ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
242367

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การพัฒนาระบบนำส่งแป้งสู่ลำไส้ใหญ่เพื่อเป็นอาหารเสริมสุขภาพ

Development of colon-specific starch delivery system as nutraceutical product

รศ. ดร. บุษบัน ศิริธัญญาลักษณ์
หัวหน้าโครงการวิจัย

คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ธันวาคม 2553

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
242367

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การพัฒนาระบบนำส่งแป้งสู่ลำไส้ใหญ่เพื่อเป็นอาหารเสริมสุขภาพ

Development of colon-specific starch delivery system as nutraceutical product

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ผู้ร่วมวิจัย

รองศาสตราจารย์ ดร. บุษบัน ศิริธัญญาลักษณ์

รองศาสตราจารย์ ดร. สุพร จารุมณี

รองศาสตราจารย์ ดร. จักรพันธ์ ศิริธัญญาลักษณ์

รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริวิภา ปิยะมงคล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทรงวุฒิ ยศวิมลวัฒน์

คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ธันวาคม 2553

คำนำ

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์เรื่อง "การพัฒนาระบบนำส่งแป้งสู่ลำไส้ใหญ่เพื่อเป็นอาหารเสริมสุขภาพ (Development of colon-specific starch delivery system as nutraceutical product)" ฉบับนี้เป็นผลจากการดำเนินการวิจัยที่ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปี 2552

คณะผู้วิจัยหวังว่ารายงานฉบับนี้ได้ก่อให้เกิดองค์ความรู้ที่จะนำไปเป็นประโยชน์และเป็นแนวทางในการศึกษาค้นคว้าต่อไปสำหรับการต่อยอดเพื่อการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เสริมสุขภาพ โดยมีจุดมุ่งหมายที่สามารถจะพัฒนาไปสู่ผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ได้ในที่สุด อันจะนำไปสู่การลดการพึ่งพาการนำเข้าของผลิตภัณฑ์จากต่างประเทศและสามารถพึ่งพาตนเองได้ โดยในส่วนที่นับว่าสำคัญมากที่สุดประการหนึ่งก็คือเป็นการเพิ่มมูลค่าวัตถุดิบที่ผลิตหรือมีในประเทศให้สูงขึ้น ตลอดจนอาจส่งผลดีต่อการส่งเสริมสุขภาพและการป้องกันโรคภัยในส่วนที่เกี่ยวข้องที่จะเกิดขึ้นในภาพรวมได้ต่อไป นอกจากนั้นคณะผู้วิจัยยังหวังว่างานวิจัยนี้จะเป็นองค์ความรู้พื้นฐานในการศึกษาวิจัยสำหรับงานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องต่อไปได้ด้วย

คณะผู้วิจัย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยต้องขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่ได้จัดสรรและสนับสนุนงบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณ 2552 เพื่อให้ดำเนินการวิจัยในโครงการนี้ และต้องขอขอบพระคุณทางสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่ได้รับรองโครงการโดยผ่านการพิจารณาของกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิเพื่อให้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่และให้มีการดำเนินการโครงการวิจัยนี้ งานวิจัยในครั้งนี้จะไม่สามารถลุล่วงไปได้ด้วยดีถ้าหากไม่ได้รับการสนับสนุนจากคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ความเอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือวิทยาศาสตร์ ตลอดจนสิ่งอำนวยความสะดวกในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ นอกจากนี้ทางคณะผู้วิจัยต้องขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความร่วมมือและช่วยเหลือจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงได้ตามวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย โครงการวิจัยนี้ไม่สามารถที่จะดำเนินการจนเสร็จสิ้นและสำเร็จสมบูรณ์ได้หากไม่ได้รับการร่วมทำงานจากนักศึกษาปริญญาเอก ธนาภร รติธรรมธร ที่มีส่วนร่วมเป็นอย่างมากที่ทำให้การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงลงไปได้ จึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

บทคัดย่อ

242367

การศึกษาครั้งนี้ในเบื้องต้นเป็นการพิสูจน์ความสามารถของแบคทีเรียแลคโตบาซิลลัสและแบคทีเรียหลากสายพันธุ์ที่ได้จากอุจจาระอาสาสมัครที่มีสุขภาพดีในการย่อยสลายแป้งดิบชนิดต่างๆ รวมถึงการพัฒนาวิธีการนำส่งแป้งที่ถูกย่อยสลายได้ดีโดยเตรียมให้อยู่ในรูปของแกรนูลโดยการเคลือบด้วยพอลิเมอร์และเคลือบด้วยเพคตินเพื่อพัฒนาไปสู่ระบบการนำส่งแป้งไปยังลำไส้ใหญ่เพื่อใช้เป็นอาหารเสริมสุขภาพต่อไป

แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง และแป้งถั่วเขียว ได้ถูกนำมาเตรียมเป็นอาหารเลี้ยงเชื้อในปริมาณร้อยละสองโดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 47 $\pm$ 2 °C เพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแทนกลูโคสที่มีการใช้ในสูตรอาหารเลี้ยงเชื้อโดยทั่วไป หลังการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อพบว่าเม็ดแป้งทั้ง 4 ชนิดไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและยังคงแสดงคุณสมบัติการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ (birefringence) เมื่อเลี้ยงเชื้อ *Lactobacillus* 15 ชนิดบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่เตรียมขึ้น พบว่าเชื้อ *L. amylovorus* มีความสามารถในการย่อยแป้งข้าวเหนียวและแป้งข้าวโพดได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาการเกาะติดของ *L. amylovorus* บนเม็ดแป้งทั้งสองชนิดที่แขวนลอยใน PBS pH 7.0 ในปริมาณร้อยละสองโดยน้ำหนักโดยมีการยึดเกาะของเชื้อได้ถึง 90%

แบคทีเรียหลากสายพันธุ์ที่มีในอุจจาระของอาสมัครเมื่อนำมาใช้ในการหมักแป้งดิบทั้ง 4 ชนิดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง โดยทำการศึกษาแบบ *in vitro* พบว่า ค่า pH ของน้ำหมักจากแป้งทุกชนิดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ที่ 6, 12, 24 และ 48 ชั่วโมงเมื่อเปรียบเทียบกับค่า pH เมื่อเริ่มต้น และเมื่อตรวจหาปริมาณของกรดไขมันสายสั้นชนิด acetate และ propionate มีปริมาณสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ปริมาณของกรดไขมันสายสั้น butyrate มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.5$) เมื่อตรวจสอบโครงสร้างเม็ดแป้งหลังการหมักในภายใต้กล้องจุลทรรศน์และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนพบว่า เม็ดแป้งทั้ง 4 ชนิดหลังการหมัก 1 ชั่วโมง เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างลักษณะและมีการเปลี่ยนแปลงชัดเจนมากยิ่งขึ้นในชั่วโมงที่ 48 เมื่อเปรียบเทียบกับเม็ดแป้งก่อนการหมัก ซึ่งเป็นผลที่สอดคล้องกับผลการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction) ที่บ่งบอกถึงความเป็นผลึกของโครงสร้างเม็ดแป้งทั้ง 4 ชนิดที่เริ่มเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1 และเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนในชั่วโมงที่ 48 ของการหมัก

แป้งข้าวเหนียวถูกเลือกมาใช้เป็นตัวอย่างของแป้งดิบในการทดลองเพราะสามารถใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและถูกย่อยโดยแบคทีเรีย *L. amylovorus* โดยแป้งข้าวเหนียวถูกเตรียมให้อยู่ในรูปของแกรนูลและนำมาเคลือบเพื่อนำไปสู่การพัฒนาเป็นระบบการนำส่งแป้งไปยังลำไส้ใหญ่ ภายหลังการเคลือบแกรนูลมีการทดสอบใน *in vitro* เพื่อทดสอบว่าการเคลือบสามารถ

