ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
242701

การสกัดไคโตซานจากเกล็ดปลานิลเพื่อการผลิตแผ่นฟิล์มที่บริโภคได้

วีระยุทธ วีระพันธ์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
กุมภาพันธ์ 2554

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
242701

การสกัดไคโตซานจากเกล็ดปลานิลเพื่อการผลิตแผ่นฟิล์มที่บริโภคได้

วีระยุทธ วีระพันธ์

วิทยานิพนธ์นี้เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัยเพื่อเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
กุมภาพันธ์ 2554

การสกัดไคโตซานจากเกล็ดปลานิลเพื่อการผลิตแผ่นฟิล์มที่บริโภคได้

วีระยุทธ วีระพันธ์

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ลักขณา รุจนะไกรกานต์

.....กรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร. ไพโรจน์ วิริยจารี

.....กรรมการ
ดร. ศักดา พรึงลำภู

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

.....
รองศาสตราจารย์ ดร. ไพโรจน์ วิริยจารี

11 กุมภาพันธ์ 2554

© ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงต่อ รองศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ วิริยจารี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาสละเวลาทำหน้าที่อาจารย์ที่ปรึกษา โดยได้กรุณาให้คำแนะนำถึงประเด็นต่างๆในการศึกษา และชี้แนวทางในการแก้ปัญหา การค้นคว้าหาข้อมูลเพิ่มเติม อันเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์ และสรุปผลการศึกษา รวมทั้งให้คำแนะนำการแก้ไขงานให้สมบูรณ์เป็นอย่างยิ่งทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ลักขณา รุจนะไกรกานต์ และ ดร.ศักดา พรึงลำภู ที่ได้กรุณาทำหน้าที่เป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และช่วยเหลือในการตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆเพื่อให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ผู้เขียนขอขอบพระคุณต่อบรรดาครูอาจารย์ และเจ้าหน้าที่ในภาควิชาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้ช่วยถ่ายทอดวิชาความรู้ รวมถึงอำนวยความสะดวกต่างๆแก่ผู้เขียน ตลอดจนขอขอบคุณ นางสาวปัทมา กาญจนคีรีธำรง ที่ช่วยเหลือในขั้นตอนการศึกษาผลของเชื้อราต่อฟิล์มไคโตซาน นางสาวนภาพันธ์ โชคอำนวยพร ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ และขอขอบคุณบรรดารุ่นพี่ เพื่อน และรุ่นน้อง ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และความร่วมมือในหลายๆด้านระหว่างการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณคณะอุตสาหกรรมเกษตร และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ยงยุทธ พุกเฉยและอาจารย์ หนูใจ พุกเฉย ผู้เป็นบุพการีที่ได้สนับสนุนด้านทุนทรัพย์ กำลังใจ และความช่วยเหลือต่าง ๆ จนข้าพเจ้าสามารถเล่าเรียนจนถึงระดับนี้ ประโยชน์อันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ในความดีทั้งปวงผู้เขียนขอมอบแด่บุพการีและครูอาจารย์ที่ได้อบรมสั่งสอนให้มีความรู้จนถึงปัจจุบัน ตลอดจนทุกคนที่มีส่วนช่วยเหลือในส่วนความบกพร่องต่าง ๆซึ่งผู้เขียนขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

วีระยุทธ วีระพันธ์

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ การสกัดไคโตซานจากเกล็ดปลานิลเพื่อการผลิตแผ่นฟิล์มที่บริโภคได้

