วิทยานิพนธ์

การพัฒนาฟิล์มละลายน้ำได้จากสตาร์ชมันสำปะหลังหรือ สตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เพื่อการบรรจุสารเคมี

DEVELOPMENT OF WATER SOLUBLE FILM FOR CHEMICAL PACKAGING FROM CASSAVA STARCH OR MODIFIED CASSAVA STARCH BLENDED WITH POLYVINYL ALCOHOL (PVOH)

นางสาวขวัญชนก นิธิโชติเดชากร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ)

ปริญญา

เทคโนโลยีการบรรจุ	เทคโนโลยีการบรรจุ
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง การพัฒนาฟิล์มละลายน้ำได้จากสตาร์ชมันสำปะหลังหรือสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อการบรรจุสารเคมี

Development of Water Soluble Film for Chemical Packaging from Cassava Starch or Modified Cassava Starch Blended with Polyvinyl Alcohol (PVOH)

นามผู้วิจัย นางสาวขวัญชนก นิธิโชติเดชากร

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ .....

(รองศาสตราจารย์งามทิพย์ ภู่วโรดม, Ph.D.)

กรรมการ .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วาณี ชนเห็นชอบ, Ph.D.)

กรรมการ .....

(ศาสตราจารย์อรอนงค์ นัยวิกุล, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วาณี ชนเห็นชอบ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์วินัย อาจคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่..... **เดือน**..... **พ.ศ.**.....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาฟิล์มละลายน้ำได้จากสตาร์ชมันสำปะหลังหรือสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อการบรรจุสารเคมี

Development of Water Soluble Film for Chemical Packaging from Cassava Starch or Modified Cassava Starch Blended with Polyvinyl Alcohol (PVOH)

โดย

นางสาวขวัญชนก นิธิโชติเดชากร

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ)
พ.ศ. 2550

ขวัญชนก นิธิโชติเดชากร 2550: การพัฒนาฟิล์มละลายน้ำได้จากสตาร์ชมันสำปะหลังหรือสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อการบรรจุสารเคมี ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ) สาขาเทคโนโลยีการบรรจุ ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ ประธานกรรมการที่ปรึกษา:รองศาสตราจารย์ งามทิพย์ ภู่วโรดม, Ph.D. 115 หน้า

สตาร์ชเป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ ราคาถูก หาได้ง่าย และมีคุณสมบัติในการขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ซึ่งโดยปกติแล้วจะไวต่อความชื้น มีสมบัติเชิงกลต่ำ เปราะและแตกง่าย งานวิจัยนี้เป็นการทดลองปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังโดยการผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และพลาสติไซเซอร์ ผลการทดลองพบว่าในการผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับสตาร์ชนั้นเป็นการผสมกันทางกายภาพไม่เกิดพันธะใหม่ทางเคมี และปริมาณที่เหมาะสมในการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับสตาร์ชมันสำปะหลัง โพรพิออเนตสตาร์ช และออกซิไดส์สตาร์ช คือ ร้อยละ 10 (โดยน้ำหนักแห้งสตาร์ช) และเติมกลีเซอรอลร้อยละ 5 10 และ 5 (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักสตาร์ช) ตามลำดับ แผ่นฟิล์มที่เตรียมได้มีลักษณะโปร่งแสง ผิวเรียบ เมื่อทดสอบสมบัติทางกล พบว่า ออกซิไดส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีค่าความต้านทานแรงดึงขาดมากที่สุด คือ 7.54 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร รองลงมา คือ สตาร์ชมันสำปะหลังผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (4.02 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร) และโพรพิออเนตสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (3.93 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร) ตามลำดับ ส่วนการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนพบว่า ฟิล์มทั้งสามชนิดสามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดี โดยมีค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน อยู่ในช่วง 13-22 มิลลิลิตรต่อตารางเมตร.วัน.บรรยากาศ แต่ฟิล์มทั้งสามนี้ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ต่ำ ค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำอยู่ในช่วง 8-11 กรัมต่อตารางเมตร.ชั่วโมง จากการนำฟิล์มไปปิดผนึกด้วยความร้อนพบว่าฟิล์มทั้งสามชนิดสามารถปิดผนึกได้ดี มีค่าความแข็งแรงรอยปิดผนึกอยู่ในช่วง 0.7-1.0 กิโลกรัม/25 มิลลิเมตร เมื่อนำไปทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานเบื้องต้นกับปุ๋ยเกล็ดเคมีละลายน้ำและเมล็ดข้าวโพดคลุกสารเคมี ได้ผลการทดลองมีแนวโน้มที่ดี พบว่า ฟิล์มสามารถละลายได้สมบูรณ์และปล่อยสารเคมีออกมาได้ง่าย ภายในเวลา 3 นาที ในทำนองเดียวกันพบว่าการงอกของเมล็ดพืชที่ใช้ในการทดสอบไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับเมล็ดพืชที่ไม่ได้มีการบรรจุซอง

