การใช้เอนไซม์ดัดแปลงสมบัติการให้ฟองของโปรตีนจากกากถั่วเหลือง

นางสาว ปาริฉัตร ทัพภะสุต

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-636-645-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I20607797X

ENZYMIC MODIFICATION OF FOAMING PROPERTY OF PROTEIN FROM SOY MEAL

Miss Parichat Dabbhasuta

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
Department of Food Technology
Graduate School
Chulalongkorn University
1996

ISBN 974-636-645-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การใช้เอนไซม์ดัดแปลงสมบัติการให้ฟองของโปรตีนจากกากถั่วเหลือง

โดย นางสาว ปาริฉัตร ทัพภะสุต

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ปราณี อ่านเปรื่อง

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

---------- คณบดีบัณฑิตวิทยา

(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

---------- ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. วรรณา ตุลยธัญ)

---------- อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. ปราณี อ่านเปรื่อง)

---------- กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ)

----------กรรมการ

(อาจารย์ ดร. พาสวดี ประทีปะเสน)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ปาริฉัตร ทัพภะสุต : การใช้เอนไซม์ดัดแปลงสมบัติการให้ฟองของโปรตีนจากกากถั่วเหลือง (ENZYMIC MODIFICATION OF FOAMING PROPERTY OF PROTEIN FROM SOY MEAL) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. ปราณี อ่านเปรื่อง, 130 หน้า. ISBN 974-636-645-9.

งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้เอนไซม์ปรับปรุงโปรตีนถั่วเหลืองให้มีขนาดและหมู่เคมีบนสายโปรตีนให้เหมาะสมต่อการเกิดฟองที่มีปริมาตรและความคงตัวเทียบเท่าสารให้ฟองเช่นโปรตีนไข่ขาว โดยการย่อยสลายโปรตีนอย่างจำกัดด้วยเอนไซม์ 3 กลุ่มคือ อัลคาไลน์โปรติเอส (Alcalase®, 2.4 U/g.; Protin AC 10®,100,000 PU/g.), แอซิดโปรติเอส (Pepsin, 250 U/mg.) และนิวทรัลโปรติเอส (Papain, 2.1 U/mg.) ย่อยสลายโปรตีนในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีเครื่องควบคุมอุณหภูมิและ pH อัตโนมัติ โดยใช้ปริมาณเอนไซม์ต่อปริมาณโปรตีนที่ให้ค่าความเร็วปฏิกิริยาสูงสุดคือ Pepsin 0.25%, Papain 1.25%, Alcalase®0.285%และ Protin AC 10®0.014% แปรค่าเวลาการย่อยสลายโปรตีนโดยเอนไซม์ทั้ง 3 กลุ่มเป็น 5, 10, 15, 20, 25นาที แปรอุณหภูมิเป็น 20, 40, 60° C และแปรระดับ pH ตามชนิดเอนไซม์ คือ อัลคาไลน์และนิวทรัลโปรติเอสแปร pHเป็น 6, 7, 8 และแอซิดโปรติเอสแปร pH เป็น 2, 3, 4 จากการพิจารณาค่าความสามารถในการเกิดฟองโดยหาความสัมพันธ์ในรูปสมการกำลังสอง เพื่อสร้างกราฟ contour plott และ surface plott ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในการย่อยสลายโปรตีน สามารถเลือกภาวะการผลิตสารให้ฟองที่มีปริมาตรและความคงตัวสูงได้ นอกจากนี้พบว่า pH ไม่มีผลต่อความสามารถในการเกิดฟอง และภาวะที่เอนไซม์ทั้ง 3 กลุ่มสามารถตัดสายโปรตีนอย่างจำกัด และอย่างจำเพาะเกิดเป็นสารให้ฟองที่มีปริมาตรและความคงตัวสูงสุดขึ้นกับปัจจัยของเวลาร่วมกับอุณหภูมิ เป็นที่สังเกตได้ว่าสารให้ฟองที่มาจากการย่อยสลายโปรตีนถั่วเหลืองด้วย Protin AC 10® มีสมบัติของสารให้ฟองดีกว่าสารให้ฟองที่ได้จากเอนไซม์ตัวอื่นๆ และเป็นสารให้ฟองที่มีสมบัติใกล้เคียงกับสารให้ฟองจากโปรตีนไข่อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) โดยมีปริมาตรฟองเพิ่มขึ้น 670 % และฟองมีความคงตัว 240 นาที เมื่อนำสารให้ฟองที่ผลิตได้จากเอนไซม์ทั้ง 4 ทำเป็นเมอะแรงส์ผลการประเมินการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าเมอะแรงส์ที่เตรียมจากสารให้ฟองโปรตีนถั่วเหลือง ที่ย่อยสลายด้วย Protin AC 10®เป็นตัวอย่างที่ผู้บริโภคให้คะแนนการทดสอบมากที่สุดในสารให้ฟองที่ผลิตได้และมีคะแนนการยอมรับเท่ากับเมอะแรงส์ที่เตรียมจากโปรตีนไข่ นอกจากนี้สารให้ฟองที่ย่อยสลายด้วย Protin AC 10® ให้ฟองที่ปริมาตรคงตัวต่อส่วนผสม น้ำตาล และน้ำตาลยังมีผลให้ฟองอากาศที่เกิดมีความคงตัวนานขึ้นด้วย ส่วนผสมอื่นเช่น ไขมันจากผงโกโก้เมื่อใช้ใน สารให้ฟองโปรตีนไข่ขาวและโปรตีนถั่วเหลืองที่ย่อยสลายด้วย Protin AC 10® ในปริมาณมากขึ้นทำให้ปริมาตรและความคงตัวของฟองลดลง โดยสารให้ฟองโปรตีนถั่วเหลืองมีความคงตัวต่อไขมันจากผงโกโก้มากกว่าสารให้ฟองโปรตีนไข่