242367

ปกป้องแป้งที่อยู่ภายในไม่ให้รั่วออกมาในสภาวะทดสอบที่เสมือนกระเพาะและลำไส้เล็กแต่สามารถให้แป้งออกมาได้เมื่ออยู่ในสภาวะที่ลำไส้ใหญ่ พบว่าการเคลือบโดยใช้พอลิเมอร์ Eudragit® L 100 และ S 100 ในอัตราส่วน 1:1 ด้วยวิธีการเคลือบฟิล์มเพื่อให้ได้ฟิล์มที่มีความหนาในระดับต่างๆกันคือมีความหนาโดยดูจากน้ำหนักของแกรนูลที่เพิ่มขึ้น 25% , 50% และ 100% และนำไปทดสอบการทนต่อกรด 0.1 N HCl pH 1.2 นาน 2 ชั่วโมง ซึ่งเป็นสภาวะเลียนแบบสภาพน้ำย่อยในกระเพาะอาหาร พบว่ามีการรั่วออกมาของแป้งทำให้ไม่สามารถผ่านขั้นตอนนี้ไปได้ ส่วนการเคลือบแกรนูลแป้งโดยใช้เพคตินชนิด LC 710 low ester และ AMD 382 high ester ด้วยวิธีการ Ionotropic gelation technique ในอัตราส่วน 1:0, 0:1, 1:1: 1:2: 2:1, 1:3, 3:1, 1:4 และ 4:1 โดยใช้ความเข้มข้นของเพคติน 10% โดยน้ำหนัก และนำไปทดสอบในสภาพเสมือนของระบบทางเดินอาหาร พบว่าแกรนูลแป้งที่เคลือบด้วยเพคติน LC 710 เพียงชนิดเดียวมีประสิทธิภาพสูงสุดในการปกป้องแกรนูลให้ทนต่อสภาพเสมือนของน้ำย่อยในส่วนของกระเพาะอาหารและส่วนลำไส้เล็ก (PBS pH 6.8, 2 ชั่วโมง) ของทางเดินอาหารได้และมีการปล่อยแป้งออกมาทั้งหมดในตัวกลางที่มีสภาพเสมือนในลำไส้ใหญ่ (PBS pH 7.4, 4 ชั่วโมง) ในขณะที่การเคลือบด้วยเพคติน AMD 382 เพียงชนิดเดียวไม่สามารถทนต่อสภาพเสมือนของน้ำย่อยในกระเพาะอาหารได้ สำหรับการเคลือบแกรนูลแป้งด้วยเพคตินในอัตราส่วนผสมต่างๆของเพคตินทั้งสองชนิดนี้พบว่า ประสิทธิภาพในการปกป้องแกรนูลแป้งขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของเพคตินทั้งชนิด โดยพบว่าอัตราส่วนการเคลือบที่มีประสิทธิภาพในการปกป้องแกรนูลแป้งจะเพิ่มขึ้นตามลำดับดังนี้ 4:1 > 3:1 > 2:1 > 1:1 > 1:2 > 1:3 > 1: 4

โดยสรุป ผลการศึกษาครั้งนี้มีความเป็นไปได้ในการที่จะนำแป้งข้าวเหนียวมาเตรียมเป็นแกรนูลและเคลือบด้วยเพคตินชนิด LC 710 low ester ที่สามารถทนต่อกรดที่มีสภาพเสมือนน้ำย่อยในกระเพาะอาหารและสภาพน้ำย่อยเสมือนในลำไส้เล็ก และปลดปล่อยแป้งที่ลำไส้ใหญ่ เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์สุขภาพได้

Abstract

242367

This study was undertaken to investigate the ability of *Lactobacillus* spp. and various kinds of bacteria from human faecal of healthy volunteers which could hydrolyze native starches. The starch which was clearly hydrolyzed by any one of *Lactobacillus* spp. was selected to be formulated in the granular form by coating with synthetic polymer and pectin for development of colon-specific starch delivery system as a nutraceutical product.

Glutinous rice starch, corn starch, potato starch and mung bean starch were used to replace the standard carbon source (2% w/v) in culture medium added at the temperature of 47 $\pm$ 2 $^{\circ}$C. These four kinds of starches still maintained their morphology when examined by an optical microscope under normal and polarized light after media preparation. They also exhibited birefringence as seen in the native starch granules. The 15 species of *Lactobacillus* were used to test their potential in hydrolysis of the starches. Evidently, *L. amylovorus* could consume and produce clear zone on the medium plates which contain glutinous rice or corn starch. This result was according to the adhesion ability of the bacteria to the both starches which were suspended in PBS pH 7.0 as 2% by weight. The result revealed the percent adhesion of about 90%. Various kinds of bacteria from human faecal were used in the *in vitro* 48 h fermentation study of these four kinds of native starches. The pH value of test samples significantly decreased ($p < 0.05$) after fermentation for 6, 12, 24 and 48 h when compared to 0 h. Short chain fatty acid concentration of acetate and propionate groups showed the trend of increasing at 48 h, whereas butyrate amount significantly increased ($p < 0.05$) at 48 h compared to the 1 h. The starch granules began to change their morphology after 1 h of fermentation and markably change was observed at 48 h when compared to the granules at the beginning of the experiment. It was confirmed by the X-ray diffraction pattern which indicated that the internal structure of these four kinds of starch granules was destroyed as the incubation progressed from 1 h to 48 h which showed the halo pattern.

