การผลิตและการเก็บรักษาฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง

นางสาวปรมาภรณ์ เกิดทรัพย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-1015-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I2101498X

PRODUCTION AND STORAGE OF EDIBLE FILM FROM THREADFIN-BREAM'S WATER SOLUBLE PROTEINS

Miss Paramaporn Kerdsup

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Food Technology
Department of Food Technology
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2002

ISBN 974-17-1015-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตและการเก็บรักษาฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง
โดย	นางสาวปรมาภรณ์ เกิดทรัพย์
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.รมณี สงวนดีกุล

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย โพธิ์พิจิตร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.พันธิพา จันทวัฒน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.รมณี สงวนดีกุล)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.นินนาท ชินประหัษฐ์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ ตันตระเธียร)

ปรมาภรณ์ เกิดทรัพย์ : การผลิตและการเก็บรักษาฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง
(Production and storage of edible film from threadfin-bream's water soluble proteins)
อ.ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.รมณี สงวนดีกุล : 152 หน้า. ISBN 974-17-1015-1

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อผลิตฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง (*Nemipterus hexodon*) เพื่อให้ได้แผ่นฟิล์มที่มีความคงทนแข็งแรง วัตถุดิบที่ใช้คือปลาทรายแดงซึ่งมีค่าความชื้น 77.19 % โปรตีน 17.77 % ไขมัน 4.07 % เถ้า 1.01 % คาร์โบไฮเดรต 0.06 % และโปรตีนที่ละลายน้ำ 16.26% ของปริมาณโปรตีนทั้งหมด จากการสกัดโปรตีนที่ละลายน้ำได้จากปลาทรายแดงด้วยน้ำกลั่นที่เย็น (4 องศาเซลเซียส) ปริมาตร 5 เท่าของน้ำหนักเนื้อปลา แล้วทำ dialysis และระเหิดแห้ง พบว่า โปรตีนที่สกัดได้มีปริมาณโปรตีน เท่ากับ 97.63% โดยน้ำหนักแห้ง ในการวิจัยศึกษา pH และอุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตแผ่นฟิล์มซึ่งจะทำให้แผ่นฟิล์มมีค่าความต้านทานแรงดึงขาดสูงสุด โดยแปรค่า pH เป็น 3 5 7 9 และ 11 และอุณหภูมิที่ใช้คือ 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส เวลาในการให้ความร้อน 15 นาที ก่อนการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มบนแผ่นซิลิโคน จากผลการทดสอบสมบัติต่างๆ พบว่า แผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยใช้ pH เท่ากับ 9 และให้ความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส 15 นาที ให้ค่าความต้านทานแรงดึงขาดสูงสุดคือ 1.84 MPa ค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาด 48.72% ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ 1.89×10^{-10} g.m/m^2.s.Pa ค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน 1.89×10^{-18} mol.m/m^2.s.Pa ค่า L a b 83.07 0.83 และ 3.23 ตามลำดับ และค่าการละลายทั้งหมด 51.41% เมื่อพิจารณาจากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบบส่องกราดพบว่า แผ่นฟิล์มที่สภาวะดังกล่าวมีพื้นผิวต่อเนื่องและแน่นกว่าแผ่นฟิล์มที่สภาวะอื่น และจากผลการวิเคราะห์โดยใช้ SDS-PAGE electrophoresis แสดงให้เห็นว่ามีการเกิดพันธะไดซัลไฟด์ขึ้นในการผลิตแผ่นฟิล์ม จากข้อสรุปดังกล่าวจึงเลือกสภาวะการผลิตนี้ไปใช้ในขั้นตอนต่อไป เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณพลาสติไซเซอร์ที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นฟิล์ม โดยใช้พลาสติไซเซอร์ 3 ชนิดคือกลีเซอรอล (GLY) ซอร์บิทอล (SOR) และ โพลิเอททิลีนไกลคอล (PEG) และแปรปริมาณเป็น 3 ระดับคือ 40 50 และ 60% โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ใช้ในการผลิตแผ่นฟิล์ม พบว่าการเพิ่มปริมาณพลาสติไซเซอร์ทำให้แผ่นฟิล์มมีค่าความต้านทานแรงดึงขาดลดลง แต่จะให้ค่าการยืดตัวถึงจุดขาด ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ และค่าการละลายทั้งหมดสูงขึ้น และพบว่าการใช้ SOR เป็นพลาสติไซเซอร์จะได้ฟิล์มที่มีค่าความต้านทานแรงดึงขาดสูงกว่าการใช้ GLY และ PEG โดยการใช้ SOR 40% จะให้ค่าความต้านทานแรงดึงขาดสูงสุดคือ 5.11 MPa แต่จะให้ร้อยละค่าการยืดตัวถึงจุดขาด ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ และค่าการละลายทั้งหมดต่ำที่สุดคือ 7.52% 1.13×10^{-10} g.m/m^2.s.Pa และ 26.18% ตามลำดับ และแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จะมีค่าสี (L a b) 83.05 0.04 และ 3.87 ตามลำดับ ส่วนการใช้ GLY 60% จะทำให้ฟิล์มที่ผลิตได้มีค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดสูงกว่าการใช้ SOR ทุกระดับความเข้มข้นมาก ในขณะที่สมบัติด้านอื่นๆ ใกล้เคียงกับการใช้ SOR จึงเลือกสภาวะการผลิตฟิล์มโดยใช้ SOR 40% และ GLY 60% มาศึกษาผลของอายุการเก็บแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิห้องในถุงพลาสติกชนิด low density polyethylene เป็นเวลา 2 เดือนต่อสมบัติต่างๆ ของฟิล์ม พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้นจะทำให้แผ่นฟิล์มที่เก็บที่อุณหภูมิห้องทั้ง 2 สภาวะมีค่าความต้านทานแรงดึงขาดและค่าการซึมผ่านของไอน้ำสูงขึ้น แต่จะมีค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดและค่าการละลายทั้งหมดต่ำลง และมีสีเหลืองขึ้นเล็กน้อย

ภาควิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร..... ลายมือชื่อนิสิต.....ปรมาภรณ์ เกิดทรัพย์.....

สาขาวิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.....2545..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

##4272333123 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEY WORD : THREADFIN-BREAM / WATER SOLUBLE PROTEIN / EDIBLE FILM

PARAMAPORN KERDSUP : PRODUCTION AND STORAGE OF EDIBLE FILM FROM THREADFIN-BREAM'S WATER SOLUBLE PROTEIN. THESIS ADVISOR : ROMANEE SANGUANDEEKUL, Ph.D. 152 pp.

ISBN 974-17-1015-1

The objective of this research was to develop high strength edible films from threadfin-bream's water soluble protein. Proximate analysis of threadfin-bream was 77.19% moisture, 17.77% protein, 4.07% fat, 1.01% ash, and 0.06% carbohydrate. The water soluble protein (16.26% basis on total proteins) was extracted from threadfin-bream with cold distilled water (4°C) at 5 times of the weight of threadfin-bream's flesh, dialyzed and then lyophilized. The lyophilized sample contained 97.63% protein. Edible film from threadfin-bream was prepared by vary pH (3, 5, 7, 9, and 11) and heating temperature (60, 70, 80 and 90°C) of the film–forming solution and the solution was casted on silicone plate. The film at pH 9 and heating at 70°C for 15 minutes yielded highest tensile strength(TS) 1.84 MPa. Other properties at this condition were %elongation at break(%E) 48.72%, water vapor permeability(WVP) 1.89 x 10^{-10} g.m/m^2.s.Pa, total solubility 54.41%, oxygen permeability 1.89 x 10^{-18}mol.m/m^2.s.Pa and and L, a, b of 82.92, 0.67,and 4.42 respectively. The scanning electron micrograph of this film showed that the film had a continual structure and more dense than the film produced at other conditions. The analysis by SDS-PAGE electrophoresis with 2-mercaptoethanol indicated that there were disulfide bonds formation in the film- forming solution. Three types of plasticizers i.e. glycerol(GLY), sorbitol(SOR) and polyethylene glycol(PEG) under 3 levels at 40, 50, and 60% of the weight of proteins were used for edible film production. The results showed that TS of the film decreased while the %E, WVP, and total solubility increased when the amount of plasticizers increased. Using SOR as plasticizer yielded the edible film with higher TS than using GLY and PEG. Film with 40% SOR yielded the highest TS of 5.11 MPa with the lowest %E, WVP and total solubility of 7.52%, 1.13 x 10^{-10} g.m/m^2.s.Pa, and 26.18%, respectively. This edible film yielded L, a, b at the value of 83.05, 0.04, and 3.87, respectively. The percentage of %E of the film with GLY 60% was higher than with SOR while other properties were not much different. The film at pH 9 and heating at 70°C for 15 minutes using SOR 40% and GLY 60% as plasticizers were used in the study of storage test of the film at room temperature in low density polyethylene bag for 2 months. The results revealed that TS and WVP increased while %E and total solubility decreased with storage time and the color of the film became slightly yellow.