ผู้เขียน นาย วีระยุทธ วีระพันธ์

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ไพโรจน์ วิริยจารี

บทคัดย่อ

242701

ไคโตซานเป็นสารพอลิเมอร์ธรรมชาติที่ได้จากปฏิกิริยา Deacetylation ของไคติน โดยไคตินมีมากในเปลือกกุ้ง นอกจากนี้ยังพบไคตินในเกล็ดปลาอีกด้วย งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษากระบวนการสกัดไคติน-ไคโตซานจากเกล็ดปลานิล (*Tilapia Nilotica*) พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดไคติน-ไคโตซาน คือในขั้นตอนการกำจัดโปรตีนใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 4.20 โดยน้ำหนัก และอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด 60 องศาเซลเซียส เวลากำจัดโปรตีน 5 ชั่วโมง ส่วนขั้นตอนการกำจัดแร่ธาตุได้ใช้กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 2 นอร์มัล ร้อยละ 52 โดยปริมาตร ใช้เวลาสกัด 6 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง และในขั้นตอนการผลิตไคโตซานได้ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 58 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลาผลิตไคโตซาน 2 ชั่วโมง โดยในทุกขั้นตอนใช้อัตราส่วนของเกล็ดปลานิลต่อสารที่ใช้ในการสกัดเท่ากับ 1 : 6 ได้ปริมาณไคโตซานประมาณ 18.01 กรัม สามารถกำจัดหมู่อะซีทิลได้ร้อยละ 99.81

สารประกอบไคโตซานสามารถนำมาผลิตเป็นแผ่นฟิล์ม และศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มไคโตซาน โดยฟิล์มไคโตซานสามารถผลิตได้จากสารละลายไคโตซานร้อยละ 1 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ในกรดแลคติกร้อยละ 1 ปริมาณที่ใช้ร้อยละ 44.20 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ร่วมกับกลีเซอรีนร้อยละ 2.60 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) น้ำมันตะไคร้ร้อยละ 3.20 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) เจลาตินร้อยละ 15 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) และน้ำกลั่นร้อยละ 35 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก)

242701

ในการทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มไคโตซานที่ได้มีค่าการยืดตัว ความทนแรงดึง อัตราการแพร่ของก๊าซออกซิเจน และอัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มไคโตซานที่ได้เท่ากับร้อยละ 17.12, 27.03 เมกะปาสคาล, 6.53 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/24 ชั่วโมง และ 16.21 กรัม/ตารางเมตร.24 ชั่วโมง ตามลำดับ

สำหรับการศึกษาผลของฟิล์มไคโตซานต่อการยับยั้งเชื้อยีสต์ และรา ในผลิตภัณฑ์กาละแม โดยนำกาละแมห่อด้วยฟิล์มไคโตซานเปรียบเทียบกับกาละแมที่ไม่ได้ห่อด้วยฟิล์มไคโตซานและเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่า การห่อกาละแมด้วยฟิล์มไคโตซานสามารถเก็บได้นานถึง 9 วัน โดยไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าวในผลิตภัณฑ์ ซึ่งเปรียบเทียบกับกาละแมที่ไม่ได้ห่อด้วยฟิล์มดังกล่าวแต่สามารถเก็บไว้ได้นานเพียง 1-2 วัน

Thesis Title	Chitosan Extraction from Fish Scale of Tilapia (*Tilapia Nilotica*) for Edible Film Production
Author	Mr. Weerayut Weeraphan
Degree	Master of Science (Agro-Industrial Product Development)
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Pairote Wiriyacharee

ABSTRACT

242701

Chitosan is a natural polymer derived from deacetylation of chitin. A large amount of chitin could be found from shrimp shell and fish scales. This research has been emphasized on process of chitin – chitosan extraction from the tilapia scale (*Tilapia Nilotica*). It was found that the optimal conditions for deproteinization was the use of 4.20 % (w/v) sodium hydroxide as solvent extraction at 60 ° C for 5 hours. Moreover, 2 N hydrochloric acid at 52 % (v/v) were used for 6 hours demineralization at room temperature. In addition, chitosan production was carried out using 58 % (w/v) of sodium hydroxide at 120 ° C for 2 hours. However, the ratio of the tilapia scales together with the solution use for extraction of 1:6 were used in every step of the experiment. The amount of chitosan extracted were approximately 18.01 % (w/w) and the percentage of deacetylation were 99.81 % .

Chitosan compound could be used to produce not only chitosan film but also to study its properties. Chitosan concentration 1 % (w / v) in 1 % lactic acid concentration this solution used 44.20 % (w/w) mixed with 2.60 % (w/w) glycerin, 3.20 % (w/w) lemon grass oil, 15 % (w/w) gelatin and 35 % (w/w) distilled water could be produced into chitosan film.

