ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์การอาหาร	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง ผลของ pH และสารตกตะกอนต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของผลิตภัณฑ์โปรตีนจากถั่วเขียว

Effects of pH and Coagulant on Functional Properties of Mung Bean Protein Products

นามผู้วิจัย นางสาวฐิติพร แก้วอัมพร

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ .....

(รองศาสตราจารย์ทนง ภัครัชพันธุ์, Ph.D.)

กรรมการ .....

(รองศาสตราจารย์สิรี ชัยเสรี, Ph.D.)

กรรมการ .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วาณี ชนเห็นชอบ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนะบูลย์ สัจจาอนันตกุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์วินัย อาจคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 5 **เดือน** เมษายน **พ.ศ.** 2549

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของ pH และสารตกตะกอนต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของผลิตภัณฑ์โปรตีนจากถั่วเขียว

Effects of pH and Coagulant on Functional Properties of Mung Bean Protein Products

โดย

นางสาวฐิติพร แก้วอัมพร

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)
พ.ศ. 2549

ISBN 974-16-1457-8

ฐิติพร แก้วอัมพร 2549: ผลของ pH และสารตกตะกอนต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของผลิตภัณฑ์โปรตีนจากถั่วเขียว ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร) สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ประธานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ทนง ภัครัชพันธุ์, Ph.D. 98 หน้า
ISBN 974-16-1457-8

จากการศึกษาผลของpHในการสกัดโปรตีนและผลของสารตกตะกอนได้แก่ โพแทสเซียมคลอไรด์ โซเดียมคลอไรด์ และแอมโมเนียมคลอไรด์ ในขั้นตอนการผลิตส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียว ในการทดลองได้ผันแปรระดับ pH 5 ระดับคือ 8.0, 8.5, 9.0, 9.5 และ 10.0 พบว่าการสกัดสารละลายโปรตีนที่ pH 9.5 เป็นเวลา 90 นาที จะให้ปริมาณโปรตีนสูงสุด 86.34 เปอรเซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง และปริมาณผลผลิตสูงสุดได้จากการสกัดที่ pH 9.5 คือ 20.24 เปอร์เซ็นต์ เมื่อตรวจสอบคุณสมบัติเชิงหน้าที่พบว่า มีความสามารถในการละลายของไนโตรเจนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ความสามารถในการอุ้มน้ำมีค่าสูงสุดที่สภาวะการผลิตที่ pH 10.0 ความสามารถในการเกิดฟองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของ pH ความสามารถในการเกิดอิมัลชันมีค่าสูงสุดที่ pH 9.0 ส่วนความคงตัวของอิมัลชันลดลงในช่วง pH 9.5-10.0 ความสามารถในการเกิดเจลที่ pH 10.0 ดีกว่าที่ pH อื่น ๆ และใช้ความเข้มข้นต่ำสุดในการเกิดเจลอยู่ที่ 14 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาผลของสารตกตะกอนต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่พบว่าความสามารถในการละลายของไนโตรเจนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารตกตะกอน ความสามารถในการอุ้มน้ำให้ผลไม่แตกต่างกัน ความสามารถในการเกิดฟองของการใช้โพแทสเซียมคลอไรด์ดีกว่าโซเดียมคลอไรด์ และแอมโมเนียมคลอไรด์ การใช้โซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ให้ความสามารถในการเกิดอิมัลชันสูงที่สุด คุณสมบัติด้านการเกิดเจลที่ใช้ปริมาณความเข้มข้นของโปรตีนต่ำสุดในการเกิดเจล คือ การใช้โซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ใช้ความเข้มข้นต่ำสุดในการเกิดเจลอยู่ที่ 8 เปอร์เซ็นต์

ฐิติพร แก้วอัมพร
ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อประธานกรรมการ

29 / 3 / 49

Thitiporn Kaewumporn 2006: Effects of pH and Coagulant on Functional Properties of Mung Bean Protein Products. Master of Science (Food Science), Major Field: Food Science, Department of Food Science and Technology.
Thesis Advisor: Associate Processor Thanong Pukruspan, Ph.D. 98 pages.
ISBN 974-16-1457-8

In preparation process, the effect of pH on extraction and the effect of coagulant i.e., KCl, NaCl and NH_4Cl on the functional properties of mungbean protein products were studied. There were 5 levels of pH i.e., 8.0, 8.5, 9.0, 9.5 and 10.0 to extract the mungbean protein before spraydrying. It was found that treated with pH 9.5 for 90 min gave the highest protein content 86.34 percent on dry weight basis. The highest yield about 20.24 percent was found with those treated with pH 9.5. This protein product showed significantly ($p \leq 0.05$) nitrogen solubility increased. Water holding capacity exhibited the highest from the proteins treated proteins with pH 10.0. Foaming capacity increased with increasing the pH. Emulsion capacity exhibited highest at pH 9.0 while emulsion stability was decreased particularly in pH 9.5 to pH 10.0. The proteins treated at pH 10.0 gave better gelation properties than the another which about 14 percent. The study of the effect of coagulant on functional properties showed that nitrogen solubility increased depending on the concentrations of the coagulant. Water capacity showed no significant in all kinds of protein. Foaming capacity by KCl was better than NaCl and NH_4Cl. It was found that treated with 0.1 percent NaCl gave the highest emulsion capacity. The protein treated with 0.5 percent NaCl could give satisfied gel formation with the lowest concentration of 8 percent protein

Thitiporn Kaewumporn
Student's signature

T. Pukruspan
Thesis Advisor's signature

29 / 3 / 49

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบุคคลดังต่อไปนี้ที่ล้วนมีส่วนให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รศ.ดร.ทนง ภัครัชพันธุ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา รศ.ดร.สิริ ชัยเสรี กรรมการวิชาเอกและผศ.ดร.วาณี ชนเห็นชอบ กรรมการวิชารองที่ได้ให้คำปรึกษาที่ดีตลอดการดำเนินงานวิจัย รวมถึงการตรวจแก้ไขเล่มวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อย อีกทั้งผศ.ดร.ธงชัย สุวรรณสิชณน์ อาจารย์ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัยที่กรุณาให้คำแนะนำเพิ่มเติมและแก้ไขในเรื่องของสถิติ จนทำให้วิทยานิพนธ์นี้ครบถ้วนสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาการศึกษาและการทำวิจัย ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แห่งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ที่ได้ให้กำเนิดและอบรมเลี้ยงดูมาเป็นอย่างดี อีกทั้งให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้าน และเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา ตลอดจนพี่ชายของข้าพเจ้าที่คอยดูแลช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกตลอดการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณน้ำทิพย์ วงศ์ประทีป รุ่นพี่ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการทำปฏิบัติการและให้คำปรึกษาที่ดีเสมอมา คุณพัดทอง สวัสดิเกียรติ สำหรับกำลังใจในการทำงานและเพื่อนทุก ๆ คนที่ให้ความช่วยเหลือในการวิทยานิพนธ์นี้ ตลอดจนน้องนิสิตระดับบัณฑิตศึกษาทุกคนในภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารที่ได้ให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารที่อำนวยความสะดวกในการทำวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณ คุณปฏิภาณ กุลสมบูรณ์ ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

สุดท้ายข้าพเจ้าขออุทิศคุณความดีใดๆในวิทยานิพนธ์เล่มนี้แด่ครูบาอาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่านของข้าพเจ้าตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน หากมีข้อผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าขอรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

ฐิติพร แก้วอัมพร

กุมภาพันธ์ 2549

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์การทดลอง	3
การตรวจเอกสาร	4
ถั่วเขียว	4
องค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการของถั่วเขียว	5
การใช้ประโยชน์ของถั่วเขียว	7
โปรตีนจากพืช	8
การสกัดโปรตีน	10
การตกตะกอนโปรตีน	13
คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน	14
การใช้ประโยชน์ของผลิตภัณฑ์โปรตีน	19
อุปกรณ์และวิธีการ	23
อุปกรณ์	23
วิธีการ	25
ผลการทดลองและวิจารณ์	29
การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์โปรตีน	29
ปริมาณผลผลิตของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียว	37
คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของผลิตภัณฑ์โปรตีนจากถั่วเขียว	39
ผลของการใช้สารตกตะกอนที่มีต่อสมบัติเชิงหน้าที่	52
สรุป	63
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	65
ภาคผนวก	78

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ก การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี 79
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของผลิตภัณฑ์โปรตีน 82
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ทางสถิต 86

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบทางเคมีของถั่วเขียว	5
2	องค์ประกอบของกรดแอมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายของถั่วเขียว แป้งถั่วเขียว และโปรตีนถั่วเขียวไอโซเลทเขียว	6
3	องค์ประกอบของแร่ธาตุและวิตามินของถั่วเขียว	7
4	สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนในอาหาร	20
5	องค์ประกอบทางเคมีของถั่วเขียวผ่าซีกกะเทาะเปลือก	29
6	องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์โปรตีนในการสกัดที่pH 4.5	30
7	องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่pHและเวลาต่าง ๆ	32
8	องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้กรดไฮโดรคลอริกในการตกตะกอน	34
9	องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ	35
10	ปริมาณผลผลิตของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่ pH และเวลาต่าง ๆ	37
11	ปริมาณผลผลิตของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ	39
12	คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดโปรตีนที่ pH 4.5	40
13	ความสามารถในการละลายของไนโตรเจนของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่ pH และเวลาต่าง ๆ	41
14	ความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่pHและเวลาต่าง ๆ	43
15	ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวที่ pH และเวลาต่าง ๆ	44
16	ความสามารถในการเกิดฟองของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่ pH และเวลาต่าง ๆ	45

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
17	ความคงตัวในการเกิดฟองของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่ pH และเวลาต่าง ๆ	47
18	ความสามารถในการเกิดอิมัลชันของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่ pH และเวลาต่าง ๆ	48
19	ความคงตัวในการเกิดอิมัลชันของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่ pH และเวลาต่าง ๆ	50
20	ความสามารถในการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่ pH และเวลาต่าง ๆ	51
21	คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้กรดไฮโดรคลอริกในการตกตะกอน	52
22	ความสามารถในการละลายของไนโตรเจนของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ	54
23	ความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ	55
24	ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ	56
25	ความสามารถในการเกิดฟองของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ	57
26	ความคงตัวในการเกิดฟองของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ	58
27	ความสามารถในการเกิดอิมัลชันของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ	59
28	ความคงตัวในการเกิดอิมัลชันของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ	61
29	ความสามารถในการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ	62

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ค1	การวิเคราะห์ความแปรปรวน องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์โปรตีนในการสกัดที่ pH และเวลาในการผลิตระดับต่าง ๆ	87
ค2	การวิเคราะห์ความแปรปรวนองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ	88
ค3	การวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่ pH และเวลาต่าง ๆ	90
ค4	การวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ	90
ค5	การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการละลายของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่ pH และเวลาต่าง ๆ	91
ค6	การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่ pH และเวลาต่าง ๆ	91
ค7	การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่ pH และเวลาต่าง ๆ	92
ค8	การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการเกิดฟองของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่ pH และเวลาต่าง ๆ	92
ค9	การวิเคราะห์ความแปรปรวนความคงตัวในการเกิดฟองของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่ pH และเวลาต่าง ๆ	93
ค10	การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการเกิดอิมัลชันของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่ pH และเวลาต่าง ๆ	93
ค11	การวิเคราะห์ความแปรปรวนความคงตัวในการเกิดอิมัลชันของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่ pH และเวลาต่าง ๆ	94
ค12	การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่ pH และเวลาต่าง ๆ	94

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ค13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการละลายของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ 95
ค14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ 95
ค15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ 96
ค16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการเกิดฟองของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียว โดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ 96
ค17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความคงตัวในการเกิดฟองของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ 97
ค18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการเกิดอิมัลชันองผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ 97
ค19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความคงตัวในการเกิดอิมัลชันองผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ 98
ค20 การวิเคราะห์ความแปรปรวน ความสามารถในการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ 98

ผลของ pH และสารตกตะกอนต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของผลิตภัณฑ์โปรตีนจากถั่วเขียว

Effects of pH and Coagulant on Functional Properties of Mung Bean Protein Products

คำนำ

ปัจจุบันมีการนำโปรตีนจากพืชมาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารใหม่ๆ หรือในผลิตภัณฑ์อาหารทั่วไปมากขึ้น เนื่องจากต้องการเพิ่มคุณภาพและสมรรถนะการผลิต และเป็นการสรรหาแหล่งโปรตีนใหม่ๆ ให้เพียงพอกับการเพิ่มขึ้นของประชากร อีกทั้งยังเป็นการก่อให้เกิดการใช้ประโยชน์จากผลผลิตภายในประเทศ ซึ่งจะช่วยพัฒนาระบบเศรษฐกิจของประเทศให้ดีขึ้นได้ โดยโปรตีนที่ใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารทั้งหลายก็จะมีผลต่อลักษณะทางกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ แหล่งของโปรตีนจากพืชที่นิยมนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารได้แก่ พืชตระกูลถั่ว เนื่องจากเมล็ดพืชตระกูลถั่วทั่ว ๆ ไปมักจะมีโปรตีนสูง เช่นถั่วเหลือง และถั่วเขียว โดยเฉพาะถั่วเขียวเป็นพืชที่มีการผลิตกันมากในประเทศไทยซึ่งคาดว่าในปี 2544-2546 จะมีเนื้อที่เก็บเกี่ยว 1,676,557ไร่ และสามารถผลิตเป็นถั่วเขียวได้ 219,879 ตัน ซึ่งคิดเป็นผลผลิตต่อไร่ประมาณไร่ละ 131 กิโลกรัม (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2548) การใช้ประโยชน์จากถั่วเขียวส่วนใหญ่จะนิยมนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ทั้งในระดับครัวเรือน และระดับอุตสาหกรรม เช่นการผลิตวุ้นเส้น แต่ไม่ค่อยมีการนำโปรตีนจากถั่วเขียวมาใช้ประโยชน์อย่างจริงจัง ทั้ง ๆ ที่ถั่วเขียวเป็นแหล่งของโปรตีนที่ดี คือมีปริมาณโปรตีน 27% (El-Adawy, 1996; Evans and Bandemer, 1967) และ มีกรดแอมิโนที่จำเป็นเป็นองค์ประกอบ เหมาะที่จะใช้เป็นโปรตีนเสริมในผลิตภัณฑ์อาหาร แต่โรงงานอุตสาหกรรมมักนำสารละลายโปรตีนจากถั่วเขียวไปผลิตเป็นอาหารสัตว์ซึ่งมีมูลค่าต่ำ อย่างไรก็ตามการนำถั่วเขียวมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารก็ยังมีปัญหาในเรื่องของกลิ่นถั่วและสีที่เข้มซึ่งจะส่งผลต่อผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้และเป็นข้อจำกัดในการนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร การแก้ปัญหานี้สามารถทำได้โดยการเอาเปลือกของถั่วเขียวออกก่อนที่จะทำการบดหรือจะเตรียมให้อยู่ในรูปของโปรตีนไอโซเลท (El-Adawy, 1996; Thompson *et al*., 1977) โปรตีนไอโซเลทเป็นรูปแบบของโปรตีนชนิดหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจในอุตสาหกรรม เพราะเพิ่มการประยุกต์ใช้โปรตีนจากพืชมาใช้ในอาหาร (Sánchez-Vioque *el at*., 1999) เนื่องด้วยโปรตีนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการต่อร่างกายมนุษย์ ช่วยซ่อมแซมส่วนที่

สึกหรอของร่างกาย และช่วยให้ร่างกายเจริญเติบโต ทำหน้าที่เป็นแหล่งให้พลังงาน (Friedman, 1996) แหล่งของโปรตีนส่วนใหญ่ที่มนุษย์เรานำมาใช้ประโยชน์จะได้แก่ โปรตีนจากเนื้อสัตว์ต่าง ๆ และโปรตีนจากพืช โดยโปรตีนจากเนื้อสัตว์จะมีราคาที่ค่อนข้างสูง จึงได้มีการศึกษาการใช้ประโยชน์จากโปรตีนจากพืชที่มีอยู่ตามธรรมชาติ เพื่อทดแทนโปรตีนจากเนื้อสัตว์ ผลิตภัณฑ์โปรตีนจากถั่วเขียวจะให้คุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่ต้องการในกระบวนการแปรรูปอาหาร เช่น คุณสมบัติด้านการเกิดฟอง การเกิดอิมัลชัน และการดูดซับน้ำ (El-Adawy, 1996) โดยโปรตีนจะทำหน้าที่ในการปรับปรุงคุณภาพทางด้านลักษณะปรากฏรสชาติ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้กากถั่วแบบเดิม นอกจากนี้ยังใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ (Mizrahi *et al*., 1967) เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ ซึ่งถ้าได้มีการศึกษาค้นคว้านำโปรตีนจากถั่วเขียวมาผลิตเพื่อใช้ประโยชน์ในการเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแล้วยังก่อให้เกิดผลดีทางเศรษฐกิจโดยเป็นการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์จากถั่วเขียวและลดการเสียดุลการค้าเพื่อทดแทนผลิตภัณฑ์โปรตีนที่มีการนำเข้าจากต่างประเทศอีกทางหนึ่งด้วย ในงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาถึงการผลิตโปรตีนถั่วเขียวเข้มข้นจากสารละลายของเหลือโรงงานวุ้นเส้น โดยมีการปรับ pH และนำไปทำแห้งแบบพ่นฝอย (สมชาย, 2528) และการปรับปรุงกรรมวิธีการผลิตและสมบัติเชิงหน้าที่ของเผลิตภัณฑ์โปรตีนจากถั่วเขียว โดยการสกัดโปรตีนจากถั่วเขียวด้วยน้ำในอัตราส่วนต่างๆและการผลิตโดยใช้สารตกตะกอนชนิดต่างๆ และการดัดแปรด้วยสารเคมี (น้ำทิพย์, 2547) แต่ก็ยังมีข้อมูลเพียงเล็กน้อยที่แสดงถึงผลของสภาวะการสกัดที่ pHต่าง ๆ และการนำสารตกตะกอนที่เป็นเกลือโซเดียมคลอไรด์ โพแทสเซียมคลอไรด์ และแอมโมเนียมคลอ-ไรด์ มาใช้ในการตกตะกอน ที่มีต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่

เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์โปรตีนที่มีการผลิตที่หลากหลาย ในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาถึงผลของระดับ pH ในขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์โปรตีนและการใช้สารตกตะกอนร่วมในการตกตะกอนโปรตีนที่มีต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของผลิตภัณฑ์โปรตีนจากถั่วเขียว

วัตถุประสงค์การทดลอง

1. ศึกษาผลของ pH ระดับต่างๆในขั้นตอนการผลิตต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของผลิตภัณฑ์โปรตีนจากถั่วเขียว

2. ศึกษาผลของการใช้สารตกตะกอนในการตกตะกอนโปรตีนต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของผลิตภัณฑ์โปรตีนจากถั่วเขียว

การตรวจเอกสาร

1. ถั่วเขียว (Mung bean)

ถั่วเขียวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญและนิยมปลูกกันแพร่หลายในประเทศไทย เพราะเป็นพืชที่ปลูกง่าย ปลูกได้ดีในดินแทบทุกชนิด มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้นขึ้นอยู่กับพันธุ์ ซึ่งช่วงอายุที่เก็บจะอยู่ที่อายุประมาณ 65-70 วันสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี มีการปฏิบัติดูแลน้อยเมื่อเทียบกับพืชเศรษฐกิจชนิดอื่น สันนิษฐานว่าถั่วเขียวมีต้นกำเนิดมาจากประเทศอินเดีย และมีการปลูกกันแพร่หลายในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น อินโดนีเซีย พม่า และฟิลิปินส์ และบางส่วนของประเทศแคนาดา แอฟริกา และสหรัฐอเมริกา (Akapapunam, 1996 and Daisy, 1979) ถั่วเขียว (mung bean) หรือรู้จักกันในชื่อ ถั่วทอง (golden gram) เป็นพืชตระกูลถั่วอยู่ในวงศ์ Leguminosae มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Vigna radiate* (L) Wilzek., *Phaseolus aureus* Roxb., *Phaseolus radiatus* L., *Vigna aureus* Roxb. (Daisy, 1979 and Duke, 1981) สำหรับประเทศไทยชนิดของถั่วเขียวที่มีการปลูกกันในปัจจุบันนี้แบ่งออกเป็น 4 ชนิดโดยขึ้นกับรูปร่าง ลักษณะของเมล็ด การปลูกแบ่งตามลักษณะของเมล็ดและสีของเปลือกดังนี้(เพิ่มพูน, 2531; จินตนา และคณะ, 2538)

1.1 ถั่วเขียวธรรมดาหรือถั่วเขียวเมล็ดด้าน เป็นพันธุ์ที่นิยมใช้ทำถั่วงอก วุ้นเส้น และมีการส่งไปจำหน่ายยังต่างประเทศ ถั่วเขียวชนิดนี้ถ้าปลูกในดินที่มีความอุดสมบูรณ์จะได้ผลผลิตต่อไร่สูงกว่าชนิดอื่นๆ ประมาณ 400 กิโลกรัมต่อไร่

1.2 ถั่วเขียวสีทองหรือถั่วทอง ถั่วเขียวชนิดนี้มีลักษณะลำต้น ใบและฝักเหมือนกับถั่วเขียวเมล็ดด้าน แต่เมล็ดมีสีเหลืองทอง เนื้อข้างในเป็นสีเหลือง นิยมใช้ทำขนม เช่น ขนมลูกชุบ ถั่วกวน หรือ ถั่วแปบ เป็นต้น เพราะมีสีสรรสวยงามน่ารับประทาน

1.3 ถั่วเขียวมันเมล็ดใหญ่ เป็นถั่วเขียวที่มีเมล็ดเป็นมัน มีสีดำ และมีขนาดโตกว่าพันธุ์อื่น เหมาะที่จะปลูกเป็นการค้า เพราะให้ผลผลิตสูงและขายได้ราคาดี

1.4. ถั่วเขียวผิวดำ เป็นพันธุ์ที่มีเมล็ดเป็นสีดำ นิยมใช้เพาะถั่วงอก เพราะต้นถั่วงอกที่ได้จะมีความอวบ อ้วน ขาว น่ารับประทาน นอกจากนี้อาจใช้ทำเป็นอาหารสัตว์หรือทำเป็นปุ๋ย

2. <u>องค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการของถั่วเขียว</u>

โครงสร้างของพืชตระกูลถั่วจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนคือ เปลือกหุ้มเมล็ด (seed coat) ประมาณ 12.1% ใบเลี้ยง (cotyledon) และต้นอ่อน (hypocotyls) โดยมากแล้วพืชตระกูลถั่วจะมีส่วนของใบเลี้ยงมากที่สุดคือ 90 % รองลงมาคือเปลือกหุ้มเมล็ด (Wolf, 1977; Adsule, 1989)

ถั่วเขียวเป็นพืชตระกูลถั่วที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ใช้ทำเป็นอาหารที่ให้โปรตีนได้เป็นอย่างดีนอกจากถั่วเหลืองหรือถั่วอื่นๆ โดยมีปริมาณโปรตีนสูงพอที่จะนำมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น มีโปรตีน 23.6 % ไขมัน 1.2 % โดยน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 1) ถั่วเขียวมีกรดแอมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายเพียงพอโดยเป็นแหล่งของไลซีนที่ดี แต่จะมีกรดแอมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ ซึ่งได้แก่ เมทไธโอนิน และซีสตินน้อย ดังแสดงในตารางที่ 2 จึงควรรับประทานถั่วเขียวร่วมกับโปรตีนจากแหล่งอื่นๆ เช่น ข้าว งา เนื้อสัตว์ต่าง ๆ เป็นต้น ส่วนด้านแร่ธาตุและวิตามินต่าง ๆ นั้นถั่วเขียวจะมีปริมาณโพแทสเซียมและฟอสฟอรัสสูง ซึ่งร่างกายคนเราต้องการโพแทสเซียมในการเสริมสร้างกล้ามเนื้อ ทำให้ร่างกายแข็งแรง ส่วนฟอสฟอรัสช่วยบำรุงประสาทและสมอง แต่จะมีปริมาณแคลเซียม เหล็ก และโซเดียมต่ำ ดังแสดงใน ตารางที่ 3

<u>ตารางที่ 1</u> องค์ประกอบทางเคมีของถั่วเขียว

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (%)
ความชื้น	9.7
โปรตีน	23.6
ไขมัน	1.2
เถ้า	4.0
เส้นใย	3.3
คาร์โบไฮเดรต	58.2

ที่มา: Purseglove (1977)

ตารางที่ 2 องค์ประกอบของกรดแอมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย (กรัมต่อ 16 กรัมไนโตรเจน) ของถั่วเขียว แป้งถั่วเขียวและโปรตีนถั่วเขียวไอโซเลท

กรดแอมิโน	ถั่วเขียว[1/]	แป้งถั่วเขียว[2/]	โปรตีนถั่วเขียวไอโซเลท[2/]
อะลานิน	3.9	4.37	5.07
อาร์จินิน	5.5	6.81	7.01
กรดแอสปาติก	11.5	11.85	10.17
ซีสติน	0.7	0.37	-
กรดกลูตามิก	13.8	18.05	19.50
ไกลซีน	3.4	3.94	3.60
ฮีสติดีน	2.9	2.59	2.48
ไอโซลูซีน	3.7	4.79	5.47
ลูซีน	7.1	7.90	9.33
ไลซีน	8.1	6.69	6.82
เมทไธโอนีน	0.5	1.22	1.29
ฟีนิลอะลานีน	4.9	5.50	6.79
โพรลีน	3.7	4.03	4.06
เซรีน	4.7	4.86	2.47
ทรีโอนีน	3.3	2.82	1.77
ไทโรซีน	2.5	2.93	2.99
วาลีน	4.1	5.95	6.72

ที่มา: Duke [1/] (1983); Coffman and Garcia[2/] (1977)