Department.....Food Technology..... Student's signature.....

Field of study.....Food Technology..... Advisor's signature.....

Academic year.....2002..... Co- advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ อาจารย์ ดร.รมณี สงวนดีกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัย และช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย ชุดโครงการวิจัยเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมเกษตร-อุตสาหกรรมอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ Tokyo University of Fisheries ที่ได้มอบทุนอุดหนุนการวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.พันธิพา จันทวัฒน์ ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ ดร.นินนาท ชินประหัษฐ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ ตันตระเธียร ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมทั้งขอกราบขอบพระคุณ Professor Munehiko Tanaka (Tokyo University of Fisheries) ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำในการทำวิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ พี่ๆ น้องๆ และเพื่อนๆ นิสิตภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะต่างๆ ด้วยความเต็มใจยิ่งตลอดการวิจัย

ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณ มารดา-บิดา ที่ให้การสนับสนุนด้านการเงินและกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญ..... ช
สารบัญตาราง..... ซ
สารบัญรูป..... ฐ
บทที่
1 บทนำ..... 1
2 วารสารปริทัศน์..... 2
3 การทดลอง.....27
4 ผลการทดลอง.....35
5 วิจารณ์ผลการทดลอง.....81
6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....100
รายการอ้างอิง.....102
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก. 108
ภาคผนวก ข. 114
ภาคผนวก ค. 120
ภาคผนวก ง. 134
ภาคผนวก จ. 149
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....152

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1 องค์ประกอบโดยประมาณของเนื้อปลา.....5
2 ปริมาณ sarcoplasmic protein ในสัตว์บางชนิด.....6
3 องค์ประกอบของ sarcoplasmic protein ที่สำคัญในปลาบางชนิด.....7
4 แรงระหว่างโมเลกุลของโปรตีนและโพลิแซคคาไรด์ที่ทำให้เกิดโครงสร้างตาข่ายที่เสถียรในการเกิดเจล.....17
5 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลาทรายแดง (*Nemipterus hexodon*).....35
6 %yield ของการสกัดโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดงเทียบกับส่วนต่างๆ ของปลาทรายแดง.....36
7 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนที่ใช้เพื่อผลิตสารละลายโปรตีน 3% โดยวิเคราะห์ด้วยวิธี Biuret assay.....36
8 ค่าสีในระบบ L a b ของแผ่นฟิล์มที่ pH และอุณหภูมิในการผลิตต่างๆ.....42
9 ค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของแผ่นฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง.....43
10 ค่าสีในระบบ L a b ของฟิล์มที่ใช้กลีเซอรอลปริมาณต่างๆ กันเป็นพลาสติไซเซอร์....66
11 ค่าสีในระบบ L a b ของฟิล์มที่ใช้ซอร์บิทอลปริมาณต่างๆ กันเป็นพลาสติไซเซอร์.....66
12 ค่าสีในระบบ L a b ของฟิล์มที่ใช้โพลิเอททิลีน ไกลคอลปริมาณต่างๆ กันเป็นพลาสติไซเซอร์.....66
13 ค่าสีในระบบ L a b ของฟิล์มที่ผลิตโดยใช้ซอร์บิทอล 40% โดยน้ำหนักของโปรตีนเป็นพลาสติไซเซอร์ที่เวลาการเก็บรักษาต่างๆ.....80
14 ค่าสีในระบบ L a b ของฟิล์มที่ผลิตโดยใช้กลีเซอรอล 60% โดยน้ำหนักของโปรตีนเป็นพลาสติไซเซอร์ที่เวลาการเก็บรักษาต่างๆ.....80
15 สมบัติต่างๆ ของแผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยใช้ pH ของสารละลายและอุณหภูมิในการให้ความร้อนต่างๆ กัน.....109
16 สมบัติต่างๆ ของแผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยใช้กลีเซอรอลปริมาณต่างๆ เป็นพลาสติไซเซอร์.....110
17 สมบัติต่างๆ ของแผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยใช้ซอร์บิทอลปริมาณต่างๆ เป็นพลาสติไซเซอร์.....110

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

18 สมบัติต่างๆ ของแผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยใช้โพลิเอททิลีน ไกลคอล ปริมาณต่างๆ เป็นพลาสติไซเซอร์.....111

19 สมบัติต่างๆ ของแผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยใช้กลีเซอรอล 60% โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ใช้ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ กัน.....112