242701

The physical properties of chitosan film were studied and found that percentage of elongation, tensile strength, rate of diffusion of oxygen and the rate of water vapor permeability were 17.12 %, 27.03 MPa, 6.53 $cm^3/m^2/24$ hours and 16.21 g/m^2.24 hours, respectively.

The study on the effect of chitosan film on yeast and mold inhibition with Thai caramel confectionery product. The product was wrapped with chitosan film and compared with the un-wrapped which were stored at 25 ° C. It was found that the former could be kept for 9 days (no yeast and mold were detected) comparing with the control one which could be stored in duration of 1-2 days only.

สารบาญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบาญตาราง	ญ
สารบาญภาพ	ฏ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาที่นำไปสู่การค้นคว้าวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	36
3.1 วัตถุดิบและอุปกรณ์	36
3.2 วิธีการทดลอง	41
3.3 แผนการทดลอง	43
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	51
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	80
5.1 สรุปผลการทดลอง	80
5.2 ข้อเสนอแนะ	82

เอกสารอ้างอิง 84

ภาคผนวก 92

ภาคผนวก ก ภาพประกอบกระบวนการสกัดไคโตซานจากเกล็ดปลานิล 93

ภาคผนวก ข ภาพประกอบการผลิตฟิล์มไคโตซาน 96

ภาคผนวก ค ภาพประกอบการผลิตกาละแม 98

ภาคผนวก ง การวิเคราะห์คุณภาพ 100

ประวัติผู้เขียน 106

สารบาญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	ชนิดและคุณลักษณะของไคติน	5
2.2	ปริมาณไคตินและไคโตซานในแหล่งวัตถุดิบต่าง ๆ	8
2.3	สรุปขั้นตอนการสกัดไคตินและไคโตซานที่มีผลต่อค่าร้อยละการกำจัดหมู่อะซีทิล	12
2.4	คุณสมบัติพื้นฐานของไคตินและไคโตซาน	15
2.5	วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของไคตินและไคซาน	16
2.6	ปริมาณและมูลค่าการส่งออกและนำเข้า	20
2.7	คุณสมบัติของเจลาติน	27
3.1	ระดับปัจจัยของการศึกษาผลความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์และอุณหภูมิในขั้นตอนการกำจัดโปรตีน	44
3.2	แผนการทดลองแบบ Central Composite Design ในการศึกษาผลของความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ และอุณหภูมิในขั้นตอนการกำจัดโปรตีน	44
3.3	ระดับปัจจัยของการศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 2 นอมัลและเวลาในขั้นตอนกำจัดแร่ธาตุ	46
3.4	แผนการทดลองแบบ Central Composite Design ในการศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 2 นอมัล และเวลาในขั้นตอนกำจัดแร่ธาตุ	46
3.5	ระดับปัจจัยของการศึกษาผลความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ และอุณหภูมิในขั้นตอนการผลิตไคโตซาน	47
3.6	แผนการทดลองแบบ Central Composite Design ในการศึกษาผลของความเข้มข้นในขั้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ และอุณหภูมิในขั้นตอนการผลิตไคโตซาน	48
3.7	แผนการทดลองแบบ Mixture design ในการศึกษาผลของสารละลายไคโตซานร้อยละ 1 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ในกรดแลคติกร้อยละ 1 ความเข้มข้นของกลีเซอรีน และความเข้มข้นของน้ำมันตะไคร้ในขั้นตอนการผลิตฟิล์มไคโตซาน	49

