การผลิตสารให้ฟองจากโปรตีนถั่วเขียวโดยใช้เอนไซม์

นางสาว รัตนา จินดาพรรณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0366-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PRODUCTION OF FOAMING AGENT FROM MUNGBEAN PROTEIN BY ENZYME

Miss Ratana Chindapan

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 2000

ISBN 974-13-0366-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตสารให้ฟองจากโปรตีนถั่วเขียวโดยใช้เอนไซม์
โดย	นางสาวรัตนา จินดาพรรณ
ภาควิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. ปราณี อ่านเปรื่อง

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยยุทธ ธัญพิทยากุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปราณี อ่านเปรื่อง)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วรรณา ตุลยธัญ)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. รมณี สงวนดีกุล)

รัตนา จินดาพรรณ : การผลิตสารให้ฟองจากโปรตีนถั่วเขียวโดยใช้เอนไซม์.
(PRODUCTION OF FOAMING AGENT FROM MUNGBEAN PROTEIN BY ENZYME) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ปราณี อ่านเปรื่อง, 99 หน้า. ISBN 974 – 13 – 0366 – 1.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตสารให้ฟองจากโปรตีนถั่วเขียวสกัด โดยการย่อยสลายอย่างจำกัดด้วยโบรมีเลน โดยทำการสกัดโปรตีนจากแป้งถั่วเขียว พบว่าโปรตีนถั่วเขียวที่สกัดได้มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 79.25 โดยน้ำหนักแห้ง และจากการทดลองพบว่าระดับการย่อยสลายมีความสัมพันธ์กับปริมาณ Nitrogen solubility เป็นอย่างมาก ($r^2 = 0.987$) สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถูกควบคุมที่ระดับการย่อยสลายร้อยละ 17.44 โดยใช้โปรตีนถั่วเขียวสกัดเข้มข้นร้อยละ 6.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่ pH 6.0 อุณหภูมิ 60 ^{0} C ความเข้มข้นของเอนไซม์ 1.25 มิลลิกรัม/100มิลลิกรัมของโปรตีนสกัด หรือคิดเป็นอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อสับสเตรท 1/80 เท่า เวลาในการย่อยสลาย 15 นาที หยุดปฏิกิริยาด้วยความร้อนอุณหภูมิ 90 ^{0}C เวลา 10 นาที เหวี่ยงแยกส่วนที่ไม่ละลายออก ส่วนของโปรตีนที่ละลายนำไปทำให้เข้มข้น 10 ^{0}Brix อุณหภูมิ 60 ^{0}C และทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่าสารให้ฟองดังกล่าวมีค่ากำลังการเกิดฟองและความคงตัวของฟองเพิ่มขึ้น โดยมีค่า Nitrogen solubility ที่ pH 4.5 ร้อยละ 91.84 และสามารถละลายได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ pH 7.0 คำนวนร้อยละของผลผลิตได้เท่ากับ 46.30 ต่อมาพบว่าการเติมคาร์บอกซีเมทธิวเซลลูโลส 0.2 กรัม/100กรัม ของโปรตีนไฮโดรไลเซท (dry basis) ร่วมกับการให้ความร้อนอุณหภูมิ 85 ^{0}C ก่อนทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ส่งผลให้ทั้งค่ากำลังการเกิดฟองและความคงตัวของฟองเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) สุดท้ายเป็นการทดลองใช้สารให้ฟองที่ผลิตได้ โดยทดลองเติมสารให้ฟองซึ่งมีโปรตีนร้อยละ 82.28 โดยน้ำหนักแห้ง ในแองเจิลฟูดเค้กร้อยละ 2.07, 1.67, 1.27, และ 0.87 โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบกับการใช้ไข่ขาวผงร้อยละ 4.0 โดยน้ำหนัก จากผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส พบว่าการเติมสารให้ฟองผงร้อยละ 1.27 โดยน้ำหนัก ตัวอย่างมีการขยายตัวและการยุบตัวใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่อนิสิต รัตนา จินดาพรรณ
สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2543

4072362123 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEY WORD : FOAMING AGENT / MUNGBEAN PROTEIN / LIMITED HYDROLYSIS / BROMELAIN

RATANA CHINDAPAN : PRODUCTION OF FOAMING AGENT FROM MUNGBEAN PROTEIN BY ENZYME. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. PRANEE ANPRUNG, 99 pp.
ISBN 974 – 13 – 0366 – 1.

