขนาดอนุภาคเล็กลง แต่อาจจะส่งผลให้ สตาร์ชเกิดความเสียหายเพิ่มมากขึ้น (Caprio and Aco, 1990)

4) ขนาดอนุภาคของแป้งที่ได้จากการโม่

ขนาดอนุภาคของแป้งข้าวเหนียวที่เตรียมได้จากการโม่แห้งและการโม่เปียกมีผลต่อความหนืด ดังนี้ สำหรับแป้งที่เตรียมได้จากการโม่แห้ง เมื่ออนุภาคของแป้งมีขนาดเล็กลง ความหนืดของแป้งเปียก (paste) จะ มีค่าต่ำลง ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากในการโม่แป้งให้มีขนาดอนุภาคเล็กจะทำให้มีความร้อนเกิดขึ้นขณะโม่ ทำให้ สตาร์ชบางส่วนเกิดการเสียหายและเกิดเจล ในทางตรงกันข้าม แป้งที่ได้จากการโม่เปียก เมื่ออนุภาคของแป้งมี ขนาดใหญ่ขึ้น ความหนืดของแป้งเปียกจะมีค่าต่ำลง เนื่องจากแป้งที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ไม่สามารถพองตัวได้อย่าง เต็มที่เพราะสตาร์ชที่อยู่บริเวณผิวของอนุภาคจะเกิดการพองตัวก่อนและเป็นตัวขัดขวางการพองตัว (Jomduang and Mohamed, 1994)

5) วิธีสกัดโปรตีน

สตาร์ชข้าวเจ้าที่สกัดโปรตีนด้วยวิธี alkaline protease digestion จะมีค่า starch recovery (อัตรา ส่วนของปริมาณสตาร์ชในผลิตภัณฑ์ต่อปริมาณสตาร์ชในวัตถุดิบ) มากกว่าวิธีที่ใช้สารละลายต่าง เนื่องจากวิธีที่ ใช้สารละลายต่างทำให้น้ำแป้งมี pH 12 และมีความหนืดมากกว่าน้ำแป้งที่ได้จากวิธี alkaline protease digestion ดังนั้นในการกรองและการเซนตริฟิวจ์เพื่อแยกสตาร์ชจะทำได้ยากขึ้น ทำให้มีสตาร์ชปนไปกับของเหลว ค่า starch recovery ที่ได้จึงมีค่าต่ำกว่า สาเหตุที่น้ำแป้ง (pH 12) มีความหนืดสูงขึ้นเนื่องจากมีโปรตีนและโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่เซลลูโลส (non-cellulosic polysaccharide) ละลายอยู่

สตาร์ชข้าวเจ้าที่แยกด้วยวิธีการใช้สารละลายต่างมีปริมาณโปรตีนที่ปนเปื้อน (protein contamination) น้อยกว่าสตาร์ชที่แยกด้วยวิธี alkaline protease digestion สำหรับปริมาณสตาร์ช (starch content) เด็ด และ damaged starch ของสตาร์ชที่แยกได้จากทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกัน

ส่วนสมบัติทางกายภาพ สตาร์ชข้าวเจ้าที่แยกได้ด้วยวิธีการใช้สารละลายต่างจะมีอุดหนุมิที่เริ่มมี การเปลี่ยนแปลงความหนืดและค่าเอนทาลปีต่ำกว่าสตาร์ชที่แยกด้วยวิธี alkaline protease digestion ความหนืด สูงสุด (pasting peak) และค่า setback viscosity ของสตาร์ชข้าวเจ้าที่แยกได้ด้วยวิธีการใช้สารละลายต่างมีค่าสูง กว่าสตาร์ชที่แยกด้วยวิธี alkaline protease digestion

6) ชนิดของสารละลายและสภาวะที่ใช้ในการสกัดโปรตีน

การสกัดโปรตีนจากแป้งข้าวเจ้าด้วยสารละลายไดอะซีลเบนซีนซัลโฟเนตความเข้มข้น 1.2% ที่มีโซเดียมซัลไฟต์ 0.12% จะมีประสิทธิภาพในการสกัดมากกว่าการสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2% และโซเดียมลอร์ริลซัลเฟตความเข้มข้น 1.2% ที่มีโซเดียมซัลไฟต์ 0.12% เมื่อมีการสกัดโปรตีนซ้ำในระยะเวลาสั้นๆ (1-2 ชั่วโมง) ด้วยสารละลายใหม่ โปรตีนจะถูกสกัดออกมาได้มากขึ้น แต่การสกัดโปรตีนซ้ำหลาย ๆ ครั้งจะทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัว (swell) หรือเกิดการเจลาติไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำ การเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการสกัด ทำให้สามารถสกัดโปรตีนได้เพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่จะทำให้มีการสูญเสียแป้งเกิดขึ้น (Lim และคณะ, 1999)

นอกจากปัจจัยของกระบวนการผลิตที่กล่าวมาแล้วนั้น ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อคุณภาพของแป้งและสตราร์ชจากข้าว ได้แก่ พันธุ์ และ ความชื้นของเมล็ด

พันธุ์

แป้งข้าวเหนียวที่ได้จากข้าวเหนียวพันธุ์ต่างกัน จะมีสมบัติแตกต่างกัน แป้งข้าวเหนียวพันธุ์ TCSW1 มีปริมาณโปรตีน เถ้า และไขมันน้อยกว่าแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ TCW70 แป้งข้าวเหนียวพันธุ์ TCW70 มีความหนืดสูงสุด และค่า breakdown viscosity สูงกว่าแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ TCSW1 แต่แป้งข้าวเหนียวพันธุ์ TCSW1 มีค่าอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลาติไนซ์ (onset temperature, T_o) และอุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลาติไนซ์ (peak temperature, T_p) สูงกว่าแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ TCW70 ส่วนค่าเอนทัลปี (ΔH) ไม่แตกต่างกันทั้ง 2 พันธุ์ (Chen และคณะ, 1999)

ความชื้น

เมื่อเมล็ดข้าวมีความชื้นสูงขึ้น ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของแป้งก็จะมีค่าสูงขึ้นด้วย (Carpio and Aco, 1990)

3.2.6. เอกสารอ้างอิง

- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จำรัส ไปรุ่งศิริวัฒนา. 2534. ความรู้เรื่องข้าว. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- รุ่งทิวา วันสุขศรี. 2542. การทำแป้งข้าวเจ้าบริสุทธิ์โดยใช้วิธีทางเคมีและการทำซีรัปแป้งข้าวเจ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วราทัศน์ วงศ์สุรไกร. 2539. แนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวไทย. ใน รายงานการประชุมวิชาการและนิทรรศการเนื่องในงานมหกรรมข้าวไทยเทิดพระเกียรติ. หน้า 48-60. 5-8 กันยายน ณ ห้องรีเจนซี โรงแรมเซ็นทรัลพลาซ่า กรุงเทพมหานคร.
- วราภรณ์ คำบุญเรือง. 2535. ความรู้เรื่องข้าวและการทำนา. ใน สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (บรรณาธิการ), เทคโนโลยีการปลูกข้าวที่อาศัยน้ำฝน. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2536. อุตสาหกรรมอาหารจากธัญชาติ เมล็ดถั่ว และพืชหัวของไทยในอนาคต. อุตสาหกรรมเกษตร 4(2): 26-34.
- Carpio, E.V. and Aco, E.V. 1990. Factors affecting the dry-milling characteristic of rice flour using a pin mill. The Philippine Agriculturist 73(3-4): 387-398.
- Chen, J.J., Lu, S., and Li, C.Y. 1999. Effects of milling on the physicochemical characteristics of waxy rice in Taiwan. Cereal Chem. 76(5): 796-799.
- Hoseney, R.C. 1994. Principles of cereal science and technology. Minnesota: American Association of Cereal Chemists.
- Jomduang, S. and Mohamed, S. 1994. Effect of amylose/amylopectin content, milling methods, particle size, sugar, salt and oil on the puffed product characteristics of a traditional Thai rice-based snack food (khao kriap waue). J. Sci. Food Agric. 65: 85-93.
- Juliano, B.O. 1972. The rice caryopsis. In D. F. Houston (ed.), Rice chemistry and technology. Minnesota: American Association of Cereal Chemists.
- Juliano, B.O. 1979. Amylose analysis in rice – A review. In International Rice Research Institute (ed.), Proceedings of the workshop on chemical aspects of rice grain quality. Laguna: International Rice Research Institute.
- Juliano, B.O. 1984. Rice starch: Production, properties, and uses. In R.L. Whistler, J.N. BeMiller and E.F. Paschall (eds.), Starch: Chemistry and technology. 2nd ed. Florida: Academic Press.
- Juliano, B.O., Perez, C.M., and Kaosa-Ard, M. 1990. Grain quality characteristics of export rices in selected markets. Cereal Chem. 67(2): 192-197.
- Juliano, B.O. 1993. Rice. Encyclopaedia of Food Science, Food Technology and Nutrition 6: 3929.
- Kent, N.L. 1983. Technology of cereals. 3rd ed. Oxford: Pergamon Press.

- Knight, J.W. 1969. The starch industry. Oxford: Pergamon Press.
- Lim, S.T., Lee, J.H., Shin, D.H., and Lim, H.S. 1999. Comparison of protein extraction solutions for rice starch isolation and effects of residual protein content on starch pasting properties. Starch/Starke 51(4): 120-125.
- Luhallen, T.E. 1985. Starch as a functional ingredient. Food Technol. 39(1):59-63.
- Luh, B.S. and Liu, Y.K. 1991. Rice flour in baking. In B.S. Luh (ed.), Rice. Vol. 2: Utilization. 2nd ed. New York: An AVI Book.
- Lumdubwong, N. and Seib, P.A. 2000. Rice starch isolation by alkaline protease digestion of wet-milled rice flour. J. Cereal Sci. 31(1): 63-74.
- Matz, S.A. 1969. Cereal science. Connecticut: The AVI Publishing.
- Nishita, K.D. and Bean, M.M. 1982. Grinding methods: Their impact on rice flour properties. Cereal Chem. 59(1): 46-49.
- Schoch, T.J. 1967. Properties and uses of rice starch. In R.L. Whistler, J.N. BeMiller, and E.F. Paschall (eds.), Starch: Chemistry and technology. 2nd ed. Florida: Academic Press.
- Swinkels, J.J.M. 1985. Starch, sources, chemistry, and physics. In G. M.A.V. Beynum and J.A. Roels (eds.), Starch conversion technology. New York: Marcel Dekker.
- Whistler, R.L. and Paschall, E.F. 1965. Starch: Chemistry and technology. Vol.1. New York: Academic Press.

3.3. มันสำปะหลัง

ดร. จิราธรณ์ ทัดติยกุล

มันสำปะหลังมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Manihot esculenta* Crantz (Sriroth และคณะ, 2000) ส่วนที่นำมาใช้ในการผลิตแป้งเป็นส่วนรากที่มีลักษณะคล้ายหัว ในภาษาอังกฤษจะเรียกแป้งมันสำปะหลังว่า Tapioca starch Cassava starch หรือ Manioc starch (Swinkels, 1990) มันสำปะหลังได้ถูกนำเข้ามาจากมาเลเซียมาเพาะปลูกทางภาคใต้ของไทยในปี ค.ศ. 1786-1840 (พ.ศ. 2329-2383) จากนั้นก็ถูกนำไปเพาะปลูกในภาคต่างๆ ของประเทศ ในปัจจุบัน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นแหล่งเพาะปลูกมันสำปะหลังที่สำคัญของไทย โดยมีการเพาะปลูกมากที่สุดที่จังหวัดนครราชสีมา (Sriroth และคณะ, 2000)

3.3.1. ข้อมูลทางด้านองค์ประกอบทางเคมีของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังที่มีอายุพอเหมาะจะมีแป้งประมาณร้อยละ 30 ในการตรวจสอบคุณภาพของมันด้วยวิธีดั้งเดิมนั้น ผู้ตรวจสอบจะหักมันๆ ออกเป็นสองท่อนด้วยมือ หากแรงที่ใช้หักน้อย แสดงว่าเป็นมันๆ อ่อน มันๆ จะมีสีเหลืองอ่อน และตรงกลางจะค่อนข้างใส มีปริมาณแป้งต่ำ แต่ถ้ามันๆ มีความแข็ง ต้องใช้แรงในการหักมาก แสดงว่าเป็นมันๆ แก่ มีเส้นใยสูงและมีปริมาณแป้งต่ำ มันๆ ที่สามารถหักออกเป็นสองท่อนด้วยแรงปานกลางจะเป็นมันๆ ที่มีอายุเหมาะสมแก่การนำมาสกัดแป้ง เนื่องจากจะมีปริมาณแป้งที่มากที่สุด (FAO, 1977) ในปัจจุบันนิยมใช้วิธีการตรวจสอบทางเคมีเพื่อหาปริมาณแป้งในมันๆ แต่วิธีทางวิทยาศาสตร์จะกินเวลานาน และต้องการผู้ทำการทดสอบที่มีความรู้ความชำนาญ

ตารางที่ 3.3.1 องค์ประกอบของหัวมันสำปะหลัง

องค์ประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละของน้ำหนักหัวมัน)
น้ำ	60.2-75.3
เปลือก	4.1-14.1
แป้ง	25.9-41.9
ไซยาไนด์	2.9-39.3

ที่มา: กล้านรงค์ ศรีรอด และคณะ, 2542.

3.3.1.1 ผลของวิธีการสกัดต่อคุณภาพของแป้งมันสำปะหลัง

การสกัดแป้งจากมันสำปะหลังเริ่มต้นที่การทำความสะอาดมันสำปะหลัง ปอกเปลือก ล้างน้ำ บดเพื่อสกัดเม็ดแป้ง ล้างด้วยน้ำเพื่อแยกสารเจือปนอื่นๆ ที่ไม่ต้องการออก แยกน้ำออกโดยการตกตะกอนด้วยวิธีต่างๆ จากนั้นจึงทำแห้ง (FAO, 1977; Sriroth และคณะ, 2000) วิธีการสกัดแป้งนี้ควรทำให้เร็วที่สุดเพื่อลดการเสื่อมเสียของแป้งอันเนื่องมาจากการทำงานของเอนไซม์ที่มีในมันสำปะหลังสด และไม่ควรเก็บมันๆ สดเอาไว้เป็นเวลามากกว่า 2 วันก่อนสกัดแป้ง (FAO, 1977)

ในปัจจุบัน โรงงานผลิตแบริ่งมันส์ปะหลังขนาดใหญ่มักจะรวมการปกเปลือกมันส์และการล้างทำความสะอาดมันส์ไว้เป็นขั้นตอนเดียว อย่างไรก็ตาม การปกเปลือกมันส์ไม่สะอาดจะมีผลให้แบริ่งมันส์ที่ได้มีสีคล้ำ นอกจากนี้ การใช้อุปกรณ์ที่ทำจากเหล็ก (Iron) ในกระบวนการกลัดจะทำให้แบริ่งที่ได้มีสีเจือสีฟ้า เนื่องจากเหล็กไปทำปฏิกิริยากับ hydrocyanic acid เกิดเป็น ferrocyanide ที่มีสีฟ้า (FAO, 1977)

โดยทั่วไป แบริ่งที่สกัดได้จากมันส์ปะหลังจะมีองค์ประกอบดังในตารางที่ 3.3.2

ตารางที่ 3.3.2 องค์ประกอบทางเคมีของแบริ่งมันส์ปะหลัง

องค์ประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละ โดยน้ำหนักแห้ง)
แป้ง	71.9-85.0
โปรตีน	1.6-5.8
เยื่อใย	1.8-4.0
เถ้า	1.2-2.8
ไขมัน	0.06-0.43
คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้ง	3.6-8.7

ที่มา: ก้านรงค์ ศรีวรรต และคณะ, 2542.

กระทรวงอุตสาหกรรมได้กำหนดเกณฑ์การจำแนกคุณภาพของแบริ่งมันส์ปะหลังไว้ดังแสดงในตารางที่ 3.3.3

ตารางที่ 3.3.3 เกณฑ์การจำแนกคุณภาพของแบริ่งมันส์ปะหลัง

องค์ประกอบ	Grade		
	1	2	3
ความชื้น ไม่เกิน (ร้อยละ)	13.0	14.0	14.0
สตาร์ช ไม่ต่ำกว่า (ร้อยละ)*	97.5	96.0	94.0
เถ้า ไม่เกิน (ร้อยละ)	0.15	0.3	0.5
เถ้าที่ไม่ละลายในกรด ไม่เกิน (ร้อยละ)	0.05	0.10	0.15
โปรตีน ไม่เกิน (ร้อยละ)	0.3	0.3	0.3
เส้นใย (ลูกบาศก์เซนติเมตรในแบริ่ง 50 กรัม)	0.2	0.5	1.0
pH	4.5-7	3.5-7	3.0-7
ส่วนที่เหลือค้ำบนตะแกรงร่อนขนาด 150 ไมครอน ไม่เกิน (ร้อยละ)	1	3	5

* วัดโดย Polarimetric method

ที่มา: Sriroth และคณะ, 2000.

3.3.1.2 สารพิษที่พบในมันสำปะหลัง

สารพิษสำคัญที่พบในมันสำปะหลัง คือ linamarin (Hulaimi, 1999) ซึ่งมักจะปรากฏในธรรมชาติในรูปของ methyl-linamarin หรือ lotaustralin linamarin เป็นสารเคมีประเภท cyanogenic glycoside เมื่อสารนี้ทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ linamarase ที่ถูกปลดปล่อยออกมาเมื่อเนื้อเยื่อมันสำปะหลังถูกทำลาย จะเปลี่ยนเป็น hydrocyanic acid หรือ prussic acid ซึ่งเป็นสารพิษ กลไกธรรมชาตินี้มีเพื่อป้องกันสัตว์ที่จะมากัดกินหัวมันสำปะหลัง linamarin เป็นสารที่มีเสถียรภาพสูง ไม่ถูกทำลายแม้จะนำมันสำปะหลังไปต้มเป็นเวลานาน เมื่อถูกย่อยในร่างกายนมนุษย์ สาร linamarin สามารถปลดปล่อยสาร cyanide ซึ่งเป็นสารพิษได้ (FAO, 1990)

Hydrocyanic acid (HCN) เป็นสารประกอบที่ระเหยได้ง่าย สามารถระเหยอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิมากกว่า 28 °C และละลายได้ง่าย หัวมันสำปะหลังโดยปกติจะมีสารประเภท cyanogen อยู่ระหว่าง 15 ถึง 400 มิลลิกรัม HCN/กิโลกรัมหัวมันฯสด (Coursey, 1973) ปริมาณสาร cyanogen ในหัวมันฯ จะแปรผันตามพันธุ์และสภาพการเพาะปลูก สารประเภท cyanogenic glycoside จะมีมากที่สุดตรงกลางของหัวมันฯ (Bruijn, 1973) และเปลือก Bolhuis (1954) กล่าวว่า หากบริโภค hydrogen cyanide ถึง 50 to 60 มิลลิกรัมต่อวันจะเป็นอันตรายต่อร่างกาย กระบวนการหุงต้มและการสกัดแป้งที่ดีจะสามารถลดปริมาณ cyanide ได้จนถึงระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อการบริโภค การล้างและแช่น้ำจะสามารถกำจัด hydrogen cyanide ได้ส่วนหนึ่ง (ตารางที่ 3.3.5) hydrogen cyanide ที่เหลือจะสามารถถูกกำจัดโดยการตากแดดหรือการทำแห้งที่นานพอเหมาะ การตากแดดหรือการทำแห้งจะสามารถลดปริมาณ hydrogen cyanide ได้ถึงร้อยละ 60-70 (FAO, 1990b) (ตารางที่ 3.3.6) ตารางที่ 3.3.4 แสดงปริมาณ hydrogen cyanide ที่เหลือในอาหารบางชนิดที่ทำจากมันสำปะหลัง จากตารางจะเห็นว่าปริมาณ HCN ในหัวมันฯ ลดต่ำลงอย่างมากเมื่อผ่านกระบวนการต่างๆ

อย่างไรก็ดี กลุ่มนักวิจัยในกรุงมาดริด ประเทศสเปน ค้นพบข้อดีของสารพิษในหัวมันสำปะหลัง นักวิจัยกลุ่มนี้ได้ทดลองใช้ cyanide เกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง linamarin และ linamarase ในการรักษาเนื้ออกในสมองของหนู ผลการวิจัย พบว่า สารนี้สามารถทำลายเนื้ออกนั้นได้ภายในหนึ่งสัปดาห์ (Hulaimi, 1999)

ตารางที่ 3.3.4 ปริมาณ HCN ที่เหลือในผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังในขั้นตอนต่าง ๆ

Food item	ขั้นตอนการกำจัดสารพิษ	HCN ที่เหลือ	
		ค่าเฉลี่ย (mg/kg)	%
Boiled cassava	Fresh roots (sweet)	10.7	100.0
	Boiled roots (20 min In water)	1.3	12.1
Fufu (ประเทศ Zaire)	Fresh roots (sweet and bitter)	111.5	100.0
	Soaked roots (3 days)	19.4	17.4
	Dried roots (3 days)	15.7	14.1
	Uncooked fufu (flour and water)	2.5	2.2
	Cooked fufu	1.5	1.3
Fuku (ประเทศ Zaire)	Fresh roots (sweet)	25.5	100.0
	Uncooked fuku (heated)	4.2	16.4
	Cooked fuku	1.2	4.7
Lafun (ประเทศ Zaire)	Mash	16.5	100.0
	5 day soaking	35.9	21.8
	5-day soaking + 48 h drying	25.5	15.5
	5-day soaking + 96 h drying	19.6	11.9

ที่มา: ดัดแปลงจาก Bourdoux และคณะ 1983; Oke, 1984

ตารางที่ 3.3.5 ปริมาณ HCN ที่เหลือในมันสำปะหลังหลังจากผ่านการแช่น้ำ

ระยะเวลาในการแช่น้ำ (วัน)	HCN ที่เหลือ (%)
0	100.0
1	55.0
2	42.3
3	19.0
4	10.9
5	2.7

ที่มา: Bourdoux และคณะ 1983

ตารางที่ 3.3.6 ปริมาณ HCN ที่เหลือในมันสำปะหลังหลังจากผ่านการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ

กระบวนการทำแห้ง		HCN (ppm)
Freeze drying	Pulp	439
Flash drying	Slices	432
Air drying 40°C	Chips, pulp	13
Heated air drying 180°C	Chips	14
	Fermented pulp	77
Drum drying	Pulp	8
	Fermented pulp	121
HCN of pulp	free and bound	900

ที่มา: Meuser และ Smolnik, 1980

3.3.2. ข้อมูลทางอุตสาหกรรมและการผลิต

การนำมันสำปะหลังไปใช้ในปัจจุบันมีหลายรูปแบบตั้งแต่การนำไปทำให้สุกแล้วบริโภค แปรรูปให้เป็นมันเส้นหรือมันเม็ดเพื่อใช้เลี้ยงสัตว์ ตลอดจนถึงแปรรูปให้เป็นแป้งเพื่อการผลิตผลิตภัณฑ์อื่นๆต่อไป บริโภคโดยตรง

ประชากรของประเทศในเขตร้อนได้บริโภคมันสำปะหลังเป็นเวลาช้านานเนื่องจากมันสำปะหลังเป็นแหล่งที่ดีของคาร์โบไฮเดรต การบริโภคมันสำปะหลังของประชากรในแถบภูมิภาคนี้เทียบได้กับการบริโภคมันฝรั่งของประชากรในเขตอากาศอบอุ่น เช่น ทวีปอเมริกาเหนือ ข้อดีของการบริโภคมันสำปะหลัง คือ แม้จะมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูง แต่มันสำปะหลังมีปริมาณโปรตีนและวิตามินต่ำเมื่อเทียบกับแหล่งอาหารที่ให้แป้ง เช่น ข้าว (ตารางที่ 3.3.7) นอกจากนี้ มันสำปะหลังยังมีสารพิษ เช่น prussic acid ซึ่งจะสามารถกำจัดได้โดยการให้ความร้อนเป็นเวลานานเท่านั้น การทำให้มันสำปะหลังสุกก่อนรับประทานโดยทั่วไป สามารถทำได้โดยการต้ม นึ่ง เผา และย่าง เป็นต้น ในประเทศอินโดนีเซีย ประชาชนมักจะนำหัวมันสำปะหลังไปหมักโดยใช้ยีสต์เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนจะนำมารับประทานเป็นเครื่องเคียง (<http://www.fao.org/waicent/search/default.asp>) ในประเทศไทย หัวมันสำปะหลังที่ยังไม่ปอกเปลือกจะถูกนำไปเผาจนสุกเพื่อรับประทาน หรือเมื่อปอกเปลือกแล้ว สามารถนำไปต้มหรือเชื่อมเพื่อรับประทานเป็นอาหารหวานได้

ตารางที่ 3.3.7 สารอาหารของหัวมันสำปะหลังเทียบกับมันฝรั่งและข้าว

	Calories per 100g	Protein (%)	Fat (%)	Carbohydrate (%)	Ash (%)	Moisture (%)	Fibre (%)	Vitamin B (I.U./100 g)	Vitamin C (mg/100 g)
มันสำปะหลังปอกเปลือก	127	0.8-1.0	0.2-0.5	32	0.3-0.5	65	0.8	10	20
มันฝรั่ง	89	2.1	0.1	20	1.0	77	0.7	30-80	13-15
ข้าวสาร	347	8.0	2.5	73	1.5	15	0.7-1.0	100-150	-

ที่มา: <http://www.fao.org/waicent/search/default.asp>

ตารางที่ 3.3.8 กรดอะมิโนที่สำคัญในมันสำปะหลัง

กรดอะมิโน	ปริมาณ (mg N/g)
Lysine	259
Threonine	165
Tyrosine	100
Phenylalanine	156
Valine	209
Tryptophan	72
Isoleucine	175
Methionine	83
Cystine	90
Total sulphur-containing	173
Total	1 309

ที่มา: FAO, 1977.

แปรรูปเป็นมันอัดเม็ดและมันเส้นเพื่อใช้เลี้ยงสัตว์

มันเส้น คือ มันสำปะหลังที่หั่นเป็นชิ้นแล้วตากแดดจนแห้ง สามารถนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ ส่วนมันอัดเม็ดต้องผ่านกระบวนการอัดเป็นเม็ดก่อน และเมื่อจะใช้ต้องนำมาบดอีกครั้ง มันเส้นและมันอัดเม็ดมีพลังงานสูงเนื่องจากปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูง แต่จะมีปริมาณโปรตีนต่ำ เมื่อจะใช้ในการเลี้ยงสัตว์ควรผสมวัตถุดิบอาหารที่ให้โปรตีนสูง เพื่อคงระดับโปรตีนในอาหารให้เพียงพอต่อความต้องการของสัตว์ (อุทัย และคณะ, 2540)

แปรรูปเป็นแป้งมันสำปะหลัง

ซึ่งสามารถนำไปประกอบอาหารหรือผ่านกระบวนการอื่นต่อไปได้ดังต่อไปนี้

แป้งมันสำปะหลังเพื่อการบริโภคในครัวเรือน ใช้ประกอบอาหารคาวและหวาน

นักวิจัยจากสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้พัฒนาสูตรอาหารที่ทำจากแป้งมันสำปะหลังได้ถึง 88 สูตร แบ่งเป็น 4 ประเภท คือ อาหารคาว อาหารว่าง อาหารหวาน และขนมอบ ข้อดีของการใช้แป้งมันสำปะหลังคือ ราคาถูก หาได้ง่าย และนอกจากจะมีคุณค่าทางอาหารแล้ว ยังสามารถใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดได้ ข้อเสียคือ หากเป็นแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ ความหนืดที่ได้จะไม่คงตัวเนื่องจากแป้งที่เจลาติไนซ์แล้วมีการคืนตัวสูง

แป้งดัดแปร

การผลิตแป้งดัดแปรอาจทำได้โดยอาศัยปฏิกิริยาทางเคมี กระบวนการเทคโนโลยีชีวภาพ หรือกระบวนการดัดแปรทางกายภาพดังได้กล่าวใน บทที่ 1 แป้งดัดแปรจากมันสำปะหลังนี้ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารกระดาศ และสิ่งทออย่างแพร่หลาย ได้มีผู้ทำวิจัยเกี่ยวกับการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังอย่างแพร่หลายทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ ในประเทศไทยมีการศึกษาเกี่ยวกับการดัดแปรทั้งทางเคมี (วรรณพร สิริโรจน์, 2529) และโดยใช้เทคโนโลยีทางชีวภาพ (สยามล นองบุญนาก, 2534; จิรรัตน์ ทัดติยกุล, 2537)

ผงชูรสและไลซีนสารให้ความหวาน

เช่น น้ำเชื่อมกลูโคส น้ำเชื่อมฟรักโทส ซอร์บิทอล และอื่น ๆ (ณัฐพงษ์ บวรเรืองโรจน์, 2535; ชิตพงศ์ ประดิษฐ์สุวรรณ และคณะ, 2540)

ภาชนะบรรจุ

เช่น ภาชนะบรรจุที่สามารถถูกย่อยสลายได้ในธรรมชาติในรูปของ biodegradable plastic (Jane and Tim, 1995; Sriroth, 1997; Chollakup และคณะ, 1997; เสาวลักษณ์ วิทยาพิเชฐ, 2540) และ biodegradable film (ธนิดา ปะบุญเรือง, 2538; วชิราพรรณ บุญญาพุทธิพงศ์, 2543)

แอลกอฮอล์จากแป้งและกากมันสำปะหลัง

(เสรี จันทโรภณ, 2531; วรลักษณ์ อรุณศักดิ์ชัย และ วิไลลักษณ์ ชัยสิทธิ์, 2535)

3.3.3. เอกสารอ้างอิง

- กล้าณรงค์ ศรีรอด. 2544. แป้งไทยดีอย่างไร? *ข่าวสารวิชาการในวงการแป้ง* 1(1) : 1-2.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2543. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 292 หน้า
- กล้าณรงค์ ศรีรอด, เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, วชิรี เลิศมงคล, จำลอง เจียมจันรรจา, ปิยะ ดวงพัตรา, เอ็จ สโรบล, ปิยะ วุฒิ พูลสงวน, เจริญศักดิ์ ไจจนฤทธิพิเชษฐ, และวิจารณ์ วิชชุกิจ. 2542. การแปรรูปและการใช้ประโยชน์มันสำปะหลัง. เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการ โครงการเพื่อบรรเทาผลกระทบทางสังคมเนื่องจากวิกฤตการณ์ทางเศรษฐกิจ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- จิรารัตน์ ทัดติยกุล. 2537. การผลิตมอลโตเดกซ์ทรินจากแป้งมันสำปะหลังโดยใช้เอนไซม์แอลฟา-อะมิเลสที่ทนความร้อน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชิดพงศ์ ประดิษฐ์สุวรรณ, สุเมธ ตันตระเรียร และ โปรตปราน สิริธีรศาสน์. 2540. ภาวะของอัลตราฟิลเทรชันต่อการผลิตน้ำตาลกลูโคสจากกากมันสำปะหลัง : รายงานผลการวิจัย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- ณรงค์ นิยมวิทย์. 2538. ธัญชาติและพืชหัว. กรุงเทพมหานคร : คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ณัฐพงษ์ บวรเรืองโรจน์. 2535. การผลิตน้ำเชื่อมฟรักโทสจากแป้งมันสำปะหลังในฟลูอิดไค์เบด. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธนิดา ปะบุญเรือง. 2538. การสลายตัวของฟิล์มโพลีเอทิลีนผสมแป้งมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วรรณพร ศิริโรจน์. 2529. การปรับปรุงคุณภาพของแป้งมันสำปะหลังโดยการแปรสภาพทางเคมี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วรลักษณ์ อรุณศักดิ์ชัย และ วิไลลักษณ์ ชัยสิทธิ์. 2535. การผลิตแอลกอฮอล์จากแป้งมันสำปะหลังโดยใช้ลูกแป้ง. โครงการเรียนเพื่อเสริมประสบการณ์ระดับปริญญาบัณฑิต. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วชิราพรรณ บุญญาพุทธิพงศ์. 2543. การดัดแปรแป้งมันสำปะหลังโดยเอนไซม์พุลูลาเนสเพื่อใช้ในการทำแผ่นฟิล์ม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิชาการเกษตร, กรม. แผนพัฒนาพืช แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 7 เล่ม 1, 2535-2539. 370-376. (อัดสำเนา)
- นิติ เต็มเวชศยานนท์. 2543. การดัดแปรแป้งมันสำปะหลังด้วยวิธี Ball-mill และการศึกษาสมบัติของแป้งดัดแปร. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศยามล นองบุญนาก. 2534. การผลิตกรดมะนาวจากแป้งมันสำปะหลังโดย แอสเปอร์จิสไนเซอร์ สายพันธุ์ A 185 ด้วยวิธีการหมักในอาหารเหลว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศิริพรรณ หวังอารีย์ และ นพรัตน์ แซ่อึ้ง. 2528. การศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับแป้งภายในประเทศ. งานวิจัยโครงการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ระดับปริญญาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- สถิติทางการเกษตร, ศูนย์, สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2529. สถิติการเพาะปลูกของประเทศไทย ปีเพาะปลูก 2528/29. หน้า 54-59. กรุงเทพมหานคร,
- เสรี จันทโรสมณ. 2531. การผลิตอะซีโตน-บิวทานอลจากแป้งมันสำปะหลังโดย *Clostridium* sp. ที่แยกได้จากดินในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เสาวลักษณ์ วิทยาพิเชฐ. 2540. การสลายตัวของพลาสติกพอลิแลคโตอินผสมแป้งมันสำปะหลังกราฟต์ด้วยสไตรีน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อาหาร, สถาบัน. 2545. Import Export System [online]. Available from:
http://www.nfi.or.th/import_export/main_im_ex.asp [2002, May]
- อุทัย คันธ, สุกัญญา จัตตพรพงษ์, และวิไลลักษณ์ ชาวอุทัย. 2540. การใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์. ศูนย์วิจัยและมีกอบรมการเลี้ยงสุกรแห่งชาติ, ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์และภาควิชาสัตวบาล, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Bolhuis, G.G. 1954. The toxicity of cassava roots. *Neth. J. Agric. Sci.*, (2): 176-185.
- Bourdoux, P., Seghers, P., Mafuta, M., Vanderpas, J., VanderpasRivera, M., Delange, F. and Ermans, M.A. 1983. Traditional cassava detoxification process and nutrition education in Zaire. In Delange, F. and Aklowalia, R. eds. Cassava toxicity and thyroid: research and public health issues, p. 134-137. Ottawa, IDRC (IDRC 207e).
- Bruijn, G.H. 1973. The cyanogenic character of cassava. In Nestel, B., MacIntyre R. eds. Chronic cassava toxicity, p. 43-48. Ottawa, IDRC (IDRC-10e).
- Chaimanee, P., Bangcharoenpompong, O. and Purkkao, N. 2001. Studies on the structure and physical properties of some tropical starches. Paper presented at the first National Conference on Starch Technology. October, 2001, Bangkok, THAILAND.
- Chollakup, R., Sriroth, K. and Tokiwa, Y. 1997. Comparison of Physical Properties in Tapioca Starch/Polycaprolactone and Ground Tapioca Chip/Polycaprolactone Blends. Paper presented in 9th Annual Meeting of the Thai Society for Biotechnology. November 18 - 19, 1997. Nakhonratchasima, Thailand.
- Ciacco, C., F. and D'Appolonia, B. L. 1978. Baking studies with cassava and yam. II. Rheological and baking studies of tuber-wheat flour blends. *J. of Cereal Chem.* 55(4) : 423-425.
- Coursey, D.C. 1973. Cassava as food: toxicity and technology. In Nestel, B. and MacIntyre, R. eds. Chronic cassava toxicity. Proc. Interdisciplinary Workshop. London, 29-30 Jan. 1973, p. 2736. Ottawa, IDRC (IDRC-10e).
- Department of Export Promotion, Ministry of Commerce. 2001. Trade Information : Trade statistics [Online]. Available URL : http://www.depthai.go.th/en/statistic_expro.shtml
- FAO. 1977. Cassava Processing. <http://www.fao.org/waicent/search/default.asp>.
- FAO. 1990. Roots, tubers, plantains and bananas in human nutrition. FAO Food and Nutrition Series, No. 24. Available from : <http://www.fao.org/inpho/vlibrary/t0207e/T0207E01.htm>

- French, D. 1984. Organization of starch granules. pp.184-242. In R.L. Whistler, J.N. BeMiller, and E.F. Paschall (eds.) Starch: Chemistry and Technology. 2nd ed. Academic Press Inc., Florida.
- Hofreiter, B.T. 1986. Miscellaneous modifications. In Modified Starches: Properties and Uses. O.B. Wurzburg (Ed.). CRC Press, Inc., Florida. pp. 179-191.
- Hulaimi, W. A. 1999. Tapioca Plant Holds Hope For Cancer Sufferers. The New Sabah Times, 26/4/1999.
- Jacobson, M.R., Obanni, M., and BeMiller, J.N. 1997. Retrogradation of starches from different botanical sources. Cereal Chem. 74(5): 511-518.
- Jane, J. and Tim, S.T. 1995. Biodegradable plastics made from starch and protein mixtures. Pp. 165-168 In : Meuser, F., Manners, D.J., and Seibel, W. (eds.), Progress in Plant Polymeric Carbohydrate Research, Behr's Verlag.
- Leach, H.W. 1965. Gelatinization of starch. Ch. 7 In Starch: Chemistry and Technology. (Eds. R.L. Whistler and E.F. Paschall). Academic Press, New York, USA.
- Meuser, F. and Smolnik, H.D. 1980. Processing of cassava to gari and other foodstuffs. Starch/Starke (32): 116-122.
- Oke, O.L. 1984. Processing and detoxification of cassava. In Symp. Int. Soc. Root Crops. 6. Lima, 21-26 February 1983, p. 329-336. Lima. International Potato Center.
- Ostertag, C.F. 1996. World production and marketing of starch. In D.Dufour, G.M.O'Brien and R.Best (eds.). Cassava Flour and Starch: Progress in Research and Development. Centro International de Agricultura Tropical, Montpellier, FRANCE. P. 105-120.
- Piyachomkwan, K., Cholladup, R., Chotimeeranat, S., Termvejsayanon, N. and Sriroth, K. 1998. Thermal properties of physically treated cassava (*Manihot exculenta* Crantz.) starch. In The 10th Annual Meeting of the National Center for Genetic Engineering and Biotechnology 1998 on Biotechnology for a self-sufficient economy. November 25-27, 1998. Sol Twin Tower Hotel, Bangkok.
- Roos, Y.H. 1995. Food components and polymers. Ch. 5. In Phase Transitions in Foods. (Ed. Y.H. Roos). Academic Press, California, USA.
- Schoch, T.J. and Maywald, E.C. 1968. Preparation and properties of various starches. Cereal Chem. 45: 564-573.
- Sriroth, K. 1997. Development of Biodegradable Plastics Using Tapioca Starch at Kasetsart University. Paper presented in International Symposium on Biodegradable Plastics Using Tropical Farm Products. October 14-16, 1997. Tsukuba Science City, Japan.
- Sriroth, K., Piyachomkwan, K., Wanlapatit, S. and Oates, C.G. 2000. Cassava starch technology: The Thai experience. Starch/Starke 52: 439-449.
- Swinkels, J.J.M. 1985. Sources of starch, its chemistry and physics. Starch Conversion Technology. New York: Marcel Dekker.

Swinkels, Ir.J.J.M. 1990. Differences between commercial native starches. Netherlands: AVEBE
(Product Information).

3.4. ข้าวฟ่าง

ธาริน นาคศรีอารมณ
สุขฤดี อัครศักดิ์สกุล
ดร. จิรารัตน์ ทัดติยกุล

3.4.1. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ข้าวฟ่างจัดอยู่ใน Family Gramineae, subfamily Panicoideae, และ tribe Andropogoneae และอยู่ใน species *Sorghum bicolor* L. Moench, หรืออีกชื่อ คือ *S. vulgare* (Matz, 1991) ชื่อที่นิยมเรียกคือ milo ซึ่งหมายถึงข้าวฟ่างเมล็ด เป็นพืชตระกูลหญ้า มีใบหยาบ ลำต้นแข็งแรง มีความสูงตั้งแต่ต่ำกว่า 1 เมตรไปจนถึง 5 เมตร แล้วแต่พันธุ์ ข้าวฟ่างมีระบบรากเป็นแบบรากฝอย มีจำนวนรากมากกว่าข้าวโพดประมาณ 2 เท่า) จึงสามารถดูดน้ำและอาหารได้ดีเป็นพิเศษ ใบข้าวฟ่างมีลักษณะเป็นเรียวยาว คล้ายใบพืชพวกหญ้าทั่วไป ชอบใบหยักเล็กๆคล้ายฟันเลื่อย ตามผิวใบมีสารพวกขี้ผึ้ง (wax) เคลือบหนาเพื่อลดการคายน้ำ (วิยดา เทพหัตถิ, 2523) ข้าวฟ่างออกดอกเป็นช่อที่ยอด ลักษณะช่อเป็น panicle แต่มีจำนวนดอกมากและอยู่รวมกันค่อนข้างแน่น จึงมักเรียกว่า head มีดอกเป็นแบบดอกสมบูรณ์เพศ (complete flower) ที่ปลายกิ่งแขนงของช่อดอก เกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียอยู่ในดอกเดียวกัน มีการผสมตัวเองโดยเฉลี่ยประมาณ 995 เปอร์เซ็นต์ แต่อาจมีการผันแปรตั้งแต่ 50-100 เปอร์เซ็นต์ ในหนึ่งช่อดอกจะมีเมล็ดข้าวฟ่างประมาณ 800 – 3000 เมล็ด แม้ว่าข้าวฟ่างจะเป็นพืชล้มลุก แต่หลังจากเก็บเกี่ยวเมล็ดไปแล้วยังสามารถจะไวดอกและเก็บเกี่ยวผลผลิตต่อไปได้อีก 1-2 ครั้ง ขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของดินและกรปฏิบัติดูแลหลังจากการเก็บเกี่ยว (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2527) ข้าวฟ่างสามารถทนแล้งได้ดี ไม่ต้องดูแลรักษามาก ต้องการน้ำน้อย เกษตรกรไทยนิยมปลูกข้าวฟ่างเป็นพืชรุ่นที่ 2 แทนถั่ว งา ฯลฯ เพราะสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่แห้งแล้งได้ดีกว่าพืชไร่ชนิดอื่นๆ หรือใช้ปลูกเป็นพืชทดแทน เมื่อพืชที่เกษตรกรต้องการปลูกได้รับความเสียหาย

3.4.2. ชนิดของข้าวฟ่าง

โดยอาศัยความแตกต่างของรูปร่างต้นและการใช้ประโยชน์อาจแบ่งข้าวฟ่างออกได้เป็น 5 ประเภท คือ

Grain sorghum (sorghum bicolor)

ข้าวฟ่างในกลุ่มนี้ได้แก่พวก milo, kafir, feterita, hegari รวมทั้งลูกผสมจากพวกที่กล่าวมาแล้ว รวมทั้งพวก durra, shallu และ kaoliang ซึ่งเป็นข้าวฟ่างที่นิยมปลูกในประเทศกลุ่มอาหรับ อินเดีย และจีน ตามลำดับ ใต้ของต้นข้าวฟ่างในกลุ่มนี้อาจมีลักษณะช่มน้ำหรือแห้งแต่จะไม่หวานเท่าลำต้นของพวก sorgor เมล็ดของข้าวฟ่างเมล็ด (grain sorghum) นี้มีขนาดใหญ่มีสีขาว แสด ชมพู เหลือง น้ำตาลหรือน้ำตาลแดง สามารถกระเทาะเมล็ดออกจากเปลือกหุ้มได้ง่าย ปลูกเพื่อเอาเมล็ด เมล็ดใช้เป็นอาหารมนุษย์และสัตว์

Broom corn (Sorghum bicolor)

มีชื่อเรียกในภาษาไทยว่าข้าวฟ่างไม้กวาด ช่อดอกของข้าวฟ่างชนิดนี้มี rachis สั้น แต่มีกิ่งแขนงยาว และมีดอกเพียงเล็กน้อยที่ปลายกิ่ง เมล็ดมีขนาดเล็กสลับ และมีกลีบดอกหุ้มสนิท ก้านช่อดอกและกิ่งแขนงของช่อดอกเมื่อแห้งจะเหนียวและแข็งใช้ทำไม้กวาด ชื่อเรียกทางวิทยาศาสตร์ของ broom corn ว่า *S. dochna*

Farage sorghum

หรือ sorgos หรือ sweet sorghum (*Sorghum bicolor*) มีชื่อเรียกในภาษาไทยว่าข้าวฟ่างหวาน ลำต้นของข้าวฟ่างชนิดนี้จะมีลักษณะชุ่มน้ำ และมีเปอร์เซ็นต์น้ำตาลสูงใช้ทำ syrup silage และ forage midrib ของใบข้าวฟ่างหวานจะมีขึ้นเนื่องจากมีน้ำตาลหวานอยู่ตามช่องว่างของเซลล์ ซึ่งในข้าวฟ่างชนิดอื่นเป็นที่อยู่ของอากาศ ข้าวฟ่างหวานมีลำต้นสูง มีเมล็ดขนาดเล็กและมีกลีบดอกยาว ลักษณะและขนาดของช่อดอกแตกต่างกันมาก คือมีช่อดอกตั้งแต่หลวมจนแน่น และอาจเป็นชนิดที่มีก้านแขนงสั้นไปจนถึงยาวเท่า rachis

Grass sorghum

มีชื่อเรียกในภาษาไทยว่า หญ้าข้าวฟ่าง เป็นพวกข้าวฟ่างพันธุ์ป่าต่างๆ มีลักษณะคล้ายหญ้าทั่วไป ใช้เป็นอาหารสัตว์ เนื่องจากลำต้นเล็กและมีการแตกกอดีคล้ายหญ้า จึงนิยมปลูกเป็นทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์หรือตัดทำหญ้าแห้งหรือทำเป็นหญ้าหมักก็ได้ ข้าวฟ่างพวกนี้ได้แก่ *S. sudanense* (หญ้าซูดาน) *S. halepense* (หญ้าจอร์นสัน) และ *S. almum* (หญ้าโคลัมเบีย)

special porpose sorghum

ข้าวฟ่างที่ใช้เมล็ดเพื่อประโยชน์อื่นๆ ได้แก่ ข้าวฟ่างที่ใช้เมล็ดมาคั่วรับประทาน หรือนำไปทำเป็นแป้งทำขนม ทำกาว โดยมากเป็นข้าวฟ่างที่มีขนาดลำต้นสูงใหญ่ เมล็ดน้อย มีขนาดเล็กและแข็ง สีขาวอมเหลือง นิยมปลูกเป็นการค้า นอกจากปลูกไว้ใช้กันตามบ้านเท่านั้น

ข้าวฟ่างเสียนอกจากมีความผันแปรในลักษณะทางต้นแล้วก็ยังมี ความผันแปรในลักษณะทางเมล็ดอย่างมาก เมล็ดพันธุ์ข้าวฟ่างที่ต่างกัน อาจมีสีชมพู แดง น้ำตาล เหลืองหรือขาว ลักษณะแบ่งในเมล็ดอาจยุ่ยคล้ายขอลึกหรือแข็ง รูปร่างเมล็ดอาจกลม กลมรี หรือกลมแบน ลักษณะและขนาดของช่อก็ตกต่างกันอย่างมาก เมล็ดข้าวฟ่างสีขาวและเหลือง ได้รับความนิยมในการใช้เป็นอาหาร ทั้งนี้เนื่องจากพวกที่มีสีแดง ชมพู น้ำตาล มักมีรสขม อันเนื่องมาจาก สารแทนนิน ซึ่งอาจอยู่ในเปลือกนอกของเมล็ดและสามารถแยกออกได้โดยการขัดสี แต่ถ้าอยู่ในเปลือกใน การแยกออกจากเมล็ดด้วยเครื่องสีเท่าที่มีอยู่ในปัจจุบันทำได้ยาก สารแทนนินที่มีรสขมเหล่านี้จะเป็นตัวลดการย่อยของโปรตีน ทำให้คุณค่าทางอาหารของข้าวฟ่างลดลง ข้าวฟ่างแต่ละสายพันธุ์จะถูกนำไปใช้ประโยชน์ต่างกันไป เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดพืช หรือพืชที่ทนแล้งชนิดอื่นๆ ข้าวฟ่างมีองค์ประกอบที่มีคุณค่าทางอาหารสมควรแก่การพิจารณาเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆ นอกจากนี้อ่องค์ประกอบต่างๆยังแปรผันไปตามสายพันธุ์ สภาพภูมิอากาศที่ใช้ในการเพาะปลูก และเวลาในการเก็บเกี่ยว ซึ่งมีความสำคัญต่อการคัดเลือกวัตถุดิบที่เหมาะสมในการนำไปใช้เป็นอาหารมนุษย์ อาหารสัตว์ หรือใช้เป็นเส้นใยอาหาร (Joseph and Charles, 1970)

3.4.3. ลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบของเมล็ดข้าวฟ่าง

เมล็ดข้าวฟ่างที่เอากาบหุ้มเมล็ดออกแล้ว ส่วนใหญ่มีรูปร่างกลมหรือกลมรี โดยทั่วไปมีขนาดประมาณ 4.0x2.5x3.5 เซนติเมตร น้ำหนักเมล็ดแปรผันจาก 8 ถึง 50 มิลลิกรัม โดยเฉลี่ยประมาณ 28 มิลลิกรัม มี 12000 - 18000 เมล็ดต่อปอนด์ อาจจะมีเปลือกสีขาว แดง เหลือง หรือชมพู เมล็ดที่มีเปลือกสีขาว มีชื่อเรียกทั่วไปว่า kafir ซึ่งจะมีขนาดเล็กโดยเฉลี่ยเล็กกว่าข้าวฟ่างพันธุ์อื่นๆ โครงสร้างของเนื้อเมล็ดข้าวฟ่างแปรผันอย่างมีนัยสำคัญ

เนื่องจากปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อมและพันธุศาสตร์ รูปร่าง ขนาด สัดส่วนของส่วนต่างๆ ของเนื้อเมล็ดและโครงสร้างภายในแต่ละส่วนของเมล็ดสามารถแปรผันไปตามพันธุ์

องค์ประกอบของเมล็ดข้าวฟ่างคล้ายกับข้าวโพดหลายประการ ความคล้ายคลึงกันนี้รวมไปถึงลักษณะของสตาร์ชและโปรตีน เช่นเดียวกับส่วนประกอบอื่นๆ โครงสร้างของคัพภะและเอนโดสเปิร์มใกล้เคียงกันกับข้าวโพด ต่างกันที่ข้าวฟ่างมีปริมาณไขมันต่ำกว่าแต่มีปริมาณโปรตีนและปริมาณแป้งสูงกว่า

ตารางที่ 3.4.1 องค์ประกอบของเมล็ดข้าวฟ่าง

Composition	Range (% dry basis)	Average (% dry basis)
Water (% wet basis)	8 - 20	15.5
Starch	60 - 77	74.1
Protein (N x 6.25)	6.6 - 16	11.2
Fat (CCl ₄ extract)	1.4 - 6.1	3.7
Ash	1.2 - 7.1	1.5
Fibre (crude)	0.4 - 13.4	2.6
Pentoglycans	1.8 - 4.9	2.5
Sugar (as dextrose)	0.5 - 2.5	1.8
Tannin	0.003 - 0.17	0.1
Wax	0.2 - 0.5	0.3

ที่มา : Watson, 1967

ตารางที่ 3.4.2 สารอาหารในข้าวฟ่าง^a

Kernel fraction	% kernel weight	Protein ^b (%)	Ash (%)	Oil (%)	Starch (%)	Niacin (mg/100g)	Riboflavin (mg/100 g)	Pyridoxin (mg/100g)
Sorghum								
Whole kernel	100	12.3	1.67	3.6	73.8	4.5	0.13	0.47
Endosperm	82.3	12.3	0.37	0.6	82.5	4.4	0.09	0.40
		(80)	(20)	(13)	(94)	(76)	(50)	(76)
Germ	9.8	18.9	10.4	28.1	13.4	8.1	0.39	0.72
		(15)	(69)	(76)	(20)	(17)	(28)	(16)
Bran	7.9	6.7	2.0	4.9	34.6	4.4	0.40	0.44
		(43)	(11)	(11)	(4)	(7)	(22)	(8)
Pearl millet								
Whole kernel	100	13.3	1.7	6.3				
Endosperm	75	10.9	0.32	0.53				
		(61)	(14)	(6)				
Germ	17	24.5	7.2	32.2				
		(31)	(71)	(87)				
Bran	8	17.1	3.2	5.0				
		(10)	(15)	(6)				

^a ตัวเลขในวงเล็บแสดงค่าเป็นร้อยละของน้ำหนักเมล็ดข้าว

^b N × 6.25

ที่มา: Hubbard, Hall and Earle, 1950 (sorghum); Ahdelrahman, Hosney and Varriano-Marston, 1984 (pearl millet).

ตารางที่ 3.4.3 สารอาหารใน sorghum millets และธัญพืชอื่นๆ (ในส่วนของกินได้ 100 กรัม และความชื้นร้อยละ 12)

อาหาร	โปรตีน ^a (g)	ไขมัน (g)	เถ้า (g)	เส้นใย (g)	คาร์โบไฮเดรต (g)	พลังงาน (kcal)
ข้าวกล้อง	7.9	2.7	1.3	1.0	76.0	362
ข้าวสาลี	11.6	2.0	1.6	2.0	71.0	348
ข้าวโพด	9.2	4.6	1.2	2.8	73.0	358
ข้าวฟ่าง	10.4	3.1	1.6	2.0	70.7	329

^a N × 6.25.

ที่มา: Hulse, Laing and Pearson, 1980; United States National Research Council/National Academy of Sciences, 1982; USDA/HNIS, 1984.

องค์ประกอบของเมล็ดข้าวฟ่างจากพันธุ์ที่ให้เมล็ด ข้าวฟ่างหวาน และหญ้าข้าวฟ่าง ได้มีการศึกษามากมาย (Barham และคณะ, 1946) พบว่าจำเมล็ดข้าวฟ่างมีปริมาณเถ้าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.6 - 2.2% น้ำมันแปรรูป

จาก 3.1 - 4.9% โปรตีนมีค่าตั้งแต่ 11 - 15% โดยทั่วไปเนื้อเมล็ดของข้าวฟ่างมีปริมาณแป้งสูงกว่าและปริมาณไขมันต่ำกว่าเมล็ดที่มีขนาดเล็กกว่าอย่างข้าวฟ่างหญ้าหรือข้าวฟ่างหวาน ในการศึกษาและวิเคราะห์ข้าวฟ่างชนิดธรรมดาและชนิดแวกซ์จำนวนมากที่คัดเลือกโดย Horan และ Heider (1946) พบว่าไม่มีความแตกต่างเด่นๆในองค์ประกอบ โดยทั่วไปข้าวฟ่างเมล็ดถูกพัฒนาและปรับปรุงพันธุ์และได้พันธุ์ลูกผสมที่มีเมล็ดขนาดใหญ่ขึ้น มีเนื้อแป้งภายในเมล็ดมากขึ้นและมีปริมาณโปรตีนลง

3.4.3.1 สตาร์ชในเมล็ดข้าวฟ่าง

สตาร์ชในเมล็ดข้าวฟ่างเป็นองค์ประกอบ 68-73 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษา 20 พันธุ์ของข้าวฟ่างเมล็ดและข้าวฟ่างหวาน สตาร์ชเป็นส่วนประกอบ 83 เปอร์เซ็นต์ของเฮนโดสเปิร์ม 13.4 เปอร์เซ็นต์ของรำ โดยศึกษาจากเมล็ดข้าวฟ่างที่ถูกแยกแต่ละส่วนด้วยมือ (Hubbard และคณะ, 1950) ความหนาแน่นของสตาร์ชข้าวฟ่างมีค่าอยู่ประมาณ 1.5 กรัมต่อมิลลิลิตร (Barham และคณะ, 1946) คาร์โบไฮเดรตอื่น ๆ นอกจากสตาร์ชพบอยู่เพียงจำนวนเล็กน้อยเมื่อดึงแยกจากข้าวฟ่างคล้ายคลึงกับจากข้าวโพด แต่เส้นผ่านศูนย์กลางอาจถึง 35 ไมครอน ขณะที่สตาร์ชจากข้าวโพดมีขนาดประมาณ 30 ไมครอน สตาร์ชจากข้าวฟ่างมักพบว่ามีขนาดแกรนูลใหญ่ สตาร์ชจากข้าวฟ่างแบบแวกซ์มีรูปร่างเหมือนกันกับสตาร์ชแบบธรรมดา แต่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าสตาร์ชแกรนูลจากข้าวฟ่างแบบธรรมดา

ตารางที่ 3.4.4 สมบัติของสตาร์ชจากข้าวฟ่าง

Grain	อะมิโลส (ร้อยละ)	Gelatinization temperature (°C)		Water-Binding capacity (ร้อยละ)	Swelling at 90°C (ร้อยละ)	Solubility at 90°C (ร้อยละ)	ความหนืด (amylograph - Brabender units)			
		Initial	Final				At 93°-95°C	After holding at 95 °C	Cooled to 35° or 50°C	After holding at 35°C or 50°C
Sorghum	24.0	68.5	75.0	105	22	22	600	400	580	520
Sorghum (waxy)	1.0	67.5	74.0	-	49	19	380	290	390	350
Pearl millet	21.1	61.1	68.7	87.5	13.1	9.16	460	396	568	536

^a Peak viscosity achieved at 83.5°C.