4.1	ผลการศึกษาการกำจัดโปรตีนออกจากตัวอย่างเกล็ดปลานิลโดยการผันแปรปัจจัยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และอุณหภูมิ	52
4.2	สมการถดถอยสมการถดถอยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์และอุณหภูมิต่อค่าการกำจัดโปรตีนออกจากตัวอย่างเกล็ดปลานิล	53
4.3	ผลการศึกษาการกำจัดแร่ธาตุออกจากตัวอย่างเกล็ดปลานิลโดยการผันแปรปัจจัยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 2 นอมัล และเวลา	55
4.4	สมการถดถอยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 2 นอมัลและเวลาต่อค่าการกำจัดแร่ธาตุออกจากตัวอย่างเกล็ดปลานิล	56
4.5	ปริมาณของไคโตซานที่ผลิตจากไคตินจากเกล็ดปลานิลที่ผลิตจากการผันแปรปัจจัยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และอุณหภูมิ	58
4.6	สมการถดถอยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ และอุณหภูมิต่อค่าคุณภาพของไคโตซานในกระบวนการผลิตไคโตซานจากไคตินที่สกัดมาจากเกล็ดปลานิล	59
4.7	ค่าร้อยละการกำจัดโปรตีน ค่าร้อยละการกำจัดแร่ธาตุ ระดับของการกำจัดหมู่อะซีทิล และปริมาณไคโตซาน ที่ได้จากการทำนายและจากการผลิตจริงและร้อยละความคลาดเคลื่อน	61
4.8	ค่าคุณภาพของฟิล์มไคโตซานเมื่อผันแปรปัจจัยสารละลายไคโตซานร้อยละ 1 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ในกรดแลคติกร้อยละ 1 ความเข้มข้นของกลีเซอรีนและความเข้มข้นของน้ำมันตะไคร้ในขั้นตอนการผลิตฟิล์มไคโตซาน	64
4.9	ความสัมพันธ์ของสมการถดถอยกับค่าคุณภาพของฟิล์มไคโตซาน	66
4.10	ผลการเปรียบเทียบค่าคุณสมบัติของแผ่นฟิล์มไคโตซานที่ได้จากการทำนายและจากการผลิตจริงและร้อยละความคลาดเคลื่อน	68
4.11	ผลของการศึกษาผลของฟิล์มไคโตซานที่มีต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อยีสต์และราในผลิตภัณฑ์กาละแม	75
4.12	ต้นทุนจากการสกัดไคโตซานที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในกลุ่มผลิตอาหารจากเกล็ดปลานิลต่อเกล็ดปลานิล 100 กรัม	78

สารบาญภาพ

ภาพ		หน้า
2.1	โครงสร้างของไคติน	5
2.2	โครงสร้างของไคโตซาน	9
2.3	ลักษณะเกล็ดปลานิล	23
2.4	โครงสร้างของกลีเซอรีน	27
2.5	เครื่องมือใช้วัดอัตราการซึมผ่านของออกซิเจน	33
3.1	แผนผังการสกัดไคตินจากเกล็ดปลานิลเพื่อใช้ในการขึ้นรูปเป็นฟิล์มที่บริโภคได้ และการประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์กาละแม	41
3.2	แผนผังการสกัดไคโตซานจากเกล็ดปลานิลเพื่อใช้ในการขึ้นรูปเป็นฟิล์มที่บริโภคได้ และการประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์กาละแม	42
4.1	กระบวนการผลิตที่ดีที่สุด (Optimization) สำหรับการศึกษาผลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ และอุณหภูมิ ในการกำจัดโปรตีน	53
4.2	กระบวนการผลิตที่ดีที่สุด (Optimization) สำหรับการศึกษาผลของกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 2 นอมัล และเวลาในการกำจัดแร่ธาตุ	56
4.3	กระบวนการผลิตที่ดีที่สุด (Optimization) สำหรับการศึกษาผลของการผันแปรโซเดียมไฮดรอกไซด์ และอุณหภูมิ ในการสกัดไคโตซานจากไคตินในเกล็ดปลานิล	60
4.4	กราฟแสดงค่าการ Transmittance ของไคโตซานมาตรฐานจากบริษัท ต้าหมิง เอ็นเตอร์ไพรส์ จำกัด	62
4.5	กราฟแสดงค่าการ Transmittance ของไคโตซานที่ผลิตได้จากเกล็ดปลานิล	62
4.6	กราฟการซ้อนทับของส่วนผสมในการผลิตผลิตภัณฑ์แผ่นฟิล์มไคโตซานจากการศึกษาทั้ง 12 สิ่งทดลอง ที่ได้จากการวางแผนแบบ Mixture design	67
4.7	ผลของฟิล์มไคโตซานทั้ง 12 สูตรต่อค่าการยับยั้งเชื้อ *Penicillium* จากการผันแปรปริมาณความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานร้อยละ 1 (น้ำหนักต่อปริมาตร)ในกรดแลคติกร้อยละ 1 ความเข้มข้นของกลีเซอรีน และความเข้มข้นของน้ำมันตะไคร้ วันที่ 1	70