From the result glutinous rice starch was selected as a model of native starch because it was easily hydrolyzed and could replace glucose as carbon source for *Lactobacillus* spp. Then the glutinous rice starch was prepared in granular form by wet granulation method and then coated as a colon-specific starch delivery system. The

242367

prepared granules were coated with polymer Eudragit® L 100 and S 100 in the combination of 1:1 by film coating technique to receive different film thickness by 25%, 50% and 100% weight increase. The polymer Eudragit® coated granules could not tolerate the acid condition, 0.1 N HCl pH 1.2, as simulated gastric fluid by leaking of starch within 2 h. Granules that coated with pectin types LC 710 and AMD 382 by ionotropic gelation technique at various combination ratios of 1:0, 0:1, 1:1, 1:2, 2:1, 1:3, 3:1, 1:4 and 4:1 of both types as concentration of 10 % by weight were taken to test the tolerance along gastrointestinal tract. The pectin coated granule with LC 710 (1:0) showed the highest effective protection against starch hydrolysis in simulated gastric fluid and small intestine fluid (PBS, pH 6.8, 2 h) and then starch in the granules was completely released in phosphate buffer solution pH 7.4 as simulated colonic fluid after 4 h. On the other hand granules coated with AMD 382 (0:1) could not tolerate in the simulated gastric fluid condition. When the coating system change to the combination of pectin, the effectiveness on starch protection depended on the combination ratio of pectin type LC 710 and AMD 382 from high to low in the series of combination as follows: 4:1 > 3:1 > 2:1 > 1:1 > 1:2 > 1:3 > 1:4.

In conclusion, glutinous rice starch could be prepared in granular form and coated with pectin LC 710. The system could tolerate the acid media as simulated gastric fluid and also resist the simulated medium as in small intestine by keeping the starch not leaking out and then let the starch release in media as simulated colonic fluid. This starch delivery system could be developed to nutraceutical product.

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	i
กิตติกรรมประกาศ	ii
บทคัดย่อภาษาไทย	iii
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	v
สารบัญรูป	viii
สารบัญตาราง	ix
บทที่ 1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	1
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง	4
บทที่ 3 การทดลอง	21
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล	30
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	65
เอกสารอ้างอิง	67
ภาคผนวก	73

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างอะมิโลส	4
2.2 โครงสร้างอะมิโลเพคติน	5
2.3 โครงสร้างทางเคมีของเพคติน	12
2.4 โครงสร้างเพคตินชนิดเมธอกซิลสูง	13
2.5 โครงสร้างเพคตินชนิดเมธอกซิลต่ำ	13
2.6 Egg Box Model	15
4.1 ลักษณะเม็ดแป้งดิบภายใต้กล้องจุลทรรศน์ธรรมดา (ซ้าย) และ กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้แสงโพลาไรซ์ (ขวา) ที่กำลังขยาย ×40	32
4.2 ลักษณะเม็ดแป้งในอาหารแข็งที่ผสมที่อุณหภูมิ 50 °ซ ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ธรรมดา (ซ้าย) และกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้แสงโพลาไรซ์ (ขวา) ที่กำลังขยาย × 40	33
4.3 การเจริญของ *Lactobacillus* spp. บนอาหารแข็งที่มีกลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอน	36
4.4 การเจริญของ *Lactobacillus* spp. บนอาหารแข็งที่มีแป้งมันฝรั่งดิบเป็นแหล่งคาร์บอน	36
4.5 การเจริญและการย่อยแป้งของ *L. amylovorus* บนอาหารแข็งที่มีแป้งข้าวเหนียวและ แป้งข้าวโพดเป็นแหล่งคาร์บอน	37
4.6 ความสามารถในการย่อยแป้งข้าวเหนียวและแป้งข้าวโพดของ *L. amylovorus*	37
4.7 ลักษณะเม็ดแป้งข้าวเหนียวภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	38
4.8 ลักษณะและขนาดของแกรนูลแป้งข้าวเหนียวก่อนและหลังการลดขนาด ด้วยแร่งเบอร์ 20	39
4.9 ลักษณะของแกรนูลแป้งข้าวเหนียวจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	40
4.10 ลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์ของแกรนูลก่อนการเคลือบ	41

4.11 ลักษณะและรูปร่างแกรนูลแป้งที่เคลือบด้วย Eudragit® L100 – S 100 (1:1) ตามน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (ก) 25 % (ข) 50 % (ค) 100% จากน้ำหนักเริ่มต้น 42

4.12 ลักษณะแกรนูลเคลือบด้วยฟิล์ม Eudragit® L100 – S100 (1:1) ที่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น 25% ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (ก) พื้นผิวภายนอก (ข) ภาคตัดขวาง (x75) (ค) ภาคตัดขวาง (x500) 43

4.13 การรั่วออกของแป้งจากแกรนูลที่เคลือบด้วย Eudragit L 100 – S 100 (1:1) หลังผ่านการทดสอบใน 0.1 N. HCl pH 1.2 นาน 2 ชั่วโมง จากแกรนูลที่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น (ก) 25 % (ข) 50% (ค) 100% 47