ที่มา: Rooney and Serna-Saldivar, 1991; Leach, 1965; Horan and Heider, 1946; Subramanian และคณะ, 1982; Beleia, Varriano-Marston and Hosenev, 1980; Yanez and Walker, 1986; Lorenz and Hinze, 1976; Wankhede, Shehnaj and Raghavendra Rao, 1979b; Paramahans and Taranathan, 1980.

3.4.3.2 น้ำตาลในเมล็ดข้าวฟ่าง

ปริมาณน้ำตาลของเมล็ดข้าวฟ่างส่วนใหญ่อยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.9 - 2.0 เปอร์เซ็นต์ในพันธุ์ทั่วไป และทั้งเมล็ดมีปริมาณเพนโทแซนประมาณ 2 - 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในเพอริคาร์พหรือรกล้ำก้นกับข้าวโพด

3.4.3.3 โปรตีนในเมล็ดข้าวฟ่าง

Osborne (1924) ได้จำแนกชนิดของโปรตีนในเมล็ดธัญพืชรวมทั้งข้าวฟ่างออกได้ดังนี้

- อัลบูมิน (Albumins) ละลายได้ในน้ำ
- โกลบูลิน (Globulins) ละลายได้ในสารละลายเกลือ
- โปรลามิน (Prolamines) ละลายได้ในสารละลายเอทานอล
- กลูเทลิน (Glutelins) ละลายได้ในสารละลายต่างเจือจาง

โปรตีนของเอนโดสเปิร์มและโปรตีนของคัพภะของข้าวฟ่าง ได้รับความสนใจน้อย โปรตีนที่รู้จักกันในชื่อ kafirin (หรือ prolamines) สกัดได้จากเอนโดสเปิร์ม มีประมาณ 83 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนในเอนโดสเปิร์ม โปรตีนส่วนใหญ่ในข้าวฟ่างไม่สามารถถูกสกัดได้ด้วยน้ำหรือสารละลายเกลือได้

Virupaksha และ Sastry (1968) วิเคราะห์โปรตีนของเมล็ดข้าวฟ่าง 44 สายพันธุ์ที่คัดเลือกจากทั่วโลก และลูกผสม 5 พันธุ์ พบว่าปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วงตั้งแต่ 8.5 - 18.2 เปอร์เซ็นต์

3.4.3.4 ไขมันของเมล็ดข้าวฟ่าง

ไขมันในข้าวฟ่างมีคุณค่าทางอาหารที่สำคัญต่อมนุษย์และสัตว์ แต่อาจต้องปรับปรุงเรื่องกลิ่นรส และการเหม็นหืน เมื่อนำไปทำผลิตภัณฑ์อาหาร ตัวทำละลาย 2 ชนิดถูกใช้สำหรับสกัดไขมันจากข้าวฟ่างคือ ตัวทำละลายไม่มีขั้วเช่น เฮกเซน จะสกัดโทรกลีเซอไรด์กับปริมาณเล็กน้อยของไฮโดรคาร์บอน สเตอรอลเอสเทอร์ กรดไขมัน โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์และสเตอรอล ของผสมที่สกัดได้น้ำจะถูกเรียกว่า ไขมันหรือน้ำมันทั้งหมด (crude fat or oil) ส่วนตัวทำละลายมีขั้ว เช่น นอร์มอล - บิวทิลแอลกอฮอล์ หรือ คลอโรฟอร์ม - เมทานอล จะสกัดกรดไขมันอื่นๆ ฟอสโฟลิปิดต่างๆ โกลโคลิปิดต่างๆ และไลโปโปรตีน

การกระจายของไขมันไม่มีขั้วในเมล็ดข้าวฟ่าง 5 พันธุ์และแต่ละส่วนที่ถูกแยกด้วยมือเพื่อศึกษา พบว่าคล้ายคลึงกันกับข้าวโพด (Hubbard et al, 1950) ปริมาณน้ำมันเฉลี่ยของทั้งเมล็ดคือ 3.6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปริมาณน้ำมันของเอนโดสเปิร์ม คัพภะ และรำ คือ 0.6 28.1 และ 4.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในเอนโดสเปิร์มคิดเป็น 13 เปอร์เซ็นต์ของน้ำมันในเนื้อเมล็ด ในคัพภะ 76 เปอร์เซ็นต์ และในรำ 11 เปอร์เซ็นต์ สารสกัดด้วยปิโตรเลียมอีเธอร์จากรำข้าวฟ่างส่วนใหญ่ประกอบด้วยไขมันมากกว่าน้ำมัน ส่วนองค์ประกอบของไขมันเหมือนกันทั้ง 5 พันธุ์ ไขมันที่สกัดได้จากรำข้าวฟ่างมีคุณค่าสูงกว่ารำของธัญพืชอื่น เช่นข้าวโพดและส่วนใหญ่ประกอบด้วยแวกซ์ กิ่งแข็งที่อุดมไขมันห่อหุ้ม เมล็ดข้าวฟ่างมีไขมันประมาณ 0.25 เปอร์เซ็นต์ วึ่งมากกว่าข้าวโพด ข้าวฟ่างต่างจากข้าวโพดตรงที่ข้าวฟ่างมีปริมาณไขมันต่ำกว่า แต่มีปริมาณโปรตีนและสตาร์ชสูงกว่า น้ำมันจากคัพภะของข้าวฟ่างเหมือนกันกับน้ำมันข้าวโพดในสมบัติทางเคมีและทางกายภาพแต่น้ำมันเมล็ดข้าวฟ่างอิมิตว่น้อยกว่าน้ำมันข้าวโพดเล็กน้อย

3.4.3.5 ฟีนอลิก (Phenolics)

สารประกอบฟีนอลิก ช่วยส่งเสริมกลิ่นรสและสีของอาหารคนและอาหารสัตว์ที่ประกอบด้วยข้าวฟ่าง และอีกประการหนึ่ง อาจมีผลต่อการย่อยและเป็นพิษ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในข้าวฟ่างหวาน สารประกอบฟีนอลิกในเมล็ดข้าวฟ่าง ได้แก่

- รงควัตถุ ข้าวฟ่างที่ต่างพันธุ์กันจะมีสีเปลือกที่ต่างกันด้วย ขึ้นอยู่กับรงควัตถุพวกฟีนอลิก สีนี้อาจติดไปกับเนื้อเมล็ดที่แตกหัก (grits) ระหว่างการไม่แห้ง และติดไปกับสตาร์ชและกลูเตนระหว่างการไม่เปียก รงควัตถุพวกฟีนอลิกอาจเป็นสาเหตุให้เมล็ดและผลิตภัณฑ์มีรสขมและไม่อร่อย
- แทนนิน เมล็ดข้าวฟ่างที่มีเปลือกหุ้มเมล็ดสีน้ำตาล จะมีปริมาณแทนนินสูง มีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.3 - 2.0 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับพันธุ์ทั่วไปซึ่งจะมีปริมาณ 0.2 - 0.4 เปอร์เซ็นต์ เชื่อว่าระดับแทนนินที่สูงมีผลต่อรสชาติของอาหารสัตว์ และอาจจะมีผลในการป้องกันเชื้อรา
- รงควัตถุที่ไม่ใช่พวกฟีนอลิก พันธุ์ข้าวฟ่างที่พบในไนจีเรียและอินเดีย มีเอนโดสเปิร์มสีเหลืองซึ่งมีแคโรทีนอยด์มากพอสมควร เมล็ดข้าวฟ่างพันธุ์ทั่วไปมีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดประมาณ 1.5 ppm ส่วนพันธุ์ลูกผสมที่มีเอนโดสเปิร์มสีเหลืองมีประมาณสูงถึง 10 ppm (Blessin และคณะ, 1962)
- สารพิษและสารยับยั้งคุณค่าอาหาร Hulse และคณะ (1980) รายงานว่า ปัจจุบันทำให้เกิดความเป็นพิษและยับยั้งคุณค่าทางอาหารที่พบในข้าวฟ่างแบ่งออกได้เป็น 2 พวกคือ สารที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติในพืชพันธุ์ และผลิตมาจากปฏิกิริยาทางสรีรวิทยาของมันเอง ได้แก่ พอลิฟีนอล(มักถูกเรียกว่า แทนนิน) ไฟเทต ไชยานินเจนิกไกลโคไซด์ เป็นต้น และสารที่ถูกผลิตโดยจุลินทรีย์หรือปรสิตอื่นๆ ที่อยู่บนเมล็ดภายใต้สภาวะหนึ่งๆ เช่น อะฟลาทอกซิน พบว่าข้าวฟ่างจะมีปริมาณสารที่ไม่เป็นที่ต้องการเหล่านี้สูงกว่าในข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต หรือ ข้าวบาร์เลย์

3.4.3.6 วิตามินและแร่ธาตุจากเมล็ด

องค์ประกอบโดยเฉลี่ยของวิตามินในเมล็ดข้าวฟ่าง เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพด มีบางตัวที่ใกล้เคียงกันแต่บางตัวในข้าวฟ่างมีมากกว่า เช่น แพนทีนอล กรดนิโคตินิก ไบโอติน เป็นต้น ปริมาณแร่ธาตุในเมล็ดข้าวฟ่างและส่วนต่างๆของพืชขึ้นอยู่กับความผันแปรต่างๆ เช่น สายพันธุ์ สภาพดิน อุณหภูมิ ปริมาณฝนและปุ๋ย ปริมาณธาตุของข้าวฟ่างถูกรายงานว่ามีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.2 -2.2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่ง 69 เปอร์เซ็นต์อยู่ในคัพภะ 21 เปอร์เซ็นต์อยู่ในเอนโดสเปิร์ม และ 11 เปอร์เซ็นต์อยู่ในรำ ข้าวฟ่างส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ที่ไม่มีวิตามินเอ (Matz, 1991)

3.4.3.7 เอนไซม์ของข้าวฟ่าง

ได้แก่ อะไมเลส ออกซิเดทีฟเอนไซม์ ไฮโดรเลสของไชยานินเจนิกไกลโคไซด์ เป็นต้น (Joseph and Charles, 1970)

3.4.3.8 สารอินทรีย์อื่นๆในข้าวฟ่าง

ได้แก่ กรดไฟติก สารควบคุมการเจริญเติบโต เช่น ออกซินและกรดนิวคลิอิก เป็นต้น

3.4.4. การใช้ประโยชน์จากข้าวฟ่าง

การใช้ประโยชน์จากข้าวฟ่างยังมีค่อนข้างจำกัด ในประเทศไทยส่วนใหญ่มักจะนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ จะมีเพียงบางประเทศในแอฟริกาและบางพื้นที่ในประเทศอินเดียเท่านั้นที่มีการนำมาบริโภคเป็นอาหารหลัก

(ศิริพร วิเศษสุรการ, 2539) ข้าวฟ่างที่ถูกนำมาทดลองปลูกในประเทศไทยเป็นครั้งแรกเป็นข้าวฟ่างพวกเฮกการี่ต้นเตี้ย จากสหรัฐอเมริกา มีจุดประสงค์สำคัญเพื่อใช้ต้นเลี้ยงสัตว์ แต่เมื่อปลูกแล้วให้ผลผลิตดี และเมื่อมีตลาดต่างประเทศให้ความสนใจซึ่งเมื่อผลิตข้าวฟ่างจากประเทศไทย จากวัตถุประสงค์ของการนำข้าวฟ่างมาปลูกเพื่อใช้ต้นเลี้ยงสัตว์จึงเปลี่ยนไปเป็นการปลูกเพื่อผลิตเมล็ดส่งเป็นสินค้าออก ข้าวฟ่างเมล็ดหรือข้าวฟ่างปลูกเพื่อใช้เมล็ด (grain sorghum) ข้าวฟ่างชนิดนี้มีขนาดเมล็ดใหญ่กว่า ต้นเตี้ยกว่า และผลิตผลเมล็ดจะมากกว่าข้าวฟ่างชนิดอื่นๆ ประเทศอินเดียตอนใต้และหลายประเทศในแอฟริกา นำเมล็ดข้าวฟ่างมาแปรรูปเป็นอาหารหลักแทนข้าว ข้าวสาลี ที่ผลิตได้ผลดีไม่เท่าข้าวฟ่าง ทั้งนี้เนื่องจากสภาพดินฟ้าอากาศของประเทศเหล่านั้นค่อนข้างแห้งและร้อน ข้าวฟ่างเป็นพืชที่ทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ดีกว่าธัญพืชหลายชนิด รวมทั้งข้าวโพด อาหารที่ทำจากข้าวฟ่างมีชื่อและลักษณะรูปแบบแตกต่างกันไปตามแต่ละประเทศ ประเทศในยุโรปได้ให้ความสนใจและทดลองใช้แป้งข้าวฟ่างแทนข้าวสาลีเป็นบางส่วนเพื่อลดต้นทุนการผลิตในอุตสาหกรรมขนมปัง คูกี้ ในบางประเทศมีการผลิตข้าวฟ่างแทนข้าวสาลีทั้งหมด ซึ่งมีต้นทุนการผลิตหรือการนำเข้าต่อกิโลกรัมสูงกว่าแป้งข้าวฟ่างมาก สำหรับประเทศไทยนั้นได้มีการวิจัยของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยนำเมล็ดข้าวฟ่างมาแปรรูป แล้วใช้แป้งมาเป็นส่วนประกอบทำเค้ก คูกี้ (ปิยนันท์ อัครพัฒน์, 2520) ขนมจีนและ เส้นหมี่

3.4.5. งานวิจัยเกี่ยวกับข้าวฟ่าง

Yang และ Seib (1996) ซึ่งทำการสกัดแป้งจาก sorghum ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายกับ corn starch และสามารถใช้ทดแทนกันได้ นั้น พบว่าการสกัดโดย wet milling จะได้ประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับ corn starch ทั้งนี้เนื่องจาก starch บางส่วนจะติดไปกับ pericarp นอกจากนี้ starch ใน sorghum ยังเกิด highly crosslink กับโปรตีน ทำให้การแยก starch ออกจากโปรตีนทำได้ยากกว่าในข้าวโพด ทั้งนี้จะแยกได้ starch คิดเป็น 20% ของ total grain ซึ่งคิดเป็น 27% ของ starch ที่มีอยู่ทั้งหมด โดยใน starch จะมีโปรตีนอยู่ 0.8% และอีก 0.8% จะถูกแยกโดย protease หรือ high shearing ในน้ำ

เมื่อทดลองแช่เมล็ด sorghum ในน้ำซึ่งมี $0.1-0.5\% \text{ SO}_2$ (1.5 parts by wt.) ที่ 50-70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-10 ชั่วโมง พบว่า 75% ของ SO_2 จะหายไประหว่างแช่ ในช่วง 4 ชั่วโมงแรกนั้น sorghum จะดูดน้ำเร็วกว่าข้าวโพด แต่เมื่อผ่านไป 10 ชั่วโมง sorghum จะดูดน้ำได้น้อยกว่าข้าวโพดประมาณ 4% น้ำที่แช่เมล็ดหลัง 2-10 ชั่วโมงนั้นมีฤทธิ์เป็นกรดมากกว่าข้าวโพด 25% และ %recovery starch ที่สูงที่สุดได้จากการแช่เป็นเวลา 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 58 องศาเซลเซียส โดยใช้ SO_2 เริ่มต้นเท่ากับ 0.3% และมีค่าเท่ากับ 51% และ Hot paste characteristics ของ sorghum starch ที่ได้คล้ายกับ corn starch

Perez และคณะ (1997) พบว่า white sorghum มี crude protein (1.72% d.b.), fat (0.78 %d.b.) และ ash (0.76% d.b.) น้อยกว่า dark sorghum แต่มี amylose (1.87% w.b.) ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ยังพบว่า starch ที่ได้จาก sorghum ทั้ง 2 ชนิดมี physicochemical properties และ rheological behavior ที่แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกระบวนการสกัดที่ต่างกัน

3.4.6. เอกสารอ้างอิง

- คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่ฯ. 2527. พืชเศรษฐกิจเล่ม 2. ภาควิชาพืชไร่ฯ. คณะเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิทยา เทพหัสดิ. 2523. พฤกษศาสตร์เศรษฐกิจ. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาพฤกษศาสตร์. คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศิริพร วิเศษสุรการ. 2539. ผลิตภัณฑ์จากข้าวฟ่าง. เอกสารประกอบการสอนรายวิชาเทคโนโลยีัญพืช. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร. คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Barham, H.N., Wagoner, J.A., Campbell, C.L., and Harclerode, E.H. 1946. Chemical composition of some sorghum grains and the properties of their starches. Kanas Agr. Expt. Sta. Tech. Bull. 1129 : 1-8.
- Blessin, C.W., Dimler, R.J., and Webster, O.J. 1962. Carotenoids of corn and sorghum II. Carotenoid loss in yellow-endosperm sorghum grain during weathering. Cereal Chem. 39 : 389-392.
- Horan, F.E., and Heider, M.F. 1946. Study of sorghum and sorghum starches. Cereal Chem. 23 : 492-503.
- Hubbard, J.E., Hall, H.H., and Earle, F.R. 1950. Composition of the component parts of the sorghum kernel. Cereal Chem. 27 : 415-420.
- Hulse, J.H., Laing, E.M., and Pearson, O.D. 1980. Sorghum and the millets : their composition and nutritive value. New York : Academic Press.
- Joseph, S.W. and Charles W.B. 1970. Composition of sorghum plant and grain. In J.S. Wall and W.M. Roes (ed.), Sorghum production and utilization, pp. 118-166. U.S.A. : The AVI Publishing Company.
- Matz, S.A. 1991. The chemistry and technology of cereals as food and feed 2nd ed. New York : Van Nostrand Reinhold.
- Osborne, T.B. 1924. The Vegetable Proteins. London : Longmans Green and Co. Perten.H. 1977. Specific characteristics of millet and sorghum milling. In Dendy, D.A.V. (ed.), Symposium on sorghum and millets for human food, pp. 47-51. London : Inter. Asso. For Cereal Chemistry.
- Virupaksha, T.K., and Sastry, L.V.S. 1968. Studies on the protein content and amino acid composition of grain sorghum. J. Agr. Food Chem. 16 : 199-203.
- Watson, S.A. 1967. Milo : its culture, structure, and composition. In Whistler, R.L. and Eugene, F.P. (ed.), Starch : chemistry and technology, Vol.II. New York : Academic Press.

3.5. ถั่วเขียว

ดร. พาสวดี ประทีปะเสน

ดร. จีราวัฒน์ ทัดติยกุล

ถั่วเขียวเป็นพืชล้มลุกที่ปลูกในเขตร้อน มีลำต้นเป็นพุ่มสูง 60-80 เซนติเมตร มีดอกขนาดเล็ก และมีฝักรูปทรงกระบอก มีขนปกคลุมหนาแน่น เมล็ดถั่วเขียวมีทั้งสีเขียว สีเหลืองและสีน้ำตาลแดง ถั่วเขียวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย สามารถปลูกเป็นพืชนำหรือพืชตาม หรือหมุนเวียนกับพืชหลักชนิดอื่นๆ ถั่วเขียวที่ปลูกในประเทศไทยสามารถจำแนกได้เป็นสองชนิดใหญ่ๆ คือ (กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์, 2529)

- ถั่วเขียว (Mung bean, green gram) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ คือ *Vigna radiata* (L.) Wilzeck หรือ *Phaseolus aureus* Roxb. ซึ่งรวมทั้งถั่วเขียวธรรมดา ถั่วเขียวเมล็ดดำ ถั่วเขียวผิวมัน และถั่วทอง (golden gram)
- ถั่วเขียวผิวดำ (black gram) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ คือ *Vigna mungo* (L.) Wilzeck หรือ *Phaseolus mungo* (L.) เปลือกของเมล็ดมีสีดำ มีกลิ่นเหม็นเขียวมากกว่าถั่วเขียวธรรมดา

ถั่วเขียวที่นิยมบริโภคโดยทั่วไป คือ ถั่วเขียวธรรมดา หรือถั่วเขียวเมล็ดดำ (*Vigna radiata*) ซึ่งมีชื่ออื่นๆ คือ ถั่วจิม ถั่วมูม Golden gram Mung bean และ Red gram

3.5.1. องค์ประกอบทางเคมีของถั่วเขียวและสตาร์ชถั่วเขียว

ถั่วเขียวมีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบอยู่ถึงร้อยละ 40 (ตารางที่ 3.5.1) สตาร์ชที่สกัดจากเมล็ดถั่วเขียวเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมแก่การนำมาผลิตวุ้นเส้น เนื่องจากมีความใส มีปริมาณอะมิโลสสูง มีการพองตัวต่ำ และมีการเกิด retrogradation หรือการคืนตัวต่ำ (Singh และคณะ, 1989; Kim และ Wiesenborn, 1996)

ตารางที่ 3.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของถั่วเขียว (ร้อยละโดยน้ำหนักทั้งหมด)

แหล่งสตาร์ชถั่วเขียว	% yield	เถ้า (%)	ไนโตรเจน (%)	ไขมัน (%)	Iodine affinity (%)	Gelatinization range (°C)
สหรัฐอเมริกา	37	0.06	0.01	0.17	5.95	64-69-76
สหรัฐอเมริกา	43	0.01	0.01	0.18	-	65-70-76
ฮ่องกง	32	0.01	0.02	-	5.87	66-70-74
ฟิลิปปินส์	39	0.01	0.01	-	6.02	66-70-74
ยามามูระ	-	0.02	0.02	0.17	6.01	60-66-78

ที่มา : Schoch และ Maywald, 1968

Hoover และคณะ (1997) ได้รายงานองค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชที่สกัดจากถั่วเขียวไว้ ดังแสดงในตารางที่ 3.5.2

ตารางที่ 3.5.2 องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชถั่วเขียว (ร้อยละโดยน้ำหนักทั้งหมด)

องค์ประกอบ	ปริมาณ
ความชื้น	10.03±0.08
เถ้า	0.11±0.02
ไนโตรเจน	0.05±0.01
ไขมัน	0.04±0.02
อะมิโลส	39.8±0.5

3.5.2. สมบัติทางกายภาพของสตาร์ชถั่วเขียว

3.5.2.1 ลักษณะของแกรนูลแป้ง

จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่า แกรนูลของสตาร์ชถั่วเขียวมีขนาดในช่วง 7.1-26.0 ไมครอน (Hoover และคณะ, 1997) ความกว้างและความยาวของแกรนูลอยู่ในช่วง 8-16 และ 12-32 ไมครอน ตามลำดับ (Naivikul และคณะ, 1979) แกรนูลของสตาร์ชถั่วเขียวมีรูปร่างหลายหลาก มีทั้งรูปไข่ รูปกลม และลักษณะคล้ายไตหรือเมล็ดถั่ว (Naivikul และ D'Appolonia, 1979; Singh และคณะ, 1989; Hoover และคณะ, 1997)

3.5.2.2 สมบัติเชิงความร้อน

สตาร์ชถั่วเขียวมีช่วงอุณหภูมิของการเกิดเจลลิตีโนเซชันที่ 58 – 82 องศาเซลเซียส (Hoover และคณะ, 1997) Califano และ Anon (1990) ศึกษาผลของปริมาณน้ำต่อการเกิดเจลลิตีโนเซชันของสตาร์ชถั่วเขียว โดยใช้ Differential Scanning Calorimetry พบว่า เมื่อปริมาณน้ำสูงกว่าร้อยละ 67 โดยน้ำหนัก แกรนูลเกิดการพองตัวได้เต็มที่และเจลลิตีโนซีได้อย่างสมบูรณ์ ส่วนที่ปริมาณน้ำต่ำกว่าร้อยละ 37.3 นั้น สตาร์ชไม่เกิดเจลลิตีโนเซชัน (ไม่ปรากฏ peak ของการเกิดเจลลิตีโนเซชันใน DSC endotherm)

สมบัติทางความร้อนของสตาร์ชถั่วเขียวที่เกิดเจลลิตีโนเซชันสมบูรณ์แล้วจะเปลี่ยนแปลงไป โดยปกติเจลของสตาร์ชถั่วเขียวจะไม่แสดง peak ใน DSC endotherm Hoover และคณะ (1997) รายงานว่า หลังจากเก็บสตาร์ชถั่วเขียวที่เกิดเจลลิตีโนเซชันแล้วไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 วัน และนำไปทดสอบโดย DSC จะพบว่าเกิด peak ใน DSC endotherm โดยมีอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 44 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีสูงสุดเท่ากับ 52 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสิ้นสุดเท่ากับ 63 องศาเซลเซียส แสดงว่า เกิด retrogradation ขึ้นในเจลของสตาร์ช โดยเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินเกิดเป็นโครงสร้างที่แข็งแรง retrogradation นี้เกิดมากขึ้นเมื่อเก็บไว้นานขึ้น โดยสังเกตได้จากค่าปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการทำลายโครงสร้างนี้ที่เพิ่มมากขึ้นตามอายุการเก็บ

3.5.2.3 ลักษณะทางการไหล

Chung และคณะ (2000) พบว่า ความหนืดของสตาร์ชถั่วเขียวเท่ากับ 249 RVU (Rapid Visco-analyzer Unit) ที่อุณหภูมิที่แกรนูลของสตาร์ชเกิดการพองตัวสูงสุด (71.9 องศาเซลเซียส) และเมื่อสตาร์ชที่เกิดเจลลิตีโนเซชันแล้วเย็นตัวลงจนถึงอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสจะมีความหนืดเท่ากับ 260 RVU

Hoover และคณะ (1997) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชถั่วเขียวที่มีความเข้มข้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่ pH 5.5 โดยใช้เครื่อง Brabender Viscoamylograph พบว่า อุณหภูมิที่ทำให้สตาร์ชเริ่มเกิดความหนืด คือ 80 องศาเซลเซียส และสตาร์ชมีความหนืดเท่ากับ 200 Brabender Unit (BU) ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เมื่อให้ความร้อนต่อไปเป็นเวลา 30 นาทีที่ 95 องศาเซลเซียส ความหนืดของเพสต์ของสตาร์ชจะเปลี่ยนแปลง (ลดลง) เพียงเล็กน้อย แสดงว่าเพสต์สตาร์ชถั่วเขียวมีความคงทนต่อความร้อน เมื่อลดอุณหภูมิเป็น 50 องศาเซลเซียส ความหนืดของเพสต์เพิ่มเป็น 360 BU โดยรูปแบบของสตาร์ชเป็นแบบ C เมื่ออิงตามเกณฑ์แบ่งลักษณะของ Schoch และ Maywald (1968)

3.5.2.4 การพองตัวและการละลาย

Singh และคณะ (1989) ศึกษาการพองตัวและการละลายของแกรนูลสตาร์ชถั่วเขียว พบว่า มีลักษณะการพองตัวแบบ 2 ขั้นตอน (Two-stage swelling) คือ ในช่วงแรกจะเกิดการพองตัวอย่างช้าๆ ต่อมา การพองตัวจะเกิดเร็วขึ้น ลักษณะการพองตัวเช่นนี้บ่งว่าภายในแกรนูลสตาร์ชมีพันธะอยู่สองแบบ คือ พันธะที่มีแรงยึดเหนี่ยวแบบอ่อนที่จะคลายตัวที่อุณหภูมิ 65-75 องศาเซลเซียส และพันธะที่แข็งแรงกว่าที่จะคลายตัวที่อุณหภูมิ 85-95 องศาเซลเซียส (Leach และคณะ, 1959)

3.5.3. เอกสารอ้างอิง

- กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์. 2529. ตัวแปรในกระบวนการผลิตและการทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งถั่วชนิดอื่นในการผลิต
วุ้นเส้น. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Leach, H.W., Mcbowen, L.D., and Schoch, T.J. 1959. Structure of the starch granule I. Swelling and
solubility patterns of various starches. *Cereal Chem.* 36:534 – 544.
- Naivikul, O. and D'Appolonia, B.L. 1979. Carbohydrates of legume flours compared with wheat flour. II.
Starch. *Cereal Chem.* 56(1): 24-28.
- Schoch, T.J. and Maywald, E.C. 1968. Preparation and properties of various starches. *Cereal Chem.*
45: 564-573.

3.6. ลูกเดือย

ดร. พาสวดี ประทีปะเสน

ลูกเดือย (Coix, Job's tears, *C. lacryma - jobi L.*) จัดเป็นธัญชาติ วงศ์ Gramineae เหล่า Maydeae

สกุล Coix

ถิ่นกำเนิด เอเชียตะวันออกเฉียงใต้

แหล่งเพาะปลูก ประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ อินเดีย เกาหลี ไต้หวัน จีน ฟิลิปปินส์ ญี่ปุ่น
ประเทศในแถบอเมริกาใต้

แหล่งเพาะปลูกและสายพันธุ์ที่เพาะปลูกในประเทศไทย

แหล่งเพาะปลูก : สระบุรี ลพบุรี นครราชสีมา ชัยภูมิ เลย เชียงราย พะเยา ลำปาง

สายพันธุ์ : *typica* Walt, *Stemocarpa* Stapf., *Ma-yuen major*, *Mimeur*

งานวิจัยเกี่ยวกับแป้งและสตราซจากลูกเดือยมีน้อยมาก มีการศึกษาในวงจำกัด โดยมีนักวิจัยจากประเทศในเอเชีย ได้แก่ จีน ไต้หวัน เกาหลี ไทย ญี่ปุ่นและจากประเทศในกลุ่มลาตินอเมริกา ผลงานที่ตีพิมพ์เป็นภาษาอังกฤษ จีนและเกาหลี ซึ่งเกือบทั้งหมดอยู่ในวารสารที่ไม่สามารถหาได้ในประเทศไทย อย่างไรก็ตามจากผลงานวิจัยและบทความที่ค้นคว้าได้ สรุปได้ว่าการศึกษาดังต่อไปนี้

- องค์ประกอบ
- ขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้ง
- สมบัติต่างๆ
 - ความสามารถในการละลายและการขุ่นน้ำ
 - สมบัติเชิงความร้อนระหว่าง gelatinization
 - สมบัติเชิงการไหลระหว่างและหลัง gelatinization
 - สมบัติเชิงเภสัชกรรม

ตารางที่ 3.6.1 ขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้ง

ขนาดเม็ดแป้ง (micron)	รูปร่าง	
5-20		ทัศนีย์ พรภิจประสาน 2530
6.5-20		Yang และคณะ, 1978
5-25	spherical to polygonal	Yang และคณะ, 1995

ตารางที่ 3.6.2 องค์ประกอบทางเคมีของลูกเดือย

Flour				Starch					หมายเหตุ	Reference				
Carbohydrates				Protein	Lipid	Ash	Amylose	Amylopectin			Protein	Lipid	Ash	
Total	Starch	Fiber	Other											
77.52*	56.88* 56.68 ^a	0.25* 0.23 ^a	20.39* 20.19	15.18* 14.78 ^a	5.57* 6.18 ^a	1.53* 1.71 ^a	8.27 ^a	68.97 ^b	2.79	0.78	0.78	* Flour ทอราบ a Flour ละเอียด b คิดเป็น อะมิโลส 10.85% อะมิโลเพคติน 89.15% Dry basis ลูกเดือยเพาะปลูกในไทย แยก starch ด้วยการบดเปียก วิเคราะห์จากลูกเดือย 5 พันธุ์ผสมกัน	ทัศนีย์ พรทิจ ประสาน 2530	
-	50.9- 78.0 (60.5)	-	-	-	-	-	0-7.2 (5.2)	-	-	-	-	-	() ค่าเฉลี่ย วิเคราะห์จาก 36 สายพันธุ์ ทั้งที่ปลูกในเกาหลี และที่อื่น ๆ	Lee และคณะ, 1994
									0.01- 0.11	-	0.05- 0.17		วิเคราะห์จาก 8 Species ได้หวัน	Yang และคณะ, 1995
							15.9-25.8 ^c 107-1.1 ^d	- -	- -	- -	- -	- -	c วิเคราะห์จากลูกเดือย ข้าวเจ้า 5 ตัวอย่าง d วิเคราะห์จากลูกเดือยข้าวเหนียว 3 ตัวอย่าง	Li and Corke, 1999

ตารางที่ 3.6.3 สมบัติเชิงความร้อน

Gelatinization Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	หมายเหตุ	เอกสารอ้างอิง
67-72	ช่วงอุณหภูมิ	Yang และคณะ, 1978
65-75	ช่วงอุณหภูมิ	Ramírez, 1996
63.4-76.4	ช่วงอุณหภูมิ	Yang และคณะ, 1995
71.9-75.5	T_p ของสตาร์ชลูกเดือยข้าวเจ้า	Li and Corke, 1999
71.1-71.4	112.9	Li and Corke, 1999
ΔH (J/g)		เอกสารอ้างอิง
103-108		
8.0 – 9.9	120	Li and Corke, 1999
7.3 – 12.3	สำหรับสตาร์ชลูกเดือยข้าวเหนียว	Li and Corke, 1999

ตารางที่ 3.6.4 สมบัติทางการละลาย

Solubility index (ร้อยละ)	หมายเหตุ	เอกสารอ้างอิง
0.09	ในน้ำเย็น	Li and Corke, 1999

ตารางที่ 3.6.5 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity)

Flour		Starch	หน่วย	เอกสารอ้างอิง
หยาบ	ละเอียด			
146.7	148.9		%wt (dry basis)	ทัศนีย์ พรกิจ ประสาน 2530
-	-		%wt	Yang และคณะ, 1995
-	-		%wt	Ramírez, 1996
-	-	28.6-41.0	%wt	Li and Corke, 1999

3.6.1. สมบัติเชิงการไหลของแป้งจากลูกเดือย

สมบัติเชิงการไหลเป็นสมบัติสำคัญต่อการประเมินศักยภาพการนำแป้งหรือสตาร์ชไปใช้งานเชิงอุตสาหกรรม ผลการทดลองของ Li และ Corke (1999) พบว่า สตาร์ชจากลูกเดือยข้าวเจ้าและข้าวเหนียวมีสมบัติเชิง

การไหล หลายประการที่คล้ายคลึงกับสตาร์ชจากข้าวโพดข้าวเจ้าและข้าวเหนียว ผลการทดลองยังบ่งว่า สตาร์ชจากลูกเดือยข้าวเหนียวต้านทานแรงเฉือนได้ดีกว่าสตาร์ชจากข้าวโพดข้าวเหนียว สตาร์ชจากลูกเดือยทั้งข้าวเจ้าและข้าวเหนียวสามารถเกิดเจลได้ สตาร์ชจากข้าวโพดทั้งข้าวเจ้าและข้าวเหนียว (โดยเฉพาะข้าวเหนียว) เป็น สตาร์ชซึ่งมีมูลค่าเชิงพาณิชย์สูงเนื่องจากประโยชน์เชิงอุตสาหกรรม แต่ปัญหาปัจจุบันที่สำคัญมากต่อการนำ สตาร์ชจากข้าวโพดมาใช้เชิงอุตสาหกรรมโดยเฉพาะอุตสาหกรรมอาหาร คือ ส่วนใหญ่ข้าวโพดเป็น genetically modified organism (GMO) ดังนั้นการวิจัยเพื่อศึกษาและประเมินศักยภาพในการนำแป้งและสตาร์ชจากลูกเดือยมาใช้เชิงอุตสาหกรรมโดยเฉพาะการนำมาใช้ทดแทนสตาร์ชจากข้าวโพดจึงเป็นหัวข้อหนึ่งที่น่าสนใจ

3.6.2. สมบัติเชิงเภสัชกรรม

- antitumor activity (Li และคณะ, 1994)
- anti-viral infection (Hidaka และคณะ, 1994)

3.6.3. เอกสารอ้างอิง

- ทัศนีย์ พรภิจประสาน. 2530 ลูกเดือย: คุณสมบัติบางประการและผลิตภัณฑ์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Hidaka, Y., Kaneda, T., Amino, N., and Miyai, K. 1992. Chinese medicine, coix seeds increase peripheral cytotoxic T and NK cells. Biotherapy 5:201-203.
- Lee, J.I., Ryu, S.N., Hur, H.S., Kim, Y.H., and Kim, K.H. 1994. Korean Journal of Crop Science, 39(1):98-102.
- Li, J., Berke, T.G., and Glover, D.V. 1994. Variation for thermal properties of starch in tropical maize germplasm. Cereal Chem. 71:87-90.
- Li, J.S., and Corke, H. 1999. Physicochemical properties of normal and waxy Job's Tears (*Coix lachryma jobi* L.) starch. Cereal Chemistry 76(3):413-416.
- Ramírez, J.L. 1996. Characterization of Job's Tears starch. I. Extraction and physical properties of the starch granules. Alimentaria 276:96-100.
- Yang, C.C., Chang, S.M., Sung, S.C., and Lii, C.Y. 1978. Studies on the starchs in Taiwan2. Taro, Water Chesnut (*Trapa*) and Job's Tears. Food Sci. 5(2):73-87.
- Yang, C.C., Yen, H.J., Chang, S.M., and Chiang, W. 1995. Studies on physicochemical properties of Adlay (*Coix lachryma-jobi* L.var *ma-yuen stapf*) Starch in Taiwan. Food Science Taiwan 22(2):113-132.

3.7. กล้วย (Musa sp.)

ดร. จิรารัตน์ ทัดติยกุล

ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Musa sapientum</i> Linn., <i>Musa paradisiaca</i> var <i>sapientum</i> (Linn.) O. Ktze.
ชื่อวงศ์	Musaceae
ชื่ออังกฤษ	Banana, Cultivated banana
ชื่อท้องถิ่น	กล้วยไข่, กล้วยใต้, กล้วยนาก, กล้วยน้ำว้า, กล้วยมณีอ่อง, กล้วยเล็บมือ, กล้วยส้ม, กล้วยหอม, กล้วยหอมจันทร์, กล้วยหักมุก, เจก, มะลิอ่อง, ยะไข่, สะกวย, แผลก (ที่มา: http://www.mahidol.ac.th/mahidol/py/mpcenter/html/musa.html)
ถิ่นกำเนิด	เอเชียตะวันออกเฉียงใต้
แหล่งเพาะปลูก	ประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ อินเดีย ไทย อินโดนีเซีย จีน ฟิลิปปินส์ ประเทศในแถบอาฟริกาใต้ และประเทศในแถบอเมริกาใต้

กล้วยอยู่ใน genus *Musa* วงศ์ Musaceae ประมาณครึ่งหนึ่งของผลผลิตกล้วยผลิตมาจากประเทศในทวีปแอฟริกา โดยผลผลิตส่วนใหญ่มักจะถูกใช้ภายในประเทศ ผู้นำทางการส่งออกกล้วยของโลกอยู่ในแถบทวีปอเมริกากลางและอเมริกาใต้ตอนบน (International Starch Institute, 1999)

3.7.1. องค์ประกอบทางเคมีของกล้วย

โดยทั่วไป ผลกล้วยสดจะมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณร้อยละ 21 มีน้ำร้อยละ 75 และมีโปรตีน ไขมัน และเถ้ารวมกันไม่เกินร้อยละ 1 (International Starch Institute, 1999) สัดส่วนของปริมาณแป้งและน้ำตาลในผลกล้วยสดจะแปรตามอายุ (ความสุกของกล้วย) การจำแนกอายุของกล้วยอาจทำได้โดยใช้ค่าดัชนีสีเปลือก (Peel Color Index; PCI) โดย PCI 1 แทนเปลือกสีเขียวเทียบเท่ากับความดิบมากที่สุด และ PCI 8 แทนเปลือกสีเหลืองเทียบเท่ากับความสุกมากที่สุด กล้วยหอมทองที่มี PCI 1 มีแป้งสะสมประมาณร้อยละ 21 และน้ำตาลร้อยละ 0.75 เมื่อ PCI เพิ่มขึ้น ปริมาณแป้งจะลดลง และปริมาณน้ำตาลจะเพิ่มขึ้น กล้วยหอมที่มี PCI 8 มีแป้งเหลืออยู่เพียงร้อยละ 1.25 (สายลม สัมพันธ์เวชโสภา, 2526)

จากการทดลองเบื้องต้น พบว่า กล้วยที่เพาะปลูกในประเทศไทยตามประเภทหลักๆ คือ กล้วยน้ำว้า กล้วยหักมุก และกล้วยหอมมีองค์ประกอบทางเคมีดังตารางที่ 3.7.1-3.7.3 ซึ่งจะเห็นได้ว่า กล้วยที่มีความสุกน้อยที่สุดจะมีแป้งเป็นองค์ประกอบมากที่สุด โดยกล้วยหอมดิบมีปริมาณแป้งต่อร้อยละน้ำหนักผลสดสูงที่สุดถึงประมาณร้อยละ 20

ตารางที่ 3.7.1 องค์ประกอบทางเคมีของกล้วยน้ำว้าที่มีความสุกในระดับต่างๆต่อ 100 กรัมของน้ำหนักผลสด

องค์ประกอบทางเคมี	กล้วยน้ำว้าที่มีระดับความสุกตามวันต่างๆ				
	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6
แป้ง (กรัม)	16.67	13.78	9.11	5.95	0.40
น้ำตาล (กรัม)	0.68	1.73	4.85	9.22	14.05
โปรตีน (กรัม)	1.02	0.95	0.85	0.88	0.83

ตารางที่ 3.7.2 องค์ประกอบทางเคมีของกล้วยหักมุกที่มีความสุกในระดับต่างๆต่อ 100 กรัมของน้ำหนักผลสด*

องค์ประกอบทางเคมี	กล้วยหักมุกที่มีระดับความสุกตามวันต่างๆ					
	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6	วันที่ 7
แป้ง (กรัม)	14.44	11.78	11.11	10.45	8.22	1.20
น้ำตาล (กรัม)	1.78	2.23	2.9	3.58	7.63	14.20
โปรตีน (กรัม)	1.24	1.23	1.23	1.26	1.28	1.36

ตารางที่ 3.7.3 องค์ประกอบทางเคมีของกล้วยหอมที่มีความสุกในระดับต่างๆต่อ 100 กรัมของน้ำหนักผลสด

องค์ประกอบทางเคมี	กล้วยหอมที่มีระดับความสุกตามวันต่างๆ				
	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6
แป้ง (กรัม)	19.55	17.11	11.78	6.67	1.91
น้ำตาล (กรัม)	0.88	2.80	8.10	13.30	18.13
โปรตีน (กรัม)	1.62	1.67	1.77	1.82	1.82

กล้วยสดมีองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ดังตารางที่ 3.7.4

ตารางที่ 3.7.4 องค์ประกอบทางเคมีของ flour ที่ทำจากกล้วยดิบ

องค์ประกอบทางเคมี	ค่าเฉลี่ยของกล้วย 8 สายพันธุ์ ⁽¹⁾	macho var. ⁽²⁾	macho var. ⁽³⁾	criollo var. ⁽³⁾	Plantain <i>Musa aab</i> ⁽⁴⁾
สตาร์ช (%)	61-76.5	-	97.2	98.1	82.25-86.07
อะมิโลส (%)	19-23	-	-	-	(Total CHO)
โปรตีน (%)	2.5-3.3	1.0	2.03	1.95	3.5
ความชื้น (%)	4-6	10.7	12.9	11.1	5.7-7.1
ไขมัน (%)	0.3-0.8	0.42	2.2	2.3	2.5-3.5
เถ้า (%)	2.6-3.5	0.2	1.3	0.43	1.66-2.0
เส้นใย (%)	6-15.5	-	-	-	1.33-2.00
Blue value	-	0.6	0.18	0.87	-
λ_{max}	-	594	583	589	-

ที่มา : ⁽¹⁾ Da Mota และคณะ, 2000

⁽²⁾ Bello-Perez และคณะ, 2000

⁽³⁾ Bello-Perez และคณะ, 1999

⁽⁴⁾ Fagbemi, 1999

3.7.2. สมบัติเชิงกายภาพและการไหลของแป้งกล้วย

เม็ดแป้งกล้วยมีขนาด 5-70 ไมครอน และมีลักษณะคล้ายเม็ดแป้งมันฝรั่งแต่ยาวกว่า (International Starch Institute, 1999) เม็ดแป้งกล้วยบางสายพันธุ์มีความสามารถในการพองตัวในน้ำในช่วงประมาณ 5-40 กรัมต่อกรัมแป้งแห้ง (ช่วงอุณหภูมิ 50-90 °C) แต่เจลแป้งไม่มีความเสถียรต่อสภาวะการแช่แข็งและการละลาย (Freeze-thaw stability) (Bello-Perez และคณะ, 1999) ดังนั้น แป้งกล้วยจึงไม่มีความเหมาะสมในการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็ง

สมบัติทางการเกิดเจลของแป้งกล้วยนั้นจะคล้ายคลึงกับแป้งข้าวโพดมากแต่มี peak viscosity ที่สูงกว่า (International Starch Institute, 1999) อุณหภูมิในการเกิดเจลของแป้งกล้วยอยู่ในช่วง 68-76°C ขึ้นกับพันธุ์กล้วย (Da Mota และคณะ, 2000) Bello-Perez และคณะ (1999) ศึกษาสมบัติทางการไหลของแป้งที่เตรียมจากกล้วย Macho และ Criollo พบว่า น้ำแป้งสุกที่เตรียมจากแป้งกล้วยทั้งสองพันธุ์มีลักษณะการไหลแบบ Time-dependent shear-thinning

3.7.3. สมบัติเชิงกลศาสตร์ของกล้วย

แก้อากาศท้องเสีย (Ko, 1971; Scott และคณะ, 1949; Matsuo และ Ito, 1981; Reynolds, 1989)

ด้านการเกิดแผลในกระเพาะ (Best และคณะ, 1984; Sithisoonthorn และคณะ, 1989;
Mukhopadhyaya และคณะ, 1987; Goel และคณะ, 1986; Chattopadhyay และคณะ, 1987; Ghosal, 1985;
Chattopadhyay และคณะ, 1987)

3.7.4. เอกสารอ้างอิง

- สายลม สัมพันธ์เวชโสภา. 2526. ศึกษากรรมวิธีการผลิตกล้วยหอมผงและการใช้ประโยชน์. วิทยานิพนธ์วิทยาศา
สตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Bello-Perez, L.A., Agama-Acevedo, E., Sanchez-Hernandez, L. and Paredes-Lopez, O. 1999. Isolation
and partial characterization of banana starches. J. Agric. Food Chem. 47: 854-857.
- Bello-Perez, L.A., Romero-Manilla, R. and Paredes-Lopez, O. 2000. Preparation and properties of
physically modified banana starch prepared by alcoholic-alkaline treatment. Starch/Stärke
52(5): 154-159.
- Best, R., Lewis, D.A., Nasser, N. 1984. The anti-ulcerogenic activity of the unripe plantain banana (*Musa*
species). Br. J. Pharmacol. 82: 107-16.
- Chattopadhyay, S., Chaudhuri, S., Ghosal, S. 1987. Activation of peritoneal macrophages by
sitoinoside-IV, an anti-ulcerogenic acylsteryl glycoside from *Musa paradisiaca*. Planta Med. 52:
16-8.
- Chattopadhyay, S., Chandhuri, S., Ghosal, S. 1987. Activation of ulcerogenic acylsteryl glycoside from
Musa paradisiaca. Planta Med. 52: 16-8.
- Da Mota, R.V., Lajolo, F.M., Ciacco, C. and Cordenunsi, B.R. 2000. Composition and functional
properties of banana flour from different varieties. Starch/Stärke 52(2-3): 63-68.
- Fagbemi, T.N. 1999. Effect of blanching and ripening on functional properties of plantain (*Musa aab*)
flour. Plant Food Human Nutr. 54(3): 261-269.
- Ghosal, S. 1985. Steryl glycosides and acyl steryl glycosides from *Musa paradisiaca*. Phytochemistry
24(8): 1807-10.
- Goel, R.K., Gupta, S., Shankar, R., Sanyal, A.K. 1986. Anti-ulcerogenic effect of banana powder (*Musa*
sapientum var. *paradisiaca*) and its effect on mucosal resistance. Ibid 18(1): 33-34.
- International Starch Institute. 1999. Banana [online]. Available from :
<http://home3.inet.tele.dk/starch/isi/starch/banana.htm> [2002, August]
- Ko, R. 1971. Action of fruit juices upon the typhoid bacillus. Taiwan Igakukai Zasshi. 179: 569-80.
- Matsuo, T. and Ito, S. 1981. Comparative studies of condensed tannins from several young fruits.
Engei Gakkai Zasshi. 50(2): 262-9.
- Mukhopadhyaya, K., Bhattacharva, D., Chakraborty, A., Goel, R.K. and Sanyal, A.K. 1987. Effect of
banana powder (*Musa sapientum* var. *paradisiaca*) on gastric mucosal shedding. J.
Ethnopharmacol. 21(1): 11-20.
- Reynolds, J.E.F. 1989. Martindale: The extra pharmacopocia. London: The Pharmaceutical Press 779.
- Scott, W.E., Mckay, H.H., Schaffer, P.S. and Thomas, I. 1949. The partial purification and properties of
antibiotic substances from the banana (*Musa sapientum*). J. Clin. Inveat. 28: 899-902.

Sithisoonthorn, S., Hongcharoen, A., Mekmance, R. 1989. Pharmacological activity of *Musa sapientum*.
Special project for the degree of B. Sc. (Pharm.), Faculty of Pharmacy, Mahidol University,
Bangkok, THAILAND.

