ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร พระจอมเกล้าลาดกระบัง

T096985

ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

คุณสมบัติพรีไบโอติกของ Resistant starch จากกล้วย

(Prebiotic property of Resistant starch from banana)

จัดทำโดย

นางสาวสลิลลา สร้อยสยัมภู รหัสนักศึกษา 46040257

นางสาวศิริพร แซ่เอ็ง รหัสนักศึกษา 46040884

สบพ.
ส3779
2549

สบพ.
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 96985
วัน.เดือน.ปี - 5 JUN 2009

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

..... 10/4/50 **อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ**

( )

b.11299457

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

คุณสมบัติพรีไบโอติกของ Resistant starch จากกล้วย

(Prebiotic property of Resistant starch from banana)

จัดทำโดย

นางสาวสลิลลา สร้อยสยัมภู รหัสนักศึกษา 46040257

นางสาวศิริพร แซ่เอ็ง รหัสนักศึกษา 46040884

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.ศศิวิมล ชื่นอิ่ม อาเหมด

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาอุตสาหกรรมเกษตร (พิเศษ) คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นางสาวสลิลลา สร้อยสยัมภู และนางสาวศิริพร แซ่เอ็ง.2549. คุณสมบัติพรีไบโอติกของ Resistant Starch จากกล้วย (Prebiotic property of Resistant Starch from banana) สาขาอุตสาหกรรมเกษตร (พิเศษ) คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร.ศศิวิมล ชื่นอิ่ม อาเหม็ด

บทคัดย่อ

การทดลองนี้ได้ศึกษาคุณสมบัติพรีไบโอติกของ Resistant starch (RS) จากแป้งกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทอง จากผลการทดลอง พบว่า ผลได้ของแป้งกล้วยน้ำว้าและแป้งกล้วยหอมทองที่เตรียมได้มีค่าเท่ากับร้อยละ 35.93 และ 27.69 ตามลำดับ เมื่อนำไปแปรรูปเป็นสตาร์ชให้ผลได้ของสตาร์ชมีค่าเท่ากับ 15.76 และ 17.41 ตามลำดับ สตาร์ชที่ได้มีความขาวมากกว่าแป้งกล้วย ซึ่งแสดงโดยค่าดัชนีความขาว (Whiteness index) เท่ากับ 96 และ 83-84 ในสตาร์ชและแป้งตามลำดับ แป้งกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองมีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 18.44 และ 20.20 ตามลำดับ เมื่อนำมาผลิตเป็น RS_3 โดยผ่านขั้นตอนการย่อย (Debranching) โดย เอนไซม์ pullulanase และรีโทรกราเดชัน(Retrogradation) ที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่ามีปริมาณ RS เท่ากับร้อยละ 6.24 และ 4.32 ตามลำดับ จากผลการทดสอบคุณสมบัติพรีไบโอติกของ RS จากกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองในสภาวะจำลอง (*in vitro* study) พบว่า แบคทีเรียแลกติกจากลำไส้มนุษย์สามารถเจริญในสภาวะที่มี RS ที่ผลิตจากกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองเป็นแหล่งคาร์บอนได้ดีใกล้เคียงกับกลูโคส

สลิลลา...สร้อยสยัมภู
ศิริพร...แซ่เอ็ง.....

.....

10/4/50

ลายมือชื่อนักศึกษา

(ดร.ศศิวิมล ชื่นอิ่ม อาเหม็ด)
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

วัน/เดือน/ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปัญหาพิเศษในหัวข้อเรื่อง คุณสมบัติพรีไบโอติกของ Resistant starch จากกล้วย สำเร็จลงได้ด้วยดี ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ดร.ศศิวิมล ชื่นอิ่ม อาเหม็ด ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่าคอยให้คำแนะนำและดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดีตลอดจนช่วยแก้ไขรายงานฉบับนี้ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณ The East Asiatic (Thailand) Public Company Limited ที่ให้ความอนุเคราะห์เรื่องของเอนไซม์ในการทำปัญหาพิเศษ และโรงพยาบาลราชวิถี ที่อนุเคราะห์ในการเก็บตัวอย่างอุจจาระที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติพรีไบโอติก

ขอขอบพระคุณพ่อและคุณแม่ พี่สาวและน้องสาว นางสาวอธิญา เจริญธรรม และเพื่อนๆสาขาอุตสาหกรรมเกษตรพิเศษทุกคน นักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการที่คอยให้กำลังใจ กำลังกายและคำปรึกษาตลอดระยะเวลาในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้

คณะผู้จัดทำ

27 มีนาคม 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ช
สารบัญภาคผนวก	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์	2
2.1 กล้วย	2
2.2 แป้งกล้วย	8
2.3 แป้ง	18
2.4 เทคโนโลยีการผลิต Resistant starch	24
2.5 ใยอาหาร	32
2.6 พรีไบโอติก	33
2.7 โพรไบโอติก	35
บทที่ 3 วัตถุดิบ อุปกรณ์ และวิธีการ	41
3.1 วัตถุดิบ	41
3.2 จุลินทรีย์	41
3.3 สารเคมี	41
3.4 อาหารเลี้ยงเชื้อ	42
3.5 อุปกรณ์	43
3.6 วิธีการทดลอง	44
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	48
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ข้อเสนอแนะ	56
เอกสารอ้างอิง	57
ภาคผนวก	63
ประวัติผู้เขียน	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางอาหารของผลกล้วยพันธุ์ต่างๆ	4
ตารางที่ 2.2 คุณค่าทางอาหารของกล้วยน้ำว้าพันธุ์ต่างๆในผลดิบและผลสุก	5
ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งกล้วยน้ำว้า	5
ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบของแป้งกล้วย 2 สายพันธุ์	16
ตารางที่ 2.5 สมบัติที่สำคัญของอะไมโลสและอะไมโลเพกทิน	21
ตารางที่ 2.6 สภาวะการดัดแปรแป้งกล้วยละลายน้ำเย็นด้วยด่างและแอลกอฮอล์และความสามารถในการละลายน้ำ	25
ตารางที่ 2.7 ชนิดของจุลินทรีย์ที่จัดเป็นโพรไบโอติก	36
ตารางที่ 4.1 ค่าผลได้(% yield) และเปอร์เซ็นต์ความชื้นของแป้งและสตาร์ชจากกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทอง	49
ตารางที่ 4.2 ค่าดัชนีความขาว (Whiteness index) ของแป้งและสตาร์ชจากกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทอง	49
ตารางที่ 4.3 ปริมาณอะไมโลสของแป้งกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทอง	51
ตารางที่ 4.4 ปริมาณ Resistant starch ในสตาร์ชที่ผลิตจากกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทอง	51
ตารางที่ 4.5 จำนวนเชื้อแบคทีเรียแลกติกที่เจริญในอาหารที่มี RS จากกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองเป็นแหล่งคาร์บอน	52
ตารางที่ ข1 ผลค่าดัชนีความขาวของตัวอย่างแป้งกล้วยน้ำว้า	67
ตารางที่ ข2 ผลค่าดัชนีความขาวของตัวอย่างแป้งกล้วยหอมทอง	67
ตารางที่ ข3 ผลค่าดัชนีความขาวของตัวอย่างสตาร์ชกล้วยน้ำว้า	67
ตารางที่ ข4 ผลค่าดัชนีความขาวของตัวอย่างสตาร์ชกล้วยหอมทอง	68
ตารางที่ ข5 ผลการหาความชื้นของตัวอย่างแป้งและสตาร์ช	68
ตารางที่ ข6 ผลได้ (%yield) ของแป้งและสตาร์ชจากกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทอง	69
ตารางที่ ข7 ผลจำนวนเชื้อแบคทีเรียแลกติกที่เจริญในอาหารที่มี RS จากตัวอย่างในชั่วโมงที่ 0	69
ตารางที่ ข8 ผลจำนวนเชื้อแบคทีเรียแลกติกที่เจริญในอาหารที่มี RS จากตัวอย่างในชั่วโมงที่ 5	70
ตารางที่ ข9 ผลจำนวนเชื้อแบคทีเรียแลกติกที่เจริญในอาหารที่มี RS จากตัวอย่างในชั่วโมงที่ 24	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ข10 กราฟมาตรฐานของกลูโคสโดยวิธี GOD-PAP 70

ตารางที่ ข11 ผลการทดลองหาปริมาณ Resistant starch 71

ตารางที่ ข12 กราฟมาตรฐานของปริมาณอะไมโลส 72

ตารางที่ ข13 ผลการทดลองหาปริมาณอะไมโลส 73

ตารางที่ จ1 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าดัชนีความขาว (Whiteness index) ของแป้งจากกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทอง 81

ตารางที่ จ2 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าดัชนีความขาว (Whiteness index) ของสตาร์ชจากกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทอง 81

ตารางที่ จ3 ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของแป้งกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทอง 82

ตารางที่ จ4 ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของสตาร์ชจากกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทอง 82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 รูปร่างตามขวางของผลกล้วยเมื่ออายุต่างกัน 6

ภาพที่ 2.2 ลักษณะสตาร์ชของแป้งกล้วยดิบ และแป้งกล้วยสุก 10

ภาพที่ 2.3 ลักษณะรูปร่างของเม็ดสตาร์ชจากกล้วย 11

ภาพที่ 2.4 ความสามารถในการอุ้มน้ำและการพองตัวของแป้งกล้วยพันธุ์ Marcho และ Criollo 12

ภาพที่ 2.5 ความสามารถในการละลายน้ำของแป้งกล้วยพันธุ์ Marcho และCriollo 12

ภาพที่ 2.6 ความคงทนต่อแรงเฉือน และคุณสมบัติด้านความหนืดของของผสมแป้งกล้วยพันธุ์ Marcho และ Criollo 13

ภาพที่ 2.7 X-ray diffraction pattern ของแป้งกล้วยพันธุ์ Marcho และ Criollo 14

ภาพที่ 2.8 ลักษณะของเม็ดแป้งและสตาร์ชของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมทองด้วยกำลังขยาย 40X (Normal light micrograph) 15

ภาพที่ 2.9 ลักษณะของเม็ดสตาร์ชจากกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองด้วยกำลังขยาย2,500 X (Electron micrograph) 15

ภาพที่ 2.10 โครงสร้างอะไมโลส 20

ภาพที่ 2.11 โครงสร้างอะไมโลเพกทิน 21

ภาพที่ 2.12 ประเภทของแป้งในอาหาร 22

ภาพที่ 2.13 การจำแนกชนิดของ resistant starch 24

ภาพที่ 2.14 หลักการในการใช้เอนไซม์ในการย่อยแป้ง 26

ภาพที่ 2.15 จุลินทรีย์โพรไบโอติกที่เป็นประโยชน์ต่อมนุษย์ 39

ภาพที่ 4.1 ลักษณะของแป้งกล้วยน้ำว้า (A) และกล้วยหอมทอง (B) 50

ภาพที่ 4.2 ลักษณะของสตาร์ชกล้วยน้ำว้า(A) และกล้วยหอมทอง (B) 50

ภาพที่ 4.3 ลักษณะของ Resistant starch (RS) ที่ผลิตจากกล้วยน้ำว้า (A) และกล้วยหอมทอง (B) 51

ภาพที่ 4.4 ลักษณะการเจริญของโคโลนีแต่ละชนิดบนอาหาร MRS agar+ Cysteine HCl 53

ภาพที่ 4.5 ลักษณะรูปร่างเซลล์และการติดสีแกรมบวกของกลุ่มแบคทีเรียแลกติกในลำไส้ที่ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ 1,000 เท่า 54

ภาพที่ ข1 กราฟมาตรฐานของกลูโคสโดยวิธี GOD-PAP 71

ภาพที่ ข2 กราฟมาตรฐานของปริมาณอะไมโลส 72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาคผนวก

	หน้า
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบของแป้งกล้วย	63
ภาคผนวก ข ค่าผลการทดลอง	66
ภาคผนวก ค วิธีการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ	74
ภาคผนวก ง การเตรียมสารเคมี	77
ภาคผนวก จ ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบัน การใช้พรีไบโอติกได้รับความสนใจมากขึ้นในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อสุขภาพ เนื่องจากพรีไบโอติก ไม่ถูกย่อยในระบบทางเดินอาหารตอนบน แต่มีความจำเพาะเจาะจงต่อการกระตุ้นการเจริญของจุลินทรีย์ประจำถิ่นในลำไส้ใหญ่ ได้แก่ บิฟีโดแบคทีเรีย (Bifidobacteria) และแลคโตบาซิไล (Lactobacilli) จุลินทรีย์เหล่านี้จะทำหน้าที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อก่อโรค และส่งผลดีต่อการทำงานของระบบทางเดินอาหาร พรีไบโอติกที่ใช้ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลโอลิโกแซ็กคาไรด์ เช่น ฟรุกโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ กาแลกโตโอลิโกแซ็กคาไรด์และอินนูลินซึ่งต้องนำเข้าจากต่างประเทศและมีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นในการทดลองนี้จึงสนใจที่จะศึกษาวิธีการเตรียมสตาร์ชที่ต้านทานต่อการย่อย (resistant starch) จากกล้วยสายพันธุ์ของไทย และทดสอบคุณสมบัติพรีไบโอติกของสตาร์ชที่เตรียมได้ เพื่อเป็นแนวทางในการขยายการใช้ประโยชน์จากกล้วยดิบเพื่อเป็นแหล่งผลิตสารพรีไบโอติกที่มีราคาไม่แพงต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาวิธีการเตรียม Resistant Starch จากกล้วยสายพันธุ์ไทย

1.2.2 เพื่อศึกษาคุณสมบัติพรีไบโอติกของสตาร์ชจากกล้วย

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตพรีไบโอติกแหล่งใหม่จากวัตถุดิบที่มีราคาถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วารสารปริทัศน์

2.1 กล้วย (เบญจมาศ, 2545)

กล้วยเป็นผลไม้ที่รู้จักกันทั่วไป ซึ่งต้นกล้วยเป็นต้นไม้ที่ให้ประโยชน์ทุกส่วน ตั้งแต่ใบตอง กาบกล้วย ผลกล้วยทั้งสุกและดิบ หน่อกล้วยอ่อน ปลีกล้วย ราก และลำต้นใต้ดิน โดยเฉพาะส่วนของผลกล้วยสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายหลาก เช่น กล้วยน้ำว้าที่สุกงอมใช้เป็นอาหารสำหรับเลี้ยงเด็กอ่อน โดยกล้วยน้ำว้าที่สุกงอมจะมีคุณค่าทางอาหารที่สูงและทั้งยังย่อยได้ง่าย

กล้วยเป็นผลไม้ที่มีราคาไม่แพง มีปลูกทั่วไปในประเทศไทย อีกทั้งยังมีให้บริโภคตลอดปี ให้คุณค่าทางอาหารสูง สามารถนำมาทำอาหารได้หลายชนิด อาทิเช่น กล้วยบวชชี กล้วยฉาบ กล้วยแขก กล้วยเชื่อม ขนมกล้วย ข้าวต้มไส้กล้วย เป็นต้น

2.1.1 ส่วนประกอบของพันธุ์กล้วย

ผลกล้วยเจริญเติบโตมาจากรังไข่ของดอกตัวเมีย ซึ่งการเจริญมีแบบการผสมพันธุ์และไม่ผสมพันธุ์ โดยแบบผสมพันธุ์จะเป็นกล้วยที่ปลูกกันด้วยเมล็ด ซึ่งดอกตัวเมียจำเป็นที่จะต้องนำมาผสมพันธุ์ก่อนเจริญเติบโตเป็นผลกล้วย ส่วนแบบไม่ต้องผสมพันธุ์นั้นจะเป็นกล้วยที่ปลูกโดยการแตกหน่อ

เนื้อกล้วยคือเนื้อเยื่อชั้นนอกระหว่างเกสรตัวเมียกับรังไข่ จุดเล็กๆ สีน้ำตาลที่ไส้กล้วยคือเกสรตัวเมียที่เป็นหมันไม่สามารถผสมพันธุ์ได้

ผลกล้วยทั้งหมดเกิดจากช่อดอก เรียกว่า เครือ (Bunch) ส่วนผลกล้วยจากกลุ่มดอกแต่ละกลุ่มบนช่อดอก เรียกว่า หวี (Hand) กล้วยแต่ละลูก เรียกว่า (Finger) ส่วนปลายผลที่มีจุกสีดำ คือ ดอกตัวเมียที่หลุดร่วงไป เส้นใยระหว่างเปลือกกล้วยกับเนื้อกล้วย เรียกว่า รก

2.1.2 การนำผลกล้วยมาใช้ประโยชน์

- **ผลดิบ ใช้ในการประกอบอาหารคาว นำมาเชื่อม นำมาทอดกรอบ นำมาฉาบ นำมาทำแป้ง**
- **ผลสุก รับประทานสด นำมาตากแดดเป็นกล้วยตาก นำมาทอดเป็นกล้วยแขก นำมากวนนำมาทำเป็นขนม และไส้ขนม**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 กล้วยน้ำว้า (เบญจมาศ, 2545)

ชื่อสามัญ : Pisang Awak

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Musa* (ABB group) 'Kluai Nam Wa' หรือ *Musa X paradisiacal* 'Kluai Nam Wa'

ชื่ออื่น : กล้วยใต้ (เชียงใหม่ , เชียงราย) กล้วยตานีอ่อง (อุบลราชธานี) กล้วยมะลิอ่อง (จันทบุรี) กล้วยอ่อง (ชัยภูมิ)

พันธุ์กล้วยน้ำว้าในไทย (ดวงแก้ว, 2544)

1. กล้วยน้ำว้านวล

มีลักษณะต้นสูง 2.5-4 เมตร ลำต้นมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 เซนติเมตร กาบลำต้นเทียมด้านนอกด้านสีเขียวอ่อนอยู่ทั่วไป ด้านในสีเขียวอ่อนกว่าสีสม่ำเสมอ ก้านช่อดอกไม่มีขน ปลีดอกกล้วยสีแดงอมม่วง เครือยาวขนาด 7-15 หวี หวีหนึ่งมี 10-16 ผล เมื่อดิบเปลือกผลสีเขียว สุกมีสีเหลืองปนน้ำตาลเนื้อสีเหลืองอมขาวเขียว มีรสหวาน

2. กล้วยน้ำว้ากาบขาว

ลำต้นสูง 2.5-3 เมตร กาบลำต้นด้านนอกสีเขียวอ่อนกว่าต้นกล้วยน้ำว้าทั่วไป ท้องใบมีนวลมาก ผลดิบมาก ผลดิบสีเขียวนวล เปลือกหนาเหลี่ยม เมื่อสุกเหลี่ยมจะลบลง เปลือกสีเหลืองนวล เนื้อสีขาวนวล มีความเหนียว ไส้กลางสีเหลือง มีรสหวาน

3. กล้วยน้ำว้าค่อม

เป็นต้นที่กลายพันธุ์มาจากกล้วยน้ำว้ากาบขาว ลำต้นสูง 2 เมตร ใบก้อยข้างใหญ่และเปราะ ผลมีขนาดสั้นป้อมและย้วน เนื้อเยอะ มีรสหวาน

4. กล้วยน้ำว้าแดง

ลักษณะต้นโดยทั่วไปจะคล้ายกล้วยน้ำว้ากาบขาวเมื่อสุกเนื้อในกล้วยมีสีขาวปนชมพูไส้กลางมีสีชมพูแดง เนื้อเหนียว มีรสหวาน

5. กล้วยน้ำว้าเขียว

กาบลำต้นด้านนอกมีสีเขียวมะกอก ผลดิบสีเขียวสดไม่มีนวล เปลือกค่อนข้างหนา เมื่อสุกเหลี่ยมจะลบมีสีเหลืองอมเขียว ที่สันเหลี่ยมยังคงทิ้งสีเขียวไว้จางๆ เนื้อมีสีขาว ไส้กลางมีสีเหลือง เนื้อเหนียว มีรสหวานอมเปรี้ยว

6. กล้วยน้ำว้ามะลิอ่อง

ลำต้นสูง 2.5-3 เมตร กาบใบสีเขียวหม่น เครือหนึ่งมี 7 หวี หวีหนึ่งมี 12-14 ผล ผลอ้วนป้อมสม่ำเสมอ เปลือกไม่มีเหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 กล้วยหอมทอง (เบญจมาศ, 2545)

ชื่อสามัญ : Hom Thong Banana

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Musa* (AAA group) 'Kluai Hom Thong'

ชื่ออื่น : กล้วยหอม

2.1.5 คุณค่าทางโภชนาการของผลกล้วย (เบญจมาศ, 2538)

กล้วยเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการ มีวิตามิน เกลือแร่ ให้พลังงานสูง จึงเหมาะสำหรับการบริโภคทุกเพศทุกวัย ในประเทศอูกันดามีประชาชนรับประทานกล้วยโดยเฉลี่ยวันละ 4 - 4.5 กิโลกรัม ใช้แทนเนื้อสัตว์ได้ด้วย กล้วยเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าพอๆกับมันฝรั่ง คณะที่ปรึกษาของการวิจัยด้านการเกษตรนานาชาติ (Consultative Group on Internation Agricultural Research/CGIAR) ภายใต้การสนับสนุนโครงการสหประชาชาติ (United Nations Development Programme/UNDP) ได้จัดอันดับความสำคัญของกล้วยและกล้าย (Banana and Plantain) ว่าเป็นอาหารที่ประชากรโลกบริโภคสูงเป็นอันดับ 4 ของโลก ในแง่ปริมาณการผลิตรวมรองจากข้าว ข้าวสาลี และนม ตามลำดับ

ชูจิตร (2503) ได้รายงานคุณค่าทางอาหารของผลกล้วยบางชนิดในประเทศ ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางอาหารของผลกล้วยพันธุ์ต่างๆ

องค์ประกอบทางเคมี	กล้วยหอมทอง	กล้วยไข่	กล้วยน้ำว้า
น้ำ(g/100g)	77.19	70.66	72.03
ไขมัน(g/100g)	0.73	0.84	0.76
โปรตีน(g/100g)	1.82	1.45	0.89
น้ำตาลอินเวิร์ต(g/100g)	16.42	18.41	22.20
แคลเซียม(mg/100g)	14.27	13.54	19.99
ฟอสฟอรัส(mg/100g)	21.98	24.71	25.09
เหล็ก(mg/100g)	8.71	6.71	11.39
วิตามิน(mg/100g)	11.06	16.90	18.35

ที่มา: ชูจิตร (2503)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิไลลักษณ์ และคณะ (2532) ได้ศึกษาคุณค่าทางอาหารของกล้วยน้ำว้าบางชนิดในกลุ่ม ABB แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณค่าทางอาหารของกล้วยน้ำว้าพันธุ์ต่างๆในผลดิบและผลสุก

กล้วยน้ำว้า (ในส่วนที่กินได้ 100 กรัม)	อายุกล้วย (%ของอายุกล้วยสุก)	ส่วนประกอบ					
		ความชื้น	ไขมัน	เยื่อใย	โปรตีน	เถ้า	คาร์โบไฮเดรต
กล้วยน้ำว้าไส้ขาว	75	64.28	0.29	0.38	0.87	0.73	33.45
	90	64.92	0.31	0.41	0.74	0.87	32.75
	กล้วยสุก	69.36	0.38	0.57	0.73	0.95	28.02
กล้วยน้ำว้าไส้เหลือง	75	66.32	0.28	0.38	0.84	0.72	31.45
	90	67.01	0.31	0.43	0.70	0.79	30.76
	กล้วยสุก	69.54	0.38	0.59	0.70	0.91	27.87
กล้วยน้ำว้าไส้แดง	75	65.39	0.26	0.34	0.86	0.73	32.41
	90	66.25	0.35	0.46	0.71	0.85	31.37
	กล้วยสุก	69.52	0.37	0.55	0.70	0.91	27.92
กล้วยน้ำว้าดิบ	กล้วยดิบ	69.00	0.20	0.50	1.40	-	28.70

ที่มา : วิไลลักษณ์ และคณะ (2532)

สุดาทิพย์ (2545) ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของแป้งกล้วยน้ำว้า แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งกล้วยน้ำว้า

ความแก่ (%)	องค์ประกอบทางเคมี (% โดยน้ำหนักแห้ง)								
	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	เยื่อใย	คาร์โบไฮเดรต	สตาร์ช	อะไมโลส (%)	น้ำตาลทั้งหมด (%)
70	9.757	2.486	0.531	1.861	1.000	84.367	61.576	21.295	0.587
80	9.770	2.596	0.537	2.072	0.938	84.088	62.920	22.528	0.620
90	9.854	2.729	0.542	2.316	0.839	83.731	66.428	23.767	0.912
100	10.193	3.027	0.545	2.669	0.709	82.906	60.717	21.281	1.095

ที่มา : สุดาทิพย์ (2545)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 ดัชนีการเก็บเกี่ยว (ชลธิรา, 2545)

ดัชนีการเก็บเกี่ยวเป็นสิ่งที่กำหนดว่า เมื่อไรกล้วยควรจะเก็บเกี่ยวได้และให้คุณภาพดี ดัชนีที่ดีควรเป็นดัชนีที่เชื่อถือได้และใช้ได้สำหรับผลิตผลนั้นๆในทุกแหล่งปลูกและในทุกฤดูกาลผลิต (สายชล, 2528) การเก็บเกี่ยวกล้วยมักจะเก็บเมื่อกล้วยมีความแก่ต่างๆกัน ซึ่งขึ้นกับระยะเวลาการขนส่งถ้าหากต้องมีการขนส่งไปยังที่ไกลๆ หรือเพื่อส่งออกที่ต้องใช้เวลาเดินทางนาน ดังนั้นตลาดต่างประเทศจะเก็บเกี่ยวเมื่อผลยังมีเหลี่ยม คือมีความแก่ประมาณ 70-80 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าส่งตลาดภายในจังหวัดหรือบริเวณใกล้ๆควรเก็บเกี่ยวผลที่แก่เต็มที่ ซึ่งจะสุกภายในไม่ถึงสัปดาห์ ดัชนีการเก็บเกี่ยวของกล้วยนอกจากจะใช้การสูญเสียเหลี่ยมของผลกล้วยแล้วนั้น เรายังสามารถนับวันจากวันที่กล้วยแทงปลี เช่น กล้วยที่มีความแก่ 75 เปอร์เซ็นต์ มีเหลี่ยมเห็นชัดนั้นนับจำนวนวันจากวันที่กล้วยแทงปลีไปแล้ว 10-14 สัปดาห์ หรือนับจากวันปลูก คือ ประมาณ 9 เดือน โดยกล้วยที่ได้จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 31-41 มิลลิเมตร (Nakasone and Paull, 1998)

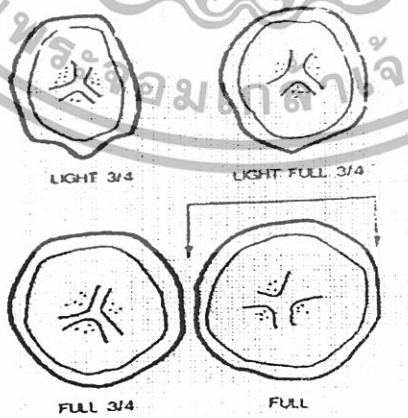
เบญจมาศ (2538) แบ่งมาตรฐานความแก่ของกล้วยขึ้นกับเหลี่ยมของผลดังนี้

Full หมายถึง ผลที่ไม่มีเหลี่ยมเลยหรือแก่เต็มที่ 100 เปอร์เซ็นต์ นับจากวันแทงปลี ประมาณ 18 สัปดาห์

Full ¾ หมายถึง ผลที่มีเหลี่ยมแต่ไม่ชัดเจน มีความแก่ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ นับจากวันแทงปลี ประมาณ 17 สัปดาห์

Light Full ¾ หมายถึง ผลที่มีเหลี่ยมเห็นชัด มีความแก่ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ นับจากวันแทงปลี ประมาณ 16 สัปดาห์