The objectives of this research were to study optimal condition for the production of foaming agent by limited hydrolysis of mungbean protein with bromelain. Mungbean protein was extracted from mungbean flour .It has 79.25 % protein (dry basis). It was found degree of hydrolysis showed good correlation with nitrogen solubility ($r^2 = 0.987$). Optimal condition was controlled at 17.44 % degree of hydrolysis by using 6.0% (w/v) protein solution, 1.25% (mg/100mg protein isolate) enzyme concentration, pH 6.0, temperature 60 ^{0}C, reaction time 15 min. Bromelain was inactivated by heating at 90 ^{0}C 10 min., insoluble fraction was removed by centrifugation, and soluble protein fraction was concentrated to 10 ^{0}Brix and lyophilized. Results showed that foaming capacity and foam stability were improved. Moreover, foaming agent has nitrogen solubility 91.84% at pH 4.5 and 100% at pH 7.0. The yield was about 46.30%. Results on adding 0.2 g/100g protein hydrolyzed (dry basis) carboxymethylcellulose with heating 85 ^{0}C to protein hydrolyzed solution before lyophilized . Results showed that both foaming capacity and foaming stability were increased with significantly different at $p \leq 0.05$. Finally, to study application of foaming agent in angel food cake by varying content of foaming agent at 2.07, 1.67, 1.27 and 0.87 % by weight compare to control which was added egg albumen 4% by weight. Sensory evaluation showed that adding foaming agent 1.27 % by weight .The samples have expansion and collapse the most nearly control with significantly different at $p \leq 0.05$

Department Food Technology Student 's signature Ratana Chindapan

Field of study Food Technology Advisor 's signature Pranee Anprung

Academic year 2000

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงต่อ รองศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อ่านเปรื่อง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและให้ความช่วยเหลือทางด้านวิชาการตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์นี้สมบูรณ์

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยยุทธ ธัญพิทยากุล ในฐานะประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณา ตุลยธัญ และอาจารย์ ดร.รมณี สงวนดีกุล ที่ได้กรุณาสละเวลาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณบริษัท Nutrin Company Limited ที่ได้กรุณาให้ความอนุเคราะห์คาร์บอกซีเมทธิวเซลลูโลสเพื่อใช้ในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนด้านเงินทุนบางส่วนในการวิจัย

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ตลอดจนพี่ เพื่อน และน้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือทางด้านต่างๆ

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ที่เป็นกำลังใจสนับสนุนด้านการศึกษาตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญตาราง.....ช
สารบัญภาพ.....ฎ
บทที่
1. บทนำ.....1
2. วารสารปริทัศน์.....3
3. การทดลอง.....20
4. ผลการทดลอง.....32
5. วิจารณ์ผลการทดลอง.....66
6. สรุปผลการทดลอง.....81
รายการอ้างอิง.....83
ภาคผนวก.....87
ภาคผนวก ก.....88
ภาคผนวก ข.....95
ภาคผนวก ค.....98
ประวัติผู้เขียน.....99