4.14 รูรั่วเล็ก ๆ (วงกลมสีแดง) ที่ตรวจพบได้ด้วยตาเปล่าบนผิวของแกรนูลเคลือบฟิล์ม 48

4.15 ลักษณะแกรนูลที่เคลือบด้วยเพคตินที่ระดับความเข้มข้น 5%, 6%, 7%, 8% และ 9 % หลังการเตรียมขึ้นใหม่ (ภาพซ้าย) และหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 37 °ซ นาน 12 ชั่วโมง (ภาพขวา) 49

4.16 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแสดงลักษณะพื้นผิวภายนอก (ซ้าย) และภาคตัดขวาง (ขวา) ของเม็ดเคลือบเพคตินจากสารละลายเพคตินความเข้มข้น 5% ที่กำลังขยาย × 500 ที่ low และ high vacuum mode 51

4.17 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแสดงลักษณะพื้นผิวภายนอก (ซ้าย) และภาคตัดขวาง (ขวา) ของเม็ดเคลือบเพคตินจากสารละลายเพคตินความเข้มข้น 9% ที่กำลังขยาย × 500 ที่ low และ high vacuum mode 52

4.18 ลักษณะเม็ดเคลือบเพคตินที่ผ่านการทดสอบ (ก) 0.1 N. HCl : pH 1.2 (ข) PBS : pH 6.8 นาน 2 ชั่วโมง 54

4.19 ลักษณะเม็ดเคลือบเพคติน (5%) ที่ผ่านการทดสอบใน (ก) 0.1 N. HCl : pH 1.2 และตามด้วย (ข) PBS : pH 6.8 นาน 2 ชั่วโมง 55

4.20 ลักษณะเม็ดเคลือบเพคติน (6%) ที่ผ่านการทดสอบใน (ก) 0.1 N. HCl : pH 1.2 และตามด้วย (ข) PBS : pH 6.8 นาน 2 ชั่วโมง 56

4.21 ลักษณะเม็ดเคลือบเพคติน (7%) ที่ผ่านการทดสอบใน (ก) 0.1 N. HCl : pH 1.2 และตามด้วย (ข) PBS : pH 6.8 นาน 2 ชั่วโมง 57

4.22 ลักษณะเม็ดเคลือบเพคติน (8%) ที่ทดสอบใน (ก) 0.1 N. HCl : pH 1.2 และตามด้วย (ข) PBS : pH 6.8 นาน 2 ชั่วโมง และ(ค) PBS : pH 7.4 นาน 4 ชั่วโมง 58

4.23 ลักษณะเม็ดเคลือบเพคติน (9%) ที่ทดสอบใน (ก) 0.1 N. HCl : pH 1.2 และตามด้วย (ข) PBS : pH 6.8 นาน 2 ชั่วโมง และ(ค) PBS : pH 7.4 นาน 4 ชั่วโมง 59

4.24 การกระจายตัวของแป้งที่ตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์ธรรมดา (×10) (บน) การรั่วของแป้งปริมาณน้อย (ล่าง) การรั่วของแป้งปริมาณมาก 61

4.25 การเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวของแกรนูลเคลือบเพคติน 9% ใน 0.1 N. HCl pH 1.2 นาน 2 ชั่วโมง ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Low vacuum mode) 63

4.26 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของแกรนูลเคลือบเพคติน 9% หลังจากทดสอบใน 0.1 N. HCl pH 1.2 ต่อด้วย PBS : pH 6.8 ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Low vacuum mode) 64

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ลักษณะที่สำคัญของอะมิโลสและอะมิโลเพคติน	6
2.2 ปริมาณ RS ในตัวอย่างแป้งทั้งชนิดสตาร์ช (Starch) และแป้ง (Flour)	8
4.1 รูปร่างและลักษณะของเม็ดแป้งดิบชนิดต่าง ๆ	34
4.2 การเจริญเติบโตและการย่อยแป้งดิบของแบคทีเรียแลคโตบาซิลลัส ในอาหารที่มีแป้งดิบ 2% w/v เป็นแหล่งคาร์บอนแทนน้ำตาลกลูโคส	35
4. 3 น้ำหนักเปียก น้ำหนักแห้ง และน้ำหนักที่สูญเสียของเม็ดเคลือบเพคติน	50
4.4 แสดงความเข้มของสีจากการทำปฏิกิริยาของไอโอดีนกับแป้งที่รั่วออกมา ในแต่ละสภาวะ	60