Light ¾ หมายถึง ผลที่มีขนาดครึ่งหนึ่งของผลที่โตเต็มที่ หรือมีความแก่ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ นับจากวันแทงปลีประมาณ 15 สัปดาห์



ภาพที่ 2.1 รูปร่างตามขวางของผลกล้วยเมื่ออายุต่างกัน

ที่มา : เบญจมาศ (2538)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเก็บเกี่ยวกล้วยมักเก็บเกี่ยวเมื่อกล้วยมีความแก่ต่างๆกัน ขึ้นอยู่กับตลาดและข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย สำหรับตลาดในต่างประเทศ ส่วนมากใช้การวัดขนาด โดยการใช้คาลิปเปอร์เป็นดัชนีในการเก็บเกี่ยวหรืออาจใช้การนับจำนวนวัน เช่น การตัดกล้วยหอมกลุ่มคาเวนดิชอาจจะอยู่ระหว่าง 60-85 วัน ซึ่งขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่ปลูกและการดูแลรักษา ควบคุมอุณหภูมิ ถ้าอากาศร้อนจำนวนวันตั้งแต่แทงปลีจนถึงเก็บเกี่ยวประมาณ 80 วัน ถ้าอากาศหนาวอาจจะเป็น 120 วันในกล้วยกลุ่ม AAA แต่ ในกลุ่ม ABB อาจถึง 180 วัน

สุดาทิพย์ (2545) ศึกษาดัชนีที่เหมาะสมในการกำหนดการเก็บเกี่ยวกล้วยน้ำว้าที่ระยะการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกันในการผลิตแป้งกล้วยน้ำว้า คือที่ความแก่ 70 80 90 และ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยพบว่าสามารถเก็บเกี่ยวกล้วยน้ำว้าได้หลังจากที่กล้วยแทงปลีแล้ว 15 16 17 และ 18 สัปดาห์ ตามลำดับ และพบว่าเมื่อกล้วยมีความแก่มากขึ้น ความยาวเส้นรอบวงจะเพิ่มขึ้น แต่อัตราส่วนเปลือกต่อเนื้อจะลดลง ดังนั้นการเก็บเกี่ยวกล้วยเพื่อใช้ในการผลิตแป้ง สามารถใช้การนับจำนวนวันร่วมกับการพิจารณาเหลี่ยมของผลร่วมกันได้หรืออาจจะใช้อัตราส่วนเปลือกต่อเนื้อกล้วยร่วมกันด้วยก็ได้

นอกจากนี้ดัชนีการเก็บเกี่ยวที่กล่าวมา การวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของกล้วย ก็เป็นวิธีการที่ดีในการตัดสินความแก่หรือระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวได้เช่นกัน เพราะเป็นวิธีที่ค่อนข้างจะมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อรสชาติของผลไม้ เช่น ในระยะแรกของการเจริญเติบโตของผลกล้วยหอมพันธุ์คาเวนดิช ปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ และน้ำตาลนัน-รีดิวส์จะต่ำมาก และหลังจากนั้น 115 วัน ปริมาณน้ำตาลรวมก็ยังคงต่ำอยู่ แต่เมื่อกล้วยเริ่มแก่ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยจะมีการเพิ่มปริมาณของกลูโคสและฟรุกโทส ซึ่งการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของน้ำตาลในผลกล้วยนี้จึงเป็นวิธีบอกความแก่ของกล้วยได้หลังจากเก็บเกี่ยวแล้ว ถ้าเก็บรักษากล้วยไว้ที่ 30 องศาเซลเซียส พบว่ามีการเพิ่มปริมาณน้ำตาลมากขึ้น ส่วนปริมาณแป้งในเนื้อกล้วยจะเพิ่มขึ้นจนถึงอายุ 70 วัน จึงเริ่มลดลง ส่วนปริมาณน้ำตาลทั้งหมด การปรากฏของกลูโคสและฟรุกโทส และการหยุดการเจริญของกล้วยสามารถใช้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวได้เป็นอย่างดี แต่การใช้องค์ประกอบทางเคมีเพียงอย่างเดียวอาจให้ผลคลาดเคลื่อนเนื่องจากปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของผลิตผลขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและวิธีการดูแลรักษาในแปลงปลูกด้วย (ดนัย และนิธิยา, 2533)

Ketiku (1973) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของกล้วยดิบ และกล้วยสุกพันธุ์ *Musa paradisiaca* ทั้งเปลือกและเนื้อ พบว่าในระหว่างการสุก ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดจะสูงขึ้นจาก 3.0 เป็น 31.6 เปอร์เซ็นต์ สำหรับในเปลือก และสูงขึ้นจาก 1.3 เป็น 17.3 เปอร์เซ็นต์ ในเนื้อกล้วย ในขณะที่ปริมาณแป้งของผิวกล้วยจะลดลงจาก 50 เป็น 35 เปอร์เซ็นต์ และ 83 เป็น 66 เปอร์เซ็นต์ สำหรับเนื้อกล้วย ที่ผิวกล้วยนั้นจะมีเซลลูโลส 10 เปอร์เซ็นต์ และเฮมิเซลลูโลส 13 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าในเนื้อกล้วยที่มีเซลลูโลส 1.4 เปอร์เซ็นต์ และเฮมิเซลลูโลส 1.3 เปอร์เซ็นต์

Seymour (1993) ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของแป้งกล้วย พบว่า แป้งกล้วยมีปริมาณอะไมโลส 16 เปอร์เซ็นต์ ขนาดของเม็ดแป้งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง [illegible] ไมโครเมตร กล้วย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แก่ที่ยังไม่สุกจะมีแป้งประมาณ 20-25 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักเนื้อกล้วย เมื่อกล้วยเริ่มสุกแป้งจะถูกย่อยสลาย และเกิดเป็นน้ำตาล ได้แก่ ซูโครส ฟรักโทส และกลูโคส และยังพบมอลโตสในปริมาณเล็กน้อย

Kotecha and Desai (1995) ได้ศึกษาพบว่าแป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตหลักในกล้วยดิบ ในระหว่างการสุกของกล้วยนั้น แป้งจะถูกไฮโดรไลซ์เหลือเพียง 1-2 เปอร์เซ็นต์ของกล้วยสุก น้ำตาลจะสูงขึ้น 1-2 เปอร์เซ็นต์ของกล้วยดิบ เป็น 15-20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเนื้อกล้วยสุก ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดจะลดลง 2.5 เปอร์เซ็นต์ ระหว่างการสุกไปกับกระบวนการหายใจ

2.2 แป้งกล้วย (เดช, 2542)

แป้งกล้วยเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากผลกล้วยดิบ เพราะในกล้วยดิบจะพบแป้งที่เป็นองค์ประกอบในปริมาณที่สูง แป้งกล้วยมีการทำและขายในตลาดท้องถิ่นมาก่อน และเริ่มทำเป็นอุตสาหกรรมเมื่อปี ค.ศ. 1982 ในประเทศอิเควดอร์โดยใช้กล้วยหอมกลุ่มคาเวนดิช และมีการผลิตแป้งกล้วยกันเพิ่มมากขึ้นเป็นอุตสาหกรรม ในประเทศอิเควดอร์มีการผลิตแป้งกล้วยประมาณปีละ 850 ตัน และประเทศคอสตาริกามีการผลิตปีละประมาณ 2,700 ตัน เพื่อใช้เป็นอาหารของเด็กทารกและคนชรา ปัจจุบันการนำกล้วยมาแปรรูปเป็นแป้งกล้วยนับเป็นผลิตภัณฑ์ที่น่าสนใจเพราะมีประชากรโลกจำนวนมากที่ใช้บริโภคแทนข้าว และล้วนเป็นประเทศที่มีปัญหาในด้านการผลิตซึ่งมีความต้องการในการนำเข้าสูงมาก เพื่อความมั่นคงทางอาหารของประเทศ

2.2.1 วิธีการผลิตแป้งกล้วย

ญาณิศา และคณะ (2536) ศึกษาผลของความร้อนในการนึ่งกล้วยที่อุณหภูมิ 250 องศาฟาเรนไฮต์ เพื่อช่วยในการปอกเปลือกและหั่นเนื้อกล้วยเป็นชิ้นเล็กๆ พบว่าควรนึ่งกล้วยนาน 1 นาที เพื่อให้การปอกเปลือกและหั่นเป็นชิ้นเล็กๆง่ายขึ้น จากนั้นนำกล้วยที่หั่นเป็นชิ้นลูกเต๋าขนาด 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร แช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ ปรับพีเอช 3.3 ด้วยกรดซิตริก นาน 4 นาที นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50-55 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง บดด้วยเครื่อง hammer mill และ pin mill จะได้แป้งกล้วยที่มีลักษณะขาวนวล

กรุณา และคณะ (2539) พบว่าการนึ่งกล้วยนั้นมีผลทำให้แป้ง (Starch) บางส่วนเกิดการเจลาติไนซ์ และทำให้แป้งกล้วยที่ได้มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงขึ้น แต่ความสามารถในการอุ้มน้ำมันลดลง นอกจากนี้การนึ่งกล้วยยังมีผลทำให้แป้งกล้วยมีค่าสีแดงและสีเหลืองสูงขึ้น

Crowther (1979) ทำการผลิตแป้งกล้วยโดยนำกล้วยที่มีความแก่ Full¾ มาล้างน้ำเย็นหลังจากนั้นนำไปจุ่มน้ำอุณหภูมิ 40-45 องศาเซลเซียส และ 70-75 องศาเซลเซียส นาน 5-6 นาที ปอกเปลือกหั่นเป็นชิ้นหนา ¼ นิ้ว รมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 20-25 นาที ทำให้แห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุโมงค์ (tunnel dryer) ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส นาน 7-8 ชั่วโมง จนความชื้นเหลือ 8 เปอร์เซ็นต์ บดให้ละเอียด ได้แป้งกล้วย

Chiang *et al.*(1987) ทำการผลิตสตาร์ชจากกล้วยที่มีความแก่ 112-116 วันหลังกลีบดอกกล้วยหลุด ซึ่งมีน้ำหนักกล้วยต่อ1 ลูกประมาณ 82 กรัม โดยนำกล้วยมาหั่นและปั่นผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.5 นอร์มอล Centrifuge เพื่อแยกตะกอน และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสโดยมีเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้งกล้วย 70 เปอร์เซ็นต์

Whistler (1998) ทำการผลิตสตาร์ชจากกล้วยโดยการนำกล้วยดิบมาปอกเปลือก หั่นเป็นชิ้นหนาประมาณ 5 มิลลิเมตร บดรวมกับโซเดียมไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ พีเอช 4.5 ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ตั้งทิ้งไว้ 4 ชั่วโมง เพื่อให้เอนไซม์เพคติเนส (pectinase) และโพลีกาแลคตูโรเนส (polygalacturonase) ย่อยผนังเซลล์เนื้อกล้วย เพื่อให้เม็ดสตาร์ชหลุดออกมา นำไปกรองผ่านตะแกรงขนาด 70 ไมโครเมตร และทำการหมุนเหวี่ยงแยกเพื่อแยกสตาร์ชออกจากของผสม นำสตาร์ชที่แยกได้มาทำให้แห้ง จะได้ผงสตาร์ชจากกล้วย

Fichtail *et al.* (1999) ผลิตสตาร์ชจากกล้วยโดยการนำกล้วยดิบทั้งเปลือกบดรวมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.05 นอร์มอล ในอัตราส่วนสารละลายต่อกล้วย 3 ต่อ 1 บดผ่านตะแกรงขนาด 0.15 นิ้ว โดยเครื่อง Fitzpatrick comminuting mill อัตราเร็วในการบด 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และอัตราการไหลของสารละลาย 900 ลิตรต่อชั่วโมง จะได้ของผสมกล้วยบดกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ นำไปตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นเติมน้ำลงไป 5 ส่วนต่อของผสม 1 ส่วน กรองเปลือกและกากออกด้วยตะแกรงขนาด 80 เมช จากนั้นนำของผสมที่กรองได้ล้างด้วยน้ำ 2.5 ส่วนต่อวัตถุดิบเริ่มต้น 1 ส่วน กรองผ่านตะแกรงขนาด 200 เมช จะได้สารละลายสตาร์ชออกมา นำมาหมุนเหวี่ยงแยกได้สตาร์ช 15-20 เปอร์เซ็นต์

2.2.2 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกล้วย

ญาณิศา และคณะ (2536) ศึกษาคุณสมบัติด้านความหนืดของแป้งกล้วยน้ำว้าเมื่อตรวจสอบด้วย Brabender viscoamylograph ที่ความเข้มข้นของของผสมแป้งกล้วยกับน้ำ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยตรวจสอบที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที พบว่าแป้งกล้วยน้ำว้ามีค่า peak viscosity และ break down ต่ำแสดงให้เห็นว่าแป้งกล้วยน้ำว้าเกิดการแตกตัวยาก พองตัวน้อย และเม็ดแป้งมีความทนต่อแรงกวน นอกจากนี้แป้งกล้วยน้ำว้ายังมีค่า final viscosity (V50) ต่ำอีกด้วย จึงทำให้ได้ของผสมที่มีลักษณะไม่เหนียวหนืด

Kayisu *et al.* (1981) ศึกษาคุณสมบัติของสตาร์ชจากกล้วย พบว่าแป้งกล้วยดิบประกอบด้วยสตาร์ช 78.0 เปอร์เซ็นต์ และแป้งจากกล้วยสุกประกอบด้วยสตาร์ช 16.1 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะของสตาร์ชมีรูปร่างทรงกลม และแท่งยาว โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5-25 ไมโครเมตร และยาว 20-50 ไมโครเมตร พื้นผิวของสตาร์ชจากกล้วยดิบมีลักษณะเรียบ ในขณะที่เม็ดสตาร์ชจากกล้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุกมีลักษณะเป็นริ้วๆซึ่งเกิดจากการทำงานของเอนไซม์อะไมเลสในระหว่างการสุกของกลัวย เมื่อผสมสตาร์ชกับน้ำที่ความเข้มข้นต่ำพบว่าแป้งกล้วยมีลักษณะความหนืดต่ำ ไม่พบการเกิด peak viscosity และเกิดความหนืดเล็กน้อยในระหว่างการให้ความร้อน โดยแป้งกล้วยเกิดการพองตัวเล็กน้อย จึงมีความแข็งแรงมากพอที่จะต้านทานการกวนได้ หลังจากนั้นเมื่อลดอุณหภูมิลงความหนืดจะเพิ่มสูงขึ้น และพบว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์อยู่ในช่วง 67-70 องศาเซลเซียส

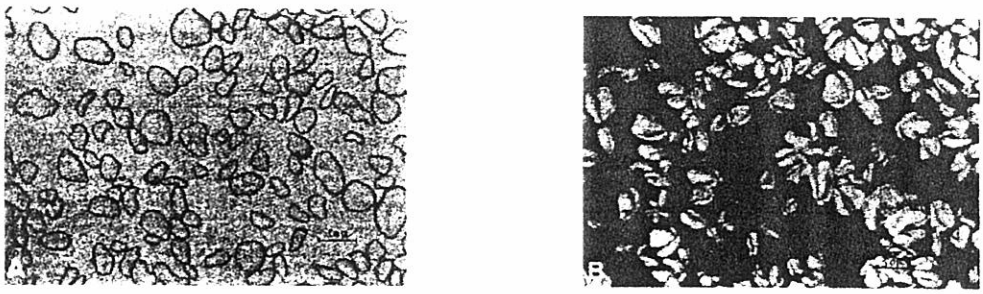
(A) แป้งกล้วยดิบ (B) แป้งกล้วยสุก

ภาพที่ 2.2 ลักษณะสตาร์ชของแป้งกล้วยดิบ (A) และแป้งกล้วยสุก (B)

ที่มา : Kayisu *et al.* (1981)

Lii *et al.* (1982) ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสตาร์ชจากกล้วยที่ระยะการสุกที่ต่างๆกันพบว่าเม็ดสตาร์ชเมื่อนำไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงธรรมดา (normal light) มีรูปร่างเป็นวงรี และรูปร่างไม่แน่นอน (irregular shape) และเมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงโพลาไรซ์ (polarized light) พบการเกิดลักษณะของไบรีฟรินแจน (birefringence) เม็ดสตาร์ชมีขนาดอยู่ระหว่าง 6-80 ไมโครเมตร สตาร์ชจากกล้วยมีกำลังการพองตัวน้อยมาก ส่วนความสามารถในการละลายน้ำก็ต่ำเช่นเดียวกัน นอกจากนี้คุณสมบัติด้านความหนืดของของผสมสตาร์ชจากกล้วยกับน้ำ เมื่อตรวจสอบด้วยเครื่อง Brabender viscoamylograph ที่อุณหภูมิ 35-95-35 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ 700 รอบต่อนาที พบว่าของผสมสตาร์ชที่ความเข้มข้นไม่พบ Peak viscosity เนื่องจากสตาร์ชมีการพองตัวน้อย จึงมีความหนืดเกิดเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่การตรวจสอบของของผสมสตาร์ชที่ความเข้มข้นสูงๆ พบ peak viscosity ในระหว่างการให้ความร้อนและเมื่อลดอุณหภูมิจะเกิดการคืนตัว (set back) ขึ้น และเมื่อตรวจสอบสตาร์ชจากกล้วยที่มีระยะการสุกต่างๆกัน พบว่ามีอุณหภูมิในการเกิดเจลลาติไนซ์ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 74-83 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงให้เห็นว่าภายในสตาร์ชมีการจัดเรียงตัวอย่างแข็งแรง จึงทำให้เม็ดสตาร์ชมีการพองตัวในระหว่างการให้ความร้อนน้อย ต้องใช้ความร้อนในการทำลายพันธะภายในเม็ดสตาร์ช เม็ดสตาร์ชจึงสามารถดูดน้ำและพองตัวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



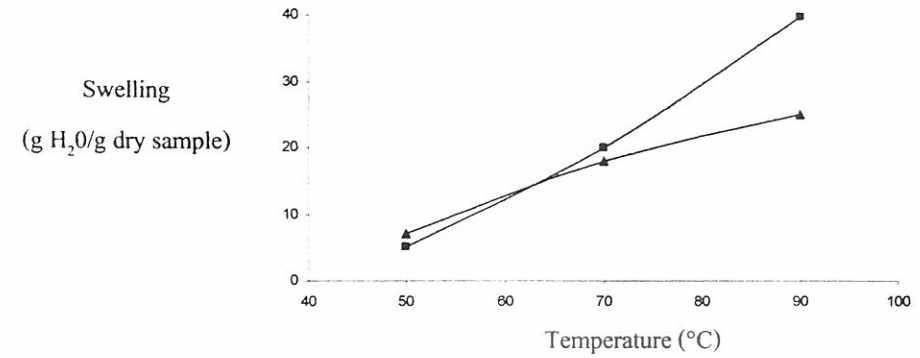
(A) (B)

ภาพที่ 2.3 ลักษณะรูปร่างของเม็ดสตาร์ชจากกล้วย (A) normal light และ (B) polarized light

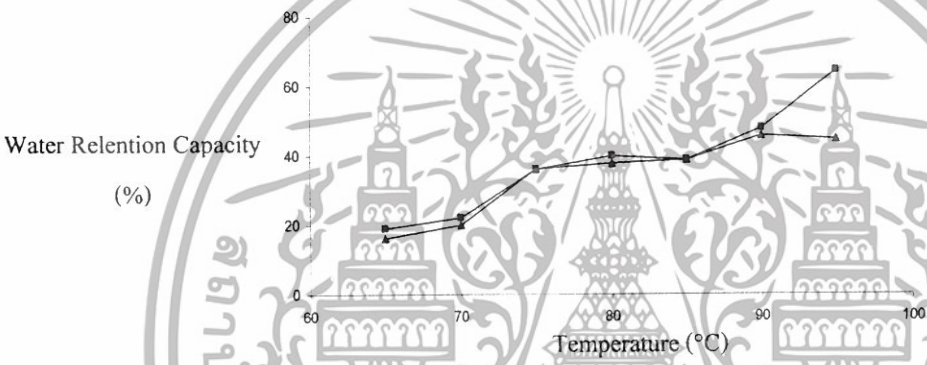
ที่มา : Lii *et al.* (1982)

Bello-perez *et al.* (1999) ศึกษาคุณสมบัติของแป้งกล้วยจากกล้วย 2 สายพันธุ์คือ มาร์โช (Marcho) และคริโอโล (Criollo) ที่ผ่านกระบวนการบดเปียก พบว่าสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 2 สายพันธุ์ มีค่า Blue value และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดแตกต่างกันแสดงให้เห็นว่ากล้วยทั้ง 2 พันธุ์มีปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพกตินต่างกัน มีความคงทนต่อการแช่แข็งและการละลายต่ำ แป้งกล้วยทั้ง 2 สายพันธุ์นี้มีคุณสมบัติในด้านความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการละลายน้ำ และความสามารถในการพองตัวแตกต่างกันเล็กน้อย เมื่อตรวจสอบคุณสมบัติด้านความหนืด และความคงทนต่อแรงเฉือนของของผสมแป้งกับน้ำด้วย Brookfield viscometer ด้วย spindle No.3 พบว่าเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น ความหนืดจะลดลง โดย Bello-perez *et al.* (2000) ทำการศึกษาคุณสมบัติของแป้งกล้วยทั้ง 2 สายพันธุ์นี้เพิ่มเติม พบว่า สตาร์ชจากกล้วยพันธุ์มาร์โชมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณความร้อนในกระบวนการเจลลาติไนซ์สูงกว่าสตาร์ชจากกล้วยพันธุ์คริโอโล เมื่อนำสตาร์ชจากแป้งกล้วยทั้ง 2 ชนิดนี้ไปทำการจำแนกชนิดสตาร์ชด้วยวิธีเอ็กซเรย์ดิฟแฟรกชั่น (X-ray diffraction) พบว่าสตาร์ชจากกล้วยมีรูปแบบดิฟแฟรกชั่น (diffraction pattern) แบบ A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



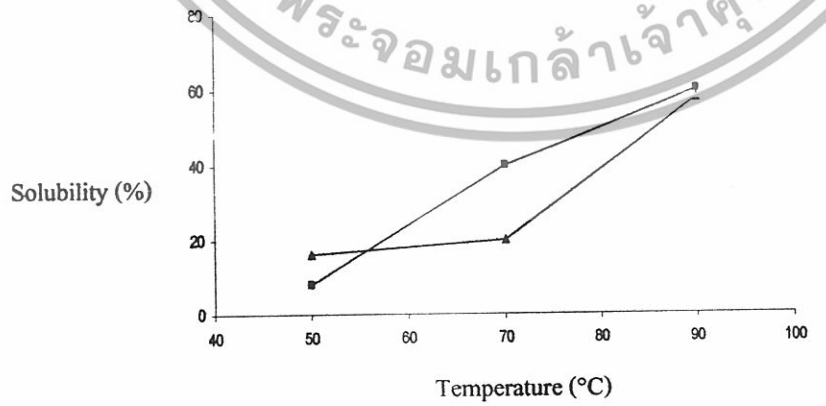
(A)



(B)

ภาพที่ 2.4 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (A) และการพองตัว(B) ของแป้งกล้วยพันธุ์ Marcho (■) และ Criollo (▲)

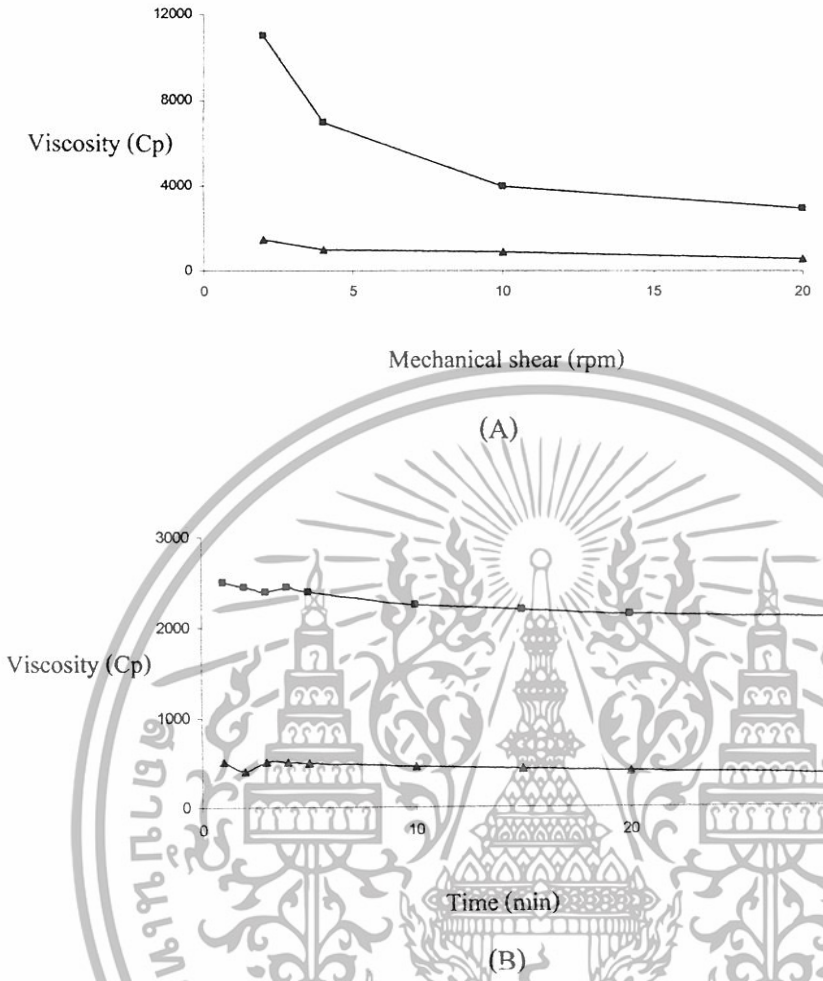
ที่มา : ดัดแปลงจาก Bello-perez *et al.* (1999)



ภาพที่ 2.5 ความสามารถในการละลายน้ำของแป้งกล้วยพันธุ์ Marcho (■) และ Criollo (▲)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Bello-perez *et al.* (1999)

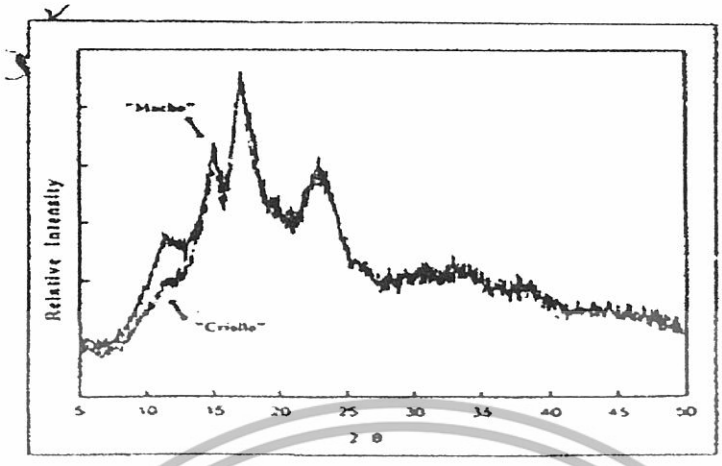
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.6 ความคงทนต่อแรงเฉือน (A) และคุณสมบัติด้านความหนืด (B) ของของผสมแป้งกล้วยพันธุ์ Marcho (■) และ Criollo (▲)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Bello-perez *et al.* (1999)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