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่อนิสิต ปาริฉัตร ทัพภะสุต

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ปราณี อ่านเปรื่อง

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม —

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C 627143 :: MAJOR FOOD TECHNOLOGY
KEY WORD: FOAMING AGENT / SOY MEAL / PROTEASE / MODIFICATION / EXTRACT

PARICHAT DABBHASUTA: ENZYMIC MODIFICATION OF THE FOAMING PROPERTY OF PROTEIN FROM SOY MEAL. THESIS ADVISOR: ASSO. PROF. PRANEE ANPRUNG, Ph.D. 130 pp. ISBN 974-636-645-9.

This research study examines the enzymic improvement in the soy protein to find a suitable protein structure and chemical groups on the peptide chain that exhibit foaming properties equivalent to those of egg albumen. The study was carried out by means of limited hydrolysis by which the protein was hydrolysed the 3 groups of proteolytic enzymes, namely: alkaline protease (Alcalase®, 2.4 U/g; Protin AC 10®, 100,000 PU/g;) Acid protease (Pepsin 250 U/mg.) and neutral protease (Papain 2.1 U/mg.). This was done in a bioreactor in which temperature and PH were automatically controlled. The concentrated enzymes yielding the maximum reaction velocity were Pepsin 0.025%, Papain 1.25%, Alcalase® 0.285% and Protin AC 10® 0.014%. The hydrolysis period was varied to last 5, 10, 15, 20, and 25 mins. The temperature was also varied to 20°, 40°, and 60° C. The PH concentration was varied to 6, 7, and 8 for the alkaline and neutral protease while that of the acid protease was varied to 2, 3, and 4. The proper foaming property was determined from the contour and surface plots indicating the temperature and time needed to hydrolyse the protein, obtained from the multiple regression equations. The point at which each foaming agent attained the maximum volume and longest period retention was picked from these plots. Moreover, PH was found to have no effect on the foaming property. The ability of these proteases to enhance the property of foaming depended on the conditions under which hydrolysis was conducted (the congruence of time and temperature). The foaming agent generated by hydrolysing soy protein with Protin AC 10® was found to have better foaming properties than those hydrolysed by the other enzymes and was significantly similar to the foaming properties of egg albumen ($p < 0.05$). It was able to increase the volume of foam by 670% and to retain the foam for a period of 240 mins. When the foam produced by these four types of enzymes was made into meringues and subjected to an organoleptic acceptance test, it was found that the one made from the agent that had been hydrolysed using Protin AC 10® had the highest score and was not significantly different from that of the egg albumen. In addition, when mixed with sugar, this soy protein foaming agent was able to retain the volume of foam for a longer period of time. When it was mixed with other ingredients (substances) such as fat from cocoa powder, the volume of foam decreased as well as the period of retention. When fat from cocoa powder was mixed with this soy protein or egg albumen in high quantities, the foaming agent from the soy protein was able to retain the foam longer than that of the egg albumen.