20 สมบัติต่างๆ ของแผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยใช้ซอร์บิทอล 40% โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ใช้ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ กัน.....113

21 Experimental set up for the Biuret assay.....118

22 การเตรียมสารเคมีสำหรับทำ SDS-PAGE electrophoresis.....126

23 การเตรียม Resoving gel solution เมื่อต้องการแผ่นเจลหนา 1 มิลลิเมตร จำนวน 2 แผ่น.....129

24 ความเข้มข้นของเจลที่เหมาะสมกับการแยกโปรตีนชนิดต่างๆ.....129

25 การเตรียม Stacking gel solution สำหรับเจลหนา 1 มิลลิเมตร จำนวน 2 แผ่น.....130

26 การเตรียม Fixing solution ปริมาณ 1 ลิตร.....130

27 การเตรียม Staining solution ปริมาณ 1 ลิตร.....130

28 การเตรียม Destain solution ปริมาณ 1 ลิตร.....131

29 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่าการต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง ที่ pH และอุณหภูมิในการผลิตต่างๆ.....134

30 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง ที่ pH และอุณหภูมิการผลิตต่างๆ.....134

31 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่าการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง ที่ pH และอุณหภูมิการผลิตต่างๆ.....135

32 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่าการละลายทั้งหมดของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง ที่ pH และอุณหภูมิการผลิตต่างๆ.....135

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

33 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่า L ของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง ที่ pH และอุณหภูมิในการผลิตต่างๆ.....136

34 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่า a ของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง ที่ pH และอุณหภูมิในการผลิตต่างๆ.....136

35 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่า b ของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง ที่ pH และอุณหภูมิในการผลิตต่างๆ.....136

36 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่าการต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง ที่ใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์.....137

37 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง ที่ใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์.....137

38 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่าการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง ที่ใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์.....137

39 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่าการละลายทั้งหมดของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง ที่ใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์.....138

40 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่า L ของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง ที่ใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์.....138

41 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่า a ของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง ที่ใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์.....138

42 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่า b ของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง ที่ใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์.....139

43 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่าการต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง ที่ใช้ซอร์บิทอลเป็นพลาสติไซเซอร์.....139

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

44 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง ที่ใช้ซอร์บิทอลเป็นพลาสติไซเซอร์.....139

45 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่าการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง ที่ใช้ซอร์บิทอลเป็นพลาสติไซเซอร์.....140

46 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่าการละลายทั้งหมดของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง ที่ใช้ซอร์บิทอลเป็นพลาสติไซเซอร์.....140

47 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่า L ของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง ที่ใช้ซอร์บิทอลเป็นพลาสติไซเซอร์.....140

48 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่า a ของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง ที่ใช้ซอร์บิทอลเป็นพลาสติไซเซอร์.....141

49 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่า b ของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง ที่ใช้ซอร์บิทอลเป็นพลาสติไซเซอร์.....141

50 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่าการต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง ที่ใช้โพลิเอททิลีน ไกลคอลเป็นพลาสติไซเซอร์.....141

51 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดงที่ใช้ โพลิเอททิลีน ไกลคอลเป็นพลาสติไซเซอร์.....142

52 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่าการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดงที่ใช้โพลิเอททิลีน ไกลคอลเป็นพลาสติไซเซอร์.....142

53 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่าการละลายทั้งหมดของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดงที่ใช้โพลิเอททิลีน ไกลคอลเป็นพลาสติไซเซอร์.....142

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

54 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่า L ของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดงที่ใช้ โพลิเอททิลีน ไกลคอลเป็นพลาสติไซเซอร์.....143

55 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่า a ของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดงที่ใช้โพลิเอททิลีน ไกลคอลเป็นพลาสติไซเซอร์.....143

56 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่า b ของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดงที่ใช้โพลิเอททิลีน ไกลคอลเป็นพลาสติไซเซอร์.....143

57 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่าการต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดงที่ใช้ซอร์บิทอล 40% เป็นพลาสติไซเซอร์ ที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ.....144

58 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดงที่ใช้ซอร์บิทอล 40% เป็นพลาสติไซเซอร์ ที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ.....144

59 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่าการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดงที่ใช้ซอร์บิทอล 40% เป็นพลาสติไซเซอร์ ที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ.....144

60 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่าการละลายทั้งหมดของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดงที่ใช้ซอร์บิทอล 40% เป็นพลาสติไซเซอร์ ที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ.....145

