

การเพิ่มมูลค่าถั่วมะแฮะในกระบวนการผลิตเต้าหู้

สารนิพนธ์  
ของ  
จกจินต์ เทียงน้อย

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา  
เมษายน 2552

การเพิ่มมูลค่าถั่วมะแฮะในกระบวนการผลิตเต้าหู้

สารนิพนธ์

ของ

จงจิณต์ เทียงน้อย

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา

เมษายน 2552

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การเพิ่มมูลค่าถั่วมะแฮะในกระบวนการผลิตเต้าหู้

บทคัดย่อ  
ของ  
จงจินต์ เทียงน้อย

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา  
เมษายน 2552

จงจินต์ เทียงน้อย. (2552). การเพิ่มมูลค่ามะละแหวะในกระบวนการผลิตเต้าหู้สารนิพนธ์  
กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.  
อาจารย์ที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ ดร. พรพิมล ม่วงไทย.

เต้าหู้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่ทำจากถั่วเหลือง เป็นแหล่งโปรตีนที่แทนเนื้อสัตว์ ในเขตพื้นที่จังหวัดน่านมีถั่วมะละแหวะ พืชตระกูลถั่วชนิดหนึ่งที่มีคุณค่าทางอาหารใกล้เคียงกับถั่วเหลือง คือ เป็นการเพิ่มคุณค่าของถั่วมะละแหวะ งานวิจัยนี้ได้ศึกษากระบวนการแปรรูปเต้าหู้ที่ใช้ถั่วมะละแหวะเป็นส่วนประกอบของวัตถุดิบ โดยทำการศึกษาอยู่ 7 สูตร คือ สูตร 1 ถั่วเหลืองร้อยละ 100 สูตร 2 ถั่วมะละแหวะร้อยละ 100 สูตร 3 ถั่วเหลืองร้อยละ 80 ผสมถั่วมะละแหวะร้อยละ 20 สูตร 4 ถั่วเหลืองร้อยละ 60 ผสมถั่วมะละแหวะร้อยละ 40 สูตร 5 ถั่วเหลืองร้อยละ 50 ผสมถั่วมะละแหวะร้อยละ 50 สูตร 6 ถั่วเหลืองร้อยละ 40 ผสมถั่วมะละแหวะร้อยละ 60 สูตร 7 ถั่วเหลืองร้อยละ 20 ผสมถั่วมะละแหวะร้อยละ 80 โดยศึกษาผลการใช้สารตกตะกอน 2 ชนิดคือ แคลเซียมคลอไรด์ และแมกนีเซียมซัลเฟต พบว่า การใช้แคลเซียมคลอไรด์ สามารถทำได้เต้าหู้เนื้อแน่นทำให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีกว่า และผลการศึกษาการแปรผันอัตราส่วนของถั่วทั้งสองชนิด พบว่า อัตราส่วนถั่วทั้งสองชนิดที่สามารถผลิตเต้าหู้ได้มีลักษณะใกล้เคียงกับสูตรควบคุม มี 3 สูตร คือ สูตร 3 สูตร 4 และสูตร 5 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนและไขมันในตัวอย่างเต้าหู้ พบว่า เต้าหู้ทั้ง 3 สูตรมีปริมาณโปรตีนใกล้เคียงกับเต้าหู้สูตรควบคุมคือมีปริมาณร้อยละ 2.96 – 3.12 ตรวจพบปริมาณไขมันร้อยละ 6.84 – 7.30 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าปริมาณไขมันของเต้าหู้สูตรควบคุมเล็กน้อย ผลการประเมินทางประสาทสัมผัส พบว่า เต้าหู้ที่ได้มีสีเหลืองอ่อน เนื้อเหนียว นุ่ม รสจืด โดยสูตรที่ 3 ความพึงพอใจในภาพรวมระดับมากที่สุด ร้อยละ 38 เต้าหู้ที่มีถั่วมะละแหวะเป็นส่วนประกอบถูกทดสอบเปรียบเทียบกับเต้าหู้ที่มีถั่วเหลืองล้วนเป็นส่วนประกอบ พบว่า มีลักษณะที่ความชอบรวมที่เป็นที่ยอมรับใกล้เคียงกัน

VALUE ADDED OF PIGEON PEA IN TOFU PRODUCTION

AN ABSTRACT

BY

JONGJIN THIENGNOI

Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Master of Science Degree in Science Education  
at Srinakharinwirot University

April 2009

Jongjin Thiengnoi. (2009). *Value added of Pigeon Pea in Tofu production*. Master 's Project, M.Ed. (Science Education). Bangkok: Graduate School. Srinakharinwirot University. Project Advisor: Associate Professor Dr. Pornpimol Muangthai.

Tofu , the product of Soybean which can be used as an alternative protein source. In Nan province, there are a plenty of Pigeon Pea. There have a value as same as Soybean and also gave more value added to Pigeon Pea. In this research, the study of processing Tofu by Pigeon Pea and Soybean were prepared 7 formulas as F1 Soybean 100 % F2 Pigeon Pea 100 % F3 Soybean 80 % Pigeon Pea 20 % F4 Soybean 60 % Pigeon Pea 40 % F5 Soybean 50 % Pigeon Pea 50 % F6 Soybean 40 % Pigeon Pea 60 % F7 Soybean 20 % Pigeon Pea 80 % .All those formulas, added 2 potential coagulants,  $\text{CaCl}_2$  and  $\text{MgSO}_4$  as comparison with the best commercial products .The result showed that calcium chloride gave the best texture of Tofu. Then, the results of the variation ratio between 2 peas also presented that the F3 ,4 and 5 gave the tofu that have the similar tofu characteristic as control formula. The protein and fat in those Tofu from 3 formulas were analysed and present that the protein contents were 2.96-3.12 %, and the fat contents were 6.54-7.30 % lower than control formula. However, after sensory evaluation , Tofu showed pale yellow color, best texture .The result sensory evaluation tested by all Tofu , the consumer preferred their characteristics as same as.

อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์ ประธานคณะกรรมการบริหารหลักสูตร และคณะกรรมการสอบได้  
พิจารณาสารนิพนธ์เรื่อง การเพิ่มมูลค่าถั่วมะแฮะในกระบวนการผลิตเต้าหู้ ของ จงจินต์ เทียงน้อย  
ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒได้

อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรพิมล ม่วงไทย)

ประธานคณะกรรมการบริหารหลักสูตร

.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฟื่องลดา วีระสัย)

คณะกรรมการสอบ

..... ประธาน  
(รองศาสตราจารย์ ดร. พรพิมล ม่วงไทย)

..... กรรมการสอบสารนิพนธ์  
(อาจารย์ ดร. สุจิตรา ศรีสังข์)

..... กรรมการสอบสารนิพนธ์  
(ดร.ไว ประทุมผาย)

อนุมัติให้รับสารนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการศึกษา  
มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิเชียร มากตุ่น)

วันที่ เดือน เมษายน พ.ศ. 2552

## ประกาศคุณูปการ

สารนิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับพระมหากรุณาธิคุณจากสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ผู้วิชัยขอน้อมรำลึกถึงพระมหากรุณาธิคุณในพระองค์ที่ทรงมีพระมหากรุณาธิคุณดำริโครงการส่งเสริมคุณภาพการศึกษา ในโรงเรียนถิ่นทุรกันดารพื้นที่ จังหวัดน่าน อันเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาครูถิ่นทุรกันดาร ให้ได้รับการศึกษาในระดับมหาวิทยาลัย สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา ซึ่งนับเป็นเกียรติอันสูงสุดที่ข้าพเจ้าได้รับโอกาสอันดียิ่งนี้ และจะได้นำความรู้ที่ได้ไปพัฒนาเด็กนักเรียนต่อไป

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. พรพิมล ม่วงไทย ประธานควบคุมสารนิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดถึงดูแล แก้ไขปัญหา และข้อบกพร่องต่าง ๆ ในการเขียนสารนิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.จินดา ต้องแต้ม อาจารย์ที่ปรึกษานิสิต รุ่น 3 ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดถึงดูแลเกี่ยวกับการเรียนของนิสิต

ขอกราบขอบพระคุณสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ได้สนับสนุนทุนการศึกษา โดยผ่านโครงการส่งเสริมคุณภาพการศึกษา โรงเรียนถิ่นทุรกันดาร ในสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. พรพิมล ม่วงไทย อาจารย์ ดร. สุจิตรา ศรีสังข์ และดร.ไว ประทุมผาย ในการเป็นกรรมการสอบปากเปล่าสารนิพนธ์ ตลอดจนการให้คำแนะนำต่าง ๆ และขอขอบพระคุณอาจารย์ ในคณะวิทยาศาสตร์ทุกท่านที่ให้ความรู้ให้ความเมตตา ตลอดถึงให้แนวความคิดในการพัฒนาตนเอง และขอบคุณนิสิตรุ่นทุกคนที่ช่วยเสริมกำลังใจในด้านการศึกษา

ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ พี่สาว ผู้อำนวยการโรงเรียนและเพื่อนทุกคนที่เป็นกำลังใจ ทำให้การศึกษาได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

จงจิณต์ เทียงน้อย

## สารบัญ

| บทที่                                                                                     | หน้า      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 บทนำ.....</b>                                                                        | <b>1</b>  |
| ภูมิหลัง.....                                                                             | 1         |
| ความมุ่งหมายของการวิจัย.....                                                              | 1         |
| ความสำคัญของการวิจัย.....                                                                 | 2         |
| ขอบเขตของการวิจัย.....                                                                    | 2         |
| นิยามศัพท์เฉพาะ.....                                                                      | 3         |
| <b>2 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>                                                 | <b>4</b>  |
| ข้อมูลพื้นฐานวัตถุดิบ.....                                                                | 4         |
| ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....                                                        | 11        |
| <b>3 วิธีดำเนินการวิจัย.....</b>                                                          | <b>24</b> |
| อุปกรณ์และเครื่องมือ.....                                                                 | 24        |
| วัสดุและสารเคมี.....                                                                      | 24        |
| การศึกษาการผลิตเต้าหู้จากถั่วเหลืองและถั่วมะแฮะที่เหมาะสม.....                            | 25        |
| วิธีการตรวจสอบคุณภาพเต้าหู้.....                                                          | 27        |
| การประเมินคุณลักษณะด้านประสาทสัมผัส ด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสและ<br>ความชอบรวม..... | 28        |
| การเผยแพร่ข้อมูล.....                                                                     | 29        |
| <b>4 ผลการทดลอง.....</b>                                                                  | <b>30</b> |
| การศึกษาการเตรียมเต้าหู้.....                                                             | 30        |
| การวัดค่ากรด เบส.....                                                                     | 31        |
| ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน.....                                                           | 32        |
| ผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน.....                                                            | 33        |
| การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส.....                                                      | 34        |