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่อนิสิต ปาริฉัตร ทัพภะสุต

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ประ อนันทร์

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม —

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้โดยสมบูรณ์ด้วยแรงกายแรงใจ ที่ผู้ข้าพเจ้าได้ทุ่มเทในช่วงเวลา 4 ปีที่ใช้ในการศึกษานี้ หากแต่งานชิ้นนี้คงไม่อาจสำเร็จขึ้นได้หากขาดซึ่งบุคคลที่ข้าพเจ้าได้เอ่ยนามถึงด้วยความระลึกถึงในพระคุณ ในความช่วยเหลือและในกำลังใจที่ได้รับเสมอมา ทั้งนี้รวมถึงบุคคลที่ข้าพเจ้ามิได้เอ่ยถึงแต่ความดีของท่านเหล่านั้นยังอยู่ในใจของข้าพเจ้าตลอดเวลา

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงต่อ รองศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อ่านเปรื่อง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่องานวิจัยวิทยามิพนธ์ฉบับนี้ ท่านได้กรุณาอบรมสั่งสอนชี้ให้เห็นถึงแนวทางการทำวิจัย แนวคิดและแง่มุมต่างๆในงานวิจัยนี้ ซึ่งสิ่งเหล่านี้ไม่อาจเกิดขึ้นเองด้วยตัวของข้าพเจ้าเพียงผู้เดียว หากแต่ท่านได้ถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์ด้านต่างๆที่ท่านได้สั่งสมมาด้วยความอุตสาหะและด้วยความเต็มใจ สิ่งที่ได้รับจากท่านเป็นบันไดส่งเสริมให้ข้าพเจ้าก้าวเดินไปข้างหน้าด้วยความสามารถที่จะแข่งขันกับผู้อื่น และทำงานรับใช้สังคมด้วยความมั่นใจ ซึ่งมีคุณค่าต่อข้าพเจ้าอย่างมิอาจประเมินได้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วรรณา ตุลยธัญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ อาจารย์ ดร. พาสวดี ประทีปะเสน คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำแนะนำ ตรวจสอบรายละเอียดของงาน แม้กระทั่งเสนอวิธีแก้ไขปัญหาชี้แนะบางประเด็นที่เห็นควรจะปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ เพื่อให้วิทยานิพนธ์สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ บ.สหสิทธ์ อิมปอร์ต เอกซ์ปอร์ต และบริษัท อิสต์เอเชียติก ที่ให้ความอนุเคราะห์เอนไซม์ที่ใช้ในงานวิจัยและบ.ธนากรผลิตภัณฑ์น้ำมันพืชจำกัดที่ให้ความอนุเคราะห์กากถั่วเหลืองที่ใช้ในงานวิจัย ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยรังสิตและมหาวิทยาลัยมหาสารคามที่กรุณาให้ความเอื้อเฟื้อในการใช้เครื่องมือและสถานที่ ซึ่งช่วยบรรเทาความไม่สะดวกต่างๆที่พบในงานวิจัยไปได้มาก ขอขอบพระคุณภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารและบัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้โอกาสต่อการเพิ่มพูนความรู้แก่ข้าพเจ้าตลอดทั้งในทุนสนับสนุนงานวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ เพื่อนผองน้องพี่ในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้ตลอดระยะเวลาแห่งการศึกษา

ใคร่ขอระลึกและกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ผู้ซึ่งส่งเสริมและผลักดันให้ข้าพเจ้าได้มีโอกาสที่ดีมีคุณค่ายิ่ง ดังที่ท่านได้ตั้งใจให้ความรู้เป็นสมบัติแก่ลูกๆทุกคนเสมอมา ขอบคุณพี่น้อง และบุคคลใกล้ชิดอื่นๆของข้าพเจ้าที่ช่วยร่วมเกื้อหนุนส่งเสริมให้โอกาสของการศึกษาวิจัยที่ดีทั้งโดยตรงและโดยอ้อมแก่ข้าพเจ้า