61 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่า L ของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดงที่ใช้ซอร์บิทอล 40% เป็นพลาสติไซเซอร์ ที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ.....145

62 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่า a ของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดงที่ใช้ซอร์บิทอล 40% เป็นพลาสติไซเซอร์ ที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ.....145

63 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่า b ของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดงที่ใช้ซอร์บิทอล 40% เป็นพลาสติไซเซอร์ ที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ.....146

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

64 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่าการต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดงที่ใช้กลีเซอรอล 60% เป็นพลาสติไซเซอร์ ที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ.....146

65 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง ที่ใช้กลีเซอรอล 60% เป็นพลาสติไซเซอร์ ที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ.....146

66 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่าการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง ที่ใช้กลีเซอรอล 60% เป็นพลาสติไซเซอร์ ที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ.....147

67 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่าการละลายทั้งหมดของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง ที่ใช้กลีเซอรอล 60% เป็นพลาสติไซเซอร์ ที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ.....147

68 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่า L ของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง ที่ใช้กลีเซอรอล 60% เป็นพลาสติไซเซอร์ ที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ.....147

69 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่า a ของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง ที่ใช้กลีเซอรอล 60% เป็นพลาสติไซเซอร์ ที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ.....148

70 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติของค่า b ของฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดงที่ใช้กลีเซอรอล 60% เป็นพลาสติไซเซอร์ ที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ.....148

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1 กระบวนการผลิตฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนโดยทั่วไป.....11
2 ลักษณะการเกิดเจลของโปรตีน 2 แบบ.....16
3 โครงสร้างโมเลกุลของกลีเซอรอล.....25
4 โครงสร้างโมเลกุลของซอร์บิทอล.....26
5 โครงสร้างโมเลกุลอย่างย่อของโพลิเอททิลีน ไกลคอล.....25
6 ค่าการต้านทานแรงดึงขาดของแผ่นฟิล์มที่ pH และอุณหภูมิต่างๆ ในการผลิต.....38
7 ค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดของแผ่นฟิล์มที่ pH และอุณหภูมิต่างๆ ในการผลิต.....39
8 ค่าการซึมผ่านของไอน้ำของแผ่นฟิล์มที่ pH และอุณหภูมิต่างๆ ในการผลิต.....40
9 ค่าการละลายทั้งหมดของแผ่นฟิล์มที่ pH และอุณหภูมิต่างๆ ในการผลิต.....41
10 ภาพถ่ายพื้นผิวของฟิล์มที่ pH 3 ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็คกตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 2000 เท่า).....44
11 ภาพตัดขวางของฟิล์มที่ pH 3 ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็คกตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 3500 เท่า).....44
12 ภาพถ่ายพื้นผิวของฟิล์มที่ pH 3 ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็คกตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 2000 เท่า).....45
13 ภาพตัดขวางของฟิล์มที่ pH 3 ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็คกตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 3500 เท่า).....45
14 ภาพถ่ายพื้นผิวของฟิล์มที่ pH 3 ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็คกตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 2000 เท่า).....46
15 ภาพตัดขวางของฟิล์มที่ pH 3 ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็คกตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 3500 เท่า).....46
16 ภาพถ่ายพื้นผิวของฟิล์มที่ pH 11 ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็คกตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 3500 เท่า).....47
17 ภาพตัดขวางของฟิล์มที่ที่ pH 11 ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็คกตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 3500 เท่า).....47
18 ภาพถ่ายพื้นผิวของฟิล์มที่ pH 11 ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็คกตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 3500 เท่า).....48

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

19 ภาพตัดขวางของฟิล์มที่ที่ pH 11 ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็คกตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 3500 เท่า).....48

20 ภาพถ่ายพื้นผิวของฟิล์มที่ pH 11 ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็คกตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 2000 เท่า).....49

21 ภาพตัดขวางของฟิล์มที่ที่ pH 11 ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็คกตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 3500 เท่า).....49

22 ภาพถ่ายพื้นผิวของฟิล์มที่ pH 9 ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็คกตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 3500 เท่า).....50

23 ภาพตัดขวางของฟิล์มที่ pH 9 ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็คกตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 3500 เท่า).....51

24 แบบแผนการแยกโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาทรายแดงที่ pH 9 ให้ความร้อน 70 องศาเซลเซียส... 52

25 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกลีเซอรอลกับค่าการต้านทานแรงดึงขาดของแผ่นฟิล์ม...54

26 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกลีเซอรอลกับค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดของแผ่นฟิล์ม.....55