## สารบัญ (ต่อ)

| บทที่                                                 | หน้า      |
|-------------------------------------------------------|-----------|
| <b>5 สรุปผลและอภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....</b> | <b>39</b> |
| สรุปผลการวิจัย.....                                   | 39        |
| อภิปรายผล.....                                        | 40        |
| ข้อเสนอแนะ.....                                       | 41        |
| <b>บรรณานุกรม.....</b>                                | <b>42</b> |
| <b>ภาคผนวก.....</b>                                   | <b>45</b> |
| ภาคผนวก ก.....                                        | 46        |
| ภาคผนวก ข.....                                        | 50        |
| ภาคผนวก ค.....                                        | 59        |
| ภาคผนวก ง.....                                        | 83        |
| <b>ประวัติย่อของผู้วิจัย.....</b>                     | <b>85</b> |

## บัญชีตาราง

| ตาราง                                                            | หน้า |
|------------------------------------------------------------------|------|
| 1 เปรียบเทียบสารอาหารที่จำเป็นระหว่างถั่วมะแฮะและถั่วเหลือง..... | 9    |
| 2 แสดงคุณค่าของเต้าหู้ชนิดต่าง ๆ.....                            | 13   |
| 3 ผลการขึ้นรูปของเต้าหู้.....                                    | 30   |
| 4 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของเต้าหู้.....                       | 34   |
| 5 ค่าความกรดเบสของเต้าหู้.....                                   | 47   |
| 6 ปริมาณโปรตีนและไขมัน.....                                      | 47   |
| 7 ระดับความพึงพอใจกลิ่นในกลิ่นของเต้าหู้.....                    | 47   |
| 8 ระดับความพึงพอใจกลิ่นในสีของเต้าหู้.....                       | 48   |
| 9 ระดับความพึงพอใจกลิ่นในรสชาติของเต้าหู้.....                   | 48   |
| 10 ระดับความพึงพอใจกลิ่นในเนื้อสัมผัสของเต้าหู้.....             | 48   |
| 11 ระดับความพึงพอใจกลิ่นในความชอบรวมของเต้าหู้.....              | 49   |

## บัญชีภาพประกอบ

| ภาพประกอบ                                                       | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------|------|
| 1 ถั่วมะแฮะ.....                                                | 4    |
| 2 เมล็ดถั่วมะแฮะ.....                                           | 5    |
| 3 การเตรียมน้ำนมถั่วเหลือง.....                                 | 14   |
| 4 แสดงการเกิดเจลของโปรตีนถั่วเหลือง.....                        | 20   |
| 5 แสดงการเตรียมเต้าหู้.....                                     | 27   |
| 6 ค่าความเป็นกรดเบสของน้ำนมถั่วและเต้าหู้.....                  | 31   |
| 7 ปริมาณร้อยละโปรตีนของเต้าหู้ในแต่ละสูตร.....                  | 32   |
| 8 ปริมาณร้อยละไขมันของเต้าหู้ในแต่ละสูตร.....                   | 33   |
| 9 ระดับความพึงพอใจกลิ่นของเต้าหู้.....                          | 35   |
| 10 ระดับความพึงพอใจสีของเต้าหู้.....                            | 35   |
| 11 ระดับความพึงพอใจรสชาติของเต้าหู้.....                        | 36   |
| 12 ระดับความพึงพอใจในเนื้อสัมผัสของเต้าหู้.....                 | 36   |
| 13 ระดับความพึงพอใจความชอบรวมของเต้าหู้.....                    | 37   |
| 14 การเปรียบเทียบระดับความพึงพอใจในภาพรวมของเต้าหู้ 3 สูตร..... | 37   |
| 15 วัตถุดิบที่ใช้.....                                          | 51   |
| 16 แสดงการตีปั่นถั่ว.....                                       | 52   |
| 17 แสดงการตม้มน้ำนมถั่ว.....                                    | 53   |
| 18 แสดงการเทน้ำนมลงในภาชนะ.....                                 | 53   |
| 19 แสดงการเทโปรตีนลงในพิมพ์.....                                | 54   |
| 20 แสดงการกดทับด้วยของแข็ง.....                                 | 54   |
| 21 ผลิตภัณฑ์เต้าหู้.....                                        | 55   |
| 22 แสดงการขั้นตอนการย่อย.....                                   | 56   |
| 23 แสดงการการกลั่น.....                                         | 57   |
| 24 แสดงการไทเทรต.....                                           | 58   |
| 25 แสดงการวิเคราะห์ไขมัน.....                                   | 58   |

## บทที่ 1

### บทนำ

#### ภูมิหลัง

โปรตีนจากพืชเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพรองจากโปรตีนสัตว์เนื่องจากยังขาดกรดอะมิโนที่สำคัญบางชนิดที่ร่างกายต้องการ โดยเฉพาะกรดอะมิโนที่ซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ ปริมาณโปรตีนในพืชนั้นแตกต่างกันไปตามชนิดของพืชและส่วนของพืช พืชที่จัดว่ามีโปรตีนมากที่สุดคือ พืชตระกูลถั่ว โดยเฉพาะถั่วเหลืองมีปริมาณโปรตีนประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ (Smith ;& Cricle. 1980)นอกจากนั้นยังมีปริมาณไขมันต่ำและย่อยง่าย ในพื้นที่จังหวัดน่านมีการส่งเสริมให้ปลูกพืชตระกูลถั่ว ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วลิสง ถั่วแปบ ถั่วดำและถั่วมะแฮะเพื่อสนองต่อความต้องการของตลาด เพื่อนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ถั่วมะแฮะ(Pigeon Pea) เป็นตระกูลถั่วชนิดหนึ่งที่ชาวบ้านนิยมปลูกกันมากตามไร่บ้านและพื้นที่สวน สามารถขยายพันธุ์โดยใช้เมล็ด ปลูกง่าย และสามารถปลูกได้เกือบทุกพื้นที่ เนื่องจากเป็นพืชทนแล้งเติบโตเร็ว ในประเทศไทยเรานิยมปลูกถั่วมะแฮะเพื่อใช้ประโยชน์ทางด้านเกษตรกรรมโดยปลูกเป็นพืชคลุมดิน เพื่อปรับปรุงสภาพดินและยังนำไปใช้ในการผลิตอาหารสัตว์ เช่น อาหารลูกโคนม อาหารไก่ไข่ เป็นต้น นอกจากนั้นถั่วมะแฮะเป็นแหล่งอาหารโปรตีน โดยการใช้เมล็ดแปรรูปเป็นอาหารโปรตีนสำหรับมนุษย์ (Sing Hu.1991) ในพื้นที่จังหวัดน่าน ได้มีการขยายพันธุ์ถั่วมะแฮะ โดยทำการปลูกตามพื้นที่ว่างของชาวบ้าน เพื่อนำผลผลิตส่วนหนึ่งไปจำหน่ายให้ให้สำนักงานพัฒนาที่ดินจังหวัดน่าน เพื่อการขยายพันธุ์ (เกษตรอำเภอบ่อเกลือ. 2548) และอีกส่วนหนึ่งนำไปแปรรูปผลิตภัณฑ์เพื่อการบริโภค ประเภทขนมหวาน การทำชีวจากถั่วมะแฮะ (ภคธีรา อุปจักร.2550)

เต้าหู้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่ทำจากถั่วเหลือง เป็นแหล่งโปรตีนที่แทนเนื้อสัตว์ได้ แต่ต้นทุนในการจัดซื้อวัตถุดิบค่อนข้างสูงถ้าเทียบกับถั่วมะแฮะซึ่งหาได้ง่ายราคาถูกโดยราคาถั่วเหลืองแห้ง กิโลกรัมละ 18 บาท แต่ถั่วมะแฮะกิโลกรัมละ 5-8 บาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.2550) เมื่อเปรียบเทียบสารอาหารของถั่วเหลืองกับถั่วมะแฮะมีความใกล้เคียงกัน เพื่อลดต้นทุนการผลิต ดังนั้นผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษากระบวนการแปรรูปเต้าหู้โดยใช้ถั่วมะแฮะเป็นส่วนประกอบของวัตถุดิบเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของถั่วมะแฮะ

#### ความมุ่งหมายของงานวิจัย

- 1.เพื่อศึกษาเปรียบเทียบเต้าหู้ถั่วมะแฮะ กับถั่วเหลืองที่เป็นวัตถุดิบมาตรฐาน
- 2.เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของเต้าหู้ถั่วมะแฮะเทียบกับเต้าหู้ถั่วเหลือง
- 3.เพื่อใช้ประกอบในการจัดการเรียนการสอนในกลุ่มสาระวิทยาศาสตร์

## ความสำคัญของงานวิจัย

1. เป็นแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ในการผลิตเต้าหู้จากถั่วมะแฮะ
2. เป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าถั่วมะแฮะทำให้ท้องถิ่นมีรายได้มากขึ้น
3. เป็นแนวทางการเผยแพร่ความรู้สู่ชุมชนและโรงเรียน

## ขอบเขตของงานวิจัย

1. สํารวจข้อมูลพื้นฐาน
  - 1.1 สํารวจข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับถั่วมะแฮะในพื้นที่จังหวัดน่าน
  - 1.2 สํารวจข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับสารอาหารในถั่วมะแฮะ
  - 1.3 ศึกษาข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับการผลิตเต้าหู้
2. การวางแผนการทดลอง
  - 2.1 ศึกษากระบวนการผลิตเต้าหู้มาตรฐานจากถั่วเหลือง
  - 2.2 ศึกษาเปรียบเทียบเพื่อหาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตเต้าหู้โดยใช้มะแฮะเป็น