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญรูปภาพ ..... ฌ

บทที่

1. บทนำ 1

2. วารสารปริทัศน์ 3

3. การทดลอง 26

4. ผลและการวิจารณ์ผลการทดลอง 42

5. สรุปผลการทดลอง 108

รายการอ้างอิง 113

ภาคผนวก ก. 117

ภาคผนวก ข. 119

ภาคผนวก ค. 122

ภาคผนวก ง. 123

ภาคผนวก จ 124

ภาคผนวก ฉ. 127

ภาคผนวก ช 128

ภาคผนวก ซ 129

ประวัติผู้เขียน 130

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 เอนไซม์โปรติเอสและความจำเพาะต่อการตัดสายพันธะเปปไทด์ 16

2.2 ลักษณะของโปรตีนตามคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และคุณสมบัติการไหล 20

2.3 ปริมาณและชนิดของโปรตีนโดยการใช้อัลตราเซนตริฟิวก์แยกจากโปรตีน
ถั่วเหลืองที่ละลายน้ำได้ 21

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของกากถั่วเหลืองที่ใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้น 42

4.2 องค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนสกัดจากกากถั่วเหลือง 45

4.3 ผลของ pH ต่อค่า แอคติวิตีสัมพัทธ์ ของเอนไซม์ Papain, Pepsin,
Alcalase® และ Protin AC 10® ในการย่อยสลายโปรตีน
จากถั่วเหลือง 46

4.4 ผลของอุณหภูมิต่อค่าความเร็วปฏิกิริยา และแอคติวิตีสัมพัทธ์ในการย่อย
สลายโปรตีนถั่วเหลืองของ Papain ที่ pH 7, Pepsin ที่ pH 2,
Alcalase® ที่ pH 8และ Protin AC 10® ที่ pH 9 48

4.5 ผลของความเข้มข้นเอนไซม์ในระดับต่างๆต่อความเร็วปฏิกิริยา
เมื่อย่อยสลายสับสเตรทโปรตีนสกัดจากกากถั่วเหลือง 51

4.6 ผลของความเข้มข้นโปรตีนถั่วเหลืองในระดับต่างๆต่อความเร็วปฏิกิริยา
เมื่อย่อยสลายด้วย Pepsin ความเข้มข้น 1: 10,000 (น้ำหนัก/ปริมาตรบัฟเฟอร์)
ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่อุณหภูมิ 60° C และ pH 2 52

4.7 ผลของความเข้มข้นโปรตีนถั่วเหลืองในระดับต่างๆต่อความเร็วปฏิกิริยา
เมื่อย่อยสลายด้วย Papain ความเข้มข้น 1: 1,000 (น้ำหนัก/ปริมาตรบัฟเฟอร์)
ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่อุณหภูมิ 60° C และ pH 6 53

4.8 ผลของความเข้มข้นโปรตีนถั่วเหลืองในระดับต่างๆต่อความเร็วปฏิกิริยา
เมื่อย่อยสลายด้วย Alcalase® ความเข้มข้น 1: 100 (ปริมาตรเอนไซม์/ปริมาตรบัฟเฟอร์)
ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่อุณหภูมิ 50° C และ pH 8 54