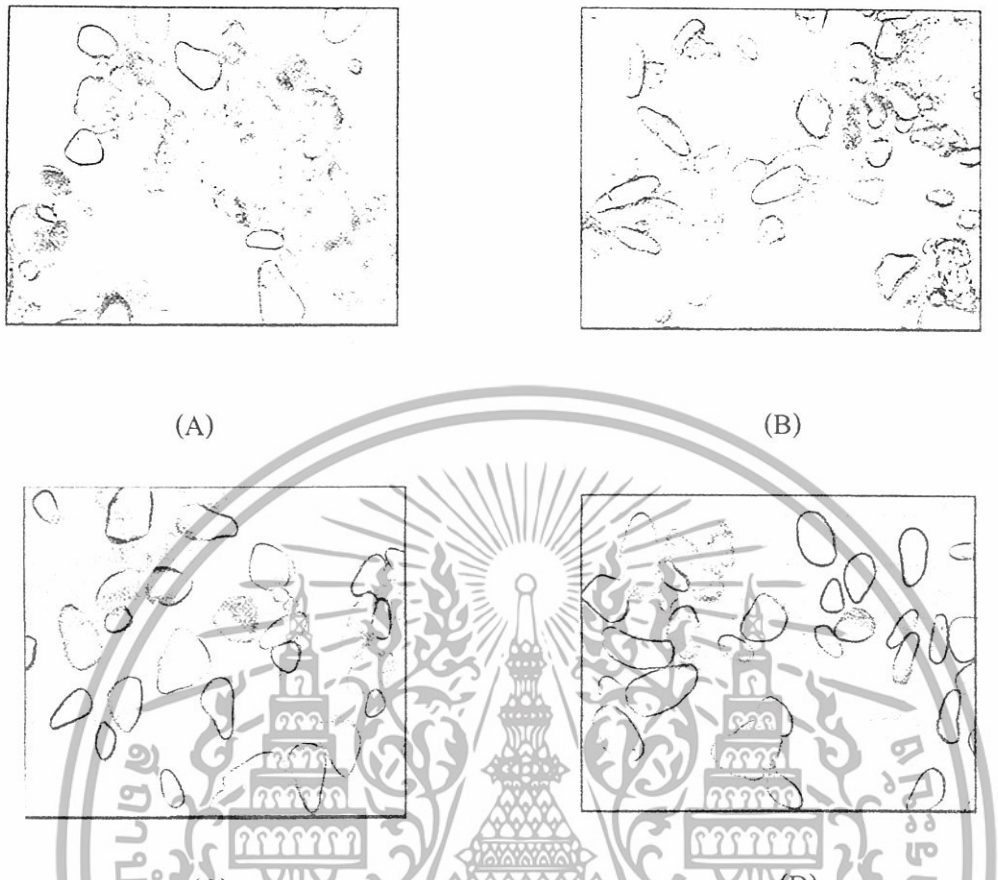
ภาพที่ 2.7 X-ray diffraction pattern ของแป้งกล้วยพันธุ์ Marcho และ Criollo
ที่มา : Bello-perez *et al.* (2000)

Mota *et al.* (2000) ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของแป้งกล้วย 8 สายพันธุ์ พบว่าแป้งกล้วยประกอบด้วยสตาร์ช 61-76.5 เปอร์เซ็นต์ อะไมโลส 19-23 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 2.5-3.3 เปอร์เซ็นต์ ความชื้น 4-6 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 0.3-0.8 เปอร์เซ็นต์ และเยื่อใย 6-15.5 เปอร์เซ็นต์ มีอุณหภูมิในการเกิดเจลลาติไนซ์แตกต่างกันเล็กน้อย โดยมีอุณหภูมิในการเกิดเจลลาติไนซ์ 68-76 องศาเซลเซียส จากการตรวจสอบคุณสมบัติด้านความหนืดของของผสมแป้งกล้วยกับน้ำด้วยเครื่อง Rapid visco analyzer (RVA) สามารถจำแนกชนิดของแป้งกล้วยโดยพิจารณาเส้นโค้งความหนืดได้ 3 แบบ คือ แบบที่ 1 แป้งกล้วยที่มีความคงทนต่อการกวน แบบที่ 2 แป้งกล้วยที่มีความคงทนต่อการกวนและมีความหนืดสูง และแบบที่ 3 แป้งกล้วยที่มีความคงทนต่อการกวนต่ำ

Muyonga *et al.* (2002) พบว่าการให้ไอน้ำแก่กล้วยก่อนการอบแห้งมีผลทำให้แป้งกล้วยที่ได้มีคุณสมบัติการอุ้มน้ำ ความหนาแน่นและละลายสูงขึ้น แต่ค่าความหนืด สี และปริมาณวิตามินซี นั้นลดลง

Nimsung *et al.* (2005) ศึกษาคุณสมบัติและองค์ประกอบของสตาร์ชและฟลาวร์จากกล้วยน้ำว้า(AAB)และกล้วยหอมทอง (AAA) ลักษณะสตาร์ชของกล้วยหอมทองมีรูปทรงกลมและยาวกว่าสตาร์ชกล้วยน้ำว้า (ภาพที่ 2.8) ซึ่งผิวภายนอกของเม็ดสตาร์ชมีลักษณะเรียบละเอียด ขนาดของสตาร์ชของทั้งสองสายพันธุ์อยู่ระหว่าง 7.55-62.37 ไมโครเมตร การพองตัวอยู่ระหว่าง 1.81-18.31 และความสามารถในการละลายน้ำอยู่ระหว่าง 3.31-27.68 โดยรูปแบบการพองตัวและเปอร์เซ็นต์การละลายของแป้งกล้วยดิบและแป้งที่เกิดจากการเจลาติไนซ์ ถ้าอุณหภูมิสูงการพองตัวก็จะสูงขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(A) (B)

(C) (D)

ภาพที่ 2.8 ลักษณะของเม็ดแป้งและสตาร์ชของกล้วยน้ำว้า (A ,C) และกล้วยหอมทอง (B,D) ด้วยกำลังขยาย 40X (Normal light micrograph)

ที่มา: Nimsung *et al.* (2005)

(A) (B)

ภาพที่ 2.9 ลักษณะของเม็ดสตาร์ชจากกล้วยน้ำว้า (A) และกล้วยหอมทอง (B) ด้วยกำลังขยาย 2,500 X (Electron micrograph)

ที่มา: Nimsung *et al.* (2005)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบของแป้งกล้วย 2 สายพันธุ์

สายพันธุ์	ชนิดตัวอย่าง	ความชื้น (%)	โปรตีน (%)	ไขมัน (%)	เถ้า (%)
กล้วยน้ำว้า	Flour	11.95±0.091	4.76±0.051	0.47±0.849	4.40±0.025
	Starch	9.84±0.19	0.06±0.05	0.10±0.06	0.06±0.30
กล้วยหอมทอง	Flour	12.32±0.043	1.93±0.039	0.30±0.088	2.39±0.035
	Starch	9.75±0.04	0.05±0.11	0.11±0.02	0.05±0.06

ที่มา: Nimsung *et al.* (2005)

2.2.3 การใช้ประโยชน์จากแป้งกล้วย

ญาณิศา และคณะ (2536) ได้ทำการประกอบอาหารจากแป้งกล้วยพบว่า เมื่อใช้แป้งกล้วยน้ำว้า 25 เปอร์เซ็นต์ ของแป้งทั้งหมดในขนมกล้วย และแป้งกล้วยหักมุก 25 เปอร์เซ็นต์ ของแป้งทั้งหมดในขนมเหนียว ขนมถั่วแปบ และขนมต้มขาว ผู้ชิมชอบและยอมรับแต่ขนมต้มขาว แต่ขนมกล้วยที่ใส่แป้งกล้วยน้ำว้านั้นผู้ชิมไม่ชอบ

กรุณา และคณะ (2539) นำแป้งกล้วยไข่และกล้วยหอมที่ผ่านการนึ่งและไม่ได้ผ่านการนึ่งในการปอกเปลือกทดแทนแป้งสาลีบางส่วนในผลิตภัณฑ์เค้กและคุกกี้ในปริมาณ 30 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ การทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า เค้กที่ทำจากแป้งกล้วยที่ไม่ผ่านการนึ่งในการปอกเปลือกได้รับการยอมรับมากกว่า แป้งกล้วยที่ผ่านการนึ่งลักษณะเค้กที่ได้จะแน่นเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งกล้วย สำหรับคุกกี้ที่ทำจากแป้งกล้วยหอมที่ผ่านการนึ่งได้รับการยอมรับมากกว่าในขณะที่คุกกี้แป้งกล้วยไข่ได้รับการยอมรับจากผู้ชิมในระดับเดียวกัน

สุเรนทร์ และ จีรศักดิ์ (2547) พบว่า เมื่อใช้แป้งกล้วยน้ำว้าในอัตราส่วน 25 เปอร์เซ็นต์ของแป้งกล้วยทั้งหมดในคุกกี้ พบว่าส่งผลต่อคะแนนทางการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคในด้านความกรอบและความร่วนสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของแป้งกล้วย

Chatket and Piansiripnyo. (1985) ใช้แป้งกล้วยที่ผลิตขึ้นเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตและลดต้นทุนในการผลิตสแน็คโดยใช้กระบวนการเอกซ์ทรูชั่น ซึ่งมีส่วนประกอบของแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว แป้งถั่วเขียว และแป้งกล้วย พบว่าการใช้แป้งกล้วย 10 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับแป้งข้าวเจ้า ได้รับการยอมรับมากและการใช้แป้งกล้วยในปริมาณที่มากขึ้นก่อให้เกิดปัญหาในกระบวนการผลิตกล่าวคือ ความเหนียวของส่วนผสมและอุณหภูมิในการเจลาติไนส์ของแป้งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้น

นอกจากการนำกล้วยดิบมาผลิตเป็นแป้งกล้วยแล้ว กล้วยสุกก็สามารถนำมาผลิตได้เช่นกัน กล้วยสุกเมื่อทำแห้งแล้วบดเป็นผง จะเรียกว่า กล้วยผง (Banana powder) สามารถนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบ ไอศกรีม เค้ก อาหารเด็กอ่อน ผลิตภัณฑ์ขนมหวาน และอาหารเพื่อสุขภาพต่างๆ (Crowther, 1979)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 **การเสื่อมเสียของแป้งกล้วย** (ชลธิรา, 2545)

แป้งกล้วย มีคุณสมบัติในการดูดความชื้น (hygroscopic) และไวต่อการสูญเสียกลิ่นรสและการเปลี่ยนสี นอกจากนี้แป้งกล้วยยังง่ายต่อการถูกทำลายโดยแมลงและเชื้อราอีกด้วย ถ้าไม่เก็บรักษาในสภาวะที่แห้ง (Mircea, 1995)

2.2.4.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เนื่องจากแป้งกล้วยเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อความชื้น มีปริมาณความชื้นเมื่อผลิตใหม่ค่อนข้างต่ำ เมื่อเก็บไว้ระยะเวลาหนึ่งปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้น และเกิดการจับตัวกันเป็นก้อนได้

2.2.4.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น การเหม็นหืน การเกิดสีน้ำตาล ซึ่งมีผลทำให้สีของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไปตั้งแต่สีเหลืองอ่อน สีน้ำตาล จนเป็นสีดำได้ การเปลี่ยนแปลงนี้อาจทำให้รสกลิ่นของผลิตภัณฑ์ผิดไปจากเดิมด้วย

2.2.4.3 การเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ แป้งกล้วยจะคงคุณภาพอยู่ได้เมื่อมีปริมาณความชื้นต่ำ เมื่อใดมีปริมาณความชื้นของแป้งกล้วยเพิ่มขึ้น จุลินทรีย์ก็อาจจะเจริญเติบโตได้และทำให้แป้งกล้วยเสื่อมคุณภาพ Heiss (1985) กล่าวว่า ค่า A_w วิกฤติสูงสุดสำหรับแป้งที่เชื้อราจะเจริญเติบโตได้เท่ากับ 0.65

2.2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาแป้งกล้วย (ชลธิรา, 2545)

2.2.5.1 ตัวผลิตภัณฑ์ (แป้งกล้วย) เป็นปัจจัยขั้นแรกที่มีผลอย่างมากต่ออายุการเก็บรักษา ซึ่งขึ้นกับคุณภาพวัตถุดิบ องค์ประกอบ และลักษณะเฉพาะตัวตามธรรมชาติ สำหรับค่าความชื้นเริ่มต้นจะมีผลต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อความชื้นมาก เนื่องจากค่าความชื้นเริ่มต้นในผลิตภัณฑ์มีค่าน้อย ทำให้อายุการเก็บรักษามีค่ามากขึ้น แต่ถ้าความชื้นของผลิตภัณฑ์มีค่าสูง ทำให้อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์มีค่าน้อยลง

2.2.5.2 ภาชนะบรรจุ ภาชนะบรรจุเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารแห้งทุกชนิด เนื่องจากภาชนะบรรจุทำหน้าที่เสมือนเกราะคุ้มกันให้อาหารสามารถลดหรือป้องกันก๊าซออกซิเจน แสงและความชื้นจากสิ่งแวดล้อมได้ ทั้งนี้เพื่อรักษาคุณสมบัติเดิมของผลิตภัณฑ์เอาไว้ให้ได้มากที่สุด โดยเฉพาะความชื้นซึ่งมีผลต่อแป้งกล้วยมากที่สุด ดังนั้นการเลือกใช้ภาชนะบรรจุที่เหมาะสมจะช่วยยืดอายุการเก็บของอาหารนั้นได้

2.2.5.3 **สภาพแวดล้อมภายนอก ปัจจัยภายนอกที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาการเสื่อมเสียส่วนใหญ่ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ออกซิเจน แสง เป็นต้น สภาพแวดล้อมจะมีผลอย่างมากต่อสภาวะแวดล้อมของอาหารที่บรรจุหีบห่อแล้ว**

ญาณิศา และคณะ (2536) ศึกษาอายุการเก็บรักษาแป้งกล้วย ภายในเวลา 1 ปี โดยใช้กล้วยน้ำว้าดิบและกล้วย**หักมุกดิบ**เป็นวัตถุดิบ ทำการบรรจุแป้งกล้วยในถุงพลาสติกที่ต่างกัน 3 ชนิด คือ **ถุงโพลีเอทธีลีนเคลือบอลูมิเนียมฟอยล์ (Al/PE) หนา 65 ไมโครเมตร ถุงโพลีเอทธีลีนความหนาแน่นต่ำ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

96985

ผสมสีขาว (LDPE-white) หนา 85 ไมโครเมตร และถุงโพลีเอทธีลีนความหนาแน่นสูง (High density, HDPE) หนา 125 ไมโครเมตร และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องพบว่า ค่า A_w ของแป้งกล้วยทั้งสองชนิดที่เก็บในถุงพลาสติกทั้งสามชนิดนี้จะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้นในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งแป้งกล้วยนั้นยังมีคุณภาพดีอยู่ เนื่องจากค่า A_w เมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 1 ปี มีค่า 0.50 ซึ่งยังไม่ถึงช่วง 0.80-0.87 ที่เชื้อราจะขึ้นบนแป้งได้และเมื่อพิจารณาสีของแป้งกล้วยพบว่าแป้งกล้วยทั้งสองชนิดที่เก็บในถุง PE เคลือบอลูมิเนียมฟอยด์ (Al/PE) ดีที่สุด โดยสีจะเปลี่ยนแปลงหลังจากเก็บไว้นานกว่า 6 เดือน ในขณะที่แป้งกล้วยที่เก็บในถุง LDPE-white และถุง HDPE สีจะเปลี่ยนแปลงหลังจากเก็บไว้เพียง 3 เดือน แต่อย่างไรก็ตามสีจะเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้นและยังคงใช้ได้คือยู่

ชลธิรา (2545) ศึกษาอายุการเก็บรักษาแป้งกล้วย ภายในเวลา 6 เดือน โดยใช้กล้วยน้ำว้าดิบ ทำการบรรจุแป้งกล้วยในถุง PP และ ถุง PE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 และ 38 องศาเซลเซียส พบว่าการบรรจุแป้งกล้วยในถุง PP และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส จะช่วยรักษากลิ่นกล้วยของแป้งกล้วยให้คงอยู่ได้นานกว่า 90 วัน โดยยังไม่มีกลิ่นเหม็นหืนเกิดขึ้น

2.3 แป้ง (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2541)

2.3.1 ความรู้เบื้องต้นและความสำคัญของแป้ง

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในพืชชั้นสูง พบในคลอโรพลาสต์ (ในใบ) และในส่วนที่พืชใช้เป็นแหล่งเก็บอาหาร เช่น เมล็ดและหัว มนุษย์ได้รับแป้งจากพืชแตกต่างกันตามภูมิประเทศในโลก ทางด้านทวีปอเมริกาเหนือ/กลาง จะมีข้าวโพด ข้าวสาลีเป็นแหล่งให้แป้งที่สำคัญ ทางยุโรปมีมันฝรั่ง และแถบเอเชีย แอฟริกา มีข้าวและมันสำปะหลัง เป็นต้น แต่ที่สำคัญที่มีการใช้กันทั่วโลก คือ แป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง แป้งข้าวสาลีและแป้งมันสำปะหลัง แป้งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในโภชนาการของมนุษย์ อาหารทั้งหมดส่วนใหญ่จะมีแป้งเป็นองค์ประกอบหลักของทุกชนชาติ เช่น ข้าว ขนมปัง ก๋วยเตี๋ยว และพาสต้า เป็นต้น

ถึงแม้ว่าบทบาทที่สำคัญของแป้งคือ ใช้เป็นแหล่งอาหารพลังงานสูงของมนุษย์แต่จากคุณสมบัติเฉพาะของแป้งจึงได้มีการนำแป้งมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของอาหาร เช่น ทำให้เกิดเจล ควบคุมความคงตัวและเนื้อสัมผัสของอาหารจำพวกซอส ซุปและน้ำปรุงรสอาหาร ป้องกันเนื้อสัมผัสของอาหารเสียรูปเนื่องจากกระบวนการแช่แข็งและคืนรูปจากเยือกแข็ง (freeze-thaw) สภาวะกรด การทำพาสเจอไรเซชัน (pasteurization) และสเทอริไรเซชัน (sterilization) เป็นต้น นอกจากใช้ในอุตสาหกรรมอาหารแล้ว ยังมีการนำแป้งมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมกาว และอุตสาหกรรมแป้งดัดแปร เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำว่า "แป้ง" ในการผลิตนั้น หมายถึง คาร์โบไฮเดรตที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เป็นส่วนใหญ่ มีสิ่งอื่นเจือปน เช่น โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ น้อยมาก ส่วนแป้งที่ผลิตโดยทั่วไปที่ยังมีส่วนประกอบอื่นๆอยู่มาก จะเรียกว่า ฟลาวร์ (flour) ตัวอย่างเช่น แป้งข้าวโพด แป้งข้าวสาลี ถ้ายังมีส่วนประกอบของโปรตีนสูง ก็จะจัดอยู่ในประเภทฟลาวร์ เรียกว่า corn flour, wheat flour เช่นเดียวกับแป้งข้าวเจ้าที่ยังมีโปรตีน 7-8 เปอร์เซ็นต์ ก็เรียกว่า rice flour แต่เมื่อสิ่งเจือปนอันหมายถึงโปรตีน ไขมัน เกลือแร่อื่นๆ ถูกสกัดออกไป จนเหลือแป้งบริสุทธิ์ เป็นส่วนใหญ่จึงเรียกว่าเป็นแป้งสตาร์ช (starch)

High amylose starch เป็นแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูง พบในพืชบางชนิด เช่น ข้าวโพด ข้าวบาร์เลย์ ถั่ว นักวิจัยศึกษาลักษณะทางพันธุกรรมที่มีต่ออัตราส่วนอะไมโลสและอะไมโลเพกทินในข้าวโพดเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากเป็นพืชที่เพาะปลูกได้ง่าย มีเมล็ดเป็นจำนวนมาก สามารถดัดแปลงสายพันธุ์และวิเคราะห์ลักษณะทางพันธุกรรมได้ง่าย (วิรัชภรณ์ และศกลวรรณ, 2546)

High amylose starch มีการใช้อุตสาหกรรมอาหารสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเนื้อสัมผัสที่คงทนไม่แตกง่าย ใช้เป็น sizing material สำหรับ glass fiber เพื่อเพิ่มความแข็งแรงแก่เส้นใย และป้องกันการขาดเนื่องจากการเสียดสี ใช้เป็นสารเคลือบเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของพื้นผิววัสดุ ใช้เป็นกาวที่มีคุณสมบัติดีเนื่องจากอะไมโลสสามารถยึดเกาะกับเซลลูโลสได้ดีและยึดติดแน่นมากกว่าอะไมโลเพกทิน และไม่สามารถชะออกได้โดยน้ำร้อนเหมือนกับอะไมโลเพกทิน (วิรัชภรณ์ และศกลวรรณ, 2546)

2.3.2 องค์ประกอบภายในของแป้ง

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 5:10:5 มีสูตรเคมีโดยทั่วไป คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ แป้งเป็นโพลิเมอร์ของกลูโคส ซึ่งประกอบด้วยหน่วยของน้ำตาลกลูโคสมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (glucosidic linkage) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ทางด้านปลายของสายโพลิเมอร์ที่มีหน่วยกลูโคสที่มีหมู่แอลดีไฮด์ (aldehyde group) เรียกว่าปลายรีดิวซิง (reducing end group) แป้งประกอบด้วยโพลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ โพลิเมอร์เชิงเส้น (อะไมโลส) และโพลิเมอร์เชิงกิ่ง (อะไมโลเพกทิน) วางตัวในแนวรัศมี แสดงระดับโครงสร้างของเม็ดแป้ง แป้งจากแหล่งที่มาต่างกันจะมีอัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกทินแตกต่างกัน ทำให้คุณสมบัติของแป้งแต่ละชนิดแตกต่างกัน

องค์ประกอบหลักภายในเม็ดแป้ง ได้แก่

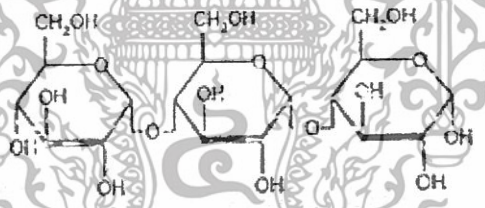
- **อะไมโลส** (amylose)
- **อะไมโลเพกทิน** (amylopectin)
- **สารตัวกลาง** (intermediate material)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. อะไมโลส

อะไมโลสเป็นโพลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (glucosidic linkage) ชนิดแอลฟา-1,4 แป้งแต่ละชนิดมีขนาดโมเลกุลหรือระดับขั้นการเกิดโพลิเมอร์ (Degree of polymerization, DP) ของอะไมโลสแตกต่างกัน อะไมโลสสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีน และสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ เช่น บิวทานอล กรดไขมัน สารลดแรงตึงผิว ฟีนอล และไฮโดรคาร์บอน สารประกอบเชิงซ้อนเหล่านี้ จะไม่ละลายในน้ำ โดยอะไมโลสจะพันเป็นเกลียวล้อมรอบสารประกอบอินทรีย์ (Galliard and Bowler, 1987) นอกจากนี้อะไมโลสที่รวมตัวกับไอโอดีนจะให้สีน้ำเงิน ซึ่งใช้เป็นลักษณะเฉพาะที่บ่งบอกถึงแป้งที่มีองค์ประกอบของอะไมโลส

โครงสร้างของอะไมโลสเมื่ออยู่ในสารละลายจะมีหลายรูปแบบ คือ ลักษณะเป็นเกลียวม้วน (helix) เกลียวที่คลายตัว (interrupted helix) หรือ ม้วนอย่างไม่เจาะจง (random coil) ในสารละลายที่อุณหภูมิห้อง อะไมโลสอยู่ในลักษณะเป็นเกลียวม้วนหรือเกลียวที่คลายตัว แต่ในตัวทำละลายบางชนิดอะไมโลสจะอยู่ในลักษณะม้วนไม่เจาะจง นอกจากนี้โครงสร้างของอะไมโลสยังขึ้นอยู่กับขนาดโมเลกุลด้วย อะไมโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 6,500-160,000 จะอยู่ในลักษณะเกลียวคู่ที่แข็ง (double helixs) ส่วนอะไมโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 6,500 หรือมากกว่า 160,000 จะมีโมเลกุลเป็นม้วนอย่างไม่เจาะจง และอาจมีบางส่วนละลายได้ (Whistler and Daniel, 1984)

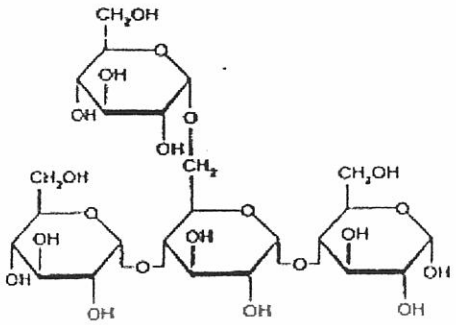


ภาพที่ 2.10 โครงสร้างอะไมโลส
ที่มา : กล้าณรงค์ และเกื้อกูล (2546)

2 .อะไมโลเพกทิน

อะไมโลเพกทินเป็นโพลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด แอลฟา -1,4 และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นโพลิเมอร์กลูโคสสายสั้นมีขนาดโมเลกุล (DP) อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด แอลฟา-1,6 หน่วยกลูโคสที่มีพันธะกลูโคซิดิกชนิด แอลฟา-1,6 มีอยู่ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณหน่วยกลูโคสในอะไมโลเพกทินทั้งหมด ขนาดโมเลกุลของอะไมโลเพกทินในแป้งแต่ละชนิดจะมีค่าประมาณ 2 ล้านหน่วย อะไมโลเพกทินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของอะไมโลส คือประมาณ 107-109 ดาลตัน และมีอัตราในการคืนตัวต่ำ เนื่องจากอะไมโลเพกทินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.11 โครงสร้างอะไมโลเพกทิน

ที่มา : กล้าณรงค์และเกื้อกูล (2546)

ตารางที่ 2.5 สมบัติที่สำคัญของอะไมโลสและอะไมโลเพกทิน

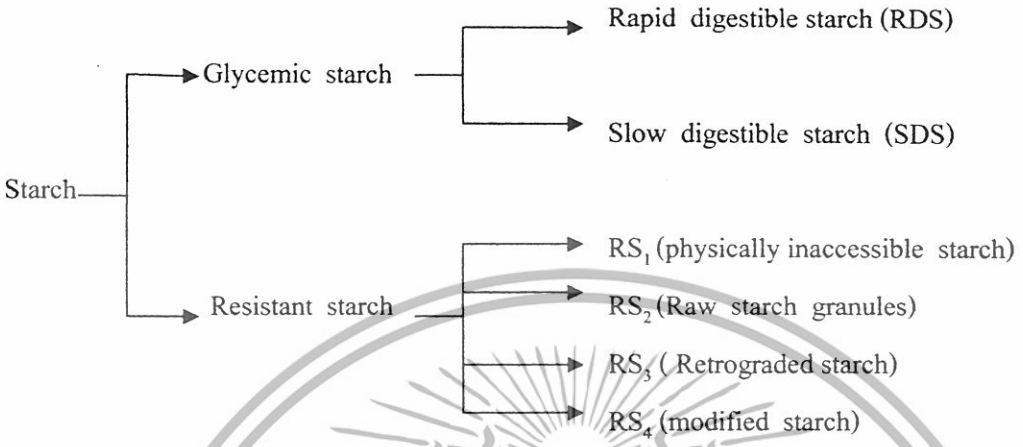
คุณสมบัติ	อะไมโลส	อะไมโลเพกทิน
ลักษณะโครงสร้าง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคสเกาะกันเป็นเส้นตรง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคสเกาะกันเป็นกิ่งก้าน
พันธะที่จับ	แอลฟา-1,4	แอลฟา-1,4 และ แอลฟา-1,6
ขนาด	200-2,000 หน่วยกลูโคส	มากกว่า 10,000 หน่วยของกลูโคส
การละลาย	ละลายน้ำได้น้อยกว่า	ละลายน้ำได้ดีกว่า
การทำปฏิกิริยากับไอโอดีน	สีน้ำเงิน	สีม่วงแดง
การจับตัว	เมื่อให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้จะจับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง	ไม่จับตัวเป็นแผ่นแข็ง