## ส่วนประกอบ

### 2.3 วิเคราะห์สารอาหารบางชนิด

### 3. การทดลอง

#### 3.1 การผลิตเต้าหู้โดยใช้ถั่วมะแฮะเป็นส่วนประกอบ มีสูตรดังนี้

|                                    |         |
|------------------------------------|---------|
| สูตรที่ 1 (ควบคุม) ถั่วเหลือง      | 100 %   |
| สูตรที่ 2 ถั่วมะแฮะ                | 100 %   |
| สูตรที่ 3 ถั่วเหลือง : ถั่วมะแฮะ = | 80 : 20 |
| สูตรที่ 4 ถั่วเหลือง : ถั่วมะแฮะ = | 60 : 40 |
| สูตรที่ 5 ถั่วเหลือง : ถั่วมะแฮะ = | 50 : 50 |
| สูตรที่ 6 ถั่วเหลือง : ถั่วมะแฮะ = | 40 : 60 |
| สูตรที่ 7 ถั่วเหลือง : ถั่วมะแฮะ = | 20 : 80 |

#### 3.2 การศึกษากระบวนการผลิต

ผลิตภัณฑ์ที่ได้ จะถูกสุ่มตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพตามมาตรฐานเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม

#### 3.3 วิเคราะห์คุณภาพเต้าหู้

นำเต้าหู้ที่เตรียมได้ไปตรวจวิเคราะห์ คุณภาพทางเคมี ได้แก่

1. ปริมาณโปรตีน
2. ปริมาณไขมัน
3. ความเป็นกรด-เบส

#### 4. ระยะเวลาและสถานที่ดำเนินการ

1. ระยะเวลาเริ่มตั้งแต่ เมษายน 2551 ถึง มีนาคม 2552
2. สถานที่ทำการทดลอง ห้องปฏิบัติการทดลองวิจัยสาขาเคมีวิเคราะห์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และโรงเรียนไตรธารวิทยา อำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน

#### นิยามศัพท์เฉพาะ

1. **ถั่วมะแฮะ** หมายถึง ถั่วชนิดหนึ่งเป็นไม้พุ่ม เมล็ดมีเส้นผ่านศูนย์กลาง ประมาณ 0.6 เซนติเมตร มีสีน้ำตาลและมีรูเล็ก
2. **กระบวนการผลิตเต้าหู้** หมายถึง การนำถั่วเหลืองมาแช่น้ำ ไม่ให้ละเอียดกรองเอากากออก หรือน้ำนมที่ได้ไปต้มพอเดือดดีเกลือลงไป ยกลงเทใส่พิมพ์ปิดด้วยผ้าขาวบางแล้วนำของหนักมากดทับทิ้งไว้ให้เย็น
3. **การวิเคราะห์คุณภาพเต้าหู้** หมายถึง การนำเต้าหู้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน และความเป็นกรด-เบส
4. **แคลเซียมคลอไรด์** หมายถึง สารที่ทำให้โปรตีนจับตัวกันเป็นก้อน
5. **แมกนีเซียมคลอไรด์** หมายถึง สารที่ทำให้โปรตีนจับตัวกันเป็นก้อน

## บทที่ 2

### เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูลวิจัยที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ได้แก่

1. ข้อมูลพื้นฐานวัตถุดิบ
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 1. ข้อมูลพื้นฐานวัตถุดิบ

##### 1.1 ถั่วมะแฮะ



(ก)

(ข)

ภาพประกอบ 1 (ก) ต้นถั่วมะแฮะ (ข) ผักถั่วมะแฮะ

ที่มา: เต็ม สมิตินันท์. (2523). ชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย (ชื่อพฤกษศาสตร์-ชื่อพื้นเมือง). กรมป่าไม้

ถั่วมะแฮะมีชื่ออื่นๆ ถั่วแม่ตาย ถั่วแระ (ภาคกลาง) ถั่วแรด (ชุมพร) มะแฮะ มะแฮะต้น (ภาคเหนือ) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Cajanus cajan* Millsp. ชื่อสามัญ Angola Pea, Congo Pea, Pigeon Pea อยู่ในวงศ์ LEGUMINOSAE ชื่อพ้อง *Cajanus indicus* Spreng. มีลักษณะดังภาพประกอบที่ 1 ในปัจจุบันนี้มีการเพาะปลูกถั่วมะแฮะกันอย่างกว้างขวางโดยเฉพาะในแถบเขตร้อน เนื่องจากถั่วมะแฮะเจริญเติบโตได้ในสภาพที่ดินไม่อุดมสมบูรณ์ ทนต่อสภาพภูมิอากาศที่แห้งแล้งได้ดี เช่น เติบโตได้ในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนน้อยกว่า 650 มิลลิเมตรต่อปี นอกจากนี้ยังเป็นพืชที่โตเร็วสามารถให้ร่มเงากับพืชผักสมุนไพรได้ ลักษณะเป็นไม้พุ่ม สูง 1.2-3 เมตรหรือมากกว่าแตกกิ่งก้านกว้างประมาณ 2 เมตร และเมื่อเติบโตถึง 120-150 วัน จะออกดอกและให้ดอกได้ในเดือนพฤศจิกายนถึง กุมภาพันธ์

ถั่วมะแะมีใบรูปหอกถึงแหลมแคบปลายแหลมยาว 5-10 เซนติเมตรมีขนบางๆ ทั้ง 2 ด้าน ดอกสีเหลืองด้านหลังสีน้ำตาลเส้นผ่านศูนย์กลางดอก 2 เซนติเมตร ลักษณะของฝักยาว 5 -7.6 เซนติเมตร กว้าง 1.3 เซนติเมตร ปลายโค้งมีขน เมล็ดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 เซนติเมตร สีน้ำตาลมีรูเล็กๆ สีขาว ฝักเป็นฝักถั่ว โดยแต่ละฝักจะมีเมล็ดถั่วประมาณ 9 เมล็ด ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดถั่วมะแะมีเปลือกห่อหุ้มเมล็ดหนา เนื้อถั่วแข็ง



ภาพประกอบ 2 เมล็ดถั่วมะแะ

ที่มา [http://plants.usda.gov/java/largeImage?imageID=caca27\\_001\\_ahp.tif](http://plants.usda.gov/java/largeImage?imageID=caca27_001_ahp.tif)

การเพาะปลูกถั่วมะแะใช้เมล็ดในเพาะปลูกสามารถปลูกร่วมกับธัญพืชอื่นๆ เช่น ข้าวฟ่าง ข้าวเดือยหรือข้าวโพด การเพาะปลูกถั่วมะแะนั้นมีทั้งระยะยาว (5-12 เดือน) กับระยะสั้น (3-4 เดือน) ซึ่งขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการเก็บเกี่ยว และขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ เช่น การใช้ปุ๋ย การชลประทาน และการใช้ยาฆ่าแมลง ซึ่งจะได้ผลผลิตของถั่วมะแะต่ำโดยเฉลี่ย 70 กิโลกรัมต่อเฮกเตอร์ ในปัจจุบันมีการพัฒนาการเพาะปลูกใหม่ เนื่องจากมีความต้องการถั่วมะแะสูงขึ้น และมีผลกำไรสูงขึ้น ปัจจุบันพื้นที่ผลิตถั่วมะแะที่มีอยู่ทั่วโลกสามารถผลิตถั่วมะแะได้ประมาณ 46000 ลูกบาศก์กิโลเมตร โดยผลิตได้มากที่ประเทศอินเดียซึ่งสามารถผลิตได้ถึงร้อยละ 82 ของปริมาณถั่วมะแะทั้งหมด

โดยทั่วไปถั่วมะแะสามารถใช้ประโยชน์ได้ตั้งแต่รากถึงยอด และที่พบกันมาก คือนำมาเป็นปุ๋ยพืชสด ปลูกเพื่อปรับปรุงสภาพดิน และนำมาเป็นอาหารสัตว์ เป็นผักพื้นเมืองฝักอ่อนบริโภคพร้อมกับส้มตำ ใช้จิ้มเมี่ยง ใช้ลวกจิ้มน้ำพริก ใช้รับประทานเป็นผักสดกับอาหารประเภทลาบ การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับถั่วมะแะเพื่อนำมาประกอบอาหารในประเทศไทยมีหลายประเภท เช่น ปี พ.ศ. 2532 สมชาย ประภาวัต ศึกษาการทำและการยอมรับเต้าส่วนจากถั่วมะแะพันธุ์ต่างๆ เปรียบเทียบกับถั่วเขียว พ.ศ. 2536 นิรมล ล้อสุริยนต์ ศึกษาการพัฒนาอาหารเข้าสำเร็จรูปชนิดแผ่นจากถั่วมะแะ พ.ศ. 2541 สมชาย ประภาวัต ทำการศึกษาการทำคุกกี้จากถั่วเขียวผิวดำเปรียบเทียบกับถั่วเขียวและถั่วมะแะ และในปี พ.ศ. 2550 ภคธีรา อุปจักร์ การศึกษากระบวนการผลิตชีสจากถั่วมะแะและถั่วเหลือง ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าการวิจัยเกี่ยวกับการแปรรูปถั่วมะแะเพื่อประกอบเป็นอาหารอยู่แล้วบ้าง ส่วนในบางประเทศ เช่น ประเทศอินเดียมีอาหารที่ทำจากถั่วมะแะเรียกว่า Turvara Parippu และ Sambhar ประเทศสาธารณรัฐโดมินิแกนและฮาวาย นำถั่วมะแะมาแปรรูป

เป็นอาหารกระป๋อง เนื่องจากตรวจพบในถั่วมะแสะที่แก่จัดมีสารอาหารต่างๆ ประกอบด้วย ถั่วมะแสะสามารถนำไปใช้ได้ทั้งเป็นอาหาร เช่น พอกถั่วแห้ง แป้ง เป็นต้น และยังใช้เป็นอาหารสัตว์เหมือนพวกธัญพืชทั่วไป เมล็ดถั่วที่แห้งอาจนำไปใช้แตกหน่อได้ นำไปทำอาหารซึ่งจะให้รสชาติที่แตกต่างไปจากถั่วชนิดอื่นๆ