27 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกลีเซอรอลกับค่าการซึมผ่านของไอน้ำของแผ่นฟิล์ม.....56

28 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกลีเซอรอลกับค่าการละลายทั้งหมดของแผ่นฟิล์ม.....57

29 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซอร์บิทอลกับค่าการต้านทานแรงดึงขาดของแผ่นฟิล์ม....58

30 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซอร์บิทอลกับค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดของแผ่นฟิล์ม.....59

31 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซอร์บิทอลกับค่าการซึมผ่านของไอน้ำของแผ่นฟิล์ม.....60

32 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซอร์บิทอลกับค่าการละลายทั้งหมดของแผ่นฟิล์ม.....61

33 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพลิเอททิลีน ไกลคอล กับค่าการต้านทานแรงดึงขาดของแผ่นฟิล์ม.....62

34 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพลิเอททิลีน ไกลคอล กับค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดของแผ่นฟิล์ม.....63

35 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพลิเอททิลีน ไกลคอล กับค่าการซึมผ่านของไอน้ำของแผ่นฟิล์ม.....64

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

36 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพลิเอททิลีน ไกลคอล กับค่าการละลายทั้งหมด ของแผ่นฟิล์ม.....65

37 ภาพถ่ายพื้นผิวของฟิล์มที่ใช้กลีเซอรอล 50% โดยน้ำหนักของโปรตีนเป็น พลาสติไซเซอร์ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็คกตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 3500 เท่า).....67

38 ภาพตัดขวางของฟิล์มที่ใช้ กลีเซอรอล 50% โดยน้ำหนักของโปรตีนเป็น พลาสติไซเซอร์ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็คกตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 3500 เท่า).....67

39 ภาพถ่ายพื้นผิวของฟิล์มที่ใช้ซอร์บิทอล 50% โดยน้ำหนักของโปรตีนเป็น พลาสติไซเซอร์ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็คกตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 3500 เท่า).....68

40 ภาพตัดขวางของฟิล์มที่ใช้ซอร์บิทอล 50% โดยน้ำหนักของโปรตีนเป็น พลาสติไซเซอร์ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็คกตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 3500 เท่า).....68

41 ภาพถ่ายพื้นผิวของฟิล์มที่ใช้โพลิเอททิลีน ไกลคอล 50% โดยน้ำหนักของโปรตีน เป็นพลาสติไซเซอร์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็คกตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 3500 เท่า).....69

42 ภาพตัดขวางของฟิล์มที่ใช้ โพลิเอททิลีน ไกลคอล 50% โดยน้ำหนักของโปรตีน เป็นพลาสติไซเซอร์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็คกตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 3500 เท่า).....69

43 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเก็บกับค่าการต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์ม ที่ผลิตโดยใช้ซอร์บิทอล 40% เป็นพลาสติไซเซอร์.....72

44 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเก็บกับค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดของฟิล์ม ที่ผลิตโดยใช้ซอร์บิทอล 40% เป็นพลาสติไซเซอร์.....73

45 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเก็บกับค่าการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์ม ที่ผลิตโดยใช้ซอร์บิทอล 40% เป็นพลาสติไซเซอร์.....74

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

46 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเก็บกับค่าการละลายทั้งหมดของฟิล์ม ที่ผลิตโดยใช้ซอร์บิทอล 40% เป็นพลาสติไซเซอร์.....75

47 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเก็บกับค่าการต้านทานแรงดึงขาดของแผ่นฟิล์ม ที่ผลิตโดยใช้กลีเซอรอล 60% เป็นพลาสติไซเซอร์.....76

48 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเก็บกับค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดของแผ่นฟิล์ม ที่ผลิตโดยใช้กลีเซอรอล 60% เป็นพลาสติไซเซอร์.....77

49 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเก็บกับค่าการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์ม ที่ผลิตโดยใช้กลีเซอรอล 60% เป็นพลาสติไซเซอร์.....78

50 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเก็บกับค่าการละลายทั้งหมดของฟิล์ม ที่ผลิตโดยใช้กลีเซอรอล 60% เป็นพลาสติไซเซอร์.....79

51 ปลาทรายแดงสายพันธุ์ *Nemipterus hexodon*.....149

52 แม่พิมพ์ซิลิโคนสำหรับขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม.....149

53 ตู้ทำแห้งฟิล์ม (ประกอบเอง).....150

54 แผ่นฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง.....150

55 อุปกรณ์วิเคราะห์ค่าการซึมผ่านของไอน้ำของแผ่นฟิล์ม.....151