4.8	ผลของฟิล์มไคโตซานทั้ง 12 สูตรต่อค่าการยับยั้งเชื้อ *Penicillium* จากการผันแปรปริมาณความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานร้อยละ 1 (น้ำหนักต่อปริมาตร)ในกรดแลคติกร้อยละ 1 ความเข้มข้นของกลีเซอรีน และความเข้มข้นของน้ำมันตะไคร้ วันที่ 2	71
4.9	ผลของฟิล์มไคโตซานทั้ง 12 สูตรต่อค่าการยับยั้งเชื้อ *Penicillium* จากการผันแปรปริมาณความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานร้อยละ 1 (น้ำหนักต่อปริมาตร)ในกรดแลคติกร้อยละ 1 ความเข้มข้นของกลีเซอรีน และความเข้มข้นของน้ำมันตะไคร้ วันที่ 3	72
4.10	ผลของฟิล์มไคโตซานทั้ง 12 สูตรต่อค่าการยับยั้งเชื้อ *Penicillium* จากการผันแปรปริมาณความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานร้อยละ 1 (น้ำหนักต่อปริมาตร)ในกรดแลคติกร้อยละ 1 ความเข้มข้นของกลีเซอรีน และความเข้มข้นของน้ำมันตะไคร้ วันที่ 4	73
4.11	ผลของฟิล์มไคโตซานทั้ง 12 สูตรต่อค่าการยับยั้งเชื้อ *Penicillium* จากการผันแปรปริมาณความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานร้อยละ 1 (น้ำหนักต่อปริมาตร)ในกรดแลคติกร้อยละ 1 ความเข้มข้นของกลีเซอรีน และความเข้มข้นของน้ำมันตะไคร้ วันที่ 5	74
4.12	เชื้อยีสต์และราในกาละแม วันที่ 0	76
4.13	เชื้อยีสต์และราในกาละแมที่ไม่ได้ห่อฟิล์มไคโตซานวันที่3	76
4.14	เชื้อยีสต์และรานกาละแมที่ห่อด้วยฟิล์มไคโตซานวันที่ 3	76
4.15	เชื้อยีสต์และราในกาละแมที่ไม่ได้ห่อฟิล์มไคโตซานวันที่6	77
4.16	เชื้อยีสต์และรา ในกาละแมที่ห่อด้วยฟิล์มไคโตซานวันที่ 6	77
4.17	เชื้อยีสต์และราในกาละแมที่ไม่ได้ห่อฟิล์มไคโตซานวันที่9	77
4.18	เชื้อยีสต์และราในกาละแมที่ห่อด้วยฟิล์มไคโตซานวันที่ 9	77
4.19	เชื้อยีสต์และรา ในกาละแมที่ไม่ได้ห่อฟิล์มไคโตซานวันที่12	77
4.20	เชื้อยีสต์และราในกาละแมที่ห่อด้วยฟิล์มไคโตซานวันที่ 12	77
4.21	เชื้อยีสต์และราในกาละแมที่ห่อด้วยฟิล์มไคโตซานวันที่ 15	78
5.1	กระบวนการผลิตไคติน-ไคโตซาน ที่เหมาะสม	81
ก-1	ขั้นตอนกระบวนการสกัดไคตินจากเกล็ดปลานิล	94

ก-2	ขั้นตอนกระบวนการสกัดไคโตซานตามเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในการผลิตอาหารจากเกล็ดปลานิล	95
ข-1	ภาพประกอบการผลิตฟิล์มไคโตซาน	97
ค-1	ขั้นตอนกระบวนการผลิตกาละแม	99
ง-1	กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานของดีกลูโคซามีนไฮโดรคลอไรด์ (D-glucosamine hydrochloride : GlcN)	102
ง-2	กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานของอะซีทิลกลูโคซามีน (Acetyl-glucosamine : GlcNAC)	102