ที่มา : Beynum and Roels (1985)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 ประเภทของแป้งในอาหาร

Englyst *et al.* (1992) ได้จัดแบ่ง starch ในอาหารดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 ประเภทของแป้งในอาหาร
ที่มา : Englyst *et al.* (1992)

โดยจำแนกแป้งในอาหารออกเป็น 2 กลุ่ม คือ (Englyst *et al.*, 1992)

1. Glycemic starch คือ สตาร์ช ที่ถูกย่อยสลายเป็นน้ำตาลกลูโคส ได้ด้วยน้ำย่อยในลำไส้เล็กและมีผลต่อระดับน้ำตาลในเลือดโดยตรง เดิมเชื่อว่า น้ำตาลโมเลกุลเล็ก ทั้ง mono- และ disaccharide จะให้ผลโดยเร็วต่อระดับน้ำตาลในเลือด ส่วนพวก polysaccharides เช่น สตาร์ชจะให้ผลช้ากว่า พบว่าไม่เป็นจริงเสมอไป โดยอาหารประเภทแป้งที่หุงสุก หรือผ่านการเจลลาติไนซ์ (gelatinized) มาแล้ว จะมีผลต่อระดับน้ำตาลในเลือดได้เร็วกว่า เมื่อเทียบกับผลไม้หวานที่มีปริมาณทั้ง mono- และ disaccharides อยู่สูง จึงมีการแบ่ง glycemic starches ออกเป็น 2 กลุ่มย่อยคือ

1.1. Rapid digestible starch (RDS) คือ แป้งที่ถูกเจลลาติไนซ์และสามารถถูกย่อยได้อย่างรวดเร็วโดยเอนไซม์จากการศึกษาในสภาวะการทดลอง (*in vitro*) จะถูกไฮโดรไลซ์ไปเป็นน้ำตาลกลูโคสได้ภายในเวลา 20 นาที แป้งในกลุ่มนี้ ได้แก่ อาหารที่มีส่วนประกอบของแป้งที่ผ่านการหุงให้สุกใหม่ๆ เช่น ขนมปัง ที่อบเสร็จใหม่ๆ และมันฝรั่งบด เป็นต้น

1.2 Slow digestible starch (SDS) คือแป้งที่สามารถถูกย่อยได้อย่างช้าๆ แต่ยังถูกย่อยเป็นน้ำตาลกลูโคสได้อย่างสมบูรณ์จากการศึกษาแบบในสภาวะทดลอง (*in vitro*)ใช้เวลาตั้งแต่ 20 นาที ถึง 110 นาที พบว่าแป้งในกลุ่มนี้ได้แก่ ธัญพืช

2. Resistant starch (RS) คือ สตาร์ชและผลิตภัณฑ์ของสตาร์ชที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้ไม่สามารถถูกย่อยสลายและดูดซึมเข้าสู่ลำไส้เล็กในร่างกายมนุษย์ (Delcour and Eerlingen, 1996) ได้ โดยแป้งจะทนทานต่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ในลำไส้เล็กและจะผ่านไปถึงลำไส้ใหญ่ แล้วจึงเกิดการเปลี่ยนแปลง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการหมักของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในลำไส้ใหญ่ ซึ่งมีบทบาทโดยตรงกับสุขภาพของลำไส้ใหญ่ส่วนปลาย และส่วนทวารหนัก

จำแนก resistant starch ตามลักษณะและแหล่งที่มา ได้เป็น 4 ชนิด (Baghurist and Record, 1996) ได้แก่

2.1) RS_1 (physically inaccessible starch) คือ แป้งที่มีลักษณะทางกายภาพขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ โดยเม็ดแป้งอาจถูกห่อหุ้มอยู่ภายในร่างแหของโปรตีน หรือถูกตรึงอยู่ภายในเซลล์หุ้มเมล็ดพืชทำให้เอนไซม์ไม่สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาในเม็ดแป้งได้ ได้แก่ ธัญพืช (cereal) และพืชตระกูลถั่ว ที่โครงสร้างของพืชถูกทำลายไปบางส่วน (ผ่านการขัดสีบางส่วนหรือบดหยาบ) แต่ยังคงสภาพเป็นเมล็ดพืชอยู่ค่อนข้างสมบูรณ์ยังมีเยื่อหุ้มเมล็ดชั้นนอกหุ้มอยู่

2.2) RS_2 (raw starch granules) คือ เม็ดแป้งดิบที่ทนทานต่อการทำงานของเอนไซม์เป็นสตาร์ชที่มีอนุภาคขนาดเล็กๆกระจายอยู่อย่างอิสระแต่ยังอยู่ในสภาพดิบที่ยังไม่ผ่านความร้อน (native starch granules) หรือ ungelatinized granule ซึ่งจะทนต่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส จนกว่าจะถูกเจลลาติไนซ์ (gelatinized) และเป็นพวกที่มีรูปผลึกตามแบบ x-diffraction เป็น B-type ซึ่งได้แก่แป้งมันฝรั่งดิบ กล้วยดิบ แป้งกล้วยที่ยังไม่ผ่านการหุงต้ม แป้งจากเมล็ดถั่ว และแป้งที่มีอะไมโลสในปริมาณมาก

2.3) RS_3 (retrograded starch) คือ แป้งที่คืนตัวหลังจากถูกเจลลาติไนซ์แล้ว ซึ่งจะมีการเกิด resistant starch ชนิดนี้เป็นส่วนใหญ่ RS_3 เป็นสตาร์ชที่ไม่มีรูปร่างเป็นเม็ดอนุภาคขนาดเล็ก (nongranular starch) เนื่องจากเม็ดสตาร์ชเปลี่ยนไป เมื่ออาหารผ่านการให้ความร้อนจนแป้งเกิดเจลลาติไนซ์ (gelatinized) แล้วถูกทำให้เย็นตัวลงทำให้ส่วนอะไมโลสในเม็ดแป้งที่หลุดออกมาในขณะที่เม็ดแป้งพองตัวเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ได้เป็นผลึกแป้งที่แข็งแรงและทนทานต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ (Asp and Bjorcle , 1992 ; Eerlingen *et al.*, 1994) เช่น แป้งมันฝรั่งที่ผ่านการหุงต้มแล้วทิ้งให้เย็นตัว ขนมปัง อาหารเช้าจากธัญพืชพร้อมบริโภค รวมถึงสตาร์ชที่มีสัดส่วนของอะไมโลสสูงด้วย เพราะแป้งที่มีอัตราส่วนของอะไมโลสสูง จะสามารถเกิดรีโทรกราเดชัน ได้มากกว่าแป้งที่มีอะไมโลเพกทินสูงและทำให้สามารถผลิต resistant starch ได้ดีกว่า

2.4) RS_4 (modified starch) คือ แป้งดัดแปร ที่เกิดจากการดัดแปรโครงสร้างด้วยสารเคมีหรือทางฟิสิกส์จากเดิมด้วยความร้อน หรือเอนไซม์ โดยมีวัตถุประสงค์ในการผลิตเพื่อการค้า

สามารถแสดงแผนภาพการจำแนกชนิดของ resistant starch ตามลักษณะทางกายภาพดังรายละเอียดในภาพที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RS_1 - Physically inaccessible starch

RS_2 Granular starch / Native starch granule

RS_3 Nongranular, retrograded or crystalline Starch

ภาพที่ 2.13 การจำแนกชนิดของ resistant starch
ที่มา: วิรัชภรณ์ และศกลวรรณ (2546)

2.4 เทคโนโลยีการผลิต Resistant starch (วิรัชภรณ์ และศกลวรรณ, 2546)

Resistant starch นอกจากจะสามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติแล้วยังสามารถเตรียมได้จากการดัดแปรแป้งโดยวิธีการต่างๆดังนี้

2.4.1 การดัดแปรแป้งพรีเจลลาติไนซ์ (pregelatinized starch)

การแปรรูปแป้งโดยวิธีนี้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างน้ำหนักโมเลกุลของแป้ง หรือมีการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลด้วยสารเคมีแต่อย่างใด เป็นการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพเท่านั้น

สายฝน (2546) ทำการดัดแปรแป้งกล้วยด้วยเทคนิคไมโครเวฟ พบว่าปริมาณความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อระดับการเกิดเจลลาติไนซ์ โดยที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้น 50 เปอร์เซ็นต์ และเวลาในการให้ความร้อน 8 นาที มีระดับการเกิดเจลลาติไนซ์สูงสุดเท่ากับ 83.89 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำมาตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการพบว่าปริมาณความชื้นเริ่มต้นมีอิทธิพลต่อความสามารถในการละลายน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความคงทนต่อแรงเฉือน ความคงทนต่อการแช่เยือกแข็ง และความคงตัวของแป้งสุก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับแป้งกล้วยดิบและแป้งกล้วยที่ผ่านการดัดแปรด้วยด่างและแอลกอฮอล์ที่ระดับการเกิดเจลลาติไนซ์ที่ระดับเดียวกัน พบว่า แป้งกล้วยพรีเจลลาติไนซ์มีขนาดเม็ดแป้ง (granule) ใหญ่กว่าแป้งกล้วยดิบและแป้งกล้วยดัดแปรด้วยด่างและแอลกอฮอล์เมื่อตรวจด้วยเครื่อง SEM ในส่วนที่เป็นผลึกของเม็ดแป้งเมื่อตรวจด้วย X-ray diffraction มีความแตกต่างกัน และมีค่า peak viscosity, trough, final viscosity, setback, peak time และ pasting temperature สูงกว่าแป้งกล้วยดัดแปรด้วยด่างและแอลกอฮอล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bello-perez *et al.* (2000) ทำการดัดแปรแป้งกล้วยด้วยเทคนิค granular cold water soluble starch (GCWSS) ด้วยด่างและแอลกอฮอล์ พบว่าความสามารถในการละลายและคุณสมบัติทางเคมีกายภาพในด้านต่างๆขึ้นกับสภาวะในการดัดแปรแป้ง (ตารางที่ 2. 6) โดยแป้งกล้วยที่ดัดแปรด้วย 60 เปอร์เซ็นต์ เอทานอล ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำที่สุด เนื่องมาจากความเข้มข้นของเอทานอลที่สูงจะไปจำกัดการพองตัวของเม็ดแป้ง (Chen and Jane, 1994) ขัดขวางการคลายเกลียวของโครงสร้างคู่ (double-helical structure) ของเม็ดแป้ง โดยอุณหภูมิในการดัดแปรที่สูงจะช่วยในการคลายเกลียวของโครงสร้างเม็ดแป้ง

ตารางที่ 2.6 สภาวะการดัดแปรแป้งกล้วยละลายน้ำเย็นด้วยด่างและแอลกอฮอล์และความสามารถในการละลายน้ำ

สภาวะการดัดแปรแป้งกล้วย	ความสามารถในการละลายในน้ำเย็น
40% เอทานอล อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	22.3±2.9
40% เอทานอล อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส	54.3±1.5
60% เอทานอล อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	15.2±0.9
60% เอทานอล อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส	52.5±1.2

ที่มา : Bello-perez *et al.* (2000)

แป้งกล้วยที่ผ่านการดัดแปรนั้นมีคุณสมบัติในการละลายในน้ำเย็น และมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงขึ้น มีความใสมากกว่าแป้งดิบ และแป้งที่ผ่านการดัดแปรนั้นทำให้อะไมโลสสามารถเกิดการรวมตัวได้ดีกับไอโอดีน ความคงทนต่อแรงเฉือนสูงขึ้น โดยมีปริมาณน้ำที่แยกออกจากของผสมหลังการละลายน้อยลง

2.4.2 การเกิดรีโทรกราเดชันของแป้ง (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546)

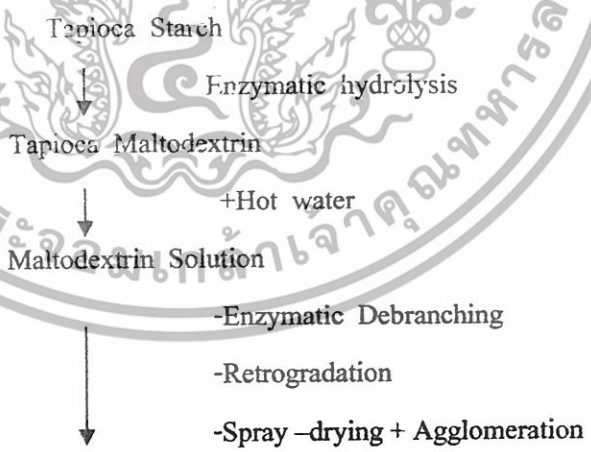
เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดการเจลาติไนซ์แล้วให้ความร้อนต่อไป จะทำเม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออกโมเลกุลของอะไมโลสขนาดเล็กจะกระจัดกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัว โมเลกุลอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดร่างแหสามมิติโครงสร้างใหม่ที่สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียวคล้ายฟิลม์หรือผลึก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรกราเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัวหรือ setback เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงอีกลักษณะการเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้นโมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมานอกเจล ซึ่งเรียกว่า syneresis ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้จะทำให้เจลมีลักษณะขาวขุ่น และมีความหนืดเพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคืนตัวของแป้งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ชนิดของแป้ง ความเข้มข้นของแป้ง กระบวนการให้ความร้อน กระบวนการให้ความเย็น อุณหภูมิ ระยะเวลา ความเป็นกรด-เบส(pH) ของสารละลาย ปริมาณและขนาดของอะไมโลส อะไมโลเพกทิน และองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆในแป้ง ในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำและความเข้มข้นของแป้งสูง แป้งสามารถคืนตัวได้ดีในช่วง pH 5-7 แป้งสามารถคืนตัวได้เร็วที่สุด สำหรับช่วง pH ที่สูงหรือต่ำกว่านี้แป้งจะคืนตัวได้ช้าลง ในการชะลอการคืนตัวของแป้งจะใช้เกลือที่มีประจุลบและบวก (monovalent anion และ cation) แคลเซียมไนเตรท (calcium nitrate) และยูเรีย (urea) (Swinkels, 1985) แป้งแต่ละชนิดจะมีอัตราการคืนตัวที่แตกต่างกัน โดยปริมาณและขนาดของอะไมโลสมีความสำคัญต่อการคืนตัวของแป้ง แป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะเกิดการคืนตัวได้มากและเร็วกว่าแป้งที่มีปริมาณอะไมโลเพกทินสูงโดยจะมีอัตราในการคืนตัวจะสูงที่สุด (การละลายต่ำที่สุด) ส่วนอะไมโลเพกทินจะมีผลทำให้เกิดการคืนตัวน้อยมาก

2.4.3 การใช้เอนไซม์ในการย่อยแป้ง

เพื่อช่วยเพิ่มอัตราการเกิดรีโทรกราเดชัน เช่นการใช้เอนไซม์ แอลฟา-อะไมเลส เพื่อลดขนาดโมเลกุลของแป้ง ได้เป็น maltodextrin ชนิดที่มีระดับการย่อยต่ำ การใช้เอนไซม์ debranching ดังภาพที่ 2.14 แสดงขั้นตอนการใช้เอนไซม์ในการย่อยแป้ง ซึ่งเป็นการเพิ่มศักยภาพในการเตรียม resistant starch จากแป้งชนิดอื่น ที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ



ภาพที่ 2.14 หลักการในการใช้เอนไซม์ในการย่อยแป้ง
ที่มา: วิรัชภรณ์ และศกลวรรณ (2546)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 การใช้กระบวนการความร้อนชื้น (heat-moisture treatment)

เป็นการเตรียม resistant starch ของเม็ดแป้งที่ยังไม่ผ่านการทำให้สุก และมีความชื้นประมาณ 20 -45 เปอร์เซ็นต์ นำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90-120 องศาเซลเซียส นานประมาณ 1-4 ชั่วโมง มีผลทำให้เม็ดแป้งเกิดการเปลี่ยนแปลงและจัดเรียงโครงสร้างภายในที่ทนทานต่อการย่อยของเอนไซม์ได้มากขึ้น

จากการเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งภายใต้ความร้อนมีปัจจัยที่สำคัญคือ อุณหภูมิ ความชื้น (ปริมาณน้ำ) และลักษณะของเม็ดแป้ง การให้ความร้อนสูงๆโดยมีการจำกัดเรื่องของปริมาณน้ำทำให้ลักษณะและคุณสมบัติของแป้งเปลี่ยนไปได้ ดังได้กล่าวมาแล้วว่า เมื่อแป้งมีปริมาณน้ำน้อยๆจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปหรือหลอมละลาย (T_m) ที่อุณหภูมิสูง 166-180 องศาเซลเซียส แต่เมื่อมีความชื้นสูง(มากกว่า 70%) จะมีการเจลาติไนซ์อยู่ที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส เป็นต้น การแปรรูปโดยความร้อนชื้นปกติคือการให้ความร้อนแป้งมากกว่า 100 องศาเซลเซียส โดยที่แป้งมีความชื้นมากกว่าปกติเล็กน้อย (เนื่องจากส่วนใหญ่ใช้ไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อน) คือประมาณ 18-27 เปอร์เซ็นต์ และเวลานานๆซึ่งเวลาจะแปรผันกับอุณหภูมิสารที่ใช้ (Sair, 1964)

ผลที่เกิดขึ้นจากการแปรรูปโดยความร้อนชื้นคือ การเปลี่ยนแปลงในด้านโครงสร้างของผลึกในเม็ดแป้งโดยเฉพาะแป้งที่มีผลึกประเภท B (พืชหัว เช่น มันฝรั่ง) จะมีส่วนหนึ่งเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลึกประเภท A ซึ่งจะทำให้คุณสมบัติทางด้านความร้อนและความหนืดเปลี่ยนไป

2.4.5 การใช้สารเคมีในการทำแป้งดัดแปร เช่น แป้ง acetylated แป้ง hydroxyprolated และแป้ง cross-linked เป็นต้น

2.4.5.1 จุดประสงค์ในการดัดแปรแป้ง

เนื่องจากแป้งมีคุณสมบัติเฉพาะตัว ซึ่งบางครั้งไม่เป็นที่ต้องการใช้ในระดับอุตสาหกรรมหรือยังไม่เหมาะสมกับสภาวะบางอย่าง จึงมีการนำแป้งมาทำให้เปลี่ยนคุณสมบัติ แป้งดัดแปร (modified starch) ความหมายตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.1073-2535 หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำแป้ง (starch) เช่นแป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง แป้งสาลี มาเปลี่ยนสมบัติทางเคมีและหรือทางฟิสิกส์จากเดิมด้วยความร้อน และ/หรือเอนไซม์ และหรือสารเคมีชนิดต่างๆเพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรม

ลักษณะจำเพาะของแป้งนั้นอาจเป็นลักษณะพิเศษมาจากแหล่งที่ผลิต เช่น แป้งที่ได้จากมันสำปะหลัง ซึ่งมีลักษณะจำเพาะ เช่น ขนาดรูปร่าง และการพองตัว แต่สิ่งที่แป้งทุกๆชนิดมีคล้ายกัน คือ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีปัจจัยความร้อน แรงเฉือน และเวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งแป้งแต่ละชนิดจะแสดงการเปลี่ยนแปลงคล้ายๆกันเมื่อตรวจสอบโดยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) หรือเครื่อง Brabender Viscoamylograph ถ้าสามารถปรับเปลี่ยนคุณสมบัติเหล่านี้ได้ จะทำให้เราสามารถนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แป้งไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆได้มากขึ้น จึงได้เริ่มมีผู้ค้นคว้าวิจัยการดัดแปรแป้ง ทั้งทางกายภาพและทางเคมี ทั้งนี้เนื่องจากแป้งมีความพร้อมในการทำปฏิกิริยาต่างๆได้ดีมาก

แป้งดิบโดยทั่วไปมีสมบัติบางประการที่ไม่เหมาะสมกับการผลิตในอุตสาหกรรม ได้แก่ มีช่วงความหนืดที่แคบ มีลักษณะเนื้อสัมผัสไม่ดี มีความคงทนต่อแรงเฉือนในกระบวนการผลิตหรือความคงทนต่อสภาวะต่างๆต่ำ ซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำ และสิ้นเปลืองงบประมาณในการผลิตโดยไม่จำเป็น ดังนั้นจึงมีการดัดแปรคุณสมบัติบางประการของแป้งดิบเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งาน เช่น ทำให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีขึ้น คงทนต่อสภาวะในการผลิตได้ดี (Light, 1990) การเกิดเจลลาติไนซ์ (gelatinization) การคืนตัว (retrogradation) และการสูญเสียน้ำของเจลลดลง มีความคงตัวในการละลายจากการแช่แข็ง (freeze-thaw) เพิ่มขึ้น ลักษณะของเนื้อเจลดีขึ้น มีคุณสมบัติความเป็นกาวเพิ่มขึ้น มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) หรือความสามารถในการผสมกับตัวละลายอื่นๆเพิ่มขึ้น (BeMiller, 1997)

2.4.5.2 การแบ่งประเภทของแป้งดัดแปร

การแบ่งกลุ่มของแป้งดัดแปรนั้นมีผู้แบ่งกลุ่มไว้หลายประเภทและหลายรูปแบบ ในที่นี้จะขอแบ่งกลุ่มของแป้งดัดแปรดังนี้

2.4.5.2.1 การดัดแปรทางเคมี (chemical modification) แบ่งออกเป็น

2.4.5.2.1.1 การเกิดอนุพันธ์ (derivertization)

(1) การแทนที่สารในโมเลกุลเดี่ยวของแป้ง (monostarch substitution) ทั้งปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน เช่น แป้งแอซีเทต (starch acetate) หรือ ปฏิกิริยาอีเทอร์ริฟิเคชัน เช่น แป้งไฮดรอกซีเอทิล (hydroxyethyl starch)

(2) การแทนที่โมเลกุลที่มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่า 1 หมู่ เช่น แป้งพันธะข้าม (cross-linked starch)

2.4.5.2.1.2. การลดขนาดโมเลกุลแป้งโดยกรด (acid thinning) เช่น แป้งย่อยด้วยกรด (acid-modified starch) หรืออุณหภูมิ (thin- boiling starch)

2.4.5.2.1.3. เดกซ์ทริไนเซชัน (dextrinization) เป็นการลดขนาดหรือเปลี่ยนการจับเกาะ (depolymerization transglycosylation) โดยใช้ความร้อนหรือความร้อนกับกรด เช่น มอลโตเดกซ์ทริน (maltodextrin)

2.4.5.2.1.4. ออกซิเดชัน (oxidation) ทำให้เกิดการฟอกสีและลดขนาดของโมเลกุล โดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน (bleaching และ depolymerization) เช่น แป้งออกซิไดซ์ (oxidized starch)

2.4.5.2.1.5. การย่อยสลาย (hydrolysis) โดยใช้น้ำย่อยหรือกรด เพื่อย่อยเป็นน้ำตาลโมเลกุลเล็ก เช่น enzymatically modified starch

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5.2.2 การดัดแปรทางกายภาพ (physical modification)

2.4.5.2.2.1. เจลาติไนเซชัน (gelatinization) เป็นการให้ความร้อนแก่แป้งจนผ่านขั้นตอนของเจลาติไนเซชันแล้วทำแห้งทันที เช่น แป้งพรีเจลาติไนส์ (pregelatinized starch)

2.4.5.2.2.2. แป้งละลายน้ำเย็น (Granular-Cold-Water-Soluble-Starch : GCWSS) เป็นการแปรรูปจนได้แป้งที่สามารถละลายได้ในน้ำ เย็นโดยไม่ต้องผ่านขั้นตอนการเกิดเจลาติไนเซชัน

2.4.5.2.2.3. การลดขนาดเม็ดแป้งโดยทางกล การทำให้เม็ดแป้งแตกโดยทางกล จะได้เม็ดแป้งขนาดเล็กกว่าปกติ

2.4.5.2.2.4. Annealing เป็นการให้ความร้อนในขณะที่เม็ดแป้งอยู่ในอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเจลาติไนเซชัน

2.4.5.2.2.5. การแปรรูปด้วยความร้อนชื้น (heat moisture treatment) เป็นการให้ความร้อนสูงกว่าจุดเจลาติไนเซชันแก่แป้งในขณะที่แป้ง มีความชื้นต่ำ

2.4.5.2.3 การดัดแปรทางเทคโนโลยีชีวภาพ (biotechmological modification) การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของแป้งโดยใช้การเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม

2.4.5.2.3.1. waxy starch คือ แป้งที่มีอะไมโลสต่ำหรือไม่มีเลย

2.4.5.2.3.2. high-amylose starch คือแป้งที่มีอะไมโลสสูง

2.4.6 ผลของ resistant starch ต่อสุขภาพ (วิรัชกรณ์ และศกลวรรณ, 2546)

เนื่องจาก คุณสมบัติที่สำคัญของ resistant starch คือ ไม่สามารถถูกย่อยสลายได้โดยเอนไซม์ในลำไส้เล็ก จึงทำให้ resistant starch มีคุณสมบัติเหมือนกับใยอาหาร ซึ่งมีประโยชน์ต่อระบบขับถ่าย และระบบหมุนเวียนเลือด โดยจะช่วยป้องกันหรือลดภาวะโรคอ้วน และลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเส้นเลือด อีกทั้งยังช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่างๆ เช่น โรคมะเร็ง โรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด โรคหัวใจ และโรคเบาหวาน เป็นต้น

2.4.6.1. ใยอาหารกับสุขภาพ

แม้ว่าใยอาหารจะไม่ถูกดูดซึมในระบบทางเดินอาหาร แต่ใยอาหารก็มีประโยชน์ทั้งในแง่การป้องกันและการรักษาโรคบางชนิด จากรายงานการศึกษาทางระบาดวิทยาหลายชิ้น แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ ระหว่างการบริโภคเส้นใยอาหารในปริมาณที่ต่ำและโรคบางชนิด เช่น โรคลำไส้งอก (diverticular disease) และโรคเบาหวาน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าใยอาหารจากผักมีความสำคัญต่อสุขภาพโดยจะเน้นถึงความสำคัญในการบริโภคใยอาหารจากผักอย่างเหมาะสม ในปี 1985 ข้อกำหนดสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคประจำวัน สำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไปของไทย (Thai Recommended Daily Intake, Thai RDI) กำหนดว่าควรบริโภคใยอาหาร 25 กรัมต่อวัน

ลิขสิทธิ์เป็นของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.6.2 Resistant starch กับสุขภาพ