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
4.1	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งถั่วเขียว.....	32
4.2	องค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนถั่วเขียวที่สกัดจากแป้งถั่วเขียว.....	34
4.3	ค่ากำลังการเกิดฟอง (ร้อยละ) ของสารละลายโปรตีนถั่วเขียวสกัดที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 น้ำหนักต่อปริมาตร.....	36
4.4	การวิเคราะห์ความแปรปรวน ค่ากำลังการเกิดฟอง (ร้อยละ) ของสารละลายโปรตีนถั่วเขียวสกัดที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 น้ำหนักต่อปริมาตร.....	36
4.5	ค่าระดับการย่อยสลาย (ร้อยละ) ของการย่อยสลายโปรตีนถั่วเขียวสกัดเข้มข้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ด้วยโบรมีเลนเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ pH 5, 6, 7 และ 8 อุณหภูมิ40 ^{0}C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที....	38
4.6	ค่าระดับการย่อยสลาย (ร้อยละ) ของการย่อยสลายโปรตีนถั่วเขียวสกัดเข้มข้นร้อยละ6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ด้วยโบรมีเลนเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ อุณหภูมิ 35 - 75 ^{0}C pH 6.0 และเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที.....	40
4.7	ค่าระดับการย่อยสลาย (ร้อยละ) ของการย่อยสลายโปรตีนถั่วเขียวสกัดเข้มข้นร้อยละ6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร แปรความเข้มข้นของเอนไซม์ 0.00 - 2.00 mg/100 mg ของโปรตีน ที่ อุณหภูมิ 60 ^{0}C pH 6.0 และเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที.....	41
4.8	ค่าเฉลี่ยของ %ระดับการย่อยสลาย และ %Nitrogen solubility ของตัวอย่างที่ย่อยสลายด้วยเวลา 0, 2, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที.....	43
4.9	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของ%Degree of hydrolysis และ %Nitrogen solubility ของตัวอย่างที่ย่อยสลายด้วยเวลา 0, 2, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที	43
4.10	ค่ากำลังการเกิดฟองของสารให้ฟองผงที่ย่อยสลายด้วยเวลา 0, 5, 10, 15, 20 และ 25 นาที	47
4.11	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่ากำลังการเกิดฟองของสารให้ฟองผงที่ย่อยสลายด้วยเวลา 0, 5, 10, 15, 20 และ 25 นาที ตามลำดับ.....	47

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.12 ค่า Nitrogen solubility pH 4.5 ของโปรตีนถั่วเขียวสกัดและสารให้ฟองผงที่ย่อยสลายด้วยเวลา 0, 5, 10, 15, 20 และ 25 นาที ตามลำดับ..... 49

4.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า Nitrogen solubility pH 4.5 ของโปรตีนถั่วเขียวสกัดและสาร ให้ฟองผงที่ย่อยสลายด้วยเวลา 0, 5, 10, 15, 20 และ 25 นาที ตามลำดับ..... 49

4.14 ค่า Nitrogen solubility p H 7.0 ของโปรตีนถั่วเขียวสกัดและสารให้ฟองผงที่ย่อยสลายด้วยเวลา 0, 5, 10, 15, 20 และ 25 นาที ตามลำดับ..... 50

4.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า Nitrogen solubility p H 7.0 ของโปรตีนถั่วเขียวสกัดและสารให้ฟองผงที่ย่อยสลายด้วยเวลา 0, 5, 10, 15, 20 และ 25 นาที ตามลำดับ..... 50

4.16 ค่าเฉลี่ยร้อยละของผลผลิต และน้ำหนักแห้งของสารให้ฟอง(กรัม) ที่ผลิตได้จากการแปรความเข้มข้นของโปรตีนถั่วเขียวสกัดเป็นร้อยละ 2, 4, 6, 8, 10, 12 และ 14 w/v 51

4.17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลผลิต (ร้อยละ) ที่ผลิตได้จากการ แปรความเข้มข้นของ โปรตีนถั่วเขียวสกัดเป็นร้อยละ 2, 4, 6, 8, 10, 12 และ 14 โดยน้ำหนัก/ ปริมาตร..... 52

4.18 เปอร์เซ็นต์ Drip loss ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่เวลา 5, 10 และ15 นาที ของสารให้ฟองผงซึ่งไม่ผ่านความร้อนและผ่านความร้อน 85 ^{0}C เวลา 1-2 นาที ก่อนการเติม CMC 0.1% และไม่เติม CMC..... 53

4.19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของเปอร์เซ็นต์ Drip loss ที่เวลา 5, 10 และ15 นาที ของสารให้ฟองผงซึ่งไม่ผ่านความร้อนและผ่านความร้อน 85 ^{0}C 1-2 นาที ก่อนการเติม CMC 0.1% และไม่เติม CMC..... 53