ในถั่วมะแสะมีสารอาหารที่สำคัญโดยจะมี คาร์โบไฮเดรต 63.4 กรัมต่อร้อยกรัม โปรตีน 20.4 กรัมต่อร้อยกรัม ไขมัน 11.5 กรัมต่อร้อยกรัมของน้ำหนักแห้ง นอกจากนี้ยัง ประกอบไปด้วย แคลเซียม ฟอสฟอรัส และวิตามิน เอ บี บี1 บี2 และกรดอะมิโน โดยกรดอะมิโนที่สำคัญได้แก่ เมทไทโอนีน ไลซีน ทริปโตเฟน และ ไลซีน ในขณะที่เมล็ดถั่วเป็นสีเขียวนี้จะมีสารอาหารมากกว่าถั่วที่เป็นเมล็ดแห้งซึ่งจะมีโปรตีน น้ำตาลและไขมันที่สูง เมล็ดมีโปรตีน 20 - 25 เปอร์เซ็นต์ (Wallis;et al. 1986) ถั่วจะนำถั่วมะแสะมาใช้มาเป็นอาหารสัตว์ควรเป็นถั่วมะแสะที่ปลูกไม่ถึง 5 ปี

นอกจากตัวของถั่วมะแสะจะนำมาใช้ประโยชน์ในเรื่องอาหารแล้ว ส่วนต่างๆของต้นถั่วมะแสะไม่ว่าจะเป็นลำต้น ก้าน หรือใบ ก็สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้เช่นกัน เช่นการนำไปใช้เป็นถ่านไม้ รั้ว และ นำมาปลูกหลังคาได้ด้วย ในประเทศไทยได้นำถั่วมะแสะมาใช้เป็นบ้านของแมลงชนิดต่างๆ เช่น แมลงครั้ง เป็นต้น ต้นถั่วมะแสะนั้นสามารถใช้นำมาปรับปรุงดินให้อุดมสมบูรณ์มากขึ้นได้ดีกว่าถั่วบางชนิด เพราะทำให้เกิดการตรึงไนโตรเจนได้ดีและ นอกจากนี้ต้นถั่วมะแสะยังสามารถทนต่อดินที่มีระดับความเข้มข้นของเกลือที่ 0.0005 กรัม / ดิน 1 กรัม ได้จึงช่วงให้เป็นการปรับปรุงดินจาก pH 5 ให้สูงขึ้นเป็น pH 8 นอกจากนี้ถั่วมะแสะยังเป็นต้นไม้สามารถต่อต้านสิ่งมีชีวิต พวกนีมาโทด ( nematodes ) ได้

## 1.2 ข้อมูลพื้นฐานถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองมีชื่ออื่นๆ คือ ถั่วพระเหลือง มะถั่วเน่า ถั่วหนัง (ภาคเหนือ) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Glycine max* (L.) Merr. ชื่อสามัญ Soya bean, Soy bean อยู่ในวงศ์ LEGUMINOSAE โดยถั่วเหลืองมีถิ่นกำเนิดที่บริเวณหุบเขาแม่น้ำเหลือง (ประมาณเส้นรุ้งที่ 35 องศาเหนือ) ประเทศจีน การจารึกครั้งแรกเกี่ยวกับถั่วเหลือง เมื่อ 2295 ปีก่อนพุทธกาล ที่หุบเขาแม่น้ำเหลืองจากนั้นถั่วเหลืองได้แพร่กระจายสู่ประเทศเกาหลีและญี่ปุ่น เมื่อ 200 ปีก่อนคริสตกาล แล้วเข้าสู่ยุโรปในช่วงหลัง พ.ศ. 2143 และไปสู่สหรัฐอเมริกาในปี พ.ศ. 2347 จากนั้นกว่า 100 ปี ชาวอเมริกันได้ปลูกถั่วเหลืองเพื่อเป็นอาหารสัตว์ใช้เลี้ยงวัวโดยไม่ได้นำเมล็ดมาใช้ประโยชน์อย่างอื่น จนถึงปี พ.ศ. 2473 สหรัฐอเมริกาได้นำพันธุ์ถั่วเหลืองจากจีนเข้าประเทศกว่า 1,000 สายพันธุ์ เพื่อการผสมและคัดเลือกพันธุ์ ทำให้ได้เมล็ดพันธุ์ที่มีเมล็ดโต ผลผลิตสูง เหมาะแก่การเพาะปลูก

ลักษณะของต้นถั่วเหลืองเป็นพืชล้มลุก สูงประมาณ 1-2 เมตร ลำต้นสีเหลืองมรกตคลุมด้วยขนสีเทาขาว ใบเป็นใบประกอบแบบนิ้วมือ ใบประกอบด้วยใบย่อย 3 ใบ รูปร่างคล้ายรูปไข่ปลายแหลมใบค่อนข้างหนาผิวมันทั้งด้านบนและด้านล่าง ดอกเป็นช่อสีขาวหรือม่วงแดง ออกดอก เมื่ออายุประมาณ 25-30 วัน เก็บเกี่ยวอายุประมาณ 90-100 วันฝักแบนขาวติดเป็นกระจุกที่ข้อของต้น และกึ่งในฝักมีเมล็ด 3-5 เมล็ด รูปไข่ เมล็ดกลม ผิวสีเหลืองมัน ตาค่อนข้างเล็ก สีน้ำตาลอ่อน ในประเทศ

ไทยสามารถปลูกถั่วเหลืองได้ทั้งตลอด 3 ฤดูกาล ซึ่งการปลูกอาจต้องปรับสภาพดินให้เหมาะสมก่อน pH ประมาณ 5.5-6.5 และเตรียมเมล็ดโดยมีการผสมกับเชื้อไรโซเบียม ในการผสมกับเชื้อชนิดนี้นิยมใช้กับถั่วเหลืองเท่านั้น ถั่วเหลืองต้องการน้ำประมาณ 300-400 มิลลิลิตรตลอดฤดูปลูก ช่วงที่สำคัญที่ไม่ควรขาดน้ำ คือ ช่วงการงอกและช่วงออกดอกอายุการเก็บเกี่ยวของถั่วเหลืองจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ซึ่งอยู่ในช่วงประมาณ 60 -110 วัน

ประเทศไทยสามารถปลูกถั่วเหลืองได้ทั้งปี ปีละ 3 ฤดู การปลูกอาจต้องปรับสภาพดินให้เหมาะสมก่อนโดยปรับให้มีค่า pH ประมาณ 5.5 - 6.5 และเตรียมเมล็ดถั่วโดยการคลุกเชื้อไรโซเบียม การคลุกเชื้อไรโซเบียมต้องใช้เชื้อที่ใช้กับถั่วเหลืองเท่านั้น ถั่วเหลืองต้องการน้ำประมาณ 300 - 400 มิลลิลิตร ตลอดฤดูปลูก ช่วงที่สำคัญที่ไม่ควรขาดน้ำคือช่วงการงอกและช่วงออกดอก อายุการเก็บเกี่ยวของถั่วเหลืองจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ซึ่งอยู่ในช่วงประมาณ 60 -110 วัน

การนำถั่วเหลืองมาใช้ประโยชน์นั้น นิยมเลือกเมล็ดที่แก่จัด ทั้งนี้เพราะในเมล็ดถั่วเหลืองแก่จะมี สารอาหารต่างๆ ประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต 33.5 กรัมต่อร้อยกรัม โปรตีน 34.1 % โดยน้ำหนัก ไขมัน 10.0 % โดยน้ำหนัก ของน้ำหนักแห้งและในไขมันประกอบด้วยกรดไขมันต่างๆ ได้แก่ กรดลิโนเลอิก กรดโอเลอิก กรดลิโนเลนิก กรดปาล์มมิติก และ กรดสเตียริก นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยแคลเซียม ฟอสฟอรัส และวิตามิน เอ บี บี1 บี2 บี6 บี12 ดี และอี ในอาซีน ถั่วเหลืองที่แก่จัดสามารถนำมาแปรรูปได้หลากหลาย แบ่งถั่วเหลืองสามารถนำไปผลิตเบเกอรี่ โปรตีน ถั่วเหลืองเข้มข้นและโปรตีนถั่วเหลืองสกัดสามารถนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ เนื่องจากโปรตีนจากถั่วเหลืองมีความสามารถในการละลายสูง จึงนิยมนำผลิตอาหารเด็กอ่อนและเครื่องดื่มต่างๆ เช่น นมถั่วเหลือง นอกจากนั้นแปรรูปเป็น น้ำมันถั่วเหลือง ถั่วเน่า เทมเป้ ซีอิ๊ว เต้าเจี้ยว เนื้อเทียม ไอศกรีม โยเกิร์ตถั่วเหลือง เป็นต้น

ในน้ำมันถั่วเหลืองมีปริมาณโปรตีนอยู่ร้อยละ 2.0 – 4.0 เทียบกับน้ำมันโคซึ่งมีร้อยละ 3.1 และในน้ำมันถั่วเหลืองยังมีส่วนประกอบอื่นๆอีกคือ ไขมันร้อยละ 1-2 คาร์โบไฮเดรตประมาณร้อยละ 47-82 กิโลแคลอรีต่อ 100 มิลลิกรัม แคลเซียมประมาณ 12-28 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 34-69 มิลลิกรัม

สารอาหารหลักในถั่วเหลืองคือโปรตีน โปรตีนของถั่วเหลืองจะถูกสะสมในเซลล์ของเนื้อถั่วเหลือง โดยสะสมกันเป็นที่เรียกว่า Protein bodies หรือ Storage Proteins ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 2 - 20 ไมครอน แต่ส่วนใหญ่มีขนาด 5 - 8 ไมครอน และมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วงของ 200,000-600,000 ในสภาวะธรรมชาติโมเลกุลของโปรตีนขนาดใหญ่เหล่านี้ยังสามารถจับตัวกันเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ได้อีกด้วยการเชื่อมกันของพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide linkage polymer) และโปรตีนที่แยกมาได้เพื่อทำเป็นผลิตภัณฑ์นั้นจะเป็นชนิดของโปรตีนที่เปลี่ยนสภาพ โดยการเกิดปฏิกิริยาที่ซับซ้อนรวมกันอยู่โดยที่อย่างน้อย 7 ชนิด ของโปรตีนจะจับกันเป็นกลุ่มย่อย ซึ่งอาจถูกทำให้โมเลกุลเปลี่ยนขนาดไปโดยสภาวะต่างๆ เนื่องจากโปรตีนในถั่วเหลืองส่วนใหญ่เป็นโปรตีนประเภทก้อนกลม ซึ่งมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำในสภาวะที่มี pH อยู่ในช่วงที่เรียกว่า จุดไอโซอิเล็กทริก ซึ่งเป็นจุดที่มี pH ประมาณ 4.2 - 4.6 ถ้า pH สูงหรือต่ำกว่าจุดไอโซอิเล็กทริก โกลบูลินก็จะยังคง