ตารางที่ 3 องค์ประกอบของแร่ธาตุและวิตามินของถั่วเขียว

แร่ธาตุและวิตามิน	ปริมาณ (มิลลิกรัม/ 100 กรัม)
แคลเซียม	105
ฟอสฟอรัส	330
โพแทสเซียม	1132.0
เหล็ก	7.1
โซเดียม	6.0
ไทอามีน	0.5
ไรโบฟลาวิน	0.3
นิซิน	2.5
กรดแอสคอร์บิก	4.0

ที่มา: Duke (1983)

3. การใช้ประโยชน์ของถั่วเขียว

สมชาย (2531) กล่าวว่าปริมาณการใช้ถั่วเขียวในประเทศไทยประมาณ 50% ของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด จะแยกเป็นถั่วเขียวผิวมันและถั่วเขียวผิวดำโดยถั่วเขียวผิวดำจะใช้เพาะถั่วงอก ส่วนถั่วเขียวผิวมันจะนำมาทำผลิตภัณฑ์โดยแยกตามการแปรูป ดังนี้

3.1 เมล็ดถั่วเขียว

ใช้ทำอาหาร ขนมหวานต่างๆ เช่น ถั่วเขียวต้มน้ำตาล ถั่วกวน ลูกชุบ เป็นต้น

3.2 แป้งถั่วเขียว

ได้จากการนำถั่วเขียวมาบดละเอียดซึ่งแป้งถั่วเขียวที่ได้จะมีปริมาณสูงกว่าถั่วชนิดอื่นๆ อีกส่วนหนึ่งผลิตเป็นผงสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมอาหารหรือใช้ทำขนม เช่น คุ้กกี้ ขนมปัง

3.3 สตาร์ชถั่วเขียว

ได้จากการขั้นตอนการสกัดถั่วเขียว ขั้นตอนการผลิตสตาร์ชถั่วเขียว เริ่มจากทำความสะอาด แยกสิ่งแปลกปลอม นำไปล้างแช่น้ำ บด และแยกเอาสตาร์ชผสมออกจากน้ำที่มีโปรตีนละลาย ส่วนของสตาร์ชผสมจะถูกผ่านเข้าเครื่องสกัดแยก (turbo extracting) เพื่อแยกเอาโปรตีนส่วนที่เป็นของแข็ง (residue) ออกไป หลังจากนั้นกรองตะกอนสตาร์ชอีก 2-3 ครั้ง เพื่อแยกเอาโปรตีนที่เหลือออกไปอีก จะได้สตาร์ชที่มีคุณภาพสูง เพื่อนำไปแปรรูปเป็นวุ้นเส้น (Anantraksakul, 1989) ซึ่งใช้ในการประกอบอาหารทำแกงจืด หรือยำต่างๆ

3.4 โปรตีนสกัดจากถั่วเขียว

ได้จากการสกัดโปรตีนถั่วเขียวที่มีการแยกสตาร์ชและกากถั่วเขียวออกแล้ว ใช้ผลิตอาหารโปรตีนสูงและราคาถูก เพื่อเสริมลงในอาหารต่างๆ ให้มีคุณค่าทางโภชนาการสูงขึ้น นอกจากนี้ยังใช้เป็นวัตถุดิบในการทำโปรตีนเกษตร หรือเนื้อเทียมที่มีคุณค่าเท่าเทียมกับเนื้อสัตว์

3.5 กากถั่วเขียว

เป็นสิ่งที่เหลือการสกัดโปรตีนถั่วเขียว ใช้ทำเป็นอาหารสัตว์ นอกจากนี้พบว่าการรับประทานเมล็ดถั่วเขียวจะเป็นยาช่วยบรรเทาอาการของโรคอัมพาต โรคปวดตามข้อ และยาแก้ไข้แก้ไออีกด้วย (Duke, 1981)

4. <u>โปรตีนจากพืช</u>

โปรตีนจากพืชเป็นเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของมนุษย์ โดยส่วนหนึ่งนำมาใช้ในรูปของวัตถุดิบสำหรับการประกอบอาหารอีกส่วนหนึ่งได้ถูกสกัดออกมาในรูปของโปรตีนเข้มข้น (protein concentrate) โปรตีนไอโซเลท (protein isolates) ในบรรดาโปรตีนที่มนุษย์ผลิตได้ประมาณ 4 ใน 5 มาจากพืช และเพียง 1ใน 5 เท่านั้นที่มาจากสัตว์ ส่วนที่มาจากพืชนั้นประมาณ 2ใน 3 มาจากธัญชาติ และ 1ใน 5 มาจากเมล็ดพืชน้ำมัน (ณรงค์, 2538) ในที่นี้สามารถแบ่งโปรตีนจากพืชได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

4.1 โปรตีนจากพืชผัก

พืชผักชนิดต่างๆ มีปริมาณโปรตีนต่ำตัวอย่างเช่น ผลไม้มีโปรตีนประมาณ 0.5-3% ผักมีโปรตีนประมาณ 5-7% (Haard and Chism, 1996)

4.2 โปรตีนจากธัญชาติ

โปรตีนจากธัญชาติ 80% อยู่ในเนื้อแป้ง(endosperm) ส่วนที่เหลืออยู่ในจมูกข้าว (germ) โปรตีนส่วนที่อยู่ในเนื้อแป้งอาจแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือส่วนที่เป็นเมตาโบลิกโปรตีน (metabolic proteins) ส่วนของโปรตีนที่เก็บไว้ (storage proteins) และส่วนของโปรตีนที่ทำหน้าที่เป็นโครงสร้าง (structure proteins) เมตาโบลิกโปรตีนจะเป็นโปรตีนอัลบูมินทำหน้าที่เป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับเมตาโบลิซึมระหว่างการพัฒนาเมล็ด สามารถละลายได้ดีในน้ำ นอกจากนี้ก็มีโปรตีนส่วนหนึ่งที่เกาะติดกับสารประกอบอื่นๆ ไม่สามารถสกัดออกได้ด้วยน้ำแต่จะละลายออกได้ด้วยกรดหรือด่างเจือจาง ไม่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นกลาง เรียกว่า กลูเตลิน สำหรับโปรตีนที่เก็บไว้มีปริมาณสูงมาก ส่วนใหญ่เป็นกลุ่มโปรตีนโปรลามิน โดยจะรวมกันอยู่เรียกว่า เม็ดโปรตีน (protein bodies) ซึ่งโปรลามินจะไม่ละลายน้ำ แต่จะละลายได้ดีในเอทานอลเข้มข้น นอกจากนี้ยังมีธัญชาติบางชนิดเก็บโปรตีนไว้ในรูปของโปรตีนกลอบูลิน ซึ่งเป็นกลุ่มโปรตีนที่ละลายได้ดีในสารละลายเกลือที่เจือจางและเป็นกลาง ไม่ค่อยละลายน้ำและไม่ละลายในสารละลายเกลือที่มีความเข้มข้นสูง (Pomeranz, 1991)

4.3 โปรตีนจากถั่วและพืชน้ำมัน

ถั่วเมล็ดแห้งและพืชน้ำมันมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าพืชอื่นๆ แหล่งของโปรตีนจากถั่วเมล็ดแห้งและพืชน้ำมันที่สำคัญ คือ ถั่วเหลือง ถั่วลิสง ถั่วเขียว เมล็ดทานตะวัน เมล็ดฝ้าย และงา (Haard and Chism, 1996) ซึ่งพืชตระกูลถั่วเหล่านี้จะเก็บโปรตีนไว้ในรูปของโปรตีนกลอบูลินซึ่งประกอบด้วย 2 ชนิดคือ 7S และ11S ที่มีอยู่ในถั่วเหลืองและรู้จักกันในชื่อว่า เบตาคอนไกลซินิน (β-conglycinin) และไกลซินิน (glycinin) (Clark, 1998) ถั่วเขียวจัดอยู่ในกลุ่มกลอบูลาร์โปรตีนที่เก็บโปรตีนไว้ในรูปของกลอบูลิน 2 ชนิด คือ เลกูมิน (legumin)และวิซิลิน (vicilin) ซึ่งเลกูมินและวิซิลินมีค่าสัมประสิทธิการตกตะกอนเท่ากับ 11S และ 7S ตามลำดับ (Pomeranz, 1991 and Mendoza *et al.*, 2001) ซึ่งค่าสัมประสิทธิการตกตะกอน (sedimention coefficient, S) เป็นค่าที่แสงถึงอัตราความเร็วของการตกตะกอน เพื่อให้เกิดความสะดวกในการเขียนจึงนิยมใช้ตัวย่อ (S) ซึ่งมี

ค่าเท่ากับ 1 x 10^{-13} วินาที เรียกว่า " svedberg unit " โปรตีนที่มีค่าสัมประสิทธิการตกตะกอนเท่ากับ 8 x 10^{-13} จึงอาจเขียนแบบย่อได้ว่า 8S โดยทั่วไปค่าสัมประสิทธิการตกตะกอนจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1 x 10^{-13} – 200 x 10^{-13} วินาที ซึ่งจะขึ้นกับขนาดและรูปร่างของโมเลกุลโปรตีน (Whitaker, 1972)

5. <u>การสกัดโปรตีน</u>

การสกัดโปรตีนโดยใช้สารสกัดซึ่งอาจทำได้โดยการใช้เกลือหรือด่างที่ระดับpHต่าง ๆ กัน ค่ากำลังของไอออน (ionic strength) ของสารที่ใช้สกัด อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อปริมาณสารสกัด อุณหภูมิ อัตราเร็วและเวลาในการสกัดทั้งหมดนี้ล้วนมีผลต่อปริมาณผลผลิตและสมบัติการใช้ประโยชน์ของผลิตภัณฑ์โปรตีน โดยทั่วไปโปรตีนละลายได้ในสภาพที่เป็นด่าง (Kinsella, 1976) โดย Bressani and Elias (1974) กล่าวว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จัดว่าเป็นตัวทำละลายที่ยอดเยี่ยมสำหรับองค์ประกอบไนโตรเจนในเมล็ดถั่ว

Kinsella (1976) รายงานว่าสภาวะโดยทั่วไปในการสกัดโปรตีนจากแป้งถั่วเหลืองสกัดไขมันว่าอาจใช้น้ำ สารละลายด่างเจือจาง pH 8.0 หรือสารละลายเกลือ 0.5 M NaCl เป็นสารสกัดโปรตีนได้ และอัตราส่วนแป้งถั่วเหลืองต่อสารสกัดที่เหมาะสมประมาณ 1 ต่อ 10 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สามารถสกัดโปรตีนได้ดีในสภาพที่เป็นด่างแต่ถ้าใช้ด่างที่สูงเกินไปคือ pH มากกว่า 9.5 อาจทำให้คุณสมบัติการใช้ประโยชน์สูญเสีย และอาจก่อให้เกิดความเป็นพิษได้

Thompson *et al*. (1977) ได้ศึกษาสภาวะการที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนจากแป้งถั่วเขียวที่ผ่านการบดแห้ง (dry mill) พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแป้งถั่วเขียวต่อน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 15 และสกัดด้วยน้ำปรับ pH เป็น 9.0 ที่ 25 องศาเซลเซียส ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 นอร์มัล เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นตกตะกอนโปรตีนด้วยการปรับ pH 4.0 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก และทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็ง ได้ผลิตภัณฑ์โปรตีนไอโซเลทที่มีปริมาณโปรตีนสูงถึง 92% และมีปริมาณไลซีนสูง แต่มีปริมาณเมทไธโอนีนและซีสตีนต่ำ

สมชาย (2528) ทดลองผลิตโปรตีนถั่วเขียวเข้มข้นจากสารละลายของเหลือจากโรงงานวุ้นเส้น โดยทดลองผลิต 4 แบบ คือ (1) ใช้ตัวอย่างสารละลายของเหลือจากโรงงานวุ้นเส้น ทำให้แห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (2) ปรับ pH สารละลายของเหลือจากโรงงานวุ้นเส้นให้เป็น

4.5 แล้วนำไปทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (3) ปรับ pH ของสารละลายของเหลือโรงงานวุ้นเส้นให้เป็น 9.5 เพื่อเพิ่มการละลายของโปรตีน แยกตะกอนโดยใช้เครื่องเหวี่ยง แล้วนำสารละลายที่ได้ไปทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (4) ปรับ pH สารละลายของเหลือจากโรงงานวุ้นเส้นให้เป็น 9.5 แยกตะกอนด้วยเครื่องเหวี่ยง นำตะกอนที่เหลือมาผสมกับน้ำปรับ pH 9.5 เหวี่ยงแยกตะกอนทิ้งไป นำสารละลายโปรตีนที่ได้ทั้งสองครั้งมารวมกัน ปรับ pH ให้เป็นกลางด้วยสารละลายกรดเกลือนำไปทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยพบว่าวิธีการแบบที่ 4 ได้ผลิตภัณฑ์โปรตีนประมาณ 73.0 % และให้ลักษณะของผลิตภัณฑ์โปรตีนที่มีสีอ่อน มีสภาพเป็นกลาง และมีกลิ่นเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

อรอนงค์และคณะ (2531) ได้ทำการผลิตผลิตภัณฑ์โปรตีนจากแป้งถั่วเขียวแบบบดแห้ง 3 สายพันธุ์ โดยใช้สารละลายเกลือโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.1 นอร์มัลในการสกัด ในอัตราส่วนแป้งถั่วเขียวต่อสารสกัด 1 ต่อ 40 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรและปรับ pH เป็น 4.0 เพื่อตกตะกอนโปรตีน และทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีโปรตีน 70 %

Kron *et al*. (1996) ทดลองสกัดโปรตีนจากมะพร้าวโดยศึกษาถึงสารละลายในการสกัดและเทคนิคการใช้แมมเบรน เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน พบว่า สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5 โมล่าร์ ทำให้ปริมาณผลผลิตมีปริมาณ 40% จากวัตถุดิบเริ่มต้น ความสามารถในการดูดซับน้ำของโปรตีนจากมะพร้าวมีค่าต่ำกว่าโปรตีนจากถั่วเหลือง อย่างไรก็ตามการดูดซับน้ำมันของโปรตีนทั้งสองไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้โปรตีนจากมะพร้าวให้ค่าการละลายสูงกว่าโปรตีนถั่วเหลือง ยกเว้นที่ pH 8.0 และ pH 10.0 และสมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของโปรตีนจากมะพร้าวดีกว่าโปรตีนถั่วเหลือง

Sánchez-Vioque *et al*. (1999) ได้ทำการทดลองทำโปรตีนไอโซเลทจากถั่วเขียวด้วยกัน 2 วิธีโดยการสกัดโปรตีนจากแป้งถั่วเขียวด้วย 0.2 % ที่ pH 12 และการสกัดด้วยโซเดียมซัลเฟต ที่ pH 10.5 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และทำการหมุนเหวี่ยงที่ 8000 รอบต่อนาที และตกตะกอนที่ pH 4.3 ทำการล้างด้วยน้ำกลั่น แล้วทำการ freeze-dry พบว่าได้ผลิตภัณฑ์โปรตีนไอโซเลทที่ได้จากการสกัดด้วยโซเดียมซัลเฟต ให้ปริมาณโปรตีนสูงกว่าโปรตีนไอโซเลทที่สกัดจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ คือมีปริมาณโปรตีน 88.1 %โดยน้ำหนักแห้ง ในขณะที่การสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีปริมาณโปรตีนถึง 78.0%

Mwasaru, *et al*. (1999 a,b) ศึกษาเทคนิคและสภาวะการสกัดโปรตีนที่มีต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนไอโซเลท pigeon pea และ cow pea โดยใช้เทคนิคการสกัด 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 สกัดโปรตีนด้วยวิธีการ isoelectric protein (IP) วิธีที่ 2 สกัดโปรตีนด้วยวิธีที่เรียกว่า micelle protein (MP) เมื่อนำผลิตภัณฑ์โปรตีนที่ได้มาวิเคราะห์ทางเคมีกายภาพ พบว่า การสกัดโปรตีนด้วยวิธี IP ให้เปอร์เซ็นต์ของจำนวนโปรตีนที่สกัดได้อยู่ในช่วง 35.1 ถึง 58.1 ที่ pH เพิ่มขึ้นจาก 8.5-12.5% ทำให้ปริมาณผลผลิตโปรตีนเพิ่มขึ้น และที่ pH ต่ำ (8.5-10.5%) ของโปรตีนที่สกัดได้จาก cow pea สูงกว่า pigeon pea ที่ pH 11.5 ไม่มีความแตกต่างกัน แต่ที่ pH 12.5 จะให้ค่าการสกัดโปรตีนจาก pigeon pea สูงกว่า cow pea การสกัดโปรตีนโดยวิธี MP ของ pigeon pea และ cow pea ปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

Sze-Tao and Sathe (2000) ทำการทดลองทำโปรตีนไอโซเลทจากอัลมอนด์เปรียบเทียบกับโปรตีนไอโซเลทจากถั่วเหลือง โดยเริ่มจากนำแป้งอัลมอนด์ที่สกัดไขมันออกแล้วมาทำการละลายโปรตีนโดยการใช้ Tris-HCl ความเข้มข้น 20 mM ที่ pH 8.1 ทำการกวนด้วยแท่งแม่เหล็ก เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปเหวี่ยงแยกที่ความเร็ว 12,000 x g เป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นำส่วน supernantant ที่ได้มากรองด้วยระบบสุญญากาศ และทำการ dialyzed ด้วยน้ำ DI จำนวน 5 ลิตร แล้วจึงนำไป lyophilize ได้เป็นโปรตีนไอโซเลทจากอัลมอนด์

Chavan *et al*. (2001) ได้ทำการทดลองผลิตโปรตีนไอโซเลทจากถั่วบีช โดยการสกัดกากถั่วบีชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที และทำการหมุนเหวี่ยงที่ 4000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 20 นาที ตกตะกอนที่ pH 4.5 แล้วทำการหมุนเหวี่ยงอีกครั้งหนึ่ง ล้างด้วยน้ำจำนวน 2 รอบ ทำให้เป็นกลางที่ pH 7 นำไปทำแห้ง พบว่าได้ผลิตภัณฑ์ที่สกัดด้วย จะให้ปริมาณโปรตีน 86.6 % ในขณะที่การสกัดด้วยโซเดียมเฮกซาเมตฟอสเฟต ให้ปริมาณโปรตีน 85.51 %

El-Adawy *et al*. (2001) ได้ทำการทดลองทำโปรตีนไอโซเลทจากเมล็ด lupin ชนิด หวาน และขมโดยการใช้สารละลายด่างในการสกัดและตกตะกอนที่จุดไอโซอิเลคตริก (IP) กับวิธี micellisation (MI) พบว่าสมบัติเชิงหน้าที่ในด้านความสามารถในการดูดซับไขมันของโปรตีนไอโซเลทจากเมล็ด lupin ทั้งชนิดหวานและชนิดขมที่ได้จาการเตรียมด้วยวิธี MI จะมีความสามารถในการดูดซับไขมันได้สูงกว่าที่เตรียมจากวิธี IP การที่ความสามารถในการดูดซับไขมันของวิธี MI มีค่าสูงอาจเป็นเพราะการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนระหว่างทำการไอโซเลท ส่งผลให้มีส่วนของ

ตำแหน่งที่จับกับน้ำมันมากขึ้น ส่วนสมบัติเชิงหน้าที่ในด้านความสามารถในการเกิดฟองพบว่า โปรตีนไอโซเลทจากเมล็ด lupin ชนิด หวานที่ได้จาการเตรียมด้วยวิธี MI จะมีความสามารถในการเกิดฟองสูงกว่าโปรตีนไอโซเลทจากเมล็ด lupin อื่น ๆ ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะโปรตีนไอโซ-เลทจากเมล็ด lupin ชนิดหวานมีสมบัติด้านการละลายสูง

น้ำทิพย์ (2547) ได้ทำการผลิตผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวจากวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด คือ สารละลายโปรตีนถั่วเขียวผ่าซีกกะเทาะเปลือก สารละลายโปรตีนถั่วเขียวทั้งเมล็ด และสารละลายโปรตีนถั่วเขียวจากโรงงาน โดยใช้วิธีแตกต่างกันดังนี้ (1) การปรับ pH สารละลายเป็น 9.5 และตกตะกอนที่จุดไอโซอิเลคตริกด้วยไฮโดรคลอริก จากนั้นนำตะกอนมาปรับให้ pH เป็นกลาง และทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (2) การปรับ pH สารละลายเป็น 4.5 หรือตกตะกอนที่จุดไอโซอิเลคตริก จากนั้นนำตะกอนมาปรับให้ pH เป็นกลาง และทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (3) การปรับ pH สารละลายเป็นกลางหรือ pH 7.0 จากนั้นนำตะกอนมาปรับให้ pH เป็นกลาง และทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวที่ได้จากถั่วเขียวผ่าซีกกะเทาะเปลือกผ่าซีกเป็นผงที่มีขนาดเล็กกว่า 100 เมช มีสีเหลืองนวลถึงเหลืองเข้ม ส่วนที่ได้จากถั่วเขียวทั้งเมล็ดผงโปรตีนมีสีเขียวอ่อนถึงเขียวเข้ม ในขณะที่สารละลายโปรตีนถั่วเขียวจากโรงงานผงโปรตีนมีสีเทาอ่อน สีเขียวและสีขาวและมีกลิ่นฉุนของกำมะถันด้วย เมื่อนำผลิตภัณฑ์โปรตีนที่ได้ไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่า การผลิตด้วยวิธีที่มีการปรับ pH สารละลายเป็น 9.5 ให้ปริมาณโปรตีนสูงสุดเมื่อเทียบกับวิธี การปรับ pH เป็น 4.5 และการปรับ pH เป็น 7.0

6. <u>การตกตะกอนโปรตีน</u>

โปรตีนตกตะกอนได้ง่าย เมื่อถูกความร้อน กรด ด่าง และสารเคมีอื่นๆ ปกติโปรตีนในสารละลายที่มีน้ำอยู่ด้วย โมเลกุลของโปรตีนจะจับกับโมเลกุลของน้ำได้ดีกว่าจับกับโมเลกุลของโปรตีนด้วยกันเอง ทำให้โปรตีนสามารถละลายได้ ถ้าทำให้โปรตีนจับกับน้ำได้น้อยลงโปรตีนจะตกตะกอน แต่ถ้าใช้วิธีเติมกรดหรือด่าง ให้มีค่า pH เท่ากับ จุดไอโซอิเลคตริกของโปรตีนจะทำให้โปรตีนถูกตกตะกอนเนื่องจากที่จุดนี้โปรตีนจะมีความสามารถในการละลายน้อยที่สุด (Sumner, 1981) โดยโปรตีนไม่เสียสภาพธรรมชาติ ซึ่งการตกตะกอนสามารถทำได้หลายวิธี ดังนี้คือ (บุญยืน, 2522)

6.1 การตกตะกอนโปรตีนโดยใช้ความร้อน ความร้อนจะทำให้โปรตีนทั้งหมดเสียสภาพและตกตะกอนได้

6.2 การตกตะกอนโดยเติมเกลือ (neutral salt) เช่น โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) แมกนีเซียมคลอไรด์ (Mg_2Cl) แมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) แอมโมเนียมซัลเฟต $(NH_4)_2SO_4$) โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) (Kinsella, 1976) โดยการใช้เกลือที่มีความเข้มข้นสูง ๆ จะทำให้โปรตีนตกตะกอนลงมา เรียกวิธีการนี้ว่า salting out effect ซึ่งเกิดจากไอออนของสารละลายเกลือ ดึงโมเลกุลของน้ำออกจากโมเลกุลของโปรตีนทำให้โมเลกุลของโปรตีนมีโอกาสจับกันเองมากขึ้นจึงตกตะกอนลงมา

6.3 การตกตะกอนโดยการเติมโลหะหนักที่มีประจุบวกที่มี pH 7 หรือมากกว่า 7 โมเลกุลของโปรตีนส่วนใหญ่จะมีประจุลบ ส่วนมากโลหะหนักจะมีประจุบวกจะมาจับกับประจุลบของโปรตีน ทำให้โปรตีนตกตะกอนลงมา การตกตะกอนจะเกิดได้ดีที่สภาวะเป็นกลางหรือด่างเล็กน้อย แต่ถ้าเติมโลหะหนักมากเกินไปจะทำให้โปรตีนมีประจุอีกและไม่ตกตะกอน

6.4 การตกตะกอนโปรตีนโดยใช้กรดอนินทรีย์เข้มข้น เช่น กรดเกลือ (HCl) กรดซัลฟุริก (H_2SO_4) กรดไนตริก (HNO_3)

7. <u>คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน</u>

คุณสมบัติเชิงหน้าที่ คือ สมบัติทางกายภาพและเคมีซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติโปรตีนในระบบอาหารในระหว่างกระบวนการแปรรูป การเก็บรักษา การจัดเตรียมเพื่อการบริโภค (Kinsella, 1976)

โปรตีนมีหน้าที่สำคัญมากในอาหาร ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ หน้าที่เป็นสารอาหารและหน้าที่เป็นสารปรุงแต่ง โดยหน้าที่ในการเป็นสารปรุงแต่งจะเกี่ยวข้องกับอาหารโดยตรง เป็นหน้าที่ที่ต้องอาศัยคุณสมบัติของโปรตีนที่เรียกกันว่า คุณสมบัติเชิงหน้าที่ ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 5 ประการดังนี้

7.1 หน้าที่ทางด้านประสาทสัมผัส เช่นสี กลิ่น รส และเนื้อสัมผัส

โปรตีนส่วนใหญ่จะไม่มีกลิ่นรส หรือมี กลิ่นรสเพียงเล็กน้อย แต่เมื่ออยู่ในอาหารจะมีกลิ่นรสแรงขึ้น เนื่องจากได้ทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆ เช่น สาร dicarbonyl สารที่ได้จากการสลายตัวของน้ำตาลจะทำปฏิกิริยากับกรดแอมิโนให้สารอัลดีไฮด์ที่เรียกว่า Strecker aldehyde และในที่สุดจะเปลี่ยนเป็นสาร pyrazines และ pyrroles (Weir, 1986) การที่โปรตีนมีกลิ่นรสที่ดีรวมกับความรู้สึกที่เกิดจากการสัมผัส และลักษณะเนื้อสัมผัสที่เหมาะสม จะทำให้ผู้บริโภคยอมรับ กลิ่นของโปรตีนจะเกิดมากขึ้นในขณะให้ความร้อน มีทั้งสารประกอบกำมะถันและสารประกอบคาร์บอนิล