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่อประธานกรรมการ

Khwanchanok Nithichotdechakon 2007: Development of Water Soluble Film for Chemical Packaging from Cassava Starch or Modified Cassava Starch Blended with Polyvinyl Alcohol (PVOH). Master of Science (Packaging Technology), Major Field: Packaging Technology, Department of Packaging Technology. Thesis Advisor: Associate Professor Ngamtip Poovarodom, Ph.D. 115 pages.

Starch is a natural biopolymer that is low cost, renewable and formable into films. Starch films are usually sensitive to moisture, poor mechanical properties and brittle. This research was aimed to improve cassava starch film properties by blending with polyvinyl alcohol (PVOH) and plasticizer. FTIR spectrum of starch/PVOH films plasticized with glycerol revealed no evidence of new bond formation among the components. It was found that the suitable amount of PVOH homogeneously blended into cassava starch, propionate starch and oxidized starch was 10 % (by dry weight of starch) and 5, 10 and 5% of glycerol (by weight of starch) respectively. The obtained films were transparent, smooth surface and the thickness ranging from 0.04 to 0.06 mm. Their properties were as follows; the oxidized starch/PVOH films had the highest tensile strength (7.54 kg/mm^2), followed by cassava starch/PVOH films (4.02 kg/mm^2) and propionate starch/PVOH films (3.93 kg/mm^2) respectively. All films possess high oxygen barrier property (OTR was ranging from 13 to 20 cc/m^2.day.atm) but low barrier to water vapor (WVTR was ranging from 9 to 12 g/m^2.hour). They were heat sealable with relatively high seal strength ranging from 0.7 to 1.0 kg/ 25 mm. The preliminary trial to apply the films as water soluble packaging for powder soluble fertilizer and chemical coated seed, it showed promising results. All films could be dissolve and delivered the test chemicals within 3 minutes. Also, the germination of tested seeds was not significantly different from the control ($p<0.05$).

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.งามทิพย์ ภู่วโรดม ประธานกรรมการที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วาณี ชนเห็นชอบ กรรมการสาขาวิชาเอก ศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ นัยวิกุล กรรมการสาขาวิชารอง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วลัยรัตน์ จันทรปานนท์ ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่กรุณาให้ทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณ KU-GREEN ที่ให้ความอนุเคราะห์แป้งมันสำปะหลัง เครื่องมือทดสอบ ตลอดจนสถานที่ ขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุและเจ้าหน้าที่ทุกๆท่าน ที่ให้คำแนะนำในการใช้อุปกรณ์ เครื่องมือที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่ธัญพร คุณพ่อสธนธร นิธิโชติเดชากร และ พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคนที่คอยสนับสนุนให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจและความช่วยเหลือทุกด้านจนกระทั่งสำเร็จเป็นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขวัญชนก นิธิโชติเดชากร
กุมภาพันธ์ 2550

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(6)
คำอธิบายสัญลักษณ์ และอักษรย่อ	(8)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
ขอบเขตงานวิจัย	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์	28
วิธีการ	30
ผลและวิจารณ์	37
ผลการวิจัย	37
วิจารณ์	37
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	75
สรุป	75
ข้อเสนอแนะ	77
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	78
ภาคผนวก	87
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์	88
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	104
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	115