สามารถละลายได้ ในสภาวะที่ไม่มีเกลืออยู่แต่ถ้ามีเกลือโปรตีนก็สามารถละลายน้ำได้เช่นกันอย่างไรก็ตามโปรตีนตัวเหลืองนั้นจะไวต่อการเปลี่ยนแปลงในสภาวะการต่างๆ ทั้งทางกายภาพและเคมี

การเปลี่ยนจากสภาพธรรมชาติของโปรตีน (Denaturation) ในตัวเหลืองเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุดังนี้

1) การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความร้อน ในการนำเอาตัวเหลืองไปแปรรูปเป็นอาหารจำเป็นจะต้องนำไปผ่านขั้นตอนของความร้อนต่างๆซึ่งมีผลทำให้สภาพโปรตีนของตัวเหลืองเปลี่ยนแปลงไป เช่น การละลายของโปรตีนในน้ำ หรือในสารละลายเกลือ เป็นต้น ซึ่งผลจากการใช้ความร้อนต่อตัวเหลืองที่มีไขมันและปราศจากไขมันในช่วงเวลาต่างๆและที่ความดันบรรยากาศต่างๆ จะพบว่าโปรตีนจะมีการละลายได้ในน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว จากการที่ถูกความร้อน

2) การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากกรดเบส การเปลี่ยนแปลง pH จะมีผลให้โปรตีนโกลบูลิน ในตัวเหลืองเปลี่ยนสภาพไป ถ้าค่าของ pH สูง เช่น pH 12 จะทำให้เปลี่ยนโครงสร้างโมเลกุลย่อย และเป็นปฏิกิริยาที่ไม่สามารถเกิดย้อนกลับที่เดิม เมื่อปรับสภาวะของ pH ให้เป็นกลางและถ้าค่า pH ต่ำลง ก็จะทำให้เกิดการแตกตัวของ โครงสร้างจตุรภูมิ และไม่สามารถกลับสภาพเดิมได้เช่นกัน

3) การเปลี่ยนแปลงของโปรตีนเนื่องจากตัวทำละลายต่างๆ เช่นเมทานอล เอทานอล อะซิโตนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนโกลบูลิน ตัวทำละลายเหล่านี้ถ้าอยู่ในรูปของสารละลายในน้ำจะมีผลทำให้การเปลี่ยนแปลงได้มากกว่าที่อยู่ในรูปของสารบริสุทธิ์การทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของตัวทำละลายต่อโปรตีนนั้นจะเกิดขึ้นสมบูรณ์ภายในเวลาประมาณ 5 นาที ความสามารถของแอลกอฮอล์ โมเลกุลต่ำ ที่เปลี่ยนสภาพโปรตีนจะเพิ่มขึ้นตามขนาดความยาวของโมเลกุลเพิ่มขึ้นเกิดจากการที่โครงสร้างของโมเลกุลเป็นลักษณะมีไฮโดรโฟบิก ผังอยู่ด้านในทำให้โมเลกุลทนต่อความร้อนในขณะที่อยู่ในน้ำแอลกอฮอล์ซึ่งสามารถซึมเข้าไปด้านในของโมเลกุลได้ จึงทำให้แขนของโมเลกุลแตกหักได้เมื่อเทียบกับน้ำซึ่งทำให้แขนของไฮโดรเจนแตกหักได้เฉพาะบริเวณผิวและทำให้เกิดเป็นลักษณะมีขั้วมาก ฉะนั้นน้ำจึงอาจเป็นเหตุผลการที่สารละลายของตัวทำละลายในน้ำมีประสิทธิภาพในการทำให้เปลี่ยนแปลงโปรตีนมากกว่า

ในการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนนั้นต้องนำค่าแฟคเตอร์มาตรฐานมาคูณกับปริมาณของไนโตรเจนที่ได้จากการทดลอง เพื่อคิดคำนวณเป็นปริมาณของโปรตีน(nitrogen conversion factor) ได้มีการกำหนดเอาตัวคูณ ในการใช้คิดเป็นปริมาณของโปรตีนในตัวเหลืองคือ 6.25 ตั้งแต่เริ่มแรกเพื่อใช้เป็นแฟคเตอร์คำนวณโปรตีนในด้านการค้า

นอกจากในตัวเหลืองจะมีโปรตีนที่เป็นสารอาหารหลักแล้วยังมีคาร์โบไฮเดรตเป็นสารอาหารอีกชนิดหนึ่ง โดยคาร์โบไฮเดรตที่พบในตัวเหลืองมี 2 ประเภท คือ คาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ ได้แก่ น้ำตาล ต่างๆ เช่น ซูโครส เรฟฟิโนส (raffinose) สตาร์ชีโอส (stachyose) เวอร์บาโคส (verbascose) นอกจากนี้อีกประเภทหนึ่งคือ คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ละลายน้ำ ส่วนใหญ่พบในใบเลี้ยง เป็นสารพวกที่มีโครงสร้างที่ซับซ้อนคือ เป็นน้ำตาลหลายโมเลกุล

ถั่วเหลืองจะมีกลิ่นเฉพาะตัวอันเนื่องมาจากสารอินทรีย์ในถั่วที่ทำให้ถั่วเหลืองมีกลิ่น ได้แก่ สารฟีนอลิก (phenolic acid) สารนี้พบในพืชโดยทั่วไปมีปริมาณไม่มากบทบาทของสารฟีนอลิกในถั่วเหลืองจัดว่ามีความสำคัญอันหนึ่ง โดยเป็นสารร่วมที่มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นในแป้งถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์ถั่วเหลือง และสารที่ให้กลิ่นอื่นๆ ส่วนใหญ่แล้วจะเกี่ยวข้องกับสารที่ทำให้กลิ่นในถั่วเหลือง และสารที่เกิดขึ้นในช่วงของการแปรรูปถั่วเหลือง หรือเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ในธรรมชาติของถั่ว เช่น ลิพิดออกซิเดส (lipidoxidase) นอกจากนี้ยังมีสารประกอบบางประเภท ที่อาจรวมตัวกับโปรตีนหรือหรือสารอื่นๆในถั่วเหลืองอีกด้วย ทำให้ได้สารที่มีสมบัติให้กลิ่นเฉพาะ เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้วพบว่า ถั่วเหลืองและถั่วมะแฮะมีความแตกต่างกันในเรื่องของปริมาณสารอาหารตามแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 เปรียบเทียบสารอาหารที่จำเป็นระหว่างถั่วมะแฮะกับถั่วเหลือง

| ชนิดสารอาหาร                                 | ถั่วมะแฮะ                         | ถั่วเหลือง                      |
|----------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| คาร์โบไฮเดรต (กรัมต่อ 100กรัมของน้ำหนักแห้ง) | 63.4                              | 33.5                            |
| โปรตีน (กรัมต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแห้ง)      | 20.4                              | 34.1                            |
| ไขมัน (กรัมต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแห้ง)       | 11.5                              | 10.0                            |
| แคลเซียม                                     | มี                                | มี                              |
| ฟอสฟอรัส                                     | มี                                | มี                              |
| วิตามิน                                      | เอ บี บี1 และบี 2                 | เอ บี บี1 บี2 บี6 บี12 ดี และอี |
| กรดอะมิโนสำคัญ                               | เมทไทโอนีน<br>ไลซีน ทรีป<br>โตเฟน | ไนอาซีน                         |

ที่มา: ดัดแปลงจาก วันชัย สมชิต. (2527). ถั่วเหลืองและการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย และ กองพฤกษศาสตร์และวัชพืช. (2549) พฤกษศาสตร์ของผักพื้นเมือง

จากประโยชน์ที่ค้นพบ ถั่วเหลืองถูกแปรรูปให้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ เช่น น้านมถั่วเหลือง โปรตีนเกษตร ขนหมขบเคี้ยว บะหมี่เกษตร เต้าหู้ ซอสปรุงรส เทมเป้ เป็นต้น ส่วนถั่ว

มะและถูกแปรรูปเป็นอาหารสัตว์ส่วนใหญ่และในงายวิจัยหลายสถาบันได้ทดลองทำขนมจากแป้งถั่วมะและและในการวิจัยของภคธีรา อุปจักร(2550)ได้แปรรูปถั่วมะและเป็นชี้อ้ว

### คุณสมบัติของโปรตีน

1. เกิดปฏิกิริยาไบยูเรต (Biuret reaction) ได้ นั่นคือ เพปไทด์และโปรตีนสามารถทำปฏิกิริยากับ  $\text{CuSO}_4$  ในด่างให้สารเชิงซ้อน (complex) ระหว่าง  $\text{Cu}^{2+}$  และเพปไทด์ได้สารมีสีม่วง จึงนำมาใช้ในการหาปริมาณ ของโปรตีนในสารละลายได้

2. โปรตีนสามารถดูดแสงได้ในช่วงความยาวคลื่น 180-220 นาโนเมตร และช่วงอินฟราเรด

3. โปรตีนสามารถสูญเสียแอกติวิตีทางชีวภาพ (denaturation) โดยพันธะอ่อนจะถูกทำลายไป สาเหตุมาจาก ภาวะที่อุณหภูมิที่สูงเกินไป การเปลี่ยนแปลง pH ที่สูงหรือต่ำเกินไป และสารบางชนิด เช่น ยูเรีย และกวานิดิเนียม ไอออน (guanidinium ion) ดังนั้น จึงใช้สารเหล่านี้ในการแยกหน่วยย่อยของโปรตีนออกจากกัน ส่วนพันธะ เพปไทด์และพันธะไดซัลไฟด์ยังคงอยู่ ซึ่งพันธะไดซัลไฟด์สามารถ ถูกทำลายได้ด้วยสารเคมี เช่น กรดเพอร์ฟอร์มิก (performic acid) และตัวรีดิวซ์ (reducing agent) เช่น เบตา-เมอร์แคปโตเอทานอล และไดไธไธรอล (dithiothreitol) กระบวนการแอนนีลิ่ง (annealing หรือ renaturation หรือ refolding) เป็นกระบวนการทำให้โปรตีนที่สูญเสีย แอกติวิตี ทางชีวภาพกลับมีแอกติวิตีทางชีวภาพเหมือนเดิมหลังจากที่แยกเอาตัวทำลายสภาพการขดตัวออกไป อาจกระทำโดยวิธีไดอะลิซิส (dialysis)