3.8. กลอย

ธาริน นาคศรีอำภรณ์
ดร. จิราวัฒน์ ทัดติยกุล

กลอย มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ คือ *Dioscorea hispida* Dennst เป็นพืชหัวที่อยู่ในตระกูล Dioscoreae วงศ์ Dioscoreaceae เดิมชื่อ Dioscorea (กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน, 2533) ในต่างประเทศจะเรียกพืชตระกูลกลอยนี้ว่า Yam หรือ Wild Yam ซึ่งมีมากกว่า 600 ชนิดทั่วโลก แตกต่างกันไปตามแต่ละ species (คู่มือ พืชพันธุ์พิเศษกุล และ ศิริวรรณ ลือตั้ง, 2544)

ตารางที่ 3.8.1 พืชในตระกูลกลอยที่สามารถรับประทานได้

Species	Zone of origin	Zone of culture
Enantiophyllum Section		
<i>D. alata</i> L.	South East Asia	Inter-tropical humid
<i>D. cayenensis</i> Lamk. <i>D. rotundata</i> Poir. Complex	West Africa	West & Central Africa, and Caribbean
<i>D. nummularia</i> Lamk.	Indonesia, Oceania	Indonesia, Oceania and Micronesia
<i>D. opposita</i> Thunb. <i>D. japonica</i> Thunb. Complex	Temperate area from: China, Korea, Taiwan Japan	Temperate area from : China, Korea, Taiwan Japan
<i>D. transversa</i> Br.	South Pacific	South Pacific
Lasiophyton Section		
<i>D. dumetorum</i> (Kunth) Pax.	West Africa	West Africa
<i>D. hispida</i> Dennst.	India, South-China, New Guinea	India, South-China, New Guinea
<i>D. pentaphylla</i> L.	Himalaya and Oceania	Himalaya and Oceania
Combillium Section		
<i>D. esculenta</i> (Lour.) Burk	South East Asia	Inter-tropical humid
Opsophyton Section		
<i>D. bulbifera</i> L.	South East Asia and Africa	Inter-tropical humid
Macrogynodium Section		
<i>D. trifida</i> L.	Guyana, Amazonian basin	Caribbean

ที่มา : Malaurie และคณะ(1998)

กลอยเป็นพืชพื้นเมืองแถบเอเชียเขตร้อนและแพร่กระจายไปยังฝั่งตะวันตกทางซีกโลกใต้ พบมากทางภาคเหนือ เทือกเขาหิมาลัย พม่า ไทย จีน ลาว กัมพูชาและมาเลเซีย (สมพร สุริยันต์, 2543) และยังพบตามป่าที่ฝนตกชุกในอินเดียได้หวัน ฟิลิปปินส์และนิวกินี้อีกด้วย(ทิพย์พรรณ สดากร, 2536)

ตารางที่ 3.8.2 ประเทศในแถบต่างๆที่มีการใช้ประโยชน์จากพืชตระกูลกลอย

Europe	West Indies	America	Pacific	Asia	Africa
France	Barbados	Brazil	Cook Islands	Bengladesh	Bénin
United Kingdom	Cuba	Colombia	Fiji	India	Burkina Faso
	Guadeloupe	Costa Rica	Niue Islands	Indonesia	Cameroun
	Jamaïca	Guatemala	New Caledonia	Japan	Ivory Coast
	Saint-Dominique	Mexico	Papua NewGuinea	Malaisia	Ghana
	Trinidad- Tobago	Panama	Salomon Islands	Nepal	Nigeria
		USA	Tonga	Philippines	South Africa
			Vanuatu	Sri Lanka	Togo
			Western Samoa	Thailand	Uganda
				Viet Nam	

ที่มา : IBPGR, 1986; FAO, 1996 and Malaurie และคณะ, 1998

จากการรวบรวมข้อมูลของกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม พบว่ามีการปลูกกลอยในประเทศไทยถึง 42 จังหวัด เช่น กระบี่ กาญจนบุรี กาฬสินธุ์ ขอนแก่น ชัยภูมิ นครศรีธรรมราช ลำพูน สุรินทร์ สุโขทัย ฯลฯ(ศิริพรรณ หวังอารีย์ และ นพรัตน์ แซ่เอ็ง, 2528) กลอยที่ปลูกได้ในแต่ละจังหวัดจะนำมาแปรรูประดับชาวบ้าน เพื่อทำเป็นอาหารชนิดต่างๆ เช่น กลอยทอด, กลอยแกงบวด, แป้งกลอย, ข้าวเหนียวหน้ากลอย เป็นต้น และเนื่องจากกลอยมีคาร์โบไฮเดรตหรือสตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลักอยู่มาก จึงพบว่าแต่เดิมประชาชนทางภาคเหนือนิยมที่ขาดแคลนข้าวมักจะนำกลอยมาหนึ่งผสมกับข้าวเหนียว หรือนำมารับประทานแทนข้าวเหนียวทั้งหมดได้ด้วย(ศิริพร เหลียงประกอบกิจ, 2541)

กลอยมีชื่อเรียกต่างกันไป เช่น ถ้าเป็นชื่อเรียกทั่วไปคือ กลอย มันกลอย กลอยข้าวเหนียว กลอยหัวเหนียว(นครราชสีมา) กลอยนก กอย(ภาคเหนือ) คลี่(กะเหรี่ยง, แม่ฮ่องสอน)(ดูษฎี พลภัทรพิเศษกุลและศิริวรรณ ลือดั่ง, 2544)

กลอยที่พบในประเทศไทยแบ่งได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ กลอยข้าวเจ้า และกลอยข้าวเหนียว โดยการจำแนกชนิดของกลอย อาจพิจารณาได้จาก(สมพร สุริยันต์, 2543: สมสุข ศรีจักรวาท และ ปราโมทย์ เกิดศิริ, 2543)

1) ทิศทางการพันของต้นกลอย : กลอยข้างเจ้าจะพันไปทางขวา (ทวนเข็มนาฬิกา) และกลอยข้าวเหนียวจะพันไปทางซ้าย(ตามเข็มนาฬิกา)

2) สีของเถาและก้านใบ : กลอยข้าวเจ้าจะมีสีของเถาและก้านใบเป็นสีเขียว ส่วนกลอยข้าวเหนียวมีสีของเถาและก้านใบเป็นสีน้ำตาลอมดำหรือม่วง

3) สีของเนื้อกลอย : กลอยข้าวเจ้าจะมีเนื้อสีขาวและร่วน ส่วนกลอยข้าวเหนียวจะมีสีเหลืองและเหนียวกว่า แต่อย่างไรก็ตาม การจำแนกชนิดกลอยของชาวบ้านนั้นจะดูจากสีของเนื้อกลอยเป็นหลัก

3.8.1. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกลอย

(ทิพย์พรหม ศตากร, 2536)

ลำต้น : กลอยเป็นพืชที่แบ่งลำต้นเป็นเถาเลื้อยพันต้นไม้อื่น ไม่สามารถตั้งตรงด้วยตัวเองได้ ความยาวของลำต้นไม่แน่นอนขึ้นกับหลักที่ถูกพัน ลำต้นมีหนามแหลมสั้นๆ

ใบ : กลอยเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ใบมีลักษณะแบน มี 3 แฉก คล้ายใบถั่ว มีเส้นใบถี่ รูปใบรี ปลายใบแหลม ขอบใบนูน ก้านใบยาวประมาณ 25 เซนติเมตร ปลายและฐานแหลมยาวประมาณ 30 เซนติเมตร กว้างประมาณ 28 เซนติเมตร

ดอก : ดอกตัวผู้อยู่บนก้านใบที่ไม่มีใบ ยาวประมาณ 50 เซนติเมตร มีประมาณ 40 ดอก ก้านดอกมีขนสีขาวหรือสีเนื้อ เกสรตัวผู้ยาวประมาณ 0.5 มิลลิเมตร อับเรณูยาวเท่าก้านเกสรตัวผู้ ดอกตัวเมียเป็นช่อเดี่ยว ดอกห่างๆกัน กลีบประดับรูปสามเหลี่ยม ปลายแหลมยาว 2 - 2.5 มิลลิเมตร มีขน ช่อดอกจะโค้งขึ้น

หัวกลอย : มีลักษณะกลมแบน ด้านข้างมีลักษณะเป็นกลีบเล็กน้อย เปลือกบาง มีขนขึ้นอยู่ ขรุขระ กลอยแต่ละหัวอาจมีน้ำหนักถึง 10 - 15 กิโลกรัม ขึ้นอยู่กับอายุ โดยปกติแล้วกลอยแต่ละต้นจะมีประมาณ 3 - 5 หัว โดยแตกออกจากเหง้าเดียวกัน หัวกลอยจะเจริญเติบโตในฤดูฝน ในฤดูแล้งต้นจะตาย แต่หัวยังคงอยู่ใต้ดินและจะงอกขึ้นมาใหม่เมื่อได้รับความชื้น ขนาดของหัวจะใหญ่ขึ้นเรื่อยๆตามอายุ ใบจะเหลืองและหล่นในราวเดือนพฤศจิกายน หรือธันวาคม ซึ่งในระยะนี้อาจขุดหัวขึ้นมาเป็นอาหารได้ แต่อย่างไรก็ตามนิยมที่จะขุดหัวกลอยขึ้นมาเป็นอาหารประมาณเดือน มีนาคม - พฤษภาคม(ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538)

สมพร สุริยันต์และคณะ (2542) ศึกษาการเจริญเติบโตและปริมาณแป้งในกลอยข้าวเหนียวที่อายุต่างๆ พบว่า อายุการเก็บเกี่ยวกลอยข้าวเหนียวควรอยู่ในเดือนที่ 7,8 และ 9 ของการปลูก เพราะช่วง 3 เดือนนี้เป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุด และมีปริมาณแป้งมากที่สุด

3.8.2. องค์ประกอบของกลอย

(Anthony, 1992)

3.8.2.1 คาร์โบไฮเดรต

พืชตระกูลกลอย (*Dioscorea* spp.) จะมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต อยู่ในช่วง 10 - 20% ต่อ น้ำหนักของหัวสด สามารถแบ่งออกเป็น Starch, Non-starch polysaccharide และน้ำตาล

Starch : ปริมาณ starch จะขึ้นกับอายุของหัวและจะเพิ่มขึ้นถึงสูงสุดเมื่อต้นตาย ตอนช่วงเริ่มต้นฤดูแล้ง starch จะสะสมอยู่ใน multilayer grains ของพืชตระกูลกลอยแต่ละชนิด ซึ่งมีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันไป เม็ดแป้งของ *D. esculenta*, *D. hispida* และ *D. dumetorum* จะเล็กมาก คือมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2 - 3 ไมครอน และ granule จะมีลักษณะกลมหรือหลายเหลี่ยม

Non - starch polysaccharide : เป็นองค์ประกอบส่วนน้อยในหัวที่แห้ง พบมากใน cell wall และ intercellular cementing substances ได้แก่ cellulose, lignin, hemicellulose และ pectin ซึ่งส่วนใหญ่

จะอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ แต่บางชนิดก็อาจละลายน้ำได้ เช่น calcium pectate non - starch polysaccharide จะอยู่ในช่วง 120 - 199 mg.%

Sugar : starch ในพืชตระกูลถั่วสามารถถูกเปลี่ยนให้เป็นน้ำตาลได้ ซึ่งเป็นผลมาจากความเครียดในระหว่างการเจริญเติบโต และ/หรือ ระหว่างการเก็บ ปริมาณของน้ำตาลในหัวของพืชตระกูลถั่วจะได้รับอิทธิพลมาจาก พันธุ์, แหล่งที่ปลูก และวิธีการเพาะปลูก น้ำตาลที่พบส่วนใหญ่คือ Sucrose และ glucose อาจพบ fructose และ mannose บ้างเล็กน้อย ในช่วงโดยรวมแล้วระดับของ free sugar ในหัวจะหลากหลายขึ้นกับสภาวะทางกายภาพซึ่งส่วนใหญ่แล้วขึ้นกับ species พบว่ามีน้ำตาลน้อยกว่า 1% ซึ่งทำให้พืชตระกูลถั่วโดยทั่วไปไม่หวาน ยกเว้นใน *D. esculenta* ซึ่งหัวของมันจะประกอบด้วยน้ำตาลเพียงพอที่จะให้รสหวานออกมา (มีน้ำตาลประมาณ 5% ซึ่งส่วนมากจะเป็นน้ำตาล maltose)

ตารางที่ 3.8.3 คุณค่าทางอาหารของถั่วในสวนที่บริโภคได้ 100 กรัม

องค์ประกอบ	หน่วย	กลอยสด	กลอยแห้ง
ความชื้น	ร้อยละ	75.8	12.6
ไขมัน	ร้อยละ	0.3	0.4
คาร์โบไฮเดรต	ร้อยละ	21.1	80.3
เส้นใย	ร้อยละ	0.7	2.2
โปรตีน	ร้อยละ	2.2	5.7
ค่าพลังงานความร้อน	กิโลแคลอรี/100กรัม	94	343
แคลเซียม	มิลลิกรัม/100กรัม	22	140
ฟอสฟอรัส	มิลลิกรัม/100กรัม	30	31
เหล็ก	มิลลิกรัม/100กรัม	1.2	10.5
วิตามิน บี1	มิลลิกรัม/100กรัม	0.04	0.01
วิตามิน บี2	มิลลิกรัม/100กรัม	0.02	0.03

ที่มา : สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน, 2533

3.8.2.2 โปรตีน

ปริมาณโปรตีนในพืชตระกูลถั่วจะมีความแปรผันมากในระหว่างพันธุ์ที่ปลูกและระหว่างการเพาะปลูกของบางพันธุ์ การแปรผันนี้ขึ้นกับปัจจัยต่างๆคือ ลักษณะการเพาะปลูก, สภาพภูมิอากาศ, การเจริญในฤดูกาลเก็บเกี่ยว และช่วงระยะเวลาที่หัวถูกเก็บไว้ ปริมาณ crude protein ที่สามารถรับประทานได้จะอยู่ในช่วง 1 - 3% แต่ถ้าวัดเป็น dry basis จะอยู่ในช่วง 6 - 9% ซึ่งใกล้เคียงกับที่พบในธัญพืช

พืชตระกูลถั่วจะมี lignin ในปริมาณที่มากกว่าที่พบในไข่และพบ aspartic acid ในปริมาณที่มากเป็นพิเศษ แต่จะพบ lysine ซึ่งเป็น essential amino acid ในปริมาณน้อย สำหรับ sulphur-containing amino acid ในพืชตระกูลถั่วจะพบ methionine 49% แต่มี cystine เพียง 17% เมื่อเปรียบเทียบกับโปรตีนในไข่ ดังนั้น cystine จึงเป็น limiting amino acid ในพืชตระกูลถั่ว

3.8.2.3 ไขมัน

ไขมันที่อยู่ในพืชตระกูลกลอยจะพบในปริมาณที่ต่ำมาก พบว่าใน *D.alata*, *D. cayenensis* และ *D. rotundata* พบเพียง 1%(dry basis) ในขณะที่ *D. bulbifera* พบ 1.5% อย่างไรก็ตามไขมันที่พบในพืชตระกูลกลอยจะช่วยป้องกัน การเกิดการซ้ำและอาจเป็นส่วนหนึ่งในการลดการเกิดสีคล้ำเนื่องจาก enzyme ในหัวสดด้วย แต่ที่สำคัญที่สุดคือ ไขมันมีความไวต่อปฏิกิริยา enzymic degradation และ non - enzymic auto-oxidation ซึ่งนำไปสู่การเกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์จากพืชตระกูลกลอยที่แห้งแล้ว

3.8.2.4 สารอื่นๆที่พบในพืชตระกูลกลอย

สารอื่นๆที่พบในพืชตระกูลกลอย ได้แก่ alpha amylase inhibitor oxalate phytate pigment (anthocyanins และ carotenoids) tannin สารให้รสขม (toxic alkaloid sapogenin dioscorin tannin diosbulbin) อย่างไรก็ตามสารที่พบในพืชตระกูลกลอยเหล่านี้จะถูกทำให้ลดลงได้โดยกระบวนการแปรรูปต่างๆ เช่น ต้ม, ลวก, อบ เป็นต้น

3.8.3. สารพิษในกลอย

สารพิษที่พบในกลอยมี 2 ชนิดได้แก่

Dioscorine : เป็นสารที่อยู่ในกลุ่มโทรแปน อัลคาลอยด์ (Tropan Alkaloid) มีสูตรเคมีคือ

$C_{13}H_{19}O_2N$ ผลึกของ dioscorine จะเป็นผลึกสีเหลือง มีจุดหลอมเหลวที่ 43.5 องศาเซลเซียส ในกลอยมีอยู่ประมาณ 0.04% (Coursey, 1967) อาการพิษเริ่มแรกคือ ใจสั่น วิงเวียน คัดคอ คลื่นไส้ อาเจียน เหงื่อออก ชีต ตาพร่า ชีพจรเบาเร็ว อึดอัด เป็นลม ตัวเย็น อาจมีอาการกระตุกของกล้ามเนื้อ ระยะต่อมาจะกดระบบประสาทส่วนกลาง (ณรงค์, 2538) พบว่า dioscorine เพียง 0.01 กรัม อาจทำให้เสียชีวิตได้ (สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และการพลังงาน, 2533)

Conlas และคณะ (1998) ได้ศึกษาพบว่า secondary structure ของ dioscorine ซึ่งสกัดจาก *Dioscorea cayenensis* จะเป็น alpha - helix เป็นส่วนมาก และพบว่ามีระดับนัยสำคัญของลำดับกรดอะมิโนที่เหมือนกันระหว่าง dioscorine และ alpha - carbonic anhydrase ซึ่งเป็น enzyme ในสัตว์ แต่ dioscorine ไม่ได้เป็น active enzyme เนื่องจากมีการแทนที่กรดอะมิโนในบริเวณที่คล้ายกันกับบน active site ของ carbonic anhydrase และผลทดลองทาง immuno-localisation สรุปว่า กลุ่มของ dioscorine จะพบมากที่ vacuoles ใน cell เช่นเดียวกับ storage protein ไนมันฝรั่งและมันเทศ

Hou และคณะ (2000) พบว่า dioscorine จาก *Dioscorea* 3 species คือ *D. batatas*, *D. alata* และ *D. pseudojaponica* แสดง activity ของ carbonic anhydrase (CA) และ trypsin inhibitor ซึ่งตรวจสอบโดย activity staining บน 15% SDS - PAGE

Hou และคณะ (2001) พบว่า dioscorine ซึ่งเป็นโปรตีนที่สะสมใน *Dioscorea batatas* Decne สามารถมีสมบัติเป็น antioxidant ได้ซึ่งอาจเป็นผลดีต่อสุขภาพ เมื่อรับประทานในรูปของ food additive หรือ บริโภคจากหัวโดยตรง

Diosgenin : เป็นสารที่อยู่ในกลุ่ม Saponin ซึ่งเป็นสารพวก Glycoside ประกอบด้วย sugar residue (glucose, galactose ฯลฯ) กับ complex multi-ring compound ซึ่งอาจมีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 27 - 31 อะตอม โดยต่อกันผ่านทางออกซิเจนอะตอม หาก glycosidic linkage ถูกทำลายโดย hydrolysis ด้วย กรด, ต่าง

หรือเฮนไซม์ saponin จะแยกออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่เป็นน้ำตาลอิสระ (free sugar) และ hydroxy compound ซึ่งคล้ายกับ polycyclic substance เรียกว่า sapogenin ในกลอยมีปริมาณ diosgenin ประมาณ 0.2 - 0.7%

Dioscorea species ถูกใช้เป็นแหล่งของ sapogenin ซึ่งเป็นสาร steroid ในการผลิต steroid drugs หรืออาจใช้เป็น hemolytic poisons สำหรับตกปลาได้ (Coursey, 1967)

ทั้ง Dioscorine และ Diosgenin ในกลอยจะมีปริมาณมากในช่วงฤดูฝนและค่อยๆต่ำลงจนกระทั่งต่ำที่สุดในฤดูร้อน

การกำจัดพิษในกลอยหรือที่เรียกกันว่า "หักเมา" จะทำได้ทั้งวิธีแบบชาวบ้านและแบบวิทยาศาสตร์ สำหรับวิธีแบบชาวบ้านนั้น ประกอบด้วยขั้นตอนที่ต้องทำให้หัวกลอยเป็นแผ่นบางๆ แขน้ำ ทับให้แห้งหรือตากแล้ว นำกลับมาแช่น้ำอีกจนกว่าสารพิษจะหมดไป ในบางพื้นที่ บางแห่งใช้น้ำเกลือหรือน้ำทะเลแทนน้ำจืดเพราะให้ผลที่ดีกว่า

การกำจัดพิษด้วยวิธีการทางวิทยาศาสตร์นั้นอาจทำได้ด้วยการล้างด้วยแอลกอฮอล์เข้มข้น 95% สลับด้วยน้ำเกลือเข้มข้น 5% หรือน้ำที่เป็นกรดเล็กน้อย วิธีนี้ให้ผลดี แต่ทำให้ต้นทุนการผลิตสูง นอกจากนี้ยังอาจทำได้ด้วยน้ำปูนขาวผสมกับโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต แล้วทำลายไปแตลเซียมเปอร์แมงกาเนตที่เหลือด้วยสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538)

3.8.4. การใช้ประโยชน์จากกลอย

กลอยนำมาเป็นอาหารได้โดยสามารถรับประทานได้ทั้งในแบบที่ยังไม่ได้แปรรูป เช่นรับประทานแทนข้าวเหนียวหรือหนึ่งผลกับข้าวเหนียว และแบบที่แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆแล้ว เช่น กลอยบด, กลอยแผ่น, แป้งกลอย, กลอยทอด เป็นต้น เนื่องจากในประเทศไทยยังไม่มีกรปลูกกลอยเพื่อนำมาใช้ในระดับอุตสาหกรรม ดังนั้นผลิตภัณฑ์ต่างๆที่ได้จากการแปรรูปกลอยจึงรู้จักกันในบางพื้นที่ของบางจังหวัดเท่านั้น

ในต่างประเทศได้มีการนำพืชตระกูลกลอยไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น Ciacco C.F. และคณะ (1977) พบว่าการผสม yam flour (จาก *D. alata*) 10% ขึ้นไปในการผลิตขนมปังจะทำให้ผลิต French-type bread ได้ดีที่สุดในเมื่อเปรียบเทียบกับ cassava flour และ cassava starch

ทางตะวันตกพืชตระกูลกลอยถูกนำมาใช้ในรูปแบบที่ใกล้เคียงกับการใช้มันฝรั่ง โดยอาจนำมาอบทอด ย่างหรือบดเพื่อให้ความเหมาะสมในด้านรสชาติในแต่ละท้องถิ่นนั้นๆ และตามความต้องการของผู้บริโภค ทางด้านยุโรปมีการนำพืชตระกูลกลอยมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ เช่น yam cake, mashed yam ที่ปั้นเป็นก้อนกลมแล้วนำไปทอด หรือนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ที่คล้ายมันฝรั่งทอด (Chip) สำหรับแอฟริกาตะวันตก มีการนำ *D. rotundata* มาบดและนวดให้เหนียวแล้วนำมารับประทานโดยปั้นเป็นก้อนกลมๆเล็กๆ จุ่มลงในน้ำสตูว์

Ige and Akintude (1981) ศึกษาเทคนิคของการผลิต yam flour ในทางการค้าของไนจีเรีย พบว่าการทำให้ yam สุกบางส่วน (หรือนำ yam ไปนึ่ง) เป็นขั้นตอนเบื้องต้นที่จำเป็นในกระบวนการผลิต yam flour อุณหภูมิที่ใช้ในการนึ่งประมาณ 60 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิของการทำแห้งอยู่ในช่วง 60 - 80 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้ yam ที่ร่วนเปราะแตกง่าย เพื่อนำไปบดเป็นผง ที่อุณหภูมิมากกว่า 80 องศาเซลเซียส จะทำให้ yam flour เกิดสีน้ำตาลและเม็ดแป้งจะหยาบ

Kameman และคณะ (1987) ศึกษา 5 กระบวนการผลิต flour จาก yam โดยตัวแปรในกระบวนการผลิตเกี่ยวข้องกับการทำแห้งแผ่น yam ที่ได้จากหัวดิบที่ปอกเปลือกทั้งก่อนนำไปต้มและหลังจากต้มแล้ว ด้วยวิธี forced - air oven solar dryer และ drum dryer ก่อนที่จะนำมาไม่แป้ง yam จะถูกนำมาหนึ่งก่อนที่จะผ่าน

กระบวนการทำแห้งและโม พบว่าแป้งที่ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสเป็นแป้งที่ผลิตจากทุกกระบวนการ และ yam flour slurry viscosity curve จะพิจารณาได้จาก shear stress ซึ่งชี้ให้เห็นว่า curve ของทั้ง 5 กระบวนการผลิตเป็นแบบ non - newtonian behavior flour ที่ผลิตด้วยกระบวนการทำแห้งแบบ forced - air - oven จะมีความหนืดมากที่สุด

Rasper และคณะ(1974) ศึกษา functional properties ของการแทนที่ wheat flour ด้วย yam flour ในการผลิตขนมปัง พบว่า Rheological quality ของ bread dough และ loaf volumn ของขนมปังที่ผลิตได้ โดยเฉพาะการใช้แป้งที่ผลิตจาก *D. rotundata* จะได้ผลที่ดีกว่าผลที่ได้รับจากการแทนที่ wheat flour ด้วย root crop flour ชนิดอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตาม การที่มี gelatinization temperature ที่สูง และ amyolytic susceptibility ที่ต่ำ อาจทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการบ้างเล็กน้อย

Martin and Ruerte(1975) สํารวจพบว่าการแทนที่ wheat flour ด้วย yam flour ที่ระดับ 20% ในขนมปัง จะให้ผลิตภัณฑ์เป็นที่พึงพอใจ ในขณะที่การผลิต bakery product ชนิดอื่นๆ เช่น pancake และ cupcake ที่แทนด้วย yam flour 50 - 100% สามารถให้ผลิตภัณฑ์ที่ยอมรับได้ แต่จะขึ้นกับชนิดของ yam นั้นๆด้วย

3.8.5. แนวโน้มทางเศรษฐกิจของกลอย

ในประเทศไทยยังไม่มีการผลิตกลอยเพื่อใช้ในระดับอุตสาหกรรม มีเพียงแต่การแปรรูปเพื่อบริโภคในระดับชาวบ้านเท่านั้น อาจเป็นเพราะยังไม่มีการวิจัยถึงคุณสมบัติด้านต่างๆและการทดลองนำกลอยไปใช้ในอุตสาหกรรมอย่างเพียงพอ แต่อย่างไรก็ตามจากประโยชน์หลายๆด้านของกลอย โดยเฉพาะทางด้านทางเจริญเติบโต ผลผลิตและปริมาณแป้งในกลอยก็อาจสามารถทำให้กลอยเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะมีโอกาสถูกนำไปใช้ทางด้านอุตสาหกรรมในอนาคตและจะส่งผลให้มีการส่งเสริมการปลูกกลอยเพิ่มขึ้นได้

3.8.6. เอกสารอ้างอิง

- ณรงค์ นียมวิทย์. 2538. ธัญชาติและพืชหัว. กรุงเทพฯ : คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศุภฎี พลภัทรพิเศษกุล และ ศิริวรรณ ลีอด้ง. 2544. กลอยเป็นพืช. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุข กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์[online]. Available online : <http://www.moph.go.th>. [2002, Jan, 25]
- ทิพย์พรรณ สดากร. 2536. กลอย. กสิกร. กันยายน-ตุลาคม 2536: 491-492.
- ศิริพร เหลียงประกอบกิจ. 2541. กลอย พืชพืชที่รับประทานได้. จุลสารข้อมูลสมุนไพร ปีที่15 ฉบับที่ 4 กรกฎาคม. Available online: <http://www.medplant.mahidol.ac.th>. [2002, April, 19]
- ศิริพรรณ หวังอารีย์ และ นพรัตน์ แซ่อึ้ง. 2528. การศึกษานหาข้อมูลเกี่ยวกับแป้งภายในประเทศ. งานวิจัยโครงการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ระดับปริญญาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน. 2533. ผลิตภัณฑ์กลอย. รายงานกิจกรรมกรมวิทยาศาสตร์ บริการ. 48:141-148.
- สมพร สุริยันต์. 2543. กลอย พืชพื้นบ้าน. กสิกร. พฤศจิกายน-ธันวาคม 2543: 628-630.
- สมพร สุริยันต์, สมสุข ศรีจักรวาท และ ปราโมทย์ เกิดศิริ. 2543. ศึกษาการเจริญเติบโตและปริมาณแป้งกลอยในกลอยข้าวเหนียวที่อายุต่างๆ. การประชุมวิชาการ กองเกษตรศาสตร์และพืช เรื่องความก้าวหน้าด้านเกษตรศาสตร์ สมุนไพรและพืช 2542.
- สมสุข ศรีจักรวาทและปราโมทย์ เกิดศิริ. 2543. วิจัยการเจริญเติบโตและผลผลิตของกลอย. การประชุมวิชาการ กองเกษตรศาสตร์และพืช เรื่องความก้าวหน้างานวิจัยด้านความหลากหลายทางชีวภาพ สมุนไพรและพืช 2543 : 276-277.
- Anthony, U. 1992. The yam tuber in storage. 1st ed. Benin : Posthavest Research Unit Department of Biochemistry U. of Benin.
- Ciacco, C., F. and D'Appolonia, B. L. 1978. Baking studies with cassava and yam. II. Rheological and baking studies of tuber-wheat flour blens. J. Cereal Chem. 55(4) : 423-425.
- Colan, S., Griffiths, L. A., Turner, M., Fodp, R., Tatham, A., Ainsworth, C. and Shewry, P. 1998. Charecterisation of the yam tuber storage protein dioscorin. J. of Plant Physiology [online]. Available from : <http://www.swan.ac.uk/biosci/research/rslinks/dioscorin.htm>. [2002, June 12]
- Coursey, D. G. 1967. Yams. London : Tropical Product Institute.
- FAO. 1996. The state of the world's plant genetic resources for food and agriculture. Back ground Documenation prepared for the International Technique conference on plant genetic resources. Cited in Malaurie, B. 1998. In vitro storage and safe international exchange of yam(*Dioscorea spp.*) germplasm. Electronic J. of Biotechnology [online]. Available from : <http://ejb.ucv.cl/content/vol1/issue3/full/2> [2002, June 19]

- Hou, w. C., Chen, H. J. and Lin, Y. H. 2000. Dioscorins from different *Dioscorea* species all exhibit both carbonic anhydrase and trypsin inhibitor activities. Botanical Bulletin of Academia Sinica. 41: 191-196.
- Hou, W. C., Lee, M. H., Chen, H. J., Han, C. H., Lui, Y. W. and Lin, Y. H. 2001 Antioxidant activities of dioscorin, the storage protein of yam(*Dioscorea batatas* Decne) tuber. J. of Agri. food chem. [online]. Available from : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov:80> [2002, June 12]
- IBPGR. 1986. In Directory of germplasm collections. Root and tuber crops . Cited in Malaurie, B. 1998. *In vitro* storage and safe international exchange of yam(*Dioscorea* spp.) germplasm. Electornic J. of Biotechnology [online]. Available from : <http://ejb.ucv.cl/content/vol1/issue3/full/2> [2002, June 19]
- Ige, M. T. and Akinunde, F. D. 1981. Studies on the local techniques of yam flour production. J. Food Tech. 16 : 303-311. Cited in Anthony, U. The yam tuber in storage. 1st ed. Benin : Posthavest Research Unit Department of Biochemistry U. of Benin, 1992.
- Kamenan, A., Beuchat, L. R., Chinnan, M. S. and Heaton, E. K. 1987. Composition and physico-chemical properties of yam(*Dioscorea* species) flour prepared using different processes. J. Food Proc. Preserv. 11 : 299-308.
- Malaurie, B. 1998. *In vitro* storage and safe international exchange of yam(*Dioscorea* spp.) germplasm. Electornic L. of Biotechnology [online]. Available from : <http://ejb.ucv.cl/content/vol1/issue3/full/2> [2002, June 19]
- Malaurie, B., Trouslot, M. F. and Berthaud, J. 1998. Conservation et e'change de germoplasme chez les ignames(*Dioscorea* spp.). Cited in Malaurie, B. 1998. *In vitro* storage and safe international exchange of yam(*Dioscorea* spp.) germplasm. Electornic J. of Biotechnology [online]. Available from : <http://ejb.ucv.cl/content/vol1/issue3/full/2> [2002, June 19]
- Malaurie, B., Trouslot, M. F., Berthaud, J., Bousalem, M., Pinel, A. and Dubern, J. 1998. Medium-term and long-term *in vitro* conservation and safe intermational exchange of yam(*Dioscorea* spp.) germ plasm. Electronic J. of Biotechnology. Cited in Malaurie, B. 1998. *In vitro* storage and safe international exchange of yam(*Dioscorea* spp.) germplasm. Electornic J. of Biotechnology [online]. Available from: <http://ejb.ucv.cl/content/vol1/issue3/full/2> [2002, June 19]
- Martin, F. W. and Ruberts, R. 1975. Flours made from yams (*Dioscorea* spp.) as a substitute for wheat flour. J. of Agr. Univ. Puerto Ricco. 59 : 255-263. Cited in Anthony, U. The yam tuber in storage. 1st ed. Benin : Posthavest Research Unit Department of Biochemistry U. of Benin, 1992.
- Rasper, V., Resper, J. and Mabey, G. L. 1974. Functional properties of non-wheat flour substitures in composite flour.]. The effect of non-wheat starches in composite doughs. Can. Inst. Food Sci. Technol. J. 7 : 86. Cited in Anthony, U. The yam tuber in storage. 1st ed. Benin : Posthavest Research Unit Department of Biochemistry U. of Benin, 1992.

3.9. เผือก

สุขฤดี อัครศักดิ์สกุล
ดร. จิรารัตน์ ทัดติยกุล

เผือกเป็นพันธุ์ไม้ที่น่าสนใจชนิดหนึ่ง สามารถใช้เป็นอาหารได้อย่างดี เกษตรกรสามารถปลูกเผือกเป็นอาชีพได้ เผือกมีชื่อเรียกต่างๆ กัน ตามภาคต่างๆ ของประเทศไทย ประชาชนทางภาคเหนือเรียกว่า บอนหรือ ตุน ประชาชนทางภาคใต้เรียกว่า บอนเขียว บอนจินดา บอนท่า หรือบอนน้ำ ประชาชนภาคกลางเรียกว่าเผือก จะเห็นได้ว่าการเรียกชื่อมักมีคำว่าบอนอยู่ด้วย ทั้งนี้เพราะบอนและเผือกมีลักษณะภายนอกคล้ายกัน

เชื่อกันว่าเผือกมีถิ่นกำเนิดในเอเชียกลาง อาจเป็น จีน มาเลเซีย หรืออินเดีย มีหลักฐานว่าคนจีนรู้จักใช้เผือกเป็นอาหารมานานก่อนคริสตศักราชประมาณ 100 ปี ต่อมาได้แพร่หลายออกไปทั่วเขตร้อน และเขตอบอุ่น โดยเฉพาะหมู่เกาะในมหาสมุทรแปซิฟิก ประเทศในบริเวณเมดิเตอร์เรเนียน ประเทศในอาฟริกาตะวันตก หมู่เกาะ West Indies และอเมริกากลาง ในปัจจุบันเผือกได้แพร่หลายออกไปทั่วโลก (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538)

3.9.1. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ในทางวิทยาศาสตร์ได้จัดเผือกให้อยู่ในตระกูล Araceae อยู่ในเครือเดียวกับบอนคือ *Colocasia* ซึ่งเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวพันธุ์ *esculenta*

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Colocasia esculenta* L.
Class : Nudiflorae
Family : Araciacae
Genus : *Colocasi*

(นรินทร์ พูลเพิ่ม, ม.ป.ป.)

เผือกโดยทั่วไปเป็นพืชหัวประเภท diploid มีจำนวนโครโมโซม $2n = 28$ ในธรรมชาติมีเผือกบางประเภทที่เป็น triploid มีจำนวนโครโมโซม $3n = 42$ ซึ่งเผือกประเภท triploid นั้นจะมีใบหนา ปากใบ (Stomata) ขนาดใหญ่ มีเมดแบ่งน้อยกว่าเผือกประเภท diploid (นรินทร์ พูลเพิ่ม, ม.ป.ป.)

3.9.2. ลักษณะทั่วไป

ลำต้น

เผือกเป็นพืชหัวที่มีลำต้นใต้ดิน ทำหน้าที่สะสมอาหาร ซึ่งเกิดจากการขยายตัวของลำต้นใต้ดิน พร้อมกับความยาวของปล้อง เมื่อเกิดหัวขนาดใหญ่แล้วจะมีรากช่วยดึงหัวเผือกให้ลึกลงไปในดิน ที่ปลายรากของเผือกสามารถพองตัวโตขึ้นเป็นหัวขนาดเล็ก หรือที่เรียกว่าลูกเผือกช่วยยึดลำต้น ช่วยดูดน้ำแร่ธาตุ และใช้เป็นส่วนขยายพันธุ์ ในเผือกแต่ละพันธุ์จะมีรูปร่างของหัว ขนาดของ จำนวนหัวต่อต้น สีของเนื้อ และมีกลิ่นหอมและไม่หอมแตกต่างกันในเผือกแต่ละพันธุ์

ใบ

ใบเผือกมีรูปร่างคล้ายหัวใจ หรือหูก้าง ขนาดของใบกว้างประมาณ 25-35 ซม. ยาว 35 – 45 ซม.

ก้านใบยาว 45 – 150 ซม. เฝือกต้นหนึ่งจะมีก้านใบประมาณ 12 – 18 ใบ ก้านใบมีหลายสีแตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ บางพันธุ์มีขอบใบเรียบ บางพันธุ์มีขอบใบมน ส่วนของหลังใบ บางพันธุ์มีจุดสีม่วงของกลางใบ แต่บางพันธุ์ไม่มีจุดสีม่วงกลางใบ ใบเฝือกบางพันธุ์มีใบบาง แต่บางพันธุ์มีใบค่อนข้างหนา เป็นต้น

ดอก

มีลักษณะดอกเป็นแบบ Spadix คือ มีดอกย่อยเกาะติดอยู่กับก้านดอกเดียวกัน ซอดอกขนาดยาว 10 – 15 ซม. แตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ จำนวนซอดอกมีประมาณ 5 – 15 ดอกต่อต้น ซอดอกมีก้านยาว 15 – 30 ซม. ดอกเฝือกมีสีชาวดำครี และสีเหลืองอ่อน แตกต่างในแต่ละพันธุ์ บางพันธุ์ออกดอกง่าย แต่บางพันธุ์ออกดอกยาก เฝือกที่ปลูกในประเทศไทยส่วนใหญ่จะไม่ออกดอก

ผล

มีลักษณะเป็นผลเล็กๆ เกาะกลุ่มอยู่ในก้านดอกเดียวกัน ผลมีสีเขียวเปลือกบาง

เมล็ด

มีขนาดเล็กคล้ายดอกหน้าวัว เมื่อแก่มีสีน้ำตาลดำ ถ้าเมล็ดสมบูรณ์ดี สามารถนำไปเพาะได้ (นรินทร์ พูลเพิ่ม, ม.ป.ป.)

3.9.3. ชนิดของเฝือก

เฝือกแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

ประเภทเอ็ดโด (Eddoe) ประเภทนี้ได้แก่ *C. esculenta* var. *antiquorum* หรือ *C. esculenta* var. *grobulifera* ได้แก่ เฝือกที่มีหัวขนาดไม่ใหญ่ และมีหัวเล็กกว่าล้อมรอบหลายหัว ทุกหัวรับประทานได้ และใช้ทำพันธุ์ได้ ปลูกกันมากใน West Indies และสหรัฐอเมริกา

ประเภทแดชเชิน (Dasheen) ประเภทนี้ได้แก่ *C. esculenta* var. *esculenta* ได้แก่เฝือกที่มีหัวขนาดใหญ่ และมีหัวขนาดเล็กๆ ล้อมรอบ หัวใหญ่ใช้รับประทาน ส่วนหัวเล็กมักใช้ทำพันธุ์ เฝือกประเภทนี้ได้แก่ เฝือกหอม ซึ่งเป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกกันโดยทั่วไปในประเทศไทย และปลูกกันมากใน West Indies และอ่าวไทย (พระยาคลังวิธานนิเทศ, ม.ป.ป.; ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538)

3.9.4. การจำแนกพันธุ์เฝือกในประเทศไทย

ขณะนี้ศูนย์วิจัยพืชสวนพิจิตร กรมวิชาการเกษตร ได้ทำการรวบรวมพันธุ์เฝือกจากแหล่งต่างๆ ทั้งในประเทศ และจากต่างประเทศ ได้ประมาณ 50 พันธุ์ ซึ่งสามารถจำแนกพันธุ์เฝือกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ดังนี้

จำแนกเฝือกตามกลิ่นของหัว มี 2 ประเภท คือ

เฝือกหอม เฝือกชนิดนี้เวลาต้มหรือประกอบอาหารจะมีกลิ่นหอม ได้แก่ พันธุ์เฝือกหอมเชียงใหม่ พันธุ์ พจ.016 พจ.08 พจ.019 เป็นต้น

เฝือกชนิดไม่หอม เฝือกชนิดนี้เวลาต้ม หรือประกอบอาหารจะไม่มีกลิ่นหอม อย่างไรก็ตามเฝือกชนิดนี้บางพันธุ์ถึงแม้จะไม่มีการต้ม แต่ก็ยังมีข้อดีตรงที่มีลักษณะเนื้อเหนียวแน่น นำรับประทานเช่นกัน เช่น พันธุ์ พจ.06 พจ.025 พจ.012 เป็นต้น

การจำแนกเฝือกตามสีของเนื้อ มี 2 ประเภท คือ

เฝือกเนื้อสีขาวหรือสีครีม เฝือกชนิดนี้เมื่อผ่าหัวดูเนื้อใน จะพบว่ามีสีขาว หรือสีขาวครีม ได้แก่ เฝือกพันธุ์ พจ.06 พจ.07 พจ.025 พจ.014 (เฝือกบราซิล) พันธุ์ศรีปาลาวิ (อินเดีย) พันธุ์ศรีรัศมี (อินเดีย) เป็นต้น

เปลือกเนื้อสีขาวปนม่วง เมื่อขูดเนื้อเมื่อผ่าหัดดูเนื้อ จะพบว่ามีสีขาวลายม่วงปะปนอยู่ ซึ่งจะมีม่วงมากหรือน้อยแตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ ได้แก่ เปลือกหอมเชียงใหม่ พันธุ์ พจ.016 พจ.08 พจ.05 พจ.020 เป็นต้น

จำแนกเปลือกตามจำนวนหัวขนาดใหญ่ต่อต้น มี 2 ประเภท

เปลือกที่มีหัวขนาดใหญ่ที่กลางต้น หัวต่อต้น นอกจากนั้นจะเป็นหัวขนาดเล็ก ได้แก่ เปลือกพันธุ์ เปลือกหอมเชียงใหม่ พันธุ์ พจ.02 พจ.05 พจ.09 เป็นต้น

เปลือกที่มีหัวขนาดใหญ่มากกว่าหนึ่งหัวต่อต้น และนอกจากนั้นจะเป็นเปลือกหัวขนาดเล็กๆ อยู่โดยรอบๆ หัวใหญ่ ได้แก่ เปลือกพันธุ์ พจ.06 พจ.025 เป็นต้น

การจำแนกเปลือกตามการแตกกอ มี 3 ประเภท

เปลือกที่มีการแตกกอน้อย เป็นเปลือกที่มีการแตกหน่อ หรือมีต้นเปลือกเล็กๆ อยู่รอบๆ ต้นแม่ น้อยประมาณ 3 – 10 ต้น ได้แก่ เปลือกพันธุ์ พจ.09 (ก้านลายม่วงมูเซอ)

เปลือกที่มีการแตกหน่อปานกลาง เป็นเปลือกที่มีการแตกหน่อ หรือมีต้นเปลือกเล็กๆ อยู่รอบต้นแม่ปานกลางประมาณ 10 – 20 ต้นต่อกอ ได้แก่ พันธุ์ พจ.016 พจ.019 และ พจ.020 เป็นต้น

เปลือกที่มีการแตกกอมาก เป็นเปลือกที่มีการแตกหน่อ หรือมีต้นเปลือกเล็กๆ อยู่รอบต้นแม่มากกว่า 20 ต้นต่อกอขึ้นไป ได้แก่ เปลือกพันธุ์ เปลือกหอมเชียงใหม่ พันธุ์ศรีปาลาจี (อินเดีย) พันธุ์ พจ.014 (บราซิล) เป็นต้น

การจำแนกเปลือกตามจุดกลางใบเปลือก มี 2 ประเภท

เปลือกที่มีจุดกลางใบ เป็นเปลือกที่มีจุดกลางใบ ส่วนหลังใบสีม่วง ได้แก่ เปลือกหอมเชียงใหม่ พันธุ์ พจ.016 เป็นต้น

เปลือกที่ไม่มีจุดกลางใบ เป็นเปลือกที่ไม่มีจุดกลางใบสีม่วงอย่างเห็นได้ชัด ได้แก่ เปลือกตาแดง เปลือกพันธุ์ พจ.014 (บราซิล) พจ.025 พจ.06 เป็นต้น

(นรินทร์ พูลเพิ่ม, ม.ป.ป.)

3.9.5. การเพาะปลูกเปลือกในประเทศไทย

เปลือกเป็นพืชหัวที่มีต้นคล้ายบอน มีความต้องการน้ำ หรือความชื้นในการเจริญเติบโตค่อนข้างสูง มีอายุเก็บเกี่ยว 5-6 เดือน สามารถปลูกได้ทั่วประเทศของประเทศไทย แหล่งโตที่มีระบบน้ำชลประทานดีจะสามารถปลูกเปลือกได้ตลอดปี ส่วนแหล่งที่ขาดน้ำหรือมีจำกัด ควรปลูกเปลือกเฉพาะในฤดูฝนเท่านั้น เปลือกปลูกได้ทั้งที่ลุ่ม ที่ดอน สภาไร่ และที่ราบสูงไหล่เขา และปลูกได้ในดินหลายชนิด ยกเว้นดินลูกรัง ดินปนกรวดจะทำให้ผลผลิตต่ำ ซึ่งดินที่เหมาะสมในการปลูกเปลือกมากที่สุดเป็นดินร่วมปนทราย มีอินทรีย์วัตถุสูง ระบายน้ำดี ความเป็นกรดเป็นด่างของดินอยู่ในระหว่าง 5.5 – 6.5 แหล่งปลูกเปลือกที่เป็นการค้าที่สำคัญ ได้แก่ เชียงใหม่ นครสวรรค์ พิจิตร พิษณุโลก สุโขทัย เพชรบูรณ์ นครราชสีมา สระบุรี สิงห์บุรี นครปฐม ราชบุรี สุพรรณบุรี เพชรบุรี กาญจนบุรี นครนายก ปราจีนบุรี และชุมพร เป็นต้น (นรินทร์ พูลเพิ่ม, ม.ป.ป.) พันธุ์ที่ปลูกส่วนใหญ่เป็นพันธุ์เปลือกหอม (กรมวิชาการเกษตร, 2535 – 2539)

ตารางที่ 3.9.1 สถิติพื้นที่เพาะปลูก ผลผลิตและผลผลิตเฉลี่ยของเผือก

พื้นที่เพาะปลูก	2531			2532			2533		
	1*	2**	3***	1*	2**	3***	1*	2**	3***
ภาคเหนือ	1,637	3,273	2,169	1,795	6,813	3,795	3,385	9,314	2,628
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	915	1,452	1,593	653	1,270	1,945	1,644	2,193	1,688
ภาคกลาง	1,527	2,602	1,704	2,443	4,176	1,710	4,169	10,585	2,539
ภาคตะวันออก	1,222	2,602	2,178	5,816	11,861	2,515	759	2,286	2,880
ภาคตะวันตก	5,364	10,081	2,005	1,989	4,071	2,062	1,857	3,745	2,017
ภาคใต้	661	1,174	1,795	662	784	1,544	1,282	1,681	1,621
รวม	11,336	21,244	1,989	13,318	28,921	2,398	13,096	29,704	2,268

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร, 2535-2539

หมายเหตุ*1. พื้นที่ปลูก (ไร่)

**2. ผลผลิต (ตัน)

***3. เฉลี่ย (กก. / ไร่)

3.9.6. แนวโน้มทางด้านเศรษฐกิจ

ปัจจุบันเผือกเป็นพืชหัวเศรษฐกิจที่มีศักยภาพในการส่งออกอีกชนิดหนึ่ง โดยส่งออกทั้งในรูปหัวเผือก ก้านใบเผือก และใบเผือก เช่น ในปี 2532 ประเทศไทยมีการส่งออกหัวเผือกประมาณ 486 ตัน คิดเป็นมูลค่า 4,998,000 บาท ตลาดต่างประเทศของเผือกที่สำคัญมี ญี่ปุ่น ฮองกง ออสเตรเลีย มาเลเซีย สิงคโปร์ และเนเธอร์แลนด์ เป็นต้น ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงการใช้อยู่ได้ทั้งหัว ก้านใบ และใบเผือก รวมทั้งตลาดภายใน และต่างประเทศ และเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวและพืชไร่บางชนิดแล้ว เผือกจะเป็นพืชเงินพืชทองที่น่าสนใจของเกษตรกรอีกชนิดหนึ่ง (นรินทร์ พูลเพิ่ม, ม.ป.ป.)

3.9.7. องค์ประกอบและสมบัติของเผือกและผลิตภัณฑ์จากเผือก

เผือกมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้ ความชื้น 63-85% คาร์โบไฮเดรต 13-29% โปรตีน 1.4-3.0% ไขมัน 0.16-0.36% สารเยื่อใย 0.60-1.18% เถ้า 0.60-1.18% วิตามินซี 7-9 มก./100 ก. วิตามินบีหนึ่ง 0.18 มก./100 ก. วิตามินบีสอง 0.18 มก./100 ก. ไนอาซิน 0.9 มก./100 ก. คาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบหลักและประกอบด้วยแป้ง 77.9% เพนโตซาน 2.6% ไฟเบอร์ 1.4% เด็กตริน 0.5% น้ำตาลรีดิทซ์ 0.5% น้ำตาลซูโครส 0.1%

ปริมาณโปรตีนที่มีอยู่ในเผือกสูงกว่าโปรตีนที่มีอยู่ในมัน กรดอะมิโนที่มีค่อนข้างต่ำ คือ histidine, lysine, isoleucine, tryptophan และ methionine

ในเผือกนอกจากจะมีแป้งเป็นส่วนประกอบหลักแล้ว ยังพบว่ามียางที่สามารถละลายได้ในน้ำเป็นจำนวนมาก ซึ่งยางของเผือกมี monosaccharide ที่เป็นส่วนประกอบหลัก คือ galactose และ arabinose และมี Polymer ที่เป็นส่วนประกอบหลัก คือ arabinogalactan - protein ปริมาณของยางในเผือกจะมีแตกต่างกันไป

ตามพันธุ์ของเผือก ซึ่งจากการศึกษาปริมาณของยางจากเผือก 12 พันธุ์ พบว่าอยู่ในช่วง 75.7-137.0 กรัม / กก. (น้ำหนักแห้ง) (Gaosong and Lawrence, 1999)

ส่วนต่างๆของเผือกมีส่วนประกอบต่างกัน โดยส่วนโคนเผือกมีปริมาณของแข็งและแป้งสูงกว่าบริเวณปลายหัว สารอาหารที่มีไซเบียงส่วนใหญ่อยู่ที่เปลือกนอก ด้วยเหตุนี้จึงใช้เปลือกสำหรับเลี้ยงสัตว์ นอกจากนี้ยังพบผลึกของแคลเซียมออกซาเลต (calcium oxalate crystals หรือ raphides) ในปริมาณ 0.1-0.4% ของน้ำหนักสด ซึ่งจะมีผลให้เกิดการคันคอและระคายเคืองเมื่อรับประทาน การต้มจะทำลายสารชนิดนี้ (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538) calcium oxalate เป็นสารที่สามารถละลายได้ในน้ำ และเป็นสารที่ทำให้เกิดรสชาติที่ผิดปกติ (off - taste) การกำจัด calcium Oxalate ในระหว่างกระบวนการผลิตแป้งสามารถทำได้โดย การแช่เผือกในน้ำสะอาดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งสามารถลดปริมาณ calcium oxalate ได้ถึง 43.3% (Iwuoha และ Kalu, 1995.)

เผือกต่างพันธุ์กันจะมีปริมาณขององค์ประกอบแตกต่างกันไป แป้งฟลาว (flour) จากเผือก มีปริมาณ Starch อยู่ในช่วง 73 - 76% (วิเคราะห์โดยวิธี Enzymatic Analysis) ปริมาณของไนโตรเจน (โปรตีน) ของแป้งฟลาวจากเผือก อยู่ในช่วง 0.33 - 1.35% และสตาร์ชจากเผือก อยู่ในช่วง 0.014 - 0.025% เม็ดแป้งเผือกมีรูปร่างลักษณะเป็นแบบหลายเหลี่ยม และมีขนาดเล็กมาก อยู่ในช่วง 2.6 - 3.76 μm . มีปริมาณ อะมิโลส อยู่ในช่วง 18 - 22% (วิเคราะห์โดยวิธี iodine affinity) และอยู่ในช่วง 19 - 24% (วิเคราะห์โดยวิธี gel permeation chromatography) มี Degree of Polymerization (DP) อยู่ในช่วง 150 - 550 มี Branch Chain Lengths ของ อะมิโลเพกติน อยู่ในช่วงของ DP 16.8 - 18.4 (สายสั้น) และ DP 37.2 - 40.5 (สายยาว) จากการวิเคราะห์โดยใช้ X-ray diffraction pattern พบว่า สตาร์ชจากเผือก เป็นชนิด A-type ซึ่งมีปริมาณไขมัน 0.23 - 0.52% ปริมาณ ฟอสฟอรัส 0.017 - 0.025% และมี Onset gelatinization temperature อยู่ในช่วง 72 - 79 °C ส่วนฟลาวจากเผือกมี Onset gelatinization temperature อยู่ในช่วง 69 - 74 °C ค่าความหนืดของสตาร์ชจากเผือกมีค่าความหนืดสูงกว่าฟลาวจากเผือก โดย Taro Starch pastes มีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 700 - 1400 BU. (Jane และคณะ, 1992)

3.9.8. ประโยชน์และการนำไปใช้

เผือกเป็นพืชหัวที่สามารถนำมาประกอบอาหารได้หลายชนิดทั้งคาวและหวานและการอุตสาหกรรมแปรรูป ในประเทศไทย คนไทยส่วนใหญ่จะนิยมบริโภคเผือก ในรูปขนมหวานชนิดต่างๆ เช่น เผือกเชื่อม เผือกกวน เผือกทอด เผือกฉาบ บัวลอยเผือก ข้าวเหนียวเผือก ขนมปังไส้เผือก ไอศกรีมเผือก ไรต์ไต้เผือก และอาหารประเภทขบเคี้ยว ซึ่งเป็นอาหารว่างชนิดต่างๆ เป็นต้น

ปัจจุบันพบว่าส่วนต่างๆของเผือก ได้แก่ หัวเผือก ก้านใบเผือก และใบเผือก ประกอบด้วยสารอาหารพวกคาร์โบไฮเดรต โปรตีน วิตามิน และแร่ธาตุต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายหลายชนิด เช่น จากส่วนของหัวเผือก ก้านใบเผือก และใบเผือก อย่างละ 100 กรัม พบว่า หัวเผือกมีโปรตีน 2.5 กรัม ก้านใบเผือก มีโปรตีน 0.2 กรัม และใบเผือกมีโปรตีน 4.4 กรัม เป็นต้น นอกจากนี้เผือกยังใช้เลี้ยงสัตว์ได้ทั้งหัว ก้านใบ และใบ (นรินทร์ พูลเพิ่ม, ม.ป.ป.)

เนื่องจากสตาร์ชจากเผือกมี granule size ที่มีขนาดเล็กมาก และสามารถย่อยได้ง่าย จึงมีการนำไปใช้กันอย่างกว้างขวางในอาหารเด็ก และอาหารสำหรับผู้ที่มีแพ้อัญพืช (Wang, 1983 cited in Moorthy และคณะ, 1992) นอกจากนี้จะนำไปใช้ในอาหารแล้ว เผือกยังเหมาะที่จะนำไปใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางคล้ายกับแป้งทาลู หรือนำไปใช้เป็นตัวกระจายสำหรับผลิตภัณฑ์สเปรย์ (Griffin และ Wang, 1983 cited in Moorthy

และคณะ, 1992) และยังมีการค้นพบว่าแป้งเผือกเหมาะสมที่จะนำไปเติมในพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ด้วย (Moorthy และคณะ, 1975)

3.9.9. เอกสารอ้างอิง

- ณรงค์ นิยมวิทย์. 2538. ธัญชาติและพืชหัว. กรุงเทพมหานคร : คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นรินทร์ พูลเพิ่ม. การปลูกเผือก. พิจิตร : ศูนย์วิจัยพืชสวน สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร, มปป. (ไม่ได้ตีพิมพ์)
- พลโท พระยาศัลวิธานนิเทศ. 2511 . เผือก, สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน 5 : 163 - 168. กรมวิชาการเกษตร, กรม. แผนพัฒนาพืช แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 7 เล่ม 1, 2535-2539 : 370 - 376. (อัดสำเนา)
- Iwuaha, I.C., and Kalu, A.F. 1995. Calcium oxalate and Physico – Chemical properties of cocoyam (*Colocasia esculenta* and *Xanthosoma sagittifolium*) tuber flours an affected by processing. Food Chem. 54 : 61 – 66.
- Jane, J., Shen, L., Lim, S., Kasimsuwan, T., and Nip, W.K. 1992. Physical and Chemical Studies of Taro Starches and Flours. Cereal Chem. 69(5) : 528-535.
- Moorthy, S.N.; Thanuamma Pillai, P.K., and Unnidrishnan, M. 1992. Variability in starch extracted from taro. Carbohydrate Polym. 20 : 169 – 173.

3.10. มะม่วง (Mangifera indica, Linn)

ดร. จิรรัตน์ ทัดติยกุล

ถิ่นกำเนิด เอเชียตะวันออกเฉียงใต้

แหล่งเพาะปลูก ประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ อินเดีย ไทย ฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย และประเทศในอเมริกาใต้

แหล่งเพาะปลูกและสายพันธุ์ที่เพาะปลูกในประเทศไทย

แหล่งเพาะปลูก : สระบุรี ลพบุรี นครราชสีมา ชัยภูมิ เลย เชียงราย พะเยา ลำปาง

สายพันธุ์ : Typica Walt, Stemocarpa Stapf., Ma-yuen major, Mimeur

3.10.1. องค์ประกอบของมะม่วงและแป้งมะม่วง

ผลดิบของมะม่วงมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบอยู่ถึงร้อยละ 16 โดยประมาณ (ตารางที่ 3.10.1) ซึ่งจัดว่าเป็นปริมาณที่สูง แต่นับตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันมีงานวิจัยที่เกี่ยวกับการสกัดและศึกษาแป้งจากมะม่วงน้อยมากทั้งในประเทศไทยเองและต่างประเทศ

ตารางที่ 3.10.1 คุณค่าทางอาหารของผลมะม่วงดิบ

องค์ประกอบ	ปริมาณ
คาร์โบไฮเดรต (กรัมต่อ 100 กรัม)	15.7
โปรตีน (กรัมต่อ 100 กรัม)	0.5
ไขมัน (กรัมต่อ 100 กรัม)	0.2
เยื่อใย (กรัมต่อ 100 กรัม)	2.4
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	67

ที่มา : กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข

จากการทดลองเบื้องต้น พบว่า กระบวนการสกัดมะม่วงนั้นค่อนข้างซับซ้อน ต้องมีขั้นตอนการยับยั้งเอนไซม์ที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลก่อนที่จะเริ่มกระบวนการสกัดแป้ง และเมล็ดมะม่วงมีแทนนินเป็นองค์ประกอบอยู่ถึง 44.8 กรัมต่อกิโลกรัม แทนนินมีความสามารถในการเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับแร่ธาตุและโปรตีน ทำให้มีการย่อยและดูดซึมโปรตีนได้น้อยลง ดังนั้น การผลิตแป้งจากเมล็ดมะม่วงจึงควรคำนึงถึงการกำจัดแทนนิน การแช่เมล็ดมะม่วงในน้ำและใช้ความร้อนในระหว่างการผลิตแป้งสามารถลดปริมาณแทนนินลงได้ถึงร้อยละ 48 (Agroba, 1997)

ตารางที่ 3.10.2 ขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้งจากมะม่วง

ขนาดเม็ดแป้ง (micron)	รูปร่าง	เอกสารอ้างอิง
8-10	กลม มีปลายตัด	Chaimanee และคณะ, 2001

ตารางที่ 3.10.3 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมะม่วง

Flour								Starch					หมายเหตุ	Reference
Carbohydrates				Protein	Lipid	Ash	Tannin as Catechin	Amylose	Amylopectin	Protein	Lipid	Ash		
Soluble carbohy drates	Starch	Fiber	Other											
2.75	50.0	2.8	18.26	6.61	9.4	1.08	2.34	-	-	-	-	-	หน่วย : % wet basis	Agroba, 1997
710 (total)				66	94	11	-	-	-	-	-	-	หน่วย : กรัมต่อกิโลกรัม	Agroba, 1999
-	-	-	-	-	-	-	-	61.75*	33.25*	-	-	-	หน่วย : % wet basis * คิดเป็น อะมิโลส 65% อะมิโลเพก ติน 35%	Amin and El- Sayed, 1973

ตารางที่ 3.10.4 สมบัติเชิงความร้อน

Gelatinization Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	หมายเหตุ	เอกสารอ้างอิง
64	อุณหภูมิที่เริ่มเกิดเจล	Chaimanee และคณะ, 2001
63.7-90	ช่วงอุณหภูมิ	Chaimanee และคณะ, 2001

ตารางที่ 3.10.5 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity)

ตัวอย่าง	ความสามารถในการอุ้มน้ำ	หน่วย	เอกสารอ้างอิง
เนื้อหมู	76.0	%wt (wet basis)	Agroba, 1997.
แป้งจากเนื้อหมู	190.0	%wt (wet basis)	Agroba, 1997.