ส่วนสารให้รสเกิดจากกรดแอมิโนและสารเปปไทด์ รสที่เกิดจากกรดแอมิโนแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ รสหวาน รสขม รสเปรี้ยว กรดแอมิโนที่ให้รสหวานคือ ไกลซีน อะลานีน เซรีน ทรีโอนีน โพรลีน รสขมเกิดจากกรดแอมิโนวาลีน ลูซีน ไอโซลูซีน เมทไทโอนีน รสเปรี้ยวเกิดจากกรดแอมิโนแอสปาติก และกรดกลูตามิก (Weir, 1986)

7.2 หน้าที่ด้านการละลาย การดูดน้ำ การทำให้อาหารกระจายตัว และการพองตัว

โปรตีนมีโมเลกุลขนาดใหญ่ เมื่อใส่ลงในน้ำจะไม่เกิดสารละลาย แต่จะเป็นคอลลอยด์ การละลายน้ำของโปรตีนขึ้นอยู่กับ pH กำลังไอออนิก การเป็นฉนวนของน้ำ อุณหภูมิ คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนมักมีผลมาจากคุณสมบัติด้านการละลายและโดยมากแล้วจะไปมีผลต่อความข้นหนืด การเกิดฟอง การเกิดอิมัลชัน และการเกิดเจล ด้วยคุณลักษณะของโปรตีนนี้จึงนำมาประยุกต์ใช้ในอาหารชนิดต่าง ๆ ความสามารถในการละลายของโปรตีนเป็นสมบัติทางเทอร์โมไดนามิคของความสมดุลระหว่าง ปฏิกิริยาของโปรตีน-โปรตีน และโปรตีน-สารละลาย (Damodaran, 1996) โดยลักษณะทางด้านการละลายของโปรตีนเกิดจากการเสียสภาพของโปรตีนบางส่วนเมื่อผ่านกระบวนการแปรรูป โดยโปรตีนส่วนมากสามารถละลายได้น้อยที่สุดที่จุดไอโซอิเลคตริก (isoelectric point) (ฉรงค์, 2538; Damodaran, 1996) เนื่องจากโมเลกุลของโปรตีนมีประจุรวมเป็นศูนย์ (Wong, 1989)

Khalid *et al*. (2003) ศึกษาผลของ pH และความเข้มข้นของเกลือที่มีต่อความสามารถในการละลายและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของเมล็ดงา พบว่าความสามารถในการละลายของโปรตีนต่ำสุดที่ pH 5.0 และสูงสุดที่ pH 3.0 ด้านความสามารถในการเกิดอิมัลชันและความคงตัวดีพอๆกับความสามารถในการเกิดฟองและความคงตัวในการเกิดฟองซึ่งเป็นผลมาจากระดับ pH และความเข้มข้นของเกลือ โดยการปรับปรุงที่ pH เป็นด่างจะให้ความสามารถในการเกิดอิมัลชันดีกว่าที่ pH เป็นกรด ส่วนความเข้มข้นของเกลือก็พบว่าที่ระดับความเข้มข้น 0.2-1.0 โมลาร์ ที่ pH 5.0 จะเพิ่มความสามารถในการเกิดอิมัลชันได้

Arogundate *et al*. (2004) ได้ทำการทดลองศึกษาถึงผลของการใช้โซเดียมคลอไรด์กับ โพแทสเซียมคลอไรด์ แทนที่การใช้โซเดียมคลอไรด์ ต่อคุณสมบัติการดูดซับน้ำของ *Colocynthis citrullus* L.ซึ่งคือผักชนิดหนึ่งที่เป็นแหล่งของโปรตีน โดย ทำการนำเมล็ดของผักชนิดนี้มาบดละเอียดและสกัดเอาไขมันออกทำให้แห้งและบดให้มีขนาด 50 เมช แล้วนำมาวิเคราะห์ความสามารถในการละลายของโปรตีน ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการเกิดฟอง

และความสามารถในการเกิดเจล พบว่า มีความเป็นไปได้ที่จะใช้โพแทสเซียมคลอไรด์แทนโซเดียมคลอไรด์ในสูตรอาหาร และความสามารถในการละลายของโปรตีนจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของเกลือ ส่วนความสามารถในการอุ้มน้ำมีค่าลดลงเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของเกลือ ด้านความสามารถในการเกิดฟองจะดีขึ้นเมื่อใช้ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ โพแทสเซียมคลอไรด์ ในช่วงโซเดียมคลอไรด์ 0.25-2.0% และโพแทสเซียมคลอไรด์ 0.25-1.75% ส่วนความสามารถในการเกิดเจลอยู่ที่ 14 %

7.3 หน้าที่เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ทำให้เกิดฟอง และทำให้เกิดการดูดซับ

สำหรับการเกิดอิมัลชันพบว่าเกี่ยวข้องกับกรดแอมิโนไม่มีขั้วบนผิวโมเลกุลเท่านั้น ไม่ได้เกี่ยวข้องกับกรดแอมิโนไม่มีขั้วทั้งหมดในโมเลกุล เนื่องจากการเกิดอิมัลชันเป็นผลจาการดูดซับโมเลกุลโปรตีนไว้บนผิวของเม็ดน้ำมัน กรดแอมิโนที่ไม่มีขั้วจะทำให้โปรตีนสามารถเกาะตัวอยู่บนผิวของเม็ดน้ำมันได้ โดยกรดแอมิโนชนิดนี้จะแทรกตัวเข้าไปอยู่บนผิวของเม็ดน้ำมัน และหันส่วนที่มีขั้วออกมาสัมผัสน้ำ ดังนั้นโปรตีนที่มีสัดส่วนของกรดแอมิโนไม่มีขั้วสูงจะทำให้เม็ดน้ำมันดูดซับได้มากอิมัลชันจึงเกิดได้ดี (Pomeranz, 1991) ประสิทธิภาพของการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ดีในแต่ละระบบขึ้นกับลักษณะหลายประการ ได้แก่ ปริมาณอิมัลอิมัลซิไฟเออร์ที่น้อยที่สุดที่สามารถทำให้เกิดอิมัลชันที่คงตัว ความสามารถในการป้องกันไม่ให้หยดของน้ำมันเกิดการเกาะกลุ่มกันเมื่อเวลาผ่านไป ความเร็วในการถูกดูดซับ แรงตึงผิวที่ผิวรอยต่อ และความหนาและความยืดหยุ่นของผิวสัมผัสร่วม คุณสมบัติเหล่านี้ขึ้นกับระบบที่อิมัลซิไฟเออร์ปรากฏอยู่และสภาพแวดล้อมอันได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ความเข้มข้นของไอออน ชนิดของไอออน ชนิดของน้ำมัน อุณหภูมิและการให้แรงทางกลด้วยการกวน (McClements, 1999)

ความสามารถในการเกิดฟองและการทำให้ฟองคงตัวไม่มีความสัมพันธ์กับสัดส่วนของกรดแอมิโนไม่มีขั้วของโปรตีน กล่าวคือความสามารถในการทำให้เกิดฟองของโปรตีนจะสูงขึ้นเมื่อสัดส่วนของกรดแอมิโนไม่มีขั้วมากขึ้น การทำให้โปรตีนเปลี่ยนสภาพโดยใช้ความร้อนจะทำให้อาหารเกิดฟองได้ดีขึ้นถ้าโปรตีนนั้นมีสัดส่วนของกรดแอมิโนไม่มีขั้วสูงมากพอ (Mitchell, 1986) โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดฟองของโปรตีน เช่น แหล่งของโปรตีน วิธีการเตรียมโปรตีน องค์ประกอบของโปรตีน การละลาย ความเข้มข้น pH อุณหภูมิ น้ำตาล และไขมัน (Kinsella, 1976) การดูดซับ โปรตีนมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำหรือน้ำมันได้ การดูดซับเป็นปรากฏการณ์ที่สารชนิดหนึ่งไปสะสมอยู่ที่ผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง หรือสะสมอยู่ระหว่างหน้าสัมผัสของสาร 2 ชนิด สารที่ถูกดูดซับจะเรียกว่า “ adsorbate ” และสารที่ทำหน้าที่ดูดซับเรียกว่า “ adsorbent ” แต่ถ้า

อะตอมหรือโมเลกุลของสารชนิดหนึ่งกระจายเข้าไปในเนื้อของสารอีกชนิดหนึ่งเรียกว่า “ การดูดซึม ” และเรียกของผสมที่ได้ว่าสารละลาย (Weiser, 1946)

Were *et al*. (1997) ทดลองปรับปรุงคุณสมบัติความสามารถในการเกิดฟองของโปรตีนถั่วเหลืองโดยใช้ด่างที่ pH 10.0 และเอนไซม์ปาเปน (papain-modified soy protein : PMSP) พบว่าความสามารถในการเกิดฟองของ PMSP ดีที่สุด ซึ่งใกล้เคียงกับไข่ขาวที่ pH 7.0 และความคงตัวของการเกิดฟองของ PMSP มีความคงตัวมากว่าโปรตีนถั่วเหลืองที่ยังไม่ได้ผ่านการปรับปรุงแต่น้อยกว่าไข่ขาว ส่วนโปรตีนถั่วเหลืองที่ใช้ด่างจะให้ความคงตัวต่ำที่สุด

7.4 หน้าที่การทำให้เกิดการเปลี่ยนรูป

เช่น การเกิดเจล เจลประกอบไปด้วยโมเลกุลหลายโมเลกลุเกิดการเชื่อมกันระหว่างพันธะโควาเลนท์หรือที่ไม่ใช่พันธะโควาเลนท์จับกันเป็นโครงสร้าง 3 มิติ ที่สามารถอุ้มน้ำและกักเก็บส่วนผสมอื่น ๆ ไว้ได้ (Damodaran, 1996) อาหารที่จะเกิดเจลต้องได้รับความร้อนก่อน ความร้อนจะทำให้โมเลกุลโปรตีนเปลี่ยนสภาพ โดยการเปลี่ยนสภาพของโปรตีนแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือในระยะแรกโมเลกุลโปรตีนยืดตัวออกโดยพันธะที่เคยมีอยู่ในธรรมชาติแตกออกบางส่วน ต่อมาโมเลกุลเหล่านั้นจะเข้ามามีพันธะกันโดยจับตัวกันใน 3 ทิศทางเมื่อสภาพแวดล้อมเหมาะสม (ณรงค์, 2538) การเกิดเจลของรูปแบบโปรตีนมี 2 ชนิดคือ เจลที่มีลักษณะทึบแสง (coagulum gels) และเจลที่มีลักษณะโปร่งแสง (transparent gels) ชนิดของเจลขึ้นกับอิทธิพลขององค์ประกอบของกรดแอมิโนตลอดจนสภาวะของสารละลาย เช่น pH และกำลังไอออน รวมถึงบทบาททางหน้าที่ของโปรตีนด้วย โปรตีนที่มีกรดแอมิโนกลุ่มไม่มีขั้วในปริมาณสูงจะทำให้เจลมีลักษณะหนาทึบ ขณะที่โปรตีนที่มีกรดแอมิโนกลุ่มที่ไม่ชอบน้ำในปริมาณสูงจะให้เจลลักษณะโปร่งแสง (Shimada and Matsushita, 1980)

Barbut (1995) ศึกษาผลของการใช้ระดับของโซเดียมตั้งแต่ 25-500 mM ที่ pH 7.0 ที่มีผลต่อสมบัติการเกิดเจลของเวย์โปรตีนไอโซเลท (whey protein isolate) จากการทดลองพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมต่ำ ๆ เจลที่ได้จะเป็นเจลใส ซึ่งประกอบด้วยสายโปรตีนที่ละเอียดสานกัน และจะให้ความสามารถในการอุ้มน้ำที่ดี เมื่อระดับความเข้มข้นของโซเดียมเพิ่มขึ้นความใสของเจลจะค่อย ๆ ลดลงที่ระดับความเข้มข้นมากกว่า 200 mM จะเกิดการตกตะกอนของเวย์โปรตีน เจลที่ได้จะมีความขุ่นและทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำไม่ดี เมื่อทำการส่องกล้องจุลทรรศน์แบบ SEM และ TEM พบว่าเจลที่ใช้ระดับความเข้มข้นของโซเดียม 500 mM ให้ลักษณะ

โครงสร้างเจลที่คล้ายกับการใช้แคลเซียมที่ระดับความเข้มข้นต่ำ 25 mM รูปแบบการตกตะกอนของเวย์โปรตีนจะสัมพันธ์กันกับการลดลงอย่างมีนัยสำคัญของความสามารถในการอุ้มน้ำและความแข็งแรงของเจล ซึ่งชี้ให้เห็นว่าโครงสร้างเจลที่ละเอียดจะสามารถกักเก็บความชื้นไว้ได้ดีกว่าโครงสร้างที่เกิดการตกตะกอน

Oshodi and Ojokan (1997) ได้ทำการศึกษาถึงผลของเกลือ NaCl, Na_2SO_4, และ CH_3CO_2Na ที่มีต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนน้ำเลือดวัวเข้มข้น (bovine plasma protein concentrate) พบว่าความสามารถในการเกิดเจลน้อยสุดอยู่ที่ความเข้มข้นของโปรตีน 6% เมื่อใช้น้ำกลั่นประเภทที่มีการกำจัดไอออนออกแล้ว (deionized distilled water) แต่เมื่อการปรับปรุงโดยใช้เกลือทำให้คุณสมบัติในการเกิดเจลดีขึ้น โดยใช้ความเข้มข้นโปรตีนต่ำสุดในการเกิดเจลอยู่ที่ 2% และ 4% จากผลที่ได้นี้ทำให้มีการประยุกต์ใช้น้ำเลือดวัวเข้มข้นในหลากหลายผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ผลิตภัณฑ์ไส้กรอก และในกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ต้องการให้เพิ่มความแข็งแรงของเจล

7.5 หน้าที่ด้านอื่น ๆ

เช่นการเป็นเอนไซม์ การเป็นสารยึดติด (adhesive) สารเกาะติด (cohesive) การทำให้เกิดเส้นใยและฟิล์ม (film and fiber making) เป็นต้น

โดยเอนไซม์คือกลุ่มโปรตีนที่มีหน้าที่พิเศษแตกต่างจากโปรตีน และมหชีวโมเลกุลทั่วไป กล่าวคือ มีความสามารถเร่งปฏิกิริยาในสิ่งมีชีวิตได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงกว่าตัวเร่งสังเคราะห์เป็นหลายล้านเท่า เอนไซม์มีความจำเพาะต่อสารที่ทำปฏิกิริยาซึ่งเรียกว่า สารตั้งต้น (substrate) และสามารถเร่งปฏิกิริยาโดยไม่ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์อื่น ตลอดทั้งเอนไซม์จะเพิ่มอัตราเร็วของปฏิกิริยาโดยลดพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาได้ ปัจจุบันได้มีการนำเอนไซม์มาใช้ในผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอาหารมากขึ้น เช่น ลดสารขมในน้ำผลไม้ เปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลสำหรับหมัก ลดความหนืดของแป้ง และช่วยในการสกัดสารต่าง ๆ (ปราณี, 2543)

Chan and Ma (1999) ทำการปรับปรุงกากที่เหลือจากอุตสาหกรรมนมถั่วเหลืองหรือที่เรียกว่า โอการะ มาทำเป็นโปรตีนโอการะไอโซเลทและทำการย่อยสลายด้วยน้ำ (hydrolyze) โดยใช้เอนไซม์ทริปซินประมาณ 3-5% ในการทดลองพบว่าช่วยให้การละลายเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ความสามารถในการดูดซับน้ำและความสามารถในการเกิดอิมัลชันดีขึ้น นอกจากนี้โปรตีนโอการะมีคุณสมบัติเป็นแหล่งของกรดแอมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายและให้ปริมาณไลซีนเพิ่มขึ้น โปรตีนโอ

การะไฮโดรไลเซทที่ได้ช่วยปรับปรุงสมบัติด้านการละลายและสมบัติเชิงหน้าที่ด้านอื่นๆ ทำให้สามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสมของโปรตีนที่มีราคาถูกในกระบวนการผลิตอาหารต่าง ๆ ได้

Tang *et al*. (2005) ได้ทำการศึกษาผลของการใช้ transglutaminase ที่มีผลต่อคุณสมบัติของฟิล์มโปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลที่ขึ้นรูปพร้อมกับพลาสติไซเซอร์ 0.6% (กลีเซอรอล, ซอร์บิทอล) ต่อโปรตีน และการผสมกันในอัตราส่วน 1:1 ของกลีเซอรอลและซอร์บิทอล พบว่าการใช้ transglutaminase จะช่วยเพิ่มคุณสมบัติแรงดึง (tensile strength) และพื้นที่ผิวส่วนที่ไม่ชอบน้ำ โดยเพิ่ม 10-20% และ 17-56% ตามลำดับ ในขณะเดียวกันก็ทำให้ค่าการยืดตัว (elongation) ค่าความชื้น (moisture content) และความโปร่งแสง (transparency) ลดลง แต่ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission) นั้นไม่มีผลจากการใช้เอนไซม์

8. <u>การใช้ประโยชน์ของผลิตภัณฑ์โปรตีนในผลิตภัณฑ์อาหาร</u>

การประยุกต์ใช้คุณสมบัติเชิงหน้าที่ต่าง ๆ ของโปรตีนในผลิตภัณฑ์อาหารซึ่งแสดงถึงวิธีการทำงานและการนำไปใช้กับอาหารที่เกี่ยวข้อง (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนในอาหาร

สมบัติเชิงหน้าที่	วิธีการทำงาน	อาหารที่เกี่ยวข้อง
การละลาย	ทำให้อาหารละลายน้ำ ขึ้นอยู่กับ pH	เครื่องดื่ม
การดูดซับน้ำและการจับตัวกับน้ำ	เกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ เก็บกักน้ำ	เนื้อสัตว์ ไส้กรอก ขนมปัง ปอนด์ ขนมเค้ก
การเพิ่มความหนืด	ทำให้อาหารข้นมากขึ้น จับน้ำไว้	ซุป น้ำเกรวี่
การเกิดเจล	ทำให้เกิดพื้นเนื้อโปรตีนและแข็งตัว	เนื้อสัตว์ เต้าหู้อ่อน เนยแข็ง
การเกาะตัว-การเกาะติด	ทำหน้าที่เหมือนกาว	เนื้อสัตว์ ไส้กรอก ขนมอบ
การเพิ่มความหยุ่น	เกิดพันธะไฮโดรเจนในกลูเตน และพันธะแบบไดซัลไฟด์	เนื้อสัตว์ ขนมอบ
การเกิดอิมัลชัน	ทำให้ไขมันกระจายตัวในอิมัลชัน	ไส้กรอก ซุป เค้ก
การดูดซับไขมัน	เกาะตัวกับน้ำมัน	เนื้อสัตว์ ไส้กรอก โดนัท
การเกาะตัวกับสารให้กลิ่น	เกิดการดูดซับ เก็บกักกลิ่น	ชิ้นเนื้อเทียม ขนมอบ
การเกิดฟอง	ทำให้เกิดฟิล์มรอบ ๆ ฟองอากาศ	แอลเจลเค้ก

ที่มา: Pomeranz (1991)

วรรณวิบูลย์ (2527) ทำการทดลองผสมโปรตีนถั่วเหลืองในรูปของแป้งถั่วเหลืองและโปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลทลงในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสาน ไส้กรอกเวียนนาและกุนเชียง พบว่าไส้กรอกอีสานควรใช้โปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลทผสมแทนเนื้อสัตว์ในปริมาณต่ำและไม่ควรผสมเกิน 10% ส่วนไส้กรอกเวียนนาสามารถใช้โปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลทในปริมาณ 16-20% และกุนเชียงสามารถใช้โปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลทแทนเนื้อสัตว์ได้ถึง 30%

Papavergou *et al*. (1999) ได้ทำการทดลองใช้โปรตีนไอโซเลทจากเมล็ด lupin ทั้งชนิดหวาน และขม ใส่ลงในไส้กรอกหมักเป็นจำนวน 2% และ มีอัตราส่วนโปรตีนต่อน้ำเป็น 1 ต่อ 4 เพื่อแทนที่เนื้อวัวและเนื้อหมู พบว่าไม่มีความแตกต่างในด้านลักษณะปรากฏ และสีของไส้กรอก แต่จะมีความแตกต่างกันในด้านของกลิ่นและรสชาติ ซึ่งไส้กรอกหมักที่ใส่แป้งของเมล็ด lupin จะไม่ค่อยได้รับการยอมรับเนื่องจากว่ามีรสชาติขม และมีกลิ่นหืน ตรงกันข้ามกับไส้กรอกหมักที่ใส่โปรตีนไอโซเลทจะได้คะแนนการยอมรับใกล้เคียงกับไส้กรอกหมักทั่ว ๆ ไป

Drake *et al*. (2000) ได้ทำการศึกษาถึงการเสริมโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้นลงในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตไขมันต่ำ ในด้านเคมี ด้านประสาทสัมผัสและด้านจุลชีววิทยา โดยมีการเติมโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้นที่ระดับ 1%, 2.5% และ 5% ซึ่งทำการตรวจสอบการเก็บรักษาเป็นเวลา 1 เดือน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่าการเติมโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้นเพื่อทดแทนโปรตีนจากนมผงปราศจากไขมันไม่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติด้านจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ ระยะเวลาการหมัก และเปอร์เซ็นต์กรดแลกติก ในด้านประสาทสัมผัสพบว่าความข้นหนืด กลิ่นและรสของถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มปริมาณโปรตีน แต่กลิ่นและรสของถั่วเหลืองไม่ได้เพิ่มตามระยะเวลาการเก็บรักษา โยเกิร์ตที่มีการเติมโปรตีนถั่วเหลืองเข้มที่ระดับ 1 หรือ 2.5 % นั้นมีความใกล้เคียงกับโยเกิร์ตที่ใช้นมผงเป็นส่วนประกอบ

น้ำทิพย์ (2547) ได้นำผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวมาใช้ในผลิตภัณฑ์มายองเนส โดยใส่โปรตีนลงในส่วนผสมที่ระดับความเข้มข้น 0.5%, 1.0%, 1.5% และ 2.0% ของน้ำหนักสูตร พบว่าค่าความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์โปรตีน และยังสามารถทำให้ความคงตัวของการเป็นอิมัลชันของผลิตภัณฑ์มายองเนสดีขึ้นด้วย นอกจากนี้ได้มีการนำผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวไปใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำนมข้าว พบว่าสามารถแทนผลิตภัณฑ์โปรตีนจากถั่วเหลืองได้ 100% โดยได้คะแนนการยอมรับรวมสูงถึง 54.2% ถึง 59.2%

พงศ์สันต์ (2548) ได้ทำการพัฒนาโปรตีนถั่วเขียวสำหรับใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ในผลิตภัณฑ์น้ำสลัด โดยความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมสำหรับปรับตะกอนโปรตีนถั่วเขียวก่อนการทำแห้งคือที่ pH 7.0 และทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิลมร้อน 55 องศาเซลเซียส เวลา 8 ชั่วโมง ได้โปรตีนถั่วเขียวเข้มข้นที่มีปริมาณโปรตีน 87.02% เมื่อนำมาใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์จะใช้โปรตีนถั่วเขียว 2% ในสูตรน้ำสลัดแทนไข่แดง พบว่าผู้บริโภคชอบน้ำสลัดสูตรโปรตีนถั่วเขียวในระดับเล็กน้อยถึงปานกลางและการให้ข้อมูลเกี่ยวกับประโยชน์ของผลิตภัณฑ์จะทำให้ผู้บริโภคยอมรับและตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์มากขึ้น

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

ถั่วเขียวผ่าซีกกะเทาะเปลือก ตราไร่ทิพย์ (บริษัท ไทยซีเรียลส์เวิลส์ จำกัด)

2. สารเคมี

2.1 สารเคมีที่ใช้ในการสกัดโปรตีน
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (Merck, ประเทศเยอรมนี)
กรดไฮโดรคลอริก (HCl) (Merck, ประเทศเยอรมนี)

2.2 สารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนโปรตีน
กรดไฮโดรคลอริก (HCl) (Merck, ประเทศเยอรมนี)
โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) (Merck, ประเทศเยอรมนี)
โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) (Merck, ประเทศเยอรมนี)
แอมโมเนียมมคลอไรด์ (NH_4Cl) (Merck, ประเทศเยอรมนี)

2.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์โปรตีน
กรดซัลฟูริกเข้มข้น (H_2SO_4) (Merck, ประเทศเยอรมนี)
กรดไฮโดรคลอริก (HCl) (Merck, ประเทศเยอรมนี)
กรดบอริก (H_3BO_3) (Merck, ประเทศเยอรมนี)
คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$ $5H_2O$) (Merck, ประเทศเยอรมนี)
โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) (Merck, ประเทศเยอรมนี)
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (Merck, ประเทศเยอรมนี)

3. อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.1 เครื่องกวนขนาดห้องปฏิบัติการ (Overhead Stirrer: IKA)

3.2 เครื่องหมุนเหวี่ยงควบคุมอุณหภูมิต่ำ (Refrigerated Centrifuge: Sorvall RC 28 USA)

3.3 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Niro Atomizing Spray Dryer)

3.4 เครื่องโฮโมจิไนเซอร์ (Homogenizer: Ultra-Turrax T25)

3.5 เครื่องวัดความเป็นกรดเป็นด่าง (pH-meter: Jenco)

3.6 เครื่องวิเคราะห์โปรตีน (Micro-Kjeldahl : Buchi)

3.7 เครื่องวิเคราะห์ไขมัน (Soxtec apparatus : Soxtec system HT 1043 Extraction unit)