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณลักษณะของแป้งมันสำปะหลัง	4
2	สมบัติของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	19
3	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (ไม่เติมพลาสติไซเซอร์) กับความชื้นสัมพัทธ์	22
4	การเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชมันสำปะหลัง โพรพิออเนตสตาร์ช และออกซิไดส์สตาร์ช ตรวจวัดด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบ RVA	38
5	แสดงสมบัติเชิงกล อัตราการแห้ง และเวลาที่ใช้อบของฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 10 ที่สภาวะการอบต่างๆ	41
6	การประเมินลักษณะของฟิล์มเพื่อหาความเข้มข้นของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เหมาะสมในการขึ้นรูปฟิล์ม	43
7	ความหนา และสมบัติทางกลต่างๆ ของการประเมินเบื้องต้นเพื่อหาความเข้มข้นของฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลัง โพรพิออเนตสตาร์ช และออกซิไดส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อัตราส่วนต่างๆ	47
8	การประเมินชนิดและปริมาณพลาสติไซเซอร์เบื้องต้นที่เหมาะสมในการขึ้นรูปฟิล์มฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลัง โพรพิออเนตสตาร์ช และออกซิไดส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ร้อยละ 10 (โดยน้ำหนักสตาร์ชแห้ง)	51
9	ผลของพลาสติไซเซอร์ต่อสมบัติ ของฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลัง โพรพิออเนตสตาร์ชและออกซิไดส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 10 (โดยน้ำหนักสตาร์ชแห้ง)	54
10	สมบัติทางการบรรจุค่าความหนา และการละลายน้ำของฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลัง โพรพิออเนตสตาร์ช ฟิล์มออกซิไดส์สตาร์ชผสมและไม่ผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	59
11	ค่าความต้านทานแรงกดของซองสตาร์ชมันสำปะหลัง โพรพิออเนตสตาร์ช และออกซิไดส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์บรรจุปุ๋ยเกล็ดเคมีละลายน้ำ	67
12	การละลายน้ำของฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังและสตาร์ชมันสำปะหลัง ฟิล์มโพรพิออเนตสตาร์ช ฟิล์มออกซิไดส์สตาร์ชผสมและไม่ผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	68

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

13 ผลการประเมินความสามารถในการทนทานต่อสภาวะการเก็บรักษาของซองละลายน้ำได้บรรจุปุ๋ยเกล็ดเคมีละลายน้ำ 69

14 ความสามารถในการทนต่อแรงสั่นสะเทือนซองสตาร์ชมันสำปะหลังโพรพิออเนตสตาร์ช และออกซิไดส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์บรรจุเมล็ดพันธุ์ข้าวโพด 70

15 ผลการประเมินความสามารถในการทนทานต่อสภาวะการเก็บรักษาของซองละลายน้ำได้เมล็ดข้าวโพดคลุกสารเคมี 72

16 ผลการทดสอบค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ที่มีการเปลี่ยนแปลงของฟิล์มและเมล็ดข้าวโพดคลุกสารเคมีต่อสภาวะการเก็บรักษาของซองละลายน้ำได้เมล็ดข้าวโพดคลุกสารเคมี 72

17 การงอกของเมล็ดข้าวโพดคลุกสารเคมีเมื่อใช้ฟิล์มสตาร์ชและสตาร์ชดัดแปรผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในการบรรจุ 73

ตารางผนวกที่

ข1 การวิเคราะห์ทางสถิติผลของสภาวะการอบต่อความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 105

ข2 การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของสภาวะการอบ ต่อการยืดตัวของฟิล์มสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 105

ข3 การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของชนิดสตาร์ชและปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อความหนาของฟิล์มสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 106

ข4 การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของชนิดสตาร์ชและปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 106

ข5 การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของชนิดสตาร์ชและปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อร้อยละการยืดตัวของฟิล์มสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 106

ข6 การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อความหนาของฟิล์มสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 107

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ข7	การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	107
ข8	การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อการยืดตัวของฟิล์มสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	107
ข9	การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของชนิดฟิล์มสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อความหนา	107
ข10	การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของชนิดฟิล์มสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อความต้านทานแรงดึงขาด	108
ข11	การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของชนิดฟิล์มสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อการยืดตัว	108
ข12	การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของชนิดฟิล์มสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อความต้านทานแรงดึงขาดของรอยปิดผนึก	108
ข13	การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของชนิดฟิล์มสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อการยืดตัวของฟิล์มของรอยปิดผนึก	109
ข14	การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของชนิดฟิล์มสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่ออัตราการซึมผ่านของไอน้ำ	109
ข15	การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของชนิดฟิล์มสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อการซึมผ่านของไอน้ำ	109
ข16	การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของชนิดฟิล์มสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อค่าการละลายน้ำ	110
ข17	การวิเคราะห์ทางสถิติ ค่าการละลายน้ำของซองบรรจุปุ๋ยเกล็ดเคมี	110
ข18	การวิเคราะห์ทางสถิติ ค่าวอเตอร์แอคทิวิตีของฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	111
ข19	การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของชนิดฟิล์มสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อความต้านทานแรงดึงขาดของรอยปิดผนึก	111

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ข20 การวิเคราะห์ทางสถิติ ค่าวอเตอร์แอคทิวิตีของฟิล์มออกซิไดส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 112

ข21 การวิเคราะห์ทางสถิติ ค่าวอเตอร์แอคทิวิตีของเมล็ดข้าวโพดคลุกสารเคมีที่บรรจุในฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 112