3.10.2. เอกสารอ้างอิง

- Agroba, S.S. 1997. Physical, chemical and functional properties of Nigerian mango (*Mangifera indica*) kernel and its processed flour. J. Sci. Food Agric. 73: 321-328.
- Agroba, S.S. 1999. The performance of processed mango (*Mangifera indica*) kernel flour in a model food system. Bioresource Technology. 70(3): 277-281.
- Amin, El. S. and El-Sayed, M.M. 1973. The polysaccharides of mango seeds (*Mangifera indica*, VAR. Bullock's Heart) Carbohydr. Res. 27: 39-46.
- Chaimanee, P., Bangcharoenpompong, O. and Purkkao, N. 2001. Studies on the structure and physical properties of some tropical starches. Paper presented at the first National Conference on Starch Technology. October, 2001, Bangkok, THAILAND.

3.11. เท้ายายม่อม

ทัศนัย อรรถพรพิทักษ์

ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ

ดร. กัลยา เลหาสงคราม

เท้ายายม่อมเป็นพืชในวงศ์ Taccaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Tacca leontopetaloides* Klze ชื่ออื่นๆ เช่น บูกอว ไม้เท้าฤาษี สิงโตดำ East Indian Arrowroot Tahiti Arrowroot เป็นต้น เท้ายายม่อมขึ้นอยู่กระจัดกระจายในหลายพื้นที่ เช่น เขตร้อนของทวีปแอฟริกา เอเชีย ฮาวาย ฟิจิ เป็นต้น คาดว่ามีถิ่นกำเนิดที่แท้จริงอยู่ในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในมาเลเซีย เนื่องจากเป็นแหล่งที่พืชต่างๆ ในตระกูล Tacca อยู่เป็นจำนวนมาก

โดยทั่วไปพบว่าเท้ายายม่อมเป็นพืชที่พบตามป่า มีการปลูกเป็นจำนวนน้อยเพื่อใช้ประโยชน์เฉพาะภายในท้องถิ่น สำหรับประเทศไทยเคยมีการสำรวจพบว่ามีอยู่ค่อนข้างหนาแน่นในป่าบริเวณชายทะเลฝั่งตะวันออก (ชลบุรี ระยอง จันทบุรี ตราด) และภาคใต้ เป็นชนิดก้านใบสีเขียว ซึ่งแตกต่างจากที่พบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีก้านใบสีม่วงอมน้ำตาล และพบว่ามีอยู่ไม่มากนักโดยกระจัดกระจายอยู่ในป่าในเขตภาคอีสานในบางท้องถิ่น

3.11.1. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

เป็นพืชล้มลุก มีระบบรากแบบรากฝอย (fibrous root) มีลำต้นอยู่ใต้ดิน มีลักษณะข้อสั้น มีหัวใต้ดิน รูปร่างกลมแบน ซึ่งเกิดจากส่วนของลำต้นที่เปลี่ยนแปลงไปเพื่อสะสมอาหาร เป็นหัวชนิด tuberous rhizome มีใบประกอบแบบนิ้วมือ 3 แฉก แต่ละแฉกแผ่นใบหยักเว้าแบบขนนก ก้านใบยาวประมาณ 30 – 70 ซม. มีสีเขียวหรือม่วงอมน้ำตาล ดอกออกเป็นช่อแบบร่ม (umbel) ก้านช่อดอกกลวงสีเขียวชูตั้งตรงสูงขึ้นมาเหนือใบ มีดอกย่อย 15 – 30 ดอก มีใบรองรับช่อดอกสีเขียว 6 ใบ และใบประดับรองรับดอกย่อยมีลักษณะเป็นเส้นยาวคล้ายหนวดยาวประมาณ 30 ซม. ซึ่งทำให้ชาวบ้านแถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือเรียกพืชนี้ว่า “ต้นหนวดแมว” ดอกย่อยเป็นดอกสมบูรณ์เพศ กลีบดอก 6 กลีบ โคนกลีบเชื่อมติดกัน มีเกสรเพศเมียประกอบด้วย 3 คาร์เพิล (carpel) เชื่อมติดกัน ปลายยอดเกสรเพศเมียแยกเป็น 3 แฉก รังไข่เกิดอยู่ใต้ฐานรองดอก (inferior ovary) เกสรเพศผู้มี 6 อัน ส่วนผลมีรูปร่างเป็นสามเหลี่ยมหรือรูปกรวยเมื่ออ่อนมีสีเขียวต่อมาเปลี่ยนเป็นเหลืองอมเขียว สีสน้ำตาล และสีดำเมื่อแก่จัด ตามลำต้น มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.5 – 3 ซม. ผลแตกได้เมื่อแก่โดยมีเมล็ดอยู่ภายในเป็นจำนวนมากเป็นรูปไข่ (แกมขอบขนาน) มีสีน้ำตาล

3.11.2. การเจริญเติบโต

ลักษณะนิเวศวิทยาที่สำคัญของแหล่งที่พบเท้ายายม่อม คือ ขึ้นได้ร่มเงาต้นไม้ยืนต้น เช่น มะพร้าว มะม่วงหิมพานต์ ขนุน เป็นต้น ในพื้นที่ที่เป็นป่าโปร่ง เป็นดินทราย หรือ ร่วนทราย หรือพื้นที่ที่คล้ายดินทรายชายทะเล การเจริญเติบโตของต้นจะเริ่มในช่วงฤดูฝน ราวเดือนพฤษภาคมโดยจะมีการแตกต้นใหม่จากหัวเก่าหรือจากเมล็ดที่หล่นอยู่ใต้ดิน การเจริญเติบโตใช้ระยะเวลาประมาณ 7-8 เดือน จาก

นั้นจะมีการพักตัวในช่วงต้นฤดูแล้ง การพักตัวสังเกตได้จากส่วนของต้นเหนือดินเหี่ยว และแห้งตายไป เหลือแต่หัวใต้ดิน

จากการทดลองปลูกด้วยเมล็ดที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน จ.จันทบุรี เมื่อปี 2539 โดยปลูกภายใต้ตาข่ายบังแสง 50% ระยะปลูก 30x30 เซนติเมตรพบว่า เมล็ดงอกหลังจากปลูก 1 เดือนครึ่ง การเจริญเติบโตทางลำต้นสูงสุดและเริ่มลงหัวเมื่อ 4 เดือนหลังปลูกคือราวเดือนกันยายน เมื่อทิ้งหัวไว้ในดิน และปล่อยให้มีการเจริญเติบโตต่อไปในปีที่ 2 และปีที่ 3 พบว่าแทงเป็นต้นใหม่ในช่วงเดือนพฤษภาคม ตัวอย่างหัวที่เก็บในเดือนธันวาคม มีน้ำหนักเฉลี่ย 134.6 กรัม และ 295.15 กรัม ตามลำดับ ในปีที่ 3 ต้นเหี่ยวยาม่อมมีการเจริญเติบโตได้ครบวงจรชีวิต เนื่องจากได้มีการพัฒนาเป็นดอกผล และเมล็ดได้ ระยะการเจริญเติบโตของต้นจะยืดยาวกว่าในปี 1 และปี 2 ประมาณ 1 เดือน และเมื่อเก็บเกี่ยวหัวในช่วงเดือนธันวาคม ได้ผลผลิตหัว 4,034 กิโลกรัม/ไร่

3.11.3. ข้อมูลการวิจัยการสารสกัด

สารรสขม ที่สกัดได้จากหัว ซึ่งมีรายงานว่ามีประมาณ 2.2 % ประกอบด้วยสารหลายชนิด ได้แก่ sitosterol, carylic, alcohol, taccalin, alkaloids, steroidal, saponins (Elsheikh และคณะ, 1990)

สารสกัดจากใบ คือ steroidal saponins มีฤทธิ์ฆ่าหอยได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับที่สกัดได้จากพืชทั้งหมด 42 ชนิด (Elsheikh และคณะ, 1990)

3.11.4. การใช้ประโยชน์

3.11.4.1 ด้านอาหาร

ใช้หัวทำเป็นแป้งเหี่ยวยาม่อมโดยผ่านการสกัดด้วยน้ำหลายๆ ครั้ง เพื่อกำจัดสารรสขมต่างๆ แล้วจึงนำมาตากแห้ง แป้งที่ได้สามารถนำมาใช้ประกอบอาหารคาว เช่น ทำราดหน้า ต้มกะเพาะปลา ขนมชั้น ขนมเทียนแก้ว ขนมบัวลอย ขนมลิ่มกลิ้ง ลอดช่องสิงคโปร์ เม็ดทับทิม ขนมกะละแม แป้งหอยทอด ขนมหัวผักกาด ใช้ผสมกับแป้งสาธิตทำขนมปัง ขนมเค้ก ผสมกับเนื้อผลไม้หรือกะทิ ทำขนมประเภทอบหรือเนื้อ มีรายงานว่าแป้งเหี่ยวยาม่อมสามารถช่วยทำให้อาหารมีความอยู่ตัวไม่แยกตัว (syneresis) ทำให้มีความข้นนานขึ้น และพบว่าเป็นแป้งที่มีคุณสมบัติย่อยง่ายจึงนิยมใช้เป็นอาหารสำหรับคนป่วยอ่อนเพลีย ไม่มีกำลัง เด็กเล็ก หรือคนป่วยที่มีปัญหาเกี่ยวกับระบบการย่อยอาหาร (สุภาภรณ์ ภัทรสุทธิ, 2543)

3.11.4.2 ด้านสมุนไพร

ตามตำรับยาไทย

ราก : มีสรรพคุณเป็นยาแก้ใช้ทุกชนิด แก้พิษผึ้ง แมลงต่อย แก้พิษงู

หัว : มีสรรพคุณแก้อ่อนเพลีย บำรุงหัวใจ แก้เบื่ออาหารจากการฟื้นไข้ ใช้

แป้งเหี่ยวยาม่อมกวนกับน้ำตาลใช้เป็นอาหารคนป่วยที่อ่อนเพลียหมดกำลัง หรือเด็กเล็ก เด็กอ่อน ตามตำรับยาโบราณของชาวเกาะที่มีเหี่ยวยาม่อมขึ้นอยู่ จะมีการใช้หัวและแป้งทำยารักษาโรคบิด โรคท้องร่วง

สารสกัดจากใบ : มีฤทธิ์ฆ่าหอย

3.11.4.3 ด้านอื่นๆ

ก้านและใบก้านดอก : ใช้ทำหมวก อุปกรณ์ตกปลา ภาชนะจักสานต่างๆ

แป้ง : ทำกาว และใช้ทำผ้าพื้นเมืองจากเปลือกไม้ (นันทวัน บุญยะประภัศร และนพรัตน์ แซ่ฮึ้ง, 2528)

3.11.5.การทำแป้งเท้ายายม่อม

ตามวิธีภูมิปัญญาชาวบ้าน มีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1) ล้างหัวให้สะอาด แล้วปอกเปลือกบางๆ ออก

2) นำหัวที่ปอกเปลือกแล้วมาผ่านกระบวนการให้ได้แป้งโดยใช้น้ำสะอาดเป็นตัวทำละลาย โดยใช้วิธีใดวิธีหนึ่งดังต่อไปนี้

3) เอาหัวที่ได้จากข้อ 1 ผนบนแผ่นสังกะสีที่เจาะรูด้วยตะปู ใช้ภาชนะ เช่น โถง หรือถังพลาสติกใส่น้ำแล้วนำไปกรองเอาส่วนที่ผนได้นั้นไว้ ถ้ามีหัวทำแป้งจำนวนมาก ก็อาจดัดแปลงเป็นแบบคล้ายการขูดมะพร้าว โดยเครื่องขูดมะพร้าวแบบตู้ แทนการขูดหัวบนแผ่นสังกะสีเจาะรู หรือนำหัวที่ได้จากข้อ 1 สับย่อยเป็นชิ้นเล็ก ก่อนปั่นให้ละเอียดพร้อมับน้ำเล็กน้อย

4) นำส่วนที่ได้จากข้อ 2. เติมน้ำในปริมาณที่กวนให้เข้ากันได้โดยง่าย เมื่อกวนให้เข้ากันดีแล้ว จึงกรองด้วยผ้าขาวบาง 2 ชั้น แช่ส่วนที่กรองได้ในภาชนะนาน 3 ชั่วโมง เพื่อให้แป้งตกตะกอนที่หน้าส่วนบนทิ้ง แล้วเติมน้ำลงในแป้งที่ตกตะกอน แล้วกวนให้เข้ากัน แล้วกรองด้วยผ้าขาวบางอีกครั้ง แช่ส่วนที่กรองได้ไว้อีก 3 ชั่วโมง เทน้ำส่วนบนทิ้ง เติมน้ำลงในแป้งที่ตกตะกอนกวนให้เข้ากันแล้วกรองด้วยผ้าขาวบางหนา 4 ชั้น เพื่อเอาส่วนกากออกให้ได้มากที่สุด แล้วจึงแช่น้ำแป้งที่กรองได้ไว้อีก 3 ชั่วโมงเพื่อให้แป้งตกตะกอน เทน้ำส่วนบนทิ้ง เอาแป้งที่ตกตะกอนมาตากแดดให้แห้ง(ตากแดดนาน3-4แดด) จะได้แป้งเท้ายายม่อมที่ขาวสะอาด โดยได้แป้งประมาณ 1 กิโลกรัม จากหัวสด 5 กิโลกรัม

การแช่น้ำเป็นการละลายเอาสารพิษที่มีอยู่ในหัวออกมา ฉะนั้นจึงควรระมัดระวังการทิ้งกาก หรือน้ำที่ทิ้งระหว่างทำแป้งอาจเป็นพิษกับสัตว์เลี้ยงที่มากินได้ ถ้าเป็นส่วนน้ำก็ไม่ควรปล่อยลงบ่อเลี้ยงปลา

3.11.6.การศึกษาแป้งเท้ายายม่อม

การสกัดแป้งจากหัวเท้ายายม่อมต้องสกัดด้วยน้ำหลายๆ ครั้ง เพื่อกำจัดสารที่มีรสขมประเภท alkaloids และ steroids ออก จึงเหมาะสมในการสกัดแบบไม่เปียก แล้วนำแป้งไปตากหรืออบโดยใช้อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส ดังนั้น (Purse-glove and Longman, 1992) ซึ่งการสกัดแป้งจากหัวเท้ายายม่อมพบว่าสามารถสกัดได้ 10-25% (Spennemann, 1992) แป้งเท้ายายม่อมที่ได้เป็นแป้งที่สามารถย่อยได้ง่าย เหมาะกับผู้ป่วยฟันช้ำและผู้ป่วยที่เป็นโรคทางเดินอาหาร (Flach and Rumawas, 1996) และกากที่ได้จากการผลิตแป้งมีประโยชน์ในการกำจัดศัตรูพืชและสัตว์อื่นๆ ที่รบกวนคนหรือเป็นพาหะนำโรคสู่คนเช่น หนู หอย และแมลง (Elsheikh และคณะ, 1990)

เม็ดแป้งเท้ายายม่อมมีลักษณะเป็นรูปไข่ ขนาดอยู่ในช่วง 13 – 70 ไมครอน (Maningat and Seib, 1992) มีโปรตีน 5.1 % ไขมัน 0.2 % คาร์โบไฮเดรต 89.4 % เซลลูโลส 2.1 % แป้ง 3.2 % แคลเซียม 0.27 % และฟอสฟอรัส 0.2 % (Flach and Rumawas, 1996) ลักษณะของเม็ดแป้ง

เท้ายายม่อมซึ่งได้จากแหล่งที่จำหน่ายในประเทศ มีขนาดเม็ดแป้ง 6 – 22 ไมครอน รูปร่างกลม ปลายข้างหนึ่งตัดคล้ายถ้วย และองค์ประกอบทางเคมีของแป้งเท้ายายม่อมมีดังนี้ โปรตีน 0.23 % ความชื้น 14.7 % คาร์โบไฮเดรต 94.25 % (โดยมีอะมิโลส 14 %) เถ้า 0.12 % ไขมัน 0.1 % (ศิริพรรณ หวังอารีย์ และ นพรัตน์ แซ่ฉิ่ง, 2528) และมีสมบัติด้านความหนืดดังนี้ การละลายสูงสุด 28 % ที่อุณหภูมิ 95 องศา swelling power เท่ากับ 54 ที่อุณหภูมิเดียวกัน (Leach และคณะ, 1959; Swinkels, 1985; ศิริพรรณ หวังอารีย์ และ นพรัตน์ แซ่ฉิ่ง, 2528) และมี gelatinization temperature ซึ่งวัดโดยวิธีใช้ Kolfer hot-stage microscope อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 62–66–70 องศาเซลเซียส (Swinkels, 1985)

3.11.7 การตลาดของแป้งเท้ายายม่อม

ยังไม่มีตลาดภายนอกประเทศรองรับ มีแต่ตลาดภายในประเทศซึ่งปัจจุบันตลาดค่อนข้างแคบ คือ เป็นตลาดขายแป้งสำหรับทำขนมต่างๆ โดยปริมาณที่ใช้จริงยังเป็นที่ปกปิดในทางการค้า และปัจจุบันแป้งเท้ายายม่อมมีราคาสูงถึง 80-130 / กิโลกรัม เพราะมีการผลิตแป้งนี้ได้ปริมาณน้อย เนื่องจากวัตถุดิบหัวเท้ายายม่อมในปีหนึ่งๆ ยังมีน้อยและยังไม่มีการปลูกพืชชนิดนี้เป็นการค้า หรืออาจจะปลูกบ้างก็น้อยมาก อีกประการหนึ่ง คือ การผลิตแป้งจากหัวเท้ายายม่อมต้องใช้หัวเท้ายายม่อมที่มีอายุตั้งแต่ 2 ปีขึ้นไป กล่าวคือเมื่อปลูกโดยใช้เมล็ด เพื่อให้ได้หัวที่สามารถผลิตแป้งเท้ายายม่อมได้จะใช้เวลาถึง 2 ปี แต่หลังจากปีที่ 2 แล้วสามารถปลูกหมุนเวียนได้ เนื่องจากในปีที่ 2 นี้จะได้หัวเท้ายายม่อมที่มีอายุ 2 ปีหนึ่งหัว และหัวย่อยที่มีอายุ 1 ปีอีกสองถึงสามหัว ซึ่งนำหัวที่มีอายุ 1 ปีนี้มาปลูกหมุนเวียนได้ต่อไป

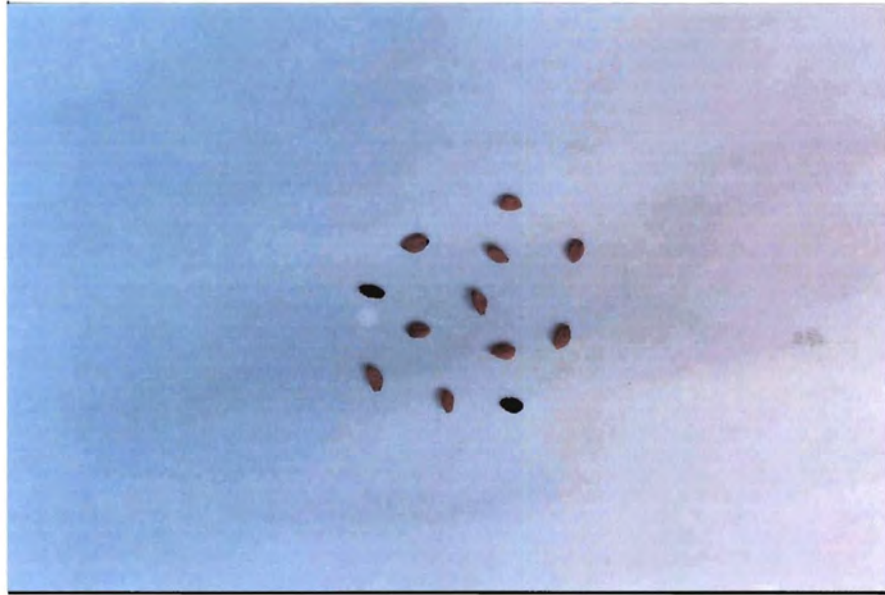
ในปัจจุบัน แม้ว่าเท้ายายม่อมจะมีศักยภาพทางเศรษฐกิจน้อย แต่ไม่ควรมองข้ามเพราะถ้าหากมีการศึกษาวิจัยเพื่อให้มีการใช้ประโยชน์จากต้นเท้ายายม่อมมากขึ้น เช่น การใช้แป้งเท้ายายม่อมในการทำผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางประเภทครีมต่างๆ ที่มีคุณภาพสูงขึ้น หรือทำเป็นอาหารสำเร็จรูปเพื่อสุขภาพ เนื่องจากมีเนื้อแป้งที่ละเอียด และมีคุณสมบัติย่อยง่าย ทำให้ใช้เป็นอาหารสำหรับคนป่วยโดยเฉพาะที่เกี่ยวกับโรคทางเดินอาหาร หรือเป็นอาหารสำหรับเด็กอ่อนได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ใช้ประโยชน์จากกากที่ได้จากการผลิตแป้งในการกำจัดศัตรูพืช หรือสัตว์อื่นๆ ที่มารบกวนคน หรือเป็นพืชนำโรคมาสู่คน เช่น ทำเป็นเหยื่อฆ่าหนู หอย หรือสัตว์อื่นๆ



ภาพที่ 3.11.1 ถ่ายายม่อมพันธุ์ก้านเขียว



ภาพที่ 3.11.2 ถ่ายายม่อมพันธุ์ก้านม่วง



ภาพที่ 3.11.3 เมล็ดพันธุ์เต้ายายม่อม



ภาพที่ 3.11.4 หัวเต้ายายม่อมอายุ 1 ปี



ภาพที่ 3.11.5 หัวเท้ายายม่อมอายุ 3 ปี

3.11.8. เอกสารอ้างอิง

- กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2543. เทคโนโลยีแป้ง พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 292.
- จิระวรรณ อานามวงศ์. 10 พฤศจิกายน 2544. ผู้วิจัยงานวิชาการเกษตร ศูนย์ศึกษาการพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน อันเนื่องในพระราชดำริ อ.ท่าใหม่ จ.จันทบุรี. สัมภาษณ์
- นันทวัน บุณยะประภัศร และ อรนุช โชคชัยเจริญพร. 2541. สมุนไพรไม้พื้นบ้าน(2). กรุงเทพมหานคร : สำนักข้อมูลสมุนไพร คณะเภสัชศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ศิริพรรณ หวังอารีย์ และ นพรัตน์ แซ่เอ็ง. 2528. การศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับแป้งที่ผลิตในประเทศ. รายงานการวิจัยตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาคเทคโนโลยีทางอาหาร, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุภาภรณ์ ภัทรสุทธิ. 2543. เห่ายายม่อม พืชหัวที่น่าสนใจ. ชาวพิษศาสตร์และวัชพืช. กรุงเทพมหานคร : กรมพิษศาสตร์และวัชพืช มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 6-8.
- Defloor, I., Dehonj, I., and Delcoor, J.A. 1998. Physico-chemical properties of cassava starch. Starch/Starke. 50:58-64.
- Elsheikh, S.H., Bashir, A.K., Suliman, S.M., and Wassila, M.E. 1990. Toxicity of certain Sudanese plant extracts on cercariae and miracide of *Schistosoma mansoni*. Int. J. Crude Drug Res. 28(4): 241-245.
- Flach, B.M. and Rawmawas, F. 1996. Plants yielding non-seeding carbohydrate. Plant Res. Of South - East Asia. 9:156-159.
- Franco, C.M.L., Ciacco, C.F., and Tavares, D.G. 1998. Studies on the susceptibility of granular cassava and corn starches to enzymatic attack part I: Study of the condition of hydrolysis. Starch/Starke, 39(212) 432 - 435.
- French, D. 1975. " Chemistry and biochemistry of starch". In W.J. Whelan(ed), Biochemistry of Carbohydrates. London: Butterworths.
- Gobaindasamy, S., Oates, C.G., and Wang, H.a. 1992. Characterization of changes of sago starch components during hydrolysis by a thermostable alpha-amylase. Carbohydrate Polymers. 25:89-100.
- Leach, H.W., Mcbowen, L.D., and Schoch, T.J. 1959. Structure of the starch granule I . Swelling and solubility patterns of various starches. Cereal Chem. 36:534 - 544.
- Pursglove, J.W. and Longman, U.K. 1992. Tropical crops monocotyledons. New York: Prager.
- Schoch, T.J. 1964. Swelling power and solubility of granular starches. In R.L. Whistler, R.J. Smith and J. N. BeMiller(eds.). Methods in Carbohydrates Chemistry. Vol. VI. New York: Academic Press.

Spenneman, D.H.R. 1992. Arrow root production in the Marshall Islands : past : present and future. New Zealand J Crop and Horticultural. 20:97.

Swinkels, J.J.M. 1985. Composition and properties of commercial native starches. Starch/Starke. 37(1):1 – 5.

บทที่ 4. วารสารปริทรรศน์เรื่องการวิเคราะห์กรดอะมิโนในอาหารและน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมแป้ง

อ. ม.ล. ศิริพัชร์ ไชยันต์

ผศ. ดร. พาสวดี ประทีปะเสน

4.1. บทนำ

จากความต้องการข้อมูลด้านโภชนาการเพิ่มขึ้นทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องมีการวิเคราะห์กรดอะมิโนในอาหารอย่างถูกต้องทั้งด้านคุณภาพและปริมาณ โปรตีนเป็นอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของมนุษย์และสัตว์ คุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบกรดอะมิโนและกรดอะมิโนที่จำเป็น โดยโปรตีนที่มีคุณค่าทางโภชนาการเหมาะสมกับการพัฒนาและเจริญเติบโตของมนุษย์และสัตว์จะต้องประกอบด้วยกรดอะมิโนที่สมดุลและมีกรดอะมิโนที่จำเป็นเพียงพอ

กรดอะมิโนที่จำเป็นคือ เมทไทโอนีน, ซีสทีน, ทรีโอนีน, วาลีน, ไอโซลูซีน, ลูซีน, ฟีนอลลานีน, ไทโรซีน และ ทริปโทเฟน สัดส่วนและปริมาณของกรดอะมิโนที่จำเป็นเหล่านี้จะใช้ในการกำหนดคุณภาพของโปรตีน โดยเปรียบเทียบกับแหล่งโปรตีนมาตรฐานที่มีอยู่ตามธรรมชาติ

เนื่องจากโปรตีนถั่วเขียวและโปรตีนถั่วเขียวดัดแปลงที่ผลิตขึ้นจากน้ำทิ้งของโรงงานแป้งถั่วเขียว ในงานวิจัยนี้ได้ผ่านขั้นตอนการแปรรูปทั้งทางกายภาพและเคมีหลายกระบวนการซึ่งอาจมีผลกระทบต่อคุณค่าทางโภชนาการโดยรวมของผลิตภัณฑ์ได้ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการวิเคราะห์กรดอะมิโนในโปรตีนถั่วเขียวและโปรตีนถั่วเขียวดัดแปลงที่ผลิตขึ้นจากน้ำทิ้งของโรงงานแป้งถั่วเขียวเพื่อป้องกันคุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนนั้น ๆ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้รวบรวมวิธีการวิเคราะห์กรดอะมิโนในโปรตีนเพื่อเป็นข้อมูลในการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนและโปรตีนดัดแปรต่อไป

4.2. วิธีการวิเคราะห์กรดอะมิโน

วิธีการวิเคราะห์คุณภาพของโปรตีนโดยทั่วไปเป็นการหาปริมาณของไนโตรเจน แต่อาหารอาจมีองค์ประกอบอื่น ๆ ที่เป็นสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่กรดอะมิโน เช่น สารประกอบพิวรีน, สารประกอบไพริมิดีน, กรดอะมิโนอิสระ, วิตามิน, ครีเอติน, ครีเอตินีน, ยูเรีย และน้ำตาลบางชนิด ดังนั้นผลการวิเคราะห์จึงต้องมีการปรับค่าเพื่อให้ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด (1)

โปรตีนประกอบด้วยกรดอะมิโนหลายชนิดซึ่งมีโครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมีแตกต่างกันทำให้การวิเคราะห์กรดอะมิโนนั้นซับซ้อนเพราะต้องคำนึงถึงการเตรียมตัวอย่าง การแยก และการตรวจวัด ที่เหมาะสมกับกรดอะมิโนทุกตัวที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน

ในระยะเวลา 50 ปีที่ผ่านมาได้มีการวิจัยและพัฒนาวิธีการวิเคราะห์สารในกลุ่มนี้มาอย่างต่อเนื่อง จนในปัจจุบันมีวิธีการเตรียมสาร วิธีการวิเคราะห์ วิธีการวิเคราะห์แบบอนุพันธ์ และวิธีการตรวจวัด เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์กรดอะมิโนได้หลายวิธี

4.2.1. การวิเคราะห์โดยวิธี Kjeldahl

เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพเป็นที่ยอมรับและนิยมใช้วิเคราะห์โปรตีนและกรดอะมิโนในอาหารมาเป็นเวลานาน หลักการวิเคราะห์คือการวัดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดแล้วนำค่าที่ได้มาปรับให้เป็นปริมาณโปรตีนหรือกรดอะมิโนในปัจจุบันมีวิธีวิเคราะห์ใหม่หลายวิธีที่สะดวก รวดเร็ว และถูกต้องมากกว่าวิธีนี้ จึงทำให้ความสำคัญของวิธี Kjeldahl ลดลงและไม่เป็นที่นิยมมากนักในปัจจุบัน (2)

4.2.2. การวิเคราะห์กรดอะมิโนโดยวิธีการทางสเปกโตรสโคปี

การวิเคราะห์ทางสเปกโตรสโคปีนั้นมีข้อเด่นกว่าวิธี Kjeldahl อยู่หลายประการ อย่างไรก็ตามวิธีนี้เป็นการวัดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในสารตัวอย่างเช่นเดียวกันซึ่งไม่เหมาะสมกับการวิเคราะห์อาหารเนื่องจากอาหารมีองค์ประกอบอื่น ๆ มากมายที่อาจรบกวนการวิเคราะห์ได้ อย่างไรก็ตามก็ดีจะขอสรุปวิธีการวิเคราะห์โปรตีนทั้งหมดโดยเทคนิคทางสเปกโตรสโคปีไว้คร่าว ๆ ดังนี้ (3,4)

4.2.2.1 การวิเคราะห์แบบ Biuret

เป็นการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงช่วงที่มีสีของโปรตีนตัวอย่างโดยเปรียบเทียบกับสารละลายโปรตีนมาตรฐาน โดยให้สารละลายโปรตีนทำปฏิกิริยากับสารละลาย Biuret เกิดเป็นสารประกอบมีสีที่สามารถตรวจวัดการดูดกลืนแสงได้

4.2.2.2 การวิเคราะห์แบบ Lowry

เป็นการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงช่วงที่มีสีของโปรตีนที่เกิดจากกรดอะมิโน 2 ชนิดคือ ไทโรซีน และ ทริปโตเฟน

4.2.2.3 การวิเคราะห์ความขุ่น (Turbidity)

เป็นการเหนี่ยวนำให้โปรตีนในสารละลายตกตะกอนออกมาแล้วนำสารละลายไปวัดความขุ่นหรือปริมาณการกระเจิงแสง

4.2.2.4 การวิเคราะห์พันธะเปปไทด์

ใช้หลักการที่ว่าพันธะเปปไทด์ดูดกลืนแสงช่วง 195-225 nm โดยการดูดกลืนแสงแปรผันโดยตรงกับปริมาณพันธะเปปไทด์ในโปรตีนตัวอย่าง

4.2.2.5 การวิเคราะห์แบบ Warburg-Christian

เป็นการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในสารตัวอย่างด้วยเทคนิคสเปกโตรสโคปีหลังจากแยกองค์ประกอบอื่น ๆ ออกจากสารตัวอย่างโดยวิธีสกัดหรือ dialysis จะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์โปรตีนด้วยวิธีการทางสเปกโตรสโคปีนี้เป็น การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนทั้งหมดซึ่งไม่สัมพันธ์กับคุณภาพทางโภชนาการของโปรตีนนั้น ๆ

4.2.3. การวิเคราะห์กรดอะมิโนโดยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี

มีการนำเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟีมาวิเคราะห์กรดอะมิโนประมาณปี ค.ศ. 1955 หลักการวิเคราะห์จะต้องทำให้สารตัวอย่างกลายเป็นไอเมื่อให้ความร้อนดังนั้นจึงต้องมีกระบวนการเปลี่ยนกรดอะมิโนเป็นสารอนุพันธ์ที่ระเหยง่ายโดยการกำจัดอะตอมไฮโดรเจนที่ว่องไว (active) ของหมู่ฟังก์ชันอัลที่มีขั้ว เช่น -NH, -OH, -SH ออกไปด้วยขั้นตอนทางเคมี ดังนั้นการทำอนุพันธ์จึงเป็นสิ่งสำคัญมาก โดยจะต้องเลือกปฏิกิริยาการเกิดอนุพันธ์ที่มีประสิทธิภาพเกิดเป็นอนุพันธ์กรดอะมิโนที่มีความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจนต่ำเพื่อให้เกิดการแยกที่ดีที่สุดในคอลัมน์ (5,6)

ปฏิกิริยาอนุพันธ์ที่ใช้กันมากในการวิเคราะห์กรดอะมิโนนี้มี 2 แบบคือ แบบที่หนึ่งใช้ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันและเอซิลเลชัน 2 ขั้นตอนในตัวกลาง 2 ชนิด ปฏิกิริยาแบบที่สองเป็นปฏิกิริยาไซเลชัน 1 ขั้นตอนวิธีการทั้งสองนี้สามารถใช้วิเคราะห์กรดอะมิโนได้ทั้งในตัวอย่างโปรตีนหรือในสารตัวอย่างชนิดอื่น ๆ ที่มีกรดอะมิโนอิสระเป็นองค์ประกอบ อย่างไรก็ตามก็ตีวิธีการวิเคราะห์ทั้ง 2 แบบยังคงมีปัญหาเกี่ยวกับความสามารถในการเกิดอนุพันธ์ของกรดอะมิโนที่ไม่เท่ากันทุกชนิด (7) นอกจากนั้นปฏิกิริยาการเกิดอนุพันธ์ทั้งสองแบบต้องทำในสภาวะที่แห้งสนิท ต้องใช้อุณหภูมิสูง และใช้เวลานานอีกด้วย มีผู้รายงานว่ปฏิกิริยาไซเลชันของกรดอะมิโนที่มีคุณสมบัติเป็นด่างสามารถเกิดอนุพันธ์ได้หลายแบบและอนุพันธ์ที่เกิดขึ้นยังไม่เสถียรอีกด้วย (8) อย่างไรก็ตามก็ตีการวิเคราะห์กรดอะมิโนโดยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟีก็มีการพัฒนามากอย่างต่อเนื่องโดยอนุพันธ์กรดอะมิโนที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์มากที่สุดคือ trifluoroacetyl butyl ester และ heptafluorobutyl isobutyl ester โดยมีการวิเคราะห์ในคอลัมน์แบบธรรมดาหรือแบบ capillary แม้แต่วิธีการวิเคราะห์ที่ซับซ้อนมากๆ เช่นการทำอนุพันธ์ 3 ครั้งเพื่อแยกวิเคราะห์ หมูอะมิโน หมูกรดอินทรีย์ และ หมูแอลกอฮอล์ ก็ยังมีการใช้อยู่ในปัจจุบัน (9) มีผู้รายงานความเป็นไปได้ในการทำอนุพันธ์ของหมูอะมิโน หมูกรดอินทรีย์พร้อม ๆ กันในตัวกลาง 1,3-dichlorotetra-fluoroacetone ตามด้วยปฏิกิริยา acylation โดยรายงานว่สามารถวิเคราะห์กรดอะมิโนได้ 20 ชนิดภายใน 30 นาทีซึ่งรวมเวลาในการทำอนุพันธ์ไว้แล้ว (10)

วิธีการวิเคราะห์ที่รวดเร็วยิ่งอีกอันหนึ่งคือการเปลี่ยนหมูอะมิโนด้วย isobutyl chloroformate ในสารละลายบัฟเฟอร์ของคาร์บอนเตต จากนั้นสกัดสารละลายด้วยอีเธอร์แล้วนำชั้นอีเธอร์ไปทำปฏิกิริยาต่อกับ diazomethane ซึ่งจะทำอนุพันธ์กับหมูกรดอินทรีย์ วิธีการวิเคราะห์รวมขั้นตอนการทำอนุพันธ์ใช้เวลาประมาณ 30 นาที (11)

การตรวจวัดสามารถใช้เครื่องตรวจวัดได้หลายชนิดทั้ง แบบ Flame Ionization ที่ใช้กันทั่วไป หรืออาจใช้เครื่องตรวจวัดเฉพาะที่เหมาะสมกับอนุพันธ์ที่ต้องการวิเคราะห์ก็ได้ จะขอเน้นไว้ ณ ที่นี้ว่าการวิเคราะห์กรดอะมิโนในอาหารโดยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟีนี้จำเป็นต้องมีวิธีการเตรียมตัวอย่างที่ดีเพื่อลดการแทรกแซงจากสารอื่น ๆ ก่อนการทำอนุพันธ์ นอกจากนั้นควรคำนึงไว้ว่าการวิเคราะห์กรดอะมิโนด้วยแก๊สโครมาโตกราฟีนี้ต้องการความชำนาญสูงและเป็นที่ยอมรับเฉพาะกลุ่มวิจัยที่ชำนาญในเทคนิคนี้จริงๆ

4.2.4. การวิเคราะห์กรดอะมิโนโดยเทคนิคไอออนเอ็กซ์เชนจ์โครมาโตกราฟี

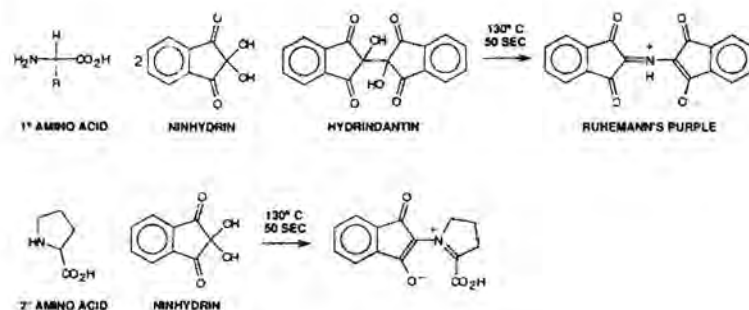
มีการพัฒนาวิธีวิเคราะห์กรดอะมิโนโดยเทคนิคไอออนเอ็กซ์เชนจ์โครมาโตกราฟี (IEC) แบบอัติโนมัติเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1958 โดยใช้คอลัมน์ที่ทำด้วยโพลีสไตรีน (sulfonated polystyrene resin) 2 คอลัมน์ สามารถควบคุมการแยกของกรดอะมิโนชนิดต่าง ๆ โดยปรับค่า pH และความเข้มข้นของสารละลายบัฟเฟอร์ของเกลือโซเดียมหรือลิเทียมที่เป็นเฟสเคลื่อนที่ 4-5 นาทีเพื่อให้ได้การแยกที่สมบูรณ์

การวิเคราะห์ต้องกระทำที่ละชิ้นและตอนอาจใช้เวลานานถึง 24 ชั่วโมงต่อสารตัวอย่าง ในปัจจุบันเครื่องวิเคราะห์กรดอะมิโนโดยเทคนิคนี้ได้มีการพัฒนาจนสามารถวิเคราะห์ได้รวดเร็วขึ้นมากและเทคนิคนี้ก็ยังคงใช้กันอยู่ในปัจจุบัน (12)

กลไกการแยกในคอลัมน์ IEC เกิดขึ้นได้หลายแบบพร้อม ๆ กันเช่น ion-exchange, partition, adsorption, size ion exclusion ดังนั้นจึงสามารถปรับสภาวะต่างๆ ของการแยกเช่น ความเข้มข้นของไอออนบวกของสารละลายบัฟเฟอร์, pH, อัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่, อุณหภูมิ ได้พร้อม ๆ กัน เพื่อช่วยให้เกิดการแยกที่ดีที่สุด เนื่องจากมีตัวแปรมากมายที่มีผลต่อการแยกในวิธี IEC การวิเคราะห์แบบ manual จึงทำได้ยาก โดยทั่วไปการวิเคราะห์จะใช้เครื่องอัตโนมัติที่สามารถควบคุมสภาวะทุกขั้นตอนได้

โดยทั่วไปอนุพันธ์เอมีนของกรดอะมิโนจะมีอยู่ประมาณ 40-60 ชนิด จึงจำเป็นที่จะต้องใช้สารละลายบัฟเฟอร์ 2 ระบบคือเกลือโซเดียมและเกลือลิเทียม นอกจากนั้นยังต้องใช้การปรับ pH ของเฟสเคลื่อนที่เพื่อช่วยแยกกรดอะมิโนออกได้เป็นกลุ่มตามชนิดหมู่ฟังก์ชัน ประจุ และ ค่า pKa ซึ่งจะมีอันตรกิริยากับเฟสคงที่แตกต่างทำให้สามารถแยกกรดอะมิโนออกจากกันได้ ในกรณีที่มีการเตรียมสารตัวอย่างด้วยกรด (hydrolysis) จะมีอนุพันธ์เอมีนของกรดอะมิโนเพียง 20 ชนิด ในการวิเคราะห์จึงสามารถใช้สารละลายบัฟเฟอร์ของเกลือลิเทียมเพียงชนิดเดียวได้และเวลาในการวิเคราะห์จะสั้นลงมาก การเปลี่ยนชนิดของสารละลายบัฟเฟอร์นี้เองที่ทำให้การวิเคราะห์กรดอะมิโนโดยวิธี IEC ใช้เวลานาน (13)

การตรวจวัดทำได้โดยการทำอนุพันธ์หลังผ่านคอลัมน์ (post column derivatization) กับ Ninhydrin ที่ 130-135 °C ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนปฐมภูมิและทุติยภูมิกลายเป็นอนุพันธ์ที่ดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 570 nm และ 440 nm ตามลำดับ ค่าคงที่ของการดูดกลืนแสงของอนุพันธ์ปฐมภูมิและทุติยภูมิมีค่าใกล้เคียงกันที่ 405 nm อย่างไรก็ตามอาจมีการรบกวนจากสัญญาณพื้นฐาน (baseline noise) มากกว่าความยาวคลื่นนี้ การใช้เทคนิคการหักลบสัญญาณรบกวน (background noise) ที่ความยาวคลื่น 690-750 nm มาช่วยเพิ่มความชัดของสัญญาณ (S/N) ได้ (14)



สารก่ออนุพันธ์หลังผ่านคอลัมน์ที่เป็นที่นิยมอีกชนิดหนึ่งคือ Orthophthalaldehyde (OPA) ซึ่งนิยมตรวจวัดด้วยเครื่องตรวจวัดชนิดเรืองแสง ซึ่งไวกว่าเครื่องตรวจวัดแบบอูลตราไวโอเล็ต อย่างไรก็ตามในการวิเคราะห์กรดอะมิโนด้วย OPA จะต้องเพิ่มกระบวนการออกซิไดซ์สารตัวอย่างขึ้นเพื่อให้กรดอะมิโนทุติยภูมิบางตัวเช่น โพรลีนและไฮโดรโพรลีนเกิดเป็นอนุพันธ์ isoindole ที่เรืองแสงได้ (15)

ในปัจจุบันมีเครื่องมือวิเคราะห์กรดอะมิโนโดยเทคนิค IEC ประสิทธิภาพสูงให้เลือกหลายชนิดเรียกว่า Amino Acid Analyzer เช่น Beckman System 6300 เป็นต้น ซึ่งเหมาะกับห้องปฏิบัติการที่วิเคราะห์โปรตีนและกรดอะมิโนเป็นจำนวนมาก อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ใช้เวลานานกว่าเทคนิคอื่น ๆ

ในปัจจุบันสามารถนำเครื่อง HPLC ทั่ว ๆ ไปที่สามารถปรับอัตราส่วนของเฟสเคลื่อนที่ (Gradient) มาใช้ในการวิเคราะห์โดยเทคนิค IEC ได้โดยปรับอัตราส่วนของสารละลายเฟสเคลื่อนที่ 3 ชนิดแบบต่อเนื่องเพื่อให้เกิดการแยกที่ดีที่สุดและเพื่อลดสัญญาณรบกวนในระบบ อย่างไรก็ตามการใช้สารละลายบัฟเฟอร์ที่กีดกรอนโลหะรวมทั้งการใช้สารก่อกวนพื้นฐานบางชนิดอาจก่อให้เกิดความเสียหายแก่เครื่อง HPLC และเครื่องตรวจวัดได้

วิธีการวิเคราะห์มาตรฐานสำหรับกรดอะมิโนในปัจจุบันเป็นวิธีการวิเคราะห์แบบ IEC โดยรวมวิธีมาตรฐานในการย่อยสลายโปรตีนตัวอย่างเข้าไว้ด้วย ข้อดีของเทคนิค IEC คือการเตรียมตัวอย่างไม่ยุ่งยากเพราะองค์ประกอบส่วนใหญ่ที่ไม่มีขั้วจะถูกชะออกไปจากคอลัมน์ก่อนจะเกิดการแยกของกรดอะมิโน

4.2.5. การวิเคราะห์กรดอะมิโนโดยเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโตกราฟี

เนื่องจากอุปกรณ์ในการวิเคราะห์กรดอะมิโนโดยวิธี IEC มีราคาสูง ได้มีผู้ทดลองนำเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโตกราฟี (TLC) มาใช้ในการวิเคราะห์กรดอะมิโน พบว่ามีค่าใช้จ่ายต่ำ และแม้ว่าจะต้องใช้แผ่นแยกขนาดใหญ่และยาวมีขั้นตอนซับซ้อน แต่ผลการวิเคราะห์เป็นที่น่าพอใจและใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์โดย IEC จนสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ประจำได้ (16, 17)

4.2.6. การวิเคราะห์กรดอะมิโนโดยเทคนิครีเวอร์สเฟสโครมาโตกราฟี

จากผลของการพัฒนาเฟสคงที่ (Stationary phase) ของคอลัมน์ประเภท reverse phase จนมีประสิทธิภาพในการแยกสารดีขึ้นมากและผลของการพัฒนาด้านการทำอนุพันธ์ (derivatization) ตลอดจนอุปกรณ์ HPLC ทำให้สามารถใช้เทคนิครีเวอร์สเฟสโครมาโตกราฟี (RPLC) ในการวิเคราะห์สารได้แทบทุกประเภทรวมทั้งกรดอะมิโนด้วย วิธีการวิเคราะห์กรดอะมิโนโดย RPLC นั้นนอกจากจะรวดเร็วกว่า IEC มากแล้วยังสามารถใช้ในการวิเคราะห์สารปริมาณน้อยได้ดีอีกด้วย (18)

เนื่องจากกรดอะมิโนเป็นสารที่มีขั้ว จึงจำเป็นต้องลดความเป็นขั้วของหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ ลงเพื่อให้เกิดการแยกขึ้นได้ในคอลัมน์แบบ RPLC ซึ่งอาจทำได้โดยการใช้สารละลายบัฟเฟอร์เป็นเฟสเคลื่อนที่เพื่อควบคุมประจุของหมู่ฟังก์ชันนั้นแต่วิธีการนี้ค่อนข้างยุ่งยากเพราะกรดอะมิโนมีหลายชนิดและต่างมีขั้วไม่เท่ากัน อีกทั้งการละลายของสารละลายบัฟเฟอร์ในตัวทำละลายอินทรีย์มีขีดจำกัด การเติมสาร Ion-pairing เพื่อปรับขั้วของหมู่ฟังก์ชันนั้นให้เป็นกลางก็เป็น วิธีที่นิยมใช้เหมือนกัน

วิธีที่นิยมกันมากที่สุดคือการเปลี่ยนกรดอะมิโนให้เป็นอนุพันธ์ที่เป็นกลางก่อนผ่านสารเข้าคอลัมน์ (pre-column derivatization) วิธีวิเคราะห์โดย RPLC นี้สามารถใช้วิเคราะห์โปรตีนตัวอย่างที่ผ่านการย่อยสลาย (Protein hydrolysate) แล้วเท่านั้น นอกจากนั้นยังต้องมีการเตรียมตัวอย่างที่ดีเพื่อให้เกิดการรบกวนจากองค์ประกอบอื่น ๆ น้อยที่สุด สารแปลกปลอมอื่น ๆ และตัวกลางต่างกันระหว่างสารตัวอย่างชนิดต่างๆจะมีผลต่อการวิเคราะห์โดย RPLC ทั้งสิ้น

เนื่องจากกรดอะมิโนส่วนใหญ่ดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 200 nm ซึ่งเป็นช่วงที่มีการแทรกซ้อนจากสารหลายชนิดโดยเฉพาะตัวทำละลาย ดังนั้นจึงนิยมเปลี่ยนกรดอะมิโนเป็นอนุพันธ์ใหม่ที่สามารถตรวจวัดได้แม่นยำและถูกต้อง โดยทั่วไปจะใช้วิธีทำอนุพันธ์ใหม่โดยเติมวงแหวนเบนซีนเข้าไปในกรดอะมิโนเดิมกลายเป็นอนุพันธ์ใหม่ที่สามารถตรวจวัดได้โดยเครื่องตรวจวัดแบบอูลตราไวโอเล็ต แบบ

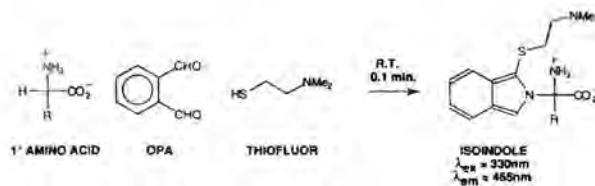
เรืองแสง หรือ แบบ voltammetry การทำอนุพัทธ์นั้นอาจเป็นแบบก่อนเข้าคอลัมน์ (pre-column derivatization) หรือหลังผ่านคอลัมน์ (post-column derivatization) ก็ได้ สารก่ออนุพัทธ์ที่นิยมใช้มีดังนี้ (19, 20)

4.2.6.1 Ninhydrin

เป็นสารก่ออนุพัทธ์ที่สามารถใช้ได้กับเทคนิค IEC และ RPLC แบบหลังผ่านคอลัมน์แล้วโดยกรดอะมิโนทุกตัวจะกลายเป็นอนุพัทธ์ใหม่ที่เหมือนกัน ปฏิกริยานี้เกิดขึ้นรวดเร็วมาก อย่างไรก็ตาม sensitivity ในการตรวจวัดจะคลาดเคลื่อนมากกรณีที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า 100 pmol ในปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์ที่เสถียรกว่า Ninhydrin แต่มี sensitivity ต่ำกว่าเล็กน้อยมีชื่อทางการค้าว่า Trione สารก่ออนุพัทธ์หลังผ่านคอลัมน์อื่น ๆ ที่นิยมใช้คือ fluorescamine และ o-phthalaldehyde

4.2.6.2 Orthophthalaldehyde (OPA)

OPA เป็นสารก่ออนุพัทธ์ที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์กรดอะมิโนเดี่ยว (free amino acid) โดย RPLC มากที่สุด OPA จะทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนปฐมภูมิในสภาวะที่มี thiol (2-mercaptoethanol หรือ ethanethiol) ให้สารอนุพัทธ์ที่เรืองแสง ปฏิกริยากับกรดอะมิโนทุติยภูมิจะเกิดขึ้นได้หลังจากกรดอะมิโนทุติยภูมิถูกออกซิไดซ์ก่อนด้วย sodium hypochlorite ในสภาวะต่าง สามารถใช้ OPA ในการทำอนุพัทธ์ได้ทั้งแบบก่อนและหลังสารผ่านคอลัมน์ การทำอนุพัทธ์ด้วย OPA นี้ให้ sensitivity สูงกว่า Ninhydrin ถึง 10 เท่า (21)



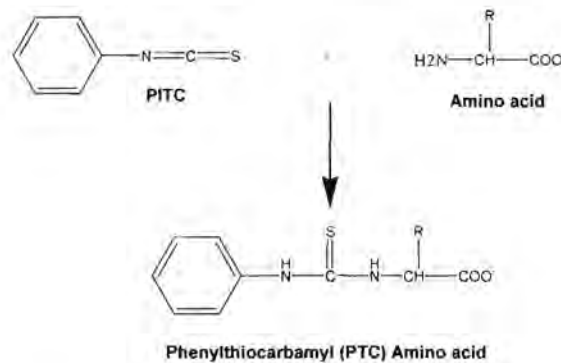
การทำอนุพัทธ์ด้วย OPA แบบก่อนผ่านคอลัมน์นั้นเกิดขึ้นรวดเร็วมากและสามารถดำเนินปฏิกิริยาได้ในตัวกลางที่เป็นน้ำ มีจำนวนขั้นตอนน้อยและให้สารอนุพัทธ์ของกรดอะมิโนที่เรืองแสงแรง นอกจากนี้การวิเคราะห์โดย RPLC จะสั้น เทียบตรงมากกว่าวิธี IEC และมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่า

การทำอนุพัทธ์ด้วย OPA แบบหลังผ่านคอลัมน์มีข้อเสียคือมีค่าสัญญาณตอบสนอง (response) สำหรับ ฮิสเตอีน, โลซีน และ ไฮดรอกซีโลซีน ต่ำ การวิเคราะห์กรดอะมิโนปฐมภูมิและทุติยภูมิต้องทำแยกกัน และอนุพัทธ์ใหม่ที่เกิดขึ้นไม่เสถียร

4.2.6.3 Phenylisothiocyanate (PITC)

PITC เป็นสารก่ออนุพัทธ์ในปฏิกิริยา Edman degradation ในการ sequence โปรตีนและเปปไทด์ ในปี ค.ศ. 1982 เริ่มมีผู้นำมาใช้ในการหาปริมาณกรดอะมิโน (22) ต่อมารายงานว่าการทำอนุพัทธ์โดย PITC นี้สามารถใช้วิเคราะห์กรดอะมิโนในปริมาณน้อยๆ ได้โดยตรง (23, 24) ข้อดีในการวิเคราะห์กรดอะมิโนโดยการทำอนุพัทธ์ด้วย PITC คือสามารถใช้เครื่อง HPLC ที่มีราคาถูกลงกว่า

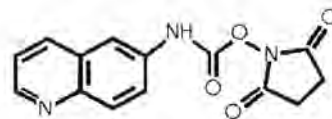
Amino Acid Analyzer อีกทั้งการบำรุงรักษาและค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ก็ถูกกว่าด้วย นอกจากนี้ PITC ยังเกิดปฏิกิริยาแบบหนึ่งต่อหนึ่งกับกรดอะมิโนเกือบทุกตัวยกเว้นซิสทีนและไลซีน



ทำให้ผลการวิเคราะห์แบบปริมาณมีความเที่ยงตรงสูง ปฏิกิริยาระหว่าง PITC และกรดอะมิโนนั้นเกิดขึ้นสมบูรณ์ภายใน 10 นาทีในสภาวะที่ไม่รุนแรง และรีเอเจนต์ที่เหลือจะระเหยได้ง่ายจึงไม่ก่อให้เกิดการแทรกแซงในการวิเคราะห์

อย่างไรก็ดีอนุพันธ์ของ PITC นั้นมีอายุประมาณ 1 ชม. ที่อุณหภูมิห้อง ดังนั้นการวิเคราะห์จึงควรทำหลังการทำอนุพันธ์ทันทีหรือเก็บสารตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าระหว่งรอการวิเคราะห์สามารถใช้เครื่องตรวจวัดชนิดเรืองแสงหรืออูลตราไวโอเล็ตในการวิเคราะห์อนุพันธ์ PITC ของกรดอะมิโนได้ แต่ sensitivity ในการตรวจวัดแบบอูลตราไวโอเล็ตจะต่ำกว่า PITC เป็นสารก่อกอนุพันธ์ที่ใช้แพร่หลายที่สุดในปัจจุบัน (25)

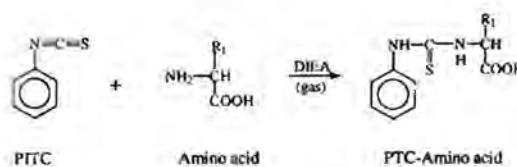
มีการศึกษา PITC และสังเคราะห์อนุพันธ์ใหม่ๆ เพื่อปรับปรุงการวิเคราะห์ของกรดอะมิโนให้ดีขึ้น โดยอนุพันธ์ใหม่ที่ใช้กันอย่างกว้างขวางได้มีการผลิตขึ้นจำหน่ายโดยบริษัท Waters สหรัฐอเมริกาภายใต้ชื่อทางการค้าว่า AccQFluor (ACQ) ซึ่งเป็นสารก่อกอนุพันธ์ชนิดเอมีนที่มีโครงสร้างดังรูป (26)