3.8 เตาเผา (Muffle-furnance : Gallenkamp)

3.9 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven : Memmert)

3.10. เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (Balance : Ohaus TP 4000)

3.11 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Analytical :SCALTEC SPB31)

3.12 โถดูดความชื้น (Desiccator)

3.13 โถปั่นผสม (Waring Blender)

3.14 อุปกรณ์เครื่องแก้วต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์

วิธีการ

1. การผลิตผลิตภัณฑ์โปรตีนจากถั่วเขียว

ทำการผลิตผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียว โดยการนำถั่วเขียวผ่าซีกกะเทาะเปลือกชั่งน้ำหนัก มาล้างน้ำทำความสะอาดและแช่น้ำไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง นำถั่วที่ผ่านการแช่แล้วมาเติมน้ำกลั่นปั่นที่ความเร็วสูงสุดเป็นเวลา 5 นาที และเติมน้ำกลั่นเพิ่มอีก 850 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปกวนตลอดเวลาด้วยเครื่องกวนขนาดห้องปฏิบัติการที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 6 นาที แล้วกรองด้วยผ้าขาวบางได้สารละลายโปรตีน ตั้งสารละลายโปรตีนถั่วเขียวไว้ 3 ชั่วโมงเพื่อให้สตาร์ชตกตะกอน นำส่วนใสที่ได้ไปปรับ pH เป็น 4.5 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และนำไปเหวี่ยงแยกตะกอนที่ความเร็ว 3,781 x g เป็นเวลา 10 นาที ตะกอนที่ได้นำไปละลายในน้ำกลั่นและปรับ pH เป็น 7.0 นำสารละลายโปรตีนที่ปรับ pH เป็น 7.0 แล้วไปทำให้แห้ง ด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิลมร้อนเข้า 190 $\pm$ 5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิลมร้อนออก 90 $\pm$ 5 องศาเซลเซียส จะได้ผลิตภัณฑ์โปรตีนจากถั่วเขียว (ดัดแปลงจากสมชาย, 2528 และน้ำทิพย์, 2547)

1.1 ศึกษาผลของระดับ pH ในขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์โปรตีนจากถั่วเขียว

นำสารละลายโปรตีนถั่วเขียวที่ผ่านการตกตะกอนของสตาร์ชออกแล้วมาผันแปรระดับpHเป็น 5 ระดับ คือ 8.0, 8.5, 9.0, 9.5 และ 10.0 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำการสกัดเป็นเวลานาน 30, 45, 60 และ 90 นาที โดยมีการกวนตลอดเวลา เหวี่ยงแยกสารละลายด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงแยกตะกอนที่ความเร็ว 3,781 x g ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที และตกตะกอนด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่จุดไอโซอิเลคตริก pH เป็น 4.5 และเหวี่ยงแยกตะกอนโปรตีนนำตะกอนไปละลายน้ำและปรับ pH เป็น 7.0 และนำไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิลมร้อนเข้า 190 $\pm$ 5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิขาออก 90 $\pm$ 5 นำผงโปรตีนที่ได้ไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีตามวิธีการข้อ 2 และทดสอบคุณภาพตามวิธีการข้อ 3

1.2 ศึกษาผลของเกลือในการตกตะกอนโปรตีน

นำสารละลายโปรตีนถั่วเขียวมาเติมเกลือชนิดต่างๆ เช่น โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) ที่ระดับความเข้มข้น 0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.4% และ 0.5% ของสารละลายโปรตีน ร่วมกับการใช้กรดไฮโดรคลอริกในการตกตะกอน

ที่ pH 4.5 และเหวี่ยงแยกตะกอน นำตะกอนที่ได้มาละลายน้ำกลั่นปรับ pH เป็น 7.0 แล้วไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย นำผงโปรตีนที่ได้ไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีตามวิธีการข้อ 2 และทดสอบคุณภาพตามวิธีการข้อ 3

2. <u>วิเคราะห์สมบัติทางเคมีของวัตถุดิบ และผลิตภัณฑ์โปรตีนจากถั่วเขียวและปริมาณการผลิต</u>

2.1 วิเคราะห์ปริมาณความชื้นโดยการอบด้วย Hot air oven ตามวิธีของ AOAC. (2000) ดังแสดงในภาคผนวก ก

2.2 วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยหาปริมาณไนโตรเจนด้วยเครื่อง Micro-Kjeldahl ตามวิธีของ AOAC (2000) ดังแสดงในภาคผนวก ก

2.3 วิเคราะห์ปริมาณไขมันโดยการสกัดด้วยเครื่อง soxtec ตามวิธีของ AOAC (2000) ดังแสดงในภาคผนวก ก

2.4 วิเคราะห์ปริมาณเถ้าโดยการเผาใน muffle-furnance ตามวิธีของ AOAC (2000) ดังแสดงในภาคผนวก ก

2.5 วิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตได้จากการคำนวณโดยการนำผลบวกขององค์ประกอบอื่นที่วิเคราะห์ได้ในข้อ 2.1.-2.4 หักออกจากค่า 100 ดังแสดงในภาคผนวก ก

3. <u>ศึกษาคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของผลิตภัณฑ์โปรตีน</u>

3.1 สมบัติด้านการละลายโดยทดสอบการละลายของสารประกอบไนโตรเจน (nitrogen solubility) ตามวิธีการของ Chavan *et al*. (2001) ดังแสดงในภาคผนวก ข

3.2 สมบัติการเกิดอิมัลชันและความคงตัวของอิมัลชัน (emulsion activity and sability) ทดสอบการเกิดอิมัลชันของผงโปรตีน โดยรายงานเป็นค่า emulsion activity และ emulsion stability ซึ่งดัดแปลงจากวิธีการของ Mutilangi *et al*. (1996) ดังแสดงในภาคผนวก ข

3.3 สมบัติด้านการเกิดฟองและความคงตัว (foamability and foam stability) ทดสอบความสามารถในการเกิดฟองของผงโปรตีน โดยรายงานเป็นค่า foaming activity และ foaming stability ดัดแปลงตามวิธีการของ Liceaga-Gesualdo and Li-Chan (1999) ดังแสดงในภาคผนวก ข

3.4 ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (oil absorption capacity) ทดสอบความสามารถในการดูดซับน้ำมัน โดยรายงานค่าเป็นกรัมต่อกรัมของผงโปรตีน ดัดแปลงตามวิธีการของ Sosulski (1976) ดังแสดงในภาคผนวก ข

3.5 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) ทดสอบความสามารถในการอุ้มน้ำของผงโปรตีน โดยรายงานค่าเป็นกรัมต่อกรัมของผงโปรตีน ดัดแปลงตามวิธีการของ Quinn and Paton (1979) ดังแสดงในภาคผนวก ข

3.6 ความสามารถในการเกิดเจล (gelation) ทดสอบความสามารถในการเกิดเจลของผงโปรตีน โดยรายงานค่าการเกิดเจลที่ % น้อยที่สุดของปริมาณโปรตีนที่สามารถเกิดเจลได้ ตามวิธีการของ Coffman and Garcia (1977) ดังแสดงในภาคผนวก ข

4. <u>การวิเคราะห์ทางสถิติ</u>

4.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

4.2 การตรวจสอบคุณสมบัติเชิงหน้าที่ ได้แก่ สมบัติการละลาย ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน สมบัติด้านการเกิดฟองและความคงตัว สมบัติด้านการเกิดอิมัลชันและความคงตัวของอิมัลชัน ความสามารถในการเกิดเจล ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

วางแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial Completely Random Design) วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ Duncan multiple range test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 12.00 และรายงานความแตกต่างจากค่ากลางที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการส่วนกลาง ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพมหานคร

อาคารแปรรูป คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพมหานคร

ระยะเวลาการทำวิจัย

การทดลองเริ่มเดือนพฤษภาคม 2546 และสิ้นสุดเมื่อเดือนมิถุนายน 2548

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์โปรตีน

1.1 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

ถั่วเขียวที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นถั่วเขียวกะเทาะเปลือกผ่าซีกที่จำหน่ายตามท้องตลาด เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของถั่วเขียวผ่าซีกกะเทาะเปลือก ซึ่งได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีของถั่วเขียวกะเทาะเปลือกผ่าซีก

องค์ประกอบทางเคมี*	ปริมาณ (% น้ำหนักแห้ง)**
ความชื้น	8.96 ± 0.02
โปรตีน	27.75 ± 0.42
ไขมัน	0.60 ± 0.02
เถ้า	3.31 ± 0.29
คาร์โบไฮเดรต	68.34 ± 0.69

หมายเหตุ *ค่าเฉลี่ย ± SD คิดเป็น % โดยน้ำหนักแห้งยกเว้นความชื้นคิดเป็น % โดยน้ำหนักเปียก

** ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

จากตารางที่ 5 พบว่าองค์ประกอบทางเคมีหลักของถั่วเขียวคือ คาร์โบไฮเดรตซึ่งมีปริมาณ68.34% โดยรวมถึงสตาร์ช น้ำตาล และเส้นใยที่ละลายน้ำได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Coffmann and Garcia (1977) ที่รายงานว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตของถั่วเขียวมี 64.9% และมีปริมาณเส้นใย 3.5 % คาร์โบไฮเดรตในถั่วเขียวสามารถแยกได้เป็น น้ำตาลและพอลิแซกคาไรด์โดยจะมีปริมาณแตกต่างกันขึ้นกับสายพันธุ์ สภาวะการเพาะปลูก และบริเวณที่อยู่ในเมล็ด (Adsule, *et al*., 1970) ปกติทั่วไปแล้วพืชตระกูลถั่วที่สามารถบริโภคได้จะมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตอยู่ประมาณ 57.0 -65.0% ไม่ได้รวมเส้นใย (Bressani and Elias, 1974) ส่วนปริมาณโปรตีนโดยน้ำหนักแห้งของถั่ว

เขียวมีปริมาณ 27.75% โปรตีนมักจะอยู่ที่บริเวณใบเลี้ยง (cotyledon) ตรงกลางบริเวณต้นอ่อน (embryonic exis) ของเมล็ดถั่ว และบริเวณเปลือกหุ้มเมล็ด (seed coat) เพียงเล็กน้อย ผลที่ได้ใกล้เคียงกับงานวิจัยของน้ำทิพย์ (2547) ที่รายงานว่ามีปริมาณโปรตีน 25.49% โดยน้ำหนักแห้งถือว่าถั่วเขียวมีปริมาณโปรตีนที่สูงพอที่จะใช้เป็นแหล่งของโปรตีนได้ และสามารถนำมาใช้ทดแทนโปรตีนจากถั่วเหลืองได้ โดยถั่วเหลืองมีปริมาณโปรตีน 32-46% (Haard, 1996) ด้านปริมาณไขมันพบว่ามีเพียง 0.6% นั้นเพราะโดยส่วนใหญ่แล้วปริมาณไขมันในพืชตระกูลถั่วจะมีปริมาณน้อยอยู่แล้ว Sathe (1996) รายงานว่าไขมันในถั่วเขียวจะเป็นกรดไขมัน(fatty acids) ซึ่งมีกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acids) อยู่มากที่สุดของปริมาณคือประมาณ 72% ของไขมันทั้งหมด และกรดไขมันอิ่มตัวประมาณ 27% ของไขมันทั้งหมด ปริมาณไขมันจะมีการผันแปรตั้งแต่ 1-6 % ขึ้นกับสายพันธุ์และผลที่ได้ก็ใกล้เคียงกับผลการทดลองของ (Coffmann and Garcia, 1977)

1.2 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่pHและเวลาต่างๆ

จากการทดลองนำผลิตผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวที่สภาวะการผลิตแตกต่างกันคือการนำสารละลายโปรตีนมาสกัดด้วย pH 4.5 ผลที่ได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์โปรตีนในการสกัดที่ pH 4.5

องค์ประกอบทางเคมี*	ปริมาณ (%)**
ความชื้น	3.99 ± 0.37
โปรตีน	80.49 ± 0.25
ไขมัน	0.24 ± 0.04
เถ้า	3.91 ± 0.18
คาร์โบไฮเดรต	15.36 ± 0.19

หมายเหตุ *ค่าเฉลี่ย ± SD คิดเป็น % โดยน้ำหนักแห้งยกเว้นความชื้นคิดเป็น % โดยน้ำหนักเปียก

** ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

คือการนำสารละลายส่วนใสไปตกตะกอนที่ pH 4.5 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกและเหวี่ยงแยกตะกอนโปรตีนนำตะกอนไปละลายน้ำและปรับ pH เป็น 7.0 จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าผลิตภัณฑ์โปรตีนที่ได้มีปริมาณโปรตีน 80.49% โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับสูงพอที่จะนำมาใช้ทำผลิตภัณฑ์โปรตีนเข้มข้น ที่มีการนิยามว่าผลิตภัณฑ์โปรตีนที่มีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วง 65-90% จะจัดเป็นผลิตภัณฑ์โปรตีนเข้มข้น ส่วนผลิตภัณฑ์โปรตีนไอโซเลทจะต้องมีปริมาณโปรตีนมากกว่าหรือเท่ากับ 90% (Rakosky, 1989) และ pH 4.5 นี้ Anderson *et al*. (1973) รายงานว่าเป็นการตกตะกอนของโปรตีน 2S และ 7S ของโปรตีนถั่วเหลือง

และเมื่อทำการปรับ pH ในการสกัดสารละลายโปรตีนถั่วเขียวโดยการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ให้มี pH 8.0, 8.5, 9.0, 9.5 และ 10.0 ที่ระยะเวลาในการสกัดนาน 30, 45, 60 และ90 นาที จากนั้นตกตะกอนที่ pH 4.5 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกและเหวี่ยงแยกตะกอนโปรตีน นำตะกอนที่ได้ไปละลายน้ำและปรับ pH เป็น 7.0 และทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยเช่นกัน เมื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีได้ผลดังตารางที่ 7 พบว่าผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวที่ได้มีลักษณะทั่วไปมีสีเหลืองนวลเป็นผงขนาดเล็ก โดยการผลิตผลิตภัณฑ์โปรตีนที่สภาวะการสกัดที่ pH 9.5 ให้ปริมาณโปรตีนสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการสกัดที่ pH อื่น ๆ ซึ่งมีค่า 86.34% โดยน้ำหนักแห้ง ส่วนเวลาในการสกัดให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) pH ในการสกัดที่ให้ปริมาณโปรตีนรองลงมาคือ pH 9.0 และ 10.0 ส่วนที่ pH 8.5 และ 8.0 นั้นให้ปริมาณโปรตีนน้อยสุดอยู่ที่ประมาณ 81-82% โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งถือว่ามากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ที่ pH 4.5 ผลที่ได้สอดคล้องกับการทดลองของน้ำทิพย์ (2547) การที่สภาวะการสกัดที่ pH 9.5 ให้ปริมาณโปรตีนสูงที่สุด อาจเนื่องจากสภาวะด่างทำให้องค์ประกอบส่วนมากที่เป็นโปรตีนสามารถละลายได้ (Zayas, 1997) และด่างไปทำลายพันธะไดซัลไฟด์และพันธะที่มีระหว่างโปรตีนที่ทำให้โปรตีนที่มีการเกาะกลุ่มกันอย่างแข็งแรงละลายออกมา ทำให้ความสามารถในการสกัดโปรตีนเพิ่มขึ้น (Hamada, 1997) แต่ถ้าสภาวะ pH ในการสกัดที่สูงเกินไปก็จะทำให้เกิดการคลายเกลียวของโมเลกุลโปรตีน ทำให้โปรตีนเสียสภาพได้ แต่การเสียสภาพจากการเหนี่ยวนำของ pH โดยมากมักจะผันกลับได้ (Damodaran,1996) องค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ที่ทำการวิเคราะห์ ความชื้นอยู่ที่ประมาณ 3-4% ไขมันให้ผลไม่แตกต่างกัน และคาร์โบไฮเดรตมีปริมาณสูงรองลงมาจากปริมาณโปรตีนเนื่องจากถั่วเขียวมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก

ตารางที่ 7 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่ pH และเวลาต่าง ๆ

องค์ประกอบทางเคมี*	pH	ระยะเวลาในการสกัด (นาที)				
		30	45	60	90	F**^{ns}
ความชื้น	8.0	3.39	3.88	4.41	4.23	
	8.5	3.96	4.00	4.52	4.47	
	9.0	3.80	4.50	4.17	4.66	
	9.5	3.73	4.43	4.31	4.21	
	10.0	3.89	4.41	4.61	4.55	
	F**	a	a	a	b	
โปรตีน		30	45	60	90	F**
	8.0	80.01	81.35	81.42	81.50	c
	8.5	81.08	82.26	82.22	82.44	c
	9.0	83.26	84.38	84.41	84.28	b
	9.5	84.58	86.28	86.14	86.34	a
	10.0	83.31	84.16	84.06	84.02	b
	F**^{ns}					
ไขมัน^{ns}		30	45	60	90	F**
	8.0	0.28	0.27	0.27	0.28	
	8.5	0.25	0.28	0.26	0.26	
	9.0	0.27	0.28	0.27	0.28	
	9.5	0.26	0.26	028	0.27	
	10.0	0.25	0.24	0.23	0.28	
	F**					
เถ้า^{ns}		30	45	60	90	F**
	8.0	4.26	4.20	4.55	4.39	
	8.5	4.62	4.56	4.39	4.62	
	9.0	4.55	4.68	4.23	4.53	

ตารางที่ 7 (ต่อ)

องค์ประกอบทางเคมี*	pH	ระยะเวลาในการสกัด (นาที)				
		30	45	60	90	F**
เถ้า[ns]	9.5	4.26	4.71	4.67	4.25	
	10.0	4.43	4.53	4.29	4.34	
	F**					
		30	45	60	90	F**
คาร์โบไฮเดรต	8.5	14.05	12.89	13.19	12.79	a
	9.0	11.93	11.65	11.08	10.92	b
	9.5	10.89	8.73	8.91	9.12	c
	10.0	12.00	11.06	11.42	11.39	b
	F**	a	ab	ab	c	

หมายเหตุ * ค่าเฉลี่ยคิดเป็น % โดยน้ำหนักแห้งยกเว้นความชื้นคิดเป็น % โดยน้ำหนักเปียก และจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

** a,b,c.. ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งและแนวนอนของแต่ละองค์ประกอบทางเคมีแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

[ns] หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแนวตั้งและแนวนอนของแต่ละองค์ประกอบทางเคมีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

1.3 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

สารตกตะกอนที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นเกลือที่มีประจุบวกหนึ่ง (monovalent ion) ได้แก่ โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) เปรียบเทียบกับการใช้กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ในการตกตะกอน จากการทดลองใช้กรดไฮโดรคลอริก ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีดัง ตารางที่ 8 การใช้กรดไฮโดรคลอริกในการตกตะกอนจะทำตกตะกอนโปรตีนที่ pH 4.5 ซึ่งได้ปริมาณโปรตีน 83.33% โดยน้ำหนักแห้ง

ตารางที่ 8 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้กรดไฮโดรคลอริกในการตกตะกอน

องค์ประกอบทางเคมี*	ปริมาณ (%)**
ความชื้น	6.28 ± 0.05
โปรตีน	83.33 ± 0.06
ไขมัน	0.32 ± 0.00
เถ้า	4.28 ± 0.51
คาร์โบไฮเดรต	12.07 ± 0.45

หมายเหตุ *ค่าเฉลี่ย± SD คิดเป็น % โดยน้ำหนักแห้งยกเว้นความชื้นคิดเป็น % โดยน้ำหนักเปียก

** ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ 3ซ้ำ

ส่วนการใช้สารตกตะกอนชนิดต่างๆ ทั้ง 3 ชนิด นั้นจะทำการตกตะกอนโดยการใช้ความเข้มข้นของสารตกตะกอนอยู่ที่ระดับ 0.1-0.5% ผลที่ได้ดังตารางที่ 9 พบว่าเมื่อนำสารตกตะกอนแต่ละชนิดมาใช้ในการตกตะกอนนั้นสามารถตกตะกอนโปรตีนได้ แต่ปริมาณที่ได้ออกมาน้อยมากจนไม่สามารถนำตะกอนไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์โปรตีนได้ โดยมากแล้วเมื่อเติมสารตกตะกอนลงไปจะลายหมด หรือที่เรียกกันว่า salting-in คือเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเกลือให้สูงขึ้นทำให้การละลายโปรตีนเพิ่มขึ้น เนื่องจากประจุของไอออนไปเพิ่มประจุบนโมเลกุลโปรตีน

ตารางที่ 9 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ

องค์ประกอบทางเคมี*	สารตกตะกอน	ระดับความเข้มข้น (%)					
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	F**
ความชื้น	KCl	7.02	5.89	6.09	5.94	6.01	b
	NaCl	5.38	5.52	5.67	5.89	6.10	ab
	NH_4Cl	7.16	6.86	6.93	6.28	6.51	a
	F**^{ns}						
โปรตีน	KCl	85.09	83.34	83.64	83.69	82.66	ab
	NaCl	84.09	86.08	85.54	85.64	84.95	a
	NH_4Cl	81.90	83.79	82.72	80.48	85.44	b
	F**^{ns}						
ไขมัน	KCl	0.22	0.23	0.45	0.422	0.13	b
	NaCl	0.41	0.37	0.16	0.19	0.37	b
	NH_4Cl	0.16	0.45	0.37	0.48	0.71	a
	F**^{ns}						
เถ้า	KCl	4.52	4.13	4.56	4.73	4.81	ab
	NaCl	4.66	4.63	4.87	4.71	4.59	a
	NH_4Cl	3.71	3.73	4.37	3.55	4.96	b
	F**^{ns}						

ตารางที่ 9 (ต่อ)

องค์ประกอบทางเคมี*	สารตกตะกอน	ระดับความเข้มข้น (%)					
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	F**
คาร์โบไฮเดรต[ns]	KCl	10.15	12.89	11.33	11.14	12.39	
	NaCl	13.01	11.20	12.24	14.61	9.57	
	NH_4Cl	12.38	9.72	9.70	10.30	9.58	
	F**						

หมายเหตุ * ค่าเฉลี่ยคิดเป็น % โดยน้ำหนักแห้งยกเว้นความชื้นคิดเป็น % โดยน้ำหนักเปียก และจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

** a,b.. ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งและแนวนอนของแต่ละองค์ประกอบทางเคมี แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

[ns] หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแนวตั้งและแนวนอนของตารางไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ทำให้โมเลกุลโปรตีนจับกับโมเลกุลน้ำมากขึ้น การละลายจึงเพิ่มขึ้น (Regenstein, 1984) เพราะฉะนั้นการที่จะใช้สารตกตะกอนเหล่านี้จึงไม่สามารถใช้สารตกตะกอนเพียงอย่างเดียวได้ จึงได้มีการนำกรดไฮโดรคลอริกมาใช้ร่วมด้วยในขั้นตอนของการตกตะกอน โดยเมื่อนำผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวไปวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน พบว่าการใช้สารตกตะกอนร่วมด้วยจะให้ปริมาณโปรตีนมากกว่าการใช้กรดไฮโดรคลอริกเพียงอย่างเดียว ซึ่งเกลือโซเดียมคลอไรด์และเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ ให้ปริมาณโปรตีนสูงกว่าเกลือแอมโมเนียมคลอไรด์อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยระดับความเข้มข้นของสารตกตะกอนไม่มีผลต่อปริมาณโปรตีนที่ได้ปริมาณโปรตีนสูงสุดของการใช้สารตกตะกอนอยู่ที่ 86.08% โดยน้ำหนักแห้ง ทั้งนี้การที่ใช้เกลือร่วมด้วยแล้วทำให้ปริมาณโปรตีนสูงขึ้นอาจเกี่ยวข้องกับระดับความสามารถในการละลายที่เพิ่มมากขึ้นจึงไปช่วยในการละลายโปรตีนออกมา (Milewski, 2001) และเมื่อทำการตกตะกอนโปรตีนจึงได้ปริมาณโปรตีนเพิ่มมากขึ้น ส่วนองค์ประกอบทางเคมีด้านอื่นๆ เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าระดับความเข้มข้นที่ใช้ให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

2. <u>ปริมาณผลผลิตของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียว</u>

2.1 ผลของการสกัดที่pHและเวลาต่าง ๆ ทีมีต่อปริมาณผลผลิต

การผลิตผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวที่ระดับ pH แตกต่างกันมีทำให้ปริมาณผลผลิตที่ได้แตกต่างกัน (ตารางที่ 10) การผลิตผลิตภัณฑ์โปรตีนที่ใช้ pH 9.5 และ pH 9.0 ในการสกัดให้ปริมาณผลผลิตอยู่ในช่วงสูงที่สุดคือประมาณ 19-20 % รองลงมาเป็น pH 8.5 pH 8.0 และ pH 10.0 ที่ให้ผลไม่แตกต่างกัน เวลาในการสกัดที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อปริมาณผลผลิตอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

<u>ตารางที่ 10</u> ปริมาณผลผลิตของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่ pH และเวลาต่าง ๆ

pH	ปริมาณผลผลิต* (%) ระยะเวลาในการสกัด (นาที)				
	30	45	60	90	F**
8.0	18.32	18.62	18.67	18.88	c
8.5	18.78	19.02	19.20	19.29	bc
9.0	19.10	19.33	19.31	19.51	ab
9.5	19.42	19.62	20.01	20.23	a
10.0	18.98	18.49	18.43	18.01	c
F**^{ns}					

<u>หมายเหตุ</u> * ค่าเฉลี่ยคิดเป็น% จากจำนวนกรัมของวัตถุดิบเริ่มต้น และจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ
** a,b,c.. ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนของตารางแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$)
^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแนวตั้งของตารางไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

โดยการสกัดที่ pH 4.5 ให้ปริมาณผลผลิตน้อยที่สุดคือ 17.90 % ซึ่งอาจเป็นเพราะการผลิตที่ pH นี้จะนำสารละลายโปรตีนมากตกตะกอนด้วยกรดไฮโดรคลอริกก่อน ทำให้ส่วนที่ไม่ใช่โปรตีนที่สามารถละลายน้ำได้ถูกกำจัดออกไปบางส่วน อีกทั้งโปรตีนบางชนิดไม่สามารถตกตะกอนที่ pH