ข22 การวิเคราะห์ทางสถิติ ค่าวอเตอร์แอคทิวิตีของเมล็ดข้าวโพดคลุกสารเคมีที่บรรจุในฟิล์มโพรพิออเนตสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 112

ข23 การวิเคราะห์ทางสถิติ ค่าวอเตอร์แอคทิวิตีของเมล็ดข้าวโพดคลุกสารเคมีที่บรรจุในฟิล์มออกซิไดส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 113

ข24 การวิเคราะห์ทางสถิติ จำนวนเมล็ดข้าวโพดคลุกสารเคมีที่งอก 113

ข25 การวิเคราะห์ทางสถิติ ร้อยละของการงอกของเมล็ดข้าวโพดคลุกสารเคมี 113

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	เม็ดสตาร์ชของมันสำปะหลังจากกล้องอิเล็กตรอนชนิดส่องกราดลำแสง	5
2	โครงสร้างทางเคมีของแอมิโลส	6
3	โครงสร้างทางเคมีของแอมิโลเพกทิน	7
4	ลักษณะโครงสร้างแอมิโลเพกทินที่ประกอบด้วยส่วนผลึกและส่วนอสัณฐาน	8
5	การเกิดปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันของสตาร์ชเอสเทอร์	12
6	โครงสร้างของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	17
7	โครงสร้างของไวนิลแอลกอฮอล์ที่ไม่เสถียร	18
8	การผลิตพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	18
9	โครงสร้างของซอร์บิทอล	26
10	โครงสร้างของกลีเซอรอล	27
11	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชมันสำปะหลัง และสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปร ตรวจวัดด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบ RVA	39
12	การเปลี่ยนแปลงความชื้นของฟิล์มในระหว่างการอบที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 20 40 และ 60	40
13	ลักษณะของฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อัตราส่วนต่างๆ	44
14	ลักษณะของฟิล์มโพรพิออเนตสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อัตราส่วนต่างๆ	45
15	ลักษณะของฟิล์มออกซิไดส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อัตราส่วนต่างๆ	46
16	สเปกตรัมอินฟราเรดของฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เติมกลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์) สตาร์ชมันสำปะหลัง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และกลีเซอรอล	61
17	สเปกตรัมอินฟราเรดของฟิล์มโพรพิออเนตสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (เติมกลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์) โพรพิออเนตสตาร์ช พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และกลีเซอรอล	61
18	สเปกตรัมอินฟราเรดของฟิล์มออกซิไดส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (เติมกลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์) ออกซิไดส์สตาร์ช พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และกลีเซอรอล	62

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
19	ลักษณะพื้นผิวฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ร้อยละ 10 (ต่อน้ำหนักสตาร์ช) เติมกลีเซอรอล ร้อยละ 5 จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 200 เท่า	63
20	ลักษณะพื้นผิวฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ร้อยละ 10 (ต่อน้ำหนักสตาร์ช) เติมกลีเซอรอล ร้อยละ 5 จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 200 เท่า	63
21	ลักษณะพื้นผิวฟิล์มออกซิไดส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ร้อยละ 10 (ต่อน้ำหนักสตาร์ช) เติมกลีเซอรอล ร้อยละ 5 จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 200 เท่า	64
22	การดูดซับความชื้นของฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เติมกลีเซอรอลร้อยละ 5 (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักสตาร์ช)	65
23	การดูดซับความชื้นของฟิล์มโพรพิออเนตสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เติมกลีเซอรอลร้อยละ 10 (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักสตาร์ช)	66
24	การดูดซับความชื้นของฟิล์มออกซิไดส์สตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เติมกลีเซอรอลร้อยละ 5 (โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักสตาร์ช)	66
25	ตัวอย่างเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดที่ใช้ในการทดลอง	70
26	ซองละลายน้ำได้บรรจุเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดคลุกสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	71

ภาพผนวกที่

ก1	แผนภาพแสดงขั้นตอนในการดัดแปรสตาร์ชมันสำปะหลังด้วยวิธีเอสเทอริฟิเคชัน	90
ก2	ภาพแสดงชุดการทดสอบการละลาย	97
ก3	ภาพแสดงการทดสอบการงอกของเมล็ดข้าวโพด	102

คำอธิบายสัญลักษณ์ และอักษรย่อ

N	=	สตาร์ชมันสำปะหลัง
P(10)	=	โพรพิออเนตสตาร์ช
Oxi	=	ออกซิไดส์สตาร์ช