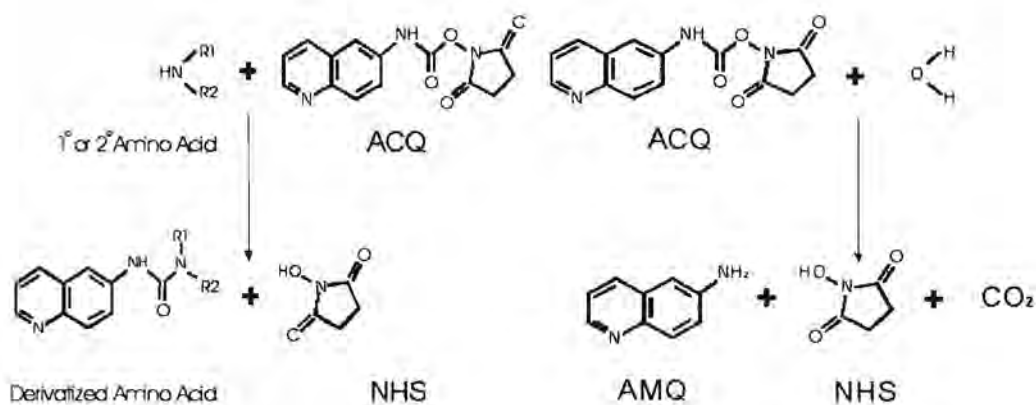
Waters AccQ-Fluor Reagent

(6-aminoquinolyl-N-hydrozysuccinimidyl carbamate, or ACQ)

ACQ จะทำอนุพันธ์กับกรดอะมิโนปฐมภูมิและทุติยภูมิให้เป็นอนุพันธ์ของยูเรียที่สามารถเก็บไว้ได้นานถึง 1 ปีและสามารถตรวจวัดการเรืองแสงได้ที่ 395 nm (27)



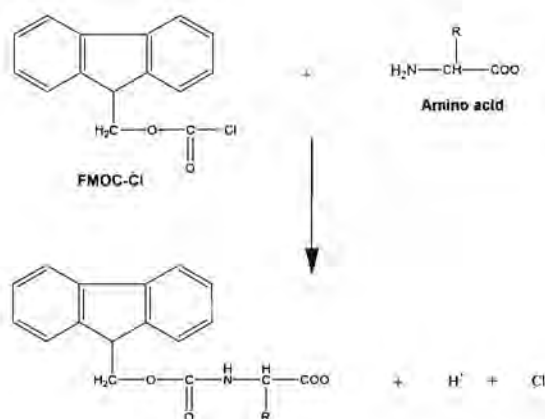
ACQ เหมาะสำหรับการวิเคราะห์กรดอะมิโนในตัวอย่างที่ต้องผ่านการย่อย (hydrolysis) เนื่องจากผลิตภัณฑ์จากกระบวนการย่อยสลายของ ACQ ไม่รบกวนการวิเคราะห์โดย RPLC สามารถตรวจวัดได้อย่างถูกต้องโดยเครื่องตรวจวัดชนิดเรืองแสงหรืออูลตราไวโอเล็ต



4.2.6.4 9-Fluorenylmethyl Chloroformate (FMOC)

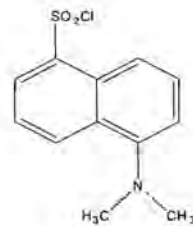
FMOC เดิมเป็น protective agent ในการสังเคราะห์เปปไทด์หรือใช้ในการ label กรดอะมิโนโปรมูมิและทุติยภูมิ มีผู้เริ่มนำ FMOC มาใช้ในการทำอนุพันธ์กรดอะมิโนแบบก่อนผ่านคอลัมน์โดย RPLC เป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1983 (28) โดยอนุพันธ์ของกรดอะมิโนที่เกิดขึ้นทั้งจากกรดอะมิโนโปรมูมิและทุติยภูมิต่างให้สัญญาณตอบสนอง (response) ใกล้เคียงกัน ปฏิกิริยาการทำอนุพันธ์เกิดขึ้นรวดเร็วภายใน 1 นาทีที่อุณหภูมิห้อง และอนุพันธ์ที่เกิดขึ้นมีเสถียรภาพดี

เนื่องจาก FMOC เรืองแสงตามธรรมชาติ อนุพันธ์ต่างๆที่เกิดขึ้นจึงเรืองแสงทั้งหมด ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการสกัดผลิตภัณฑ์จากการ hydrolysis ออกก่อนเพื่อลดการแทรกแซงในการวิเคราะห์ โดยทั่วไปใช้วิธีสกัดหลังการทำอนุพันธ์ด้วย เพนเทน



4.2.6.5 Dansyl Chloride และ Dabsyl Chloride

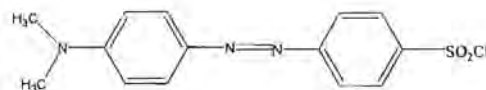
Dansyl Chloride (Dns-Cl) สามารถเกิดอนุพันธ์ได้กับกรดอะมิโนปฐมภูมิและทุติยภูมิให้ผลิตภัณฑ์ที่เรืองแสงที่ 360 nm และดูดกลืนแสงที่ 250 nm สามารถตรวจวัดได้ดีที่ความเข้มข้นต่ำ ปฏิกิริยาอนุพันธ์เกิดสมบูรณ์ในสภาวะไร้ออกซิเจนที่อุณหภูมิห้องในเวลาประมาณ 35-50 นาที และปฏิกิริยาจะเกิดเร็วขึ้นที่ 100 °C โดยทั่วไปกรดอะมิโนจะทำปฏิกิริยากับ Dns-Cl ในอัตราส่วน 1:1 ยกเว้นไลซีน, ออร์นิติน, ฮิสติดีน, ไทโรซีน และซิสทีน จะทำปฏิกิริยาแบบ 1:2 กับ Dns-Cl ในบางสภาวะ ฮิสติดีนอาจเกิดอนุพันธ์ได้มากมาย (29, 30)



Dansyl chloride

Dabsyl Chloride (DABS-Cl) เดิมเป็นสาร chromophoric label สำหรับกรดอะมิโน โพรตีนและเปปไทด์ มีคุณสมบัติเด่นคืออนุพันธ์ของ DABS-Cl สามารถดูดกลืนแสงได้ดีมากที่สุดที่ 420 nm ($\epsilon_{\text{max}} = 40,000 \text{ l/mol}$) มีเสถียรภาพสูงและสามารถแยกได้ดีด้วย RPLC

DABS-Cl ทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนปฐมภูมิและทุติยภูมิอย่างเป็นสัดส่วนทำให้สามารถทำปริมาณวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ อนุพันธ์ที่เกิดขึ้นมีเสถียรภาพสูงที่สุดเมื่อเทียบกับปฏิกิริยาอื่น ๆ และสามารถทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องได้นานถึง 1 เดือน ข้อจำกัดสำคัญคือสภาวะของปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับค่า pH ของตัวกลางการเปลี่ยนสภาวะใดๆที่มีผลต่อ pH จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดไม่สมบูรณ์และส่งผลถึงการวิเคราะห์ (31)



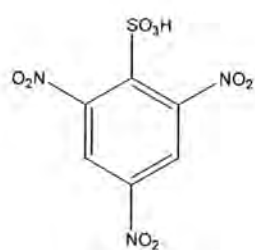
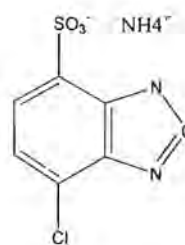
Dabsyl chloride

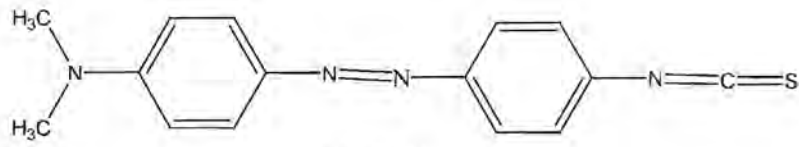
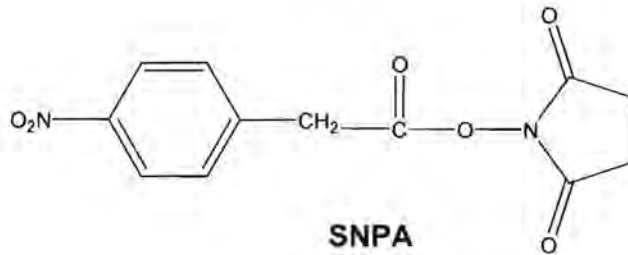
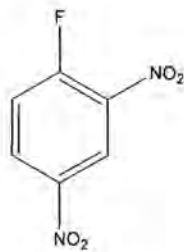
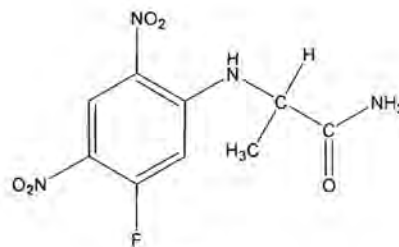
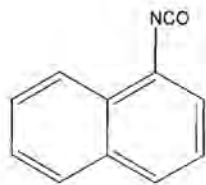
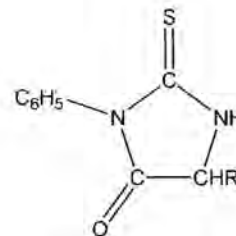
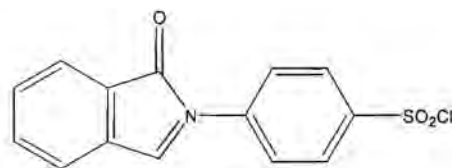
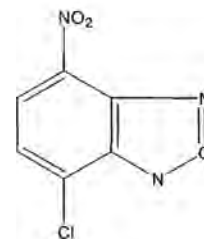
4.2.6.6 สารทำอนุพันธ์อื่น ๆ

นอกจากสารทำอนุพันธ์ที่ใช้กันโดยทั่วไปดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้นยังมีสารทำอนุพันธ์อื่นๆที่ใช้กันบ้างอย่างไม่กว้างขวางดังนี้ (32)

- 2,4,6-Trinitrobenzene-sulfonic acid (TNBSA)
- Ammonium-4-chloro-7-sulfobenzofurazan (SBF-Cl)
- 1-Fluoro-2,4-Dimethylaminoazobenzene-4'-isothiocyanate (DABITC)
- N-succinimidyl-p-nitrophenylacetate (SNPA)
- 1-Fluoro-2,4-dinitrophenyl-5-L-alanine amide (FDAA)

- 1-Naphthylisocyanate
- 1,2-Diamino-4,5-dimethoxybenzene (DDB)
- Phenylthiohydantoin (PTH)
- Phthalimidylbenzene sulfonyl chloride (Phisyl-Cl)
- 4-Chloro-7-nitrobenzofurazan (NBD-Cl)
- 4-Nitrophenylisothiocyanate (NPITC)

**TNBSA****SBF-Cl**

**DABITC****SNPA****FDNB****FDAA****1-Naphthylisocyanate****PTH-Amino acid****Phisyl-Cl****NBD-Cl**

4.3. การเตรียมตัวอย่าง

การย่อยสลายสายโปรตีนหรือเปปไทด์เพื่อให้องค์ประกอบกรดอะมิโนอยู่ในสภาพอิสระนั้นเป็นส่วนสำคัญในการวิเคราะห์กรดอะมิโนทั้งหมด การย่อยที่มีประสิทธิภาพจะต้องสามารถทำลายพันธะเปปไทด์ทุกอันในสายโปรตีนเพื่อปล่อยกรดอะมิโนให้อยู่ในรูปอิสระและสภาวะในการย่อยจะต้องไม่ทำลายกรดอะมิโนอิสระเหล่านี้ด้วยเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องที่สุด วิธีการย่อยที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบันคือ ปฏิกิริยา hydrolysis ใน 6M HCl ที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 18-24 ชม. อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ไม่เหมาะสมในการเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ทริปโตเฟน (33) เนื่องจากกรดอะมิโนมีคุณสมบัติแตกต่างกันมากมาย การย่อยโดย HCl จึงมีข้อจำกัดดังนี้ (34)

1. กรดอะมิโนไอโซลิวซีนและวาเลอีนจะถูกย่อยออกจากสายโปรตีนหรือเปปไทด์ได้ง่ายที่สุด
2. กรดอะมิโนทรีโอนีนและซีรีนจะถูกทำลายในการย่อยด้วย HCl
3. กรดอะมิโนซิสทีน ซิสเตอีนและเมทไทโอนีน อาจถูกทำลายเป็นบางส่วนโดยขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกลาง (sample matrix)
4. กรดอะมิโนไทโรซีนอาจถูกออกซิไดส์โดยตัวออกซิไดส์แล้วกลายเป็นอนุพันธ์คลอรีนเช่น 3-chlorotyrosine
5. กรดอะมิโนทริปโตเฟนจะถูกทำลายทั้งหมด ส่วนกรดอะมิโนแอสพาราจีนและกลูตามีนอาจกลายเป็นอนุพันธ์กรดบางส่วนเช่น กรดแอสพาทิกและกรดกลูตามิก

4.4. การเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์ซิสทีนและเมทไทโอนีน

โดยทั่วไปวิธีการย่อยโปรตีนโดย HCl ไม่เหมาะสมในการวิเคราะห์ซิสทีนและเมทไทโอนีนซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบและเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นอีกด้วย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากซิสทีนและเมทไทโอนีนมีปริมาณต่ำในโปรตีนและพันธะ S-S ที่ทำให้คุณสมบัติทางเคมีของซิสทีนและเมทไทโอนีนต่างจากกรดอะมิโนอื่นๆ

วิธีการในการย่อยสลายโปรตีนที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ซิสทีนและเมทไทโอนีนมีดังนี้คือ การออกซิไดส์โดยกรดเพอร์ฟอริกซึ่งเหมาะสมในการวิเคราะห์อาหารและอาหารสัตว์ (35) การออกซิไดส์โดยกรดเพอร์ฟอริกตามด้วยการย่อยโดย 6M HCl (36, 37, 38) การเติม Mercaptoethanol ลงใน 6M HCl ก่อนเพื่อป้องกันมิให้เมทไทโอนีนถูกออกซิไดส์เป็นเมทไทโอนีนซัลฟอกไซด์ นอกจากนี้การเตรียมตัวอย่างอาจทำได้โดยเอนไซม์ สารละลายต่าง หรือเทคนิคใหม่เช่น ไมโครเวฟ (39)

4.5. การเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์ทริปโตเฟน

เนื่องจากกรดอะมิโนทริปโตเฟนจะสลายตัวในสภาวะกรด ดังนั้นการย่อยสายโปรตีนด้วย 6M HCl จึงไม่เหมาะสม โดยปรกติการเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ทริปโตเฟนจะทำโดยสารละลายต่างหรือเอนไซม์แทน นอกจากนี้ยังอาจใช้สารเคมีบางชนิดเติมลงไปเพื่อป้องกันการสลายตัวของทริปโตเฟนเช่น dodecanethinol (40), Thioglycolic acid (41)

สารละลายต่างที่ใช้ในการย่อยคือ 6M NaOH และ Maltodextrin (42), 4.2M NaOH (43, 44), 4M LiOH (45) และ BaOH (46) อย่างไรก็ตามก็ตีวิธีการเตรียมตัวอย่างที่อ้างถึงนี้ต่างมีข้อดีและข้อเสีย ดังนั้นจึงควรเลือกวิธีการที่เหมาะสมกับสารตัวอย่างมากที่สุด

4.6. การเตรียมตัวอย่างสำหรับอาหาร

เนื่องจากอาหารประกอบด้วยองค์ประกอบอื่นๆที่แทรกแซงการวิเคราะห์กรดอะมิโน กระบวนการย่อยสลายดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นไม่เพียงพอในการเตรียมสารตัวอย่างที่สะอาดพอเพื่อการวิเคราะห์กรดอะมิโนและจะต้องมีวิธีการจัดการต่อเพื่อให้ตัวอย่างสะอาดที่สุด การวิเคราะห์ตัวอย่างที่ไม่สะอาดพอนั้นนอกจากอาจเกิดการแทรกแซงในการวิเคราะห์แล้วยังจะทำให้อุปกรณ์เสื่อมสภาพเช่นเกิดการอุดตันของคอลัมน์ การเสื่อมสภาพของเฟสคงที่ของคอลัมน์เร็วกว่าปกติ การที่ flow cell ของเครื่องตรวจวัดสเปกตรัมทำให้อ่านสัญญาณได้ต่ำกว่าที่ควร เป็นต้น ดังนั้นในการวิเคราะห์อาหารจึงจำเป็นต้องมีขั้นตอนการ Clean-up ก่อนการวิเคราะห์จริง

ปัญหาการปนเปื้อนที่กระบวนการย่อยสารตัวอย่างเบื้องต้นไม่อาจแก้ปัญหาได้ส่วนใหญ่เกิดจากองค์ประกอบที่มีขนาดใหญ่เช่น โปรตีนและไขมัน ซึ่งสามารถกำจัดได้หลายวิธีเช่น การทำให้ตกตะกอนทางเคมีแยกออกมาโดยกรดฟอสฟอริกหรือกรกซัลโฟซาลิซิลิก (SSA) ข้อได้เปรียบของ SSA คือสามารถนำสารละลายไปวิเคราะห์กรดอะมิโนได้เลยเพราะ SSA จะไม่รบกวนการวิเคราะห์ทั้งแบบ IEC และ RPLC มีการนำตัวทำละลายอินทรีย์เช่น เมทานอล เอทานอลและ อะซิโตนไนไตรด์ มาใช้ตกตะกอนโปรตีนเหมือนกัน (47)

การแยกทางกายภาพที่ใช้กันมากในการ clean-up คือ การหมุนเหวี่ยง ซึ่งสามารถใช้ได้ทั้งแบบ high-speed centrifugation หรือ ultrafiltration ก็ได้ นอกจากนั้นยังมีการนำเทคนิค IEC มาช่วยในการ clean-up หรือการใช้คอลัมน์สำเร็จรูปเช่น Sep-Pak C18 ของบริษัท Waters ประเทศสหรัฐอเมริกา ในการแยกสารแปลกปลอมอื่นๆออกไป (48)

4.7. เอกสารอ้างอิง

1. *Nutritional Evaluation of Protein Foods*; Pellett, P. L. and Young, V. R., Eds.; The United Nations University, 1980; WHTR-3/UNUP-129 ISBN 92-808-0129-5.
2. *The Concise Encyclopaedia of Foods and Nutrition*; Ensminger and Ensminger, Eds., CRC, 1995.
3. *Food Analysis-Theory and Practice 3rd Ed.*, Pomeranz, Y. and Meloan, C. E., Eds., Chapman & Hall 1994, Chapter 38.
4. *Developments in Food Analysis Techniques*, King, R. D., Ed., Applied Science, London 1978.
5. *Amino Acid Analysis by Gas Chromatography, vols. I-III*, Zumwalt, R. D., Kuo, K. C. T., Gehrke, C. W., Eds., CRC Press, Boca Raton, Florida, 1987.
6. *Lab Today*, ตุลาคม 2545, 84.
7. Simek, P., Heydova, A., Jegorov, A. *J. High Resolut. Chromatogr.*, 1994, 17, 145.
8. Molnar-Perl, I., Katona, Z. F., *Chromatographia*, 2000, 51, 228.
9. Duncan, M. W., Poljak, A., *Anal. Chem.*, 1998, 70, 890
10. *Amino Acid Analysis by Gas Chromatography, vols. I-III*, Zumwalt, R. D., Kuo, K. C. T., Gehrke, C. W., Eds., CRC Press, Boca Raton, Florida, 1987; p. 93.
11. Kataoka, H., Matsumura, S., and Makita, M., *J. Pharm. Biomed. Anal.* 1997, 15, 1271.
12. *Food Analysis by HPLC*, Nollet, L. M., Ed., Marcel Dekker 1992, Chapter 3
13. http://www.pickeringlabs.com/lib/primers/aa_analysis
14. Harduf, Z., *J. Chromatogr.*, 1986, 363, 261.
15. Ashworth, R. B., *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, 1987, 70, 248.
16. Heathcote, J. G., Haworth, C., *J. Chromat.*, 1969, 43, 84.
17. Kelley, J. F., *Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1971, 96, 561.
18. *Food Analysis by HPLC*, Nollet, L. M., Ed., Marcel Dekker 1992, Chapter 3
19. *Food Analysis by HPLC*, Nollet, L. M., Ed., Marcel Dekker 1992, Chapter 2.
20. *Modern Derivatization Methods for Separation Sciences*, Toyooka, T., John Wiley & Sons, 1999, Chapter 2, 3.
21. http://www.pickeringlabs.com/catalog/49_50_aaa_reagent_conds.htm
22. Koop, D. R., Morgan, E. T., Tarr, G. E., Coon, M. J., *J. Biol. Chem.*, 1982, 257, 8472.
23. Bidlingmeyer, B. A., Cohen, S. A., Tarvin, T. L., *J. Chromatogr.*, 1984, 336, 93.
24. Heinrikson, R. L., Meredith, S. C., *Anal. Biochem.*, 1985, 136, 65.
25. Molnar-Perl, I., *J. Chromatogr. A*, 1994, 661, 43.
26. Bidlingmeyer, B. A., Cohen, S. A., Tarvin, T. L., (1984), *J. Chromatogr.*, 1984, 336, 93.

27. http://www.waters.com/WatersDivision/waters_website/Applications/accqtag/acq2.asp
28. Einarsson, S., Josefsson, B., Lagerkvist, S., *J. Chromatogr.*, **1983**, 282, 609.
29. Martin, P., Polo, C., Cabezudo, M.D., Dabrio, M. V., *J. Chromatogr.*, **1984**, 7, 539.
30. De Jong, C., Hughes, G. J., Van Wieringen, E., Wilson, K. J., *J. Chromatogr.*, **1982**, 241, 345.
31. Knecht, R., Chang, J. Y., *Anal. Chem.*, **1986**, 58, 2375.
32. *Food Analysis by HPLC*, Nollet, L. M., Ed., Marcel Dekker 1992, p. 65-72.
33. *HPLC in Food Analysis*, Macrae, R., Ed., Academic Press, 1982, Chapter 12
34. *Food Analysis by HPLC*, Nollet, L. M., Ed., Marcel Dekker 1992, Chapter 3
35. Moore, S., *J. Biol. Chem.*, **1963**, 238(1), 235.
36. MacDonald, J. L., Krueger, M. W., Keller, J. H., *J. Assoc. Off. Anal Chem.*, **1985**, 68(5), 826.
37. Zumwalt, R. W., Absheer, J. S., Kaiser, F. E., Gehrke, C. W., *J. Assoc. Off. Anal Chem.*, **1987**, 70(1), 147.
38. Gehrke, C. W., Rexford, P. R., Schisla, R. M., Absheer, J. S., Zumwalt, R. W., *J. Assoc. Off. Anal Chem.*, **1987**, 70(1), 171.
39. Woodward, C., Gilman, L. B., Engelhart, W. G., *Int. Laboratory*, **1990**, 20(7), 40.
40. *Techniques in Protein Chemistry*, Angeletti, R. H., Ed., Academic Press, Vol. 4, p. 279-288.
41. Yano, H. et al. *J. Biochem.*, **1990**, 108, 579.
42. Jones, A. D., Hitchcock, C. H. S., Jones, G. H., *Analyst*, **1981**, 106, 968.
43. Sato, H. et al., *J. Agri. Biol. Chem.*, **1984**, 48(12), 2916.
44. Allred, M. C., MacDonald, J. L., *J. Assoc. Off. Anal Chem.*, **1988**, 71(3), 603.
45. Lucas, B., Sotelo, A., *Anal. Biochem.*, **1980**, 109, 192.
46. Landry, J., Delhay, S., Viroben, G., *J. Agri. Fd. Chem.*, **1988**, 36, 51.
47. *Food Analysis by HPLC*, Nollet, L. M., Ed., Marcel Dekker 1992, Chapter 3
48. http://www.waters.com/watersdivision/waters_website/chemistry/sam_prep/

บทที่ 5. ข้อมูลจากการทดลองเบื้องต้น: การเกิดเจลของแป้ง

ดร. จีรารัตน์ ทัดติยกุล

ดร. พาสวดี ประทีปะเสน

5.1. การสืบเอกสาร

สมบัติทางการไหลของน้ำแป้งสุกในภาวะที่มีความเข้มข้นต่ำขึ้นกับสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้ง เช่น ขนาดเม็ดแป้ง สัดส่วนระหว่างปริมาณอะมิโลสและอะมิโลเพกติน การจัดวางตัวของพอลิเมอร์ทั้งสอง และสมบัติในระดับจุลภาคของพอลิเมอร์ทั้งสอง เช่น น้ำหนักโมเลกุล การวัดสมบัติของน้ำแป้งในระหว่างที่เกิดเจลจึงสามารถใช้เป็นดัชนีที่บ่งคุณภาพของแป้งได้ เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาสมบัติในระหว่างการเกิดเจลของน้ำแป้งในอุตสาหกรรมแป้งคือ viscometer แบบต่างๆ ที่เป็นที่ยอมรับมากคือ Brabeder Viscoamylograph (Brabeder Duisberg, Germany) (Dengate, 1984) และ Rapid Visco-Analyzer (RVA) (Newport Scientific Pty. Ltd., Warriewood, Australia) (Deffenbaugh and Walker, 1989)

นักวิจัยหลายท่านได้ทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางการไหลในระหว่างเกิดเจลและลักษณะจำเพาะของแป้ง และได้ข้อสรุปว่า ความแตกต่างของค่าความสามารถในการพองตัวของเม็ดแป้งที่ส่งผลถึงระดับความหนืด อุณหภูมิที่เกิดความหนืดสูงสุด ความหนืดสูงสุด และการลดลงของความหนืดในระหว่างการกวนในแป้งชนิดต่างๆ เป็นผลเนื่องมาจากความแตกต่างของปริมาณอะมิโลเพกติน (Ring และ Stainby, 1985; Doubler และคณะ, 1987; Hoseneey, 1994; Bahnassey และ Breene, 1994) ในขณะที่ความแตกต่างของความหนืดสุดท้ายและค่า setback ในระหว่างการทดสอบ และความแข็งแรงของเจลแป้งในระหว่างการเก็บเป็นผลสืบเนื่องมาจากปริมาณอะมิโลสและอะมิโลเพกตินตามลำดับ (Ott และ Hester, 1965; Leloup และคณะ, 1991; Vasanthan และ Hoover, 1992)

Mua และ Jackson (1997) ได้ทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงหน้าที่ของเจลแป้งที่วิเคราะห์โดย RVA และโครงสร้างในระดับโมเลกุลของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินของแป้งข้าวโพด พบว่า อะมิโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนัก (M_w) $1.36-2.47 \times 10^5$ number average Degree of Polymerization (DP) เท่ากับ 500-1000 และมีกิ่ง (branch point) 0-1 กิ่งต่อ 1000 glucose unit ให้เจลที่ไม่มี peak viscosity แต่เจลที่ได้มีค่า setback และค่าความหนืดสุดท้ายสูงกว่า รวมทั้งยังมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บมากกว่าอะมิโลสที่มี M_w ต่ำกว่า ส่วนอะมิโลเพกตินที่มี M_w ต่ำ ($7.08-7.89 \times 10^7$ number average Degree of Polymerization (DP) เท่ากับ 15-18) มีกิ่งมากกว่า 1.5 กิ่งต่อ 1000 glucose unit และมีค่าความเป็นผลึกมากกว่าร้อยละ 28 จะให้เจลที่มี peak viscosity ชัดเจน แต่มีค่าต่ำกว่า และอุณหภูมิที่เจลมีความหนืดสูงสุดมีค่าสูงกว่าอะมิโลเพกตินที่มี M_w สูงกว่า เจลของอะมิโลเพกตินอะมิโลเพกตินที่มี M_w ต่ำจะมีความแข็งแรงต่ำกว่า แต่มีความเสถียรต่อการกวนมากกว่าเจลของอะมิโลเพกตินที่มี M_w สูงกว่า เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันในระหว่างการเก็บ พบว่า เจลของอะมิโลเพกตินที่มี M_w ต่ำกว่าจะเกิดการคืนตัว (retrogradation) มากกว่าเจลของอะมิโลเพกตินที่มี M_w สูงกว่า (ตารางที่ 5.1)

ตารางที่ 5.1 สมบัติทางความหนืดในระหว่างการเกิดเจล วัดโดยใช้ Rapid Visco-Analyzer (RVA)

ตัวอย่าง	M _w	Branching ratio	ค่าความเป็นผลึก (%)	Peak viscosity (RVU)	Breakdown (RVU)	Final viscosity (RVU)	Setback (RVU)	Peak time (min)	Peak temp (°C)
Amylose2	4.89×10 ⁵	0.3372	24	*	-	500.45	500.45	-	-
Amylose4	2.47×10 ⁵	0.8456	13	*	-	211.89	176.03	-	-
Amylose1	1.36×10 ⁵	0.3350	22	*	-	129.57	129.57	-	-
Amylose5	1.15×10 ⁵	0.6848	18	*	-	41.40	22.47	-	-
Amylose6	1.06×10 ⁵	0.7339	15	*	-	47.26	30.58	-	-
Amylose3	1.03×10 ⁵	1.0480	18	*	-	31.98	22.69	-	-
Amylopectin1	9.88×10 ⁷	2.0182	21	435.53	364.36	28.69	23.57	1.53	50.17
Amylopectin2	8.94×10 ⁷	1.4907	17	444.83	430.39	93.75	10.75	1.74	50.22
Amylopectin3	7.98×10 ⁷	4.3483	28	195.87	51.43	268.01	123.57	9.00	95.00
Amylopectin4	7.63×10 ⁷	2.9391	30	220.04	153.34	249.83	138.17	7.62	95.21
Amylopectin5	7.08×10 ⁷	1.5770	36	274.65	108.39	367.01	245.70	7.33	93.57

* ตัวอย่างไม่มี peak ** คิดเป็นร้อยละของ peak viscosity *** คิดเป็นร้อยละของ through viscosity

5.2. การทดลองเบื้องต้น

แป้งและสตาร์ชที่ผลิตได้จากพืชให้แป้งที่มีอยู่ในประเทศไทย ได้ถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติในระหว่างการเกิดเจลโดยใช้เครื่อง RVA ตามสภาวะการทดลองในตารางที่ 4.2 ตัวอย่างที่ใช้ในการวัด ประกอบด้วยแป้งแห้ง 3 กรัม และน้ำ 25 มิลลิลิตร

ตารางที่ 5.2 สภาวะการทดลองแบบ STD1

เวลา	ตัวแปรของเครื่องมือ	ค่า
00:00:00	Temp	50°C
00:00:00	Speed	960 rpm
00:00:10	Speed	160 rpm
00:01:00	Temp	50°C
00:04:42	Temp	95°C
00:07:12	Temp	95°C
00:11:00	Temp	50°C

Idle temperature: 50 ± 1°C

ระยะเวลาในการทดสอบ: 13 นาที

ระยะห่างของการอ่านค่า: 4 วินาที

ตารางที่ 5.3 สมบัติทางความหนืดในระหว่างการเกิดเจลวัดโดยใช้ Rapid Visco-Analyzer (RVA)

ตัวอย่าง	Peak viscosity (RVU)	Trough viscosity (RVU)	Breakdown		Final viscosity (RVU)	Setback		Peak time (min)	Pasting temp (°C)
			(RVU)	%**		(RVU)	%***		
B234 แป้งท้าวยายม่อม จากร้านชุกดิน	21±1	6±0	14±0	66.7	12±1	6±1	100.0	3.50±0.02	75.15±0.00
A123 แป้งท้าวยายม่อม พันธุ์ก้านม่วง	340±3	124±3	216±7	63.5	223±2	100±2	80.6	3.50±0.02	72.25±0.21
C345 แป้งท้าวยายม่อม พันธุ์ก้านเขียว	308±6	109±8	199±2	64.6	216±5	107±3	98.2	3.44±0.02	69.73±6.61
D456 แป้งท้าว(rough 5%) ที่วางขายทั่วไป	202±1	62±1	140±0	69.3	101±1	39±0	62.9	3.96±0.02	72.70±0.28
A23 แป้งข้าวเหนียวพันธุ์ข6 จากการไม่เปียก ชั้นที่ 1	267±4	139±2	128±2	47.9	160±1	21±0	15.1	3.57±0.02	68.35±0.28
B68 แป้งข้าวเหนียวพันธุ์ข6 จากการไม่เปียก ชั้นที่ 2	270±1	142±1	128±0	47.4	163±1	21±0	14.8	3.52±0.09	68.15±2.19
C57 แป้งข้าวเหนียวพันธุ์ข6 จากการไม่เปียก ชั้นที่ 3	266±2	137±3	130±1	48.9	158±2	21±1	15.3	3.58±0.05	68.60±0.28
C011 แป้งข้าวเหนียวไม่น้ำทางการค้า ตราช้างสามเศียร ชั้นที่ 1	272±5	141±0	131±5	48.2	180±2	39±2	27.7	3.58±0.00	67.03±1.03
C022 แป้งข้าวเหนียวไม่น้ำทางการค้า ตราช้างสามเศียร ชั้นที่ 2	223±2	109±3	114±1	51.1	143±1	35±1	32.1	3.60±0.07	68.25±0.07
C033 แป้งข้าวเหนียวไม่น้ำทางการค้า ตราช้างสามเศียร ชั้นที่ 3	288±1	149±2	139±0	48.3	193±1	43±1	28.9	3.58±0.14	68.70±0.49
A89 แป้งข้าวเหนียวพันธุ์ข6 จากการไม่ผสม ชั้นที่ 1	234±2	162±2	71±0	30.3	186±4	24±2	14.8	4.07±0.00	63.03±9.93
B53 แป้งข้าวเหนียวพันธุ์ข6 จากการไม่ผสม ชั้นที่ 2	227±3	158±0	69±3	30.4	183±1	25±2	15.8	4.11±0.05	71.70±0.57

ตารางที่ 5.3 สมบัติทางความหนืดในระหว่างการเกิดเจลวัดโดยใช้ Rapid Visco-Analyzer (RVA) (ต่อ)

ตัวอย่าง	Peak viscosity (RVU)	Trough viscosity (RVU)	Breakdown		Final viscosity (RVU)	Setback		Peak time (min)	Pasting temp (°C)
			(RVU)	%**		(RVU)	%***		
C80 แป้งข้าวเหนียวพันธุ์ข6 จากการไม่ผสม ข้าที่ 3	224±1	160±1	64±0	28.6	182±1	22±0	13.8	4.10±0.05	62.40±13.36
A41 แป้งข้าวเหนียวพันธุ์ข6 จากการไม่แห้ง ข้าที่ 1	170±1	123±0	47±1	27.6	145±0	22±0	17.9	4.15±0.07	70.90±0.64
B30 แป้งข้าวเหนียวพันธุ์ข6 จากการไม่แห้ง ข้าที่ 2	171±2	123±1	47±1	27.5	144±1	21±0	17.1	4.22±0.02	67.75±1.06
C96 แป้งข้าวเหนียวพันธุ์ข6 จากการไม่แห้ง ข้าที่ 3	170±2	122±2	48±1	28.2	143±3	20±1	16.4	4.12±0.07	66.90±5.87
AB111 แป้งถั่วเขียว จากบ. ไทยวาฟูดโปรดักส์ จำกัด	251±1	217±5	34±6	13.5	377±2	160±3	73.7	5.12±0.09	79.58±0.04
AB112 แป้งถั่วเขียว จากบ. สิทธิพันธ์ จำกัด	347±1	235±0	112±1	32.3	469±4	234±4	99.6	4.20±0.00	73.93±3.57
AB113 แป้งถั่วเขียว จากบ. สิทธิพันธ์ จำกัด	235±1	117±1	118±1	50.2	253±3	136±2	116.2	3.81±0.05	73.40±0.07
285 ฟลาวจากกลอยข้าวเจ้า	351±3	302±5	49±7	14.0	378±2	77±3	25.5	5.80±0.09	79.25±0.00
316 สตาร์ชจากกลอยข้าวเจ้า	359±2	298±2	61±1	17.0	390±1	91±4	30.5	5.50±0.05	79.63±0.53
463 ฟลาวจากกลอยข้าวเหนียว	375±3	301±0	74±3	19.7	398±2	97±2	32.2	5.40±0.10	79.08±0.04
527 สตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียว	361±1	285±3	76±1	21.1	377±3	92±0	32.3	5.63±0.05	78.33±0.04
TDF044 ฟลาวจากเผือก (ไม่แห้ง)	133±4	101±2	33±2	24.8	137±2	36±0	35.6	4.87±0.19	83.20±1.13
TF114 ฟลาวจากเผือก (ไม่เปียก)	269±6	141±2	127±4	47.2	202±3	61±2	43.3	4.70±0.05	81.60±0.07
TSB224 สตาร์ชจากเผือก (ไม่เปียก)	235±0	142±0	93±0	39.6	194±0	52±0	36.6	4.77±0.05	83.13±0.04

ตารางที่ 5.3 สมบัติทางความหนืดในระหว่างการเกิดเจลวัดโดยใช้ Rapid Visco-Analyzer (RVA) (ต่อ)

ตัวอย่าง	Peak viscosity (RVU)	Trough viscosity (RVU)	Breakdown		Final viscosity (RVU)	Setback		Peak time (min)	Pasting temp (°C)
			(RVU)	%**		(RVU)	%***		
TSF145 สตาร์ชจากเผือก (ไม่เปียก, แยกโปรตีนโดย 0.1% NaOH)	189±5	116±3	73±2	38.6	166±4	50±1	43.1	4.57±0.05	81.60±0.00
TSR145 สตาร์ชจากเผือก (ไม่เปียก, แยกโปรตีนโดยการล้างน้ำ)	245±1	128±2	117±1	47.8	183±2	54±0	42.2	4.87±0.00	81.50±0.00
101 แป้งข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1	119±1	75±1	44±0	37.0	184±1	109±0	145.3	5.20±0.00	76.33±0.60
423 แป้งข้าวเจ้าพันธุ์ กข.23	176±1	107±1	69±3	39.2	277±2	171±1	159.8	5.33±0.00	81.55±0.00
207 แป้งข้าวเจ้าพันธุ์ กข.7	211±1	110±1	101±0	47.9	252±1	143±0	130.0	5.27±0.00	80.30±0.57
105 แป้งข้าวเจ้าพันธุ์หอมมะลิ 105	218±5	129±3	88±2	40.4	243±1	113±2	87.6	5.33±0.00	76.30±1.84
305 แป้งข้าวโพด	209±2	148±3	61±1	29.2	213±1	64±5	43.2	5.23±0.05	78.43±0.04
512 แป้งจากเนื้อมะม่วง	129±3	124±2	6±1	4.7	212±4	88±1	71.0	5.77±0.24	67.53±13.05
547 แป้งจากเมล็ดมะม่วง	73±2	57±1	15±0	20.5	77±1	20±0	35.1	6.97±0.05	94.45±1.27
629 แป้งมันฝรั่ง	287±3	110±0	177±4	61.7	158±1	48±0	43.6	3.90±0.05	71.48±0.67
728 แป้งข้าวฟ่าง (ไม่เปียก)	167±3	141±5	26±2	15.6	210±2	69±7	48.9	5.77±0.05	85.93±0.46
733 แป้งข้าวฟ่าง (ไม่แห้ง)	94±0	67±1	27±1	28.7	144±1	77±0	114.9	5.07±0.00	79.60±1.70

** คิดเป็นร้อยละของ peak viscosity *** คิดเป็นร้อยละของ trough viscosity

จากการทดลองเบื้องต้นเพื่อวิเคราะห์การเกิดเจลของแป้งชนิดต่างๆ ที่ผลิตได้ในประเทศไทย พบว่าสามารถจำแนกแป้งเป็นกลุ่มต่างๆ โดยอิงตามการจำแนกของ Schoch และ Maywald (1968) ได้ดังนี้

แป้งชนิด A เป็นแป้งที่มีการพองตัวสูงแต่มีความทนต่อแรงเฉือนต่ำ ดังนั้น จึงให้ hot-paste viscosity pattern ที่มี peak viscosity สูง แต่มีการลดลงของความหนืดมากในระหว่างที่ให้ความร้อนหลังจากที่เกิดเจลแล้ว แป้งที่ทำการทดสอบและให้ hot-paste viscosity pattern แบบนี้ ได้แก่ แป้งเท้ายายม่อมที่สกัดเองโดยวิธีการไม่เปียกหรือไม่โดยใช้น้ำและแป้งเท้ายายม่อมที่วางขายทั่วไปในท้องตลาด แป้งข้าวเหนียวที่ได้จากการไม่เปียกและไม่ผสม แป้งสตาร์ชจากเปลือกที่ได้จากการไม่เปียก แป้งข้าวเจ้าจากข้าวเจ้าพันธุ์ กข.7 กข.23 และหอมมะลิ 105 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีปริมาณอะมิโลสปานกลางถึงต่ำ แป้งมันฝรั่ง

แป้งชนิด B เป็นแป้งที่มีการพองตัวปานกลาง ดังนั้น จึงให้ hot-paste viscosity pattern ที่มี peak viscosity ไม่สูงมาก และมีการลดลงของความหนืดบ้างแต่ไม่มากเท่าแป้งชนิด A ในระหว่างที่ให้ความร้อนหลังจากที่เกิดเจลแล้ว แป้งที่ทำการทดสอบและให้ hot-paste viscosity pattern แบบนี้ ได้แก่ แป้งข้าวเหนียวที่ได้จากการไม่แห้ง ฟลาวจากเปลือกที่ได้จากการไม่แห้ง ฟลาวและสตาร์ชจากกลอยข้าวเจ้าและกลอยข้าวเหนียว แป้งข้าวเจ้าจากข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณ 1 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีปริมาณอะมิโลสสูง แป้งข้าวฟ่างที่ได้จากการไม่เปียกและไม่แห้ง และแป้งข้าวโพด

แป้งชนิด C เป็นแป้งที่มีการพองตัวจำกัด ดังนั้น จึงให้ hot-paste viscosity pattern ที่มี peak viscosity ไม่สูงมาก และไม่มีการลดลงของความหนืดเลยในระหว่างที่ให้ความร้อนหลังจากที่เกิดเจลแล้ว แป้งที่ให้ hot-paste viscosity pattern แบบนี้ ได้แก่ แป้งที่ได้จากการตัดแปร โดยเฉพาะแป้ง cross-bonded แป้งที่ทำการทดสอบและให้ hot-paste viscosity pattern แบบนี้ ได้แก่ แป้งที่สกัดได้จากเนื้อและเมล็ดมะม่วง (พันธุ์มะม่วงแก้ว)

แป้งชนิด D เป็นแป้งที่มีการพองตัวต่ำมาก ดังนั้น จึงไม่มี peak viscosity และอาจไม่ทำให้เกิดความหนืดเลยหากใช้ในปริมาณเท่ากับแป้งชนิดอื่น แป้งที่ให้ hot-paste viscosity pattern แบบนี้ ได้แก่ แป้งที่มีปริมาณ อะมิโลส สูงมาก เช่น Amylomaize แต่ในการทดลองเบื้องต้นนี้ แป้งเท้ายายม่อมที่ซื้อจากร้านค้าหนึ่งให้ hot-paste viscosity pattern แบบ D

สำหรับแป้งถั่วเขียวที่นำมาทดสอบเบื้องต้น แสดงลักษณะ hot-paste viscosity pattern ทั้งแบบ A และแบบ B ขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิต มีข้อที่น่าสังเกต คือ แป้งที่ได้จากการสกัดโดยไม่ใช้น้ำ (ไม่แห้ง) มักจะมีค่า peak viscosity ต่ำกว่าแป้งชนิดเดียวกันที่ได้จากการสกัดโดยใช้น้ำ (ไม่เปียก) และมีการลดลงของความหนืดในระหว่างการให้ความร้อน (breakdown) ต่ำกว่าด้วย แต่ในทางตรงกันข้าม การใช้วิธีการสกัดแป้งที่ต่างกันไม่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิในการเกิดเจลของแป้ง จากการทดลอง พบว่า แป้งจากเมล็ดมะม่วงมีอุณหภูมิในการเกิดเจล (pasting temperature) สูงที่สุด (94.45 °C) รองลงมาคือแป้งข้าวฟ่างที่ได้จากการไม่เปียก ฟลาวและสตาร์ชจากเปลือก ตามลำดับ

ส่วนการเกิดการคืนตัวหรือ Retrogradation ที่สามารถสังเกตได้จากค่า setback ของแป้ง โดยหากมีค่า setback สูงแสดงว่าแป้งนั้นมีความสามารถในการเกิด retrogradation ได้มาก นั้น พบว่า แป้งข้าวเจ้าที่มีปริมาณอะมิโลสปานกลางถึงสูงมีค่า setback มากที่สุด รองลงมา คือ แป้งข้าวฟ่าง แป้งถั่วเขียว แป้งเท้ายายม่อม แป้งข้าวเจ้าที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ และแป้งจากเนื้อมะม่วง ตามลำดับ

5.3. เอกสารอ้างอิง

- Bahnassey, Y.A. and Breene, W.M. 1994. Rapid viscoanalyzer (RVA) pasting profiles of wheat, corn, waxy corn, tapioca and amaranth starches (*A. hypochondriacus* and *A. cruentus*) in the presence of konjac flour, gellan, guar, xanthan and locust bean gums. *Starch/Starke* 48: 134-141.
- Deffenbaugh, L.B. and Walker, C.E. 1989. Comparison of starch pasting properties in the Brabender Viscoamylograph and the Rapid Visco-Analyzer. *Cereal Chem.* 66: 493-499.
- Dengate, H.N. 1984. Swelling, pasting and gelling of wheat starch. In Y. Pomeranz (ed.), *Advances in cereal science and technology Vol. IV*, American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA. Pp 49-82.
- Doublier, J.L., Paton, D. and Llamas, G.A. 1987. A rheological investigation of oat starch pastes. *Cereal Chem.* 64: 21-26.
- Hoseney, R.C. 1994. Cereal starch. In R.C. Hoseney (ed.), *Principles of cereal science and technology*, American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA. Ch.2.
- Leloup, V.M., Colonna, P. and Buleon, A. 1991. Influence of amylose-amylopectin ratio gel properties. *J. Cereal Sci.* 13: 1-13.
- Mua, J.P and Jackson, D.S. 1997. Relationships between functional attributes and molecular structures of amylose and amylopectin fractions from corn starch. *J. Agric. Food Chem.* 45: 3848-3854.
- Ott, M. and Hester, E.E. 1965. Gel formation as related to concentration of amylose and degree of starch swelling. *Cereal Chem.* 42: 476-484.
- Ring, S.G. and Stainby, G.J.A. 1985. A simple method for determining the shear modulus of food dispersions and gels. *J. Sci. Food Agric.* 36: 607-613.
- Vasanthan, T. and Hoover, R. 1992. Effect of defatting on starch structure and physicochemical properties. *Food Chem.* 45: 337-347.

บทที่ 6. ข้อมูลจากการทดลองเบื้องต้น: การนำกลับโปรตีนในน้ำทิ้งจากโรงงานแปงโดยวิธี Progressive Freeze-Concentration

นางประภาศรี เทพรักษา
ดร. ชิดพงศ์ ประดิษฐ์สุวรรณ

6.1. ความเป็นมาของโครงการ

ธัญพืชเป็นผลผลิตทางการเกษตรหลักของประเทศ การบริโภคสามารถบริโภคทั้งในรูปของเมล็ดธัญพืชโดยตรงและธัญพืชที่ผ่านกระบวนการแปรรูป โดยกระบวนการแปรรูปส่วนใหญ่จะเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนเมล็ดธัญพืชเป็นแป้ง ซึ่งขั้นตอนในกระบวนการนี้จะต้องใช้น้ำเป็นตัวชะล้างเพื่อให้แป้งบริสุทธิ์ เป็นผลให้โปรตีนที่อยู่ในธัญพืชถูกชะล้างไปกับน้ำ ซึ่งโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบหลักในธัญพืชเป็นโปรตีนที่มีสมบัติแตกต่างไปจากโปรตีนที่ได้ทั่วไปจากสัตว์ จึงเล็งเห็นความสำคัญในการนำโปรตีนดังกล่าวนี้มาใช้ประโยชน์ โดยความสนใจและความรู้ที่นำมาประยุกต์ใช้นั้นนับเป็นหนทางและเกิดช่องทางในการผลิตสารมูลค่าเพิ่ม และใช้ประโยชน์กับน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหาร รวมทั้งช่วยลดมลภาวะและรักษาสิ่งแวดล้อมในการจัดการกับน้ำทิ้งเหล่านี้อย่างเป็นทางการ อันจะส่งผลต่อเนื่องให้มีการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติอย่างเต็มที่และคุ้มค่า ซึ่งถือว่าเป็นการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศอย่างหนึ่ง

6.2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ Progressive freeze-concentration ในการทำให้เข้มข้นและนำกลับโปรตีนจากน้ำทิ้งในโรงงานอุตสาหกรรมแปงโดยเลือกใช้น้ำล้างแป้งถั่วเขียวเป็นต้นแบบ นอกจากนี้ยังทำการศึกษาเปรียบเทียบกับทำให้เข้มข้นโดยวิธี Ultrafiltration

6.3. ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

6.3.1. ถั่วเขียว

ถั่วเขียวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย (1,2) มีผลผลิตประมาณสามแสนตันต่อปี (3) ถั่วเขียวเป็นพืชที่มีลักษณะดีหลายประการ คือ สามารถปลูกขึ้นง่ายในดินเกือบทุกชนิด, ต้องการน้ำน้อย, ทนแล้งได้ดี, มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น(65-70วัน) และที่สำคัญคือเป็นพืชที่ช่วยบำรุงดินให้ดีขึ้นด้วย (2) ถั่วเขียวสามารถปลูกได้ทุกภาคของประเทศ โดยเฉพาะในจังหวัดภาคกลางตอนบน เช่น เพชรบูรณ์, นครสวรรค์ และกำแพงเพชร เป็นต้น(3) ถั่วเขียวที่ปลูกในประเทศไทยมีหลายพันธุ์ ซึ่งแบ่งตามลักษณะของเมล็ด และสีเปลือก ได้ 4 พันธุ์ (1,2,4) คือ

- ถั่วเขียวธรรมดา หรือถั่วเขียวเมล็ดด้าน (*Vigna radiate*) เปลือกของเมล็ดมีสีเขียวด้าน นิยมใช้ทำก๋วยเตี๋ยวและเพาะถั่วงอก
- ถั่วเขียวมันเมล็ดใหญ่ (*Vigna typica*) เปลือกของเมล็ดมีสีเขียวมันและมีเมล็ดขนาดใหญ่
- ถั่วทอง หรือถั่วเขียวสีทอง (*Phaseolus aureus*) เปลือกของเมล็ดมีสีเหลือง หรือสีทอง นิยมใช้ทำขนม เพราะมีสีเหลืองนำรับประทาน
- ถั่วเขียวมียอดดำ (*Vigna gradis*) เปลือกของเมล็ดมีสีดำ นิยมใช้เพาะเป็นถั่วงอก

6.3.1.1 คุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดถั่วเขียว

เมล็ดถั่วเขียวแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ เปลือกนอก (Seed coat) ไบเลียง (Cotyledon) และ ต้นอ่อน (Embryo) ซึ่งมีประมาณร้อยละ 12.1 85.6 และ 2.3 โดยน้ำหนักตามลำดับ ปริมาณสารอาหารในส่วนต่างๆ ของเมล็ดถั่วเขียว แสดงไว้ในตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ปริมาณสารอาหารในส่วนต่างๆ ของเมล็ดถั่วเขียว (กรัม / 100 กรัม)

สารอาหาร	เปลือกนอก	ไบเลียง	ต้นอ่อน
โปรตีน	10.6	26.9	52.5
ไขมัน	0.6	3.3	9.4
เถ้า	3.0	3.1	4.4
ใยอาหาร	25.6	0.5	0.4
คาร์โบไฮเดรต	60.2	66.3	32.3
ฟอสฟอรัส	0.036	0.341	0.756
แคลเซียม	0.812	0.115	0.492
เหล็ก	0.017	0.006	0.023

โดยในโมเลกุลของโปรตีนทั้งสองนี้มีการดอะมิโนไลซีนอยู่มาก ซึ่งทำให้แตกต่างจากโปรตีนในธัญพืชที่มีการดอะมิโนไลซีนอยู่น้อย (5) จากการศึกษาโปรตีนโกลบูลินในถั่วโดยใช้ Ultracentrifuge พบว่าประกอบด้วยโปรตีนชนิดวิกิลิน (vicilin) และเลกูมิน (legumin) ในปริมาณที่มากกว่าร้อยละ 70 ของโปรตีนทั้งหมด และมีค่า sedimentation coefficient เป็น 75S และ 11S ตามลำดับ (5)

โปรตีนในพืชตระกูลถั่วส่วนใหญ่เป็นโปรตีนโกลบูลิน ซึ่งมีจุดไอโซอิเล็กตริกอยู่ในช่วง pH 4-5(4,6,7) ที่ช่วง pH นี้ โปรตีนถั่วเขียวจะละลายน้ำได้น้อยที่สุด จากคุณสมบัติข้อนี้จึงใช้เป็นหลักในการสกัดโปรตีนจากถั่วเขียว โดยการแยกโปรตีนจากเนื้อถั่วเขียวในสภาวะที่เป็นด่างและเมื่อปรับ pH เป็น 4.5 โปรตีนถั่วเขียวที่สกัดได้จะตกตะกอนแยกออกจากสารละลาย

6.3.1.2 การใช้ประโยชน์จากถั่วเขียว

ประเทศไทย และประเทศในแถบเอเชีย เช่น ญี่ปุ่น และจีนเป็นต้น นิยมใช้แป้งถั่วเขียวในการผลิตวุ้นเส้น ซึ่งจะทำให้วุ้นเส้นที่ได้มีคุณภาพดี คือมีลักษณะใส เหนียว เป็นที่นิยมของผู้บริโภค จึงขายได้ในราคาสูง (8) ในปัจจุบันได้มีการนำแป้งบริโภคชนิดอื่น เช่น แป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันฝรั่งที่นำเข้าจากต่างประเทศ มาใช้แทนแป้งถั่วเขียว ซึ่งพบว่าสามารถใช้แทนได้ในปริมาณร้อยละ 10 (9,10) และร้อยละ 20 (8) ตามลำดับ

ในการผลิตวุ้นเส้นโดยทั่วไปทางโรงงานนิยมเตรียมแป้งถั่วเขียวเอง ซึ่งจากกรรมวิธีการเตรียมแป้งถั่วเขียวนั้นจะต้องแยกโปรตีนถั่วเขียวออกมา ซึ่งเมื่อพิจารณาผลผลิตถั่วเขียวภายในประเทศในแต่ละปีพบว่า ร้อยละ 50 หรือประมาณแสนห้าหมื่นตันถูกใช้ในอุตสาหกรรมวุ้นเส้น (4) ดังนั้นจะได้โปรตีนถั่วเขียวปีละประมาณสามหมื่นตัน

6.3.1.3 กรรมวิธีการผลิตโปรตีนถั่วเขียวของโรงงานอุตสาหกรรมมันเส้นในประเทศไทย

การผลิตแป้งถั่วเขียวในประเทศไทยใช้วิธีแบบเปียก (wet-milling) ดังนี้ (11)

นำถั่วเขียวมาแช่น้ำในถัง



โม่



แยกเปลือก

แยกน้ำโปรตีนออกจากน้ำแป้ง

ซึ่งอาจใช้วิธี"นอนราง" หรือใช้เครื่องจักรที่เรียกว่า decantor

(วิธีนอนราง : ทำโดยเทน้ำแป้งลงในรางยาวประมาณ 20-100 เมตร ซึ่งวางเอียงลงเล็กน้อยประมาณ 5 องศา กับแนวระนาบ(15) โดยปลายรางด้านล่างจะเปิดออก เมื่อเทน้ำแป้งให้ไหลไปตามรางอย่างช้าๆ ในระหว่างนี้แป้งจะตกตะกอนเรื่อยๆ จนถึงปลายราง ซึ่งน้ำโปรตีนจะไหลออกมา)