4.5 ละลายอยู่ในสารละลายทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณของแข็ง (โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และอื่นๆ) ฉะนั้นเมื่อตกตะกอนโปรตีนจึงได้ปริมาณตะกอนน้อยกว่า และเมื่อนำไปทำแห้งจึงได้ผงโปรตีนน้อย

2.2 ผลของการใช้สารตกตะกอนที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่มีต่อปริมาณผลผลิต

การใช้สารตกตะกอนต่างชนิดกันทำให้ได้ปริมาณผลผลิตต่างกันจากการทดลอง พบว่าการใช้โซเดียมคลอไรด์ในการตกตะกอนให้ปริมาณผลผลิตมากกว่าการใช้โพแทสเซียมคลอไรด์และแอมโมเนียมคลอไรด์ โดยการใช้โซเดียมคลอไรด์ให้ปริมาณผลผลิตสูงสุดที่ 19.02% ส่วนระดับความเข้มข้นของสารตกตะกอนที่เพิ่มขึ้นให้ปริมาณผลผลิตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ที่แสดงในตารางที่ 11 ปริมาณผลผลิตของการใช้เกลือโพแทสเซียมคลอไรด์และเกลือแอมโมเนียมคลอไรด์มีค่าอยู่ในช่วง 15-16% ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่าการใช้กรดไฮโดรคลอริกที่ให้ปริมาณผลผลิตที่ 17.21% Uken *et al*. (1992) รายงานว่าผลผลิตจากการตกตะกอนด้วยกรดไฮโดรคลอริกสูงกว่าการตกตะกอนด้วยเกลือแคลเซียมคลอไรด์และเกลือแมกนีเซียมซัลเฟตซึ่งเป็นเกลือที่นิยมใช้ในการตกตะกอน แสดงว่ากรดไฮโดรคลอริกมีประสิทธิภาพในการตกตะกอนให้ผลผลิตสูงกว่าการใช้เกลือในการตกตะกอน

ตารางที่ 11 ปริมาณผลผลิตของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ

สารตกตะกอน	ปริมาณผลผลิต* (%) ระดับความเข้มข้น (%)					
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	F**
KCl	16.05	16.06	16.52	16.72	16.88	b
NaCl	17.37	17.55	18.36	18.22	19.02	a
NH_4Cl	15.71	15.81	15.82	15.86	15.87	b
F**^{ns}						

หมายเหตุ * ค่าเฉลี่ยคิดเป็น % จากจำนวนกรัมของวัตถุดิบเริ่มต้น และจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

** a,b.. ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งของตารางแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแนวตั้งของตารางไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

3. คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียว

3.1 ผลของการสกัดที่pHและเวลาต่าง ๆ ที่มีต่อสมบัติเชิงหน้าที่

จากการทดลองผลิตผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการการสกัดโปรตีนที่ pH 4.5 ซึ่งใช้เป็นตัวอย่างควบคุม นำมาวิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่ซึ่งประกอบด้วยความสามารถในการละลายของไนโตรเจน ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน ความสามารถในการเกิดฟอง ความคงตัวในการเกิดฟอง ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน ความคงตัวในการเกิดอิมัลชัน และความสามารถในการเกิดเจล ดังในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดโปรตีนที่ pH 4.5

คุณสมบัติเชิงหน้าที่	ปริมาณ*
ความสามารถในการละลายของไนโตรเจน (%)	62.38 ± 1.30
ความสามารถในการอุ้มน้ำ (กรัมต่อกรัมโปรตีน)	1.14 ± 0.16
ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน(กรัมต่อกรัมโปรตีน)	1.21 ± 0.10
ความสามารถในการเกิดฟอง (%)	87.00 ± 2.09
ความคงตัวในการเกิดฟอง (%)	67.17 ± 2.19
ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน (%)	76.33 ± 0.82
ความคงตัวในการเกิดอิมัลชัน (%)	63.67 ± 1.50
ความสามารถในการเกิดเจล (% ความเข้มข้นของโปรตีนต่ำสุด)	15.00 ± 0.00

หมายเหตุ *ค่าเฉลี่ย ± SD จากการวิเคราะห์ 3ซ้ำ

3.1.1 ความสามารถในการละลายของไนโตรเจนของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียว

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของผลิตผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่ pH ต่างๆ พบว่า pH ในขั้นตอนการสกัด ระยะเวลาในการสกัด และปัจจัยร่วมระหว่าง pH กับเวลาในการสกัดมีผลต่อความสามารถในการละลายของไนโตรเจนอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 13 โดยการผลิตผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียว ที่ทำการสกัดตั้งแต่ pH 8.0 -10.0 นั้นการสกัดที่ pH 9.0 และ pH 9.5 ให้ความสามารถในการละลายของไนโตรเจนสูงสุด ส่วนการสกัดที่ pH อื่นๆ เกือบทุกทรีทเมนต์ที่ให้ผลด้านความสามารถในการละลายสูงกว่าการที่ผลิตด้วยสภาวะการสกัดที่ pH 4.5 และ pH ที่ให้ค่าการละลายต่ำสุดคือการปรับ pH ในการสกัดเป็น 10.0 ทั้งนี้เนื่องจากว่าการที่ pH สูงขึ้นจะเป็นการเพิ่มประจุบนโมเลกุลโปรตีน โดยที่ pH สูงกว่าจุดไอโซอิเลคตริก (pI) จะแสดงประจุลบทำให้สามารถทำปฏิกิริยากับพันธะไฮโดรเจนของโมเลกุลน้ำได้มากขึ้น จึงทำให้การละลายเพิ่มขึ้น (Zayas, 1997) ในขณะที่ถ้า pH สูงเกินไปอาจทำให้ความสามารถในการละลายลดต่ำลงเนื่องจากการเสียสภาพของโปรตีนส่งผลให้การละลายนั้นลดลง (Kinsella, 1979)

เปรียบเทียบผลิตภัณฑ์โปรตีนที่ระยะเวลาในการสกัด พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดจะทำให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น โดยที่ระยะเวลาในการสกัดที่เวลา 30 และ

60 นาทีจะให้ความสามารถในการละลายของไนโตรเจนสูงสุด การที่เพิ่มระยะเวลาการสกัดทำให้การละลายเพิ่มขึ้นนั้นมีผลจากระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากันของไฮโดรเจนกับโมเลกุลน้ำมากขึ้น แต่ผลการทดลองที่ระยะเวลาการสกัดที่ 90 นาที นั้นให้การละลายของไนโตรเจนลดลง อาจเนื่องจากระยะเวลานานเกินไปจึงอาจเกิดการเสียสภาพของโปรตีน

ความสามารถในการละลายของไนโตรเจนที่มากหรือน้อยเกินไปย่อมมีผลต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ด้านอื่นๆ เช่น ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน ความสามารถในการเกิดฟองและความคงตัว ความสามารถในการเกิดอิมัลชันและความคงตัว และความสามารถในการเกิดเจล (Knorr, 1980; Damodaran and Paraf, 1997)

ตารางที่ 13 ความสามารถในการละลายของไนโตรเจนของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่ pH และเวลาต่าง ๆ

pH	ความสามารถในการละลายของไนโตรเจน (%)				
	ระยะเวลาในการสกัด (นาที)				
	30	45	60	90	F*
8.0	70.43	71.67	72.24	65.27	b
8.5	72.40	69.16	71.29	66.12	b
9.0	79.19	76.40	77.10	69.69	a
9.5	76.54	77.37	76.81	71.71	a
10.0	65.24	63.72	66.24	61.95	c
F*	a	b	a	c	

หมายเหตุ * a,b,c.. ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งและแนวนอนของตารางแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

3.1.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียว

ความสามารถในการอุ้มน้ำเป็นสมบัติทางกายภาพและความสามารถของโครงสร้างอาหาร ในการที่จะป้องกันไม่ให้มีการไหลของน้ำออกจากโครงสร้างของโปรตีน (Hermansson, 1986) ซึ่งความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนขึ้นกับความสามารถในการจัดเรียงตัวของโปรตีน โครงสร้างที่สามารถกักเก็บน้ำไว้ได้ (Damodaran and Paraf, 1997)

จากการผลิตผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่ pH ต่าง ๆ กัน และเมื่อทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่า pH ในการสกัดมีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ โดยความสามารถในการอุ้มน้ำที่มีการปรับ pH ในการสกัดทุกทรีทเมนต์ให้ความสามารถในการอุ้มน้ำสูงกว่าสภาวะการสกัดที่ pH 4.5 โดยการสกัดที่ pH 10.0 ที่ระยะเวลา 30 นาที จะให้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แสดงในตารางที่ 14 คือมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำเท่ากับ 1.79 กรัมต่อกรัมโปรตีน เมื่อเปรียบเทียบกับที่ pH อื่นๆ โดยการสกัดที่ pH 8.0 และ 8.5 ให้ผลไม่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับที่ pH 9.0 และ 9.5 ที่ให้ความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำสุด การที่ pH 9.5 มีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ อาจเป็นเพราะความสามารถในการอุ้มน้ำมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการละลาย โดยความสามารถในการละลายที่เพิ่มขึ้นจะลดความสามารถในการอุ้มน้ำลง (Quinn and Paton, 1979) ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mwasaru *et al*. (1999b) ที่รายงานว่าความสามารถในการอุ้มน้ำที่ pH ในการสกัด 11.5 และ 12.5 มีค่าสูงกว่าที่ pH 8.5 และนอกจากนี้ผลการวิจัยที่ผ่านมามีรายงานว่า การเพิ่มขึ้นของระดับการเสียสภาพของโปรตีนอาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของโมเลกุลโปรตีน ส่งผลให้บางทีมีการเปิดออกของกรดแอมิโนส่วนที่ชอบน้ำที่ซ่อนอยู่ จึงทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น งานวิจัยที่ผ่านมาที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการอุ้มน้ำมีดังนี้ การศึกษาใน cowpea 2.20 มิลลิลิตรน้ำต่อกรัมโปรตีน (Ragab *et al*, 2004) great northern bean (2.73 กรัมต่อกรัมโปรตีน) (Sathe and Salunkh, 1981) faba bean, chickpea และ fenugreek (1.84, 1.88 และ 2.61 มิลลิลิตรต่อกรัมโปรตีน ตามลำดับ) (Abdel-Aal *et al*., 1986) cotton seed (5.4 กรัมต่อกรัมโปรตีน) (Tsaliki *et al*., 2004) การละลายของไนโตรเจนที่มีค่าต่ำจะทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำสูง (Knorr, 1982 and El-Adawy, 2000)

ตารางที่ 14 ความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่ pH และเวลาต่าง ๆ

pH	ความสามารถในการอุ้มน้ำ (กรัมต่อกรัมโปรตีน)				
	ระยะเวลาในการสกัด (นาที)				
	30	45	60	90	F*
8.0	1.40	1.38	1.46	1.64	bc
8.5	1.74	1.60	1.34	1.34	b
9.0	1.50	1.23	1.34	1.45	cd
9.5	1.50	1.25	1.30	1.36	d
10.0	1.79	1.51	1.77	1.66	a
F*	a	b	b	ab	

หมายเหตุ * a,b,c,d.. ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งและแนวนอนของตารางแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

3.1.3 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียว

ความสามารถในการดูดซับน้ำมันเป็นคุณสมบัติทางกายภาพในการดูดซับน้ำมันไว้ของโปรตีน และปัจจัยที่ผลต่อความสามารถในการดูดซับน้ำมันก็ได้แก่ พื้นที่ผิวของโปรตีนต่อส่วนที่ไม่ชอบน้ำ ปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์อาหาร รูปแบบของประจุ สภาพคล่องตัวของน้ำมัน วิธีที่ใช้ในการตรวจสอบ (Kinsella, 1976) ปริมาณในการดูดซับน้ำมันมีผลได้จากหลายปัจจัย เช่น กระบวนการแปรรูป ความเข้มข้นของโปรตีน ขนาดของอนุภาคโปรตีน สมบัติด้านความชอบน้ำและไม่ชอบน้ำของโปรตีน (Zayas, 1997)

จากการทดลองผลิตผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวพบว่าที่สภาวะการผลิตที่การสกัดที่ pH 8.0, 8.5 และ 9.0 ให้ความสามารถในการดูดซับน้ำมันไม่แตกต่างกัน ส่วนที่ pH 9.5 ให้ความสามารถในการดูดซับน้ำมันสูงที่สุดซึ่งมากกว่าการสกัดที่ pH 4.5 และที่ pH 10.0 ให้ความสามารถในการดูดซับ

ตารางที่ 15 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่ pH และเวลาต่าง ๆ

pH	ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (กรัมต่อกรัมโปรตีน) ระยะเวลาในการสกัด (นาที)				
	30	45	60	90	F*
8.0	1.34	1.32	1.32	1.30	b
8.5	1.31	1.29	1.31	1.30	b
9.0	1.42	1.35	1.29	1.28	b
9.5	1.38	1.40	1.37	1.36	a
10.0	1.23	1.22	1.25	1.21	c
F*	a	ab	ab	b	

หมายเหตุ * a,b,c.. ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งและแนวนอนของตารางแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

น้ำมันต่ำสุดเมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาในการสกัดพบว่าที่เวลา 30, 45 และ 60 นาทีให้ผลทางสถิติไม่แตกต่างกันโดยในการสกัดที่ pH 9.5 ที่ระยะเวลาการสกัดนาน 45 นาที จะให้ความสามารถในการดูดซับน้ำมันสูงสุดเป็น 1.40 กรัมต่อกรัมโปรตีน อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังในตารางที่ 15 การที่ pH 9.5 มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันสูงขึ้นกว่า pH อื่น ๆ อาจเนื่องจากสภาวะด่างที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการผลิตทำให้โมเลกุลโปรตีนเกิดการคลายเกลียวออกแสดงส่วนที่ไม่ชอบน้ำมากขึ้น (Damodaran and Paraf, 1997) จึงเกิดการจับกันของโปรตีนกับน้ำมันเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนกับไขมันมากขึ้น นอกจากนี้ส่วนที่ไม่ใช่พันธะโควาเลนต์ เช่น ปฏิกิริยาความไม่ชอบน้ำ แรงดึงดูดของอิเลคตรอน และพันธะไฮโดรเจน แรงต่าง ๆ เหล่านี้ล้วนเกี่ยวข้องในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไขมัน-โปรตีน ซึ่งส่งผลถึงความสามารถในการดูดซับน้ำมันทั้งสิ้น และการที่ pH 10.0 ให้ความสามารถในการดูดซับน้ำมันต่ำอาจเป็นเพราะส่วนที่ชอบน้ำถูกเปิดออกมามากกว่าส่วนที่ไม่ชอบน้ำ เมื่อทำการเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวที่ได้จะให้ความสามารถในการดูดซับน้ำมันต่ำกว่าโปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท 3.29 มิลลิลิตรน้ำมันต่อกรัมโปรตีน (Paredes-Lopez *et al*., 1991) Lupin isolate 1.95 กรัมต่อกรัมโปรตีน (Lqari *et al*., 2002)

3.1.4 ความสามารถในการเกิดฟองของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียว

ความสามารถในการเกิดฟองคือความสามารถในการสร้างพื้นที่ผิวขนาดใหญ่ของฟองอากาศต่อน้ำหนักของโปรตีนและสามารถคงสภาพเป็นฟิล์มระหว่างรอยต่อระหว่างอากาศกับของเหลวไว้ได้โดยที่มีการต้านการผลักกันของแรงจากภายในและภายนอก (Damodaran, 1996)

จากการตรวจสอบสมบัติเชิงหน้าที่ด้านความสามารถในการเกิดฟองที่ทำการทดลองที่ pH 6.5 และเมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่า pH ในการสกัด ระยะเวลาในการสกัดมีผลต่อความสามารถในการเกิดฟอง ทุกสภาวะการสกัดที่มีการผันแปรระดับ pH ให้ความสามารถในการเกิดฟองสูงกว่าสภาวะการสกัดที่ pH 4.5 ซึ่งความสามารถในการเกิดฟองมีแนวโน้ม

ตารางที่ 16 ความสามารถในการเกิดฟองของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่pHและเวลาต่าง ๆ

pH	ความสามารถในการเกิดฟอง (%)				
	ระยะเวลาในการสกัด (นาที)				
	30	45	60	90	F*
8.0	93.67	97.00	94.67	94.67	bc
8.5	94.67	94.00	93.67	92.00	c
9.0	96.33	97.66	95.66	95.33	b
9.5	96.33	101.00	98.67	98.67	a
10.0	92.33	94.00	91.33	89.33	d
F*	b	a	b	b	

หมายเหตุ * a,b,c,d.. ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งและแนวนอนของตารางแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของpHในการสกัด โดยที่ pH 9.5 ที่ระยะเวลาในการสกัดนาน 45 นาทีให้ความสามารถในการเกิดฟองดีที่สุดคือ 101% อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 16

ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของน้ำทิพย์ (2547) ที่รายงานความสามารถในการเกิดฟองที่ pH 9.5 มีค่าประมาณ 114.28 % ส่วนที่ pH 8.0 และ 9.0 ให้ความสามารถในการเกิดฟองดีกว่าที่ 10.0 เมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาในการสกัดพบว่าเมื่อระยะเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นจาก 30 นาทีเป็น 45 นาทีจะให้ความสามารถในการเกิดฟองเพิ่มขึ้นแต่พอที่เวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นเป็น 60 นาที ให้ผลในการเกิดฟองลดลงและไม่แตกต่างกันกับที่เวลา 90 นาที ผลการทดลองที่ได้นี้สอดคล้องกับรายงานของ Mwasaru *et al*., (1999a,b) ที่พบว่าโปรตีนที่ผ่านการปรับ pH เป็น 9.5 จะให้ความสามารถในการเกิดฟองดีกว่าโปรตีนที่ตกตะกอนที่จุดไอโซอิเลคตริก การที่สภาวะการสกัดที่ pH 9.5 ให้การเกิดฟองดีอาจจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของโมเลกุลโปรตีนที่ผิวระหว่างรอยต่อของอากาศกับของเหลว เกิดการคลายเกลียวทำให้มีการเปิดออกของบริเวณพื้นที่ส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic regions) ทำให้กระตุ้นการรวมตัวกันของสายโพลีเปปไทด์เกิดเป็นฟิล์มล้อมรอบฟองอากาศไว้ (Zayas, 1997) เมื่อเปรียบเทียบกับถั่วชนิดอื่น ๆ จะเห็นว่าผลิตภัณฑ์โปรตีนจากถั่วเขียวให้ความสามารถในการเกิดฟองต่ำกว่างานวิจัยของถั่ว pigeon pea ที่ให้ค่าความสามารถในการเกิดฟองสูงถึง 110 % (Akintayo *et al*., 1999) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าความสามารถการเกิดฟองนั้นสัมพันธ์กับความสามารถในการละลายของโปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท (Kinsella, 1979) และยังขึ้นอยู่กับความสามารถของโมเลกุลโปรตีนในการกระจายตัวอย่างรวดเร็วที่พื้นที่ผิวระหว่างรอยต่อ การดูดซับ การจัดเรียงตัวที่แข็งแรง และแรงยึดเหนี่ยวของฟิล์ม ตลอดจนแรงภายในระหว่างโมเลกุล (Pozani *et al*., 2002)

3.1.5 ความคงตัวในการเกิดฟองของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียว

ความคงตัวการเกิดฟองเป็นการวัดปริมาตรของฟองที่เวลาผ่านไปหลังจากการตีปั่น ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการยุบตัวของฟองได้แก่ ความหนาของฟิล์ม แรงตึงผิวระหว่างรอยต่อ และความยืดหยุ่นของโปรตีน (Phillips, 1981)

จากการทดลองวัดความคงตัวการเกิดฟองของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวที่สภาวะpH 6.5 เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่า pH และเวลาในการสกัดมีผลต่อความคงตัวในการเกิดฟอง ที่สภาวะการสกัดที่มีการผันแปรระดับpHนั้นทำให้ความคงตัวในการเกิดฟองสูงขึ้นกว่าการสกัดที่สภาวะ pH 4.5 โดยเมื่อ pH ในการสกัดเพิ่มขึ้นทำให้ความคงตัวในการเกิดฟองมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังในตารางที่ 17 การผลิตผลิตภัณฑ์โปรตีนที่

ตารางที่ 17 ความคงตัวในการเกิดฟองของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่pHและเวลาต่าง ๆ

pH	ความคงตัวในการเกิดฟอง (%) ระยะเวลาในการสกัด (นาที)				
	30	45	60	90	F*
8.0	76.38	75.96	76.53	76.15	a
8.5	74.89	74.76	74.14	73.42	b
9.0	75.22	74.79	74.39	71.62	b
9.5	71.79	71.44	71.72	70.65	c
10.0	72.08	71.49	70.82	66.02	c
F*	a	a	a	b	

หมายเหตุ * a,b.. ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งและแนวนอนของตารางแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

การสกัดที่ pH 8.0 ที่ระยะเวลาในการสกัดนาน 60 นาทีให้ความคงตัวการเกิดฟองสูงสุดมีค่าประมาณ 76.53% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันกับโปรตีนไอโซเลทจาก chick pea 66.6 % (Paredes-Lopez *et al*., 1991) แต่ก็ยังมีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับโปรตีนไอโซเลทจาก amaranth seed 40.0% (Fidantsi and Doxastakis, 2001) แต่หลังจากสภาวะการสกัดที่ pH 8.0 ความคงตัวในการเกิดฟองก็ลดลง โดยในช่วง pH 9.5 และ 10.0ให้ความคงตัวในการเกิดฟองต่ำสุดที่ระยะเวลาในการสกัด 90 นาที ที่เป็นเช่นนี้อาจเกี่ยวข้องจากการที่โปรตีนมีประจุสุทธิมากเกินไปจนไปลดปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนกับโปรตีนและป้องกันการสร้างฟิล์มที่ล้อมรอบฟองอากาศ จึงทำให้ความคงตัวของฟองลดลง (Phillips and Beuchat, 1981) นอกจากนี้อาจเป็นเพราะการที่โปรตีนเสียสภาพและเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของโมเลกุลโปรตีนทำให้มีอนุภาคส่วนที่ไม่ชอบน้ำเพิ่มขึ้นและมีการกระจายตัวทำให้ไม่สามารถรักษาความคงตัวของฟิล์มไว้ได้ จึงทำให้เกิดการยุบตัวของฟอง (Prins, 1988) และก่อนหน้านี้ Kinsella (1979) ได้กล่าวว่าความคงตัวของฟองอาจสัมพันธ์กับระดับการเสียสภาพของโปรตีน โดยทั่วไปแล้วโปรตีนที่มีความสามารถในการเกิดฟองดีมักจะมีความคงตัวของฟองไม่ดี นอกจากนี้ความคงตัวของฟองยังมีผลมาจากสมบัติทางด้านการไหลของฟิล์ม และความหนาแน่นของประจุบนโมเลกุลโปรตีนอีกด้วย (Damodaran, 1996)

3.1.6 ความสามารถในการเกิดอิมัลชันของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียว

ความสามารถในการเกิดอิมัลชันเป็นความสามารถของโปรตีนในการทำให้เกิดอิมัลชัน (Zayas, 1997) การเกิดอิมัลชัน หมายถึงระบบของของเหลว 2 ชนิดที่ไม่ละลายซึ่งกันและกันโดยมีของเหลวชนิดหนึ่งเกิดเป็นหยดเม็ดกลมกระจายตัวอยู่ในของเหลวอีกชนิดหนึ่ง ระบบของอิมัลชันจะแบ่งตามลักษณะการกระจายตัว ถ้าเป็นระบบหยดน้ำมันกระจายตัวอยู่ในน้ำเรียกว่าอิมัลชันระบบน้ำมันในน้ำ (oil-in-water; o/w) เช่น มายองเนส นม และถ้าระบบเป็นหยดน้ำกระจายตัวอยู่ในน้ำมัน เรียกว่า อิมัลชันระบบน้ำในน้ำมัน (water-in-oil; w/o) เช่น มาการีน ถ้าโปรตีนทำหน้าที่เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ จะจัดอยู่ในกลุ่มของ biopolymer ซึ่งมีการจัดเรียงส่วนของโมเลกุลโปรตีนที่ไม่ชอบน้ำที่สัมผัสระหว่างน้ำกับน้ำมัน (McClement, 1999) โดยโปรตีนจะทำหน้าที่ลดแรงตึงผิวระหว่างส่วนที่ชอบน้ำกับส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Kinsella, 1976) ทำให้น้ำกับน้ำมันไม่รวมตัวกัน

จากการทดลองผลิตผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวที่สภาวะการสกัดที่แตกต่างกันและทำการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า pH และเวลาในการสกัดมีผลต่อความสามารถในการเกิด

ตารางที่ 18 ความสามารถในการเกิดอิมัลชันของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่pHและเวลาต่าง ๆ

pH	ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน (%)				
	ระยะเวลาในการสกัด (นาที)				
	30	45	60	90	F*
8.0	89.33	89.33	87.33	83.00	b
8.5	89.33	89.33	89.33	84.67	b
9.0	97.00	92.33	90.33	86.67	a
9.5	93.00	91.33	93.00	87.00	a
10.0	81.00	81.33	86.00	76.67	c
F*	a	b	ab	c	

หมายเหตุ * a,b,c.. ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งและแนวนอนของตารางแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