4.20 ค่ากำลังการเกิดฟองของสารให้ฟองผง± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่เวลา 5, 10 และ 15 นาที ของสารให้ฟองซึ่งไม่ผ่านความร้อนและผ่านความร้อน 85 ^{0}C 1-2 นาที ก่อนการเติม CMC 0.1% และไม่เติมCMC..... 54

4.21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่ากำลังการเกิดฟองที่เวลา 5, 10 และ15 นาที ของสารให้ฟองซึ่งไม่ผ่านความร้อนและผ่านความร้อน 85 ^{0}C 1-2 นาที ก่อนการเติมCMC 0.1% และไม่เติม CMC..... 54

4.22 ค่ากำลังการเกิดฟองของไข่ขาวผงและสารให้ฟองผงที่ผลิตโดยการเติม CMC

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ร้อยละ0, 0.1,0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 ร่วมกับการให้ความร้อน 85 ^{o}C 1-2 นาที..... 55

4.23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่ากำลังการเกิดฟองของไข่ขาวผงและสารให้ฟองผงที่ผลิตโดยการเติม CMC ร้อยละ0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 ร่วมกับการให้ความร้อน 85 ^{o}C เวลา 1-2 นาที..... 56

4.24 เปอร์เซ็นต์ Drip loss ที่เวลา 5, 10, 15, 20, 25และ 30 นาที ของไข่ขาวผงและสารให้ฟองผงที่ผลิตโดยการเติม CMC ร้อยละ0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 ร่วมกับการให้ความร้อน อุณหภูมิ 85 ^{o}C 1-2 นาที ก่อนเติม CMC..... 56

4.25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเปอร์เซ็นต์ Drip loss ที่เวลา 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที ของไข่ขาวผงและสารให้ฟองผงที่ผลิตโดยการเติม CMC ร้อยละ0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 (dry basis) ร่วมกับการให้ความร้อน อุณหภูมิ 85 ^{o}C 1-2 นาที ก่อนเติม CMC..... 57

4.26 องค์ประกอบทางเคมีของสารให้ฟองผงและไข่ขาวผง..... 58

4.27 คะแนนเปรียบเทียบด้านสีของแองเจิลฟูดเค้ก ที่ทดแทนด้วยสารให้ฟองผงในระดับร้อยละ 2.06, 1.67, 1.27, 0.87 โดยน้ำหนัก กับตัวอย่างควบคุมที่เติมไข่ขาวผงร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก..... 60

4.28 การวิเคราะห์ความแปรปรวน คะแนนเปรียบเทียบด้านสีของแองเจิลฟูดเค้ก ที่ทดแทนด้วยสารให้ฟองผงในระดับร้อยละ 2.06, 1.67, 1.27, 0.87โดยน้ำหนัก กับตัวอย่างควบคุมที่เติมไข่ขาวผงร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก..... 61

4.29 คะแนนเปรียบเทียบด้านการขึ้นฟูของแองเจิลฟูดเค้ก ที่ทดแทนด้วยสารให้ฟองผงในระดับร้อยละ 2.06, 1.67, 1.27, 0.87 โดยน้ำหนัก กับตัวอย่างควบคุมที่เติมไข่ขาวผงร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก..... 61

4.30 การวิเคราะห์ความแปรปรวน คะแนนเปรียบเทียบด้านการขึ้นฟูของแองเจิลฟูดเค้ก ที่ทดแทนด้วยสารให้ฟองผงในระดับร้อยละ2.06, 1.67, 1.27, 0.87 โดยน้ำหนัก กับตัวอย่างควบคุมที่เติมไข่ขาว ผงร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก..... 62

4.31 คะแนนเปรียบเทียบด้านการยุบตัวของแองเจิลฟูดเค้ก ที่ทดแทนด้วยสารให้ฟองผงในระดับร้อยละ 2.06, 1.67, 1.27, 0.87 โดยน้ำหนัก กับตัวอย่างควบคุมที่เติมไข่ขาวผงร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก..... 62