4. โปรตีนสามารถแตกตัวได้เช่นเดียวกับกรดอะมิโน ดังนั้นที่จุด pI โปรตีนจะมีประจุสุทธิเป็นศูนย์ ซึ่งไม่สามารถ เคลื่อนที่ได้ในสนามไฟฟ้า ที่จุด pH สูงกว่า pI โปรตีนจะมีประจุสุทธิเป็นลบ ทำให้เคลื่อนที่เข้าหาขั้วบวก และที่จุด pH ต่ำกว่า pI โปรตีนจะมีประจุสุทธิเป็นบวก ทำให้เคลื่อนที่เข้าหาขั้วลบ

5. โปรตีนส่วนใหญ่ละลายได้ในน้ำหรือสารละลายเกลือที่เจือจาง ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการละลายของโปรตีน มีดังนี้

5.1 ความเข้มข้นของเกลือ โปรตีนจะละลายเพิ่มขึ้นเมื่อเติมเกลือนินทรีย์ลงไปปริมาณน้อย เรียกว่า salting in แต่เมื่อเติมเกลือนินทรีย์ลงไปปริมาณที่มาก ๆ โปรตีนกลับละลายลดลง และเกิดการตกตะกอนเพิ่มขึ้น เรียกว่า salting out ดังนั้น จึงนำเทคนิค salting out มาใช้ในการทำให้โปรตีนบริสุทธิ์โดยไม่ทำให้โปรตีน เสียแอกติวิตีทางชีวภาพ เช่น ใช้เกลือแอมโมเนียมซัลเฟต (ammonium sulfate,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) ในการตกตะกอนโปรตีน

5.2 ในสภาพที่เป็นด่าง ไอออนของโลหะหนัก เช่น  $\text{Cd}^+$   $\text{Cu}^{2+}$   $\text{Fe}^{2+}$   $\text{Hg}^{2+}$   $\text{Pb}^{2+}$  และ  $\text{Zn}^{2+}$  สามารถตกตะกอน โปรตีนที่มีประจุสุทธิเป็นลบได้ และในสภาพที่เป็นกรด โปรตีนมีประจุสุทธิเป็นบวกสามารถจับกับ anion ของกรดบางชนิด เช่น กรดไทรคลอโรอะซีติก (trichloroacetic acid หรือ TCA) และตกตะกอนโปรตีนได้

5.3 pH มีผลทำให้ประจุสุทธิบนโมเลกุลของโปรตีนเปลี่ยนแปลงได้ และโปรตีนจะละลายได้น้อยที่สุด หรือตกตะกอนได้มากที่สุดที่จุด pI ของมัน เนื่องจากโปรตีนมีประจุสุทธิเป็นศูนย์ เรียกการ

ตกตะกอนโปรตีนที่จุด  $pI$  ว่า isoelectric precipitation

5.4 ความร้อน มีผลทำให้การละลายของโปรตีนลดลง ทั้งนี้เพราะไปทำลาย weak bond ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีน

5.5 ตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น อะซีโตน และเอทานอล สามารถตกตะกอนโปรตีนได้ดีที่อุณหภูมิใกล้ 0 องศาเซลเซียสหรือต่ำกว่าโดยไม่เสียแอกติวิตีทางชีวภาพเพราะไปลดความสามารถในการทำหน้าที่เป็นตัวทำละลาย ของน้ำได้ นอกจากนี้ ตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (dimethyl sulfoxide, DMSO) และ N,N-ไดเมทิล ฟอร์มาไมด์ (N,N-dimethylformamide, DMF) ก็เป็นตัวทำละลายของโปรตีนที่ดีในภาวะอุณหภูมิปกติ

## 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เต้าหู้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการตกตะกอนโปรตีนโดยสารตกตะกอน สารตกตะกอนที่นิยมได้แก่ แมกนีเซียมซัลเฟต แคลเซียมซัลเฟต แคลเซียมคลอไรด์และแลคโตน

เต้าหู้แต่ละประเทศมีชื่อเรียกต่างกัน เช่น ประเทศจีนเรียก Tofu หรือ Tao-fu เกาหลีเรียก Tofu ส่วนในญี่ปุ่นเรียก โตฟู (Tofu) ซึ่งมีการบริโภคกันเป็นจำนวนมาก จนถือได้ว่าเป็นอาหารหลักอย่างหนึ่ง และได้มีการแบ่งชนิดของโตฟูออกเป็น 2 ชนิดคือ Momen Tofu ซึ่งเป็นโตฟูที่มีการกำจัดน้ำเวย์ออกจากตะกอนของโปรตีน และ Kinugoshi-Tofu เป็นโตฟูที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสอ่อนกว่า เนื่องจากไม่มีการกำจัดน้ำเวย์ออกจากตะกอนโปรตีน(น้ำทิพย์ วงษ์ประทีป. 2540)

### เต้าหู้

เต้าหู้ได้ชื่อว่าเป็น “เนื้อไร้กระดูก” (The Meat without a Bone) เพราะเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพสูง ราคาไม่แพง มีสีขาวอ่อนนุ่ม อุ่มน้ำและย่อยง่าย กระบวนการผลิตเต้าหู้ใช้น้ำ ความร้อน แรงกด และเกลือแร่ทำให้เกิดการตกตะกอน แม้จะทำให้เสียวิตามินบีไปบางส่วนจากการใช้น้ำและความร้อน แต่ก็ทำให้แคลเซียมและเหล็กเพิ่มขึ้นจากการกรดรีดน้ำออกไป หากใช้เกลือแคลเซียมซัลเฟตจะทำให้แคลเซียมสูงขึ้น เต้าหู้แต่ละชนิดจึงมีคุณค่าต่างกันไปได้ สามารถประกอบอาหารได้อีกหลายอย่าง เช่น แกงจืดเต้าหู้ เต้าหู้ทอดเป็นต้น (สมชาย ประภาวดี.2538)

เต้าหู้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ปราศจากคอเลสเตอรอล และเป็นอาหารที่มีพลังงานต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ โดยถ้าได้รับโปรตีนจากเต้าหู้ 20 กรัมต่อวันแทนโปรตีนจากเนื้อสัตว์ก็เพียงพอในการช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลในกระแสเลือดได้ (Hideo ;& Kawassaki. 1990) เต้าหู้ที่มีคุณภาพดี จะต้องมีลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่ม เรียบ แน่น เกาะติดกัน ไม่เป็นยาง (rubbery) และแข็งเกินไป ดังนั้นลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้จึงเป็นสิ่งสำคัญและมีผลต่อคุณภาพและการยอมรับของผู้บริโภค สภาวะต่างๆในการผลิตเต้าหู้ เช่น อุณหภูมิ ชนิดและความเข้มข้นของสารที่ช่วยให้แข็งตัว การคน และอัตราส่วนระหว่างน้ำกับถั่วเหลืองจะมีผลต่อคุณภาพและผลผลิตของเต้าหู้ นอกจากนี้การผลิตเต้าหู้โดยใช้ถั่วเหลืองพันธุ์ต่างๆจะทำให้คุณภาพและผลผลิตของเต้าหู้แตกต่างกันด้วย เนื่องจากถั่วเหลืองแต่ละพันธุ์มีปริมาณโปรตีนที่ต่างกัน(Lim et al.1990)

## คุณค่าของเต้าหู้

เต้าหู้จากถั่วเหลืองมีโปรตีนประมาณ 11 % ใกล้เคียงกับไข่ (13 %) เต้าหู้ประกอบด้วย ความชื้น 85 เปอร์เซ็นต์ ไขมันประมาณ 4.2 เปอร์เซ็นต์ คุณภาพของโปรตีนในเต้าหู้อยู่ในระดับ ใกล้เคียงกับเนื้อไก่และเนื้อวัว เต้าหู้ก้อน (227 กรัม) มีโปรตีน 11.5 กรัม คิดเป็นร้อยละ 27 ของโปรตีนที่ผู้ใหญ่ต้องการใน 1 วัน ถ้ากินร่วมกับข้าวกล้องจะได้โปรตีนที่ดียิ่งขึ้น เต้าหู้ที่มีโปรตีนสูงจะเป็นเต้าหู้ที่ค่อนข้างแข็งได้แก่ เต้าหู้ขาวแข็ง และเต้าหู้แข็งเหลือง(มีน้ำขมมันผสม)

นอกจากนี้ในเต้าหู้มีแคลเซียม 2 มิลลิกรัมต่อกรัม (Wang *et al.* 1983; Schaefer and Love. 1992) สูงกว่าพืชผักอื่นๆ ทั้งหมด ช่วยป้องกันโรคกระดูกบางหรือกระดูกพรุนในผู้สูงอายุ เต้าหู้มีโปแตสเซียมซึ่งมีส่วนช่วยลดความดันเลือด และรักษาสสมดุลเกลือแร่ในร่างกาย เต้าหู้หลอดมีแคลเซียมต่ำกว่าเต้าหู้แข็งและเต้าหู้ยว เนื่องจากไม่ได้ใช้เกลือแคลเซียมในกระบวนการผลิต(ทำให้ตกตะกอน)

เต้าหู้ยังมีสารไฟโตเคมีคอล(phytochemicals) เช่น ไอโซฟลาโวน ฯลฯ สารเหล่านี้ช่วยป้องกันมะเร็งหลายชนิด เช่น มะเร็งเต้านม ฯลฯ ต้านอนุมูลอิสระ ฮอโมนธรรมชาติในถั่วเหลืองและเต้าหู้ช่วยปรับสมดุลฮอโมนในผู้หญิงวัยทอง