อิมัลชัน โดยเมื่อมีการผันแปรระดับ pH ในการสกัดทำให้ความสามารถในการเกิดอิมัลชันเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการสกัดที่ pH 4.5 การสกัดที่ pH 8.0-9.0 ให้ความสามารถในการเกิดอิมัลชันมีแนวโน้มสูงขึ้นที่ pH 9.0 ที่ระยะเวลาในการสกัดนาน 30 นาที ให้ความสามารถในการเกิดอิมัลชันสูงสุด และหลังจากระดับ pH 9.5 ความสามารถในการเกิดอิมัลชันก็ลดลง โดยที่ pH 10.0 ให้ความสามารถในการเกิดอิมัลชันต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 18 ซึ่งที่ pH ระดับ 10.0 นี้มีการละลายของไนโตรเจนต่ำที่สุด สอดคล้องกับการทดลองของ Paredes-Lopez *et al*. (1991) ที่รายงานว่าโปรตีนไอโซเลทจากถั่วเหลืองมีความสามารถในการละลายของไนโตรเจนต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ chickpea ส่งผลให้มีความสามารถในการเกิดอิมัลชันต่ำที่สุดด้วยเช่นกัน ทั้งนี้การที่ความสามารถในการเกิดอิมัลชันของโปรตีนแตกต่างกัน อาจจะมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการละลาย และความคงตัวของรูปร่างโปรตีน (Abdel-Aal *et al*., 1986; Tjahjadi *et al*., 1988) และความสามารถในการเกิดอิมัลชันขึ้นกับความสามารถในการละลายของไนโตรเจน (Swift and Sulzbacher, 1963; Volkert and Klein, 1979; Yasumatsu *et al*., 1972) ในทำนองเดียวกันกับ Mwasaru *et al*. (1999b) ที่รายงานว่าโปรตีนไอโซเลทจาก pigeon pea จะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ เมื่อเพิ่ม pH ในการสกัดจาก 8.5 11.5 และลดต่ำลงที่ pH 12.0 นอกจากนี้ความสามารถในการเกิดอิมัลชันยังขึ้นกับความสมดุลของส่วนที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำของโปรตีน ซึ่งมีผลมาจาก pH (Sathe *et al*., 1982) การเพิ่มขึ้นของความสามารถในการละลายของโปรตีนจะเร่งให้เกิดการดูดซับที่รอยต่อระหว่างน้ำกับน้ำมันโดยหันส่วนที่ไม่ชอบน้ำเข้าหาเม็ดไขมัน ทำให้สมบัติการเกิดอิมัลชันดีขึ้น (Damodaran, 1996; Lawal, 2004)

3.1.7 ความคงตัวในการเกิดอิมัลชันของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียว

ความคงตัวในการเกิดอิมัลชัน เป็นความสามารถของอนุภาคไขมันที่กระจายตัวอยู่โดยปราศจากการเกิดการหลอมรวมตัวเป็นอนุภาคเดียวกัน (coalescence) การเกาะกลุ่ม (flocculation) หรือการเกิดเป็นครีม (creaming) ของน้ำมันลอยอยู่ด้านบนของของเหลว (Zayas, 1997) ซึ่งโปรตีนจะทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ในการกีดขวางไม่ให้เม็ดไขมันรวมตัวกัน

จากการทดลองผลิตผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวที่สภาวะการสกัดที่แตกต่างกัน และวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า pH ในการสกัดมีผลต่อความคงตัวในการเกิดอิมัลชัน การปรับระดับ pH ส่งผลให้ความคงตัวลดต่ำลงกว่าที่สภาวะการสกัดที่ pH 4.5 และเมื่อระดับ pH ในการสกัดเพิ่มขึ้นจาก pH 8.0 –9.0 ความคงตัวในการเกิดอิมัลชันมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน มีค่าอยู่ในช่วง 57-59% โดยความคงตัวจะเริ่มลดลงที่ pH 9.5 –10.0 ซึ่งที่ระดับ pH 10.0 จะให้ความคงตัวในการเกิด

อิมัลชันต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 19 การที่ pH สูงสุดทำให้ความตัวในการเกิดอิมัลชันลดต่ำลง อาจเป็นเพราะเกิดการเสียสภาพของโปรตีน ทำให้สัดส่วนของบริเวณที่ชอบน้ำกับส่วนที่ไม่ชอบน้ำเกิดการเสียสมดุลกัน จึงทำให้ความคงตัวลดลง และอาจเกิดจากปัจจัยต่างๆ ร่วมด้วย คือ ประจุบนโมเลกุล แรงตึงผิว ความข้นหนืด และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของโปรตีน (Hung and Zayas, 1991) นอกจากนี้ Khalid *et al*. (2003) ได้รายงานว่าความคงตัวในการเกิดอิมัลชันของโปรตีนไอโซเลทจากเมล็ดงา ขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงระดับของ pH และ Lqari *et al*. (2002) ที่ทำการสกัดโปรตีนไอโซเลทจากเมล็ดlupin ที่ pH 10.5 และ pH 12.0 ได้ทำการตรวจสอบความคงตัวของอิมัลชัน พบว่ามีค่าความคงตัวของอิมัลชันอยู่ที่ประมาณ 66.7% และ 71.0%

ตารางที่ 19 ความคงตัวในการเกิดอิมัลชันของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่pHและเวลาต่าง ๆ

pH	ความคงตัวของอิมัลชัน (%)				
	ระยะเวลาในการสกัด (นาที)				
	30	45	60	90	F*
8.0	57.00	60.00	59.00	59.00	a
8.5	57.67	58.33	58.33	59.00	ab
9.0	58.00	57.33	57.33	59.33	ab
9.5	57.67	57.33	56.67	57.33	b
10.0	54.00	56.67	53.67	54.67	c
F*^{ns}					

หมายเหตุ * a,b,c.. ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งของตารางแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแนวตั้งของตารางไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

3.1.8 ความสามารถในการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียว

เจลเป็นโครงสร้างที่ประกอบด้วยของแข็งและของเหลวที่ไม่แสดงการไหล (no steady-state flow) (Ferry, 1961) ที่ประสานกันเป็นโครงสร้างร่างแหกักเก็บโมเลกุลน้ำไว้ภายในโดยมีพันธะที่เกี่ยวข้องคือพันธะโควาเลนต์ พันธะไฮโดรเจน และแรงดึงดูดไฮโดรโฟบิก เมื่อวิเคราะห์ความสามารถในการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวที่สภาวะการสกัดที่ pH และเวลาต่างๆ พบว่าที่สภาวะการสกัดที่ pH 8.0, 8.5, และ 9.0 ที่เวลาในการสกัดนาน 30-60 นาที ให้ผลในการเกิดเจลเหมือนกันกัน คือใช้ปริมาณความเข้มข้นของโปรตีนต่ำสุดในการเกิดเจลอยู่ที่ 15% ในขณะที่ pH 9.5 และ10.0 ให้ความสามารถในการเกิดเจลดีกว่า โดยที่ pH 10.0 ให้ความสามารถในการเกิดเจลดีที่สุด คือใช้ปริมาณความเข้มข้นของโปรตีนต่ำสุดในการเกิดเจลอยู่ที่ 14% ดังแสดงในตารางที่ 20

ตารางที่ 20 ความสามารถในการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่ pH และเวลาต่าง ๆ

pH	การเกิดเจล (% ความเข้มข้นของโปรตีนต่ำสุด) ระยะเวลาในการสกัด (นาที)				
	30	45	60	90	F*
8.0	15.00	15.00	15.00	15.00	a
8.5	15.00	15.00	15.00	15.00	a
9.0	15.00	15.00	15.00	15.00	a
9.5	15.00	15.00	14.83	14.33	b
10.0	14.00	14.00	14.00	14.00	c
F*	a	a	a	b	

หมายเหตุ * a,b,c.. ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งและแนวนอนของตารางแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ลักษณะของเจลโปรตีนถั่วเขียวที่ได้จะมีลักษณะสีครีมขุ่นและทึบแสง opaque gel หรือเรียกว่า coagulum gel (Damodaran, 1996) และการที่ pH 10.0 มีความสามรถในการเกิดเจลดี อาจเนื่องจากความสามารถในการเกิดเจลจะมีผลจากความสามารถในการอุ้มน้ำ คือมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงจึงทำให้สามารถกักเก็บโมเลกุลน้ำไว้ในโครงสร้างได้ นอกจากนี้การแสดงออกของหมู่แอมิโนที่ไม่ชอบน้ำและการสานตัวกันเป็นรูปสี่เหลี่ยมของกลุ่มซัลไฟดริลของโปรตีนก็มีผลต่อการเกิดเจล (Nakai, 1983) ส่วนการที่เจลมีลักษณะขุ่นและทึบแสงก็เนื่องจากโครงสร้างของเจลที่มีการเกาะเกี่ยวกันแบบกลุ่มก้อน (random aggregation) (Matsumura and Mori, 1996)

3.2 ผลของการใช้สารตกตะกอนที่มีต่อสมบัติเชิงหน้าที่

จากการทดลองใช้สารตกตะกอนชนิดต่างๆ ในการตกตะกอนโปรตีนโดยมีการใช้กรดไฮโดรคลอริกในการตกตะกอนเป็นตัวอย่างควบคุม ผลที่ได้ดังในตารางที่ 21

ตารางที่ 21 คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้กรดไฮโดรคลอริกในการตกตะกอน

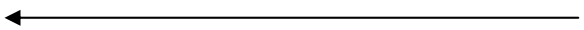
คุณสมบัติเชิงหน้าที่*	ปริมาณ
ความสามารถในการละลายของไนโตรเจน (%)	63.07 ± 1.18
ความสามารถในการอุ้มน้ำ (กรัมต่อกรัมโปรตีน)	1.10 ± 0.03
ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน(กรัมต่อกรัมโปรตีน)	1.25 ± 0.02
ความสามารถในการเกิดฟอง (%)	90.00 ±1.26
ความคงตัวในการเกิดฟอง (%)	68.52 ± 2.51
ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน (%)	74.00 ± 1.26
ความคงตัวในการเกิดอิมัลชัน (%)	63.33 ± 1.03
ความสามารถในการเกิดเจล (% ความเข้มข้นของโปรตีนต่ำสุด)	15.00 ± 0.00

หมายเหตุ *ค่าเฉลี่ย ± SD จากการวิเคราะห์ 3ซ้ำ

3.2.1 ผลของการใช้สารตกตะกอนต่อความสามารถในการละลายของไนโตรเจนของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียว

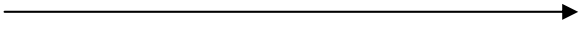
จากการทดลองใช้สารตกตะกอนชนิดต่างๆ คือ โพแทสเซียมคลอไรด์ โซเดียมคลอไรด์ และแอมโมเนียมคลอไรด์ ร่วมกับการใช้กรดไฮโดรคลอริกและวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่าความเข้มข้นของสารตกตะกอนที่ใช้มีผลต่อความสามารถในการละลายของไนโตรเจน โดยเมื่อความเข้มข้นของสารตกตะกอนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความสามารถในการละลายของไนโตรเจนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 22 สารตกตะกอนที่ให้ความสามารถในการละลายของไนโตรเจนสูงสุดคือ โพแทสเซียมคลอไรด์ กับโซเดียมคลอไรด์ ที่ระดับความเข้มข้น 0.4% และ 0.5 % ให้ความสามารถในการละลายอยู่ที่ประมาณ 77% ส่วนแอมโมเนียมคลอไรด์ให้ความสามารถในการละลายของไนโตรเจนต่ำที่สุด ผลการทดลองที่ได้ให้ผลไปในทางเดียวกันกับการทดลองของ Arogundade *et al*. (2004) ที่รายงานว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเกลือส่งผลให้การละลายของโปรตีนสูงขึ้น ที่ระดับความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ 2.0%, โซเดียมคลอไรด์กับโพแทสเซียมคลอไรด์ 3.0% และโพแทสเซียมคลอไรด์ 4.0% เกลือมีผลทำให้การละลายของโปรตีนเพิ่มขึ้น (salting in) ซึ่งมีผลมาจากการที่โครงสร้างของกลอบูลาร์โปรตีนและโครงสร้างเส้นใยไม่คงตัว ในทางตรงกันข้ามเกลือก็สามารถลดความสามารถในการละลายของโปรตีนได้ (salting out) ถ้าใช้ความเข้มข้นในระดับสูงมากๆ โปรตีนจะเกิดการเสียสภาพและตกตะกอน (Shen, 1981; Padilla*, et al*., 1996; Oshodi and Ojokan, 1997) นอกจากนี้ความสามารถในการละลายของไนโตรเจนยังขึ้นอยู่กับสภาวะน้ำล้อมรอบ (hydration) และความไม่ชอบน้ำของโมเลกุลโปรตีนด้วย (Sathe and Salunkhe, 1981) ทั้งนี้ชนิดของเกลือที่ใช้ก็มีผลต่อความสามารถในการละลายหรือตกตะกอนโปรตีนซึ่งดูได้จากลำดับความสามารถในการละลายหรือการตกตะกอนที่เรียกว่า “Hofmeister series” (Milewski, 2001)

เพิ่มการตกตะกอนของโปรตีน (increasing salting-out effect)



PO_4^{3-}, SO_4^{2-}, CH_3COO^-, Cl^-, Br^-, NO_3, ClO_4, I^-, SCN^-

NH_4^+, Rb^+, K^+, Na^+, Cs^+, Li^+, Mg^{2+}, Ca^+, Ba^{2+}



เพิ่มการละลายของโปรตีน (increasing salting in effect)

ตารางที่ 22 ความสามารถในการละลายของไนโตรเจนของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ

สารตกตะกอน	ความสามารถในการละลายของไนโตรเจน (%)					
	ระดับความเข้มข้น (%)					
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	F*
KCl	61.67	70.73	73.86	74.13	77.98	ab
NaCl	71.23	73.39	73.57	73.76	77.17	a
NH_4Cl	68.38	68.24	69.72	71.40	74.61	b
F*	c	bc	b	ab	a	

หมายเหตุ * a,b,c.. ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งและแนวนอนของตารางแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

3.2.2 ผลของการใช้สารตกตะกอนต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียว

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่า ชนิดของสารตกตะกอนและความเข้มข้นของสารตกตะกอนที่ใช้ไม่มีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แสดงดังตารางที่ 23 โดยความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวที่ใช้สารตกตะกอนจะมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำอยู่ที่ประมาณ 0.7-1.1 กรัมต่อกรัมโปรตีน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้กรดไฮโดรคลอริกในการตกตะกอน จะเห็นว่าการใช้สารตกตะกอนประเภทเกลือให้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำน้อยกว่า ซึ่ง Oshodi and Ojokan (1997) ได้กล่าวว่าการลดหรือการเพิ่มขึ้นของความสามารถในการอุ้มน้ำนั้นแปรผันตามชนิดของเกลือที่ใช้และอาจเกี่ยวข้องกับประจุบวกและประจุลบ (Kinsella *et al*., 1985) ปฏิกิริยาระหว่างไฟฟ้าสถิต (electrostatic interaction) และปฏิกิริยาที่มีต่อโมเลกุลของน้ำ (Alschul and Wilcks, 1985)

ตารางที่ 23 ความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ

สารตกตะกอน	ความสามารถในการอุ้มน้ำ (กรัมต่อกรัมโปรตีน) ระดับความเข้มข้น (%)					
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	F*[ns]
KCl	1.08	1.05	1.05	0.99	0.96	
NaCl	1.18	1.07	1.10	1.03	0.95	
NH_4Cl	1.01	1.00	0.96	0.74	0.73	
F*[ns]						

หมายเหตุ [ns] หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแนวตั้งและแนวนอนของตารางไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

3.2.3 ผลของการใช้สารตกตะกอนต่อความสามารถในการดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียว

เมื่อพิจารณาผลของการใช้สารตกตะกอนร่วมกับการใช้กรดไฮโดรคลอริก ที่มีต่อความสามารถในการดูดซับน้ำมันตารางที่ 24 พบว่าชนิดของสารตกตะกอนและความเข้มข้นของสารตกตะกอนมีผลต่อความสามารถในการดูดซับน้ำมัน สารตกตะกอนที่ให้ความสามารถในการดูดซับน้ำมันสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) คือ โซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0.1% ที่มีค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมันอยู่ที่ 1.37 กรัมต่อกรัมโปรตีน ส่วนโพแทสเซียมคลอไรด์และแอมโมเนียมคลอไรด์ให้ความสามารถในการดูดซับน้ำมันใกล้เคียงกัน และเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้กรดไฮโดรคลอริกจะพบว่าการใช้สารตกตะกอนบางชนิดให้ความสามารถในการดูดซับน้ำมันดีกว่าการใช้กรดไฮโดรคลอริก อาจเกี่ยวข้องกับการเสียสภาพของโปรตีนในขั้นตอนการสกัดและเมื่อมีการใช้เกลืออาจทำโปรตีนส่วนที่ไม่มีขั้วแสดงออกมามากขึ้น จึงทำให้โปรตีนสานตัวกับส่วนที่เป็นสายไฮโดรคาร์บอนของน้ำมันได้ดีขึ้น ช่วยให้ความสามารถในการดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้น (Vioque, *et al*., 2000) แต่ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของโปรตีนถั่วเขียวก็ยังมีค่าน้อยกว่าโปรตีนไอโซเลทจากถั่วเหลือง (Kinsella, 1979)

ตารางที่ 24 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ

สารตกตะกอน	ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (กรัมต่อกรัมโปรตีน) ระดับความเข้มข้น (%)					
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	F*
KCl	1.48	1.00	0.98	1.04	0.99	b
NaCl	1.37	1.36	1.17	1.31	1.31	a
NH_4Cl	1.43	1.34	1.13	1.00	0.89	b
F*	a	b	bc	bc	c	

หมายเหตุ * a,b,c..ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งและแนวนอนของตารางแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

และโปรตีนไอโซเลทจาก cowpea (Ragab *et al*., 2004) Kinsella (1979) ได้อธิบายว่ากลไกของการดูดซับน้ำมันเป็นสมบัติทางกายภาพในการจับน้ำมันของสายโซ่โปรตีนที่ไม่มีขั้วเช่นเดียวกับความแตกต่างของลักษณะรูปร่างของโปรตีน

3.2.4 ผลของการใช้สารตกตะกอนต่อความสามารถในการเกิดฟองของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียว

เมื่อพิจารณาความสามารถในการเกิดฟองของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวที่ใช้สารตกตะกอนชนิดต่างๆ ร่วมกับกรดไฮโดรคลอริกและวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่าชนิดของสารตกตะกอนและระดับความเข้มข้นของสารตกตะกอนมีผลต่อความสามารถในการเกิดฟอง โดยสารตกตะกอนที่ให้ความสามารถในการเกิดฟองสูงสุดคือการใช้โพแทสเซียมคลอไรด์ รองลงมาเป็นโซเดียมคลอไรด์ และแอมโมเนียมคลอไรด์ ดังในตารางที่ 25 เมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้นจะเห็นว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นขึ้นตั้งแต่ระดับ 0.1-0.5% จะทำให้ความสามารถในการเกิดฟองจะเพิ่มขึ้น โดยความเข้มข้นที่ 0.3-0.5% ให้ความสามารถในการเกิดฟองเท่ากัน และการใช้สารตกตะกอนนี้ให้ค่าความสามารถในการเกิด

ตารางที่ 25 ความสามารถในการเกิดฟองของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ

สารตกตะกอน	ความสามารถในการเกิดฟอง(%) ระดับความเข้มข้น (%)					
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	F*
KCl	103.00	105.00	109.00	111.00	114.00	a
NaCl	93.00	95.67	97.33	98.33	95.67	b
NH_4Cl	91.34	93.35	93.67	94.67	93.00	c
F*	c	b	a	a	a	

หมายเหตุ * a,b,c.. ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งและแนวนอนของตารางแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ฟองสูงกว่าการใช้กรดไฮโดรคลอริกเพียงอย่างเดียว โดยการใช้โพแทสเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.5% ให้ความสามารถในการเกิดฟองสูงที่สุดอยู่ที่ 114% ส่วนการใช้แอมโมเนียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0.1 % จะให้ความสามารถในการเกิดฟองต่ำที่สุด ซึ่ง Alschul and Wilke (1985) ได้กล่าวว่าความเข้มข้นของเกลือที่เหมาะสมจะช่วยลดความหนืดของพื้นที่ผิว (surface viscosity) และความแข็งแรงของฟิล์มโปรตีน แต่ก็จะเพิ่มการกระจายตัวอย่างรวดเร็วที่บริเวณรอยต่อ นอกจากนี้ Wang and Kinsella (1976) กล่าวว่าความสามารถในการเกิดฟองนั้นมีความสัมพันธ์กันกับความสามารถในการละลายของโปรตีน และยังขึ้นกับขนาดและการขดตัวของโปรตีนอีกด้วย

3.2.5 ผลของการใช้สารตกตะกอนต่อความคงตัวในการเกิดฟองของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียว

จากผลการทดลองและวิเคราะห์ผลทางสถิติของการใช้สารตกตะกอนชนิดต่างๆ ร่วมกับการใช้กรดไฮโดรคลอริกพบว่า ชนิดของสารตกตะกอนมีผลต่อความคงตัวในการเกิดฟองโดยการใช้สารตกตะกอนทำให้ความคงตัวในการเกิดฟองดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้กรดไฮโดรคลอริก ซึ่งการใช้โพแทสเซียมคลอไรด์ให้ความคงตัวในการเกิดฟองดีที่สุดคือมีค่าประมาณ 84.78% รองลงมาเป็นโซเดียมคลอไรด์และแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ให้ความคงตัวในการเกิดฟองพอๆ กันดังในตารางที่ 26 ความเข้มข้นของสารตกตะกอนไม่มีผลต่อความคงตัวในการเกิดฟองอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แต่ถ้าสังเกตดูจากข้อมูลที่ได้จะเห็นว่าเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นความคงตัวในการเกิดฟองมีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Cooney (1974) and Richert *et al*. (1974) ที่รายงานว่าความเข้มข้นของเกลือที่มากเกินไปอาจไปลดแรงยึดเหนี่ยวของไอออนระหว่างโมเลกุลของโปรตีนทำให้ค่าความคงตัวของฟองลดลง

ตารางที่ 26 ความคงตัวในการเกิดฟองของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ

สารตกตะกอน	ความคงตัวในการเกิดฟอง (%)					
	ระดับความเข้มข้น (%)					
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	F*
KCl	84.78	83.24	79.11	82.13	78.02	a
NaCl	70.32	67.91	66.43	60.76	58.74	b
NH_4Cl	63.74	64.74	65.81	59.11	59.23	b
F^{*ns}						

หมายเหตุ * a,b.. ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งของตารางแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแนวตั้งของตารางไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p> 0.05$)

3.2.6 ผลของการใช้สารตกตะกอนต่อความสามารถในการเกิดอิมัลชันของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียว

จากการผลิตผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวที่ใช้สารตกตะกอนชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อความสามารถในการเกิดอิมัลชันแสดงในตารางที่ 27 พบว่าความสามารถในการเกิดอิมัลชันที่มีการใช้สารตกตะกอนให้ความสามารถในการเกิดอิมัลชันต่ำกว่าการใช้กรดไฮโดรคลอริกในการตกตะกอน อาจเนื่องมาจากกรดไฮโดรคลอริกทำให้โมเลกุลโปรตีนเกิดการคลายเกลียวและแสดงส่วนของกรดแอมิ-โนที่ไม่ชอบน้ำ ซึ่งนำไปสู่การกระตุ้นให้เกิดการทำปฏิกิริยากันระหว่าง

ตารางที่ 27 ความสามารถในการเกิดอิมัลชันของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ

สารตกตะกอน	ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน(%)					
	ระดับความเข้มข้น (%)					
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	F*
KCl	62.33	59.67	59.33	60.67	60.00	a
NaCl	63.00	60.67	60.67	60.67	61.00	a
NH_4Cl	58.33	58.33	57.67	57.67	57.33	b
F*^{ns}						

หมายเหตุ * a,b.. ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งของตารางแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแนวตั้งของตารางไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

โปรตีนกับโปรตีนส่งผลให้เกิดการดูดซับบนเม็ดน้ำมันได้ดีขึ้นจึงเกิดอิมัลชันได้ดี (Dickinson and Matsumura, 1991) การเกิดเมื่อใช้สารตกตะกอนชนิดต่าง ๆ ร่วมด้วย พบว่าโพแทสเซียมคลอไรด์และโซเดียมคลอไรด์ให้ความสามารถในการเกิดอิมัลชันที่ระดับความเข้มข้นเดียวกันมีค่าใกล้เคียงกันและสูงที่สุดของการใช้สารตกตะกอน แต่ก็ยังต่ำกว่าการใช้กรดไฮโดรคลอริก ส่วนแอมโมเนียมคลอไรด์ให้ความสามารถในการเกิดอิมัลชันต่ำที่สุด ในด้านความเข้มข้นของสาร

ตกตะกอนที่ใช้ในการทดลองนี้ไม่มีผลต่อความความสามารถในการเกิดอิมัลชัน การที่จะสามารถเกิดอิมัลชันได้ดีหรือไม่นั้นเกี่ยวข้องกับพื้นที่ผิวหน้าของโปรตีนที่มีความสัมพันธ์กับความสามารถในการลดแรงตึงผิวระหว่างน้ำกับน้ำมันในอิมัลชัน ซึ่งสันนิษฐานว่าเกลือสามารถช่วยลดพื้นผิวหน้าของโปรตีนได้ด้วยเหตุนี้จึงทำให้แรงตึงที่ผิวหน้า (interfacial tension) เพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้การเกิดอิมัลชันลดลง

3.2.7 ผลของการใช้สารตกตะกอนต่อความคงตัวในการเกิดอิมัลชันของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียว

เมื่อพิจารณาการใช้สารตกตะกอนชนิดต่างๆ ร่วมกับการใช้กรดไฮโดรคลอริกที่มีผลต่อความคงตัวในการเกิดอิมัลชันขงผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียว จะพบว่าผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวที่ใช้สารตกตะกอนให้ความคงตัวในการเกิดอิมัลชันต่ำกว่าการไม่ใช้สารตกตะกอนเช่นเดียวกับความสามารถในการเกิดอิมัลชัน ชนิดสารตกตะกอนที่ให้ค่าความคงตัวในการเกิดอิมัลชันสูงคือ การใช้โซเดียมคลอไรด์และแอมโมเนียมคลอไรด์ ส่วนโพแทสเซียมคลอไรด์ให้ความคงตัวในการเกิดอิมัลชันไม่แตกต่างกันกับแอมโมเนียมคลอไรด์ แสดงในตารางที่ 28 ด้านความเข้มข้นของสารตกตะกอนจากผลทางสถิติพบว่าให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ความคงตัวในการเกิดอิมัลชันสูงสุดของการใช้สารตกตะกอนมีค่าประมาณ 58.33% การที่ใช้สารตกตะกอนทำให้ความคงตัวของอิมลชันลดลงแสดงว่าเกลืออาจมีผลทำให้เกิดการแยกออกของน้ำกับน้ำมันซึ่งกลไกนี้อาจเกิดจาก (1) การลดลงของแรงตึงผิว (2) รูปแบบความแข็งแรงของพื้นที่ผิวหน้าของฟิล์มโปรตีน (3) การเปลี่ยนแปลงของประจุ (McWatters and Cherry, 1981) นอกจากนี้เกลือยังอาจลดการผลักกันของประจุ (charge repulsion) ระหว่างโปรตีน และเพิ่มการรวมกันของส่วนที่ชอบน้ำที่บริเวณรอยต่อที่ผิวหน้า (Kinsella, 1979) และอาจนำไปสู่การเกาะกันเพิ่มขึ้นจนถึงขั้นหลอมรวมกัน (coalescence) (Parker, 1987) ซึ่งส่งผลให้ความคงตัวในการเกิดอิมัลชันลดต่ำลง นอกจากนี้ถ้าความเข้มข้นของสารตกตะกอนที่ใช้สูงเกินไปจะสามารถทำให้ความคงตัวของอิมัลชันลดลง เนื่องจากประจุที่เพิ่มขึ้นไปบดบังปฏิกิริยาระหว่างไฟฟ้าสถิต ระหว่างอนุภาคอิมัลชันซึ่งเดิมทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้อนุภาคอิมัลชันมาเข้าใกล้กัน ทำให้แรงผลักดังกล่าวไม่มากพอ จึงทำให้อิมัลชันเสียความคงตัวได้ (McClements, 1999)

ตารางที่ 28 ความคงตัวในการเกิดอิมัลชันของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ

สารตกตะกอน	ความคงตัวในการเกิดอิมัลชัน (%)					
	ระดับความเข้มข้น (%)					
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	F*
KCl	55.33	54.33	54.00	53.67	53.00	b
NaCl	58.33	57.00	56.67	55.67	55.67	a
NH_4Cl	55.67	55.00	55.00	55.33	55.33	ab
F^{*ns}						

หมายเหตุ * a,b.. ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งของตารางแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแนวตั้งของตารางไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

3.2.8 ผลของการใช้สารตกตะกอนต่อความคงตัวในการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียว

จากการตรวจสอบสมบัติในการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวที่ใช้สารตกตะกอนชนิดต่าง ๆ ร่วมกับกรดไฮโดรคลอริก พบว่าชนิดของสารตกตะกอนและความเข้มข้นมีผลต่อความสามารถในการเกิดเจล การเกิดเจลที่ไม่ใช้สารตกตะกอนหรือการใช้กรดไฮโดรคลอริกจะใช้ปริมาณความเข้มข้นของโปรตีนต่ำสุดในการเกิดเจลอยู่ที่ 15% ในขณะที่เมื่อใช้สารตกตะกอนบางชนิดจะทำให้ความสามารถในการเกิดเจลดีขึ้น เช่น การโซเดียมคลอไรด์ทำให้ความสามารถในการเกิดเจลดีที่สุดที่ระดับความเข้มข้น 0.5% คือให้ความสามารถในการเกิดเจลอยู่ที่ 8% โดยพบว่าเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้นทำให้การเกิดเจลดีขึ้น และรองลงมาคือโพแทสเซียมคลอไรด์ให้ความสามารถในการเกิดเจลคงที่ทุกระดับอยู่ที่ 14% ส่วนชนิดของสารตกตะกอนที่ให้ความสามารถในการเกิดเจลต่ำสุดคือแอมโมเนียมคลอไรด์ ดังในตารางที่ 29 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาเจลของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวที่ได้ ให้การเกิดเจลดีกว่าเจล

ตารางที่ 29 ความสามารถในการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ

สารตกตะกอน	ความสามารถในการเกิดเจล (% ความเข้มข้นของโปรตีนต่ำสุด) ระดับความเข้มข้น (%)					
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	F*
KCl	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	b
NaCl	12.00	10.00	10.00	9.00	8.00	c
NH_4Cl	16.50	15.00	16.00	16.00	16.00	a
F*	a	c	b	c	d	

หมายเหตุ * a,b,c.. ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งและแนวนอนของตารางแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

โปรตีนถั่วเขียวที่ใช้เกลือแคลเซียมคลอไรด์และแมกนีเซียมซัลเฟตในการตกตะกอน (น้ำทิพย์, 2547) ซึ่งทั้งนี้การเกิดเจลนั้นขึ้นกับ อุณหภูมิ ความเข้มข้นของโปรตีน ความเข้มข้นของเกลือ ความเข้มข้นของซัลไฟดริลอิสระ เป็นต้น (Kinsella, 1976) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับถั่วชนิดอื่น ความสามารถในการเกิดเจลยังต่ำกว่า เช่น pigeon pea ที่ใช้ความเข้มข้นของโปรตีน 2% ที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 0.25 % (Akintayo *et al*., 1999) ลักษณะของเจลที่ได้มีความทึบแสงมีสีขาวขุ่นไปจนถึงสีครีมขุ่น การจัดเรียงตัวของโมเลกุลโปรตีนภายในโครงสร้างเจลนั้นขึ้นอยู่กับอิทธิพลของเกลือที่มีต่อการทำปฏิกิริยากันของโปรตีน-โปรตีน (Foegeding *et al*., 1995) โดยที่ระดับความเข้มข้นต่ำ ๆ โครงสร้างมักเป็นเส้นใย แต่ถ้าความเข้มข้นของเกลือสูง ๆ โครงสร้างมีแนวโน้มเป็นลักษณะเฉพาะ ถ้าความเข้มข้นของเกลือปานกลางก็เป็นการผสมกันของโครงสร้างสองแบบ (Ikeda and Foegeding, 1999) สมบัติด้านการเกิดเจลของถั่วแต่ละชนิดนั้นมีความแตกต่างกันอาจเกี่ยวข้องกับอัตราส่วนของโปรตีน ปริมาณคาร์โบไฮเดรต และปริมาณไขมันและการทำปฏิกิริยากันของแต่ละองค์ประกอบ (Padilla *et al*., 1996)

สรุป

1. ถั่วเขียวมีองค์ประกอบทางเคมีดังนี้ ความชื้น 8.96% โปรตีน 27.75% ไขมัน 0.60% เถ้า 3.31% และ คาร์โบไฮเดรต 68.34%

2. สภาวะการผลิตที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียว คือ การปรับpHของสารละลายโปรตีนในการสกัดเป็น 9.5 ซึ่งจะให้ปริมาณโปรตีนสูงสุด คือ 86.34% ส่วนผลของการใช้สารตกตะกอนนั้นการใช้โซเดียมคลอไรด์จะให้ปริมาณโปรตีนสูงสุด คือ 86.08 %

3. ปริมาณผลผลิตโดยใช้การปรับpHในขั้นตอนการสกัดที่ให้ปริมาณผลผลิตสูงสุด คือ การปรับpH เป็น 9.5 ที่เวลาในการสกัด 90 นาที ได้ผลผลิต 20.23% ในขณะที่การใช้สารตกตะกอนโซเดียมคลอไรด์ให้ปริมาณผลผลิตสูงสุดเพียง 19.02%

4. การวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียว ได้แก่ ความสามารถในการละลายของไนโตรเจน ความสามารถในการอุ้มน้ำและดูดซับน้ำมัน ความสามารถในการเกิดฟองและความคงตัว ความสามารถในการเกิดอิมัลชันและความคงตัว และความสามารถในการเกิดเจล โดยสภาวะการผลิตที่ทำให้มีคุณสมบัติดีที่สุดดังนี้

4.1 ความสามารถในการละลายของไนโตรเจนสูงสุดที่สภาวะการผลิตที่มีการปรับ pH เป็น 9.0 มีค่าการละลาย 79.19% ด้านการใช้สารตกตะกอนใช้โซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.5% ให้ความสามารถในการละลายมีค่า 77.17%

4.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำสูงสุดที่สภาวะการสกัดที่มีการปรับpHเป็น 10.0 มีค่าการอุ้มน้ำ1.79 กรัมต่อกรัมโปรตีน ส่วนการใช้สารตกตะกอนให้ความสามารถในการอุ้มน้ำไม่แตกต่างกัน

4.3 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันสูงสุดที่การปรับpHในการสกัดเป็น 9.0 มีค่าการดูดซับน้ำมัน 1.42 กรัมต่อกรัมโปรตีน และการใช้โซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.1% .ให้การดูดซับน้ำมัน 1.37 กรัมต่อกรัมโปรตีน

4.4 ความสามารถในการเกิดฟองที่สภาวะการสกัดที่มีการปรับ pH เป็น 9.5 ที่เวลาในการสกัด 45 นาที มีความสามารถในการเกิดฟอง 101.00% ซึ่งน้อยกว่าการใช้สารตกตะกอนโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.5% ที่ให้ความสามารถในการเกิดฟอง 114.00%

4.5 ความสามารถในการเกิดอิมัลชันที่การปรับ pH ในการสกัดเป็น 9.0 ที่เวลาในการสกัดเป็นเวลา 30 นาทีมีความสามารถในการเกิดอิมัลชัน 97.00% ซึ่งมีค่าสูงกว่าการใช้สารตกตะกอนที่ให้ความสามารถในการเกิดอิมัลชันสูงสุด เพียง 63.00%

4.6 ความคงตัวในการเกิดอิมัลชันที่ดีที่สุดคือการสกัดที่ pH 4.5 และการใช้กรดไฮโดรคลอริกในการตกตะกอน

4.7 ความสามารถในการเกิดเจลที่สภาวะการปรับ pH ในการสกัดเป็น 10.0 ใช้ปริมาณความเข้มข้นของโปรตีนต่ำสุดในการเกิดเจลอยู่ที่ 14% ด้านการใช้สารตกตะกอนในการผลิตให้ความสามารถในการเกิดเจลที่ดีกว่าคือ การใช้โซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0.5 %ใช้ปริมาณความเข้มข้นของโปรตีนต่ำสุดที่ 8%

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

จินตนา อุปดิสสกุล, อรอนงค์ นัยวิกุล และสมชาย ประภาวัติ. 2538. **การใช้ประโยชน์จากถั่วเขียว**. รายงานการสัมนาเชิงปฏิบัติการงานวิจัยถั่วเขียว ครั้งที่ 6. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ณรงค์ นิยมวิทย์. 2538. **องค์ประกอบและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพของอาหาร**. บริษัท ฟอร์แมทพริ้นติ้ง จำกัด, กรุงเทพฯ. 237 น.

บุญยืน สาริกะภูมิ. 2522. **โปรตีน**. ภาควิชาชีวเคมี คณะแพทย์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 154 น.

น้ำทิพย์ วงศ์ประทีป. 2547. **การปรับปรุงกรรมวิธีการผลิตและสมบัติเชิงหน้าที่ของผลิตภัณฑ์โปรตีนจากถั่วเขียว**. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.กรุงเทพฯ. 207 น.

ปาริฉัตร หงสประภาส. 2545. **เคมีกายภาพของอาหาร คอลลอยด์ อิมัลชัน และเจล**. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย. 121 น.

ปราณี อ่านเปรื่อง. 2543**. เอนไซม์ทางอาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 3. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 442 น.

พงศ์สันต์ อรุณสินทวีพร. 2548. **การพัฒนาโปรตีนถั่วเขียวสำหรับใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ในผลิตภัณฑ์อาหาร**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 101 น.

เพิ่มพูน ศักดิ์เกษม. 2531. **ถั่วเขียว**. ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตร, กรุงเทพฯ. 72 น.

วรรณวิบูลย์ กาญจนกุญชร. 2527. การใช้โปรตีนถั่วเหลืองเป็นส่วนผสมแทนเนื้อสัตว์ในไส้กรอก. **วารสารเกษตรศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์.** 18(3): 162-164.

สมชาย จอมดวง. 2528. **การผลิตและการทดสอบลักษณะผลิตภัณฑ์โปรตีนจากถั่วเขียวและถั่วเหลือง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 116 น.

สมชาย ประภาวัติ. 2531. **การใช้ประโยชน์จากถั่วเขียว**. เอกสารประกอบการอบรมวิชาชีพประชาชนภาคฤดูร้อน. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2548. ถั่วเขียว : เนื้อที่ ผลผลิต ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ โดยรวมทั้งประเทศ ปี2544-2546. แหล่งที่มา :(http://www.doae.go.th/data/rice/greenNut.pdf), 2 ธันวาคม 2548.

อรอนงค์ นัยวิกุล, จิตธนา แจ่มเมฆ, อรพิน ภูมภมร และวุฒชัย นาครักษา. 2531. คุณสมบัติของสตาร์ชและโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวบางสายพันธุ์. **ว. เกษตรศาสตร์ (วิทย์.)** 22: 330-337.

Abdel-Aal, E.S.M., A.A. Shehata, E.A.R. Mahdy. and M.M Yorssef. 1986. Extractability and functional properties of some legume proteins isolated by three methods. **J. Sci. Food Agric.** 37: 553-559.

Adsule, R.N., S.S. Kadam and D.K. Salunkhe. 1970. Chemistry and technology of green gram (*Vigna radita* (L.) Wilczek). **CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutri**. 25:73-105.

Adsule, R.N. 1989. green gram pp. 65-89. *In* **Nutritional Chemistry, Processing Technology and Utilization**. CRC Press, Inc., New York.

Akintayo, E.T., A.A. Oshodi. and K.O. Esuoso. 1999. Effect of NaCl, ionic strength and pH on the foaming and gelation of pigeon pea (*Cajanus cajan*) protein concentrates. **Food Chem.** 66: 51-56.

Akpapunam, M. 1996. Mung bean (*Vigna radiata* (L) Wilczek), pp. 205-215. *In* E. Nwokolo and J. Smart, eds. **Food and Feed from Legumes and Oilseeds**. Chapman & Hall, New York.

Alschul, A.M.m and H.L. Wilke. 1985. **New Protein Foods Science and Technology**. Orlando, FL: Academic Press.

Anantraksakul, P. 1989. **Protein Recovery from Mungbean Vermicelli Industry by Ultrafiltration**. Asain Institue of Technology Thesis, Bangkok.

Anderson, R.L., W.J. Wolf. And D. Glover. 1973. Extraction of soybean meal proteins with salt solutions at pH 4.5. **J. Agric. Food Chem**. 21: 251-254.

Arogundade, L.A., M.O. Akinfenwa. and A.A. Salawu. 2004. Effect of NaCl and its partial or complete replacement with KCl on some functional properties of defatted *Colocynthis citrullus* L. seed flour. **Food Chem.** 84: 187-193.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2000. **Official Method of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 17th ed., Washington, D.C. Association of official Analytical Chemists.

Barbut, S. 1995. The effect of sodium level on microstructure and texture of whey protein isolate gels. **Food Research International** 28: 437-443.

Bressani, R. and L.G. Elias. 1974. Legume foods. *In* A.M. Altschul. ed. **New Protein Foods**. vol I. Academic Press, New York. p. 276.

Chan, W.M. and C.Y. Ma. 1999. Modification of proteins from soymilk residue (Okara) by trypsin. **J. Food Sci**. 64: 781-786.

Chavan, U.D., D.B. Mckenzie. and F. Shahidi. 2001. Functional properties of protein isolates from beach pea (*Lathyrus maritimus* L.). **Food Chem.** 74: 177-187.

Chavan, U.D., D.B. Mckenzie. and F. Shahidi. 2001. Protein classification of beach pea (*Lathyrus maritimus* L.) **Food Chem.** 75 : 145-153.

Cla1rk, A.H. 1998. Gelation of globular proteins. *In* S.E. Hill, D.A. Ledward and J.R. Mitchell, eds. **Functional Properties of Food Macromolecules**. 2nd ed. Aspen Publishers, Inc., Gaithersburg, Maryland

Coffman, C.W. and V.V. Garcia. 1977. Functional properties and amino acid content of protein isolate from mung bean flour. **J. Food Technol** (U.K.). 12: 473-485.

Cooney, C.M. 1974. A study of foam formation by whey proteins. **Diss. Abstr. Int.** 36(3) : 1123B.

Daisy, E.K. 1979. **Food Legumes**. London Tropical Products Institute.

Damodaran, S. 1996. Functional properties, pp.167-234. *In* S. Nakai and H.W. Modler, eds. **Food Proteins Properties and Characterization**. Wiely - VCH, New York.

Damodaran, S. 1996. Amino Acids, Peptides, and Proteins, pp. 321-430. *In* O.R. Fennema, ed. **Food Chem.** Marcel Dekker, Inc., New York.

Damodaran, S. and A. Paraf. 1997. **Food Protein and Applications**. Marcel Dekker, Inc. New York. 681 pp.

Dickinson, E. and Y. Matsumura. 1991. Time-dependent polymerization of β-lactoglobulin through disulfide bonds at the oil-water interface in emulsions. **Int. J. Biol. Macromol**. 13: 26-30

Drake, M.A., X.Q. Chen, S. Tamarapu and B. Leenanon. 2000. Soy protein fortification affects sensory, chemical and microbiological properties of dairy yogurt. **J. Food Sci.** 65: 1244-1247.

Duke, J.A. 1983. **Handbook of Legumes of World Economic Importance**. Plenum Press, New York. pp. 275-278

El-Adawy, T.A. 1996. Chemical, nutritional and function properties of mung bean protein isolated and concentrate. **Menofiya Journal of Agricutural Research**. 21: 657-672.

El-Adawy, T.A. 2000. Functional properties and nutritional quality of acetylated and succinylated mung bean protein isolate. **Food Chem.** 70: 83-91.

El-Adawy, T.A., E.H. Rahma, A.A. El-Bedawey and A.F. Gafar. 2001. Nutritional potential and functional properties of sweet and bitter lupin seed protein isolates. **Food Chem.** 74 : 455-462.

Evans, R.J. and S.L. Bandemer 1967. Nutritition value of legume seed proteins. **J. Agric. Food Chem**. 15: 439-443

Ferry, J.D. 1961. **Viscoelastic Properties of Polymers**. 3rd ed. Wiely, New York. 672 pp.

Fidantsi, A. and G. Doxastakis. 2001. Emulsifying and foaming properties of amaranth seed protein isolates. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**. 21: 119-124.

Foegeding, E.A., B.L. Bowland and C.C. Hardin.. 1995. Factors that determine the fracture properties and microstructure of globular protein gels. **Food Hydrocolloids** 9: 237-249.

Friedman, M. 1996. Nutritional value of proteins from different food sources. A review **J. Agric. Food Chem.** 44: 6-29.

Haard, N.F. and Chism, G.W. 1996. Characteristics of edible plant tissue, pp. 943-1011. *In* O.R. Fennema, ed. **Food Chem.** 3rd ed; Marcel Dekker, Inc., New York.

Hamada, J.S. 1997. Characterization of protein fractions of rice bran to devise effective methods of protein solubilization. **Cereal Chem**. 74: 662-668.

Hermansson, A.M. 1986. Water and fat holding, p. 273. *In* J.R. Mitchell and D.A. Leward, eds. **Functional Properties of Food Macromolecules** . Elsevier Applied Science. Publishing, London and New York.

Hung, S.C. and Zayas, J.F. 1991. Emulsifying capacity and emulsion stability of milk proteins and corn germ protein flour. **J. Food Sci**. 56: 1216-1223.

Ikeda, S., E.A. Foegeding and T. Hagiwara. 1999. Rheological stuudy on the fractal nature of the protein gel structure. **Langmuir**. 15: 8584-8589.

Khalid, E.K., E.E. Babiker and A.H. El Tinay. 2003. Solubility and functional properties of sesame seed proteins as influenced by pH and/or salt concentration. **Food Chem.** 82: 361-366.

Kinsella, J.E. 1976. Functional properties of protein in foods : A survey. Critical Review. **Food Sci. and Nutri**. 7: 219-280.

Kinsella, J.E. 1979. Functional properties of soy proteins. **J. Am. Oil Chem. Soc**. 56 : 242-258.

Kinsella, J.E., S. Damandodaran, and J.B. German. 1985. Physico-chemical and functional properties of oilseed proteins with emphasis on soy protein, p. 108. *In* A.M. Altschul and H.L. Wilcke, eds. **New Protein Food: Seed Storage Proteins**. Academic Press, New York.

Knorr, D. 1982. Effects of recovery methods on the functionality of protein concentrates from food processing wastes. **J. Food Proc. Eng.** 5: 215-230.

Kron, K.S., D. Bae, K.H. Park. and K.C. Rhee. 1996. Aqueous extraction and membrane techniques improve coconut protein concentrates functionality. **J. Food Sci**. 61: 753-756.

Lawal, O.S. 2004. Functionality of African locust bean (*Parkia biglobossa*) protein isolate: effects of pH, ionic strength and various protein concentrations. **Food Chem.** 86: 345-355.

Lqari, H., J. Vioque, J. Pedroche. and F. Millán. 2002. *Lupin angustifolius* protein isolates: chemical composition, functional properties and protein characterization. **Food Chem**. 76: 349-356.

Liceaga-Gesualdo, A.M. and E.C.Y. Li-Chan. 1999. Functional properties of fish protein hydrolysate from herring (*Clupea harengus*). **J. Food Sci**. 64: 1000-1004.

McClements, D.J. 1999**. Food Emulsions: Principles, Practice, and Techniques**. CRC Press LLC, New York. 378 pp.

McWatters, K.H. and J.P. Cherry. 1981. Emulsification: vegetable proteins. p. 217 *In* J.P. Cherry, ed. **Protein Functionality in Foods**, A.C.S. Symposium Series 147, American Chemical Society, Washington DC.

Mendoza, E.M.T., M. Adachi, A.E.N. Bernardo and S. Utsumi. 2001. Mungbean (*Vigna Radiata* (L.) Wilczek) globulin: Purification and characterization. **J. Agric. Food Chem**. 49: 1552-1558.

Milewski, S. 2001. Protein structure and physicochemical properties. pp. 35-55. *In* Z. E. Sikorski, ed. **Chemical & Functional Properties of Food Proteins**. Technomic Publishing Company, Inc., Lancaster Pensyivania.

Mitchell, J.E. 1976. Foaming and emulsifying properties of proteins. pp. 291-338. *In* B.J.F. Hudson ed. **Development in Food Protein**-4. Elsevier Applied Science Publishers, London.

Mizrahi, S., G. Zimmerman, Z. Berk and U. Cogen. 1967. The use of isolated proteins in bread. **Cereal Chem**. 44: 193-203.

Mutilangi, W.A.M., D. Panyam and A. Kilara. 1996. Functional properties of hydrolysates from proteolysis of heat denatured whey protein isolate. **J. Food Sci**. 61: 270-274, 303

Mwasaru, M.A., K. Muhammd, J. Bakar and Y.B. Che Man. 1999a. Effects of isolation technique and conditions on the extractability, physicochemical and function properties of pigeonpea (*Cajanus cajan*) and cowpea (*Vigna unguiculata*) protein isolates. I. Physicochemical properties. **Food Chem.** 67: 435-443.

_____ . 1999b. Effects of isolation technique and conditions on the extractability, physicochemical and function properties of pigeonpea (*Cajanus cajan*) and cowpea (*Vigna unguiculata*) protein isolates. II. Functional properties. **Food Chem.** 67: 445-452.

Nakai, S. 1983. Structure-function relationships of food proteins with an emphasis on the importance of protein hydrophobicity. **J. Agric. Food Chem.** 31: 676-683.

Oshodi, A.A. and E. Ojokan. 1977. Effect of salts of the functional properties of bovine plasma protein concentrate. **Food Chem.** 59: 333-338.

Padilla, F.C., M.T. Alvarez. And M.J. Alfaro. 1996. Functional properties of barinas nut flour (*Caryodendron orinocense Karst., Euphorbiaceae*) compared to those of soyabean. **Food Chemistry** 57: 191-196.

Papavergou, E.J., J.G. Bloukas. and G. Doxastakis. 1999. Effect of lupin seed proteins on quality characteristics of fermented sausages. **Meat Science**. 52 : 421-427.

Pardes-López, O., C. Ordorica-Falomir and M.R. Olivares-Vázquez. 1991. Chickpea protein isolates: physicochemical, functional and nutritional characterization. **J. Food Sci.** 56: 726-729.

Parker, N.S. 1987. Properties and functions of stabilizing agents in food emulsions. **Crit. Rev. Food Sci. Nutr**. 25: 112-120.

Phillips, R.D. and L.R. Beuchat. 1981. Enzyme modification of proteins, pp. 275-310 *In* J.P. Cherry, ed**. Protein Functionality in Foods**, A.C.S. Symposium Series 147, American Chemical Society, Washington, DC.

Pomeranz, Y. 1991. **Functional Properties of Food Components**. Academic Press, San Diego.

Pozani, S., G. Doxastakis. and V. Kiosseoglou. 2002. Functionality of lupin seed protein isolate in relation to its interfacial behaviour. **Food Hydrocolloids** 16: 241-247.

Prins, A. 1988. Foam. pp. 91-122. *In* E. Dickinson and G. Staiansby, **Advances in Food Emulsions and Foams** London, New York: Elsevier Science.

Purseglove, J.W. 1997. **Tropical Crops: Dicotyledons**, Vol 1 and Vol 2. The English Language Book Society and Long man Publishers, London.

Quinn, J.R. and D. Paton. 1979. A practical measurement of water hydration capacity of protein materials. **Cereal chemistry** 56(1): 38-40.

Ragab, D.M., E.E. Babiker. and A.H. Eltinay. 2004. Fractionation, solubility and functional properties of cowpea (*Vigna unguiculata*) proteins as affected by pH and/ or salt concentration. **Food Chem.** 84: 207-212.