2.4.6.2.1 ด้านสุขภาพในลำไส้ใหญ่

resistant starch ที่ผ่านเข้าสู่ลำไส้ใหญ่ จะถูกแบ่ง เป็น 2 ส่วนได้แก่

(i) resistant starch ที่ผ่านการหมักหรือเรียกว่าพรีไบโอติก เนื่องจาก resistant starch ที่ผ่านเข้าสู่ลำไส้ใหญ่จะเปลี่ยนแปลงโดยการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่ในลำไส้ใหญ่ ซึ่งมีหลายชนิดด้วยกันแต่ชนิดที่เอื้อประโยชน์ในด้านนี้ คือ *Bifidobacterium sp.* และ *Lactobacillus sp.* ผลจากการหมักได้กรดไขมันสายสั้นๆ ได้แก่ กรดอะซิติก (acetic acid) กรดโพรพิโอนิก (propionic acid) กรดบิวทีริก(butyric acid) และมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทนและไฮโดรเจนเกิดร่วมออกมาด้วย โดยกรดไขมันที่ได้จะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ปรับสภาวะความเป็นกรด-ด่าง(pH) ภายในลำไส้ใหญ่ให้ต่ำลง และช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งในลำไส้ได้กรดไขมันทั้งสามชนิดที่เกิดขึ้นดังกล่าวแล้วนั้นจะมีสัดส่วนแตกต่างกันไปตามชนิดของ resistant starch จากผลการศึกษาในหนูทดลองพบว่า เมื่อเลี้ยงด้วยอาหารสตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสสูง จะได้กรด acetic:propionic:butyric เท่ากับ 54:33:13 และจากการเลี้ยงสัตว์ทดลองด้วยสตาร์ชมันฝรั่งดิบ จะได้สัดส่วนเท่ากับ 81:18:1 แต่สำหรับในคน ยังสรุปไม่ได้ว่า resistant starch ชนิดใดจะให้ butyric acid สูงสุดในการหมักที่ลำไส้ใหญ่ จากการศึกษาในสภาวะทดลอง (*in vitro*) พบว่ากรดบิวทีริก (butyric acid) มีผลโดยตรงต่อการระงับหรือป้องกันการเกิดเนื้องอก(Tumor) ส่วนกรดโพรพิโอนิก (propionic acid) มีบทบาทโดยตรงในขบวนการเมตาโบลิซึมของน้ำตาลกลูโคสและไขมัน

(ii) resistant starch ที่ไม่ผ่านการหมักโดยจุลินทรีย์ในลำไส้จะช่วยเพิ่มปริมาณอุจจาระได้ดี แต่ได้มีบางรายงานให้ความเห็นว่าปริมาณอุจจาระที่เพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากการเพิ่มปริมาณของจำนวนจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในลำไส้ใหญ่เอง โดยมีการพบว่า ในคนปกติทั่วไปเมื่อบริโภคสตาร์ชจากมันฝรั่ง และสตาร์ชจากกล้วย รวมถึงสตาร์ชที่ retrograded แล้ว (ของสตาร์ชจากแป้งสาลี และแป้งข้าวโพด) จะช่วยให้มีการขับถ่ายได้ง่าย คือ ช่วยระบายได้ดี และการเพิ่มปริมาณอุจจาระนี้ จะส่งผลในการป้องกันอาการท้องผูก ช่วยลดสารพิษต่างๆในร่างกายที่อาจก่อให้เกิดเซลล์มะเร็ง โรคผนังลำไส้ใหญ่อักเสบ และโรคริดสีดวงทวาร เป็นต้น โรคลำไส้งอก (Diverticular disease) เป็นโรคที่เกิดขึ้นภายในลำไส้ใหญ่ซึ่งมีผลจากการบริโภคอาหารที่มีเส้นใยน้อย นอกจากนี้ยังเป็นผลมาจากท้องอืดและความดันในลำไส้ โดยปกติแล้วโรคนี้จะอยู่ในภาวะที่ไม่มีอาการแต่ในคนไข้บางรายอาจมีอาการปวดท้องและไม่สบาย โรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ (Colon Cancer) ใยอาหารมีความเกี่ยวข้องกับการลดความเสี่ยงของโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ โดยการลดความเข้มข้นของสารก่อมะเร็งและเร่งเวลาในการขับถ่าย ซึ่งจะลดโอกาสการพบกันของเนื้อเยื่อลำไส้ใหญ่กับสารก่อมะเร็งที่มีอยู่ นอกจากนี้ยังสามารถปรับความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในลำไส้ใหญ่ผ่านการสร้าง Volatile fatty acid โรคท้องผูกและริดสีดวง (Contipation and hemorrhoids) โรคท้องผูกมีลักษณะเฉพาะคือการขับถ่ายไม่เป็นเวลา (น้อยกว่า 3 ครั้งต่อสัปดาห์) เวลาหยุดนิ่งในระบบทางเดินอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 วัน หรือมากกว่านั้น การเพิ่มการบริโภคใยอาหารจะช่วยลดอาการท้องผูกและอาการข้างเคียงอื่นๆ เช่น โรคริดสีดวง

2.4.6.2.2 ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและลดระดับคอลเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในเลือด

โดย resistant starch จะส่งผลให้เกิดการหลั่งกรดน้ำดีออกมาเพื่อช่วยกำจัดคอลเลสเตอรอลออกจากร่างกาย ทำให้ร่างกายมีระดับคอลเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในเลือดลดลง

2.4.6.2.3 ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดสำหรับผู้ป่วยเบาหวาน

เนื่องจากการบริโภค resistant starch ช่วยชะลอเวลาของการปล่อยน้ำตาลเข้าสู่กระแสเลือดนานขึ้น ต่างจากการบริโภคคาร์โบไฮเดรตจากแหล่งอื่นที่กลูโคสจะถูกดูดซึมอย่างรวดเร็ว จึงเป็นการป้องกันไม่ให้มีการใช้อินซูลินในปริมาณมาก ทำให้สามารถช่วยลดความเสี่ยงของการเกิด hypoglycemia และจากการศึกษา พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่เสริม resistant starch จะมีประโยชน์ต่อผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวาน โดยมีการแนะนำผลิตภัณฑ์ diabetes snack bars ในแผนการบริโภคอาหารของผู้ป่วยโรคเบาหวาน ร่วมกับการปรึกษาแพทย์ และตรวจสอบระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือด

2.4.6.2.4 ช่วยลดภาวะโรคอ้วน (Obesity)

เนื่องจากโรคอ้วนเป็นภาวะผิดปกติทางโภชนาการ ดังนั้นอาหารที่มีปริมาณเส้นใยอาหารสูงจะช่วยลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคอ้วนและช่วยในการลดและควบคุมน้ำหนักได้ โดยการบริโภคผลิตภัณฑ์เสริม resistant starch จะช่วยลดความเข้มข้นของอินซูลินที่เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดความอยากอาหาร และ resistant starch ที่ผ่านการหมักโดยจุลินทรีย์จะได้กรดไขมันสายสั้นๆที่จะถูกดูดซึมไปสร้างพลังงานให้กับร่างกาย ได้แค่ 2 kcal/g ของ resistant starch (2 กิโลแคลอรีต่อกรัมของ resistant starch) ซึ่งปริมาณพลังงานจาก resistant starch นี้ จะเป็นเพียงครึ่งหนึ่งของการบริโภคคาร์โบไฮเดรตทั่วไป รวมถึงกรดไขมัน propionic acid ที่ได้จากการหมักในลำไส้ใหญ่จะมีผลโดยตรงต่อขบวนการเมตาโบลิซึมของร่างกาย ดังนั้นเมื่อนำ resistant starch มาใช้เป็นสารประกอบของอาหารต่างๆ จะมีผลช่วยลดพลังงาน , ลดปริมาณอาหารที่บริโภคเข้าไป และสามารถช่วยลดและควบคุมน้ำหนักได้

2.4.6.2.5 ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคอื่นๆโดยทางอ้อม เช่น ไส้ติ่งอักเสบ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ใยอาหาร (นิธิยา , 2545)

เส้นใยอาหารเป็นส่วนประกอบในอาหารบางชนิด สมัยก่อนเรียกว่า crude fiber ซึ่งหมายถึง สารที่เหลืออยู่ภายหลังการย่อยด้วยกรดและด่างแล้ว ซึ่งก็คือเซลลูโลส และลิกนินเท่านั้นต่อมาได้มีการศึกษาเกี่ยวกับคาร์โบไฮเดรตมากขึ้น ทำให้ทราบว่าคาร์โบไฮเดรตบางชนิดไม่ถูกไฮโดรไลซ์ ด้วยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์กล่าวคือ เอนไซม์ที่ไม่สามารถย่อยสลายพันธะไกลโคไซด์ในโมเลกุลของสารประกอบเหล่านี้ได้จึงให้เรียกรวมว่า dietary fiber เส้นใยอาหารประกอบด้วยเซลลูโลส ลิกนิน เฮมิเซลลูโลส เพนโทแซน กัม และเพกติน ดังนั้นเมื่อวิเคราะห์ปริมาณของเส้นใยอาหาร (dietary fiber) จึงมีค่ามากกว่า crude fiber ประมาณ 2-16 เท่า

เส้นใยอาหารส่วนใหญ่จะเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้ง (non-starch polysaccharides) ได้แก่ เพคติน เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และมิวซิเลจ (mucilage) จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพสามารถแบ่งตามความสามารถในการละลายน้ำได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1) กลุ่มที่ละลายน้ำ (soluble non-starch polysaccharides) ได้แก่ เพคติน กัม และมิวซิเลจ (mucilage) เส้นใยอาหารพวกนี้มีความสามารถในการละลายน้ำและทำให้เกิดลักษณะที่เหนียวหนืดคล้ายเจลและมีผลต่อการลดระดับไขมัน คอเลสเตอรอล และน้ำตาลในเลือด

- เพคติน เป็นโพลีแซ็กคาไรด์ที่ประกอบด้วย methylated galacturonic acid โดยประกอบเป็นสารประกอบเชิงซ้อนร่วมกับโปรตีน เป็นส่วนประกอบในโครงสร้างของผนังเซลล์พืชในสภาพที่เป็นเจลจะมีคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำ พบมากในแอปเปิลและผลไม้ที่มีรสเปรี้ยวของกรดซิตริก

- กัม และมิวซิเลจ เป็นโพลีแซ็กคาไรด์ที่ประกอบด้วย galacturonic acid ซึ่งจับกับน้ำตาลชนิดต่างๆ เช่น mannose, arabinose หรือ xylose กัมจะพบได้ในข้าวบาร์เลย์ ข้าวโอ๊ต และถั่วเมล็ดแห้ง ส่วนมิวซิเลจนั้นจะพบในเมล็ดพืชชนิดต่างๆ

2) กลุ่มที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble non-starch polysaccharides) เส้นใยอาหารกลุ่มนี้มีสมบัติในการดูดความชื้นสูงเนื่องจากสามารถพองตัวและดูดน้ำได้ถึง 20 เท่าของน้ำหนักแห้ง เส้นใยอาหารกลุ่มนี้จะถูกแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ย่อยสลายได้เพียงบางส่วน ดังนั้นจึงมีบทบาทในการเพิ่มกากอาหารในลำไส้ใหญ่ คือ ทำให้ร่างกายขับกากอาหารออกได้เร็ว จึงช่วยลดอาการท้องผูก นอกจากนั้นเส้นใยอาหารกลุ่มนี้ยังสามารถจับกับสารก่อมะเร็งแล้วขับออกจากร่างกาย ทำให้สารก่อมะเร็งมีโอกาสสัมผัสกับผนังลำไส้ได้น้อยลง จึงเป็นการลดความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่ เส้นใยอาหารกลุ่มนี้ ได้แก่

- เซลลูโลส เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืช อยู่ในรูปของ 1,4-β-D-glucan มีลักษณะทางเคมีเหมือนอะไมโลส แต่แตกต่างกันที่อะไมโลสมีโมเลกุลของกลูโคสแต่ละโมเลกุลเชื่อมกันเป็นวงแหวน ส่วนในเซลลูโลสนั้นกลูโคสจะเชื่อมกันเป็นเส้นตรง ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้จะทำให้เซลลูโลสมีพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรงกว่า โมเลกุลของเซลลูโลสจะรวมตัวกันเป็นเส้นใยเล็กๆ โดยส่วนหนึ่งของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นใยจะมีโมเลกุลเซลลูโลสเรียงตัวกันอย่างมีระเบียบ มีลักษณะเป็นผลึก (crystalline) แต่ก็มีบางส่วนที่อยู่กันอย่างไม่เป็นระเบียบ(amorphous) เนื่องจากเส้นใยส่วนนี้มีโมเลกุลของน้ำตาลแทรกอยู่ความคงทนของเซลลูโลสต่อกรดและเอนไซม์ขึ้นอยู่กับส่วนที่ไม่เป็นผลึกนี้ อาหารที่มีเซลลูโลสมาก ได้แก่ รำข้าว และกากมอลท์

- เฮมิเซลลูโลส เป็น non-cellulosic non starch polysaccharides ที่พบในผนังเซลล์ของพืชโครงสร้างประกอบด้วยน้ำตาลชนิดต่างๆ เช่น xylose mannose และ galactose เรียงต่อกันเป็นสายมีทั้งที่เป็นเส้นตรงและมีกิ่ง สามารถพบเฮมิเซลลูโลสได้ในรำข้าวสาลี และรำข้าวโพด

- ลิกนิน เป็นส่วนประกอบที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต มีโครงสร้างเป็น amorphous aromatic hydrocarbon polymer ที่ประกอบด้วย phenylpropane ลิกนินทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสในผนังเซลล์ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ผนังเซลล์พืช

- Resistant starch เป็นสตาร์ชชนิดหนึ่ง แต่จากการศึกษาสมบัติและบทบาทตลอดจนวิธีการวิเคราะห์ พบว่า จะทำหน้าที่เหมือนกับเส้นใยอาหาร จึงถูกจัดเป็นเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งมีประโยชน์ต่อสุขภาพ และสามารถพบแหล่งของ resistant starch อยู่ตามธรรมชาติในอาหารโดยเฉพาะในข้าวชนิดที่มีอะไมโลสสูง เช่น ข้าวขาวตาแห้ง ข้าวเสาไห้ ผลิตภัณฑ์จากข้าว เช่น เส้นก๋วยเตี๋ยว ขนมจีนที่ผลิตจากแป้งข้าวที่มีอะไมโลสสูง รวมถึงมันฝรั่งดิบ กล้วยดิบ หรือแป้งที่ผ่านกระบวนการแปรรูปอาหาร (resistant starch อาจถูกทำลายหลังการปรุงอาหารแล้ว) แป้งที่เกิด retrogradation และแป้งดัดแปร (modified starch) เป็นต้น ประกอบกับมีความเป็นไปได้ในเทคโนโลยีการผลิต และยังเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดงานวิจัยค้นคว้าที่ต่อเนื่องในการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิต และผลิตภัณฑ์ต่างๆจาก resistant starch ในอนาคต

2.6 พรีไบโอติก (Fook *et al.*, 1999)

พรีไบโอติก คือ ส่วนประกอบในอาหารที่ร่างกายไม่สามารถย่อยสลายได้ในระบบทางเดินอาหารส่วนบน (Upper Gastrointestinal Tract) ซึ่งมีประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตและการอยู่รอดของจุลินทรีย์ในลำไส้ นอกจากนี้ยังส่งเสริมให้สุขภาพของมนุษย์ดีขึ้นด้วย

ในการพิจารณาส่วนประกอบในอาหารว่าเป็นพรีไบโอติกหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับ (Gibson, 2000)

1) จะต้องไม่ถูกย่อยและไม่ถูกดูดซึมที่ระบบทางเดินอาหารส่วนบน
2) จะต้องถูกหมักโดยเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในลำไส้ใหญ่
3) จะต้องเป็นตัวที่ควบคุมการเจริญเติบโตและควบคุมจำนวนจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 ประเภทของสารพรีไบโอติก (เฉลิมขวัญ และมัลลิกา, 2547)

2.6.1.1 Alcohol sugar

เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีระดับขั้นการเกิดโพลิเมอร์ (degree of polymerization) เพียง 1-2 หน่วย ตัวอย่างสารในกลุ่มนี้ เช่น แมนนิทอล (mantitol) ซอบิทอล(sorbitol) ไอโซมอล (isomalt) และไซลิทอล (xylitol) เป็นต้น ในบางครั้งจะเรียกว่า alcohol sugar ว่า POLYOLS สามารถเป็นสารให้ความหวานได้ โดยมีความหวานประมาณ 3 ใน 4 หรือครึ่งหนึ่งของน้ำตาลทั่วไป และยังดูดซับได้ช้าในลำไส้เล็กเมื่อเทียบกับน้ำตาล จึงทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ

2.6.1.2 Resistant starch

เป็นโพลิแซ็กคาไรด์ ซึ่งไม่ดูดซึมที่ลำไส้เล็ก เป็นสตาร์ชที่มีพลังงานต่ำ สามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติในอาหาร เช่น มันฝรั่ง กล้วยหอม ประกอบด้วยโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกทิน นอกจากจะมีสมบัติที่สำคัญที่สามารถต้านทานต่อการย่อยด้วยเอนไซม์แล้วยังพบว่ามีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ (functional properties) และสมบัติทางกายภาพ รวมถึงมีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก เนื่องจากให้สารประกอบบิวทีเรทซึ่งเป็นผลจากการหมักโดยบักเตรีที่มีประโยชน์ต่อลำไส้ จึงช่วยสร้างความแข็งแรงให้กับเซลล์ผนังลำไส้ใหญ่ เป็นผลต่อการลดอัตราความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่ (Wursch, 1999; Crogham, 2004)

2.6.1.3 Non-starch polysaccharides (NSP)

โพลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง พบในพืช เช่น เพคติน (pectin) เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) กัว (guar) และไซแลน (xylan)

2.6.1.4 Inulin

เป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่งที่พืชเก็บสะสมอยู่ในรูปของโพลีฟรักแตน (polyfructan) โดยอินนูลินจะทำหน้าที่เหมือนคาร์โบไฮเดรตสำรองเก็บไว้เป็นอาหาร พบมากในพืชมากกว่า 36,000 ชนิด เช่น กล้วย หัวหอม กระเทียม เป็นต้น

2.6.1.5 Sugar and Oligosaccharides

สำหรับพรีไบโอติกกลุ่มนี้จัดเป็นโพลิแซ็กคาไรด์ (Short Chain Polysaccharide) ที่ประกอบด้วยน้ำตาลตั้งแต่ 2 ถึง 20 หน่วย ตัวอย่างเช่น แรฟฟีโนส (raffinose) ฟรุกโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ (fructo-oligosaccharides) ซึ่งจัดเป็นโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่ย่อยไม่ได้ (non-digestible oligosaccharides) นอกจากนี้ยังมี ซอยบีดโอลิโกแซ็กคาไรด์ (soybean oligosaccharides) แลคทูโลส (lactulose)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอโซมอลโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ (isomalto-oligosaccharides) ไซโลโอลิโกแซ็กคาไรด์ (Xylo-Oligosaccharides) ที่จัดว่าเป็นพรีไบโอติกได้ด้วย

2.6.1.6 Mucin glycoproteins

ถูกสร้างโดย goblet cells ที่อยู่ในเยื่อบุผิวลำไส้และเป็นสารตั้งต้นหลักสำหรับการหมักในลำไส้

2.6.1.7 Related mucopolysaccharides

ตัวอย่างเช่น chondroitin sulphate heparin pancreatic และ bacterial secretion ซึ่งสารนี้เป็นสารที่มีไว้สำหรับจุลินทรีย์ในลำไส้

2.6.1.8 Protein and peptides

สารเหล่านี้สร้างขึ้นในอาหารโดยการหลั่งของตับอ่อนหรือการสร้างโดยแบคทีเรีย แต่จะมีปริมาณน้อยกว่าพวกคาร์โบไฮเดรต

พรีไบโอติก ถูกใช้เพื่อเป็นอาหารเสริมสุขภาพหรือส่วนประกอบในอาหาร ผลการทดสอบในสัตว์ทดลองและมนุษย์พิสูจน์ให้เห็นว่ามีความเหมาะสมสำหรับใช้เป็นอาหารทางการแพทย์ (Clinical feeding) วิธีทดลองมีความสอดคล้องกับคำยืนยันของนักวิทยาศาสตร์ คือมีความเฉพาะเจาะจงต่อการกระตุ้นการเจริญหรือกิจกรรมของแบคทีเรีย นอกจากนั้นยังนำไปสู่การพิจารณา (substrate) สารตั้งต้นที่อยู่ในคน เชื้อประจำถิ่น และการเกิดกระบวนการเมตาบอลิซึม

2.7 โพรไบโอติก (ปิ่นมณี 2548)

โพรไบโอติก คือ กลุ่มของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์และสัตว์ ซึ่งพบได้ในบริเวณลำไส้ที่เรียกว่า Gastrointestinal (GI) Tract ยังรวมถึงจุลินทรีย์ที่เตรียมขึ้นเพื่อใช้เป็นส่วนผสมในอาหารในรูปที่มีชีวิต และเป็นแหล่งเอนไซม์ที่ช่วยย่อยน้ำตาลกาแลคโตส เช่น เอนไซม์ β-galactosidase และช่วยปรับปรุงคุณค่าทางอาหารของน้ำนมซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการหมักด้วยแบคทีเรีย โพรไบโอติก อาหารประเภทโพรไบโอติกโดยทั่วไปมีส่วนผสมของจุลินทรีย์หนึ่งชนิดหรือมากกว่าก็ได้ ซึ่งจุลินทรีย์กลุ่มนี้ต้องได้รับการศึกษาและตรวจสอบอย่างแน่ชัดแล้วว่าไม่มีผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภค จุลินทรีย์ที่เป็นโพรไบโอติกส่วนใหญ่ได้แก่ แบคทีเรียหลายสายพันธุ์ เช่น แลคโทบาซิลลัส (Lactobacillus) เมื่อมนุษย์บริโภคเข้าไปแล้วจะเป็นตัวช่วยควบคุมเชื้อจุลินทรีย์ที่ร่างกายไม่ต้องการให้อยู่ในปริมาณที่ไม่ก่อให้เกิดโรคแก่ร่างกายได้ เชื้อจุลินทรีย์โพรไบโอติกส่วนใหญ่ได้รับจากการบริโภคอาหารที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบของโพรไบโอติก เช่น ผลิตภัณฑ์นมหมักชนิดต่าง ๆ แหนมสด แบคทีเรียที่เป็นโพรไบโอติกมีคุณสมบัติปกป้องร่างกายไม่ให้ได้รับอันตรายจากเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค และยังสามารถผลิตเอนไซม์มาย่อยสารอาหารบางประเภทที่ระบบการย่อยในร่างกายมนุษย์ไม่สามารถย่อยได้ให้เป็นสารที่มีประโยชน์และร่างกายดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ ตัวอย่างของจุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติเป็นโพรไบโอติกแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ชนิดของจุลินทรีย์ที่จัดเป็นโพรไบโอติก

Lactobacillus spp.	*Bifidobacterium spp.*	*Others*
L.acidophilus	*B.adolescentis*	*Ent.faecalis*
L.casei	*B.animalis*	*Ent.faecium*
L.crispatus	*B.bifidum*	*Lctoc.Lactis*
L.gallinarum	*B.breve*	*Leuc.mesenteroides*
L.gasseri	*B.infantis*	*Ped.acidilactici*
L.johnsonii	*B.lactis*	*Sporolactobacillus*
L.paracasei	*B.longum*	*Strep.thermophilus*
L.plantarum		*Saccharomyces*
L.reuteri		
L.rhamnosus		

ที่มา : Wasowska-Krolikcwska (2001)

Olano-Martin *et al.* (2002) ได้ศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในลำไส้ ได้แก่ *Bifidobacterium angulatum* , *B. infantis* และ *B. adolescentis* การเจริญของเชื้อในเพคติก-โอลิโกแซ็กคาไรด์ (POS I) ที่ผลิตมาจากเพคตินที่มีปริมาณ methylated สูงทำให้อัตราการเจริญของเชื้อเจริญได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเพคติก-โอลิโกแซ็กคาไรด์ที่ผลิตมากจากเพคตินที่มีปริมาณ methylated ต่ำ(POS II) ดังนั้น ระดับของ methylated มีความสำคัญต่อการการกระบวนการหมักของเชื้อแบคทีเรีย และจากการเจริญของแบคทีเรียพบว่าเพคติก-โอลิโกแซ็กคาไรด์มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติกที่ดีกว่าเพคติน

Rycroft *et al.* (2001) ได้ศึกษาการเพิ่มขึ้นของประชากรของแบคทีเรียในลำไส้ ในกระบวนการหมักของอาหารโดยเชื้อแบคทีเรียกลุ่มที่เป็นประโยชน์แก่ร่างกายได้ผลผลิตเกิดเป็นสารสำคัญที่เรียกว่ากรดไขมันสายสั้น สารกลุ่มนี้จะถูกดูดซึมส่งผลดีกับร่างกาย และพบว่า เมื่อใช้พรีไบโอติกเพิ่มมากขึ้นทำให้จำนวนการเจริญของเชื้อบิฟีโดแบคทีเรีย เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันแต่ เชื้อแบคทีเรียที่ก่อโรคหรือเชื้อแบคทีเรียตัวร้ายจะมีการลดจำนวนลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hidaka *et al.* (1986) ได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบกระบวนการหมักของกาแลกโต-โอลิโกแซ็กคาไรด์และฟรุกโตโอลิโกแซ็กคาไรด์โดยใช้อุจจาระเป็นแหล่งของเชื้อแบคทีเรียพบว่า มีการเจริญของเชื้อทั้งกาแลกโตโอลิโกแซ็กคาไรด์และฟรุกโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ เนื่องจากทั้งสองมีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก และยังพบอีกว่าเชื้อแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ของวัยทารกและวัยเด็กจะเป็นเชื้อชนิดที่ดีต่อสุขภาพเป็นส่วนมาก ได้แก่ บิฟิโดแบคทีเรีย (Bifidobacteria) และ แลคโตบาซิลไล (Lactobacilli) แต่เมื่อโตขึ้นจนเข้าวัยชรา เชื้อแบคทีเรียที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพกลับค่อย ๆ น้อยลง และแบคทีเรียที่ก่อโรคกลับค่อย ๆ เพิ่มขึ้น

2.7.1 ความสมดุลของปริมาณจุลินทรีย์ (วารุณี, 2548)

โดยปกติร่างกายของคนและสัตว์ที่มีสุขภาพปกติจะมีจุลินทรีย์หลายชนิดอาศัยอยู่เป็นจำนวนมากในระบบทางเดินอาหาร จุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในระบบทางเดินอาหาร แบ่งออกเป็น 2 พวก ดังนี้

1) จุลินทรีย์ก่อโรค (pathogen) ได้แก่ Salmonella , Shigella, Clostridium ซึ่งจะทำให้เกิดอาการท้องเสียและการเจริญเติบโตลดลง

2) จุลินทรีย์ไม่ก่อโรค (non-pathogen) ได้แก่ Lactobacillus, Streptococcus, Bifidobacterium ฯลฯ ซึ่งเป็นชนิดที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เนื่องจากจะไปควบคุมปริมาณจุลินทรีย์ก่อโรคไม่ให้มีปริมาณมากจนทำให้เป็นอันตรายต่อร่างกายของคนหรือสัตว์ แบคทีเรียพวกนี้สามารถสร้างกรดอินทรีย์ (ได้แก่ กรดแลคติก กรดอะซิตริก) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ แบคเทอริโอซิน และสารอื่นๆ มากำจัดจุลินทรีย์ก่อโรค นอกจากนี้ยังสามารถแข่งขัน และยึดติดกับผนังลำไส้ได้ดีกว่าแบคทีเรียชนิดอื่นๆจึงทำให้แบคทีเรียก่อโรค ถูกขับออกจากร่างกายในที่สุด การอยู่รวมกันระหว่างจุลินทรีย์ก่อโรคและจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในร่างกายควรมีอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแบคทีเรีย 2 กลุ่ม ในอัตรา 15 เปอร์เซ็นต์ ต่อ 85 เปอร์เซ็นต์ หรือ 1:6 จึงทำให้ร่างกายอยู่ในสมดุลและมีสุขภาพดี

2.7.2 ประโยชน์ของจุลินทรีย์โพรไบโอติก (สิทธิชัย, 2545)

2.7.2.1 การสร้างกรดแลคติก

โดยกลุ่มแลคโตบาซิลัส (Lactobacillus) และกลุ่มสเตรปโตคอคคัส (Streptococcus) เป็นประโยชน์ในการทำงาน โดยปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง ในระบบทางเดินอาหาร