ลักษณะเต้าหู้ในประเทศไทยมีลักษณะเนื้อสัมผัสแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต โดยเต้าหู้สามารถผลิตให้มีลักษณะแตกต่างกันโดยการปรับปริมาณความชื้น เช่น เต้าหู้ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ 87-90 เปอร์เซ็นต์ จะมีผิวเรียบและอ่อนนุ่ม ส่วนเต้าหู้ที่มีปริมาณน้ำ 50-60 เปอร์เซ็นต์ มีลักษณะแข็ง เนื้อสัมผัสคล้ายเนื้อสัตว์ นอกจากนี้ชนิดของสารตกตะกอนก็จะส่งผลให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้ต่างกัน อัตราส่วนระหว่างน้ำกับถั่วก็มีผลต่อการผลิตเต้าหู้ ส่วนรูปร่างขนาดของเต้าหู้ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของแม่พิมพ์หรือภาชนะที่ใส่ เต้าหู้ที่มีคุณภาพดีต้องไม่มีกลิ่น รสจืดและมีสีขาว(อุดม กาญจนปกรณชัย และสมชาย ประภาวดี.2519) นอกจากนี้ถั่วเหลืองพันธุ์ต่างๆ จะทำให้คุณภาพและผลผลิตของเต้าหู้ต่างกัน เนื่องจากถั่วเหลืองแต่ละพันธุ์มีปริมาณโปรตีนต่างกัน(Lim *et al.* 1990)

**การแบ่งประเภทเต้าหู้** ปัจจุบันมีเต้าหู้มากมายไม่ว่าจะเป็นเต้าหู้ขาว เต้าหู้เหลือง ทั้งชนิดอ่อนและแข็ง มีแบบจีนและแบบญี่ปุ่น ซึ่งเต้าหู้ญี่ปุ่นจะเป็นเต้าหู้ที่ไม่ปรุงแต่งรสชาติเหมือนเต้าหู้จีน แล้วยังมีเต้าหู้หลอด ฟองเต้าหู้ และเต้าหู้อื่นๆ ให้เลือก ชื่อนำมาปรุงเป็นอาหารจานเต้าหู้มอรรอย เต้าหู้อ่อน เป็นเต้าหู้ที่มีเนื้ออ่อนนุ่ม มีสีขาวนวลกลิ่นหอม มีทั้งแบบก้อนบางและก้อนหนาให้เลือก นิยมนำมาใส่แกงจืด สุกียากี้ เป็นต้น

**เต้าหู้แข็ง** เป็นเต้าหู้ที่มีเนื้อแข็ง สีขาวนวลออกครีมๆ เป็นก้อนสี่เหลี่ยม มีความหนาประมาณ 1 ซม. เหมาะสำหรับการทำอาหารหลายชนิด อย่างยำ ลาบ แกง ผัด อาหารจานเดียวอย่างผัดไทย แต่ที่สำคัญต้องทอดให้เหลืองก่อน เวลานำไปทำอาหารจะไม่เละ ยังคงเป็นชิ้นน่ารับประทาน

**เต้าหู้เหลือง** ทั้งชนิดอ่อนและแข็ง มีเปลือกสีเหลือง เนื้อสีขาวนวล รสเค็มกว่าเต้าหู้ขาว เป็นเต้าหู้ปรับปรุงใหม่ โดย นำก้อนเต้าหู้ไปแช่ใน น้ำเกลือ แล้วนำไปจุ่มสีเหลืองหรือขมิ้น เพื่อให้รู้ว่า

เต้าหู้ชนิดนี้มีรสเค็ม และยืดอายุการเก็บ อาหารที่นำมาเป็นอาหาร ที่ต้องการมีรสชาติของ เต้าหู้ที่เข้มข้นขึ้นอย่างทอดผัดแกงชนิดต่างๆ

**เต้าหู้หลอด** เป็นเต้าหู้อ่อนอีกชนิดหนึ่งที่มีกรรมวิธีการผลิตที่ทันสมัยยิ่งขึ้น บรรจุลงในหลอดพลาสติก เพื่อความสะดวก เก็บได้นานสะดวกเวลาใช้ มีทั้งชนิดธรรมดาและชนิดไข่ นิยมนำมาใส่แกงจืด สุกียากี้ เต้าหู้อบ เต้าหู้ตุ๋น เป็นต้น

**ฟองเต้าหู้** เป็นสิ่งที่ได้จากการต้มน้ำเต้าหู้ (น้ำนมถั่วเหลือง) ต้มจนมีความเข้มข้น จนผิวหน้าของเต้าหู้จับตัวกัน เป็นแผ่น สามารถนำมารับประทานได้เลยโดยใส่ในแกงจืด ฟองเต้าหู้ชนิดนี้เป็นแบบเปื่อย ถ้าแบบแข็งต้องนำฟอง เต้าหู้ที่ได้ไปตากหรืออบจนแห้ง มีทั้งแบบแผ่นใหญ่ที่คนจีนเรียกว่า หูเหมา นิยมนำไปห่ออาหาร เช่น แฮกิ้น หอยจ๊อ เปาะเปี๊ยะ ผัก และแบบเป็นชิ้นเล็กเรียกว่า หูกี้ นิยมใส่แกงจืด ผัดโป๊ยเชียน

ตารางที่ 2 แสดงคุณค่าของเต้าหู้ชนิดต่างๆ ในปริมาณ 100 กรัม

| ชนิดเต้าหู้       | พลังงาน<br>แคลอรี | โปรตีน<br>กรัม | ไขมัน<br>กรัม | คาร์โบไฮเดรต<br>กรัม | แคลเซียม<br>มิลลิกรัม | ฟอสฟอรัส<br>มิลลิกรัม | เหล็ก<br>มิลลิกรัม | วิตามิน<br>เอ<br>L.U |
|-------------------|-------------------|----------------|---------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|
| เต้าหู้แข็ง       | 135               | 12.5           | 8.1           | 6.0                  | 188                   | 222                   | 5.6                | 42                   |
| เต้าหู้<br>เหลือง | 123               | 15.6           | 3.9           | 6.4                  | 94                    | 177                   | 28                 | -                    |
| เต้าหู้อ่อน       | 67                | 12.5           | 4.1           | 0.4                  | 150                   | 104                   | 2.2                | -                    |
| ฟองเต้าหู้        | 461               | 47.0           | 28.4          | 14.9                 | 245                   | 494                   | 9.5                | -                    |

ที่มา : ดัดแปลงมาจากบทความสุขภาพ โรงพยาบาลมิชชั่น จาก [http://www.mission-hospital.org/new\\_mission/health/tofu\\_th.php](http://www.mission-hospital.org/new_mission/health/tofu_th.php)

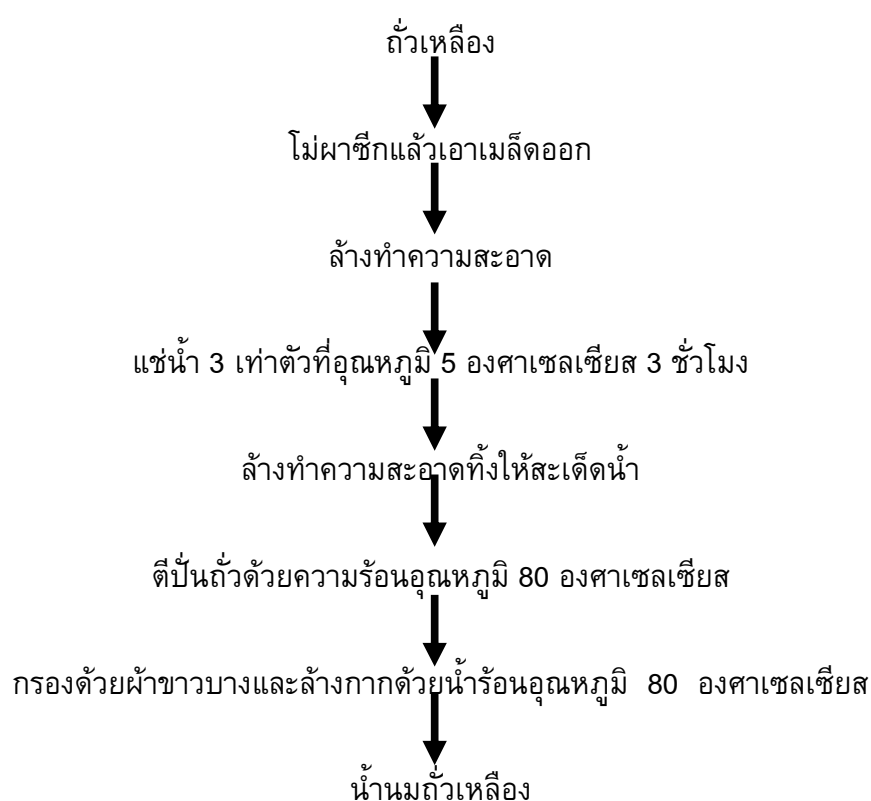
### การเก็บรักษาเต้าหู้

เต้าหู้เป็นอาหารที่บูดหรือเสียได้ง่าย ถ้าเต้าหู้ นั้นไม่ใส่สารกันบูด ในบางครั้งที่เราซื้อเต้าหู้มาไว้ในตู้เย็นแล้วก็ไม่สามารถเก็บได้นาน (ยกเว้นเต้าหู้หลอด) เพียงวันสองวัน เต้าหู้จะเป็นเมือก มีกลิ่นเหม็นเปรี้ยว วิธีการเก็บ เต้าหู้ให้ได้นาน วัน ยิ่ง ขึ้น ให้เอาน้ำต้มสุกที่เย็น แล้วใส่ซาลาแด่ แล้ว เอาเต้าหู้แช่น้ำ ให้ท่วม นำเข้าตู้เย็นก็จะยืดอายุการเก็บได้นาน 7 - 15วัน เต้าหู้อ่อนจะเก็บได้ไม่นานเท่าเต้าหู้แข็งเพราะมีน้ำอยู่ในเนื้อมากกว่า แต่ในกรณีที่แป้นเต้าหู้หลอดให้เก็บในตู้เย็นช่องเย็น ธรรมดา ก็เก็บได้นานหลายวันนำไปแช่ช่องแข็งเพราะลักษณะของเนื้อเต้าหู้จะเปลี่ยนไปส่วนเต้าหู้ทอดเก็บได้ในตู้เย็นช่องธรรมดาแต่ไม่นานก็จะขึ้นรา ดังนั้นการทำอาหารจากเต้าหู้ไม่ควรซื้อเต้าหู้มาในปริมาณที่มากเพราะกลิ่น รส ของเต้าหู้จะเปลี่ยนไป

## การผลิตเต้าหู้

การผลิตเต้าหู้ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ การเตรียมน้ำนมถั่วเหลือง การตกตะกอน และการกดให้เป็นก้อน

1. การผลิตน้ำนมถั่วเหลือง มีขั้นตอนเหมือนกับการทำนมถั่วเหลือง อประโยชน์อย่างอื่นทุกประการ แต่ในระหว่างการกรองเอานมออกจะต้องนำมาทำให้ร้อนก่อนการตกตะกอน(ภาพประกอบ 3)



ภาพประกอบ 3 การเตรียมน้ำนมถั่วเหลือง

ที่มา : ปรียาพร เขียวขำ.(2544).