Regenstein, J.M. 1984. **Food Protein Chemistry an Introduction for Food Scientists**. Academic Press, Orlando.

Richert, S.H., C.V. Morr and C.M. Cooney. 1974. Effect of heat and other factors upon foaming properties of whey protein concentrates. **J. Food Sci.** 42-48.

Sathe, S.K. and D. X. Salunkhe. 1981. Functional properties of great northern bean (*Phaseolus vulgaris* L.) proteins: emulsion, viscosity, and gelation properties. **J. Food Sci**. 46: 71-74.

Sánchez-Vioque, R., A. Clemente, J. Vioque, J. Bautista, F. Millan. 1999. Protein isolates from chickpea (*Cicer arietinum* L.): chemical composition, functional properties and protein characterization. **Food Chem.** 64: 237-243.

Shen, J. L. 1981. Solubility and viscosity. *In* **Protein Functioanality in Foods**, ed. J.F. Cherry. A.C.S. Symposium Series 147, American Chemical Society, Washington DC, p 89-109.

Shimada, K. and S. Matsushita. 1980. Relationship between thermocoagulation of protein and amino acid compositions. **J. Agric. Food Chem**. 28: 413-417

Sosulski, F. 1976. Functional properties of rapeseed flours, concentrates and isolate. **J. Food Sci**. 41: 1349-1352.

Sumner, A.K., M.A. Nielsen and C.G. Youngs. 1981. Production and evaluation of pea protein isolate. **J. Food Sci**. 46: 364-372.

Swift, C.E. and W.L. Sulzbacher. 1963. Comminuted meat emulsions: factors affecting meat protein as emulsion stabilizers. **Food Technol.** 17: 224.

Sze-Tao, K.W.C. and S. K. Sathe. 2000. Functional properties and in vitro digestibility of almond (*Prunus dulcis* L.) protein isolate. **Food Chem.** 69 : 153-160.

Tang, C., Y. Jiang, Q. Wen and X. Yang. 2005. Effect of transglutaminase treatment on the properties of cast films of soy protein isolates. **J. Biotech**. 120: 296-307.

Thompson, I.U., L. Hung, N. Wang, V. Rapser and H. Gade. 1977. Preparation of mung bean flour and its application in bread making. **Canadian Institute of Food Science and Technology Journal** 9: 1-7.

Tjahjadi, C., S. Lin and W.M Breen. 1988. Isolation and characterization of adzuki bean (*Vigna angularis cv Takara*) proteins. **J. Food Sci**. 53: 1438-1443.

Tsaliki, E., S. Pegiadou and G. Doxastakis. 2004. Evaluation of the cottonseed protein isolates. **Food Hydrocolloids**. 18: 631-637.

Uken, S., S. Soetrisno and H. ZoeAnn. 1992. Protein yields and characteristics from acid and salt coagulationas of yellow pea (*Pisum sativum* L. Miranda) flour extractions. **J. Agric. Food Chem**. 40: 970-974.

Vioque, J., R. Sanchez-Vioque, A. Clemente, J. Pedroche and E. Millan. 2000. Partially hydrolyzed rapeseed protein isolates with improved functional properties. **J. Am. Oil Chem. Soc**. 77: 447-450.

Volkert, M.A. and B.P. Klein. 1979. Protein dispersibility and emulsion characteristics of flour soy products. **J. Food Sci.** 44: 93.

Wang, J.C. and J. E. Kinsella. 1976. Functional properties of novel protein: alfafa leaf protein. **J. Food Sci**. 41: 286-292.

Weir, G.S.D. 1986. Protein hydrolysates as flavourings. pp. 175-217. *In* Hudson, B.J.F. ed. **Development in Food Protein**-4. Elsevier Applied Science Publishers, London.

Weiser, H.B. 1946. **Colloid Chemistry**. John Wiley & Sons, New York.

Were, I., N.S. Hettiarachchy, and U. Kalapathy. 1997. Modified soy protein with improved foaming and water hydration properties. **J. Food Sci**. 62 (4): 821-823.

Whitaker, J.R. 1972. **Principles of Enzymology for the Food Science**. Marcel Dekker, New York.

Wolf, W.J. 1977. Legumes : Seed Composition and Structure, Processing into Protein Products and Protein properties. *In* Whitaker, J.K. and S.R. Tannenbaun (eds.) 1977. **Food Proteins**. AVI publishing Company, Inc., Westport, Connecticut .

Wong, D.W.S. 1989. **Mechanical and Theory in Food Chem.** Van Nostrand Reinhold, NewYork.

Yasumatsu, K., K. Sawada, S. Moritaka, M. Misaki, J. Tada, T. Wada and K. Ishiss. 1972. Whipping and emulsifying properties of soybean products. **Agric. Biol. Chem.** 36: 719-727.

Zayas, J.F. 1997. **Functionality of Proteins in Food**. Springer-Verlag, Berlin , Germany.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

1. <u>ความชื้น</u>

โดยวิธี AOAC 32.1.03 (2000) ชั่งตัวอย่าง 2 กรัม (น้ำหนักแน่นอน) ใส่ในภาชนะอะลูมิเนียมสำหรับหาความชื้นที่ทราบน้ำหนักแน่นอน นำไปอบที่อุณหภูมิ 130 $\pm$ 3 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง จากนั้นนำออกใส่ในภาชนะกันความชื้น (desiccator) ทิ้งให้เย็น ชั่งน้ำหนักและจดบันทึก คำนวณหา %ความชื้น

2. <u>เถ้า</u>

โดยวิธี AOAC 32.2.09 (2000) ชั่งตัวอย่าง 2 กรัม (น้ำหนักแน่นอน) ใส่ในภาชนะสำหรับหาเถ้า (crucible) ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน นำตัวอย่างในภาชนะไปเผาให้หมดควัน แล้วจึงนำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 550-600 องศาเซลเซียสนาน 2 ชั่วโมงหรือจนเถ้ามีสีขาว-เทา และนำออกมาใส่ในภาชนะกันความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็น ชั่งน้ำหนักและจดบันทึก คำนวณหา%เถ้า

3. <u>ไขมันและน้ำมัน</u>

โดยวิธี AOAC 41.1.50 (2000) ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการอบจนน้ำหนักคงที่แล้วที่อุณหภูมิ 130 $\pm$ 3 องศาเซลเซียสประมาณ 2 กรัม แล้วนำไปวิเคราะห์หาไขมันด้วยเครื่อง soxtec appa ใช้เวลาสกัดไขมันด้วยปิโตรเลียมอีเธอร์ นาน 20 นาที เวลารินด้วยปิโตรเลียมอีเธอร์นาน 30 นาทีและระเหยปิโตรเลียมอีเธอร์นาน 10 นาที จากนั้นนำภาชนะสำหรับหาไขมันไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 $\pm$ 3 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที แล้วนำออกมาใส่ในภาชนะกันความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็น ชั่งน้ำหนักและจดบันทึกคำนวณหา %น้ำมันและไขมัน

4. <u>โปรตีน</u>

โดยวิธี AOAC 32.1.22 (2000) ชั่งตัวอย่าง 0.1-0.2 กรัม (น้ำหนักแน่นอน) ใส่ในหลอด Kjedahl ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมโปแตสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) 10 กรัม และคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4.5H_2O$) 0.5 กรัม และเติมกรดซัลฟุริคเข้มข้น (H_2SO_4) 18-25 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปย่อยจนได้สารละลายสีฟ้าใส ทิ้งไว้ให้เย็น เติมน้ำกลั่น 75 มิลลิลิตร นำไปกลั่นโดยเติมโซเดียมไฮดรอก

ไซด์เข้มข้น 32% ปริมาตร 60 มิลลิลิตร และใช้สารละลายกรดบอริคเข้มข้น 4% ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ที่เติม indicator 2-3 หยด รองรับสิ่งกลั่น กลั่นจนได้สิ่งกลั่นประมาณ 100 มิลลิลิตร นำสิ่งกลั่นที่ได้ไปไตเตรทด้วย 0.1 HCl จนได้สารละลายสีใส ทำแบลงค์เช่นเดียวกับตัวอย่าง คำนวณในรูป

$$\%\text{โปรตีน} = [(A-B)(N)(1.4)(6.25)]/W$$

โดย A = ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของกรดซัลฟุริกที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง

B = ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของกรดซัลฟุริกที่ใช้ไตเตรทกับแบลงค์

N = จำนวนนอร์มัลของกรดซัลฟุริก

W = น้ำหนักของตัวอย่าง

5. <u>คาร์โบไฮเดรตและอื่นๆ</u>

ใช้วิธีคำนวณโดยนำองค์ประกอบอื่นๆ ได้แก่ ความชื้น เถ้า ไขมัน และโปรตีน มารวมกันในรูป % แล้วหักลบออกจาก 100 จะได้ปริมาณ %คาร์โบไฮเดรตและอื่นๆ

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่และคุณภาพของผลิตภัณฑ์โปรตีน

การวิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่และคุณภาพของผลิตภัณฑ์โปรตีน

1. <u>สมบัติการละลาย</u> (nitrogen solubility: NS)

ทดสอบการละลายของไนโตรเจน ซึ่งดัดแปลงจาก Chavan *et al*. (2001) ดังต่อไปนี้ คือ ชั่งตัวอย่าง 5 กรัม ให้ได้น้ำหนักแน่นอน ละลายน้ำกลั่น 200 ลูกบาศ์กเซนติเมตร เขย่าผสมที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาทีนานต่อเนื่อง 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำส่วนผสมเข้าเครื่องเหวี่ยงแยกแบบควบคุมอุณหภูมิ Sorvall RC 28S ด้วย rotor ขนาด F16/250 ที่ความเร็ว 3,781 x g อุณหภูมิ 28 ^{O}C เป็นเวลา 10 นาที นำส่วนใสไปหาปริมาณไนโตรเจนโดยวิธี Micro-Kjeldahl แล้วคำนวณการละลายของไนโตรเจน (NS) ตามสูตร

$$\% \text{ NS} = \frac{\text{ไนโตรเจนส่วนที่ละลายในน้ำ (กรัม)}}{\text{ไนโตรเจนทั้งหมดในตัวอย่าง 5 กรัม}} \times 100$$

2. <u>ความสามารถในการเกิดอิมัลชันและความคงตัว</u> (emulsion activity and stability: EA, ES)

emulsion activity และ emulsion stability ดัดแปลงจากวิธีของ Mutilangi *et al*. (1996) ละลายโปรตีนโดยให้มีความเข้มข้นของผงโปรตีน 1.0% (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) นำสารละลายโปรตีนมา 30 มิลลิลิตร เติมน้ำมันถั่วเหลือง 20 มิลลิลิตร ทำให้เกิดอิมัลชันโดยการโฮโมจิไนซ์ด้วยเครื่อง Ultra Turrax T-25 ที่ 13,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเทอิมัลชันใส่กระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร วัดค่าปริมาณของสารละลายโปรตีนที่ถูกแยกตัวออกมาเมื่อตั้งอิมัลชันทิ้งไว้ 60 นาที และหาค่าความคงตัวหลังจากทิ้งไว้ 3 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง คำนวณหา % ของอิมัลชันที่เหลืออยู่จากสูตร

$$\%\text{EA และ }\%\text{ES} = \frac{\text{(ปริมาณสารละลายโปรตีนและปริมาณสารละลายทั้งหมดในอิมัลชัน – น้ำมันที่หลีกออกจากอิมัลชัน)}}{\text{ปริมาณสารละลายทั้งหมดในอิมัลชัน}} \times 100$$

3. <u>ความสามารถในการอุ้มน้ำ</u> (water holding capacity: WHC)

ตรวจสอบโดยดัดแปลงจากวิธีการของ Quinn and Paton (1979) โดยใช้ตัวอย่างโปรตีน 1 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex meter ที่ความเร็วสูงสุดนาน 1 นาที ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที นำเข้าเครื่องเหวี่ยงแยกแบบควบคุมอุณหภูมิ Sorvall RC 28S ด้วย rotor ขนาด F28/36 ที่ความเร็ว 8,175 x g อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที รินส่วนใสทิ้งแล้วเอียงให้สะเด็ดน้ำประมาณ 15 นาที ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่เหลือ คำนวณสมบัติการจับกับน้ำจากสูตรดังนี้

$$\text{WHC (g/g)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเหวี่ยงเป็นกรัม}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้นเป็นกรัม}}$$

4. <u>ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน</u> (oil binding capacity: OBD)

ตรวจสอบโดยดัดแปลงจากวิธีการของ Sosulski (1976) โดยนำตัวอย่างโปรตีน 1 กรัม ผสมกับน้ำมันถั่วเหลืองบริสุทธิ์ 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex meter ที่ความเร็วสูงสุด นาน 1 นาที ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที นำเข้าเครื่องเหวี่ยงแยกแบบควบคุมอุณหภูมิ Sorvall RC 28S ด้วย rotor ขนาด F28/36 ที่ความเร็ว 8,175 x g อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่เหลือคำนวณสมบัติการจับกับน้ำมันจากสูตรดังนี้

$$\text{OBC (g/g)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเหวี่ยงเป็นกรัม}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้นเป็นกรัม}}$$

5. <u>สมบัติการเกิดฟองและความคงตัว</u> (Foaming activity and stability: FA, FS)

การเกิดฟอง รายงานเป็นค่า Foaming activity และ Foaming stability (ดัดแปลงจากวิธีของ Liceaga-Gesualdo and Li-Chan (1999)) เตรียมสารละลายโปรตีนปริมาตร 50 มิลลิลิตร โดยให้มีตัวอย่างผงโปรตีน 30 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปรับ pH เป็น 6.5 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1.0 นอร์มัล จากนั้น นำมาใส่ในเครื่องปั่น (waring blender) และปั่นผสมที่ความเร็วระดับ 4 เป็นเวลา 3 นาที ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้น เทใส่กระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร อย่างช้าๆ วัดปริมาตรของโฟมและรายงานเป็นค่า % Foam activity โดย

$$\% FA = \frac{\text{ปริมาตรของฟองหลังตีปั่น - ปริมาตรทั้งหมดก่อนตีปั่น}}{\text{ปริมาตรทั้งหมดก่อนตีปั่น}} \times 100$$

ความคงตัวของการเกิดฟองตรวจสอบจากการตั้งฟองทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องหลังจากการตีปั่นเป็นเวลา 30 นาที และรายงานเป็นค่า % Foam remaining stability โดย

$$\% FS = \frac{\text{ปริมาตรของฟองที่เหลืออยู่หลังตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที}}{\text{ปริมาตรของฟองเริ่มต้นทั้งหมด}} \times 100$$

6. <u>สมบัติการเกิดเจล</u> (Gelation)

ตรวจสอบการเกิดเจลตามวิธีของ Coffmann and Garcia (1977) โดยเตรียมตัวอย่างโปรตีนความเข้มข้น 2%ถึง 20% โดยประมาณ ปิเปตใส่หลอดทดลองหลอดละ 5 ลูกบาศ์กเซนติเมตร นำไปต้มในน้ำเดือด 30 นาที แล้วทำให้เย็นทันทีจากนั้นนำไปแช่ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตรวจสอบระดับความเข้มข้นต่ำสุดของผลิตภัณฑ์โปรตีนที่เกิดเจลได้โดยไม่มีของเหลวแยกตัวออกมา

ภาคผนวก ค
การวิเคราะห์ทางสถิติ

<u>ตารางผนวกที่ ค1</u> การวิเคราะห์ความแปรปรวนองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่ pH และเวลาต่าง ๆ

ความชื้น

SOV	DF	SS	MS	F Value	Sig
pH	4	0.680	0.170	1.473	0.248
Time	3	2.938	0.979	8.485	0.001
pH*Time	12	0.917	$7.64x10^{-2}$	0.662	0.766
Error	20	2.309	0.115		
Total	39	6.844			

โปรตีน

SOV	DF	SS	MS	F Value	Sig
pH	4	112.061	28.015	16.874	0.000
Time	3	11.553	3.851	2.320	0.106
pH*Time	12	0.827	6.893x10-2	0.42	1.000
Error	20	33.206	1.660		
Total	39	157.647			

ไขมัน

SOV	DF	SS	MS	F Value	Sig
pH	4	$3.816x10^{-3}$	$9.652x10^{-4}$	0.244	0.910
Time	3	$7.711x10^{-4}$	$2.570x10^{-4}$	0.065	0.978
pH*Time	12	$3.753x10^{-3}$	$3.128x10^{-4}$	0.079	1.000
Error	20	$7.898x10^{-2}$	$3.949x10^{-3}$		
Total	39	$8.763x10^{-2}$			

เถ้า

SOV	DF	SS	MS	F Value	Sig
pH	4	0.150	$3.739x10^{-2}$	0.864	0.502
Time	3	0.126	$4.188x10^{-2}$	0.968	0.427
pH*Time	12	0.794	$6.620x10^{-2}$	1.530	0.193
Error	20	0.864	$4.325x10^{-2}$		
Total	39	1.935			

คาร์โบไฮเดรต

SOV	DF	SS	MS	F Value	Sig
pH	4	115.629	28.907	16.559	0.000
Time	3	12.236	4.079	2.336	0.104
pH*Time	12	2.151	0.179	0.103	1.000
Error	20	34.914	1.746		
Total	39	164.930			

ตารางผนวกที่ ค2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ

ความชื้น

SOV	DF	SS	MS	F Value	Sig
Salt	2	5.378	2.689	5.555	0.016
Conce	4	0.846	0.211	0.437	0.780
Salt*Conce	8	2.605	0.326	0.673	0.708
Error	15	7.261	0.484		
Total	29	16.089			

โปรตีน

SOV	DF	SS	MS	F Value	Sig
Salt	2	29.651	14.825	3.050	0.077
Conce	4	5.331	1.333	0.274	0.890
Salt*Conce	8	34.012	4.252	0.875	0.558
Error	15	72.906	4.860		
Total	29	141.899			

ไขมัน

SOV	DF	SS	MS	F Value	Sig
Salt	2	0.359	0.179	25.898	0.000
Conce	4	3.218×10^{-2}	8.045×10^{-3}	1.162	0.366
Salt*Conce	8	0.376	4.696×10^{-2}	6.783	0.001
Error	15	0.104	6.923×10^{-3}		
Total	29	0.870			

เถ้า

SOV	DF	SS	MS	F Value	Sig
Salt	2	2.167	1.084	3.847	0.045
Conce	4	1.527	0.382	1.355	0.296
Salt*Conce	8	1.931	0.241	0.857	0.571
Error	15	4.226	0.282		
Total	29	9.852			

คาร์โบไฮเดรต

SOV	DF	SS	MS	F Value	Sig
Salt	2	16.379	8.190	1.807	0.198
Conce	4	9.125	2.281	0.503	0.734
Salt*Conce	8	37.328	4.666	1.030	0.456
Error	15	67.982	4.532		
Total	29	130.814			

ตารางผนวกที่ ค3 การวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่ pH และเวลาต่าง ๆ

SOV	DF	SS	MS	F Value	Sig
pH	4	9.385	2.346	6.584	0.000
Time	3	0.410	0.137	0.383	0.002
pH*Time	12	2.176	0.181	0.509	0.885
Error	20	7.127	0.356		
Total	39	19.097			

ตารางผนวกที่ ค4 การวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ

SOV	DF	SS	MS	F Value	Sig
Salt	2	24.329	12.165	8.455	0.03
Conce	4	5.557	1.389	0.966	0.455
Salt*Conce	8	0.992	0.124	0.086	0.999
Error	15	21.581	1.439		
Total	29	52.460			

ตารางผนวกที่ ค5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการละลายของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่ pH และเวลาต่าง ๆ

SOV	DF	SS	MS	F Value	Sig
pH	4	722.34	180.586	300.680	0.000
Time	3	229.623	76.541	127.443	0.000
pH*Time	12	40.438	3.370	5.611	0.000
Error	20	12.012	0.601		
Total	39	1004.416			

ตารางผนวกที่ ค6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่ pH และเวลาต่าง ๆ

SOV	DF	SS	MS	F Value	Sig
pH	4	0.543	0.136	11.603	0.000
Time	3	0.194	6.471×10^{-2}	5.527	0.006
pH*Time	12	0.376	3.131×10^{-2}	2.674	0.025
Error	20	0.234	1.171×10^{-2}		
Total	39	1.347			

ตารางผนวกที่ ค7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่ pH และเวลาต่าง ๆ

SOV	DF	SS	MS	F Value	Sig
pH	4	$9.109x10^{-2}$	$2.277x10^{-2}$	21.272	0.000
Time	3	$1.221x10^{-2}$	$4.070x10^{-3}$	3.801	0.026
pH*Time	12	$2.054x10^{-2}$	$1.712x10^{-3}$	1.599	0.171
Error	20	$2.141\ x10^{-2}$	$1.071x10^{-3}$		
Total	39	0.145			

ตารางผนวกที่ ค8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการเกิดฟองของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่ pH และเวลาต่าง ๆ

SOV	DF	SS	MS	F Value	Sig
pH	4	220.511	55.128	19.305	0.000
Time	3	41.456	13.819	4.839	0.011
pH*Time	12	29.267	2.439	0.854	0.601
Error	20	57.111	2.856		
Total	39	348.344			

ตารางผนวกที่ ค9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความคงตัวในการเกิดฟองของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่ pH และเวลาต่าง ๆ

SOV	DF	SS	MS	F Value	Sig
pH	4	192.285	48.071	21.540	0.000
Time	3	37.452	12.484	5.594	0.006
pH*Time	12	29.142	2.428	1.088	0.419
Error	20	44.635	2.232		
Total	39	303.513			

ตารางผนวกที่ ค10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการเกิดอิมัลชันของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่ pH ระดับต่าง ๆ

SOV	DF	SS	MS	F Value	Sig
pH	4	547.289	136.822	96.203	0.000
Time	3	250.044	83.348	58.604	0.000
pH*Time	12	82.844	6.904	4.854	0.001
Error	20	28.44	1.422		
Total	39	908.622			

ตารางผนวกที่ ค11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความคงตัวในการเกิดอิมัลชันของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่ pH ระดับต่าง ๆ

SOV	DF	SS	MS	F Value	Sig
pH	4	80.778	20.194	12.534	0.000
Time	3	9.456	3.152	1.956	0.153
pH*Time	12	19.044	1.587	0.985	0.494
Error	20	32.222	1.611		
Total	39	141.50			

ตารางผนวกที่ ค12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวในการสกัดที่ pH และเวลาต่าง ๆ

SOV	DF	SS	MS	F Value	Sig
pH	4	6.011	1.503	541.000	0.000
Time	3	0.119	3.981×10^{-2}	14.333	0.000
pH*Time	12	0.478	3.981×10^{-2}	14.333	0.000
Error	20	5.556×10^{-2}	2.778×10^{-3}		
Total	39	6.664			

ตารางผนวกที่ ค13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการละลายของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ

SOV	DF	SS	MS	F Value	Sig
Salt	2	57.572	28.786	2.715	0.099
Conce	4	287.602	71.900	6.782	0.003
Salt*Conce	8	107.741	13.468	1.270	0.328
Error	15	159.034	10.602		
Total	29	611.948			

ตารางผนวกที่ ค14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ

SOV	DF	SS	MS	F Value	Sig
Salt	2	0.181	9.047×10^{-2}	2.761	0.095
Conce	4	0.195	4.872×10^{-2}	1.487	0.256
Salt*Conce	8	4.975×10^{-2}	6.218×10^{-3}	0.190	0.988
Error	15	0.492	3.277×10^{-2}		
Total	29	0.917			

ตารางผนวกที่ ค15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ

SOV	DF	SS	MS	F Value	Sig
Salt	2	0.224	0.112	9.917	0.002
Conce	4	0.529	0.132	10.835	0.000
Salt*Conce	8	0.296	3.698×10^{-2}	3.031	0.031
Error	15	0.183	1.220×10^{-2}		
Total	29	1.232			

ตารางผนวกที่ ค16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการเกิดฟองของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ

SOV	DF	SS	MS	F Value	Sig
Salt	2	1308.864	654.432	386.880	0.000
Conce	4	127.111	31.778	18.786	0.000
Salt*Conce	8	75.924	9.491	5.611	0.002
Error	15	25.373	1.692		
Total	29	1537.273			

ตารางผนวกที่ ค17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความคงตัวในการเกิดฟองของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ

SOV	DF	SS	MS	F Value	Sig
Salt	2	2133.560	1066.780	28.337	0.000
Conce	4	245.204	61.301	1.628	0.219
Salt*Conce	8	89.693	11.212	0.298	0.956
Error	15	564.687	37.646		
Total	29	3033.143			

ตารางผนวกที่ ค18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการเกิดอิมัลชันของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียว โดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ

SOV	DF	SS	MS	F Value	Sig
Salt	2	60.563	30.282	9.125	0.003
Conce	4	15.348	3.837	1.156	0.369
Salt*Conce	8	5.807	0.726	0.219	0.982
Error	15	49.779	3.319		
Total	29	131.498			

ตารางผนวกที่ ค19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความคงตัวในการเกิดอิมัลชันของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียว โดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ

SOV	DF	SS	MS	F Value	Sig
Salt	2	33.867	16.933	5.149	0.020
Conce	4	11.407	2.852	0.867	0.506
Salt*Conce	8	4.948	0.619	0.188	0.989
Error	15	49.334	3.289		
Total	29	99.556			

ตารางผนวกที่ ค20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเขียวโดยใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ

SOV	DF	SS	MS	F Value	Sig
Salt	2	194.867	97.433	2923.000	0.000
Conce	4	7.867	1.967	59.000	0.000
Salt*Conce	8	12.133	1.517	45.500	0.000
Error	15	0.500	3.333x10-2		
Total	29	215.367			

ประวัติการศึกษา

ชื่อ	:	นางสาวฐิติพร แก้วอัมพร
วัน เดือน ปีเกิด	:	11 พฤศจิกายน 2522
ประวัติการศึกษา	:	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีอาหาร) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	:	ทุนอุดหนุนและส่งเสริมวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท-เอก บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2547