ได้น้ำโปรตีน (ซึ่งมีสีเขียว) แล้วเก็บในบ่อพัก



ต้มให้สุก



แยกน้ำออกโดยผ่าน filter press



ตากแดด



บรรจุใส่กระสอบเพื่อรอการจำหน่าย

6.3.1.4 การสกัดโปรตีนจากถั่วเขียวและการนำมาใช้ประโยชน์

Shehata และ Thannoun (1981) ได้ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการสกัดโปรตีนจากถั่วเขียว ได้แก่ pH, อุณหภูมิ, เวลาที่ใช้สกัดโปรตีน, อัตราส่วนของแป้งถั่วเขียวต่อตัวทำละลาย และชนิดกับความเข้มข้นของสารละลายเกลือ จากการทดลองพบว่าที่ pH 4.5 ค่าการละลายของไนโตรเจนต่ำสุดคือประมาณร้อยละ 6.88

สำหรับช่วง pH 8-12 ค่าการละลายของไนโตรเจนค่อนข้างสูงคือประมาณร้อยละ 81.84 - 85.28 และที่ pH 11.05 ค่าการละลายของไนโตรเจนสูงที่สุดคือประมาณ 85.28 เมื่อพิจารณาอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจาก 25°C เป็น 60°C มีผลทำให้ปริมาณโปรตีนที่สกัดได้เพิ่มขึ้นเล็กน้อยประมาณร้อยละ 2.22 และที่อุณหภูมิ 80°C ปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ลดลง เนื่องจากโปรตีนบางส่วนจับตัวเป็นก้อน (coagulation) เมื่อพิจารณาระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดโปรตีนจากถั่วเขียว พบว่าที่ 25 นาที ค่าการละลายของไนโตรเจนสูงที่สุดคือประมาณร้อยละ 79.54 เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของแป้งถั่วเขียวต่อตัวทำละลายที่สามารถสกัดโปรตีนได้ดีพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมคือ 1 กรัมต่อ 10 มิลลิลิตร และเมื่อพิจารณาชนิดกับความเข้มข้นของสารละลายเกลือที่ใช้สกัดโปรตีนได้มากที่สุดคือ Na_2CO_3 0.1 N. (12)

Thompson (1977) ศึกษาสภาพที่เหมาะสมในการเตรียมโปรตีนถั่วเขียวไฮโซเลทจากแป้งถั่วเขียวบดแห้ง พบว่าสภาพที่เหมาะสมมีดังนี้ อัตราส่วนแป้งถั่วเขียวต่อน้ำเป็น 1: 1.5 (น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาสกัด 20 นาที ที่อุณหภูมิ 25°C และ pH เป็น 9 ตกตะกอนโปรตีนที่สกัดได้โดยใช้ 1 N HCl ปรับ pH ของสารละลายโปรตีนเป็น 4 จากนั้นทำแห้งโดยวิธี freeze dry ผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวไฮโซเลทที่ได้สามารถนำไปผสมกับแป้งสาลี เพื่อใช้ทำขนมปังได้ในปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด โดยไม่ทำให้ขนมปังมีปริมาตรลดลง และมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (6)

สำหรับในประเทศไทย สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร ได้เสนอเทคโนโลยีพื้นฐานของการผลิตโปรตีนโดยใช้เครื่องมืออย่างง่าย โดยไม่ถั่วเขียว(แช่น้ำ 8-10 ชั่วโมง)ด้วยไมหิน เติมน้ำ 3 ส่วนลงในถั่วเขียวบด 1 ส่วน แล้วแยกน้ำโปรตีนโดยใช้เครื่องเซนตริฟิวจ์(Bird Centrifuge) ตกตะกอนโปรตีนด้วยวิธีปรับ pH ของน้ำโปรตีนที่ผ่านการต้มเดือดเป็นเวลา 20 นาที ด้วยกรดอะซิติกเข้มข้นจนได้ pH 4-5 กรองตะกอนของโปรตีนถั่วเขียวผ่านผ้าขาวบาง แล้วล้างโปรตีนถั่วเขียวด้วยน้ำ 1-2 ครั้ง จากนั้นอบแห้งในตู้อบลมร้อน ผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวเข้มข้นที่ได้มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 79 โดยน้ำหนักแห้ง และสามารถนำไปผลิตเป็นโปรตีนเกษตร หรือเนื้อเทียมได้ แต่ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมที่ได้มีกลิ่นเหม็นของถั่วเขียวรุนแรง จึงไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากนัก (4,13)

สุนันทา วุฒิสกุล (พ.ศ. 2519) ศึกษาการทำนมเปรี้ยวจาก mung bean extract และสรุปว่าผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยวที่เตรียมได้มีคุณภาพไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เนื่องจากเชื้อราที่ใช้ไม่ดีพอและปริมาณของแข็งในสารละลายสกัดมีน้อยจึงทำให้การตกตะกอนของโปรตีนยังไม่เหมาะสม (14)

อรสา สุริยาพันธ์ (พ.ศ. 2531) ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำโปรตีนถั่วเขียวจากอุตสาหกรรมวุ้นเส้นภายในประเทศมาใช้เป็นวัตถุดิบร่วมกับกากถั่วเหลืองในการผลิตน้ำซอสปรุงรส โดยพบว่าสามารถนำโปรตีนถั่วเขียวที่ย่อยด้วยกรดมาผสมกับกากถั่วเหลืองที่ผ่านการย่อยด้วยกรดในปริมาณร้อยละ 10 โดยปริมาตร โดยไม่ทำให้คุณภาพด้านประสาทสัมผัสของกากถั่วเหลืองที่ย่อยด้วยกรดต่ำลง และหลังจากนั้นนำมาปรุงแต่งรสชาติด้วยน้ำตาลทราย และผงชูรส พบว่าผู้ทดสอบให้การยอมรับผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วงขอบเล็กน้อยถึงปานกลาง เนื่องจากโปรตีนถั่วเขียวย่อยด้วยกรดที่เตรียมได้มีกลิ่นเค็ม และควาคัลยน้ำปลา ผู้วิจัยจึงจัดกลิ่นด้วยวิธีการระเหยภายใต้สูญญากาศที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 45 นาที แต่ก็ยังมีกลิ่นดังกล่าวอยู่ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเสนอแนะให้ปรับปรุงวิธีการตกตะกอนโปรตีน หรือปรับปรุงวิธีการอบแห้งโปรตีน เพื่อลดการเกิดกลิ่นเหม็นดังกล่าว (11)

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า คุณภาพของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวที่ได้ขึ้นกับกรรมวิธีการแยกโปรตีน ดังนั้นถ้าต้องการปรับปรุงคุณภาพของโปรตีนถั่วเขียวส่วนที่เหลือให้มีคุณภาพดีขึ้นจำเป็นต้องปรับปรุงกรรมวิธีแยกโปรตีนให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตวุ้นเส้นจะทำการสกัดโปรตีนออกจากน้ำล้างแป้งถั่วเขียวเพื่อให้วุ้นเส้นที่มีลักษณะใสและเหนียว โดยการตกตะกอนด้วยด่าง และการทำแห้งโดยใช้ความร้อนสูงนี้ จะทำให้โปรตีนเสียสภาพ และยังส่งผลให้เกิดปฏิกิริยามเมลลาร์ด (Maillard) ของกรดอะมิโนใน

โปรตีน โปรตีนที่ได้จากโรงงานจึงจำหน่ายเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์เป็นส่วนใหญ่ แต่ถ้าต้องการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงขึ้นจะต้องหลีกเลี่ยงปัญหาการเสีสภาพของโปรตีน โดยการปรับปรุงวิธีการแยกโปรตีนจากน้ำล้างแบ่งตัวเขียวซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การทำให้สารละลายเข้มข้นขึ้นโดยการแช่เยือกแข็ง (Freeze concentration), การทำแห้งแบบระเหิดที่จุดเยือกแข็ง (Freeze drying) หรือการกรองแบบ Ultrafiltration เป็นต้น

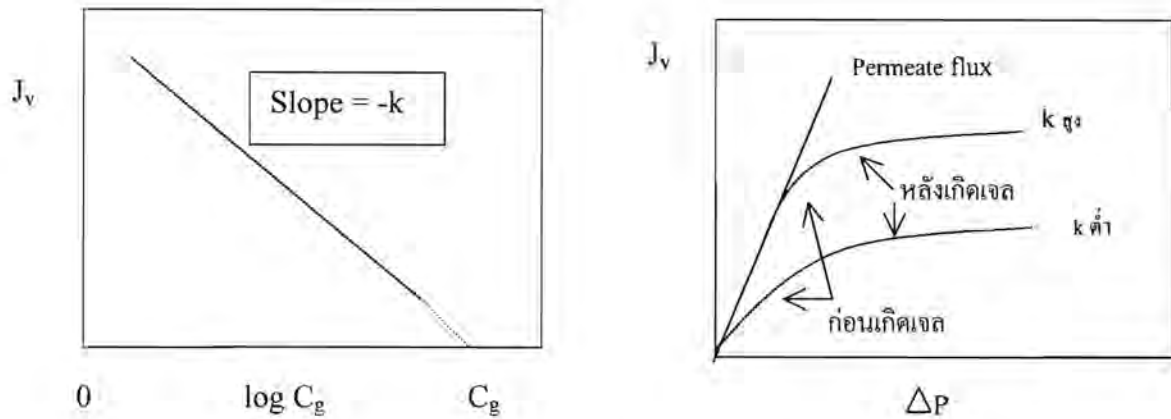
6.3.2. กระบวนการ Ultrafiltration (15)

กระบวนการ Ultrafiltration มีการใช้งานอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การทำน้ำผลไม้ให้ใส, การเพิ่มความเข้มข้นของโปรตีนในหางนม, การแยกหรือการเพิ่มความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมัก, การเพิ่มความเข้มข้นของเจลาติน, การบำบัดน้ำเสีย และการผลิตน้ำสะอาด เป็นต้น โดยเป็นการนำเทคโนโลยีของ membrane มาใช้ แต่ปัญหาหนึ่งที่เกิดขึ้นในระหว่างการกรอง คือ การอุดตัน(fouling) ที่เกิดจากการสะสมของตะกอนบริเวณผิวหน้าของ membrane ส่งผลให้อัตราเร็วการกรอง(flux) ลดลงในช่วงระยะเวลาการกรองที่ยาวนาน ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการกรองลดลง ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบเครื่องกรองเพื่อลดปัญหาดังกล่าว โดยพัฒนาขึ้นเป็นเครื่องกรองแบบ upward พร้อมแท่งแม่เหล็กกวน เพื่อใช้ทดสอบสมบัติการกรอง Ultrafiltration ของสารกรองชนิดต่างๆได้อย่างสะดวก และมีราคาถูก โดยอาศัยหลักการของแรงเฉือนจากแท่งกวนแม่เหล็กเพื่อลดความต้านทานของชั้นตะกอนที่มีผลต่ออัตราเร็วการกรอง ดังนั้นวิธี Ultrafiltration แบบ upward จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้กับการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโปรตีนจากน้ำล้างแบ่งตัวเขียว โดยโปรตีนที่มีโมเลกุลเล็กและตัวทำละลายออกไป เพื่อให้ได้โปรตีนที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้น นอกจากนี้ยังหลีกเลี่ยงปัญหาการเสีสภาพของโปรตีนเนื่องจากการใช้สารเคมีในการตกตะกอนและความร้อนอีกด้วย

Ultrafiltration เป็นกระบวนการแยกสารโมเลกุลใหญ่ เช่นโปรตีน, เอนไซม์ และแป้ง ออกจากน้ำและสารโมเลกุลอื่นๆ ในการดำเนินงานใช้ความดันในการป้อนสารละลายผ่าน membrane ในช่วง 2-10 บรรยากาศ โดยทั่วไป membrane มีชั้นผิวหนา 0.1-2 μm , มีรูพรุน 20-200 \AA หรือเทียบเป็น Molecular Weight Cut Off ประมาณ 500-300,000 Da.

ปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะของ Ultrafiltration

1) ความดัน สำหรับสารละลายที่ประกอบด้วยสารโมเลกุลใหญ่ที่สามารถเกิดเจลได้ที่มีความเข้มข้นสูง ผลของความดันต่อฟลักซ์จะมีลักษณะดังภาพที่ 2.1 คือฟลักซ์เพิ่มขึ้นกับความดันในช่วงแรกหรือก่อนการเกิดเจล และในช่วงเกิดเจล แรงขับดันที่เพิ่มขึ้นทำให้ชั้นเจลอัดแน่น ดังนั้นฟลักซ์จึงไม่เพิ่มขึ้นแต่มีแนวโน้มคงที่ ในส่วนของการกักกันจะขึ้นอยู่กับลักษณะของชั้นเจล และอาจขึ้นอยู่กับเกิดการฟาวลิง(fouling)ด้วย สำหรับระบบที่ความเข้มข้นต่ำและตัวถูกละลายไม่สามารถเกิดเจลได้ การเพิ่มความดันทำให้ฟลักซ์เพิ่มขึ้น แต่อัตราการเพิ่มมักจะช้าลงในช่วงความดันสูงขึ้น ซึ่งเนื่องจากผลของการเกิด concentration polarization นั่นเอง



ภาพที่ 6.1 ก) ความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์กับความเข้มข้น ข) ความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์กับความดัน
ที่มา: รัตนา จิระรัตนานนท์ (2543)

2) อัตราการไหลของสารป้อน การเพิ่มอัตราการไหลหรือความเร็วในการป้อนสารละลายจะช่วยลดการเกิด concentration polarization และฟาวลิง หรือลดค่าความต้านทานของชั้นโพลาริซ์ จึงช่วยเพิ่มค่าฟลักซ์

3) อุณหภูมิ การเพิ่มอุณหภูมิทำให้ฟลักซ์สูงขึ้น แต่ตัวถูกละลายส่วนใหญ่ เช่น โปรตีน หรือสารอินทรีย์ ไม่สามารถทนอุณหภูมิสูงได้ ดังนั้นจึงมีข้อจำกัดที่ควรระวังในทางปฏิบัติ

4) ความเข้มข้น ฟลักซ์แปรผกผันกับความเข้มข้น เพราะในระบบที่ความเข้มข้นสูง โอกาสที่จะเกิด concentration polarization, ฟาวลิง และเจล จะสูงกว่าในระบบที่ความเข้มข้นต่ำ

5) พีเอช ความเป็นกรดต่างของสารละลายมีผลต่อฟลักซ์และการกักกันของเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันได้อย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าตัวถูกละลายเป็นโปรตีนซึ่งสามารถแสดงประจุบวก (NH_3^+) หรือประจุลบได้ ($-\text{COO}^-$) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพีเอชของสารละลาย ที่ pI (isoelectric point) โมเลกุลของโปรตีนจะมีประจุสุทธิเป็นศูนย์ โปรตีนจึงละลายได้น้อยที่สุด ที่จุด pI โปรตีนจึงเกิดการรวมตัวกัน ดังนั้นฟลักซ์ของสารละลายโปรตีนจึงมีค่าต่ำที่พีเอชใกล้กับหรือเท่ากับ pI การดูดซับของโปรตีนบนผิวเมมเบรนหรือการเกิดฟาวลิงจึงมีค่าสูงที่สุดที่พีเอชดังกล่าวด้วย

6.3.3. Freeze concentration

freeze concentration เป็นการทำการอาหารเหลวให้เข้มข้นขึ้นโดยวิธีแช่เยือกแข็ง ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ crystallization ซึ่งทำให้เกิดผลึกน้ำแข็ง โดยการลดอุณหภูมิอาหารเหลวให้ต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (freezing point) และขั้นตอนของ ice-crystal separation ซึ่งจะทำให้แยกผลึกน้ำแข็งออก ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เข้มข้นขึ้น

วิธีการทำให้เข้มข้นด้วยวิธีแช่เยือกแข็งมี 2 วิธีคือ

6.3.3.1 Conventional freeze-concentration หรือ Suspension crystallization method

มีขั้นตอนของการสร้าง การบ่ม และการแยกผลึกน้ำแข็ง แต่วิธีนี้มีข้อจำกัดคือ ใช้พลังงานมากกว่า reverse osmosis, capital investment สูง, ความเข้มข้นของสารละลายสุดท้ายมีค่าจำกัด(50-55%), feed material ต้องมีคุณภาพสูง และสูญเสีย solid ไปกับขั้นตอนการแยกน้ำแข็งเนื่องจากผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็ก นอกจากนี้ยังมีข้อเสีย คือ ขั้นตอนการแยกน้ำแข็งยุ่งยาก และเสียค่าใช้จ่ายสูง

6.3.3.2 Progressive freeze-concentration หรือ Normal freezing หรือ Layer crystallization

เป็นวิธีที่พัฒนาและปรับปรุงขึ้นเพื่อให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ผลึกเดียวเท่านั้น จึงทำให้สามารถแยกน้ำแข็งออกจากผลิตภัณฑ์ได้ง่ายขึ้น และลดการสูญเสีย solid เพื่อให้ได้สารละลายสุดท้ายที่มีความเข้มข้นสูง

หลักการ

1) การแช่เยือกแข็งระบบอย่างช้าๆ เพื่อให้เกิดการพอกขยายของผลึกน้ำแข็งแบบมีระเบียบในทิศทางเดียวอย่างต่อเนื่อง ผลคือ เกิดการแยกเฟสน้ำแข็งกับของเหลวในลักษณะที่น้ำแข็งขยายตัวใหญ่ขึ้นเป็นก้อนเดียว

2) การกำจัดโมเลกุล solute ออกจากผิวหน้าน้ำแข็ง โดยมีกลไกดังนี้

2.1) กลไกจากภายใน คือการแพร่ของโมเลกุลของ solute ขึ้นกับค่า diffusivity (D) ของสารแต่ละชนิด

2.2) กลไกจากภายนอก เช่น การพัดกวน ขึ้นกับอัตราเร็วการกวน ซึ่งส่งผลต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลสาร(k)

ประสิทธิภาพการทำให้เข้มข้น สามารถนิยามโดย

$$K_c = C_s / C_L \quad (1)$$

เมื่อ K_c คือ ประสิทธิภาพการแยก (effective partition constant)

C_s คือ ความเข้มข้น solute ในส่วนน้ำแข็ง (%wt)

C_L คือ ความเข้มข้น solute ในส่วนสารละลาย (%wt)

ถ้า $K_c = 0$ แสดงว่า การแยกเกิดดีมาก

$K_c = 1$ แสดงว่า ไม่เกิดการแยก

ประสิทธิภาพการแยก(K_c) อาจหาได้จากสมการ(2)

$$K_c = K_0 [K_0 + (1 - K_0) \exp(-u/k)] \quad (2)$$

โดย u คือ ความเร็วในการเกิดขึ้นน้ำแข็ง (rate of ice front)

k คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล (mass transfer coefficient)

K_0 คือ limiting partition constant

ซึ่งสามารถหาค่า k ได้จาก (16)

$$k = aN_r^{0.2} \quad (3)$$

โดย a คือ experimentally determined constant

N_r คือ ความเร็วรอบของใบกวน

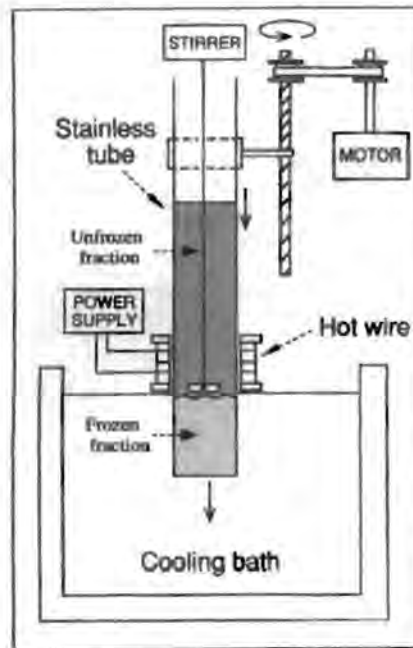
ถ้าให้ความเร็วรอบของใบกวนคงที่ (16) ดังนั้นประสิทธิภาพการแยก (K_c) ไม่เท่ากับค่า limiting partition constant (K_0)

$$K_0 = C_s / C_l \quad (4)$$

โดยที่ C_s และ C_l คือความเข้มข้นของตัวถูกละลายในของแข็งและของเหลว ที่บริเวณ boundary layer ตามลำดับ จากสมการที่ (2) และ (3) จะได้ค่าคงที่ของประสิทธิภาพการแยก (K_c)

$$\ln [(1/K_c) - 1] = \ln [(1 - K_0/K_c) - (1/a)u / (Nr^{0.2})] \quad (5)$$

จากสมการที่ (5) สามารถหาค่า limiting partition constant (K_0) ได้จาก y-intercept ของกราฟสมการเส้นตรงที่ plot ระหว่าง $\ln [(1/K_c) - 1]$ และ $u / (Nr^{0.2})$



ภาพที่ 6.2 อุปกรณ์การทำเข้มข้นแบบ progressive freeze-concentration

6.4. การทดลอง

ศึกษา : ประสิทธิภาพการแยกเฟสของกระบวนการ progressive freeze-concentration

ตัวแปร : ได้ตัวแปร 4 ชนิด

- 1) ชนิดของสารละลาย คือ น้ำตาล ได้แก่ ribose, glucose, fructose, lactose, และ sucrose
เกลือ ได้แก่ LiCl, NaCl, KCl, และ CsCl
- 2) ความเร็วในการเกิดชั้นน้ำแข็ง (u) ระหว่าง 0.12-2.67 cm./hr.
- 3) ความเร็วรอบของใบกวน (N_r) ระหว่าง 200-1,000 rpm.
- 4) ความเข้มข้นของสารละลาย เป็น 2.5 และ 10 % (w/w)

6.5. ผลการทดลอง

แสดงผลของสารละลายน้ำตาลและเกลือที่ความเข้มข้น 2.5 และ 10 % (w/w)

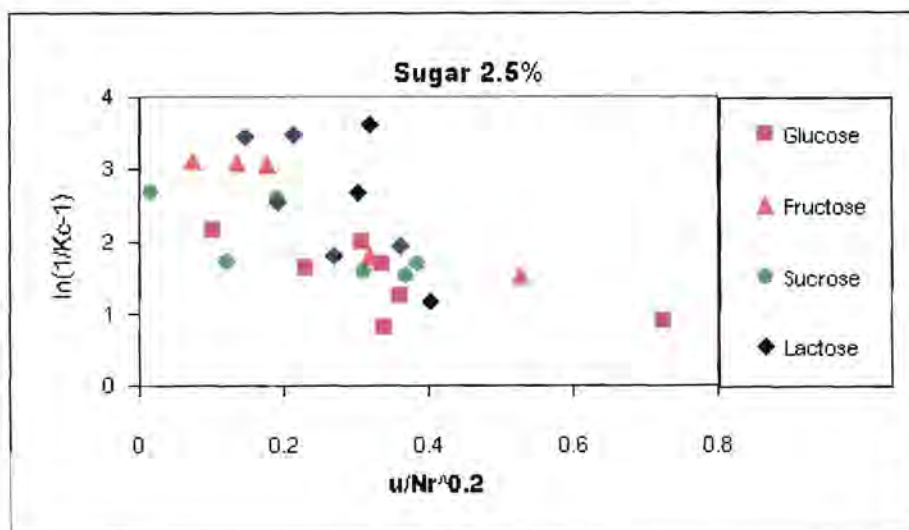
จากภาพที่ 6.3 และ 6.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln [(1/K_c) - 1]$ และ $u / (Nr^{0.2})$ ของน้ำตาลชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้น 2.5 และ 10 % (w/w) ตามลำดับ พบว่าเมื่อความเร็วในการเกิดชั้นน้ำแข็ง (u) มีค่าต่ำ และความเร็วรอบของใบกวน (N_r) เพิ่มขึ้น จะทำให้ประสิทธิภาพการแยกสูงขึ้น (ค่า K_c ลดลง) ซึ่งผลการศึกษานี้สอดคล้อง

คล้องกับผลงานวิจัยของ Miyawaki และคณะ (1998) ที่ทำการทดลองกับสารละลายกลูโคส อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลองนี้ไม่สามารถบ่งชี้ถึงอิทธิพลของชนิดน้ำตาลที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการแยก ทั้งนี้เนื่องจากชนิดของน้ำตาลที่ใช้ในการทดลองนี้มีขนาดโมเลกุลใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายน้ำตาล พบว่า ค่า K_c จะมีค่าต่ำหรือประสิทธิภาพการแยกดีที่ความเข้มข้นต่ำ

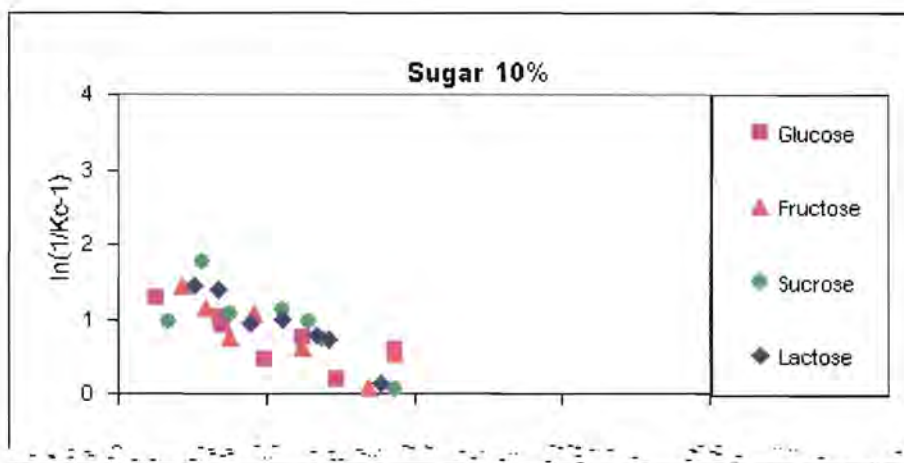
จากภาพที่ 6.5 และ 6.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln [(1/K_c) - 1]$ และ $u / (Nr^{0.2})$ ของเกลือชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้น 2.5 และ 10 % (w/w) ตามลำดับ พบว่า ผลการทดลองนี้ให้ผลสอดคล้องกับผลการทดลองในน้ำตาลที่กล่าวมาแล้ว อย่างไรก็ตามชนิดของเกลือมีอิทธิพลอย่างสูงต่อประสิทธิภาพการแยก โดยมีลำดับประสิทธิภาพการแยกจากสูงไปต่ำดังนี้ CsCl, KCl, NaCl และ LiCl ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามลำดับขนาดโมเลกุลของอนุภาคอิออนบวก อิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายเกลือให้ผลเช่นเดียวกับผลการทดลองในน้ำตาล

6.6. สรุปผลการทดลอง

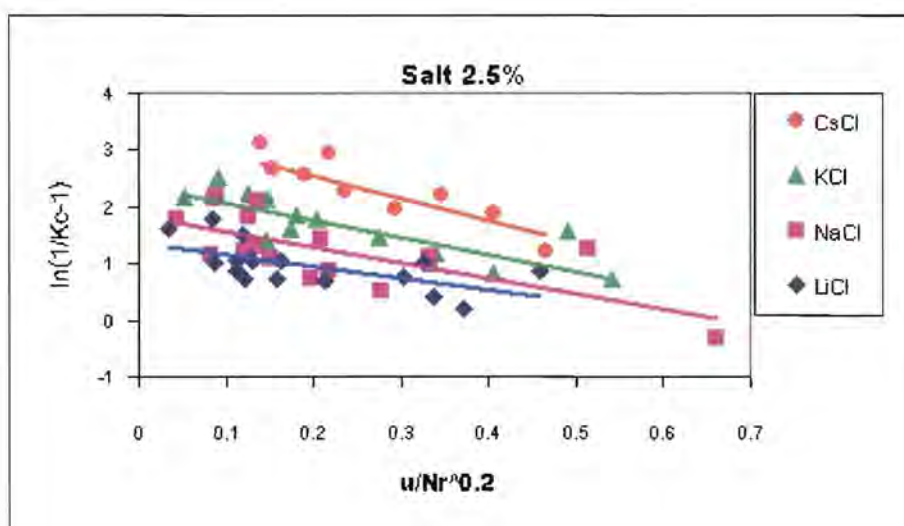
1. ค่าความเร็วในการเกิดชั้นน้ำแข็ง (u) มีผลแปรผันตาม ประสิทธิภาพการแยก (K_c) ขณะที่ความเร็วรอบของใบกวนมีผลผกผัน
2. ขนาดโมเลกุลของอนุภาคอิออนบวกของเกลือ มีผลต่อประสิทธิภาพการแยก (K_c)
3. ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายน้ำตาลและเกลือที่ต่ำ จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการแยก (K_c) ดีกว่าที่ความเข้มข้นเริ่มต้นสูง
4. ค่า K_c สามารถใช้เป็นดัชนีในการประเมินปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยกของกระบวนการ progressive freeze-concentration ได้



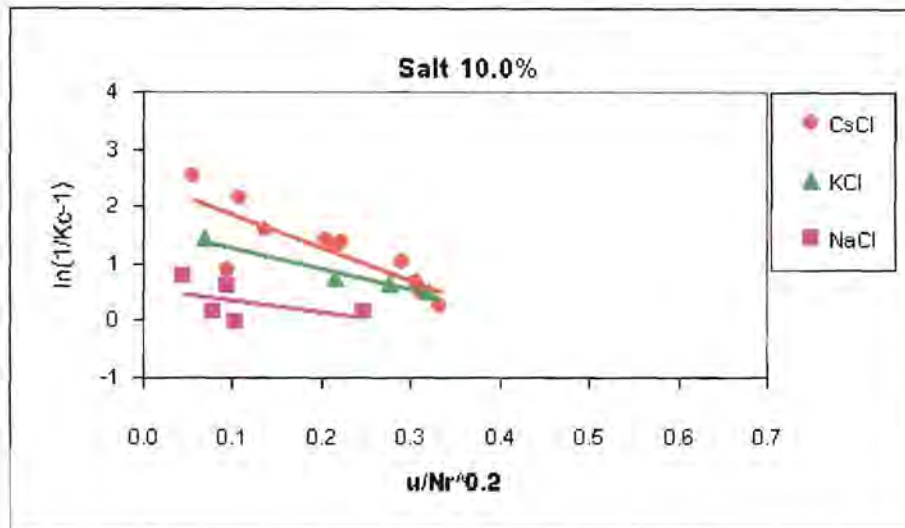
ภาพที่ 6.3 ความสัมพันธ์ของอัตราเร็วการเกิดชั้นน้ำแข็ง (u) กับความเร็วรอบของใบกวน (Nr) ที่มีต่อประสิทธิภาพการแยก (K_c) ของสารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้น 2.5%



ภาพที่ 6.4 ความสัมพันธ์ของอัตราเร็วการเกิดชั้นน้ำแข็ง (u) กับความเร็วรอบของใบกวน (Nr) ที่มีต่อประสิทธิภาพการแยก (Kc) ของสารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้น 10.0%



ภาพที่ 6.5 ความสัมพันธ์ของอัตราเร็วการเกิดชั้นน้ำแข็ง (u) กับความเร็วรอบของใบกวน (Nr) ที่มีต่อประสิทธิภาพการแยก (Kc) ของสารละลายเกลือที่มีความเข้มข้น 2.5%



ภาพที่ 6.6 ความสัมพันธ์ของอัตราเร็วการเกิดชั้นน้ำแข็ง (u) กับความเร็วรอบของใบกวน (Nr) ที่มีต่อประสิทธิภาพการแยก (Kc) ของสารละลายเกลือที่ความเข้มข้น 10.0%

6.7. แนวทางในการศึกษาต่อไป

เนื่องจากอุตสาหกรรมผลิตวุ้นเส้นในประเทศมีอยู่เป็นจำนวนมากเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้ถั่วเขียวเป็นวัตถุดิบ มีการแยกโปรตีนจากแป้งถั่วเขียวโดยใช้น้ำชะล้างเป็นปริมาณมาก ในปัจจุบันมีการนำกลับ (recovery) โปรตีนในน้ำล้างแป้งจากกระบวนการโดยอาศัยวิธีการตกตะกอนและนำไปอบหรือตากแดด ทำให้โปรตีนเสียสภาพ (denature) ผลิตภัณฑ์โปรตีนที่ได้จึงมีมูลค่าต่ำจึงเห็นว่าควรที่จะนำวิธี ultrafiltration และ progressive freeze-concentration ซึ่งไม่มีการใช้สารเคมีและความร้อนมาประยุกต์ใช้กับการนำกลับโปรตีนดังกล่าวพร้อมทั้งศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยกซึ่งอาจเป็นประโยชน์ต่อการนำโปรตีนจากกระบวนการแปรรูปชนิดอื่นๆ มาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในการวิจัยด้าน ultrafiltration เนื่องจากอุปกรณ์ทดสอบขนาดเล็กที่นำเข้าจากต่างประเทศมีราคาสูง คณะวิจัยจึงได้พัฒนาอุปกรณ์ทดสอบของกระบวนการ Ultrafiltration แบบ upward พร้อมแท่งแม่เหล็กกวน เพื่อนำมาใช้ในการศึกษาในการวิจัยนี้

สำหรับงานวิจัยในส่วนของ progressive freeze-concentration จะใช้เครื่องมือทดสอบดังภาพที่ 5.1 เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยก ที่จะนำไปเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับพัฒนาต่อไปเพื่อใช้งานในระดับอุตสาหกรรม

6.8. เอกสารอ้างอิง

1. พีรศักดิ์ ศรีนิเวศน์, " ถั่วเขียว," พืชเศรษฐกิจเล่ม 2, หน้า 209-234, ภาควิชาพืชไร่ฯ, คณะเกษตร, 2527.
2. กองส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, การปลูกถั่วเขียว (สุพล ธนรักษ์ และนิศากร พลบูรณ์ การ), หน้า 1-17, รพ.องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก, กรุงเทพมหานคร, พิมพ์ครั้งที่ 7, 2529.
3. ศูนย์สถิติทางการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, สถิติการเพาะปลูกของประเทศไทย ปีเพาะปลูก 2528/29, หน้า 54-59, กรุงเทพมหานคร, 2529.
4. สมชาย จอมดวง, "การผลิตและการทดสอบลักษณะผลิตภัณฑ์โปรตีนจากถั่วเขียวและถั่วเหลือง," วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต คณะอุตสาหกรรมและการเกษตร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2528.
5. Smith, A.K. and S.J. Circle, Soybeans : Chemistry and Technology Volume I : Protein, pp. 94, AVI-Publishing Co., Connecticut, U.S.A., 1972.
6. Thompson, L.U., "Preparation and Evaluation of Mungbean Protein Isolate," Journal of Food Science, 42, 202-206, 1977.
7. Coffmann, C.W., and V.V. Garcia, "Functional Properties and Amino Acid Content of a Protein Isolate from Mungbean Flour," Journal of Food Technology, 12, 473-484, 1977.
8. กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์, "ตัวแปรในกระบวนการผลิตและการทดแทนแป้งถั่วเขียวด้วยแป้งถั่วบางชนิดในการผลิตวุ้นเส้น," วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.
9. กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ, "วุ้นเส้น," อุตสาหกรรมสาร, 8(5), หน้า 25-31, 2508.
10. กรมวิทยาศาสตร์บริการ, "วุ้นเส้น," รายงานกิจกรรมวิทยาศาสตร์บริการ, ฉบับที่ 31, กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและการพลังงาน, กรุงเทพมหานคร, 2511.
11. อรสา สุริยาพันธ์, "การใช้โปรตีนถั่วเขียวเหลือใช้จากอุตสาหกรรมวุ้นเส้นในการผลิตน้ำซอสปรุงรส," วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.
12. Shehata, A.A.Y. and M.M. Thannoun. "Extractibility of Nitrogenous Constituents from Iraqi Mungbean as Affected by pH, Salt Type and Other Factors," Journal of Agriculture and Food Chemistry, 29, 53-57, 1981.
13. Siegel, A., Food Legume Processing and Utilization, pp. 78, Agriculture, Food and Nutrition Sciences Divisions, International Development Research Centre, Ottawa, Canada, 1976.
14. สุนันทา วุฒิสกุล, "ศึกษาการทำนมเปรี้ยวโดย Mungbean Extract," ปัญหาพิเศษปริญญาตรี คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2519.
15. รัตนา จิระรัตนานนท์, กระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์, โรงพิมพ์ไทยเส็ง, 147-172, 2543.
16. Miyawaki, O., Ling, L., and Nakamura, K. "Effective Partition Constant of Solute between Ice and

Liquid Phases in Progressive Freeze-Concentration," Journal of Food Science, 63, 756-758, 1998.

บทที่ 7. ข้อมูลจากการทดลองเบื้องต้น: การผลิตสารทดแทนไขมันสำหรับอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำจากโปรตีนถั่วเขียว (Production of Fat Replacer for Oil in Water Emulsion from Mungbean Protein)

ปริญญญา ศิริกุลชยานนท์, ศิริพัศตร์ ไชยันต์, พาสวดี ประทีปะเสน

Patinya Sirikulchayanont^a, Siripastr Jayanta^b, Pasawadee Pradipasena^a

^aDepartment of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University; ^bDepartment of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University.

บทคัดย่อ

ถั่วเขียวเป็นพืชเมล็ดที่โรงงานอุตสาหกรรมนำมาผลิตเป็นแป้งกันอย่างแพร่หลาย นอกจากแป้งแล้วถั่วเขียวยังมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบถึง 20-24% แต่ในปัจจุบันโรงงานผลิตแป้งถั่วเขียวส่วนใหญ่ไม่มีการแยกโปรตีนออกจากน้ำทิ้งของโรงงาน ส่วนโรงงานที่มีการแยกโปรตีนก็ได้โปรตีนที่มีคุณภาพต่ำ งานวิจัยนี้จึงแยกโปรตีนถั่วเขียวจากน้ำทิ้งของโรงงานด้วยวิธี isoelectric precipitation แล้วทำให้แห้งด้วยวิธี freeze dry เพื่อการผลิตสารทดแทนไขมันจากโปรตีนถั่วเขียวจึงดัดแปรโปรตีนด้วยวิธีทางเคมีและกายภาพ การดัดแปรทางเคมีทำโดยวิธี succinylation ส่วนการดัดแปรทางกายภาพคือทำให้โปรตีนเสียสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 83 °C ในระยะเวลาช่วง 5-15 นาที ร่วมกับการเติม CaCl₂ ในปริมาณ 0-0.03 กรัม ผลการทดลองพบว่าโปรตีนที่แยกได้มีองค์ประกอบดังนี้ โปรตีน 88.93% เถ้า 4.59% ไขมัน 0.78% คาร์โบไฮเดรตและเส้นใย 5.7% โดยน้ำหนักแห้ง โปรตีนนี้มีการละลายต่ำสุดที่ pH 4.5 และเริ่มสูงขึ้นเมื่อ pH ออกจากจุดนี้ การดูดซับน้ำและน้ำมันของโปรตีนมีค่าเท่ากับ 2.41 กรัม/น้ำต่อกรัมโปรตีน และ 5.76 กรัม/น้ำมันต่อกรัมโปรตีน ตามลำดับ ค่า surface hydrophobicity ของโปรตีนเท่ากับ 30 [ของ bovine serum albumin (BSA) มีค่าเท่ากับ 1000] ค่า emulsifying activity index ของโปรตีนถั่วเขียวมีค่าเท่ากับ 83 (ของ BSA มีค่าเท่ากับ 102)

กระบวนการที่ผลิตอนุภาคโปรตีน (microparticulated protein particle) ระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งให้ปริมาณอนุภาคโปรตีนขนาด 0.1-3.0 µm. เพื่อเป็นสารทดแทนไขมันมากที่สุด (0.89 กรัมต่อโปรตีนถั่วเขียว) คือ

- ให้ความร้อนแก่สารละลายโปรตีนถั่วเขียว (ที่ไม่ผ่านการดัดแปรทางเคมี) ในน้ำปลอดคลอรีน (ความเข้มข้น 5% โดยน้ำหนัก) ที่ 83°C นาน 15 นาที พร้อมกับที่ปั่นด้วยความเร็วรอบ 17,000 ต่อนาที
- ตีปั่นด้วยความเร็วรอบ 23,000 ต่อนาทีนาน 15 นาที
- ปั่นเหวี่ยงที่ 1000xg นาน 10 นาที

การดัดแปรทางเคมีพบว่า degree of chemical modification เพิ่มขึ้นอย่างถดถอยเมื่อเพิ่มปริมาณสารดัดแปรมากขึ้น ค่า surface hydrophobicity ของโปรตีนดัดแปรมีค่าสูงสุดและเท่ากับ 62 เมื่อใช้สารดัดแปร succinic anhydride 0.4 กรัมต่อกรัมโปรตีน การดัดแปรโปรตีนทำให้การละลายของโปรตีนมีค่าเพิ่มขึ้นทั้งที่ pH 4.5 และ 7.0 ส่วนค่า emulsifying activity index ของโปรตีนดัดแปรมีค่าเป็น 110 ซึ่งบ่งชี้ศักยภาพในการเป็นสาร emulsifier.

Mungbean is a legume widely used in starch industry. It contains high protein content (~20-24%) and is used mainly in the production of mungbean starch. Currently, most mungbean starch factories do not separate protein from wastewater, those that do only obtain low quality mungbean protein. This research is aimed to transform high protein content wastewater from mungbean starch factories into value added products such as fat replacer. This research suggests the feasibility of

isoelectric precipitation method to separate protein from wastewater followed by freeze-drying process to produce dried mungbean protein (MBP) which gives exceptionally good quality MBP (protein 88.93%, ash 4.59%, fat 0.78%, carbohydrate and fiber 5.7%). Significant characteristics of MBP are: oil adsorption at 5.76 g oil/g MBP, water adsorption at 2.41 g water/g MBP, surface hydrophobicity 30 (BSA 1000), emulsifying activity index 83 (BSA 102), and minimum solubility at pH 4.5.

The lab scale production of microparticulated protein particle (MP³) includes

- heat 5% w/w solution of MBP in deionized water at 83°C for 15 min coupled with homogenize at 17,000 rpm
- homogenize at 23,000 rpm for 15 min
- Centrifuge at 1000xg for 10 min

The resulting supernatant gives 0.8 gram of 0.1-3 µm MP³ per gram of dry MBP. From SEM, this MP³ had round shape. There for the potential of this MP³ to give creamy texture and serve as fat replace is high

Chemical modification of MBP is done via succinylation with succinic anhydride. The rate of chemical modification decreased when concentration of modifying agent increased. Maximum surface hydrophobicity of modified MBP was obtained with 0.4g succinic anhydride/g MBP. Solubility of modified MBP increased significantly at pH 4.5 and 7.0. An emulsifying activity index of modified MBP is 110, which indicates high potential for this modified MBP to be used as emulsifier.

Key words: Mungbean protein, Fat replacer, Chemical modification, Physical modification

7.1. บทนำ

ไขมันเป็นส่วนผสมที่ทำให้เกิดลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารที่ต้องการเช่น ให้ความนุ่มไม่แข็งกระด้าง แต่การบริโภคอาหารที่มีไขมันในปริมาณมากเป็นการเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดโรคอ้วน โรคหัวใจและโรคมะเร็งบางชนิด ดังนั้น จึงมีความสนใจที่จะหันมาใช้สารทดแทนไขมันกันมากขึ้น สารทดแทนไขมันให้สมบัติทางกายภาพเหมือนหรือคล้ายคลึงกับไขมันจึงส่งผลต่อลักษณะทางเนื้อสัมผัสของอาหาร โดยสารทดแทนไขมันต้องให้พลังงานน้อยกว่าไขมันและมีขนาดอนุภาค 0.1-3 ไมครอน สารที่นิยมนำมาผลิตเป็นสารทดแทนไขมันได้แก่ โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต งานวิจัยนี้จึงศึกษาการนำโปรตีนถั่วเขียวมาผลิตเป็นสารทดแทนไขมัน โปรตีนถั่วเขียวเป็นผลพลอยได้จากโรงงานผลิตแป้งถั่วเขียว ดังนั้นผลผลิตที่ได้จากการวิจัยนี้ถือได้ว่าเป็นผลผลิตเพื่อเพิ่มมูลค่าจากของเสียในโรงงาน ซึ่งปัจจุบันต้องมีค่าใช้จ่ายในการบำบัดก่อนทิ้ง หรือผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าต่ำ งานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของโปรตีนถั่วเขียวจากโรงงานผลิตแป้งถั่วเขียว และทำการดัดแปรโปรตีนทั้งทางเคมี และ/หรือทางกายภาพเพื่อผลิตสารทดแทนไขมันสำหรับอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ โดยการสร้างอนุภาคโปรตีนขนาดใหญ่ด้วยความร้อนร่วมกับการลดขนาดด้วยแรงเฉือน เพื่อให้เกิดอนุภาคโปรตีนทรงกลมขนาด 0.1-3 ไมครอน

7.2. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

7.2.1. การแยกโปรตีนออกจากน้ำทิ้งของโรงงาน

นำสารแขวนลอยโปรตีนถั่วเขียว (บริษัทไทวาฟูดโปรดัก จำกัด กรุงเทพฯ) ซึ่งผ่านการตกตะกอนที่ pH 4.5 ด้วยกรด hydrochloric มาแล้วจากโรงงาน มาปั่นเหวี่ยงที่ 2000xg นาน 20 นาที ที่ 20 °C เติมน้ำกลั่นลงในตะกอนจากการปั่นเหวี่ยง สัดส่วนตะกอนและน้ำกลั่นเท่ากับ 1:1 โดยน้ำหนัก แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่สภาวะเดิม โดยทำขั้นตอนนี้ซ้ำ 2 ครั้ง เพื่อเป็นการล้างตะกอน นำตะกอนโปรตีนมาละลายในน้ำกลั่นสัดส่วนตะกอนและน้ำกลั่นเท่ากับ 1:1 โดยน้ำหนัก แล้วปรับให้ได้ pH 7 ด้วย 1 N NaOH (Merck, Darmstadt, Germany) จากนั้นนำสารละลายโปรตีนนี้ ไปหมუნเหวี่ยงที่ 1500xg นาน 30 นาที ที่ 20 °C นำสารละลายโปรตีนที่ได้ไปทำแห้งด้วยวิธี freeze dry (Duradry µP, FTS Systems Inc., New York, USA) ที่ความดันต่ำกว่า 500 mT และอุณหภูมิต่ำกว่า -40 °C จนแห้ง

7.2.2. วิเคราะห์สมบัติด้านต่างๆของโปรตีนถั่วเขียว

7.2.2.1 องค์ประกอบทางเคมี

- วิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ความชื้น ไขมัน และเถ้า ตามวิธีของ AOAC 920.87, 925.10, 920.85 และ 923.03 (AOAC, 1995) ตามลำดับ นำมาคำนวณปริมาณร้อยละ ส่วนปริมาณร้อยละของคาร์โบไฮเดรตและเส้นใยเท่ากับ (100 – ผลรวมของค่าร้อยละขององค์ประกอบที่วิเคราะห์)

- วิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนใน โปรตีนถั่วเขียวด้วยวิธี AccQ. Tag Method (Liu และคณะ, 1995) ซึ่งแยกอนุพันธ์ของกรดอะมิโนด้วยระบบ HPLC (Waters, Milford, MA, USA) ใช้ standard amino acid (Waters, Milford, MA, USA) ทั้งหมด 17 ชนิดคือ ASP, SER, GLU, GLY, HIS, ARG, THR, ALA, PRO, CYS, TYR, VAL, MET, LYS, ILE, LEU และ PHE

7.2.2.2 การละลายของโปรตีน (nitrogen solubility)

เตรียมสารละลายโปรตีน 1 % (w/v) ที่ระดับ pH ต่างๆ ตั้งแต่ 2-10 แล้วนำสารละลายโปรตีนไปหมუნเหวี่ยงที่ 1500xg นาน 30 นาที วิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนที่ละลายอยู่ในส่วนใสด้วยวิธี Kjeldahl แล้วคำนวณ (Vojdani, 1996)

$$\% \text{ Water Soluble Nitrogen (\% WSN)} = \frac{\text{Weight of soluble nitrogen} \times 100}{\text{Weight of sample}} \quad (1)$$

และ

$$\text{Nitrogen Solubility Index (NSI)} = \frac{\% \text{ Water soluble nitrogen} \times 100}{\% \text{ Total nitrogen}} \quad (2)$$

7.2.2.3 การดูดซับน้ำและน้ำมัน (water and oil adsorption)

ผสมโปรตีนถั่วเขียว กับน้ำ หรือน้ำมัน (น้ำมันถั่วเหลืองตราอรุณ, บริษัทน้ำมันพืชไทย จำกัด นครปฐม), สำหรับการวิเคราะห์หาการดูดซับน้ำ หรือน้ำมัน ตามลำดับ โดยสัดส่วน โปรตีน : น้ำหรือน้ำมัน = 0.5 : 10 โดยน้ำหนัก ผสมให้เข้ากันด้วย vortex mixer ตั้งไว้นาน 30 นาที แล้วจึงนำไปหมุนเหวี่ยงที่ 4000xg นาน 30 นาที แยกส่วนใสไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณน้ำหรือน้ำมันที่ถูกดูดซับโดยโปรตีน (Sathe and Salunkhe, 1981) ทำการทดลองเพื่อหาค่านี้ของ soy protein isolate (Supro EX33, Protein Technologies International, St. Louis, MO, USA) สำหรับการเปรียบเทียบ

7.2.2.4 Surface hydrophobicity

เตรียมสารละลายโปรตีนใน phosphate buffer pH 7.0 [Na_2HPO_4 (Merck, Darmstadt, Germany) และ NaH_2PO_4 (Merck, Darmstadt, Germany)] ที่ความเข้มข้นในช่วง 0.005-0.025 % (w/v) เติม fluorescent probe [1-anilinonaphthalene-8-sulfonic acid (ANS), Sigma, St. Louis, MO, USA] ปริมาตร 20 μl ต่อสารละลายโปรตีนที่เตรียมข้างต้น 4 ml วัดค่า fluorescent intensity ที่ excitation wavelength = 390 nm และ emission wavelength = 470 nm (Alizadeh-Pasdar and Li-chan, 2000) ทำการทดลองนี้กับ Bovine Serum Albumin, BSA (Sigma, St. Louis, MO, USA) และ SPI ด้วย คำนวณค่า surface hydrophobicity จาก (3)

$$\text{Surface hydrophobicity} = (S_p/S_{BSA}) \times 1000 \quad (3)$$

S_p = ค่าความชันของกราฟระหว่างความเข้มข้นของโปรตีนกับ fluorescent intensity สำหรับโปรตีนที่ศึกษา

S_{BSA} = ค่าความชันของกราฟระหว่างความเข้มข้นของโปรตีนกับ fluorescent intensity สำหรับ BSA

7.2.2.5 Emulsifying activity index

เตรียมสารละลายโปรตีนความเข้มข้น 0.5% (w/v) ใน phosphate buffer (pH 7.0) ผสมกับน้ำมันถั่วเหลืองในอัตราส่วนคือ สารละลายโปรตีนในน้ำมันถั่วเหลือง = 30:10 โดยปริมาตร ทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วย hand-operating homogenizer (Ystral, Germany) ที่ระดับความแรงหมายเลข 7 นาน 2 นาที เจือจางเป็น 1/1000 ด้วย 0.1% (w/v) sodium dodecyl sulfate (Ajax, Auburn, N.S.W., Australia) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm คำนวณค่า turbidity และ ค่า emulsifying activity index (Pearce and Kinsella, 1978) ดังสมการ (4) และ (5) ตามลำดับ พร้อมกันนี้วิเคราะห์ค่านี้ของ BSA และ SPI เพื่อเปรียบเทียบ

$T = 2.303A/l$ (4)	$EAI = 2T/\phi C$ (5)
เมื่อ T = ค่า turbidity	เมื่อ C = ความเข้มข้นของโปรตีน
A = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้	T = ค่า turbidity
l = ความกว้างของ cuvette	ϕ = ค่า oil volume fraction ของน้ำมัน

7.2.3. การตัดแปรทางเคมีและการวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของโปรตีนดัดแปร

ดัดแปรโปรตีนทางเคมีโดยวิธี succinylation ซึ่งดัดแปร lysine ในโปรตีนเป็นหลัก (Franzen and Kinsella, 1976) เตรียมสารละลายโปรตีนเข้มข้น 1% (w/v) ใน phosphate บัฟเฟอร์ pH 8 โดยแปรปริมาณ succinic anhydride (Sigma, St. Louis, MO, USA) ในช่วง 0.2-1.2 กรัมต่อกรัมโปรตีน ควบคุม pH ระหว่าง succinylation ให้คงที่ที่ pH ในช่วง 7-8 ด้วย 3.5 N NaOH ปฏิกริยาลิ้นสุดเมื่อ pH คงที่ นำสารละลายโปรตีนที่ได้ไปทำ dialysis กับน้ำปลอตไอออนที่ 5 °C นาน 48 ชั่วโมง ทำให้โปรตีนเข้มข้นถึง 10 °Brix ด้วย vacuum rotary evaporator แล้วทำให้โปรตีนแห้งด้วยวิธี freeze dry ที่ความดันต่ำกว่า 500 mT และอุณหภูมิต่ำกว่า -40 °C

นำโปรตีนที่ได้ไปวิเคราะห์ทางอศากรดัดแปรทางเคมีตามวิธีของ Franzen and Kinsella (1976) ด้วย Ninhydrin reaction โดยนำสารละลายโปรตีนความเข้มข้น 1% (w/v) ผสมกับ ninhydrin solution ต้มในน้ำเดือดเพื่อให้เกิดปฏิกิริยานาน 5 นาที ปล่อยให้เย็นถึงอุณหภูมิห้อง เจือจางสารละลายเพื่อให้เหมาะสมต่อการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 565 nm สารละลายที่ได้มีสีม่วงซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยากันระหว่าง ninhydrin กับ free amino group ในโปรตีน (lysine และ n-terminal) ค่าของอศากรดัดแปร (degree of modification) ดังนี้

$$\text{อศากรดัดแปร} = \frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสงของโปรตีนเริ่มต้น} - \text{ค่าการดูดกลืนแสงของโปรตีนดัดแปร}}{\text{ค่าการดูดกลืนแสงของโปรตีนเริ่มต้น}} \quad (6)$$

นำโปรตีนดัดแปรมาวิเคราะห์ค่า Surface hydrophobicity การละลายของโปรตีน (nitrogen solubility) Emulsifying activity index และสมบัติเชิงความร้อน (thermal property) จำนวน degree of denaturation ของโปรตีนดัดแปร ตามวิธีของ Puppo and Anon (1999) ดังนี้

$$\text{Degree of denaturation} = [1 - (\Delta H_{\text{modified protein}} / \Delta H_{\text{native protein}})] \times 100$$

7.2.4. การผลิตสารทดแทนไขมัน

เตรียมสารละลายโปรตีนความเข้มข้น 5% (McCarthy and Maegli, 1994) ในน้ำปลอตไอออนเต็ม CaCl₂ (Merck, Darmstadt, Germany) โดยแปรปริมาณในช่วง 0-0.03 กรัมต่อกรัมโปรตีน ให้ความร้อนแก่สารละลายโปรตีนที่ 83 ± 1 °C [อุณหภูมินี้คืออุณหภูมิที่ MBP เสียสภาพ ซึ่งได้จากการศึกษาด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter, DSC (DSC7 Perkin Elmer, Connecticut, USA) ในช่วงอุณหภูมิ 40 - 110 °C โดยให้ความร้อนในอัตรา 5 °C ต่อนาที (Puppo and Anon, 1999)] นาน 5-15 นาที พร้อมตีปั่นด้วย hand-operating homogenizer (Ystral, Germany) ที่ความเร็วรอบ 17,000 ต่อนาที เพื่อความร้อนกระจายได้ทั่วและเป็นการให้แรงเฉือนกับสารละลายเพื่อลดขนาดอนุภาคด้วย โดยศึกษามลของ

- การดัดแปรโปรตีนทางเคมี
- ความเข้มข้นของ CaCl₂ ในช่วง 0-0.3 กรัม/กรัมโปรตีน
- การลดขนาดโปรตีนหลังการให้ความร้อนด้วยการตีปั่นที่ความเร็วรอบในช่วง 23,000-27,000 ต่อนาที นาน 5 นาที
- ระยะเวลาที่ใช้ในการตีปั่นที่ความเร็วรอบที่เหมาะสมที่สุดจากการศึกษาขั้นต้นในช่วง 5-20 นาที

• การปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกอนุภาคโปรตีนที่ขนาดใหญ่กว่า $3 \mu\text{m}$ โดยแปรแรงปั่นเหวี่ยงในช่วง 1000-4000 x g นาน 10 นาที

ในแต่ละขั้นการศึกษาทำการวิเคราะห์ขนาด และการกระจายของขนาดอนุภาคโปรตีนที่อยู่ในน้ำ ด้วยเครื่อง Laser particle size analyzer (Mastersizer, Malvern Instruments Ltd., Malvern, U.K.) แล้วเลือกค่าของแต่ละตัวแปรที่ให้ปริมาณอนุภาคโปรตีนขนาด 0.1-3.0 μm ในน้ำสูงสุดมาทำการศึกษาขั้นต่อไป และอนุภาคโปรตีนขนาด 0.1-3.0 μm ที่ได้จากขั้นตอนสุดท้ายถูกนำไปวิเคราะห์หารูปร่างด้วย Scanning Electron Microscope หรือ SEM (JAOL 5410LV, ALO Ltd. Akishima, Tokyo, Japan).