2.7.2.2 การสร้างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

สามารถทำลายเชื้อโรคหลายชนิด เช่น จุลินทรีย์ *Cl. perfringens* และ *E. coli*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2.3 การสร้างสารปฏิชีวนะ

จุลินทรีย์กลุ่มแลคโตบาซิลัส (Lactobacillus) และกลุ่มสเตรปโตคอคคัส (Streptococcus) บางสายพันธุ์ที่โดดเด่น เช่น *Lactobacillus acidophilus* และ *Lactobacillus lactolin* จะสามารถสร้างสารทำลายเชื้อที่ก่อให้เกิดโรคภายในร่างกาย เมื่อมันเจริญอยู่ในทางเดินอาหาร

2.7.2.4 การสร้างเอนไซม์แลคเตส

ผลที่ไม่จำเพาะเจาะจงที่มักพบได้ของเชื้อโพรไบโอติก อาจเกี่ยวข้องกับการสร้างน้ำย่อยในระบบการย่อย เช่น แลคโตบาซิลลัส สามารถสร้างน้ำย่อยแลคเตสได้ และทำงานในฐานะที่เอื้อประโยชน์ซึ่งกันและกันในระบบทางเดินอาหารและในกระบวนการย่อยอาหาร

2.7.2.5 การสร้างวิตามินบี

จุลินทรีย์โพรไบโอติกสมารถผลิตวิตามินบีได้หลายชนิด เช่นเดียวกับสารที่ช่วยในระบบการย่อย ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อร่างกาย ในการเสริมสร้างการเจริญเติบโตของมนุษย์

2.7.2.6 การแข่งขันการเชื้อก่อโรค

การเกาะยึดหรือการอยู่รวมกันบริเวณระบบทางเดินอาหาร เป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งของจุลินทรีย์ ในการพยายามที่จะอยู่รวมกันในพื้นที่พิเศษของกระเพาะ โดยโพรไบโอติกจะมีบทบาทในการขัดขวางเชื้อก่อโรค (Pathogen) นอกจากการเกาะติดหรือรวมตัวกันบริเวณทางเดินอาหาร หรือมีบทบาทในการป้องกันการเกาะติดโดยตรงของเชื้อก่อโรคกับผนังทางเดินอาหาร

2.7.2.7 การป้องกันความเป็นพิษของสารเอมีนและแอมโมเนีย

เมื่อโปรตีนถูกเปลี่ยนเป็นสารประกอบเอมีนและแอมโมเนียโดยปฏิกิริยาการย่อยที่เพิ่มขึ้นของเชื้อโรค (*E.coli*) ความระคายเคืองและความเป็นพิษจากเอมีนจะทำให้การหดตัวของลำไส้มากขึ้น ซึ่งทำให้การย่อยอาหารไม่สมบูรณ์และเกิดปัญหาได้ โพรไบโอติกจะช่วยให้การยืดหดของลำไส้และระบบการย่อยดีขึ้น

2.7.2.8 การกระตุ้นภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะเจาะจง

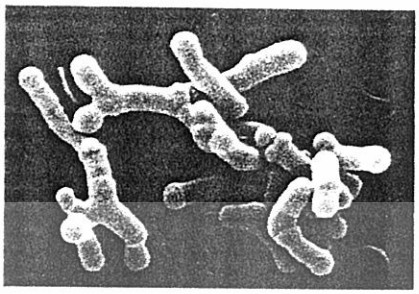
โพรไบโอติกอาจมีบทบาทกระตุ้นภูมิคุ้มกันบางชนิดในกระเพาะอาหารจึงป้องกันไม่ให้ติดเชื้อโรคที่ก่อมะเร็งหรือแผลในกระเพาะอาหารได้

โพรไบโอติกและพรีไบโอติกจึงมีความเกี่ยวพันกันอย่างใกล้ชิดหาก**ร่างกายได้รับทั้งจุลินทรีย์สุขภาพและใยอาหารพรีไบโอติกที่เหมาะสมจะเป็นประโยชน์ต่อร่างกายมากมาย คือ**

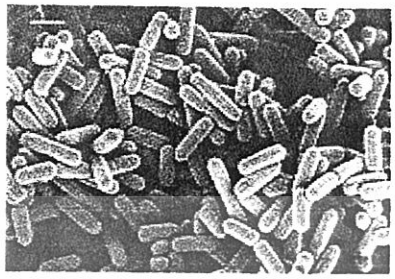
- **ช่วยกระตุ้นให้ร่างกายสร้างภูมิคุ้มกัน**
- **ป้องกันหรือลดความรุนแรงของโรคติดเชื้อในทางเดินอาหาร เช่น ท้องเสีย**
- **ช่วยลดสารพิษหลายชนิด**
- **ช่วยให้การขับถ่ายดีขึ้น**
- **ช่วยย่อยน้ำตาลแลคโตสในน้ำนม ซึ่งแก้ปัญหาแน่นท้องหรือท้องเสียได้**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ช่วยให้ร่างกายดูดซึมสารอาหาร โดยเฉพาะแคลเซียมและเหล็กได้ดี



(A)



(B)

ภาพที่ 2.15 จุลินทรีย์โพรไบโอติกที่เป็นประโยชน์ต่อมนุษย์ (A) *Bifidobacterium longum* (B) *Lactobacillus acidophilus*

ที่มา : Collier, J. (2004) and Reinert, B. (2002)

2.7.3 การดำรงชีวิตของโพรไบโอติกในระบบทางเดินอาหาร (วารุณี, 2548)

ผลการวิจัยพบว่าเมื่อให้ผู้สูงอายุบริโภคโอลิโกแซ็กคาไรด์(ที่มีน้ำตาลเชิงเดี่ยวรวมกันตั้งแต่ 3 โมเลกุลขึ้นไป เช่น ฟรุคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ หรืออินนูลิน) วันละ 8 กรัม ติดต่อกันเป็นเวลา 14 วัน พบว่า *Bifidobacterium spp.* ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อร่างกายจะมีปริมาณสูงขึ้นกว่าปกติ 10 เท่า และพบปริมาณสารพิษ ครีซอล อินโดล รวมทั้งปริมาณแอมโมเนียลดน้อยลงเกือบสองเท่า ตลอดจนเอนไซม์ที่ทำให้เกิดสารพิษหรือสารก่อมะเร็งก็ลดกิจกรรมลงด้วย การที่จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์เพิ่มขึ้นนี้เนื่องจากจุลินทรีย์เหล่านี้สามารถย่อยและใช้น้ำตาลประเภทนี้ได้ ดังนั้นจึงมีการเสริมโอลิโกฟรุคโตสในนมผงสำหรับทารก เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในลำไส้ของทารกและเรียกน้ำตาลประเภทนี้ว่า พรีไบโอติก (Prebiotic) น้ำตาลที่เป็นพรีไบโอติกนี้ มีอยู่ในถั่วเหลือง ฉะนั้นจึงควรบริโภคถั่วเหลืองต้มสุกทั้งเมล็ด เพื่อส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ และต่อมาได้มีการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วยพรีไบโอติกและโพรไบโอติกรวมกัน เพื่อส่งเสริมให้ร่างกายมีจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์เรียกผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ว่า ซินไบโอติก (Synbiotics) การผลิตซินโพรไบโอติกจะใช้พรีไบโอติกเป็นเปลือกห่อหุ้มโพรไบโอติกไว้ข้างในเพื่อป้องกัน ไม่ให้จุลินทรีย์ตายในระหว่างการเคลื่อนที่ผ่านกระเพาะและลำไส้เล็ก โดยมีเป้าหมายให้จุลินทรีย์ไปเจริญอยู่ในลำไส้ใหญ่

อย่างไรก็ตามในผู้ที่เป็นโรคติดเชื้อหรือมีแผลในระบบทางเดินอาหารไม่ควรบริโภคโพรไบโอติก เนื่องจากแบคทีเรียที่ดีเหล่านี้อาจเข้าร่วมติดเชื้อในระบบทางเดินอาหารได้ และการบริโภคอาหารพวกซินไบโอติกอาจก่อให้เกิดสภาพท้องอืดเฟ้อ เนื่องจากอาหารไม่ย่อยได้และมีอาการเช่นเดียวกับการที่เรารับประทานถั่วมากๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.4 บิฟิโดแบคทีเรีย (*Bifidobacteria*) (สุมณฑา, 2545)

ในขณะที่ทำการวิจัยหาแบคทีเรียในอุจจาระประมาณปี ค.ศ.1900 Tissier (1908) ได้บันทึกว่ามีแบคทีเรียชนิดหนึ่งที่พบบ่อยในอุจจาระ ในขณะนั้นถูกตั้งชื่อว่า *Bacillus bifidus* ต่อมาถูกเปลี่ยนชื่อเป็น *Lactobacillus bifidus* และในปัจจุบันรู้จักกันในชื่อว่า *Bifidobacterium bifidum* การที่พบแบคทีเรียนี้บ่อยในอุจจาระทำให้มีการแนะนำให้ใช้แบคทีเรียแกรมบวกที่ไม่ต้องการอาหารในการเจริญเติบโตสปีชีนี้เป็นตัวชี้วัดการปนเปื้อนของอุจจาระในน้ำ (Mossel,1958) บิฟิโดแบคทีเรียมีความน่าสนใจที่บางสปีชีถูกนำมาใช้ในการผลิตนมหมัก โยเกิร์ต และผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ โดยเชื่อว่าจะทำมีสุขภาพดี

บิฟิโดแบคทีเรียประกอบด้วยสมาชิกอย่างน้อย 27 สปีชี มีสมบัติสำคัญ คือ มีรูปร่างเป็นท่อนสั้นไม่สร้างเอนไซม์คะตะเลส ไม่เคลื่อนที่ ช่วงอุณหภูมิ ที่แบคทีเรียเจริญได้อยู่ระหว่าง 25-28 องศาเซลเซียส สำหรับช่วงอุณหภูมิต่ำ และ 43-45 องศาเซลเซียส สำหรับช่วงอุณหภูมิสูง แบคทีเรียนี้เจริญได้ดีในช่วง pH 5-8 ผลจากการเมตาบอไลซ์คาร์โบไฮเดรตจะให้กรดแลคติกและกรดอะซิติกเป็นผลผลิตที่สำคัญ เคยพบการแพร่กระจายของบิฟิโดแบคทีเรียในอุจจาระของมนุษย์ในระดับ 10^{8}-10^{9} cfu/g ซึ่งมากกว่า *E.coli* (พบ 10^{6}-10^{7} cfu/g) จึงน่าสนใจที่จะใช้บิฟิโดแบคทีเรียเป็นดัชนีบ่งชี้การปนเปื้อนของอุจจาระของมนุษย์แทน *E.coli* ในกรณีที่ใช้บิฟิโดแบคทีเรียเป็นตัวชี้วัดสามารถบอกแหล่งที่มาของการปนเปื้อนได้ถึง 3 ทาง คือทางอุจจาระของสัตว์ มนุษย์ และทางสิ่งแวดล้อม บิฟิโดแบคทีเรีย 2 สปีชี คือ *B. adolescentis* และ *B. longum* เป็นสปีชีที่แยกได้บ่อยและพบมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วัตถุดิบ อุปกรณ์ และวิธีการ

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 กล้วย

3.1.1.1 กล้วยน้ำว้าดิบ [Musa (ABB group) Kluai Num Wa] ที่มีความแก่ 90-100% จากตลาดหัวตะเข้ จังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยพิจารณา จากเหลี่ยมของผล และจำนวนสัปดาห์ 17 สัปดาห์ ตั้งแต่กล้วยแทงปลีจนถึงวัน เก็บเกี่ยว (เบญจมาศ , 2538)

3.1.1.2 กล้วยหอมทอง [Musa (AAA group) Kluai Hom tong] ที่มีความแก่ 90-100% จากตลาดหัวตะเข้ จังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยพิจารณา จากเหลี่ยมของผล (เบญจมาศ, 2538)

3.2 จุลินทรีย์

3.2.1 แบคทีเรียแลกติก จากลำไส้มนุษย์ซึ่งแยกได้จากอุจจาระเด็กทารกแรกเกิด (โดยได้รับความอนุเคราะห์จากโรงพยาบาลราชวิถี)

3.3 สารเคมี

3.3.1 สารที่ใช้ในการเตรียมแป้งกล้วย (Banana flour)

3.3.1.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

3.3.1.2 กรดไฮโดรคลอริก (HCl)

3.3.1.3 น้ำกลั่น

3.3.2 สารที่ใช้ในการวิเคราะห์แป้ง

3.3.2.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

3.3.2.2 เอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์

3.3.2.3 กรดไฮโดรคลอริก (HCl)

3.3.2.4 ไอโอดีน

3.3.2.5 โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI)

3.3.2.6 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

3.3.2.7 เมทานอล 95 เปอร์เซ็นต์

3.3.2.8 แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 สารที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณ Resistant starch

3.3.3.1 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์(KOH)

3.3.3.2 เอนไซม์ เปปซิน (Sigma)

3.3.3.3 เอนไซม์ แอลฟา-อะไมเลส (α-amylase) (Sigma)

3.3.3.4 เอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส (Amyloglucosidase) (Sigma)

3.3.3.5 ชุดทดสอบน้ำตาลกลูโคส (glucose oxidase –peroxidase kit) (Human, Germany)

3.3.3.6 KCl-HCl buffer pH 1.5

3.3.3.7 กรดไฮโดรคลอริก(HCl)

3.3.3.8 Tris-maleate buffer pH 6.9

3.3.3.9 แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$)

3.3.4 สารที่ใช้ในขั้นตอน Debranching

3.3.4.1 Acetate buffer

3.3.4.2 เอนไซม์ pullulanase (Promozyme ® D2, Novozymes, Denmark)
(ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท EAC จำกัด)

3.3.5 สารที่ใช้การวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์

3.3.5.1 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 3 เปอร์เซ็นต์

3.3.5.2 Tetramethyl paraphenyl diamine dihydrochloride (1%)

3.3.5.3 คริสตัล ไวโอเลต

3.3.5.4 ไอโอดีน

3.3.5.5 แอลกอฮอล์ 95%

3.3.5.6 ซัลฟานิน โอ

3.4 อาหารเลี้ยงเชื้อ

3.4.1 MRS Agar + Cys-HCl (ภาคผนวก ค)

3.4.2 0.1% Peptone solution (ภาคผนวก ค)

3.4.3 Basal culture medium (ภาคผนวก ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 อุปกรณ์

3.5.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.5.1.1 เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง (Mettle ,AJ 100, Japan)

3.5.1.2 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Backman Germany)

3.5.1.3 เครื่องปั่นแห้ง(Blender)

3.5.1.4. ตู้อบลมร้อน(Tray dryer)

3.5.1.5. เครื่องวัดค่าพีเอช(pH-meter) (inolab pH Level I,Germany)

3.5.1.6. Desiccator

3.5.1.7 เครื่องร่อนแป้ง ขนาด 80 mesh

3.5.1.8 เครื่องปั่นผสม(Mixer)

3.5.1.9 ชุดวิเคราะห์ไขมัน (Gerhardt Soxtherm ,Germany)

3.5.1.10 เครื่องวัดสี (Minolta CR/300, Japan)

3.5.1.11 เครื่องตีป่น (Stomacher)

3.5.1.12 ตู้บ่มเชื้ออุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (Incubator) (Memmert ,Germany)

3.5.1.13 เครื่องผสมสารละลายในหลอดทดลอง (vortex genie G-560E ,USA)

3.5.1.14 เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำ (Autoclave) (Hirayama ,Japan)

3.5.1.15 อ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) (Memmert ,Germany)

3.5.1.16 กล้องจุลทรรศน์ (Olympus, Japan)

3.5.1.17 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) (Jouan ,Korea)

3.5.1.18 ไมโครเวฟ

3.5.1.19 Anerocult A (Merck , Germany)

3.5.2 เครื่องแก้ว

3.5.2.1 บีกเกอร์

3.5.2.2 ขวดวัดปริมาตร

3.5.2.3 กระบอกตวง

3.5.2.4 จานเพาะเชื้อที่ปราศจากเชื้อ

3.5.2.5 ปิเปตปลอดเชื้อ

3.5.2.6 จานเพาะเชื้อที่ปราศจากเชื้อ

3.5.2.7 Anaerobic jar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 วิธีการทดลอง

3.6.1. การเตรียมแป้งกล้วย (Banana flour) (Nimsung *et al.*, 2005)

นำกล้วยดิบมาล้างทำความสะอาดและปอกเปลือก และหั่นเป็นแผ่นบางๆตามขวางแล้วนำไปอบที่ตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray dry) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมงหลังจากนั้นนำกล้วยที่ได้มาบดลดขนาดด้วยเครื่องบดแห้ง (Blender) และนำไปผ่านเครื่องร่อนแป้ง ที่มีขนาดตะแกรง (sieve) ขนาด 80 mesh บรรจุแป้งกล้วยในถุงพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน(PP) ที่อุณหภูมิห้องและพ้นแสง จากนั้นนำตัวอย่างแป้งกล้วยมาวัดสีด้วยเครื่องโครมามิเตอร์แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณค่าดัชนีความขาว (Whiteness index) และคำนวณเปอร์เซ็นต์ผลได้ (% yield) จากน้ำหนักเนื้อกล้วย

$$\text{ดัชนีความขาว (Whiteness index)} = 100 - \sqrt{(100-L)^2 + a^2 + b^2}$$

เมื่อ L = ค่าความสว่าง

a = ค่าความเป็นสีแดง

b = ค่าความเป็นสีเหลือง

$$\text{เปอร์เซ็นต์ผลได้ (\% yield)} = \frac{\text{น้ำหนักแป้งกล้วยที่ได้}}{\text{น้ำหนักเนื้อกล้วย}} \times 100$$

3.6.2 การเตรียมสตาร์ชจากแป้งกล้วย (Starch isolation method) (Nimsung *et al.*, 2005)

นำแป้งกล้วย (Banana flour) ที่เตรียมได้จากข้อ 3.6.1 มา 200 กรัมเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.05 นอร์มอล ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร กวนผสม ที่ความเร็วรอบ 500 rpm เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จากนั้น นำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3000×g เป็นเวลา 20 นาทีที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ขูดเอาตะกอนสีดำด้านบนออกแล้วเติมน้ำกลั่น 2 เท่าของตะกอนที่ได้ ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน จากนั้นนำตะกอนที่ได้มาผ่านตะแกรง แล้วล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น 2-3 ครั้ง หรือ จนได้ตะกอนสีขาวแล้ว นำไปปรับค่าพีเอชให้อยู่ระหว่าง 6.5-7.0 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกแล้วแยกตะกอนโดยหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3000×g เป็นเวลา 25 นาทีที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จากนั้น นำตะกอนที่ได้อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จากนั้น นำตะกอนที่ได้มาบดให้ละเอียดผ่านตะแกรงขนาด 100 เมส เก็บตัวอย่างสตาร์ชที่ได้มาคำนวณค่าดัชนีความขาว (Whiteness index) และคำนวณเปอร์เซ็นต์ผลได้ของสตาร์ช (% yield) จากแป้งกล้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.3 การผลิต Resistant starch จากกล้วย (Gonzalez-Soto *et al.*, 2006)

3.6.3.1 การย่อยกิ่งอะไมโลเพกทิน (Debranching)

นำสตาร์ชที่เตรียมได้จากข้อ 3.6.2 มาละลาย 25 กรัมในอะซิเตทบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ pH 5.2 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ทำให้สตาร์ชเจลาติไนซ์(Gelatinized) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำไปAutoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วเติมอะซิเตทบัฟเฟอร์ปริมาตร 125 มิลลิลิตรเพื่อให้มีความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ จากนั้น ลดอุณหภูมิให้เหลือ 50 องศาเซลเซียส แล้วเติมเอนไซม์Pullulanase (activity = 1350NPUN/g) ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร จากนั้นบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไป Autoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

3.6.3.2 รีโทรกราเดชัน (Retrogradation)

นำตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อ 3.6.3.1 ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปทำแห้งโดยวิธีไลโอฟิไลซ์ (Lyophilization) แล้วจึงนำสตาร์ชที่ได้มาหาปริมาณ Resistant starch

3.6.3.3 การวิเคราะห์ปริมาณ Resistant starch (Goni *et al.*, 1996)

ชั่งแป้งกล้วย 0.1 กรัม ในหลอดขนาด 50 มิลลิลิตรแล้วเติม KCl-HCl buffer pH 1.5 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และสารละลายเปปซินปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร บ่มที่40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วเติม 0.1 โมลาร์Tris-maleate buffer pH 6.9 ปริมาตร 9 มิลลิลิตร จากนั้น เติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส(activity = 22 mg protein/ml) ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร บ่มที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง แล้วแยกตะกอนที่เหลือโดยการหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3000×g เป็นเวลา 15 นาที ล้างตะกอนที่ได้ด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นนำตะกอนมาละลายใน 2 โมลาร์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เขย่า (shaker) ด้วยความเร็วรอบ 100 rpm ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที แล้วเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 2 โมลาร์ ปริมาตร 5.5 มิลลิลิตร และเติม 0.4 โมลาร์sodium acetate buffer pH 4.75 ปริมาตร 3 มิลลิลิตร จากนั้น เติมเอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส (amyloglucosidase) (activity = 44unit/mg protien) ปริมาตร 80ไมโครลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที แล้วหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3000×g เป็นเวลา 15 นาที เก็บส่วนใสใส่ขวดปรับปริมาตรจากนั้นล้างตะกอนที่เหลือด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร แยกเอาส่วนใสมารวมกันและปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณกลูโคส

ทำการวิเคราะห์ปริมาณกลูโคสโดยปิเปตตัวอย่าง ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายเอนไซม์ GOD-PAP ปริมาตร 2 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตโฟรโตมิตริก(Spectophotometric) ที่ความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยาวคลื่น 500 นาโนเมตร และ คำนวณปริมาณ Resistant starch จากความเข้มข้นของกลูโคสที่คำนวณได้ โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายกลูโคสที่คำนวณได้

3.6.4 การศึกษาคุณสมบัติพรีไบโอติกของแป้งกล้วย (Schmiedl *et al.*, 1999)

นำอุจจาระเด็กทารกแรกเกิดมา 5 กรัม ผสมในโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร นำไปตีป่น (Stomacher) เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นปิเปตมา 1 มิลลิลิตร เติมลงในอาหาร Basal medium ที่มี RS จากกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ บ่มที่สภาวะไร้อากาศใน Anaerobic jar ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง วิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตที่เจริญบนอาหาร MRS agar + Cysteine HCl ซึ่งมีความจำเพาะ (selective) ต่อแบคทีเรียในกลุ่มบิฟีโดแบคทีเรียและแบคทีเรียแลกติก และนำโคโลนีแบคทีเรียที่ได้มาทดสอบคุณสมบัติดังนี้

3.6.4.1 การติดสีแกรม

สเมียร์โคโลนีบนสไลด์ Fix เชื้อโดยผ่านสไลด์บนเปลวไฟอ่อนๆ 2-3 ครั้ง แล้วหยดคริสตัล ไวโอเลตลงบนรอยสเมียร์ ให้ท่วม ทิ้งไว้ 1 นาที เทคริสตัลไวโอเลตทิ้งไป ล้างสีออกด้วยน้ำสะอาด หยดแกรมไอโอดีนลงบนรอยสเมียร์ให้ท่วม ทิ้งไว้ 1 นาที หยดแอลกอฮอล์ 95 % ลงบนรอยสเมียร์ ทิ้งไว้ 15 วินาที ล้างออกด้วยน้ำไหลเบาๆ หยดซัลฟานินโอ ลงบนรอยสเมียร์ ทิ้งไว้ 1 นาที ล้างสีออกด้วยน้ำ ปล่อยให้สไลด์แห้ง นำไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์

3.6.4.2 การสร้างเอนไซม์คะตะเลส

นำเข็มเขี่ยเชื้อลนไฟแล้วนำไปเขี่ยเชื้อแบคทีเรียที่จะทดสอบที่มีอายุประมาณ 24 ชั่วโมง วางบนสไลด์ที่สะอาด หยดสารละลาย Hydrogen peroxide 3% 1-2 หยด ให้ท่วมเชื้อ สังเกตการเปลี่ยนแปลงภายใน 30 วินาที หากเกิดเป็นฟองก๊าซแสดงว่าผลการทดลองเป็นบวก กล่าวคือ แบคทีเรียสามารถสร้างเอนไซม์คะตะเลสได้

3.6.4.3 การสร้างเอนไซม์ Oxidase

หยดสารละลาย Tetramethyl paraphenyl diamine dihydrochloride (1%) 2-3 หยด ลงบนกระดาษกรอง (Whatman No.1) แล้วเขี่ยเชื้อแบคทีเรียที่จะทดสอบที่มีอายุประมาณ 24 ชั่วโมง ขีดลงบนกระดาษกรองให้เป็นเส้นยาวประมาณ 3 เซนติเมตร สังเกตการเปลี่ยนแปลงภายใน 30 วินาที หากเกิดเส้นสีม่วงตามรอยที่ขีดไว้แสดงว่าผลการทดลองเป็นบวก กล่าวคือ แบคทีเรียสามารถสร้างเอนไซม์ Oxidase ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Statistical Package for the Social Science (SPSS) version 11.5 โดยวางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี One way anova ที่ระดับความเชื่อมั่น ($P \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ศึกษาการเตรียม Resistant starch จากกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทอง

จากตารางที่ 4.1 พบว่า ผลได้ของแป้งกล้วยน้ำว้าและแป้งกล้วยหอมทองมีค่าเท่ากับ 35.93 และ 27.69 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเนื้อกล้วย ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองของ Seymour (1993) พบว่า กล้วยแก่ที่ยังไม่สุกจะมีแป้งประมาณ 20-25 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเนื้อกล้วย เมื่อกล้วยเริ่มสุกแป้งจะถูกย่อยสลายและเกิดเป็นน้ำตาล และจากผลการทดลองของ Nimsung *et al.* (2005) พบว่ากล้วยที่ดิบที่ระดับความแก่ 70 เปอร์เซ็นต์ ให้ปริมาณผลผลิตแป้งกล้วยน้ำว้าเท่ากับ 31.12 และปริมาณผลผลิตแป้งกล้วยหอมทองเท่ากับ 29.15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะเห็นว่าปริมาณแป้งกล้วยที่ได้ขึ้นอยู่กับระดับความแก่ของกล้วย เนื่องจากแป้งเป็นองค์ประกอบที่พบปริมาณสูงในกล้วยดิบ เมื่อกล้วยเริ่มสุกแป้งจะถูกย่อยสลายและเกิดเป็นน้ำตาล และเมื่อทำการสกัดสตาร์ชจากแป้งกล้วย พบว่าผลได้ของสตาร์ชกล้วยน้ำว้ามีค่าเท่ากับ 15.76 และสตาร์ชกล้วยหอมทองมีค่าเท่ากับ 17.41 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้งกล้วย