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.9 ผลของความเข้มข้นโปรตีนถั่วเหลืองในระดับต่างๆต่อความเร็วปฏิกิริยา
เมื่อย่อยสลายด้วย Protin AC 10® ความเข้มข้น 1: 10,000
(น้ำหนัก/ปริมาตรบัฟเฟอร์)ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่อุณหภูมิ 80° C และ pH 9 55
4.10 ผลของอุณหภูมิ เวลา และ pH ที่มีต่อการขยายตัวฟอง ความคงตัวของฟอง
และอัตราการย่อยสลายเมื่อย่อยสลายโปรตีนจากถั่วเหลืองด้วย Alcalase® 57
4.11 ผลของอุณหภูมิ เวลา และ pH ที่มีต่อการขยายตัวฟอง ความคงตัวของฟอง
และอัตราการย่อยสลายเมื่อย่อยสลายโปรตีนจากถั่วเหลืองด้วย Protin AC 10® 58
4.12 ผลของอุณหภูมิ เวลา และ pH ที่มีต่อการขยายตัวของฟอง ความคงตัวของฟอง
และอัตราการย่อยสลายเมื่อย่อยสลายโปรตีนจากถั่วเหลืองด้วย Papain 59
4.13 ผลของอุณหภูมิ เวลา และ pH ที่มีต่อการขยายตัวของฟอง ความคงตัวของฟอง
และอัตราการย่อยสลายเมื่อย่อยสลายโปรตีนจากถั่วเหลืองด้วย Pepsin 60
4.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวน ค่าการขยายตัวของฟอง และความคงตัวของฟอง
ที่ได้จากสารให้ฟองโปรตีนถั่วเหลือง ที่ย่อยสลายด้วย Alcalase® 61
4.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวน ค่าการขยายตัวของฟอง และความคงตัวของฟอง
ที่ได้จากสารให้ฟองโปรตีนถั่วเหลือง ที่ย่อยสลายด้วย Protin AC 10® 61
4.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวน ค่าการขยายตัวของฟอง และความคงตัวของฟอง
ที่ได้จากสารให้ฟองโปรตีนถั่วเหลือง ที่ย่อยสลายด้วย Papain 62
4.17 การวิเคราะห์ความแปรปรวน ค่าการขยายตัวของฟอง และความคงตัวของฟอง
ที่ได้จากสารให้ฟองโปรตีนถั่วเหลือง ที่ย่อยสลายด้วย Pepsin 62
4.18 ค่าเฉลี่ย ร้อยละ การเกิดฟองที่เพิ่มขึ้นและค่าเฉลี่ยความคงตัวของฟองที่เพิ่มขึ้น
ของโปรตีนจากถั่วเหลือง ที่ถูกย่อยด้วย Alcalase®
ที่เวลา อุณหภูมิ และ pH ต่างๆ 65

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.19 ค่าเฉลี่ย ร้อยละ การเกิดฟองที่เพิ่มขึ้นและค่าเฉลี่ยความคงตัวของฟองที่เพิ่มขึ้นของโปรตีนจากถั่วเหลืองที่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์Protin AC 10® ที่เวลา อุณหภูมิ และ pH ต่างๆ 66

4.20 ค่าเฉลี่ย ร้อยละ การเกิดฟองที่เพิ่มขึ้นและค่าเฉลี่ยความคงตัวของฟองที่เพิ่มขึ้นของโปรตีนจากถั่วเหลืองที่ถูกย่อยด้วย Papain ที่เวลา อุณหภูมิ และ pH ต่างๆ 67

4.21 ค่าเฉลี่ย ร้อยละ การเกิดฟองที่เพิ่มขึ้นและค่าเฉลี่ยความคงตัวของฟองที่เพิ่มขึ้นของโปรตีนจากถั่วเหลืองที่ถูกย่อยด้วย Pepsin ที่เวลา อุณหภูมิ และ pH ต่างๆ 68

4.22 ภาวะอุณหภูมิ เวลา และ pH ในการย่อยสลายโปรตีนถั่วเหลืองเป็นสารให้ฟองที่มีปริมาตรสูงและคงตัวสูง โดย Alcalase® , Protin AC 10®,Papain และ Pepsin คัดเลือกจากกราฟ 2 มิติของค่าร้อยละการขยายตัวของฟองและความคงตัวของฟองสูง 88

4.23 ค่าร้อยละการขยายตัวของฟองของสารให้ฟองโปรตีนถั่วเหลือง ที่ย่อยด้วย Alcalase®, Protin AC 10® , Papain และ Pepsin ที่ได้จากการประมาณด้วยกราฟ 2 มิติและค่าที่วัดได้จริง 89

4.24 ค่าความคงตัวของฟองของสารให้ฟองโปรตีนถั่วเหลือง ที่ย่อยด้วย Alcalase®, Protin AC 10®, Papain และ Pepsin ที่ได้จากการประมาณด้วยกราฟ 2 มิติและค่าที่วัดได้จริง 90

4.25 ค่าร้อยละการขยายตัวของฟองและ ค่าความคงตัวของฟองของสารให้ฟองจาก Protin AC 10 ® , Alcalase ® , Papain และ Pepsin เมื่อเติมมอลโทเดกซ์ทรินในระดับต่างๆ 95

4.26 ลักษณะผลิตภัณฑ์สารให้ฟองจากโปรตีนถั่วเหลือง 96

4.27 การประเมินผลทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัสและความยอมรับรวมของเมอะแรงค์ ที่เตรียมจากสารให้ฟองชนิดต่างๆ 102

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.28 เปรียบเทียบการประเมินผลทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมของเมอะแรงส์ที่เตรียมจากสารให้ฟอง โปรตีนถั่วเหลืองย่อยสลายด้วย Protin AC 10® ในความเข้มข้น ระดับต่างๆ กับสารให้ฟองจากโปรตีนไข่ขาว 104