7.3. ผลการทดลอง

7.3.1. องค์ประกอบและสมบัติของโปรตีนถั่วเขียว

ผลการวิเคราะห์พบว่าโปรตีนถั่วเขียวที่เตรียมได้มีความชื้นเท่ากับ $6.38 \pm 0.45\%$ โดยน้ำหนัก และเมื่อคำนวณจากน้ำหนักแห้งพบว่าปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ได้คือ 88.93% (ตารางที่ 1) ซึ่งสูงเกือบถึงระดับ isolate (isolate protein ต้องมีโปรตีนไม่น้อยกว่า 90% โดยน้ำหนักแห้ง) แต่ก็มีเถ้าสูงถึง 4.59% เนื่องจากเกิดเกลือ NaCl จากการที่กระบวนการมีการปรับ pH ด้วย HCl และ NaOH ส่วนปริมาณของคาร์โบไฮเดรตและเส้นใยที่มีถึง 5.7% อาจเนื่องมาจากกระบวนการที่ใช้ไม่สามารถขจัดแป้งและกากถั่วเขียวที่ปนเปื้อนมากับวัตถุดิบจากโรงงานได้

ตารางที่ 7.1 องค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนถั่วเขียวที่เตรียมได้

องค์ประกอบ	ปริมาณโดยน้ำหนักแห้ง (%)
โปรตีน	88.93 ± 0.59
คาร์โบไฮเดรตและเส้นใย	5.7
เถ้า	4.59 ± 0.04
ไขมัน	0.78 ± 0.09

ตารางที่ 7.2 แสดงว่า โปรตีนถั่วเขียวที่ได้มี phenylalanine มากที่สุดคือ 2.53 g/100 g โปรตีน และมีกลุ่ม acid amino acid (glutamic acid และ aspartic acid) ในปริมาณ 2.93 g/100 g โปรตีน (glutamic acid 1.91 g/100g โปรตีน และ aspartic acid 1.02 g/100 g โปรตีน) เช่นเดียวกับโปรตีนจากพืชเมล็ดชนิดอื่นๆ โปรตีนถั่วเขียวมี sulphur amino acid อยู่ในปริมาณน้อย (Poehlman, 1991) คือ methionine 0.29 g/100 g โปรตีน และไม่พบ cysteine

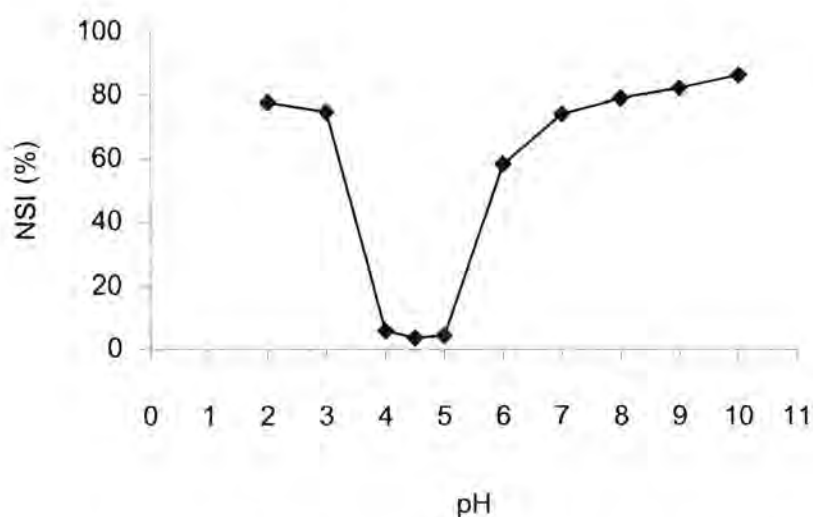
จากปริมาณกรดอะมิโนที่วิเคราะห์ได้ (ยกเว้น asparagine, glutamine ซึ่งเป็นกรดอะมิโนในกลุ่ม hydrophilic และ tryptophan ซึ่งเป็นกรดอะมิโนในกลุ่ม hydrophobic) โปรตีนถั่วเขียวมีกรดอะมิโนในกลุ่ม hydrophobic และกลุ่ม hydrophilic ในปริมาณที่เกือบเท่าๆ กัน (คือครั้งต่อครั้ง)

ตารางที่ 7.2 ปริมาณกรดอะมิโนในโปรตีนถั่วเขียวที่เตรียมได้

ชนิดกรดอะมิโน	ปริมาณ (g/100 g)	ชนิดกรดอะมิโน	ปริมาณ (g/100 g)
PHE	2.53 ± 0.12	VAL	0.80 ± 0.01
GLU	1.91 ± 0.02	ILE	0.76 ± 0.03
ARG	1.76 ± 0.04	GLY	0.67 ± 0.00
LEU	1.59 ± 0.09	ALA	0.60 ± 0.07
TYR	1.19 ± 0.01	LYS	0.50 ± 0.06
SER	1.05 ± 0.02	MET	0.29 ± 0.04
ASP	1.02 ± 0.03	CYS	N/A
THR	0.89 ± 0.04	ASN*	-
PRO	0.84 ± 0.11	GLN*	-
HIS	0.81 ± 0.01	TRP*	-

* ไม่ได้วิเคราะห์เนื่องจากไม่มี standard amino acid

โปรตีนถั่วเขียวมีจุด isoelectric ที่ pH 4.5 ซึ่งที่ pH นี้มีค่าการละลายในเทอมของ NSI ต่ำสุดเท่ากับ 3.74 (ภาพที่ 7.1) ซึ่งเป็นเช่นเดียวกับโปรตีนจากพืชเมล็ดส่วนใหญ่ ที่มีจุด isoelectric อยู่ในช่วง pH 4-5 (Kohnhorst และคณะ, 1991, Were, Hettiarachchy and Kalapathy, 1997) ในช่วง pH ที่ศึกษา การละลายสูงสุดของโปรตีนถั่วเขียวเท่ากับ 86.50 % ที่ pH 10



ภาพที่ 7.1 ความสามารถในการละลายของไนโตรเจนในโปรตีนถั่วเขียวที่ pH ต่างๆ

การวิจัยนี้วิเคราะห์ค่าการดูดซับน้ำและน้ำมัน surface hydrophobicity และ emulsifying activity index ของโปรตีนถั่วเขียวที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับ SPI ซึ่งเป็นโปรตีนจากพืชเมล็ดที่มีความสำคัญเชิงพาณิชย์สูง ผลการทดลองในตารางที่ 3 พบว่าโปรตีนถั่วเขียวดูดซับน้ำได้น้อยกว่า แต่ดูดซับน้ำมันได้มากกว่า SPI ประมาณ 72% และ 65% ตามลำดับ ขณะที่ค่า surface hydrophobicity ของโปรตีนถั่วเขียวดำกว่าของ SPI ประมาณ 80% แต่ค่า EAI ของโปรตีนถั่วเขียวสูงกว่าของ SPI 24% จากสมบัติเหล่านี้พอที่จะสรุปได้ว่า เมื่อเทียบกับ SPI แล้ว โปรตีนถั่วเขียวมีศักยภาพในการเป็น emulsifier ที่ดีกว่า แต่ไม่เหมาะสำหรับการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารทอด เนื่องจากจะทำให้มีการดูดซับน้ำมันสูงกว่า และไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้เพื่อเพิ่มความสามารถในการอ้วนน้ำ

ตารางที่ 7.3 การดูดซับน้ำและน้ำมัน ค่า surface hydrophobicity และค่า Emulsifying Activity index ของโปรตีนถั่วเขียวและ soy protein isolate (SPI)

ชนิดของโปรตีน	Water adsorption (g/g)	Oil adsorption (g/g)	ค่า surface hydrophobicity	EAI
Mungbean Protein	2.41 ± 0.07	5.76 ± 0.05	30	83 ± 2
SPI	8.76 ± 0.05	2.00 ± 0.01	149	63 ± 2

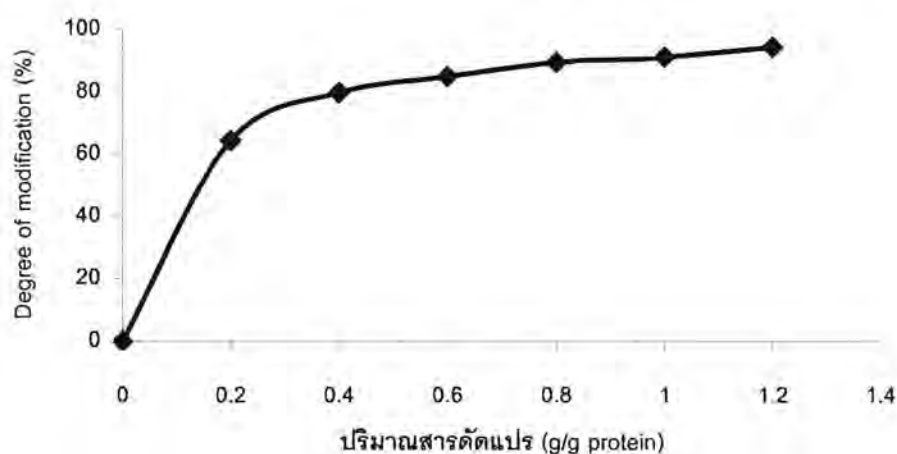
7.3.2. การดัดแปรทางเคมีและสมบัติต่างๆ ของโปรตีนดัดแปร

ภาพที่ 7.2 แสดงว่า เมื่อปริมาณสารดัดแปรมีค่ามากกว่า 0.2 กรัม/กรัมโปรตีน สัดส่วนการเพิ่มองศาการดัดแปรโปรตีนต่อการเพิ่มปริมาณสารดัดแปรลดลง กล่าวคือเมื่อคิดต่อ 1 กรัมโปรตีน สัดส่วนนี้มีค่าประมาณ 30% ต่อกรัมสารดัดแปร เมื่อใช้สารดัดแปร 0.2 กรัม แต่เมื่อใช้สารดัดแปรในช่วง 0.4-1.2 กรัม สัดส่วนนี้มีค่าประมาณ 18% ต่อกรัมสารดัดแปร

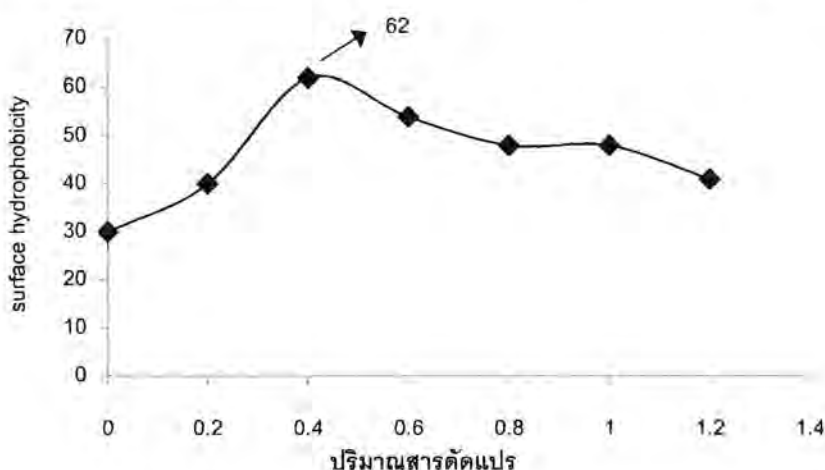
วิธีการดัดแปรโปรตีนนี้เป็นการดัดแปร lysine เป็นหลัก นอกจากนั้นยังสามารถดัดแปร histidine, tyrosine และตรงหมู่ aliphatic, hydroxyl และ sulfhydryl ของโปรตีนด้วย (Howell, 1996) แต่วิธีการติดตามองศาการดัดแปรโปรตีนนี้ ใช้ติดตามการดัดแปรหมู่ free amino group (lysine และ n-terminal) เท่านั้น (Franzen and Kinsella, 1976)

การดัดแปรโปรตีนโดยกระบวนการ succinylation มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประจุลบที่ผิวของโปรตีน ขณะเดียวกันก็ทำให้โปรตีนเสียสภาพและ unfold ด้วย เป็นผลให้ hydrophobic amino acid ที่เดิมฝังอยู่ภายในโมเลกุลโปรตีนมาอยู่ที่ผิวด้วย ดังนั้นการดัดแปรโปรตีนนี้เปลี่ยนแปลงสัดส่วนของ hydrophobic amino acid ต่อ hydrophilic amino acid ที่ผิวโปรตีนด้วย โดยงานวิจัยนี้ติดตามการเปลี่ยนแปลงจากการเปลี่ยนแปลงค่า surface hydrophobicity (ภาพที่ 3) ซึ่งพบว่า โปรตีนดัดแปรนี้มีค่า surface hydrophobicity สูงกว่าโปรตีนเดิมที่ทุกระดับการดัดแปร ที่ปริมาณสารดัดแปร = 0.4 กรัม/กรัมโปรตีน ค่า surface hydrophobicity สูงสุดเท่ากับ 62 และเมื่อปริมาณสารดัดแปร > 0.4 กรัม/กรัมโปรตีน ค่า surface hydrophobicity ลดลงเมื่อปริมาณสารดัดแปรที่ใช้เพิ่มขึ้น เนื่องจากในการผลิตสารทดแทนไขมัน เพื่อให้ได้ช่วงขนาดอนุภาคที่ต้องการ (0.1-3 ไมครอน) วิธีการผลิตจึงประกอบด้วยวิธีการที่ใช้เพื่อเพิ่มขนาดอนุภาค ด้วยการเพิ่มพันธะระหว่างโปรตีนโมเลกุลก่อน แล้วทำการลดขนาดอนุภาคโดยการตีปั่น การดัดแปรโปรตีนทางเคมีเป็นส่วนหนึ่งของวิธีการเพื่อเพิ่มขนาดอนุภาคโดยแปรผิวโปรตีนให้เหมาะสมต่อการ

เกิดพันธะระหว่างโปรตีนโมเลกุลด้วย calcium bridge ระหว่างประจุลบที่ผิวโปรตีนกับ CaCl_2 และด้วย hydrophobic interaction ซึ่งเหนี่ยวนำด้วยความร้อนในกระบวนการต่อไป โปรตีนดัดแปรด้วยปริมาณ 0.4 กรัม สารดัดแปร/กรัมโปรตีน ให้ค่า surface hydrophobicity สูงสุดซึ่งอาจเป็นผลทำให้โอกาสเกิด hydrophobic interaction ระหว่างโปรตีนโมเลกุลสูงเมื่อถูกเหนี่ยวนำด้วยความร้อน จึงถูกเลือกเพื่อใช้ผลิตสารทดแทนไขมันในกระบวนการต่อไป



ภาพที่ 7.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Degree of chemical modification กับปริมาณสารดัดแปร



ภาพที่ 7.3 ผลของการดัดแปรทางเคมีต่อ surface hydrophobicity ของโปรตีนถั่วเขียว

ดังนั้น จึงทำการศึกษาความสามารถในการละลายน้ำ (NSI) และ EAI เฉพาะของโปรตีนดัดแปรที่ ปริมาณ 0.4 กรัมสารดัดแปร/กรัมโปรตีน เพื่อเปรียบเทียบกับสมบัตินี้ของโปรตีนไม่ดัดแปร พบว่าถึงแม้ว่าโปรตีนดัดแปร มีค่า surface hydrophobicity สูงกว่าโปรตีนไม่ดัดแปร แต่ค่า NSI ของโปรตีนดัดแปรก็มีค่าสูงกว่าโปรตีนไม่ดัดแปรด้วย (ตารางที่ 6.4) ซึ่งบ่งว่าผิวของโปรตีนดัดแปรอาจมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของทั้งกลุ่มที่เป็น polar และ non-polar ในทางบวก ที่มีผลทำให้สมบัติการเป็น surface active agent หรือ emulsifier ของโปรตีนดัดแปรสูงกว่าโปรตีนไม่ดัดแปร ตรงกับการที่ค่า EAI ของโปรตีนดัดแปรสูงกว่าโปรตีนไม่ดัดแปร 1.3 เท่า (ตารางที่ 5) นอกจากนี้ โปรตีนดัดแปรยังมีค่า EAI สูงกว่า BSA ซึ่ง BSA มีค่านี้สูงกว่า egg albumin ที่เป็น surface active agent ธรรมชาติ

ชาติที่ใช้กันอย่างแพร่หลายถึง 4 เท่า (Pearce and Kinsella, 1978) ทำให้โปรตีนดัดแปรด้วยวิธีนี้มีศักยภาพในการเป็น emulsifier ที่ดี

ตารางที่ 7.4 ความสามารถในการละลาย ของโปรตีนถั่วเขียว

Type of Mung Bean Protein	pH	NSI
Chemically modified	7.0	83.92
	4.5	21.84
Native	7.0	74.36
	4.5	3.74

ตารางที่ 7.5 ค่า EAI ของสารละลายโปรตีน 0.5%(w/v) ใน phosphate buffer pH 7

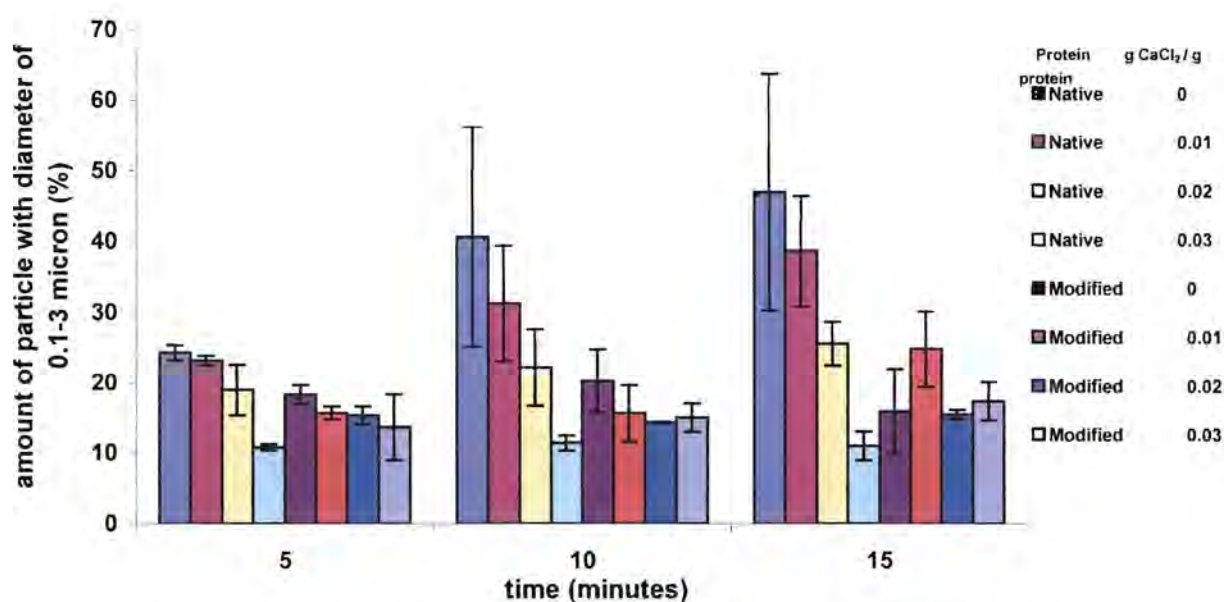
ชนิดของโปรตีน	EAI
Chemically modified mung bean protein	110 ± 5
BSA	102 ± 4
Native mung bean protein	83 ± 2

7.3.3. การผลิตสารทดแทนไขมัน

กระบวนการผลิตสารทดแทนไขมันจากโปรตีน (ที่ผ่านและไม่ผ่านการดัดแปรทางเคมีด้วยวิธี succinylation) ใช้ความร้อนเป็นหลักเพื่อทำให้เกิดการเสียสภาพของโปรตีน พร้อมกับทำให้เกิดการจับกันระหว่างโมเลกุลของโปรตีนด้วย hydrophobic interaction เป็นผลทำให้ขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้น โดยทั้งที่ไม่มีและมีการทำให้เกิด salt bridge ระหว่างโมเลกุลของโปรตีนก่อน ด้วยการแปรปริมาณ CaCl_2 ในสารละลายโปรตีนก่อนให้ความร้อน ตลอดจนกระบวนการผลิตมีการตีปั่นตลอดเวลาเพื่อกระจายความร้อนและ CaCl_2 ให้สม่ำเสมอ ขณะเดียวกันการตีปั่นทำให้ขนาดอนุภาคลดลงด้วย วัตถุประสงค์ของการทดลองช่วงนี้เพื่อหา สภาวะคือ ปริมาณ CaCl_2 ที่เติม และเวลาในการให้ความร้อนที่ความเข้มข้นสารละลายโปรตีนที่คงที่ที่ 5% (McCarthy and Maegli, 1994) และอุณหภูมิคงที่ที่ 83 ± 1 การวิจัยของ Singer (1996) พบว่า critical property ของสารทดแทนไขมันคือขนาดอนุภาค ซึ่งต้องอยู่ในช่วง 0.1-3 ไมครอน ผลการทดลอง (ภาพที่ 6.4) พบว่า เมื่อใช้โปรตีนไม่ดัดแปร และไม่เติม CaCl_2 มีแนวโน้มที่ให้ปริมาณอนุภาคในช่วงขนาดที่ต้องการสูงกว่า เมื่อใช้โปรตีนดัดแปร และ/หรือเติม CaCl_2 นอกจากนั้นเวลาที่ให้ความร้อนเพิ่มขึ้นก็มีแนวโน้มทำให้ปริมาณนี้สูงขึ้น

ผลของการตีปั่นต่อ (ภาพที่ 7.5) พบว่าการตีปั่นต่อที่ความเร็วรอบระหว่าง 23,000-27,000 ต่อนาที นาน 5 นาที ไม่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณขนาดอนุภาคโปรตีนที่ต้องการอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ แต่ทำให้ค่า standard error ของปริมาณนี้ในแต่ละครั้งการทดลองน้อยลงเมื่อตีปั่นที่ความเร็วรอบ 23,000 และ 24,000 ต่อนาที ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความจำกัดของเครื่องตีปั่นที่ใช้ ดังนั้นเพื่อให้สามารถลดขนาดอนุภาคโปรตีนที่ใหญ่กว่า $3 \mu\text{m}$ ลงมาเพื่อให้ได้ปริมาณอนุภาคโปรตีนขนาด 0.1-3 μm เพิ่มขึ้น จึงทำการตีปั่นที่ความเร็วรอบ 23,000 เป็นเวลานาน

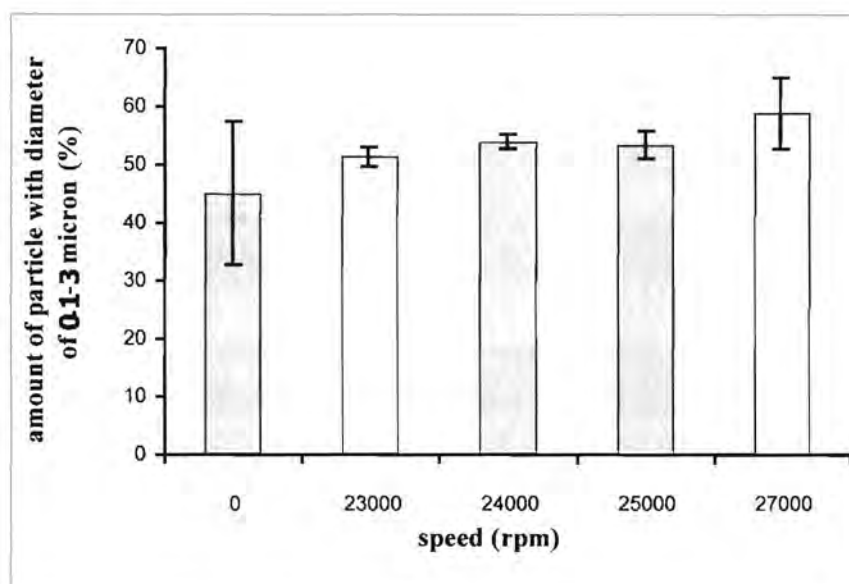
5, 10, 15 และ 20 นาที พบว่า (ภาพที่ 7.6) การเพิ่มเวลาการตีปั่นมีแนวโน้มที่ทำให้ปริมาณอนุภาคโปรตีนขนาดที่ต้องการเพิ่มขึ้นและที่เวลา 15 นาที พบว่าได้อนุภาคโปรตีนขนาด 0.1-3 μm ในปริมาณ $65.14 \pm 4.24\%$



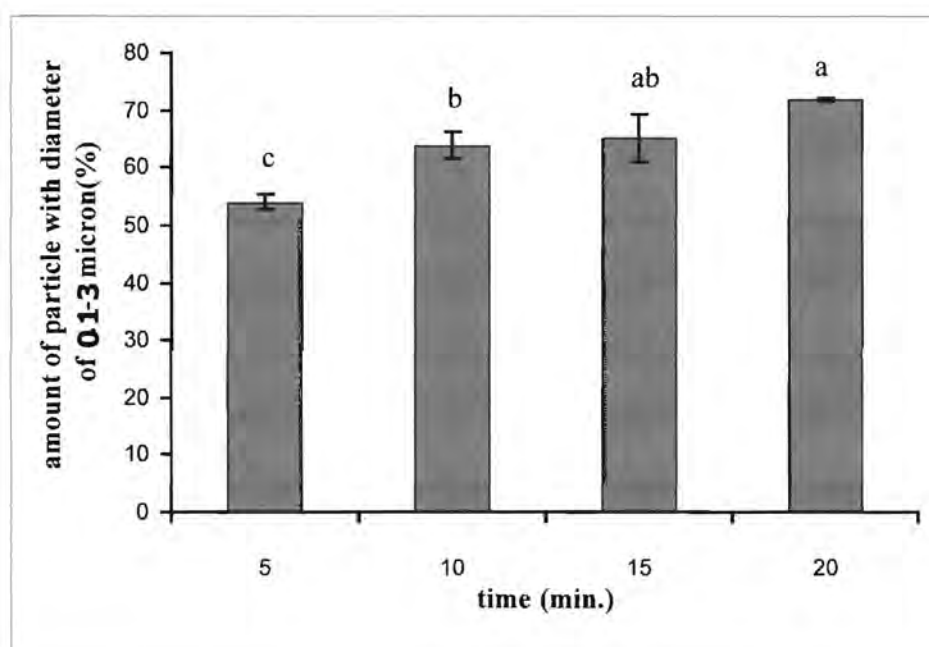
ภาพที่ 7.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของอนุภาคโปรตีนในช่วง 0.1-3 μm กับเวลาที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 83 $^{\circ}\text{C}$ พร้อมการตีปั่นที่ความเร็วรอบ 17,000 ต่อนาที

เมื่อนำสารแขวนลอยโปรตีนที่ได้จากการตีปั่นนาน 15 นาทีที่ความเร็วรอบ 23,000 ต่อนาทีไปปั่นเหวี่ยงต่อเพื่อตกตะกอนแยกอนุภาคโปรตีนขนาดใหญ่กว่า 3 μm ออก พบว่า (ตารางที่ 7.6) การปั่นเหวี่ยงนาน 10 นาทีที่ 1000xg ทำให้มีอนุภาคโปรตีนขนาดใหญ่กว่า 3 μm คงเหลืออยู่ในส่วนที่เป็นน้ำ (supernatant) เพียง $0.10 \pm 0.01\%$ ขณะที่การปั่นเหวี่ยงที่ 2000xg ขึ้นไปทำให้อนุภาคโปรตีนขนาดใหญ่กว่า 3 μm ตกตะกอนหมด แต่ก็ทำให้อนุภาคโปรตีนขนาดที่ต้องการตกตะกอนบางส่วนด้วยจากการคำนวณหาผลได้ร้อยละในส่วนที่เป็นน้ำ (ตารางที่ 7.7) พบว่าการปั่นเหวี่ยงที่ 1000xg ให้ผลได้สูงสุดเท่ากับ 0.89 กรัมต่อกรัมโปรตีนตัวเขียวที่ใช้

จากภาพที่ 7.7 ที่ได้จาก SME พบว่าอนุภาคโปรตีนขนาด 0.1-3.0 μm ที่ได้มีรูปร่างสองมิติเป็นวงกลม ซึ่งเป็นไปได้สูงที่จะมีรูปทรงกลม ทำให้อนุภาคโปรตีนนี้มีศักยภาพสูงในการนำไปใช้เป็นสารทดแทนไขมัน



ภาพที่ 7.5 ผลของความเร็วยรอบที่ใช้ในการตีปั่นนาน 5 นาที ต่อปริมาณของอนุภาคโปรตีนในช่วง 0.1-3 μm



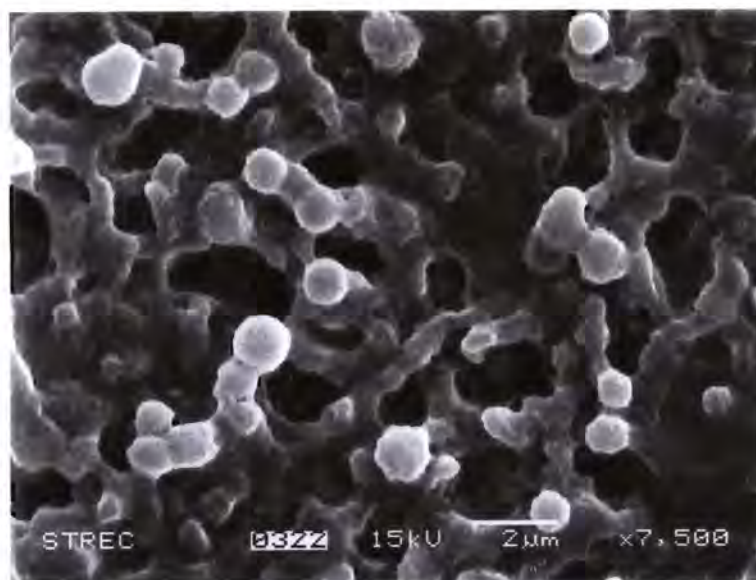
ภาพที่ 7.6 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการตีปั่นที่ความเร็วรอบ 23,000 ต่อหน้าที่ ต่อปริมาณของอนุภาคโปรตีนในช่วง 0.1-3 μm

ตารางที่ 7.6 ผลของแรงที่ใช้ในการปั่นเหวี่ยงนาน 10 นาที ต่อปริมาณของอนุภาคโปรตีนในช่วง 0.1-3 μm

Force (x g)	amount of particle (%)					
	supernatant			precipitate		
	< 0.1 μm	0.1-3 μm	> 3 μm	< 0.1 μm	0.1-3 μm	> 3 μm
1000	7.39 \pm 0.42	92.61 \pm 0.40	0.01 \pm 0.01	0.30 \pm 0.06	77.10 \pm 0.46	22.60 \pm 0.41
2000	7.21 \pm 0.39	92.80 \pm 0.39	0.00	0.65 \pm 0.18	83.73 \pm 1.47	15.62 \pm 1.29
3000	7.20 \pm 0.48	92.80 \pm 0.48	0.00	1.44 \pm 0.09	87.85 \pm 1.87	10.72 \pm 1.78
4000	8.40 \pm 0.15	91.61 \pm 0.15	0.00	1.83 \pm 0.31	90.14 \pm 0.13	8.03 \pm 0.18

ตารางที่ 7.7 ผลของแรงที่ใช้ในการปั่นเหวี่ยงนาน 10 นาที ต่อผลได้ของอนุภาคโปรตีนในช่วง 0.1-3 μm

Force (x g)	Yield of 0.1-3 μm particles (g/g protein dry basis)	
	supernatant	precipitate
1000	0.89	0.03
2000	0.88	0.04
3000	0.87	0.05
4000	0.86	0.06



ภาพที่ 7.7 ภาพของอนุภาคโปรตีนตัวเขียวในช่วง 0.1-3 μm จาก scanning electron microscope ที่กำลังขยาย 7,500 เท่า

7.4. สรุปผลการทดลอง

กระบวนการที่เหมาะสมระดับห้องปฏิบัติการที่ใช้ในการผลิตอนุภาคโปรตีนทรงกลมขนาด 0.1-3.0 μ m เพื่อเป็นสารทดแทนไขมันจากโปรตีนถั่วเขียวคือ

- ให้ความร้อนแก่สารละลายโปรตีนถั่วเขียว (ที่ไม่ผ่านการตัดแปรทางเคมี) ในน้ำปลอดเชื้อ (ความเข้มข้น 5% โดยน้ำหนัก) ที่ 83°C นาน 15 นาที พร้อมการตีปั่นที่ความเร็วรอบ 17,000 ต่อนาที
- ตีปั่นที่ความเร็วรอบ 23,000 ต่อนาที นาน 15 นาที
- ปั่นเหวี่ยงที่ 1000xg นาน 10 นาที

ผลได้ของกระบวนการข้างต้นนี้คือ 0.89 กรัมต่อกรัมโปรตีนถั่วเขียว

นอกจากนี้ยังพบว่า การตัดแปรโปรตีนถั่วเขียวด้วย succinyl anhydride ในปริมาณ 0.4 กรัมต่อกรัมโปรตีนทำให้ค่า emulsifying activity index ของโปรตีนถั่วเขียวตัดแปรสูงถึง 110 บ่งศักยภาพในการเป็นสาร emulsifier ด้วย

7.5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณจาก

- โครงการอุดหนุนและส่งเสริมวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท-เอก ในสถาบันอุดมศึกษาของรัฐ ของทบวงมหาวิทยาลัย
- ทุนอุดหนุนการวิจัย งบประมาณแผ่นดิน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ชุดโครงการสำรวจเพื่อประเมินผลและวางแผนการวิจัยเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมเกษตร-อุตสาหกรรมอาหาร งบประมาณแผ่นดิน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประจำปี 2544

และได้รับความอนุเคราะห์

- วัตถุดิบ (น้ำโปรตีนถั่วเขียวจากการผลิตแป้งถั่วเขียว) จากบริษัทไทวาฟู้ดโปรดัก จำกัด (มหาชน)
- Soy protein Isolated จากบริษัท Abbra corporation limited

7.6. เอกสารอ้างอิง

- Allizadeh-Pasdar, N. and Li-Chan, C.Y. 2000. Comparison of Protein Surface Hydrophobicity Measured at Various pH Values Using Three Different Fluorescent Probes. *J. Agric. Food Chem.* 48: 328-334.
- AOAC(Association of Official Analytical Chemists). 1995. *AOAC Official Method of Analysis*. 16th ed. Washington D.C.
- Coffmann, C.W. and Garcia, V.V. 1977. Functional properties and amino acid content of a protein isolate from mungbean flour. *J. Fd Technol.* 12: 473-484.
- Franzen, K.L. and Kinsella, J.E. 1976. Functional Properties of Succinylated and Acetylated Soy Protein. *J. Agric. Food Chem.* 24: 788-795.
- Howell, N.K. 1996. Chemical and Emzymatic Modification. In S. Nakai and H. W. Modler (Eds.), *Food Protein: Properties and Characterization*, pp.235-280. New York: VCH Publishers, Inc.
- Kohnhorst, A.L., Smith, D.M., Uebersax, M.A. and Bennink, M.R. 1991. Production and Characterization of a Protein Concentrate from Navy Bean (*Phaseolus vulgaris*). *Food Chemistry*. 41: 33-42.
- Liu, H.J., Chang, B.Y., Yan, H.W., Yu, F.H., and Liu, X.X. 1995. Determination of amino acid in food and feed by derivatization with 6-aminoquinolyl-*n*-hydroxysuccinimidyl carbamate and reverse-phase liquid chromatographic separation. *J. of AOAC international*. 78(3): 736-744.
- McCarthy, A.J. and Maegli, J.W. 1994. *Protein fat replacer and method of manufacture thereof*. US Patent 5,350,590.
- Pearce, K.N. and Kinsella, J.E. 1978. Emulsifying properties of proteins: Evaluation of a turbidimetric technique. *J. Agric. Food Chem.* 26: 716-723.
- Poehlman, J.M. 1991. *The Mungbean*. Colorado: Westview Press.
- Puppo, M.C. and Anon, M.C. 1999. Soybean Protein Dispersion at Acid pH. Thermal and Rheological Properties. *J. Food Sci.* 64(1): 50-56.
- Sathe, S.K. and Salunkhe, D.K. 1981. Functional Properties of the Great Northern Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Protein: Emulsion, Foaming, Viscosity, and Gelation Properties. *J. Food Sci.* 46: 71-74, 81.
- Singer, N.S. 1996. Microparticulated Proteins as Fat Mimetics. In S. Roller, and S.A. Jones (Eds.), *Handbook of Fat Replacer*. pp. 175-189. Boca Raton: CRC Press.
- Vojdani, F. 1996. Solubility. In G.M. Hall (Ed.), *Method of Testing Protein Functionality*, pp. 11-60. London: Blackie Academic & Professional.
- Were, L., Hettiarachchy, N.S., and Kalapathy, U. 1997. Modified Soy Proteins with Improved Foaming and Water Hydration Properties. *J. Food Sci.* 62(4): 821-823, 850.

บทที่ 8. ข้อมูลจากการทดลองเบื้องต้น: สมบัติเชิงความร้อนของสตาร์ชถั่วเขียว (Thermal Properties of Mung Bean Starch)

นภมณี มงคลประเสริฐ* พาสวดี ประทีปะเสน* สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ* Osato Miyawaki**

*ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

** Department of Agricultural Chemistry, The University of Tokyo, Tokyo, Japan

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติทางการไหลและสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชถั่วเขียว ซึ่งจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่ามีความชื้น 10.89% เถ้า 0.03% โปรตีน 0.10% ไขมัน 0.31% เส้นใย 0.01% และคาร์โบไฮเดรต 88.66% (w/w)¹ และจากการวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ชและอะมิโลสพบว่ามีความชื้น 97.98% (w/w) จากคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด โดยส่วนที่เป็นสตาร์ชมีอะมิโลส 34.49% (w/w)

การศึกษาสมบัติเชิงความร้อนด้วย Differential Scanning Calorimeter (DSC) พบว่าความชื้นมีผลต่อการเกิดเจลลิตินในเซชันของสตาร์ชถั่วเขียว คือที่ความชื้น 30% (w/w) ไม่พบ endotherm peak ซึ่งบ่งชี้ว่าความชื้นไม่พอเพียงพอต่อการเกิดเจลลิตินในเซชัน การเพิ่มความชื้นจาก 40% (w/w) ถึง 80% (w/w) ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ต่อค่าอุณหภูมิเริ่มต้น ($62.62 \pm 1.45^{\circ}\text{C}$) และอุณหภูมิที่ ΔH สูงสุด ($68.42 \pm 0.65^{\circ}\text{C}$) แต่ค่า ΔH แสดงแนวโน้มว่าเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นในช่วง 40-80% (w/w) นอกจากนี้ในช่วงค่าความชื้น 50-61% (w/w) พบ endotherm 2 peak ซ้อนกัน ขณะที่ช่วงความชื้นต่ำหรือสูงกว่านี้พบเพียง 1 peak เจลสตาร์ชถั่วเขียวซึ่งมีปริมาณน้ำร้อยละ 70 (w/w) เกิดรีโทรเกรดชันเมื่อเก็บไว้ 1 วัน ที่ 4°C และ 7 วัน ที่ -20°C

This research investigated the rheological and thermal properties of mung bean starch. From Chemical analysis, it was found that the mung bean starch contained 10.89% moisture, 0.03% ash, 0.10% protein, 0.31% fat, 0.01% fiber and 88.66% (w/w)² carbohydrate. The starch content was 97.98% (w/w) of carbohydrate with 34.49% (w/w) amylose. From Differential Scanning Calorimeter (DSC), it was found that moisture content affected starch gelatinization. At 30% (w/w) moisture content, the endotherm peak was not found which indicated that the water was not sufficient for gelatinization. Increasing moisture content from 40% to 80% (w/w) did not affect the onset temperatures ($62.62 \pm 1.45^{\circ}\text{C}$) and peak temperature ($68.45 \pm 0.65^{\circ}\text{C}$). However, the increasing moisture content in the range of 40-80% (w/w) increased the enthalpy of gelatinization (ΔH). It was also found that in moisture range of 50 to 61% (w/w) there were two endotherm peaks overlapping each other, while at the other conditions there was only one peak. Retrogradation of mung bean starch gel having 70% (w/w) moisture content found after storage for one day at 4°C and for seven days at -20°C .

¹ ร้อยละโดยน้ำหนัก หรือ (w/w) เป็น dry basis ตลอดรายงาน

² all in dry basis

8.1. บทนำ

สตาร์ชถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมการผลิตแก้วและอุตสาหกรรมยาอย่างแพร่หลาย เนื่องจาก สตาร์ชมีสมบัติเฉพาะหลังเกิดเจลาตินไนซ์แล้วคือเพิ่มความหนืดและความคงตัว อุ่นน้ำได้ดี ให้โครงสร้างของโครงร่างตาข่าย และการเกิดฟิล์ม (Mariam and Schmidt, 1996) จากสมบัติดังกล่าวทำให้สามารถนำสตาร์ชมาปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารโดยใช้เพิ่มความหนืดของอาหาร เช่น ในผลิตภัณฑ์ซอส เกรวี และพุดดิ้ง (Lee และคณะ, 1995) ปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของกระดาษ โดยทำให้เส้นใยเซลลูโลสที่ใช้ทำกระดาษมีความต้านทานต่อการซึมของน้ำมากขึ้นรูปเป็นฟิล์มสำหรับเคลือบเมื่อยา ทำให้เส้นใยผ้ามีความแข็งแรงและเนื้อสัมผัสเรียบ (Braultlecht, 1953) เป็นต้น

สมบัติทางความร้อน เช่น การเกิดเจลาตินไนเซชันและรีโทรเกรเดชัน ซึ่งได้มีการศึกษาอย่างกว้างด้วย Differential Scanning Calorimeter หรือ DSC (Donovan, 1979; Biliaderis, Maurice and Vose, 1980; Krueger และคณะ, 1987; Yuan, Thompson and Boyer, 1993) Krueger และคณะ (1987) ใช้วิธีนี้วัดพลังงาน(ในรูปของเอนทาลปี)ที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการหลอมผลึกในแกรนูลสตาร์ช (ΔH) อาหารที่มีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบจะเกิดเจลาตินไนซ์ในระหว่างการแปรรูป เช่นการอบขนมปังและเค้ก การเอ็กซ์ทรูชันผลิตภัณฑ์ที่มีธัญพืชเป็นองค์ประกอบหลัก การเกิดเจลในซอส และไส้กึ่งสำเร็จรูปในพาย (John and Shastri, 1998) เนื่องจากเมื่อสารแขวนลอยสตาร์ชได้รับความร้อนพันธะไฮโดรเจนคลายตัวแกรนูลสตาร์ชดูดน้ำแล้วพองตัว และเกิดเจลาตินไนซ์ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น ซึ่งการเกิดเจลาตินไนเซชันจะเกิดเป็นช่วงอุณหภูมิไม่ได้เกิดที่อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่ง และสตาร์ชแต่ละชนิดจะมีช่วงอุณหภูมิก่อเกิดเจลาตินไนเซชันไม่เท่ากัน รวมทั้งที่ความชื้นต่าง ๆ กัน หลังจากเกิดเจลาตินไนเซชันแล้ว ระหว่างการเก็บโมเลกุลของสตาร์ชเริ่มมีการจัดเรียงตัวใหม่เป็นโครงสร้างที่มีความเป็นระเบียบ หรือเรียกว่าการเกิดรีโทรเกรเดชัน ซึ่งมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ที่มีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบ (Biliaderis and Zawistowski, 1990; Ward, Hosney and Seib, 1994; Kim, Wiesenborn and Grant, 1997) ดังนั้นในการนำสตาร์ชไปทำเป็นผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจำเป็นต้องรู้อุณหภูมิและความชื้นต่ำสุดที่สตาร์ชนั้นเกิดเจลาตินไนเซชันและอุณหภูมิพร้อมระยะเวลาที่เก็บผลิตภัณฑ์ที่รีโทรเกรเดชันเริ่มเกิดขึ้น เพื่อเป็นตัวกำหนดปัจจัยในกระบวนการแปรรูปและสภาวะและอายุสำหรับการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

8.2. วิธีการทดลอง

8.2.1. วัตถุประสงค์

สตาร์ชถั่วเขียว ได้รับการอนุเคราะห์จากบริษัท สิทธิพันธ์ จำกัด (มหาชน) กรุงเทพฯ

8.2.2. ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

8.2.2.1 ปริมาณอะมิโลสและอะมิโลเพกตินในแป้ง

8.2.2.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชถั่วเขียว

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชถั่วเขียวดังต่อไปนี้

ความชื้นโดยใช้ Hot Air Oven ตามวิธี AOAC 925.10(1955)

โปรตีนโดยวิธี Kjeldahl ตามวิธี AOAC 920.87 (1995)

ไขมันโดยวิธี Soxhlet extraction ตามวิธี AOAC 920.85(1995)

เส้นใยโดยหา crude fiber ตามวิธี AOAC 920.86(1995)

เถ้าโดยใช้ Furnace ตามวิธี AOAC 923.03(1995)

คำนวณปริมาณคาร์โบไฮเดรต ตามสมการต่อไปนี้

$$A = 100 - B$$

เมื่อ A = ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)

B = ผลรวมของปริมาณร้อยละของความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใยและเถ้า

วิเคราะห์น้ำตาลโดยใช้ Polarimeter ตามวิธี AOAC 945.37(1995)

วิเคราะห์อะมิโลสโดยใช้ Iodine method ตามวิธีของ Juliano (1971) และใช้เทคนิคการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 6 ความยาวคลื่นคือ 520, 530, 565, 592, 700 และ 800 นาโนเมตร ตามวิธีของ Jarvis และ Walker (1993)

8.2.2.3 การศึกษาผลของความชื้นต่อการเกิดเจลลิตินในเซชันของสตาร์ชถั่วเขียว

วิเคราะห์หาค่า onset temperature (T_o), peak temperature (T_p), final temperature (T_f) และ enthalpy of gelatinization (ΔH) ของการเกิดเจลลิตินในเซชันของสตาร์ชถั่วเขียวด้วย Differential Scanning Calorimeter (DSC7, Perkin Elmer, Connecticut, USA) ที่ระดับความชื้นต่าง ๆ ในช่วงร้อยละ 30-80 โดยน้ำหนัก โดยให้ความร้อนแก่ตัวอย่างจาก 40-120 องศาเซลเซียส ในอัตรา 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีของ Kim และคณะ (1995)

8.2.2.4 การศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาการเก็บต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันของเจลลิตินของสตาร์ชถั่วเขียว

ทำการ gelatinize สตาร์ชถั่วเขียว 3.4 มิลลิกรัม ที่ระดับความชื้นร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก ด้วย DSC โดยให้ความร้อนแก่ตัวอย่างจาก 40-110 องศาเซลเซียส ในอัตรา 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีของ Kim และคณะ (1995) แล้วนำเจลลิตินถั่วเขียวนี้นี้ไปเก็บที่อุณหภูมิ 4 และ -20 องศาเซลเซียส โดยนำเจลที่เก็บนี้ไปตรวจสอบการเกิด regelatinize ภายหลังจากการเก็บ 1, 3, 7 และ 14 วัน ด้วย DSC อีกครั้ง และวิเคราะห์หาค่า T_o , T_p , T_f และ enthalpy of regelatinization (ΔH_{reg}) ของเจลลิตินถั่วเขียว โดยให้ความร้อนแก่ตัวอย่างจาก 40-110 องศาเซลเซียส ในอัตรา 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีของ Baker และ Duarte (1998)

8.3. ผลการทดลองและวิจารณ์

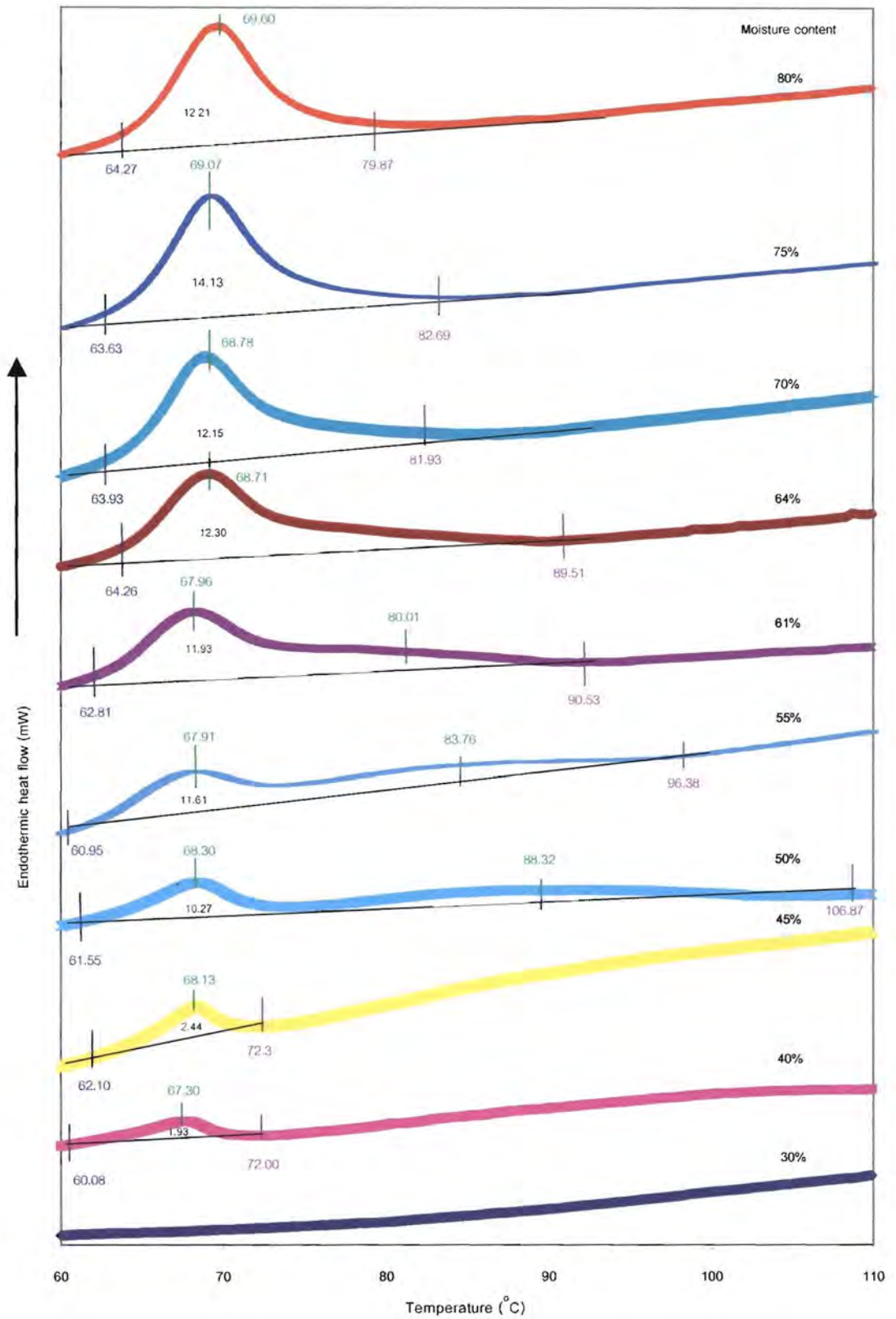
8.3.1. องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชถั่วเขียว

จากการวิเคราะห์พบว่าสตาร์ชถั่วเขียวที่ศึกษาประกอบด้วย โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใย และ ความชื้นร้อยละ 0.1 ± 0.00 , 0.31 ± 0.01 , 0.03 ± 0.01 , 0.01 ± 0.00 และ 10.89 ± 0.04 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ จากการ

คำนวณได้คาร์โบไฮเดรตเท่ากับร้อยละ 88.66 โดยน้ำหนัก ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่าในส่วนที่เป็นคาร์โบไฮเดรต ประกอบด้วยสตาร์ชร้อยละ 97.98±0.46 โดยน้ำหนัก และในส่วนที่เป็นสตาร์ชมีอะมิโลสร้อยละ 34.49±0.89 โดยน้ำหนัก

8.3.2. ผลของความชื้นต่อการเกิดเจลลิตีในเซชันของสตาร์ชถั่วเขียว

ผลการศึกษาการเกิดเจลลิตีในเซชันของสตาร์ชถั่วเขียวที่ระดับความชื้นในช่วงร้อยละ 30-80 โดยน้ำหนัก ด้วย DSC โดยให้ความร้อนแก่ตัวอย่างจาก 40-120 องศาเซลเซียส ในอัตรา 10 องศาเซลเซียสต่อนาที (ภาพที่ 1) พบว่า Peak ของการเกิดเจลลิตีในเซชันไม่ปรากฏที่ความชื้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก แต่ปรากฏที่ช่วงความชื้นตั้งแต่ร้อยละ 40 โดย น้ำหนัก โดยในช่วงความชื้นร้อยละ 50-61 โดยน้ำหนัก มี 2 peak และในช่วงความชื้นร้อยละ 64-80 โดยน้ำหนักมี 1 peak บ่งว่าความชื้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ไม่พอเพียงต่อการเกิดเจลลิตีในเซชันของสตาร์ชถั่วเขียว



ภาพที่ 8.1 Endothermic peak ของสตาร์ชข้าวที่ระดับความชื้นร้อยละ 30-80 โดยน้ำหนัก

| แสดง T_o (onset temperature), ! แสดง T_p (peak temperature),

| แสดง T_f (final temperature) และตัวเลขภายใต้ peak แสดงค่า ΔH (enthalpy of gelatinization)