4.32 การวิเคราะห์ความแปรปรวน คะแนนเปรียบเทียบด้านการยุบตัวของแองเจิลฟูดเค้ก ที่ทดแทนด้วยสารให้ฟองผงในระดับร้อยละ2.06, 1.67, 1.27, 0.87 โดยน้ำหนัก

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

กับตัวอย่างควบคุมที่เติมไข่ขาว ผงร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก..... 63

4.33 คะแนนเปรียบเทียบความแน่นเนื้อของแองเจิลฟูดเค้ก ที่ทดแทนด้วยสารให้ฟองผง ในระดับร้อยละ 2.06, 1.67, 1.27, 0.87 โดยน้ำหนัก กับตัวอย่างควบคุมที่เติม ไข่ขาวผงร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก..... 63

4.34 การวิเคราะห์ความแปรปรวน คะแนนเปรียบเทียบความแน่นเนื้อของแองเจิลฟูดเค้ก ที่ทดแทนด้วยสารให้ฟองผงในระดับร้อยละ2.06, 1.67, 1.27, 0.87 โดยน้ำหนัก กับ ตัวอย่างควบคุมที่เติมไข่ขาว ผงร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก..... 64

4.35 คะแนนเปรียบเทียบความชอบด้านกลิ่นของแองเจิลฟูดเค้ก ที่ทดแทนด้วยสารให้ ฟองผงในระดับร้อยละ 2.06, 1.67, 1.27, 0.87 โดยน้ำหนัก กับตัวอย่างควบคุมที่ เติมไข่ขาวผงร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก..... 64

4.36 การวิเคราะห์ความแปรปรวน คะแนนเปรียบเทียบความชอบด้านกลิ่นของ แองเจิลฟูดเค้ก ที่ทดแทนด้วยสารให้ฟองผงในระดับร้อยละ 2.06, 1.67, 1.27, 0.87 โดยน้ำหนัก กับตัวอย่างควบคุมที่เติมไข่ขาว ผงร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก..... 65

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

2.1 แผนภาพแสดงโครงสร้างของฟอง (Foam bubbles)..... 6

2.2 กระบวนการดูดซับ (Adsorption) ที่ผิวหน้าระหว่างอากาศกับน้ำของโปรตีน..... 7

3.1 กระบวนการผลิตสารให้ฟองจากโปรตีนถั่วเขียวโดยการย่อยสลายอย่างจำกัดด้วยเอนไซม์โบรมีเลน..... 26

3.2 ขั้นตอนการศึกษาอิทธิพลของการเติม CMC ร่วมกับการให้ความร้อน..... 27

4.1 แป้งถั่วเขียว ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 70 เมช..... 33

4.2 โปรตีนถั่วเขียวสกัด (Mungbean protein isolate)..... 35

4.3 ค่ากำลังการเกิดฟองของสารละลายโปรตีนถั่วเขียวสกัดที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1-7 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร..... 37

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแอคติวิตีของโบรมีเลนกับ pH..... 39

4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแอคติวิตีของโบรมีเลนกับอุณหภูมิ..... 40

4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างแอคติวิตีของโบรมีเลนกับอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อสับสเตรท.. 42

4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง %ระดับการย่อยสลาย กับเวลาในการย่อยสลาย..... 44

4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ %Nitrogen solubility กับเวลาในการย่อยสลาย 44

4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ %Nitrogen solubility กับ%ระดับการย่อยสลาย..... 45

4.10 โปรตีนไฮโดรไลเซท (Protein hydrolyzed) เข้มข้น 4 ^{0} Brix และ 10 ^{0} Brix..... 46

4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า %Drip loss ของสารให้ฟองผงที่ย่อยสลายด้วยเวลาต่างๆ กับเวลา..... 48

4.12 ลักษณะของสารให้ฟองผง (Foaming agent)และไข่ขาวผง (Egg albumen)..... 59

4.13 แองเจิลฟูดเค้กซึ่งเติมสารให้ฟองในปริมาณร้อยละ 2.07 (B), 1.67 (C), 1.27 (D) และ 0.87 (E)โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบกับสูตรควบคุมซึ่งเติมไข่ขาวผงร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก (A)..... 60