4.29 การประเมินผลทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมของแมอะแรงส์จากสารให้ฟองโปรตีนไข่ขาว และโปรตีนถั่วเหลืองย่อยสลายด้วย Protin AC 10® ที่มีน้ำตาล 38.6 % และมีผงโกโก้ 2.14 %..... 106

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	โครงสร้างของฟอง	6
2.2	การเกิดโปรตีนที่ชั้นระหว่างผิวอากาศ และน้ำ	7
2.3	การเกิดฟองอากาศ	8
2.4	บทบาทของหมู่ไม่มีขั้วต่อการถูกดูดซับของโปรตีนที่พื้นผิวระหว่างชั้นอากาศ-ของเหลว	8
2..5	โครงสร้างฟิลม์โปรตีนของเคซีน และไลโซไซม์ที่ถูกดูดซับที่ชั้นระหว่าง ผิว อากาศ-น้ำ	9
2.6	ลำดับการเกิดฟอง	10
2.7	ความเข้มข้นของโปรตีน (o) และความดันที่ผิว (□) เมื่อเวลาการดูดซึบที่ชั้นระหว่างผิวของ บีตา-เคซีน (A) และ ไลโซไซม์จากไข่ขาว (B) เพิ่มขึ้น เมื่อใช้สารละลายโปรตีน 1.5 μg./ml.	13
2.8	ความสัมพัทธ์ระหว่างกำลังการเกิดฟอง และค่าเฉลี่ยความไม่มีขั้ว ($H\varphi_{ave}$) (ก) และความคงตัวของฟองกับความหนาแน่นของประจุ (ข) ของโปรตีนที่ทำให้เกิดฟองนั้น	14
2.9	ปฏิกิริยาการสลายพันธะเปปไทด์โดยโปรติเอส	15
2.10	เมอะแรงส์ที่เตรียมจากโปรตีนไข่ขาว	25
3.1	แผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษาโดยรวมของงานวิจัยทั้งหมด	30
3.2	วิธีการสกัดโปรตีนจากกากถั่วเหลือง	32
3.3	กระบวนการผลิตสารให้ฟองจากโปรตีนถั่วเหลือง	36
3.4	การย่อยสลายโปรตีนที่สกัดจากกากถั่วเหลืองในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพ	37
4.1	กากถั่วเหลืองวัตถุดิบจากบริษัท ธนากรผลิตภัณฑ์น้ำมันพืช ที่ใช้ในการสกัดโปรตีนถั่วเหลือง	43
4.2	โปรตีนที่ตกตะกอนลงมาที่ pH 4.4	44
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่าง pH และ แอคติวิตีสัมพัทธ์ของเอนไซม์	47
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ และ แอคติวิตีสัมพัทธ์ของเอนไซม์	49

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.5 รูปสามมิติและสองมิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละ
การขยายตัวของฟองกับอุณหภูมิ และ เวลาการย่อยโปรตีน
ด้วยเอนไซม์ Alcalase ® 0.285 % โดยปริมาตร (มล.) ต่อ
น้ำหนักโปรตีนถั่วเหลือง (กรัม) ที่ pH 8 ซึ่งสร้างจากสมการ
$-784.5 + 54.48 X_1 + 0.7 X_2 - 0.54 X_1^2 + 0.01 X_1 X_2 + 0.00 X_2^2$
เมื่อ X_1คืออุณหภูมิ (°C) X_2 คือเวลาการย่อยสลาย (นาที) 72

4.6 รูปสองมิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคงตัวของฟอง (นาที)
กับอุณหภูมิ และ เวลาการย่อยโปรตีนด้วยเอนไซม์ Alcalase ® 0.285 %
โดยปริมาตร (มล.) ต่อน้ำหนักโปรตีนถั่วเหลือง (กรัม) ที่ pH 8 ซึ่งสร้างจาก
สมการ $-528.23 + 35.04 X_1 + 3.07 X_2 - 0.26 X_1 X_2 - 0.37 X_1^2 + 0.18 X_2^2$
เมื่อ X_1คืออุณหภูมิ (°C) X_2 คือเวลาการย่อยสลาย (นาที) 73

4.7 รูปสามมิติและสองมิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการขยายตัวของฟอง
กับ อุณหภูมิ และ เวลาการย่อยโปรตีนด้วยเอนไซม์ Protin AC 10 ® 0.014 %
โดยน้ำหนัก (กรัม) ต่อน้ำหนักโปรตีนถั่วเหลือง (กรัม) ที่ pH 6 ซึ่งสร้างจากสมการ
$-713.66 + 56.9 X_1 - 0.96 X_2 - 0.56 X_1^2 + 0.05 X_2^2$
เมื่อ X_1คืออุณหภูมิ (°C) X_2 คือเวลาการย่อยสลาย (นาที) 76

4.8 รูปสองมิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความคงตัวของฟอง(นาที) อุณหภูมิ และ
เวลาการย่อยโปรตีนด้วยเอนไซม์ Protin AC 10 ® 0.014%
โดยน้ำหนัก(กรัม) ต่อน้ำหนักโปรตีนถั่วเหลือง ที่ pH 6 ซึ่งสร้างจากสมการ
$-441.44 + 25.81 X_1 + 13.28 X_2 - 0.25 X_1 X_2 - 0.24 X_1^2 - 0.32 X_2^2$
เมื่อ X_1คืออุณหภูมิ (°C) X_2 คือเวลาการย่อยสลาย (นาที) 77

4.9 รูปสามมิติและสองมิติ แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ร้อยละการขยายตัวของฟอง
กับ อุณหภูมิ และ เวลาการย่อยโปรตีนด้วยเอนไซม์ Pepsin 0.25 %
โดยน้ำหนัก (กรัม) ต่อน้ำหนักโปรตีนถั่วเหลือง(กรัม) ที่ pH 2
ซึ่งสร้างมาจากสมการ $-844.6 + 58.52 X_1 + 0.42 X_2 + 0.01 X_1 X_2 - 0.58 X_1^2 - 0.02 X_2^2$
เมื่อ X_1คืออุณหภูมิ (°C) X_2 คือเวลาการย่อยสลาย (นาที) 79

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.10 รูปสองมิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคงตัวของฟองกับ
อุณหภูมิ และ เวลาการย่อยโปรตีนด้วยเอนไซม์ Pepsin 0.25 %
โดยน้ำหนัก (กรัม) ต่อน้ำหนักโปรตีนถั่วเหลือง(กรัม) ที่ pH 2ซึ่งสร้าง
มาจากสมการ-659 +43.31X_1 + 1.36X_2 - 0.24 X_1 X_2 - 0.47X_1^2 +0.17X_2^2
เมื่อ X_1คืออุณหภูมิ (°C) X_2 คือเวลาการย่อยสลาย (นาที) 80
4.11 รูปสามมิติ และสองมิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการขยายตัวของฟอง
กับ อุณหภูมิ และ เวลาการย่อยโปรตีนด้วยเอนไซม์ Papain 1.25 %
โดยน้ำหนัก (กรัม) ต่อน้ำหนักโปรตีนถั่วเหลือง(กรัม) ที่ pH 6 ซึ่งสร้างมาจาก
สมการ 312.66 + 5.72 X_1 -13.03X_2+0.15X_1 X_2 - 0.05X_1^2+0.37 X_2^2
เมื่อ X_1คืออุณหภูมิ (°C) X_2 คือเวลาการย่อยสลาย (นาที) 82
4.12 รูปสองมิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคงตัวของฟองกับ
อุณหภูมิ และ เวลาการย่อยโปรตีนด้วยเอนไซม์ Papain 1.25 %
โดยน้ำหนัก (กรัม) ต่อน้ำหนักโปรตีนถั่วเหลือง(กรัม) ที่ pH 6 ซึ่งสร้างมาจาก
สมการ -41.83 + 2.40 X_1 + 2.28 X_2 -0.01 X_1 X_2 +0.02 X_1^2 -0.06X_2^2
เมื่อ X_1คืออุณหภูมิ (°C) X_2 คือเวลาการย่อยสลาย (นาที) 83
4.13 รูปสองมิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับการย่อยสลาย อุณหภูมิ และ
เวลาการย่อยโปรตีน ด้วยเอนไซม์ Protin AC 10 ® 0.014 % ที่ระดับ pH 6 86
4.14 รูปสองมิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับการย่อยสลาย อุณหภูมิ และ
เวลาการย่อยโปรตีน ด้วยเอนไซม์ Alcalase ® 0.285 % ที่ระดับ pH 8 86
4.15 รูปสองมิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับการย่อยสลาย อุณหภูมิ และ
เวลาการย่อยโปรตีน ด้วยเอนไซม์ Papain 1.25 % ที่ระดับ pH 6..... 86
4.16 รูปสองมิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับการย่อยสลาย อุณหภูมิ และ
เวลาการย่อยโปรตีน ด้วยเอนไซม์ Pepsin 0.25 % ที่ระดับ pH 2 86