ในกรณีที่มีการเกิดเจลลิตีในเซชันพบว่าอุณหภูมิที่เจลลิตีในเซชันเริ่มเกิด (onset temperature, T_o) และอุณหภูมิที่ ΔH สูงสุด (peak temperature, T_p) ไม่ขึ้นกับความชื้นและเท่ากับ 62.62 ± 1.45 องศาเซลเซียส และ 68.42 ± 0.65 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อสตาร์ชได้รับความร้อนถึง T_o ที่ต้องการ สตาร์ชในส่วนที่ดูดน้ำไว้พอเพียงก็เกิดเจลลิตีในเซชัน ดังในกรณีความชื้นตั้งแต่ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก เนื่องจากแกรนูลสตาร์ชประกอบด้วยส่วนที่เป็น amorphous และส่วนที่เป็น crystalline ลักษณะโครงสร้างที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าของ amorphous (ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยอะมิโลสและสายโซ่ยาวกับกิ่งก้านของอะมิโลเพคติน) สามารถดูดน้ำและพองตัวได้ง่ายกว่าส่วน crystalline (ซึ่งส่วนใหญ่เป็นบริเวณที่จัดเรียงเป็นเส้นตรงของอะมิโลเพคตินและอะมิโลสที่เป็นเกลียวววน) โดยโครงสร้างส่วน amorphous ดูดน้ำและพองตัวได้ เมื่อได้รับความร้อนพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโมเลกุลของสตาร์ชถูกทำลายบางส่วน ดังนั้นจึงเกิดการเชื่อมพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของสตาร์ชและโมเลกุลของน้ำ แทนที่พันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโมเลกุลของสตาร์ช (Wang, Qu and Chiew, 1994) ส่งผลให้โครงสร้างส่วน crystalline ถูกทำลายด้วยความร้อนได้ง่ายขึ้น ผลการวิเคราะห์พบว่าที่ความชื้นร้อยละ 40 และ 45 โดยน้ำหนัก peak เจลลิตีในเซชันสิ้นสุดที่อุณหภูมิ 72.00 และ 72.31 องศาเซลเซียส และค่า ΔH เท่ากับ 1.93 และ 2.44 จูลต่อกรัม ตามลำดับ เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก peak เจลลิตีในเซชันสิ้นสุดที่อุณหภูมิ 106.87 องศาเซลเซียส และค่า ΔH เท่ากับ 10.27 จูลต่อกรัม โดยมี peak ของเจลลิตีในเซชัน 2 peak แยกกัน บ่งว่าการเกิดเจลลิตีในเซชันแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ช่วงแรกมีค่า ΔH เท่ากับ 3.36 จูลต่อกรัม ซึ่งอาจจะเนื่องจากในช่วงความชื้นร้อยละ 40-45 โดยน้ำหนัก น้ำส่วนใหญ่อยู่ในส่วนของ amorphous ทำให้เกิดเจลลิตีในเซชันเฉพาะในส่วนที่เป็น amorphous และที่ความชื้นร้อยละ 50 โดย น้ำหนัก มีน้ำเพียงพอทำให้เกิดเจลลิตีในเซชันอย่างสมบูรณ์ของส่วนที่เป็น amorphous และยังมีน้ำพอเพียงให้เกิดเจลลิตีในเซชันในส่วน crystalline ได้ด้วยแต่ต้องใช้อุณหภูมิสูงขึ้นกว่า 72 องศาเซลเซียส เพื่อทำลายพันธะภายในผลึกนั้น (Wirakartakusmar, 1981) ดังนั้น peak ที่ 2 จึงเป็นส่วนที่เป็น crystalline เกิด เจลลิตีในเซชัน (Biliaderis และคณะ, 1986) ที่ความชื้นร้อยละ 55 และ 61 โดยน้ำหนัก ปรากฏว่า peak ทั้ง 2 นี้ซ้อนกันและอุณหภูมิที่เจลลิตีในเซชันสิ้นสุด (T_p) ลดลงอย่างชัดเจนเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น (คือค่า T_p ลดลงประมาณ 10 องศาเซลเซียสและ 5 องศาเซลเซียส ในช่วงความชื้นร้อยละ 50-55 โดยน้ำหนัก และ 55-61 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ) ขณะที่ค่า ΔH เพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 1 การซ้อนกันของ 2 peak นี้ และการที่อุณหภูมิที่สิ้นสุดการเกิดเจลลิตีในเซชันเริ่มลดลงเมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากการเพิ่มความชื้นจะเพิ่มปริมาณน้ำซึ่งพอสำหรับการทำลายโครงสร้าง crystalline และทำให้เกิดเจลลิตีในเซชันในส่วนที่เคยเป็นโครงสร้าง crystalline นี้เมื่อได้รับความร้อนถึงอุณหภูมิที่ต่ำกว่า (Wirakartakusmar, 1981 และ Biliaderis, 1998) และเมื่อความชื้นตั้งแต่ร้อยละ 64 โดยน้ำหนักขึ้นไป เจลลิตีในเซชันเกิดในช่วงอุณหภูมิแคบลง คือ T_p ลดลงเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น (Abboud and Hosenev, 1984) แต่ค่า ΔH คงที่ที่ประมาณ 12.70 จูลต่อกรัม ซึ่งบ่งว่าโครงสร้าง crystalline ถูกทำลายในช่วงความชื้นนี้ และการเกิดเจลลิตีในเซชันของทั้งส่วน amorphous และส่วนที่เคยเป็น crystalline เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ส่วนโครงสร้างเชิงซ้อนของอะมิโลสกับไขมันถูกทำลายที่อุณหภูมิสูงกว่าประมาณ 120 องศาเซลเซียส แต่เนื่องจากในงานวิจัยนี้เครื่องมือมีข้อจำกัดถึงแค่ 120 องศาเซลเซียส จึงสามารถสรุปผลของความชื้นต่อการเกิดเจลลิตีในเซชันของสตาร์ชได้ดังนี้

- ความชื้นต่ำกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ไม่เกิดเจลลิตีในเซชัน
- ความชื้นตั้งแต่ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ขึ้นไป เริ่มเกิดเจลลิตีในเซชัน
- ในช่วงความชื้นร้อยละ 50-61 โดยน้ำหนัก ปรากฏ peak ของ Endotherm 2 peak

- ความชื้นตั้งแต่ร้อยละ 64 โดยน้ำหนัก ขึ้นไป เกิดเจลลาคติโนเซชันอย่างสมบูรณ์และค่า ΔH เท่ากับ 12.7 จูลต่อกรัม

ผลของความชื้นต่อค่า ΔH พบว่า เมื่อเพิ่มความชื้นจากร้อยละ 30 เป็น 80 โดยน้ำหนัก ค่า ΔH ของสตาร์ชถั่วเขียวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งบ่งว่าระดับการเกิดเจลลาคติโนเซชัน (degree of gelatinization) เพิ่มขึ้น ดังนั้น ค่า ΔH สามารถนำมาวิเคราะห์ระดับการเกิดเจลลาคติโนเซชัน โดยผลการทดลองบ่งว่าการเกิดเจลลาคติโนเซชันอย่างสมบูรณ์เมื่อความชื้น \geq ร้อยละ 64 โดยน้ำหนัก และให้ค่า ΔH ที่ต้องการสำหรับการเกิดเจลลาคติโนเซชันอย่างสมบูรณ์เท่ากับ 12.70 จูลต่อกรัม ดังนั้น ตารางที่ 8.1 แสดงระดับการเกิดเจลลาคติโนเซชันที่ความชื้นต่างๆ ซึ่งประเมินได้จากอัตราส่วนของ ΔH สำหรับการเกิดเจลลาคติโนเซชันที่ความชื้นนั้นต่อและ ΔH ที่ต้องการสำหรับการเกิดเจลลาคติโนเซชันอย่างสมบูรณ์

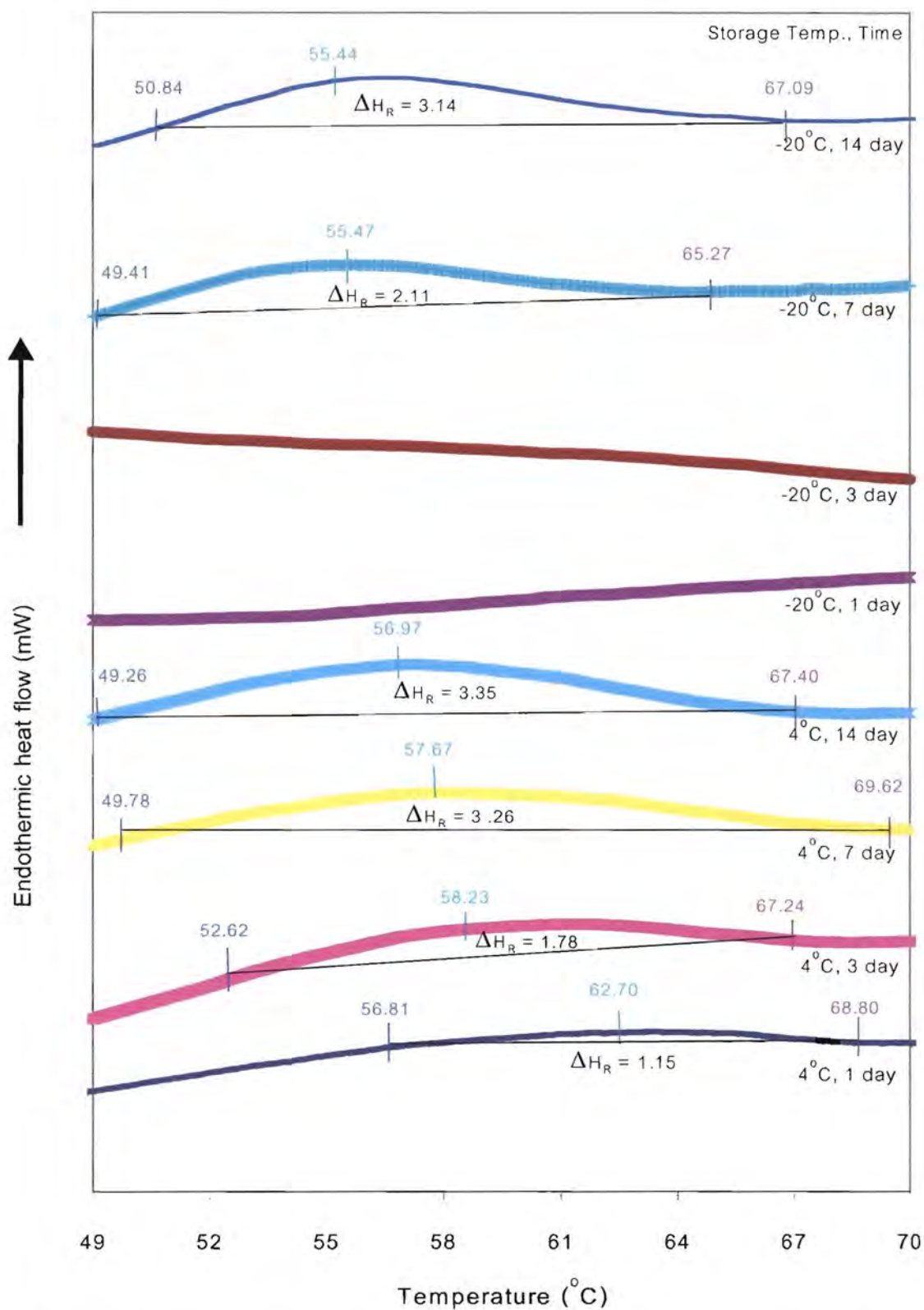
ตารางที่ 8.1 ระดับการเกิดเจลลาคติโนเซชันของสตาร์ชถั่วเขียวในช่วงความชื้นร้อยละ 30-80 โดยน้ำหนัก

ร้อยละความชื้น (โดยน้ำหนัก)	ΔH (จูลต่อกรัม)	ระดับการเกิดเจลลาคติโนเซ ชัน (ร้อยละ)
30	0	0
40	1.93	15.20
45	2.44	19.20
50	10.27	80.90
55	11.62	91.50
61	11.93	93.90
64-80	12.70	100.00

8.3.3. ผลของอุณหภูมิและเวลาการเก็บต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันของเจลสตาร์ชถั่วเขียว

จากการศึกษาการเกิดรีโทรเกรเดชันของเจลสตาร์ชถั่วเขียวที่ระดับความชื้นร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก ด้วย DSC โดยให้ความร้อนแก่ตัวอย่างจาก 40-110 องศาเซลเซียส ในอัตรา 10 องศาเซลเซียสต่อนาที การเกิดรีโทรเกรเดชันของเจลสตาร์ชเกิดจากที่โมเลกุลของสตาร์ช (ซึ่งเกิดเป็นโครงร่างตาข่ายระหว่างเจลลาคติโนเซชัน) จัดเรียงตัวกันใหม่ให้เป็นระเบียบเพิ่มขึ้นเพื่อเข้าสู่โครงสร้างที่เป็นผลึก (Atwell *et al.*, 1988) ดังนั้นเมื่อนำสตาร์ชที่เกิดเจลลาคติโนเซชันแล้วไปให้ความร้อนอีกภายหลังการเก็บ ถ้าเกิด peak ของ regelatinization ก็บ่งถึงการเกิดรีโทรเกรเดชันของเจลสตาร์ชระหว่างเก็บ และ ΔH_r ของ peak นี้แสดงปริมาณการเกิดรีโทรเกรเดชัน ภาพที่ 2 แสดงว่าเจลสตาร์ชถั่วเขียวเกิดรีโทรเกรเดชันเมื่อเก็บ 1 วัน ที่ 4 องศาเซลเซียส และรีโทรเกรเดชันเพิ่มขึ้นในช่วงการเก็บ 7 วัน หลังจากนั้นจนถึง 14 วัน เจลสตาร์ชถั่วเขียวหยุดการเกิดรีโทรเกรเดชัน ส่วนการเก็บที่ -20 องศาเซลเซียส พบว่าเจลสตาร์ชถั่วเขียวให้เกิดรีโทรเกรเดชันเมื่อเก็บไว้ 7 วัน (แต่รีโทรเกรเดชันอาจเริ่มตั้งแต่วันที่ 4-6 หลังการเก็บก็ได้ ซึ่งการวิจัยนี้ไม่ได้ทำการวิเคราะห์) เมื่อเก็บไว้ 14 วัน พบว่ารีโทรเกรเดชันที่เกิดเท่ากับรีโทรเกรเดชันสูงสุดเมื่อเก็บที่ 4 องศา

เซลเซียส คือนาน 7-14 วัน เนื่องจากการเรียงตัวของสายโมเลกุลของสตาร์ช ต้องการการเคลื่อนที่ของสายโมเลกุลให้มาเรียงตัวกันเป็นระเบียบ ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส การเคลื่อนที่ของสายโมเลกุลช้ากว่าที่ 4 องศาเซลเซียส ประกอบกับที่ -20 องศาเซลเซียส น้ำในเจลสตาร์ชตัวเขียวบางส่วนเกิดเป็นผลึกน้ำแข็ง ซึ่งขัดขวางการเคลื่อนที่และการเรียงตัวของสายโมเลกุลสตาร์ชทำให้เกิดรีโทรเกรเดชันน้อยกว่าการเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาการเก็บน้อยกว่า 7 วัน (Zeleznek and Hosenev, 1987) แต่เมื่อเวลาการเก็บเพิ่มผลของอุณหภูมิที่เก็บต่อปริมาณการเกิดรีโทรเกรเดชันก็ลดลง นอกจากนี้การทดลองยังพบว่าช่วงอุณหภูมิในการเกิด regelatinize ของส่วนที่เกิดรีโทรเกรเดชันนี้ต่ำกว่าช่วงอุณหภูมิของการเกิดเจลาติโนเซชันครั้งแรก แสดงว่าการเรียงตัวและโครงสร้างของสายโมเลกุลของสตาร์ชที่เกิดรีโทรเกรเดชัน ไม่น่าแน่นและแข็งแรงเท่าการเรียงตัวและโครงสร้างเดิมของแกรนูล (White and Abbas, 1989 และ Yuan, Thompson and Boyer, 1993) ซึ่งในงานวิจัยนี้พบว่าเจลสตาร์ชตัวเขียวเกิดรีโทรเกรเดชันตั้งแต่หลังเก็บเพียง 1 วัน ที่ 4 องศาเซลเซียส โดยมีค่า ΔH_g เท่ากับ 1.15 จูลต่อกรัม เมื่อเก็บเป็นเวลานานขึ้นค่า ΔH_g เพิ่มขึ้น แสดงว่าเกิดรีโทรเกรเดชันเพิ่มขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของสตาร์ชจัดเรียงตัวกันใหม่เป็นโครงสร้างผลึกที่มีความแข็งแรงขึ้นหรือมีปริมาณที่โมเลกุลของสตาร์ชจัดเรียงตัวใหม่เป็นโครงสร้างผลึกเพิ่มขึ้น (Hoover และคณะ, 1997)

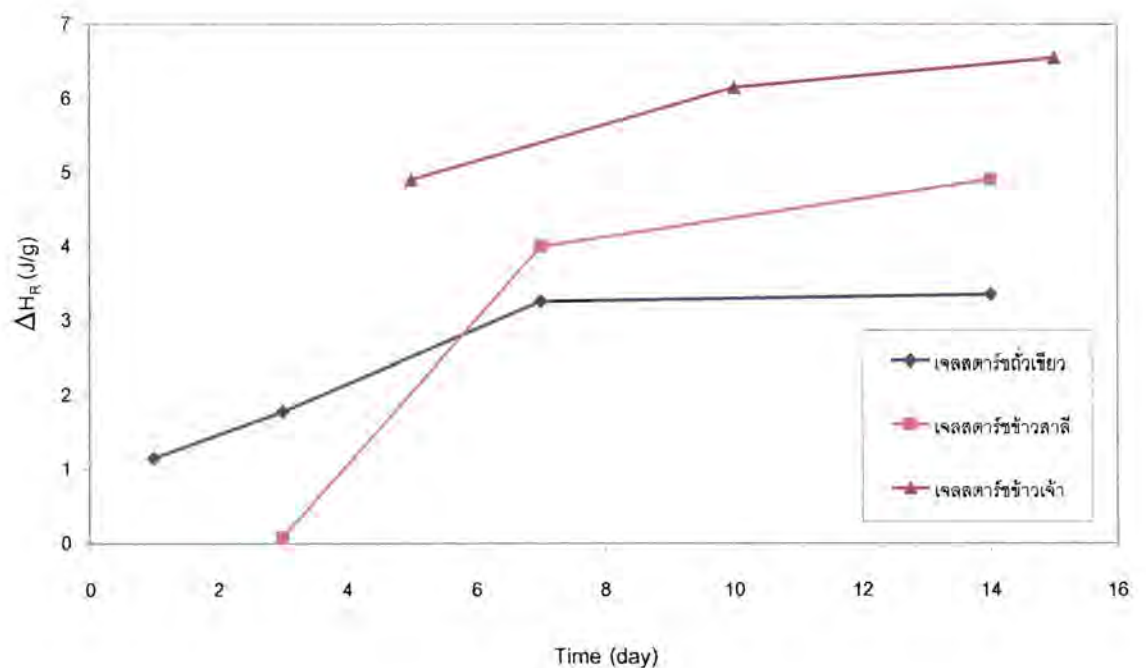


ภาพที่ 8.2 Endothermic peak ของสตาร์ฟิชตัวเขียวที่ระดับร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก หลังการเก็บที่ 4 และ -20 °C นาน 1, 3, 7 และ 14 วัน

| แสดง T_o (onset temperature), | แสดง T_p (peak temperature),

| แสดง T_f (final temperature) และตัวเลขภายใต้ peak แสดงค่า ΔH_R (enthalpy of regelatinization)

ภาพที่ 8.3 แสดงการเปรียบเทียบ ΔH_R ของการเกิดของรีโทรเกรดชันที่ 4 องศาเซลเซียส ในช่วงการเก็บ 14 วัน ของเจลสตาร์ชถั่วเขียวที่มีความชื้นร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก ในงานวิจัยนี้ กับเจลสตาร์ชข้าวสาลีที่มีความชื้นร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก จากข้อมูลของ Jang และ Pyun (1997) และเจลสตาร์ชข้าวเจ้าที่มีความชื้นร้อยละ 67 โดยน้ำหนัก จากข้อมูลของ Chatakanonda, Qaravinit และ Chinachoti (2000) พบว่าเจลสตาร์ชถั่วเขียวเกิดรีโทรเกรดชันทันทีเมื่อเก็บ 1 วัน แต่ค่า ΔH_R เพิ่มขึ้นในอัตราที่รวดเร็วในช่วงการเก็บ 1-7 วัน และเริ่มคงที่หลังการเก็บ 7 จนถึง 14 วัน ส่วนเจลสตาร์ชข้าวสาลีเริ่มเกิดรีโทรเกรดชันเมื่อเก็บ 3 วัน และ ΔH_R เพิ่มขึ้นในอัตราที่รวดเร็วกว่าเจลสตาร์ชถั่วเขียวและมีค่าสูงกว่าเจลสตาร์ชถั่วเขียว เมื่อเก็บนาน 7 วัน เท่ากัน ขณะที่เจลสตาร์ชข้าวเจ้าเกิดรีโทรเกรดชันมากกว่าเจลสตาร์ชถั่วเขียวและเจลสตาร์ชข้าวสาลี ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส ให้นานกว่า 6 วัน การเกิดรีโทรเกรดชันของเจลสตาร์ชถั่วเขียว < เจลสตาร์ชข้าวสาลี < เจลสตาร์ชข้าวเจ้า



ภาพที่ 8.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง ΔH_R กับเวลาที่เก็บเจลสตาร์ชที่ 4 °C

- ◆ เจลสตาร์ชถั่วเขียวที่มีความชื้นร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก งานวิจัยนี้
- เจลสตาร์ชข้าวสาลีที่มีความชื้นร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก จากข้อมูลของ Jang และ Pyun (1997)
- ▲ เจลสตาร์ชข้าวเจ้าที่มีความชื้นร้อยละ 67 โดยน้ำหนัก จากข้อมูลของ Chatakanonda, Qaravinit และ Chinachoti (2000)

8.4. สรุปผลการทดลอง

สมบัติทางความร้อนของสตาร์ชถั่วเขียว (ซึ่งมีปริมาณสตาร์ชร้อยละ 97.98) โดยน้ำหนัก โดยเป็นอะมิโลสร้อยละ 34.5 โดยน้ำหนัก) เป็นดังต่อไปนี้

- ไม่เกิดเจลลิตินเซชันเมื่อความชื้นต่ำกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก
- การเกิดเจลลิตินเซชันพบที่ความชื้นตั้งแต่ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ขึ้นไปโดยช่วงอุณหภูมิของการเกิดเจลลิตินเซชันเริ่มเกิดที่อุณหภูมิประมาณ 63 องศาเซลเซียส และ ΔH ที่ทำให้เกิดเจลลิตินเซชันอย่างสมบูรณ์เท่ากับ 12.7 จูลต่อกรัม
- รีโทรเกรเดชันเกิดหลังจากเก็บสตาร์ชที่เจลลิตินซ์แล้ว
 - ❖ 1 วัน ที่ 4 องศาเซลเซียส
 - ❖ 7 วัน ที่ -20 องศาเซลเซียส

8.5. เอกสารอ้างอิง

- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1995. Official Method of Analysis of AOAC International. 16th ed. Washington D.C. AOAC International.
- Atwell, W.A. and Hosney, R.C. 1984. Differential scanning calorimetry of sugar cookies and cookie doughs. *Cereal Chem.* 61(1): 34-37.
- Baker, L.A. and Duarte, P.R. 1998. Retrogradation of amaranth starch at different storage temperatures and the effects of salt and sugars. *Cereal Chem.* 75(3): 308-314.
- Biliaderis, C.G. 1998. Structure and phase transitions of starch polymer. In: Polysaccharide Association Structure in Foods. R.H. Walter (editor). New York: Marcel Dekker.
- Biliaderis, C.G., Maurice, T.J. and Vose, J.R. 1980. Starch gelatinization phenomena studied by DSC. *J. Food Sci.* 45: 1669-1674.
- Biliaderis, C.G., Page, C.M., Maurice, T.J. and Juliano, B.O. 1986. Thermal characterization of rice starches: a polymeric approach to phase transitions of granular starch. *J. Agric. Food Chem.* 34: 6-14.
- Biliaderis, C.G. and Zawistowski, J. 1990. Viscoelastic behavior of aging starch gels: effects of concentration temperature and starch hydrolysates on network properties. *Cereal Chem.* 67: 240-246.
- Chatakanonda, P., Qaravinit, S. and Chinachoti, P. 2000. Relationship of gelatinization and recrystallization of cross-linked rice to glass transition temperature. *Cereal Chem.* 77(3): 315-319.
- Donovan, J.W. 1979. Phase transition of the starch-water system. *Biopolymer.* 18: 263-275.
- Hoover, R., Li, Y.X., Hynes, G. and Senanayake, N. 1997. Physicochemical characterization of mung bean starch. *Food Hydrocolloids.* 11(4): 401-408.
- Jang, J.K. and Pyun, Y.R. 1997. Effect of moisture level on the crystallinity of wheat starch aged at different temperatures. *Starch/Starke.* 49(7): 272-277.
- Jarvis, C.E. and Walker, J.R.L. 1993. Simultaneous, rapid, spectrophotometric determination of total starch, amylose and amylopectin. *J. Sci. Food Agric.* 63: 53-57.
- Juliano, B.O. 1971. A simplified assay for milled-rice amylose. *Cereal Sci. Today.* 16(10): 334-360.
- Kim, Y.S., Wiesenborn, D.P. and Grant, L.A. 1997. Pasting and thermal properties of potato and bean starches. *Starch/Starke.* 49(3): 97-102.

- Kim, Y.S., Wiesenborn, D.P., Orr, P.H. and Grant, L.A. 1995. Screening potato starch for novel properties using differential scanning calorimetry. *J. Food Sci.* 60: 1060-1065.
- Krueger, B.R., Walker, C.E., Knutson, C.A. and Inglett, G.E. 1987. Differential scanning calorimetry of raw and annealed starch isolated from normal and mutant maize genotypes. *Cereal Chem.* 64(3): 187-190.
- Lee, J.J., Uebersax, M.A., Zabik, M.E. and Steffe, J.F. 1995. Gelatinization properties of navy bean starch. *Starch/Starke.* 47(9): 329-333.
- Mariam, T.G. and Schmidt, P.C. 1996. Isolation and physico-chemical properties of enset starch. *Starch/Starke.* 48(6): 208-214.
- Wang, S.S., Qu, D., and Chiew, Y.C. 1994. A study of starch granule aggregation. *Starch/Starke.* 46(9): 337-341.
- Ward, K.E.J., Hosney, R.C. and Seib, P.A. 1994. Retrogradation of amylopectin from maize and wheat starches. *Cereal Chem.* 71(2): 150-155.
- White, P.J. and Abbas, I.R. 1989. Effect of protein on gelatinization of corn starch as measured by differential scanning calorimetry. *Cereal Foods World.* 34(3): 778.
- Wirakartakusumar, M.A. 1981. Kinetics of starch gelatinization and water absorption in rice. Ph.D. Thesis. Department of Food Science, University of Wisconsin-Madison, Wisconsin. Cited in Lund, D.B. 1983. Applications of differential scanning calorimetry in foods. In: Physical Properties of Foods. M. Peleg and E.B. Bagley (editors). Connecticut: AVI Publishing Company.
- Yuan, R.C., Thompson, D.B. and Boyer, C.D. 1993. Fine structure of amylopectin in relation to gelatinization and retrogradation behavior of maize starches. *Cereal Chem.* 70(1): 81-89.
- Zeleznek, K.J. and Hosney, R.C. 1987. The transition in starch. *Cereal Chem.* 64(2): 121-124.

8.6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยภายใต้โครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้วิจัยขอขอบคุณการสนับสนุนจากหน่วยงานต่าง ๆ ดังนี้

- งบประมาณแผ่นดิน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ชุดโครงการสำรวจเพื่อประเมินและวางแผนการวิจัยเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมเกษตร-อุตสาหกรรม

อาหาร งบประมาณแผ่นดิน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีงบประมาณ 2544

- สตาร์ชตัวเชื่อมจากบริษัท สิทธิพันธ์ จำกัด

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. วิธีการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียโดยวิธีการวัดค่าการดูดกลืนแสง

เครื่องมือ

spectrophotometer

mixer

สารเคมี

กรดอะซีติกเข้มข้น 0.2 N

สารละลายโปตัสเซียมไอโอไดด์ (KI) เข้มข้น 10%

สารละลายโปตัสเซียมไดโครเมต (K₂Cr₂O₇) เข้มข้น 1/600 M

วิธีการวิเคราะห์

การเตรียมกราฟมาตรฐานความเข้มข้นแอมโมเนีย-ค่าการดูดกลืนแสง

1. ชั่งแอมโมเนียจำนวน 50 มิลลิกรัม นำมาละลายน้ำปริมาตร 50 มิลลิตรในขวดแก้วปริมาตร 100 มิลลิตร
2. นำสารละลายนี้ไปต้มเดือดเป็นเวลา 1 นาที ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิตร กรองสารละลายที่ได้ด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1
3. บีบสารละลายมาจำนวน 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 และ 1.0 มิลลิตรใส่ในหลอดทดลองขนาดกลาง ปรับปริมาตรแต่ละหลอดให้ได้ 1 มิลลิตร โดยเติมน้ำกลั่นจำนวน 0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5, 0.4, 0.3, 0.2, 0.1 และ 0 มิลลิตร ตามลำดับ
4. เติมกรดอะซีติกเข้มข้น 2 N จำนวน 1.2 มิลลิตร โปตัสเซียมไอโอไดด์เข้มข้น 10% จำนวน 0.25 มิลลิตรและโปตัสเซียมไดโครเมตเข้มข้น 1/600 M จำนวน 2.5 มิลลิตรลงในแต่ละหลอด ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง mixer
5. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 570 นาโนเมตรอย่างรวดเร็ว โดยเทียบกับสารละลาย blank ซึ่งเตรียมโดยใช้น้ำกลั่นจำนวน 1 มิลลิตรแทนสารละลายตัวอย่าง ทำการทดลองอย่างน้อย 4 ซ้ำเพื่อหาค่าเฉลี่ย โดยค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากตัวอย่างเดียวกันไม่ควรมีความต่างกันเกิน 0.002
6. นำค่าที่ได้มาเขียนความสัมพันธ์กราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (570 นาโนเมตร) และความเข้มข้นของแอมโมเนีย (ไมโครกรัมต่อมิลลิตร) ในรูปสมการเส้นตรง โดยให้แกนตั้งเป็นค่าการดูดกลืนแสง ส่วนแกนนอนเป็นค่าความเข้มข้นของน้ำแอมโมเนีย

การวิเคราะห์ตัวอย่าง

1. เตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกับการเตรียมกราฟมาตรฐาน
2. บีบตัวอย่างมาปริมาตร v มิลลิตร (ทั่วไปจะใช้ 0.2 มิลลิตร) ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1 มิลลิตร
3. ทำการทดลองเช่นเดียวกับการเตรียมกราฟมาตรฐาน อ่านค่าการดูดกลืนแสงที่ได้โดยหักลบจากค่า blank

วิธีการคำนวณ

1. คำนวณความเข้มข้นของแอมโมเนีย (ไมโครกรัมต่อมิลลิตร) โดยเทียบกับสมการกราฟมาตรฐาน
2. คำนวณปริมาณแอมโมเนีย

$$\text{ปริมาณแอมโมเนีย} = \frac{\text{ความเข้มข้นของแอมโมเนีย} \times 100 \times 100}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง}}$$

(เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง) $v \times 1000 \times (50-50M/100)$

เมื่อ v คือ ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างที่ใช้ทดลองเป็นมิลลิลิตร

(การทดลองใช้ 0.2 มิลลิลิตร)

M คือ ปริมาณความชื้นของตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์เป็นเปอร์เซ็นต์

ภาคผนวก ข. วิธีวิเคราะห์หาปริมาณแป้งโดยใช้วิธีโพลาไรเมตริก

วิธีวิเคราะห์หาปริมาณแป้งโดยใช้วิธีโพลาไรเมตริก (มอก. 52-2516) มีรายละเอียดดังนี้

เครื่องมือ

เครื่องชั่งวิเคราะห์อย่างละเอียด (analytical balance) ซึ่งได้ละเอียด 0.01 มิลลิกรัม

ขวดแก้วปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 100 มิลลิลิตร และ 250 มิลลิลิตร

เครื่องโพลาไรมิเตอร์ (polarimeter)

กรวยแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 65 ถึง 70 มิลลิเมตร

อ่างน้ำเดือด (boiling water bath)

กระดาษกรอง (คุณภาพเทียบเท่า Whatman No.1)

กระดาษกรอง (คุณภาพเทียบเท่า Whatman No.42)

ปิเปต (pipette) ขนาด 50 มิลลิลิตร

สารเคมี

- กรดไฮโดรคลอริกเจือจางร้อยละ 1.128 ของน้ำหนักมาตรฐานหรือ 0.3094 นอร์มัล ตรวจสอบมาตรฐาน โดยการไตเตรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล ใช้เมทิลเรดเป็นอินดิเคเตอร์ (1% เมทิลเรดใน แอลกอฮอล์ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 95) จะต้องใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 30.94 มิลลิลิตรต่อกรดไฮโดรคลอริก 10 มิลลิลิตร)

- กรดไฮโดรคลอริกเจือจางร้อยละ 25 ของน้ำหนักหรือที่มีความถ่วงจำเพาะ 1.126

- สารละลายโซเดียมฟอสเฟตทั้งหมด หรือกรดดเดคาฟอสฟอรัสติก (sodium phosphotungstate or dodecaphosphotungstic acid) ร้อยละ 4 ของน้ำหนัก

วิธีวิเคราะห์

การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างที่จะทดสอบจะต้องผ่าน sieve ขนาด 200 mesh ถ้าผ่านไม่ได้ต้องนำมาบดก่อนจะนำไปวิเคราะห์

วิเคราะห์หา Total rotatory power, P

1. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนัก 2.5000 กรัม ใส่ในขวดแก้วปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร โดยผ่านทางกรวยแก้วซึ่งวางบนปากขวด
2. เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.3094 นอร์มัลจำนวน 25 มิลลิลิตร เขย่าขวดแก้วปริมาตรนั้นให้ตัวอย่างเปียกชุ่มจนทั่วกัน
3. เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.3094 นอร์มัลอีก 25 มิลลิลิตร จุ่มขวดแก้วพร้อมทั้งกรวยลงในอ่างน้ำเดือด เขย่าขวดแก้วโดยหมุนแรงๆอย่างสม่ำเสมอเป็นเวลานาน 3 นาที เพื่อป้องกันไม่ให้ตัวอย่างเกาะกันเป็นก้อน ระหว่างที่เขย่าขวดแก้วจะต้องแช่อยู่ในน้ำเดือด
4. แช่ขวดแก้วไว้ในอ่างน้ำเดือดเป็นเวลารวมทั้งหมด 15 นาทีพอดี น้ำในอ่างต้องมีมากพอและเดือดอยู่ตลอดเวลาที่แช่ขวดแก้วลงไป
5. ยกขวดแก้วออกจากอ่างน้ำเดือด เติมน้ำเย็น 30 มิลลิลิตรลงในขวดแก้ว แล้วทำให้เย็นทันทีถึงอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

วิธีคำนวณ

$$A = 2000 \times \frac{(P-P')}{[\alpha]_D^{25}} \times 100$$

- เมื่อ
- A คือ ปริมาณแป้ง เป็นร้อยละของน้ำหนักเมื่ออบแห้ง
 - P คือ ค่าโรทารีเพาเวอร์ทั้งหมด เป็นองศาเชิงมุม
 - P' คือ ค่าของโรทารีเพาเวอร์ของสารที่ละลายในน้ำ เป็นองศาเชิงมุม
 - $[\alpha]_D^{25}$ คือ ค่าเฉพาะของแป้งเป็นองศาเชิงมุม (สำหรับแป้งมันสำปะหลังมีค่าเท่ากับ 184.0)
 - M คือ ปริมาณความชื้น เป็นร้อยละ

ภาคผนวก ค. วิธีวิเคราะห์หาปริมาณแป้งโดยการย่อยด้วยกรด

เครื่องมือ

เครื่องซึ่งวิเคราะห์อย่างละเอียด

ขวดแก้วปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร

ชุดเครื่องควบแน่น (reflux condenser)

กรวยกรอง

เครื่องกวนไฟฟ้า (stirrer)

สารเคมีและสารละลาย

1. Fehling's solution ประกอบด้วย
 - (a) ละลาย CuSO_4 34.639 กรัมในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 500 มิลลิลิตร (ถ้าสารละลายไม่ใสให้กรองด้วย asbestos)
 - (b) ละลาย sodium potassium tartrate (Rochelle salts) 173 กรัม และ NaOH 50 กรัม ในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 2 วัน แล้วกรองถ้าสารละลายที่ได้ไม่ใส
2. กรดไฮโดรคลอริกเจือจาง 25% ซึ่งมีความถ่วงจำเพาะ 1.125
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2.5 นอร์มัล
4. สารละลายเมทิลเรด

วิธีวิเคราะห์

การเตรียมตัวอย่าง

1. นำตัวอย่างแป้งที่แห้งมา 2.5-3.0 กรัม ผสมน้ำกลั่นแช่เย็น 50 มิลลิลิตร
2. กวนของผสมนั้นนาน 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง
3. ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นแช่เย็นอีก 250 มิลลิลิตร นำตะกอนแป้งที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ต่อไป

การวิเคราะห์ตัวอย่าง

1. นำตัวอย่างที่เตรียมไว้มาผสมน้ำ 200 มิลลิลิตร เติมกรดไฮโดรคลอริก 25% 20 มิลลิลิตร
2. ต้มย่อยนาน 2.5 ชั่วโมงในพลาสติกซึ่งต่อเข้ากับ reflux condenser จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็น ปรับสารละลายที่ได้ด้วยสารละลาย NaOH 2.5 N ให้ได้ pH 5
3. นำไปกรองแล้วบรรจุในขวดแก้วปริมาตร 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ได้ 250 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณ dextrose

การวิเคราะห์ dextrose

1. สารละลายที่เตรียมไว้ 20 มิลลิลิตร แล้วเติม Fehling's solution (a) และ (b) อย่างละ 20 มิลลิลิตร
2. นำไปต้มให้เดือดนาน 2 นาทีโดยปิดปาก beaker ด้วยกระจกนาฬิกา
3. กรองตะกอนคิวปริกออกไซด์ผ่าน Gooch crucible ทันที ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อน (อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส)
4. นำไปทำแห้งบนตะแกรงที่เผาจนร้อนแดง (อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส) ทิ้งไว้บนตะแกรงนั้น 15 นาที ปล่อยให้เย็น
5. ชั่งน้ำหนักหาค่าหนักตะกอนคิวปริกออกไซด์เพื่อนำไปเทียบตารางปริมาณ dextrose (ตารางที่ 1)

วิธีคำนวณ

$$\text{ปริมาณน้ำ (กรัม)} = \text{ปริมาณ dextrose ที่ได้} \times 0.90$$

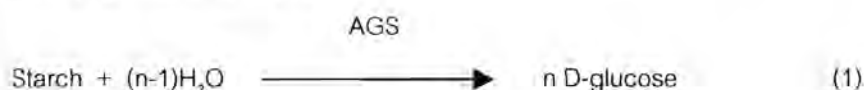
ภาคผนวก ง. วิธีวิเคราะห์หาปริมาณแป้งโดยการย่อยด้วยเอนไซม์

วิธีการย่อยด้วยเอนไซม์

หลักการจะเหมือนกับวิธีการย่อยด้วยกรด คือ จะย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลกลูโคสก่อน จากนั้นจะตรวจหาปริมาณน้ำตาลที่เกิดขึ้น คำนวณกลับมาเป็นปริมาณแป้ง ซึ่งการย่อยแป้งโดยใช้เอนไซม์นั้นอาจทำได้โดยใช้เอนไซม์ชนิดเดียวกันหรือร่วมกันหลายชนิด ได้แก่ เอนไซม์ α -amylase (MacRae และคณะ, 1984), amyloglucosidase (Rickard และ Behn, 1983; Gorton และคณะ, 1989; Kurezewski และ Sugier, 1992) การใช้ α -amylase ร่วมกับ amyloglucosidase (Emneus และ Gorton, 1990; Rasmussen และ Henry, 1990) การตรวจหาปริมาณน้ำตาลที่เกิดขึ้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การทำให้เกิดสีของน้ำตาลรีดิวซ์ การไตเตรท หรือการวัดน้ำตาลกลูโคสโดยใช้เอนไซม์ วิธีนี้เป็นวิธีที่มีความจำเพาะ (specificity) ต่อแป้งสูง จึงไม่ถูกรบกวนด้วยสารเจือปนจำพวกพอลิแซ็กคาไรด์อื่นๆ แต่อาจมีสิ่งเจือปนมากับเอนไซม์ ทำให้ค่าที่ได้เกิดความคลาดเคลื่อน เช่น α -amylase ร่วมกับ amyloglucosidase มักจะมีการใส่น้ำตาลกลูโคสและแป้งเพื่อใช้เป็นสารกันเสียหรือทำให้คงตัว amyloglucosidase จำนวนมากจะมี transglucosidase ซึ่งจะเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสไปเป็นน้ำตาลมอลโตส ทำให้ได้น้ำตาลกลูโคสลดลง นอกจากนี้ amyloglucosidase บางชนิดจะมี hemicellulose และ β -glucanase เจือปนอยู่ด้วย (Englyts และคณะ, 1992)

การหาปริมาณแป้งโดยการย่อยแป้งด้วยเอนไซม์ แล้ววัดปริมาณกลูโคสที่เกิดขึ้นด้วยเอนไซม์นั้น จะมีชุดตรวจสอบสำเร็จรูป ซึ่งช่วยให้การวิเคราะห์สะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น โดยชุดตรวจจะประกอบด้วยเอนไซม์หลายชนิด ได้แก่

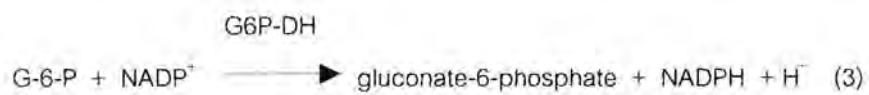
1. เอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส (amyloglucosidase; AGS) จะเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาลดี-กลูโคส โดยทำงานที่ pH 4.6 ดังสมการ (1)



2. เอนไซม์เฮกโซไคเนส (hexokinase; HK) ซึ่งทำงานร่วมกับ ATP (adenosine-5'-triphosphate) จะเปลี่ยนน้ำตาลดี-กลูโคสให้กลายเป็นกลูโคส 6-ฟอสเฟต (G-6-P; glucose-6-phosphate) ที่ pH 7.6 ดังสมการ (2)



3. เอนไซม์กลูโคส-6-ฟอสเฟตดีไฮโดรจีเนส (G6P-DH; glucose-6-phosphate dehydrogenase) กลูโคส-6-ฟอสเฟตจะถูกออกซิไดซ์ โดย NADP (nicotinamide adenine dinucleotide phosphate) โดยการทำงานร่วมกับเอนไซม์กลูโคส-6-ฟอสเฟตดีไฮโดรจีเนส (G6P-DH; glucose-6-phosphate dehydrogenase) ให้เกิดกลูโคนต-6-ฟอสเฟต (gluconate-6-phosphate) และ NADPH (reduced nicotinamide-adenine dinucleotide phosphate) ดังสมการ (3)



ซึ่งปริมาณ NADPH ที่เกิดขึ้นจะสมมูลกับปริมาณน้ำตาลดี-กลูโคสที่เกิดขึ้น และสามารถตรวจสอบได้โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 334, 340 และ 365 นาโนเมตร คำนวณปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่เกิดขึ้นแล้วคำนวณเป็นปริมาณแป้งต่อไป

ภาคผนวก จ. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้ง

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ตามวิธีของ AOAC, 1995

ซึ่งตัวอย่างบดละเอียดประมาณ 2 กรัม ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนในภาชนะอลูมิเนียม ซึ่งอบและทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว อบให้แห้งในตู้อบไฟฟ้าที่มีอุณหภูมิ 130 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปิดฝาแล้วนำภาชนะออกจากตู้อบไฟฟ้า ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งน้ำหนัก นำไปอบซ้ำอีกครั้งละ 30 นาที จนได้น้ำหนักคงที่เมื่อผลต่างของน้ำหนักที่ซึ่งได้ 2 ครั้งติดต่อกันต่างกันไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัม จึงเป็นน้ำหนักสุดท้ายที่จะต้องอบและชั่ง

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (Kjeldahl method) ตามวิธีของ AOAC, 1995

ซึ่งตัวอย่างบดละเอียดประมาณ 2 กรัม ให้ได้น้ำหนักแน่นอนลงในขวด Buchi เติมน้ำผสมของ K_2SO_4 และ $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ (อัตราส่วน 19:1 กรัม) ปริมาณ 7 กรัม เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15 มิลลิลิตร นำไปย่อยโดยใช้เครื่อง Buchi 424 ประมาณ 45 นาที จนได้สารละลายสีใส รอจนเย็น เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 40% (น้ำหนัก/ปริมาตร) จนได้สารละลายสีน้ำตาล นำไปกลั่นโดยใช้ชุดกลั่นของเครื่อง Buchi 315 โดยรองรับสิ่งกลั่นด้วยสารละลายกรดบอริก 4% (น้ำหนัก/ปริมาตร) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ซึ่งมีสารละลายอินดิเคเตอร์ผสมอยู่ 2-3 หยด ให้ปลายของเครื่องควบแน่นของชุดกลั่นจุ่มอยู่ในสารละลายกรดบอริก กลั่นจนได้ปริมาตรรวม 250 มิลลิลิตร นำสารละลายที่รองรับสิ่งกลั่นแล้วไปไทเทรตด้วยสารละลายกรดมาตรฐานไฮโดรคลอริกจนได้สีชมพู เทียบกับสีของ blank (blank คือของเหลวที่ได้จากการใส่สารทุกชนิดในกระบวนการ Kjeldahl ยกเว้นตัวอย่าง)

การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (ether extraction) ตามวิธีของ AOAC, 1995

ซึ่งตัวอย่างที่อบแห้งและบดละเอียดแล้วประมาณ 5 กรัม ให้ทราบน้ำหนักแน่นอนในกระดาษกรองเบอร์ 4 แล้วห่อให้เรียบร้อย นำไปใส่ในทิมเบล ใส่ทิมเบลใน extraction tube ต่อเข้ากับหลอดควบแน่น ใช้ล้าลิจุกปลายของเครื่องควบแน่น เพื่อป้องกันไม่ให้ตัวทำละลายระเหยไป ให้ความร้อนขวดแก้วโดยควบคุมอุณหภูมิให้มีการไหลของตัวทำละลาย 10 นาที/ครั้ง ทำการสกัดติดต่อกันเป็นเวลา 6-8 ชั่วโมง นำสิ่งที่สกัดได้ในขวดแก้วไประเหยเอาปิโตรเลียมอีเธอร์ออกให้หมดโดยใช้ชุดระเหยสูญญากาศ อบตัวอย่างน้ำมันให้แห้งในตู้อบไฟฟ้าอุณหภูมิประมาณ 100-120 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที จนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักที่ซึ่งได้ 2 ครั้งติดต่อกันต่างกันไม่เกิน 1 มิลลิกรัม บันทึกน้ำหนักต่ำสุด

การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใย ตามวิธีของ AOAC, 1995

ซึ่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักประมาณ 2.5 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ เติมกรดซัลฟิวริก 1.25% ซึ่งต้มเดือดลงไป 200 มิลลิลิตร นำไปย่อยด้วยการต้มให้เดือดต่อไปอีกนาน 30 นาที ขณะต้มนำกระจกนาฬิกาที่เติมน้ำไว้ปิดปากบีกเกอร์ กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 41 ล้างกากด้วยน้ำร้อนจนหมดฤทธิ์กรด ถ่ายกากบนกระดาษกรองลงในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่นละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.25% ซึ่งต้มเดือดจำนวน 200 มิลลิลิตร นำไปต้ม 30 นาที โดยใช้กระจกนาฬิกาปิดปากบีกเกอร์ไว้ขณะต้ม กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 41 ล้างด้วยน้ำร้อนจนหมดฤทธิ์ต่าง ล้างด้วยแอลกอฮอล์ 10 มิลลิลิตร ถ่ายกากที่เหลือใส่ครุชีเบล นำไปอบแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส นานประมาณ 2 ชั่วโมง แล้วนำออกมาใส่เดซิเคเตอร์ ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำไปชั่ง อบซ้ำนานครั้งละ 30 นาที จนได้น้ำหนักต่าง 2 ครั้งติดกันไม่เกิน 1 มิลลิกรัม จดน้ำหนักที่น้อยที่สุด ถือเป็นน้ำหนักครุชีเบลและกาก หลังจากอบแห้งแล้ว เมาครุชีเบลพร้อมด้วยกากที่อบแห้งแล้วในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 ± 20 องศาเซลเซียส นานประมาณ 30 นาทีแล้วนำออก

มาใส่เดซิเคเตอร์ ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำไปชั่งแล้วเผาซ้ำนานครั้งละ 30 นาที จนได้น้ำหนักต่าง 2 ครั้งติดกันไม่เกิน 1 มิลลิกรัม จุดน้ำหนักที่น้อยที่สุด คือน้ำหนักของครุชิเบลและถ้ำหลังจากเผาแล้ว ผลต่างระหว่างน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองคือ น้ำหนักของเส้นใยหยาบ

การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า ตามวิธีของ AACC, 1995

นำตัวอย่างที่บดละเอียดประมาณ 2 กรัม ซึ่งใส่ครุชิเบลที่เผาและชั่งน้ำหนักเรียบร้อยแล้วให้น้ำหนักที่แน่นอน เติมหีสเซอร์อล 2-3 หยด แล้วนำไปเผาด้วยไฟอ่อนๆจนหมดควัน แล้วนำมาเผาในเตาเผาไฟฟ้าที่อุณหภูมิประมาณ 500-600 องศาเซลเซียส นานประมาณ 2-3 ชั่วโมง จนกระทั่งได้เถ้าสีขาวหรือสีเทา นำออกมาใส่เดซิเคเตอร์ ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำไปชั่ง เผาตัวอย่างซ้ำนานครั้งละ 30 นาที จนได้น้ำหนักต่างกันไม่เกิน 1 มิลลิกรัม จุดน้ำหนักที่น้อยที่สุดถือเป็นน้ำหนักของครุชิเบลและตัวอย่าง

วิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

คำนวณจากผลต่าง คือ

%คาร์โบไฮเดรต = 100 - %โปรตีน - %ไขมัน - %เส้นใย - %เถ้า

หมายเหตุ : ในที่นี้ใช้ %dry basis ในการคำนวณทั้งหมด

ภาคผนวก จ. วิวิธีวิเคราะห์รูปร่างและการกระจายขนาดของเม็ดแป้งโดยใช้กล้องจุลทรรศน์

เครื่องมือ

1. แผ่นสไลด์กระจก (glass slide)
2. กระจกปิดแผ่นสไลด์ (cover slide)
3. หลอดหยดสารละลาย (dropper)
4. แท่งแก้ว
5. กล้องจุลทรรศน์ (Meiji Techno, Japan) ที่ต่อเข้ากับโปรแกรม image analysis (Image Pro Plus 3.0, Media Cybernetic, LP, USA)

สารเคมี

1. สารละลายน้ำตาลซูโครส ความเข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์
2. สารละลายไอโอดีน ความเข้มข้น 0.2 เปอร์เซ็นต์ : เตรียมโดยละลายผลึกไอโอดีน 2.0 มิลลิกรัมและโปตัสเซียมไอโอไดด์ (KI) 20 มิลลิกรัมต่อ 1 มิลลิกรัม

วิวิธีวิเคราะห์

1. เตรียมแผ่นสไลด์แป้งตัวอย่าง โดยใช้ปิเปตดูดสารละลายซูโครส 80 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 40 ไมโครลิตร และหยดลงบนแผ่นสไลด์ที่สะอาด
2. ใช้แป้งตัวอย่างประมาณ 0.0006 กรัม และนำมากระจายลงบนหยดของสารละลายซูโครสบนแผ่นสไลด์ ผสมให้แกรนูลแป้งกระจายตัวมากที่สุด
3. กรณีการตรวจรูปร่างของเม็ดแป้ง ให้ปิดแผ่นสไลด์ด้วยกระจกปิดแผ่นสไลด์ แล้วส่องดูแป้งตัวอย่างภายใต้แสงปกติ ตรวจสอบลักษณะ birefringence และ maltese cross โดยวางแผ่นสไลด์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่ปิดทางเดินแสงด้วยเลนส์โพลาไรซ์ และหมุนปรับที่ตัวเลนส์โพลาไรซ์ เพื่อทำให้เกิดระนาบแสงโพลาไรซ์ ทำการบันทึกภาพของผลการทดลองไว้
4. กรณีการวัดกระจายขนาดของเม็ดแป้ง ใช้ปิเปตดูดสารละลายไอโอดีนประมาณ 40 ไมโครลิตร และหยดลงบนหยดของสารละลายแป้งบนแผ่นสไลด์ และผสมให้กระจายตัวอีกครั้งหนึ่ง และปิดด้วยกระจกปิดแผ่นสไลด์
5. ก่อนการวิเคราะห์ขนาดแกรนูลแป้งตัวอย่าง จะต้องปรับค่ามาตรฐานของโปรแกรม image analysis ก่อน โดยใช้แผ่น stage micrometer วางภายใต้กล้องจุลทรรศน์ และบันทึกภาพทั้งในแนวตั้งและแนวนอน แล้วทำการปรับค่ามาตรฐานสำหรับการวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของแกรนูลแป้ง
6. นำแผ่นสไลด์ของแป้งตัวอย่างที่ต้องการวัดค่าการกระจายตัวของขนาดเม็ดแป้ง มาวางภายใต้กล้องจุลทรรศน์และบันทึกภาพแกรนูลแป้งไว้
7. วิเคราะห์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของแกรนูลแป้ง ด้วยโปรแกรม image analysis และควรจะต้องวิเคราะห์แกรนูลแป้งจำนวนตั้งแต่ 500 เม็ดขึ้นไป หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของแกรนูลแป้ง ส่งผ่านไปยังโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อคำนวณเป็นค่าการกระจายตัวของขนาดแกรนูลแป้ง

ภาคผนวก ข. วิธีวิเคราะห์อะมิโลสในเชิงคุณภาพและปริมาณโดยใช้ High Performance Size Exclusion Chromatography (HPSEC)

วิธีการวิเคราะห์อะมิโลสในเชิงคุณภาพและปริมาณโดยใช้ HPSEC (ดัดแปลงจาก Govindasamy, 1992) มีรายละเอียดดังนี้

1. ชั่งแป้งประมาณ 0.04 กรัม เติมน้ำ 10 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดแก้ว แล้วนำไปต้มในน้ำเดือดประมาณ 10 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
2. นำไป Sonicare โดยเครื่อง ULTRASONIC (high intensity ultrasonic processor, Model 501, Sonics & Materials Inc., USA, กำลัง 550 วัตต์) ที่กำลัง 30% เป็นเวลา 18 วินาที
3. ตัวอย่างที่ได้นำมากรองผ่าน membrane (cellulose nitrate filter) ขนาด 8 ไมโครเมตร
4. ตัวอย่างที่กรองได้ นำมาฉีดเข้าเครื่อง HPSEC ที่ประกอบด้วยคอลัมน์ 3 คอลัมน์ต่อกันเป็นลำดับดังนี้ Ultrahydrogel linear, Ultrahydrogel 120 และ Ultrahydrogel 120 (Waters Associates, Milford, MA) อุณหภูมิของคอลัมน์ใช้ที่ 40 องศาเซลเซียส โดยปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ฉีดเท่ากับ 20 ไมโครลิตร และใช้ deionized water ที่กรองผ่านแผ่นกรองของ Millipore ขนาด 0.25 ไมโครเมตร และ degassed แล้วเป็น mobile phase และใช้ flow rate 0.8 ml/min ตรวจวัดสารตัวอย่างที่แยกได้ด้วย differential refractometer detector model 410 (Waters Associates, Milford, MA)
5. โคโรมาโตแกรมที่ได้นำมาวิเคราะห์ขนาดและปริมาณอะมิโลสโดยเทียบกับสารมาตรฐาน dextran

ปริมาณอะมิโลส

1. สารมาตรฐาน dextran แต่ละขนาด เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตั้งแต่ 240-1200 µg/ml เมื่อฉีดเข้าเครื่อง HPSEC จะบันทึกค่าพื้นที่ใต้กราฟที่แต่ละความเข้มข้น แล้วนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้กราฟกับความเข้มข้น แล้วนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้กราฟกับความเข้มข้น ตามสมการ

$$\text{Area} = a (\text{Conc}) + b$$

2. ตัวอย่างแป้งมันสำปะหลัง เมื่อฉีดเข้าเครื่อง HPSEC จะทราบค่าพื้นที่ใต้กราฟ เมื่อแทนค่าในสมการ 1 โดยที่สัมประสิทธิ์ a และ b จะได้จากสมการเส้นตรงของสารมาตรฐาน dextran จะทราบปริมาณความเข้มข้นของสารตัวอย่าง (µg/ml)
3. คำนวณปริมาณอะมิโลส (%)

ขนาดอะมิโลส

1. สารมาตรฐาน dextran แต่ละขนาด เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตั้งแต่ 240-1200 µg/ml เมื่อฉีดเข้าเครื่อง HPSEC จะบันทึกค่าเวลา (RT) ที่แต่ละความเข้มข้น แล้วนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยตามจำนวน (Mn) กับเวลา (RT)
2. ตัวอย่างแป้งมันสำปะหลัง เมื่อฉีดเข้าเครื่อง HPSEC จะทราบค่าเวลา (RT) เมื่อเทียบกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยตามจำนวน (Mn) กับเวลา (RT) จะทราบน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยตามจำนวน (Mn)
3. คำนวณขนาดอะมิโลส (DPn) จากความสัมพันธ์

$$\text{DPn} = \text{Mn}/162$$