จากตารางที่ 4.2 แสดงค่าดัชนีความขาว (Whiteness index) ของแป้งกล้วยและสตาร์ชจากกล้วย พบว่าทั้งแป้งกล้วยน้ำว้าและแป้งกล้วยหอมทองมีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาวนวล เมื่อมองด้วยตาเปล่าจะไม่เห็นความแตกต่าง ส่วนสตาร์ชที่สกัดได้จากแป้งกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองมีลักษณะเป็นผงสีขาว เมื่อมองด้วยตาเปล่าไม่เห็นความแตกต่างเช่นกัน และเมื่อนำมาวัดค่าสีโดยใช้เครื่องโครมาทิเตอร์ซึ่งแสดงผลในรูปของค่าความสว่าง (L) ค่าความเป็นสีแดง (a) และค่าความเป็นสีเหลือง (b) พบว่า สตาร์ชจากกล้วยมีค่าดัชนีความขาว (Whiteness index) ประมาณ 96 ซึ่งสูงกว่าค่าดัชนีความขาวของแป้งกล้วยซึ่งมีค่าประมาณ 83-84 แสดงว่าสตาร์ชที่ได้มีความขาวมากกว่าแป้ง ทั้งนี้เนื่องจากในขั้นตอนการสกัดสตาร์ชจากแป้งกล้วยโดยใช้ด่างส่งผลให้โปรตีนและไขมันในแป้งกล้วยถูกแยกออกไปทำให้สตาร์ชที่ได้มีความบริสุทธิ์มากกว่าแป้ง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Lii *et al.* (1981) ที่พบว่าค่าดัชนีความขาว (Whiteness index) ของแป้งกล้วยขาวน้อยกว่าสตาร์ชจากกล้วย และ จากผลการทดลองของ Nimsung *et al.* (2005) ที่พบว่า ค่าดัชนีความขาว (Whiteness index) ของสตาร์ชจากกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองมีค่าประมาณ 98 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ค่าผลได้ (% yield) และเปอร์เซ็นต์ความชื้นของแป้งและสตาร์ชจากกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทอง

ชนิด		ค่าผลได้ (%yield)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น*
Flour	กล้วยน้ำว้า	35.93	7.78±0.07[a]
	กล้วยหอมทอง	27.69	7.96±0.08[b]
Starch	กล้วยน้ำว้า	15.76	9.23±0.65[c]
	กล้วยหอมทอง	17.41	9.08±0.14[c]

* ค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ

หมายเหตุ : ตัวอักษร a b c ที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

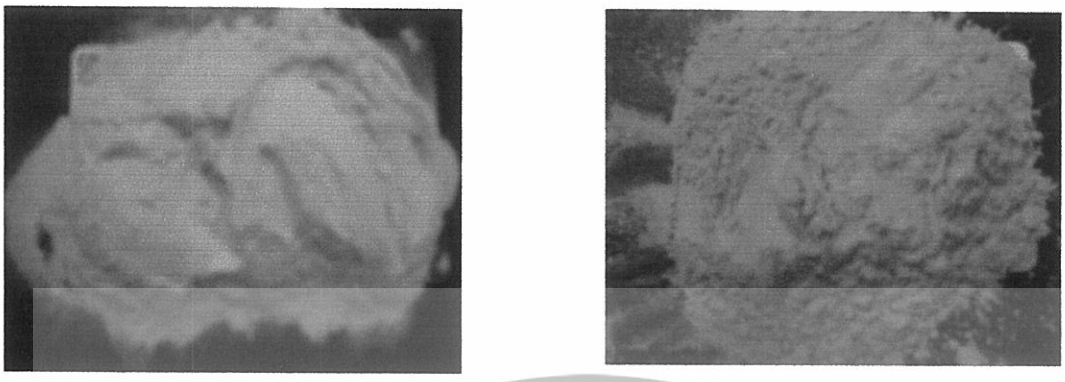
ตารางที่ 4.2 ค่าดัชนีความขาว (Whiteness index) ของแป้งและสตาร์ชจากกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทอง

ชนิด		L	a	b	Whiteness Index*
Flour	กล้วยน้ำว้า	96.50	+0.23	+2.58	84.52±0.36[a]
	กล้วยหอมทอง	96.28	+0.38	+2.66	83.42±0.15[a]
Starch	กล้วยน้ำว้า	97.30	+0.44	+2.82	96.12±0.14[b]
	กล้วยหอมทอง	97.32	+0.10	+2.37	96.36±0.14[b]

* ค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง 5 ซ้ำ

หมายเหตุ: ตัวอักษร a b ที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(A) (B)

ภาพที่ 4.1 ลักษณะของแป้งกล้วยน้ำว้า (A) และแป้งกล้วยหอมทอง (B)

(A) (B)

ภาพที่ 4.2 ลักษณะของสตาร์ชกล้วยน้ำว้า(A) และแป้งกล้วยหอมทอง (B)

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสในแป้งกล้วยดิบ พบว่า แป้งกล้วยหอมทองมีปริมาณอะไมโลสสูงกว่าในแป้งกล้วยน้ำว้าเล็กน้อยซึ่งมีค่าเท่ากับ 20.20 และ 18.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Seymour (1993) ที่พบว่าแป้งกล้วยมีปริมาณอะไมโลส 16 เปอร์เซ็นต์ และจากผลการทดลองของ Mota *et al.* (2000) ที่พบว่าแป้งกล้วยมีปริมาณอะไมโลส 19-23 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำแป้งกล้วยทั้งสองชนิดไปผลิตเป็น Resistant starch (RS_3) โดยผ่านขั้นตอนการย่อยกึ่งอะไมโล-เพกทินเพื่อเพิ่มปริมาณอะไมโลสโดยใช้เอนไซม์ pullulanase และผ่านขั้นตอนรีโทรกราเดชัน (Retrogradation) ที่ 4 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง พบว่า ปริมาณ Resistant starch ในสตาร์ชที่ผลิตจากแป้งกล้วยน้ำว้ามีค่าสูงกว่าในสตาร์ชจากแป้งกล้วยหอมทองซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.24 และ 4.32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และยังพบว่ามีค่าสูงกว่า RS ทางการค้า (High amylose corn starch) อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ปริมาณอะไมโลสของแป้งกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทอง

ตัวอย่าง	ปริมาณอะไมโลส(%)
แป้งกล้วยน้ำว้า	18.44
แป้งหอมทอง	20.20

ตารางที่ 4.4 ปริมาณ Resistant Starch ในสตาร์ชที่ผลิตจากกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทอง

ตัวอย่าง RS	% Resistant Starch (%)
กล้วยน้ำว้า	6.24
กล้วยหอมทอง	4.32
ทางการค้า (High amylase corn starch)	3.48

(A) (B)

ภาพที่ 4.3 ลักษณะของ Resistant Starch (RS) ที่ผลิตจากกล้วยน้ำว้า (A) และกล้วยหอมทอง (B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ศึกษาคุณสมบัติพรีไบโอติกของสตาร์ชจากกล้วย

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติพรีไบโอติกของสตาร์ชจากกล้วย โดยทดสอบการเจริญของจุลินทรีย์ในกลุ่มแบคทีเรียแลกติกจากลำไส้ของมนุษย์ (*in vitro* study) เมื่อใช้ RS จากกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองเป็นแหล่งคาร์บอน พบว่า แบคทีเรียแลกติกเหล่านี้สามารถเจริญได้ดีในสภาวะที่มี RS จากกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองเป็นแหล่งคาร์บอนได้ดี โดยส่งผลให้มีการเพิ่มจำนวนเชื้อจากเริ่มต้น $<10^5$ cfu/ml เป็น 10^7 cfu/ml ในชั่วโมงที่ 24 (ตารางที่ 4.5) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับกรณีที่มีกลูโคสและ RS ทางการค้า เป็นแหล่งคาร์บอน โดยแบคทีเรียที่เจริญบนอาหาร MRS agar + Cysteine HCl มีลักษณะโคโลนีที่แตกต่างกัน 3 แบบ คือ โคโลนีแบบกลมเล็ก แบบกลมใหญ่ และแบบรี ซึ่งเมื่อนำไปทดสอบปฏิกิริยาการติดสีแกรม พบว่า ทั้งสามไอโซเลต เป็นแบคทีเรียแกรมบวก มีรูปร่างเซลล์เป็นแบบแท่ง และไม่สร้างเอนไซม์คะตะเลสและออกซิเดส จึงเป็นไปได้ว่าแบคทีเรียกลุ่มนี้อาจเป็นแบคทีเรียแลกติกและบิฟิโดแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในลำไส้ของมนุษย์

ตารางที่ 4.5 จำนวนเชื้อแบคทีเรียแลกติกที่เจริญในอาหารที่มี RS จากกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองเป็นแหล่งคาร์บอน

แหล่งคาร์บอน	จำนวนโคโลนีบนอาหาร MRS agar +Cysteine HCl (cfu/ml)		
	ชั่วโมงที่ 0	ชั่วโมงที่ 5	ชั่วโมงที่ 24
RS-กล้วยน้ำว้า	$<10^5$	$<3\times10^6$	1.13×10^7
RS-กล้วยหอมทอง	$<10^5$	$<3\times10^6$	1.45×10^7
RS-ทางการค้า	$<10^5$	$<10^5$	7.0×10^6
กลูโคส	$<10^5$	$<3\times10^6$	1.97×10^7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

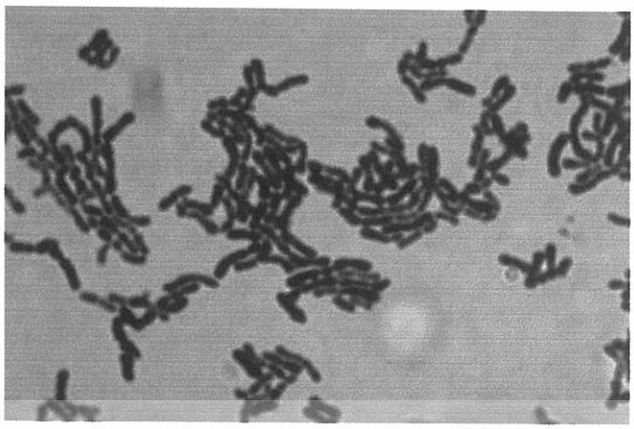
ภาพที่ 4.4 ลักษณะการเจริญของโคโลนีแต่ละชนิดบนอาหาร MRS agar + Cysteine HCl

(A) โคโลนีแบบกลมใหญ่

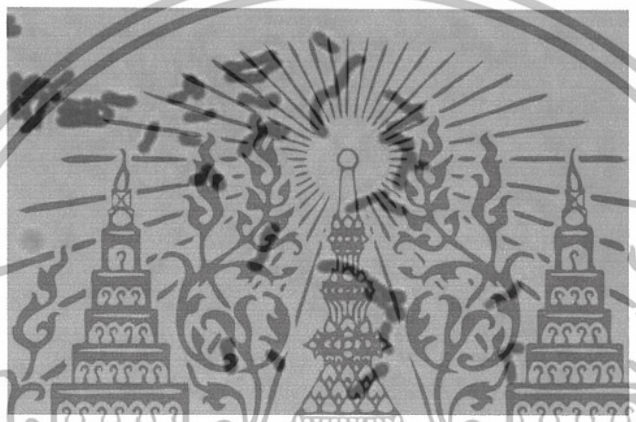
(B) โคโลนีแบบกลมเล็ก

(C) โคโลนีแบบรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(A)



(B)

(C)

ภาพที่ 4.5 ลักษณะรูปร่างเซลล์และการติดสีแกรมบวกของกลุ่มแบคทีเรียแลกติกในลำไส้ที่ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ 1,000 เท่า

(A) โคโลนีแบบกลมใหญ่

(B) โคโลนีแบบกลมเล็ก

(C) โคโลนีแบบรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

1) ผลได้ (%yield) ของแป้งกล้วยน้ำว้าและแป้งกล้วยหอมทองที่เตรียมได้มีค่าเท่ากับร้อยละ 35.93 และ 27.69 ของน้ำหนักเนื้อกล้วย ตามลำดับ และเมื่อนำไปสกัดเป็นสตาร์ชพบว่าผลได้ของสตาร์ชมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 15.76 และ 17.41 ของน้ำหนักแป้ง ตามลำดับ

2)แป้งกล้วยน้ำว้าและแป้งกล้วยหอมทองมีสีขาวนวล ซึ่งแสดงเป็นค่าดัชนีความขาว (Whiteness index) เท่ากับ 84.52 และ 83.42 ตามลำดับ ส่วนสตาร์ชกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทอง มีสีขาวกว่าแป้งซึ่งแสดงเป็นค่าดัชนีความขาว (Whiteness index) เท่ากับ 96.12 และ 96.36 ตามลำดับ

3) แป้งกล้วยหอมทองมีปริมาณอะไมโลสสูงกว่าแป้งกล้วยน้ำว้าเล็กน้อย โดยแป้งกล้วยหอมทองและแป้งกล้วยน้ำว้ามีปริมาณอะไมโลส เท่ากับ ร้อยละ 20.20 และ 18.44 ตามลำดับ และ เมื่อนำมาผลิตเป็น Resistant Starch (RS_3) โดยผ่านขั้นตอนการย่อยกิ่งอะไมโลเพกทิน (Debranching) และ รีโทรกราเดชัน (Retrogradation) พบว่า สตาร์ชจากกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองมีปริมาณ RS เท่ากับ ร้อยละ 6.24 และ 4.32 ตามลำดับ

4) Resistant Starch ที่ผลิตจากกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองสามารถสนับสนุนการเจริญของจุลินทรีย์ในกลุ่มแบคทีเรียแลกติกจากลำไส้มนุษย์โดยพบว่าสามารถเจริญได้ในสภาวะที่มี RS ที่ผลิตจากกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองเป็นแหล่งคาร์บอนได้ดีและมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับกลูโคส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะ

1) การนำกล้วยดิบมาแปรรูปเป็นแป้งกล้วยควรตรวจสอบระยะความแก่ของกล้วยดิบเนื่องจากระยะความแก่มีผลต่อปริมาณความชื้น เปอร์เซ็นต์ผลผลิต และปริมาณอะไมโลส

2) ควรเปรียบเทียบปริมาณ RS ที่เตรียมได้โดยวิธีอื่นๆด้วย

3) ในการวิเคราะห์คุณสมบัติพรีไบโอติกของ Resistant Starch ที่ผลิตจากกล้วย ควรศึกษาผลของ RS ต่อการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มที่ก่อให้เกิดโรคในลำไส้มนุษย์ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรุณา วงษ์กระจ่าง, มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์, ลัดดา แสงเดือน, สุมตรา บุญบำรุง และ พยอม อัตถวิบูลย์. 2539. สรุปผลการดำเนินการวิจัย โครงการวิจัยทุนอุดหนุนวิจัย มก. ประเภท ข. ประจำปี 2537 และ 2538. กรุงเทพฯ:สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.เอกสารประกอบการสัมมนา.

กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ.2546. **เทคโนโลยีของแป้ง**. พิมพ์ครั้งที่ 3 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 303 หน้า

กล้าณรงค์ ศรีรอด และสิทธิโชค วัลลภาทิตย์.2539. **แป้งดัดแปร.** อุตสาหกรรมเกษตร.7(1):51-57

ดวงแก้ว ศรีลักษณ์.2544. **มหัศจรรย์พันธุ์ในไทย**. พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์แสงแดดเพื่อนเด็ก;120 หน้า

คนัย บุณยเกียรติ และ นิธิยา รัตนาปนนท์.2533. **วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้เศรษฐกิจ. เชียงใหม่**: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เบญจมาศ ศิลาย้อย.2538. **กล้วย**. พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์กำแพงแสน.

เบญจมาศ ศิลาย้อย.2545. **กล้วย**. พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,357 หน้า

ปิ่นมณี ขวัญเมือง.2548. **ฟังชั่นนัลฟู้ดส์ อาหารเพื่อสุขภาพ.** วารสารครุศาสตร์อุตสาหกรรม ป.4 ฉ.2 : เม.ย.-ก.ย.

วารุณี ประดิษฐ์ศรีกุล.2548. **จุลินทรีย์เพื่อชีวิต: โปรไบโอติกส์.** วารสารอาหาร. 35(4):249-257.

วิรัชภรณ์ ลิงคะสาร และ ศกลวรรณ จงสงวนดี.2546. **Resistant starch.** สัมมนาปริญญาตรี, โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วิไลลักษณ์ รัตอาภา และคณะ.2532. **การศึกษาคุณค่าทางอาหารของกล้วยในกลุ่ม ABB บางชนิด** วารสารอาหาร.19(4):247-256.

ชูจิตร สมบัติพานิช.2503. **การวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของกล้วยบางชนิด.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.กรุงเทพฯ.

เฉลิมขวัญ ดำคำ และ มัลลิกา ชมนาวัง.2548. **Prebiotics คืออะไร.** วารสารอาหาร.35(2):96-100

ชลธิรา บุญเรืองยา. 2545. **การศึกษาอายุการเก็บรักษาแป้งกล้วย.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ญาณิศา รัตอาภา, วิภา สุโรจนะเมธากุล, มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์, ตวิษา โลหะนะ, ไพลิน ผู้พัฒน์ และ วารุณี ประดิษฐ์ศรีกุล.2536. การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากแป้งกล้วย. วารสารอาหาร. 23(3): 197-208.

เดช วัฒนชัยยิ่งเจริญ. 2542. **กล้วยไทยสู่ปี 2002**. กรุงเทพฯ:กรมส่งเสริมการเกษตร. เอกสารประกอบการสัมมนา.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิธิยา รัตนปนนท์.2545. **เคมีอาหาร.** กรุงเทพฯ :โอเดียนสโตร์

พัชรี เนตรน้อย.2538. **การผลิตแป้งก๋วยเตี๋ยว.** ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สายชล เกตุษา.2528. **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้.** กรุงเทพฯ: สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สายฝน โมราถบ.2546. **การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตแป้งกล้วยพรีเจลลาติไนซ์ด้วยเทคนิคไมโครเวฟ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สิทธิชัย ประสานวงศ์.2545. **จุลินทรีย์พรีไบโอติก.** LAB TODAY. Vol.1 No 4 May - June 2002 ISSN 1513-944 : 39-40

สุดาทิพย์ อินทร์ชื่น.2545. **การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกล้วย.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สุมณฑา วัฒนสินธุ์.2545. **จุลชีววิทยาทางอาหาร.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

สุเรนทร์ เตชธรรมานนท์ และ จีรศักดิ์ วรพงศธร.2547. **การพัฒนากระบวนการผลิตแป้งกล้วย.** ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

AOAC.(1995). **Official Method of Analysis.** 16 th ed. Virginia:The Assoiation of Analysis Chemist.

Asp, N. and Bjorck, I.(1992). Trends in Food Science & Technology. 3:111-114.

Baghurst, P.A., Baghurst, K.I., and Record, S. J.(1996).**Dietary fiber, non-starch Polysaccharides and resistant starch-a review.** *Food Australia.* 48(3):S3.

Bello-Perez, L.A., Agama-Acebedo, E., Sanchez-Hernandez, L. and Perdes-Lopez, O.(1999). **Isolation and Partial Characterization of Banana Starch.** *J. Agr. Food Chem.* 47:854-857.

Bello-Perez, L.A., Agama-Acebedo, E., Sayago-Ayerdi, S.G. and Moreno-Damian, E.(2000). **Some structural, physicochemical and functional studies of banana isolated from two varieties growing in Guerrero, Mexico.** *Starch/Starke*, 52,68-73.

BeMiller, J.N.(1997). **Starch modification:challenges and prospects.** *Starch/Starke.* 49:127-131.

Beynum, G.M.A. van, and Roels, J.A.(1985). **Starch Conversion Technology.** Marcel Dekker, Inc., New York. 326 p.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chen, J., and J. Jane.(1994). **Preparation of granular cold-water-soluble starches by alcoholic-alkaline treatment**. *Cereal Chem.* 71(6):618-622.

Chiang, B.H., Chu, W. C., and Chu, C.L.(1987). **A pilot scale study for banana starch production.** *Starch/Staerke,* 39,5-8.

Chiu , C. W., Henley, M., and Altieri, P.(1994). **Process for making amylase resistant starch from high amylase starch.** *U.S. patent No. 5,281,276*, January. 12 pages.

Collier, J.(2004). *Lactobacillus acido philus* [online]. Available: http://www.cellscience.com/Reviews1/Importance_of_Probiotics_and_Prebiotics_to_Health.html (28 August 2006)

Crowther, P.C.(1979). **The Processing of Banana Products for Food Use.** *London:Tropic Products Institute.*

Croghan, M.(2004). **Resistant Starch a better for you carbohydrate.** *Proceedings for Food Ingreadients Asia Conference :Consumer awareness on Healthy and functional ingredients.* September 16-17 . Bangkok.

Delcour, J.A. and Eerlingen, R.C.(1996). **Analytical implications of the classification of resistant starch as dietary fiber.** *Cereal Foods World.* 41(2):85-86.

Eerlingen, R.C., Crombez, M. and Delour, J.A.(1993). **Enzyme-resistant starch. I. Quanitiative and qualitative influence of incubation time and temperature of autoclaved starch on resistant starch formation.** *Cereal Chem.* 70(3):339-344.

Eerlingen, R.C.(1994). **Cereal Chem.** 71(5):472-476.

Englyst, H., Kingman, S.M., and Cummings, J.H.(1992). **Classification and Measurement of nutritionally important starch fractions.** *Europeun Journal of Clinical Nutrition,* 46(2):33-50.

Fook, L. J., Fuller, R. and Gibson, G.R.(1999). **Prebiotics, Probiotics and human gut microbiology.** *International Dairy Journal.* 9:53-61.

Fichtali, J., Owusu-Ansah, Y. J., & Chang, P.(1999). **Manufacture of starch from green, unpeeled bananas.** *US Patent 5,855,688.* 4 pp.

Gallard, T., and Bowler, P.(1987). **Morphology and composition of starch.** *In* T. Gailliard(Ed.). Starch:Properties and Potential. John Wiley and Sons., New York.

Goni, I., Garcia-Diz, L., Manas, E., and Saura-Calixto, F.(1996). **Analysis of resistant starch : a method for foods products.** *Food Chemistry.* 56:445-449.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Gonzalez-Soto, R.A., Mora-Escobedo, R., Hernandez-Sanchez, H., Sanchez-Rivera, M., and Bello-Perez, L.A.,(2006). **The influence of time and storage temperature on resistant starch formation from autoclaved debranched banana starch.** *Food Research International.*1-7

Gibson G.R., Berry O.P. and Rastall R.A.(2000). **Prebiotics:New developments in functional foods.** *Oxford:Chandos Publishing Limited.*

Heiss, R.(1985). **Shelf Life Determinations.** *Mod. Packag.* 31(8):119.

Hidaka, H., Eida, T., Takizawa, T., Tokunaga, T. and Tashiro, Y.(1986). **Effects of fructo-oligosaccharides on human faecal flora.** *Microbial Ecology in Health and Disease* 3, 293-303.

Juliano, B.O.(1971). **A Simplified Assay for Milled-Rice Amylose.** Cereal Science Today, 6(10):334-338, 340, 360.

Kayisu, K., Hood, L.F., & Vansoest, P.J.(1981). **Characterization of starch and fiber of banana fruit.** *Journal of Food Science*, 46, 1885-1890.

Ketiku, A.O.(1973).**Chemical composition of unripe and ripe plantain (Musa paradisciaca).** *J.Sci Food Agri.* 24:703-707.

Kotecha, P.M. and Desai, B.B.(1995). Hand book of Fruit Science and Technology : Production , Composition, Storage and Processing :Banana. New York. Marcel Dekker,Inc.

Lii, C.Y., Chang, S.M. and Young, Y. L.(1982). **Investigation of the physical and chemical properties of banana starches.** *Journal of Food Science*, 47, 1493-1497.

Light, J.M. (1990). **Modified food starches:why, what, where, and how.** *Cereal Foods World.* 35(11):1081-1092.

Mota, R.V., Franco, M.L., Cesar, C. And Beatriz, R.C.(2000).**Composition and functional properties of banana flour from different varieties.** *Starch/Starke.*25 :35-47.

Mossel, D.A.A.(1958). **The suitability of Bifidobacteria as part of a more extended bacteria association, including faecal contamination of foods.** In : *Proceedings of the 7th international Congress on microbiology*, Abstarcts of papers, 440-441. Uppsala: Almquist & Wikesells.

Mircea, E. D.(1995). **Fruit and Vegetable Processing.** Rome:Food and Agriculture Organization of the United Nation.

Muyonga, J.H.(2002). **Predehydration steaming changes physicochemical properties of unripe banana flour.** *J Food Proc. Preserv.* 25:25-47.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Nakasone, H.Y.,and Paull, R.E.(1998). **Tropical Fruits.** *London:Biddles Ltd.*

Nimsung, P., Thongngam, M., and Naivikul, O.(2005). **Some Properties of Raw Banana Flour and Starch from Thai Banana cultivars.** Proceedings Starch Update 2005:The 3rd Conference on Starch Technology.

Olano-Martin, E., Mountzouris, K.C., Gibson, G.R. and Rastall, R.A.(2000). **In vitro fermentability of dextran, oligodextran and maltodextrin by human gut bacteria.** *British Journal of Nutrition* 83,247-255.

Olano-Martin, E., Gibson, G.R. and Rastall, R.A.(2002). **Comparison of the in vitro bifidogenic properties of pectins and pectic-oligosaccharides.** *Journal of Applied Microbiology* , 93,505-511.

Reinert, B.(2002). *Bifidobacterium longum* [online]. Available: www.genomenewsnetwork.org/.../10_02/bifido.shtml(28 August 2006)

Rycroft, C.E., Jones, M.R., Gibson, G.R. and Rastall, R.A.(2001). **A comparative in vitro evalution of the fermentation properties of prebiotic oligosaccharides.** *Journal of Applied Microbiology*, 91,878-887.

Sair, L.(1964). **Heat-moisture treatment of starches.** pp. 283-285. *In* R.L. Whistler, R.J. Smith, and J.N. BeMiller (Eds.). Methods in Carbohydrate Chemistry Vol. IV:Starch. Academic Press Inc., New York.

Schmiedl. D., Bauerlein, M., Bengs, H. and Jacobasch, G.(1999). **Production of heat-stable, butyrogenic resistant starch.** *Carbohydrate Polymers*. 43 : 183-193.

Seymor, G. Taylor, J. And Tucker, G.(1993). **Biochemistry of Fruits Ripening** London :Chapman-Hall, Inc.

Swinkels, J. J. M.(1985). **Sources of starch, its chemistry and physics.** *In* G.M.A. van Beynum, and J.A. Roels (Eds.). Starch Cenversion Technology. Marcel Dekker, Inc., New York. pp.15-45.

Tissier, H. 1908. **Recherches sur la flore intestinale normale des enfants agés d'un an à cinq ans.** Ann. *Inst.* Pasteur 22 :189-208

Wasowska-Krolikowska.(2001). **Composition and significance of gastrointestinal tract bacterial flora and antibiotic therapy.** Case Rap Clin Pract Rev. 2(2) : 163-167

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Whistler, R.L., and Deniel, J.R.(1984). **Molecular structure of starch**. pp. 153-178. *In* R.L. Whistler, J.N. BeMiller, and E.F. Paschall (Eds.). Starch:Chemistry and Technology. 2nd Ed. Academic Press, Inc., Florida.

Whistler, R. L.(1998). **Banana starch production**. *US patent 5797985*,2 p.