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.17 เปรียบเทียบการขยายตัวของฟอง และความคงตัวของฟอง ระหว่างโปรตีนที่ย่อยสลายด้วย Protin AC 10 ®, Pepsin, Alcalase ® และ Pepain กับ โปรตีนไข่ขาวผง (egg albumen powder) 91

4.18 เปรียบเทียบค่าการละลายน้ำของสารให้ฟองโปรตีนถั่วเหลืองที่ผลิตโดย Protin AC 10® Alcalase ® , Papain และ Pepsin เมื่อแปรปริมาณของมอลโทเดกซ์ทรินในการช่วยทำแห้ง กับ สารให้ฟองโปรตีนไข่ขาว 94

4.19 สารให้ฟองก่อนการทำแห้งและหลังผ่านกระบวนการทำแห้งเยือกแข็ง 93

4.20 ค่าร้อยละการขยายตัวของฟองจากสารให้ฟองไข่ขาวผง สารให้ฟองโปรตีนถั่วเหลืองที่ย่อยสลายด้วย Alcalase ®, Protin AC 10 ®, Pepainและ Pepsin ในสารละลายน้ำตาลความเข้มข้น 0%, 10%, 28.6%, 50% 97

4.21 ค่าความคงตัว ของฟองจากสารให้ฟองไข่ขาวผง สารให้ฟองโปรตีนถั่วเหลืองที่ย่อยสลายด้วย Alcalase ®, Protin AC 10 ®, Pepainและ Pepsin ในสารละลายน้ำตาลความเข้มข้น 0%, 10%, 28.6%, 50% 98

4.22 ค่าร้อยละการขยายตัวของฟองจากสารให้ฟองโปรตีนถั่วเหลืองย่อยสลายด้วย Protin AC 10 ® และโปรตีนไข่ขาว ในสารละลายน้ำตาล 28.6 % เมื่อเพิ่มผงโกโก้ลงไป 2.17 % 99

4.23 ค่าความคงตัวของฟองจากสารให้ฟองโปรตีนถั่วเหลืองย่อยสลายด้วย Protin AC 10 ® และโปรตีนไข่ขาว ในสารละลายน้ำตาล 28.6 % เมื่อเพิ่มผงโกโก้ลงไป 2.17% 99

4.24 ค่าร้อยละการขยายตัวของฟองจากสารให้ฟองโปรตีนไข่ขาว และโปรตีนถั่วเหลืองย่อยสลายด้วย Protin AC 10 ® ในสารละลายน้ำตาล 28.6 % เมื่อผสมผงโกโก้ลงไปในระดับต่างๆ 100

4.25 ค่าร้อยละความคงตัวของฟองจากสารให้ฟองโปรตีนไข่ขาว และโปรตีนถั่วเหลืองย่อยสลายด้วย Protin AC 10 ® ในสารละลายน้ำตาล 28.6 % เมื่อผสมผงโกโก้ลงไปในระดับต่างๆ 101

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.26 ตัวอย่างเมอะแรงส์ที่เตรียมโดยใช้สารให้ฟองที่ย่อยสลายด้วย Papain (1) Alcalase® (2) Pepsin (3) Protin AC 10® (4) และสารให้ฟองจากโปรตีนไข่ขาว (5) 103

4.27 ตัวอย่างเมอะแรงส์ที่เตรียมโดยใช้สารให้ฟองที่ย่อยสลายด้วย Protin AC 10® โดยแปรความเข้มข้นโปรตีนในสารให้ฟอง ที่ความเข้มข้น 3 % (1) ความเข้มข้น 4 % (2) ความเข้มข้น 5 % (3) ความเข้มข้น 6 % (4) เปรียบเทียบกับสารให้ฟองโปรตีนไข่ขาว (5) 105