Wursch, P.(1999). **Resistant Starch**, pp. 385-394. *In* S.S. Cho, P. Prosky and M. Dreher, eds. Complex Carbohydrates in Foods. Marcel Dekker, Inc. New York.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบของแป้งกล้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก1. การหาปริมาณความชื้น (AOAC, 1995)

วิธีการวิเคราะห์

1) นำAluminium can อบที่อุณหภูมิ 130±3 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมง
2) ชั่งตัวอย่างมา 3 กรัม ใส่ใน Aluminium can ที่มีฝาปิด
3) นำไปอบใน Hot air oven ที่อุณหภูมิ 130±3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
4) ปิดฝาและทิ้งให้เย็นใน Desiccator
5) ชั่งน้ำหนัก
6) คำนวณหาปริมาณความชื้น โดยใช้สูตร

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

ก2. การหาปริมาณอะไมโลส (Juliano, 1971)

สารเคมี

1) เอทิลแอลกอฮอล์เข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์
2) เมทานอลเข้มข้น 85 เปอร์เซ็นต์
3) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 นอร์มอล
4) สารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น1 นอร์มอล
5) Potato amylase (pure)
6) สารละลายไอโอดีน (ไอโอดีน 2 กรัม + โพแทสเซียมไอโอไดด์ 20 กรัม ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้เป็น 1000 มิลลิลิตร)

วิธีวิเคราะห์

การสร้างกราฟมาตรฐานของอะไมโลส

1. ชั่ง potato amylose (pure) 0.04 กรัม ใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. เติมเอทิลแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ 1 มิลลิลิตร แล้วเขย่าผสมให้เข้ากัน
3. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 นอร์มอล 9 มิลลิลิตร
4. นำไปต้มใน water bath เป็นเวลา 10 นาที ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น
5. ตั้งสารละลายมาตรฐาน ที่ได้ไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
6. ปิเปตสารละลายมาตรฐาน จำนวน1,2,3,4 และ 5 มิลลิลิตร ลงใน Volumetric flask 100 มิลลิลิตร
7. เติมสารละลายกรดอะซิตริกเข้มข้น 1 นอร์มอล 0.2,0.4 ,0.6,0.8 และ 1.0 มิลลิลิตร ลงใน Volumetric flask ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. เติมสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร
9. ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น
10. วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร
11. วาดกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของอะไมโลส (0,8,16,24,32 และ 40 เปอร์เซ็นต์) และค่าการดูดกลืนแสง

การวิเคราะห์ตัวอย่าง

1. ชั่งตัวอย่างที่สกัดไขมันออกแล้ว 0.1 กรัม ลงใน Volumetric flask 100 มิลลิลิตร
2. เติมเอทิลแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ 1 มิลลิลิตร เขย่าผสมให้เข้ากัน
3. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 นอร์มอล ประมาณ 9 มิลลิลิตร
4. ต้มใน water bath เป็นเวลา 10 นาที ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น
5. ตั้งทิ้งไว้ ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
6. ปิเปตตัวอย่าง 5 มิลลิลิตร ลงใน Volumetric flask 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร
7. เติมสารละลายกรดอะซิติกที่มีความเข้มข้น 1 นอร์มอล จำนวน 1 มิลลิลิตร
7. เติมสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร
8. ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น
9. วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร
10. คิดเป็นเปอร์เซ็นต์อะไมโลส โดยเทียบจากกราฟมาตรฐาน

ก3. การหาค่าดัชนีความขาว (Nimsung *et al.*, 2005)

$$\text{Whiteness index} = 100 - \sqrt{(100-L)^2 + a^2 + b^2}$$

L = ค่าความสว่าง

a = ค่าความเป็นสีแดง

b = ค่าความเป็นสีเหลือง

ก4. เปอร์เซ็นต์ผลได้ (% yield) (Nimsung *et al.*, 2005)

$$\text{เปอร์เซ็นต์ผลได้ (\% yield)} = \frac{\text{น้ำหนักแป้งกล้วยที่ได้}}{\text{น้ำหนักเนื้อกล้วย}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
ค่าผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข1. ผลค่าดัชนีความขาวของกล้วย

ตาราง ข1. ผลค่าความขาวของตัวอย่างแป้งกล้วยน้ำว้า

ค่า L	ค่า a	ค่า b	Whiteness index
89.82	+0.54	+11.47	84.65
89.19	+0.83	+11.72	84.03
90.05	+0.61	+11.25	84.97
89.34	+0.81	+11.49	84.31
89.74	+0.68	+11.45	84.61

ตาราง ข2. ผลค่าความขาวของตัวอย่างแป้งกล้วยหอมทอง

ค่า L	ค่า a	ค่า b	Whiteness index
86.33	+0.81	+9.70	83.22
86.41	+0.84	+9.65	83.31
86.51	+0.80	+9.58	83.44
86.57	+0.78	+9.50	83.53
86.61	+0.76	+9.47	83.59

ตาราง ข3. ผลค่าความขาวของตัวอย่างสตาร์ชกล้วยน้ำว้า

ค่า L	ค่า a	ค่า b	Whiteness index
97.32	+0.46	+2.99	95.96
97.30	+0.44	+2.82	96.07
97.44	+0.42	+2.64	96.30
97.45	+0.43	+2.74	96.23
97.24	+0.45	+2.77	96.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข4. ผลค่าความขาวของตัวอย่างสตาร์ชกล้วยหอมทอง

ค่า L	ค่า a	ค่า b	Whiteness index
97.32	+0.10	+2.37	96.42
97.40	+0.05	+2.37	96.48
97.24	+0.07	+2.50	96.28
97.15	+0.15	+2.58	96.15
97.37	+0.11	+2.37	96.46

วิธีการคำนวณ

$$\text{Whiteness index} = 100 - \sqrt{(100-L)^2 + a^2 + b^2}$$

L = ค่าความสว่าง

a = ค่าความเป็นสีแดง

b = ค่าความเป็นสีเหลือง

ตัวอย่าง แป้ง กล้วยน้ำว้า ครั้งที่ 1

$$\text{Whiteness index} = 100 - \sqrt{(100-89.82)^2 + (0.54)^2 + (11.47)^2}$$

$$= 84.65$$

ข2. ผลการหาความชื้น

ตาราง ข5. ผลการหาความชื้นของตัวอย่างแป้งและสตาร์ช

ตัวอย่าง	น้ำหนักก่อนอบ			น้ำหนักหลังอบ			เปอร์เซ็นต์
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ความชื้น
แป้งกล้วยน้ำว้า	3.0014	3.0015	3.0017	2.7700	2.7682	2.7662	7.7760
แป้งกล้วยหอมทอง	3.0049	3.0042	3.0011	2.7642	2.7637	2.7651	7.9598
สตาร์ชกล้วยน้ำว้า	3.0020	3.0045	3.0001	2.7368	2.7375	2.7007	9.2335
สตาร์ชกล้วยหอมทอง	3.0037	3.0032	3.0009	2.7330	2.7329	2.7233	9.0877

วิธีการคำนวณ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}} \times 100$$

ตัวอย่าง แป้ง กล้วยน้ำว้า ครั้งที่ 1

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{3.0014 - 2.7700}{3.0014} \times 100$$

$$= 7.7097$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข3. เปอร์เซ็นต์ผลได้ (% yield)

ตาราง ข6. ผลได้ (% yield) ของแป้งและสตาร์ชจากกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทอง

ตัวอย่าง	น้ำหนักกล้วยดิบ (g)	น้ำหนักแป้ง (g)	ผลได้ (%yield)
แป้งกล้วยน้ำว้า	1,001	359.69	35.93
แป้งกล้วยหอมทอง	1,001	277.17	27.69
สตาร์ชกล้วยน้ำว้า	200 (flour)	31.52 (starch)	15.76
สตาร์ชกล้วยหอมทอง	200 (flour)	34.82 (starch)	17.41

วิธีการคำนวณ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ผลได้} = \frac{\text{น้ำหนักแป้งที่ได้}}{\text{น้ำหนักเนื้อกล้วย}} \times 100$$

ตัวอย่าง แป้งกล้วยน้ำว้า

$$\text{เปอร์เซ็นต์ผลได้} = \frac{359.69 \text{ (g)}}{1{,}001 \text{ (g)}} \times 100$$

$$= 35.93$$

ข4. ผลจำนวนเชื้อแบคทีเรียแลกติกที่เจริญในอาหารที่มี RS จากกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองเป็นแหล่งคาร์บอน

ตารางที่ ข7. ผลจำนวนเชื้อแบคทีเรียแลกติกที่เจริญในอาหารที่มี RS จากตัวอย่างในชั่วโมงที่ 0

ตัวอย่าง	ระดับความเจือจาง						
	จำนวนเชื้อที่ 10^{-5}		จำนวนเชื้อที่ 10^{-6}		จำนวนเชื้อที่ 10^{-7}		จำนวนเชื้อ Cfu/ml
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่2	
RS กล้วยน้ำว้า	0	0	0	0	0	0	$< 10^5$
RS กล้วยหอมทอง	0	0	0	0	0	0	$< 10^5$
RS ทางการค้า	0	0	0	0	0	0	$< 10^5$
กลูโคส	0	0	0	0	0	0	$< 10^5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข8. ผลจำนวนเชื้อแบคทีเรียแลกติกที่เจริญในอาหารที่มี RS จากตัวอย่างในชั่วโมงที่ 5

ตัวอย่าง	ระดับความเจือจาง						
	จำนวนเชื้อที่10^{-5}		จำนวนเชื้อที่10^{-6}		จำนวนเชื้อที่10^{-7}		จำนวนเชื้อ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่2	Cfu/ml
RS กล้วยน้ำว้า	3	5	0	0	0	0	$< 30\times10^5$
RS กล้วยหอมทอง	0	3	1	0	0	0	$< 30\times10^5$
RS ทางการค้า	0	0	0	0	0	0	$< 10^5$
กลูโคส	5	0	0	0	0	0	$< 30\times10^5$

ตารางที่ ข9. ผลจำนวนเชื้อแบคทีเรียแลกติกที่เจริญในอาหารที่มี RS จากตัวอย่างใน ชั่วโมงที่ 24

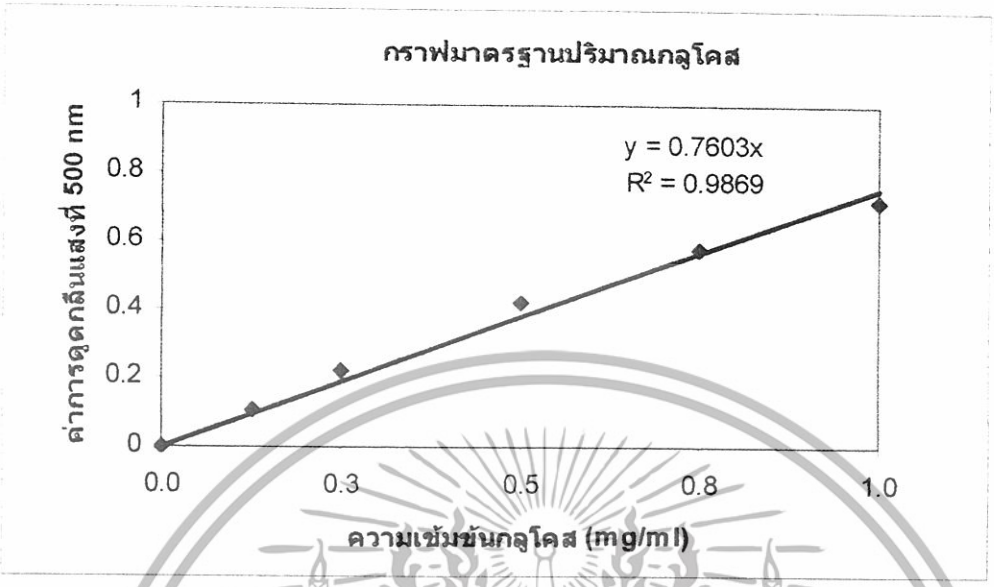
ตัวอย่าง	ระดับความเจือจาง						
	จำนวนเชื้อที่10^{-5}		จำนวนเชื้อที่10^{-6}		จำนวนเชื้อที่10^{-7}		จำนวนเชื้อ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่2	Cfu/ml
RS กล้วยน้ำว้า	97	129	20	46	5	7	1.13×10^7
RS กล้วยหอมทอง	64	226	29	19	6	8	1.45×10^7
RS ทางการค้า	84	56	29	3	200	0	7.0×10^6
กลูโคส	188	206	18	18	0	0	1.97×10^7

ข5. ผลการหาปริมาณ Resistant starch ในสตาร์ชที่ผลิตจากกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทอง

ตารางที่ ข10. กราฟมาตรฐานของกลูโคสโดยวิธี GOD-PAP

ความเข้มข้นกลูโคส (mg/ml)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 นาโนเมตร(nm)
0.125	0.109
0.25	0.225
0.50	0.425
0.75	0.580
1.00	0.720

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข1. กราฟมาตรฐานของกลูโคสโดยวิธี GOD-PAP

ตารางที่ ข11. ผลการทดลองหาปริมาณ Resistant starch

ตัวอย่าง	จำนวน	การดูดกลืนแสงที่ 500 nm
สตาร์ชกล้วยน้ำว้า	ครั้งที่ 1	0.0230
	ครั้งที่ 2	0.0220
	เฉลี่ย	0.0225
สตาร์ชกล้วยหอมทอง	ครั้งที่ 1	0.0230
	ครั้งที่ 2	0.0230
	เฉลี่ย	0.0230

วิธีการคำนวณ

จากกราฟ ได้ สมการ $y = 0.7603x$

ตัวอย่าง กล้วยหอมทอง $= 0.023/m$

จะได้ $= 0.0302512$

จะได้ 0.030 ใน 1 ml×200 = 6.0502433 mg ใน 0.1 g

ดังนั้น ใน 0.1 กรัม มี 6.0502433

ใน 100 กรัม มี 6.0502433×100/0.1

= 6050.2433 mg %

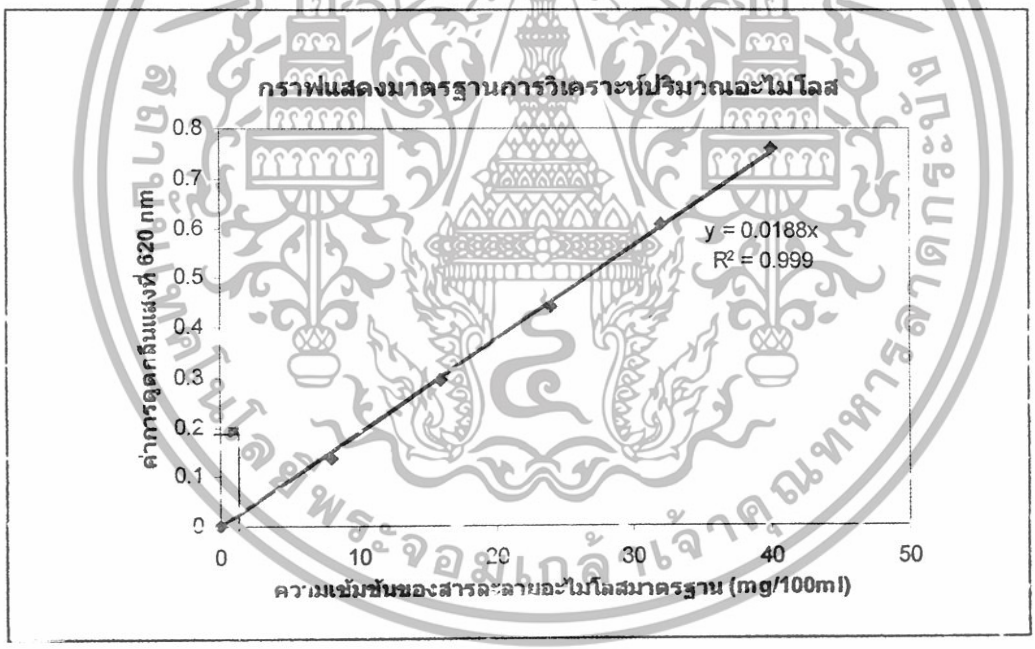
= 6.05 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข6. ผลการหาปริมาณอะไมโลสของแป้งกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทอง

ตารางที่ ข12. กราฟมาตรฐานของปริมาณอะไมโลส

เปอร์เซ็นต์อะไมโลส	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร
0	0
8	0.136
16	0.294
24	0.440
32	0.605
40	0.758



ภาพที่ ข2. กราฟมาตรฐานของปริมาณอะไมโลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข13. ผลการทดลองหาปริมาณอะไมโลส

ตัวอย่าง	ค่าการดูดกลืนแสงที่620 นาโนเมตร
กล้วยหอม	0.189
กล้วยน้ำว้า	0.173

วิธีการคำนวณ

จากกราฟ ได้ สมการ $y = 0.1876X$

จะได้ $X = 1.0074627$

สูตรหาปริมาณอะไมโลส (พัชรี , 2538)

$$\text{เปอร์เซ็นต์อะไมโลส} = \frac{\text{ความเข้มข้นที่อ่านได้จากสารละลายอะไมโลสมาตรฐาน} \times 10}{(5 \times \text{น้ำหนักแป้ง})}$$

ตัวอย่างกล้วยหอมทอง = $(1.01 \times 10)/(5 \times 0.1)$

ดังนั้น กล้วยหอมทองมีปริมาณอะไมโลส เท่ากับร้อยละ 20.20

ที่มาของสูตร

เมื่อ X คือ ความเข้มข้นที่อ่านได้จากสารละลายอะไมโลสมาตรฐาน

Y คือ ปริมาณแป้ง 0.1 กรัมในปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปิเปตมา 5 มิลลิลิตร

$$\text{คือ } \frac{\text{น้ำหนักแป้ง} \times 5}{100} = Y \text{ mg \%}$$

$$\text{ถ้าแป้งมี 100 กรัม จะได้ } \frac{X \times 100 \times 100}{\text{น้ำหนักแป้ง} \times 5} = \text{mg \%}$$

เปลี่ยนหน่วยจาก mg % เป็น g %

$$\frac{X \times 100 \times 100}{\text{น้ำหนักแป้} \times 5 \times 1000} = \text{g \%}$$

วิธีการคำนวณ

ตัวอย่าง กล้วยหอมทอง

ถ้ามีแป้ง 0.1 กรัม จะได้ $\frac{0.1 \times 5}{100} = 5 \times 10^{-3}$ **mg %**

ถ้ามีแป้ง 100 กรัม จะได้ $\frac{1.01 \times 100 \times 100}{0.1 \times 5} = 20{,}200$ **mg %**

$$\frac{1.01 \times 100 \times 100}{0.1 \times 5 \times 1000} = 20.2 \text{ g \%}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

วิธีเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค1. Deman rogasa and sharp medium-Cysteine Hydrochlorides (MRS agar + Cys-HCl)

1) MRS broth (Merck)	52.2	กรัมต่อลิตร
2) Agar -agar	13.0	กรัมต่อลิตร
3) Cysteine Hydrochloride (10%)	5.0	มิลลิลิตรต่อลิตร

วิธีการทำ

ละลายส่วนผสมในข้อ 1) และ 2) ในน้ำกรอง 1 ลิตร นำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 118 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที รอให้เย็นลงประมาณ 50 องศาเซลเซียส จึงเติม Cysteine Hydrochloride ก่อนนำไปใช้

ค2. Basal culture medium (Rycroft *et al.*, 2001)

1) Peptone water	2.0	กรัมต่อลิตร
2) Yeast extract	2.0	กรัมต่อลิตร
3) NaCl	0.1	กรัมต่อลิตร
4) K_2HPO_4	0.04	กรัมต่อลิตร
5) $MgSO_4.7H_2O$	0.01	กรัมต่อลิตร
6) $CaCl_2.2H_2O$	0.01	กรัมต่อลิตร
7) $NaHCO_3$	2.0	กรัมต่อลิตร
8) Cysteine Hydrochloride	0.5	กรัมต่อลิตร
9) Bile salts	0.5	กรัมต่อลิตร
10) Tween 80	2.0	มิลลิลิตรต่อลิตร
11) Vitamin K_1	0.01	มิลลิลิตรต่อลิตร
12) Haemin solution	1.0	มิลลิลิตรต่อลิตร

วิธีการทำ

ละลายส่วนผสมที่เป็นผงทั้งหมดในน้ำกรอง 1 ลิตร นำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เติม Bile salts , Cysteine Hydrochloride , Vitamin K_1 และ Haemin solution นำมาปรับให้มี pH 7.0 ด้วย HCl นำไป Pre-reduced ใน anaerobic jar บ่มที่ 37 องศาเซลเซียส ประมาณ 16-18 ชั่วโมง ก่อนนำมาใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค3. สารละลายเปปโตน 0.1 %

1) peptone 1 กรัม

2) น้ำกรอง 1000 มิลลิลิตร

วิธีการ

ชั่ง peptone 1 กรัม ละลายในน้ำกรอง ปิเปตใส่หลอดทดลองหลอดละ 9 มิลลิลิตร นำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
การเตรียมสารเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง1. การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.05 นอร์มอล

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์(Sodium hydroxide) 2 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรด้วย Volumetric flask ขนาด 1000 มิลลิลิตร ปิดจุกเขย่าให้สารละลายผสมกัน

ง2. การเตรียม Acetate buffer pH 5.2

A: สาร acetic acid 0.1 โมลาร์ (5.78 กรัม ใน 1000 มิลลิลิตร)

B: สาร sodium acetate 0.1 โมลาร์ (13.6 กรัม ใน 1000 มิลลิลิตร)

ต้องการเตรียม 1 ลิตร จะได้ 10.5 x 20 = 210 มิลลิลิตร Acetic acid

39.5 x20 = 790 มิลลิลิตร Sodium acetate

ง3. การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 1 นอร์มอล

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรด้วย Volumetric flask ขนาด 25 มิลลิลิตร ปิดจุกเขย่าให้สารละลายผสมกัน

ง4. การเตรียม 0.1M Tris-maleate buffer pH 6.9

ชั่ง Tris-maleate 2.372 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรด้วย Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร ปิดจุกเขย่าให้สารละลายผสมกัน ปรับค่าพีเอชด้วย $CaCl_2$ โดยการชั่ง $CaCl_2$ 0.4 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรด้วย Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร ปิดจุกเขย่าให้สารละลายผสมกัน

ง5. การเตรียม KOH 2 นอร์มอล

ชั่ง KOH 11.2 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรด้วย Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร ปิดจุกเขย่าให้สารละลายผสมกัน

ง6. การเตรียม HCl 2 นอร์มอล

ชั่ง HCl 16.47 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรด้วย Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร ปิดจุกเขย่าให้สารละลายผสมกัน

ง7. การเตรียม 0.4 โมลาร์ acetate buffer pH 4.75

A: 0.4 โมลาร์ acetic acid 23.1 มิลลิลิตร /1000 มิลลิลิตร

B: 0.4 โมลาร์ sodium acetate ($C_2H_3O_2Na$) 32.8 กรัม / 1000 มิลลิลิตร

ดังนั้นจะได้ 22.75 มิลลิลิตร ของ A + 27.25 มิลลิลิตร ของ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง 8. การเตรียม α-amylase solution

ชั่ง α-amylase ปริมาตร 0.04 กรัม ใน 0.1 M Tris-maleate buffer pH 6.9 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร

ง9. การเตรียม Hydrochloric Acid-Potassium Chloride buffer pH 1.5

A: 0.2 โมลาร์ Solution of KCl (14.91 กรัม / 1000 มิลลิลิตร)

B: 0.2 โมลาร์ HCl

ดังนั้นจะได้ 50 มิลลิลิตร ของ A + 33.3 มิลลิลิตร ของ B

ง10. การเตรียม phosphate buffer pH 7.0

A: 0.1 โมลาร์ solution of monobasic sodium phosphate (NaH_2PO_4. H_2O) 13.80 กรัม/ 1000

B: 0.1 โมลาร์ solution of dibasic sodium phosphate (Na_2HPO_4.7 H_2O) 26.81 กรัม/ 1000

ดังนั้นจะได้ 39 มิลลิลิตร ของ A + 61 มิลลิลิตร ของ B

ง11. การเตรียม HCl 1 โมลาร์

ชั่ง HCl 8.239 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรด้วย Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร ปิดจุกเขย่าให้สารละลายผสมกัน

ง12. การเตรียม Hydrogen peroxide 3%

ปิเปต Hydrogen peroxide มา ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

ง13. การเตรียม Tetramethyl paraphenyl diamine dihydrochloride (1%)

ชั่ง Tetramethyl paraphenyl diamine dihydrochloride มา 0.1 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ1. วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าดัชนีความขาว (Whiteness index) ของแป้งจากกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทอง

Descriptives

ค่าวัดสี

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
กล้วยน้ำว้า	5	84.51478	.3568645	.1595946	84.071673	84.957885	84.0343	84.9688
กล้วยหอม	5	83.41560	.1509305	.0674982	83.228195	83.603005	83.2186	83.5820
Total	10	83.96519	.6342990	.2005830	83.511439	84.418940	83.2186	84.9688

ANOVA

ค่าวัดสี

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.020	1	3.020	40.238	.000
Within Groups	.601	8	.075		
Total	3.621	9			

หมายเหตุ มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ จ2. วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าดัชนีความขาว (Whiteness index) ของสตาร์ชจากกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทอง

Descriptives

ค่าวัดสี

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
กล้วยน้ำว้า	5	96.12492	.1379022	.0616718	95.953692	96.296149	95.9585	96.2987
กล้วยหอม	5	96.35774	.1398360	.0625366	96.184111	96.531369	96.1527	96.4816
Total	10	96.24133	.1794426	.0567447	96.112965	96.369696	95.9585	96.4815

ANOVA

ค่าวัดสี

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.136	1	.136	7.027	.029
Within Groups	.154	8	.019		
Total	.290	9			

หมายเหตุ มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ($P \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ3. ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของแป้งจากกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทอง

Descriptives

ความชื้น

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
"flour กล้วยน้ำว้า"	3	7.776033	.0680077	.0392642	7.607093	7.944974	7.7097	7.8456
"flour กล้วยหอมทอ	3	7.959833	.0832005	.0480358	7.753152	8.166515	7.8638	8.0102
Total	6	7.867933	.1214647	.0495878	7.740464	7.995403	7.7097	8.0102

ANOVA

ความชื้น

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.051	1	.051	8.777	.041
Within Groups	.023	4	.006		
Total	.074	5			

หมายเหตุ : มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ จ4. ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของสตาร์ชจากกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทอง

Descriptives

ความชื้น

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
สตาร์ชกล้วยน้ำว้า	3	9.2335	.64676	.37341	7.6269	10.8401	8.83	9.98
สตาร์ชกล้วยหอม	3	9.0877	.14117	.08150	8.7370	9.4384	9.00	9.25
Total	6	9.1606	.42622	.17401	8.7133	9.6079	8.83	9.98

ANOVA

ความชื้น

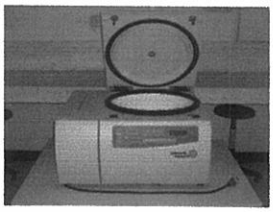
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.032	1	.032	.145	.722
Within Groups	.876	4	.219		
Total	.908	5			

หมายเหตุ :มีความแตกต่างทางสถิติอย่างไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ($P \geq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ
เครื่องมือ

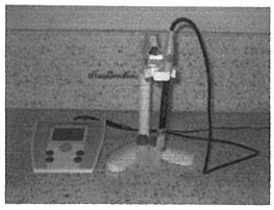
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Centrifuge

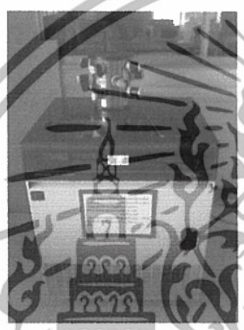
Spectrophotometer

Water bath shaker

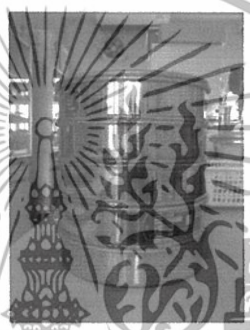


pH-meter

Tray dryer



Freeze dryer



Sieve 80-230 mash

Mixer

Anaerobic jar

Autroclave

Incubator 37 °C

Stomacher

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นางสาวสลิลลา สร้อยสยัมภู เกิดวันที่ 1 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2528 ที่จังหวัดราชบุรี สำเร็จการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนราชโบริกานุเคราะห์ จังหวัดราชบุรี ในปีการศึกษา 2545 และเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาตรีหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาอุตสาหกรรมเกษตร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2549

นางสาวศิริพร แซ่เอ็ง เกิดวันที่ 27 มีนาคม พ.ศ. 2527 ที่จังหวัดลำปาง สำเร็จการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนบุญวาทย์วิทยาลัย จังหวัดลำปาง ในปีการศึกษา 2545 และเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาตรีหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาอุตสาหกรรมเกษตร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้