1) การแยกเปลือกถั่วเหลือง การผลิตน้ำนมถั่วเหลืองควรแยกเอาเปลือกออกก่อนที่จะทำการแช่น้ำโดยการโม่ผ่าซีก เพื่อให้ใช้ระยะเวลาในการแช่ถั่วที่สั้นลง นอกจากนี้ยังทำให้ได้น้ำนมที่มีสีขาวและมีกลิ่นถั่วลดลง(ณรงค์ นิยมวิทย์.2528; กุลวดี ครอบพาณิชย์และคณะ. 2532; Liu. 1997)

2) การแช่ถั่วเหลือง ก่อนการแช่ถั่วเหลืองควรทำความสะอาดถั่วเหลืองก่อน เพื่อล้างฝุ่นและสิ่งสกปรกออกจากถั่วเหลือง การแช่ถั่วทำให้ได้เนื้อถั่วนุ่ม บดและสกัดของแข็งและโปรตีนที่ละลายน้ำได้มาก ทำให้มีปริมาณผลผลิตสูง ผลิตภัณฑ์นมถั่วเหลืองไม่เกิดรสขม ไม่มีสีคล้ำ และมี

อายุการเก็บรักษาที่ยาวขึ้น(Shurtleff ;& Aoyagi.1979) อุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ถั่วเหลือง จะทำให้ถั่วเหลืองเกิดการเปลี่ยนแปลงต่างกันไป โดยที่อุณหภูมิจะทำให้ถั่วเหลืองดูดซึมน้ำได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำ(ณรงค์ นิยมวิทย์.2528; มณฑนา ร่วมรักษ์ และคณะ. 2529) ในระหว่างการแช่ถั่วเหลืองจะทำให้เกิดการสูญเสียของแข็งที่ละลายน้ำ โดยพบว่า เมื่อแช่ถั่วเหลืองเป็นเวลานานจะเกิดการสูญเสียของแข็งที่ละลายน้ำมากขึ้น และเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากจุลินทรีย์(Liu.1997) น้ำทิพย์ วงษ์ประทีป( 2540) พบว่าการแช่ถั่วที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะทำให้ถั่วเหลืองอืดตัวเมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ถั่วเหลืองจะอืดตัวที่เวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสถั่วเหลืองจะอืดตัวที่เวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง และที่อุณหภูมินี้สามารถแช่ถั่วเหลืองได้นานถึง 23 ชั่วโมง โดยถั่วเหลืองไม่มีการเปลี่ยนแปลง และทำให้สามารถสกัดของแข็งที่ละลายน้ำออกมาได้มากที่สุด

ปริญพร เขียวขำ.(2544). ศึกษาการลดกลิ่นถั่วโดยใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต ระหว่างการแช่ถั่วเหลืองพบว่า การใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต 0.5 เปอร์เซ็นต์ (w/w โดยน้ำหนักแห้งของถั่วเหลืองแห้ง) จะทำให้น้ำนมถั่วเหลืองไม่มีกลิ่นถั่วและไม่มีรสฝืด การที่โซเดียมไบคาร์บอเนตมีผลในการลดกลิ่นถั่วเหลืองเนื่องมาจากโซเดียมไบคาร์บอเนตจะไปทำการลดกิจกรรมของเอนไซม์ โดยจะไปทำให้ pH ของน้ำนมถั่วเหลืองเพิ่มสูงขึ้น(Borhan;& Synder.1979)

Borhan ;& Synder.(1979). พบว่าการแช่ถั่วเหลืองในสารละลายเอทานอล 30 – 50 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดกลิ่นถั่วได้

**3) การบดถั่วเหลือง** ควรใช้น้ำร้อนในการบด เนื่องจากจะช่วยดูดกลืนถั่วเหลืองได้ดีกว่าการใช้น้ำเย็น เพราะความร้อนจะไปมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดกลิ่นถั่ว(ณรงค์ นิยมวิทย์ ; 2528) ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ไม่ควรต่ำกว่า 80 องศาเซลเซียส(Borhan ;& Synder.1979) เนื่องจากน้ำร้อนที่ใช้จะช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดกลิ่นถั่ว

ปริญพร เขียวขำ(2544) ศึกษาการลดกลิ่นถั่ว โดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) พบว่าการเติม แคลเซียมคาร์บอเนต 0.10 เปอร์เซ็นต์ (w/w ของถั่วเหลืองแห้ง) ในระหว่างการบด จะได้น้ำนมถั่วเหลืองที่มีกลิ่นถั่วน้อย ไม่มีรสฝืด และมีปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้น

Wilken ; *et al.* (1976) พบว่าการบดถั่วเหลืองด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิที่ 80-100 องศาเซลเซียส จะมีผลการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดกลิ่นถั่วทำให้น้ำถั่วเหลืองที่ได้มีรสชาติดี

Che man ; *et al.* (1989) ศึกษาการลดกลิ่นถั่วในน้ำนมถั่วเหลืองโดยการบดถั่วเหลืองด้วยกรดที่ pH 3.0 พบว่าสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส เนื่องจากที่ pH ต่ำสามารถทำให้เอนไซม์เกิดการเสียสภาพ

**4) การกรองกาก** การกรองกากอาจทำก่อนการต้มหรือหลังการต้มขึ้นอยู่กับความนิยม การต้มก่อนการกรองจะทำให้ความหนืดของถั่วเหลืองลดลงทำให้กรองง่าย แต่อาจมีผลต่อการละลาย

ของโปรตีน(ณรงค์ นิยมวิทย์; 2528) ส่วนการกรองก่อนการต้ม กากที่กรองได้ยังคงประกอบด้วยโปรตีนที่ละลายน้ำได้ จึงควรล้างกากต่อด้วยน้ำร้อนเพื่อเพิ่มปริมาณผลผลิต(Liu.1997)

## 2. ขั้นตอนการผลิตเต้าหู้

### ขั้นที่ 1 ขั้นผลิตน้ำนมถั่ว

เลือกเมล็ดถั่วที่เสียออกแล้วแช่ในน้ำร้อน 2-3 ชั่วโมง จนเมล็ดถั่วพองและอมน้ำเต็มที บีบเอาเมล็ดออกให้หมด ใส่ถั่วและน้ำลงในโถปั่น ครั้งละ 1/3 ของโถปั่น ปั่นเข้าด้วยกันจนละเอียดทำจนหมดกรองส่วนผสมด้วยผ้าขาวบาง บีบเอาน้ำถั่วออกให้หมด นำน้ำถั่วมาต้ม โดยใช้ไฟกลางค่อนข้างแรง พอเดือดสักครู่ ปิดไฟ ยกลงแช่ในอ่างน้ำประมาณ 10 นาที จนอุณหภูมิ 70 – 80 องศาเซลเซียส ยกหม้อออกเทน้ำดีเกลือลงในหม้อที่ละน้อย คนให้เข้ากันใส่น้ำดีเกลืออีก จนชั้นและโปรตีนถั่วจับกันเป็นก้อน จนหมดน้ำดีเกลือ ต้มหม้อทิ้งไว้สักครู่ให้โปรตีนตกตะกอน แล้วตักโปรตีนถั่วเหลืองใส่พิมพ์ไม้ที่รองด้วยผ้าขาวบางจนพูน ห่อให้เรียบร้อย หลังจากนั้นทับด้วยเชือกหรือของหนักๆ ประมาณ 30 นาที จะได้เต้าหู้แข็ง

### ขั้นที่ 2 การตกตะกอนโปรตีน

หลังจากที่ได้ให้น้ำนมถั่วเหลืองแล้วจึงนำมาตกตะกอนด้วยโลหะบางชนิด เช่นแคลเซียมหรือแมกนีเซียมสามารถทำปฏิกิริยากับโปรตีน โดยจะเกิดการสร้างพันธะเคมีภายในโมเลกุลของโปรตีน ทำให้โปรตีนจับตัวกันเป็นก้อนและตกตะกอนลงมา ซึ่งในการตกตะกอนนอกจากโปรตีนจะตกตะกอนลงมาแล้วยังมีส่วนของไขมันตกตะกอนลงมาอีกด้วย จึงทำเต้าหู้ที่ได้มีไขมันประกอบอยู่ด้วย ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้จะมีความสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัสและปริมาณผลผลิต โดยปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงจะทำให้เต้าหู้ที่ได้มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็งและมีปริมาณของเต้าหู้ลดลง (Beddows ;& Wang. 1987a; Ohara ;et al. 1992; Cai ;& Chong. 1997; Shih;et al.1997 ) สารตกตะกอนต่างชนิดกันจะทำให้ได้ลักษณะเต้าหู้ที่ต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการผลิตปริมาณหรือความเข้มข้นของสารตกตะกอนที่เหมาะสมทำให้เวย์(whey)ใส ถ้าน้อยเกินไปเวย์จะขุ่นโปรตีนตกตะกอนไม่หมด ถ้าสูงเกินไปทำให้เวย์ มีรสขมและมีสีเหลืองใส เต้าหู้ที่ได้จะมีเนื้อสัมผัสที่แข็งและปริมาณเต้าหู้ลดลง(Catharing ; et al 1999; ณรงค์ นิยมวิทย์. 2528; สมชาย ประภาวดี. 1991) ปริมาณของสารตกตะกอนที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 2-3 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของถั่วแห้ง (Shurtleff ;& Aoyagi.1979) โดยสารตกตะกอนที่นิยมใช้ในการผลิตเต้าหู้แข็งมีดังนี้

1) สารประกอบคลอไรด์ ได้แก่ แมกนีเซียมคลอไรด์ แคลเซียมคลอไรด์ จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เต้าหู้ที่มีลักษณะแข็ง มีปริมาณแคลเซียมสูง มีกลิ่นรสที่ดีสามารถตกตะกอนโปรตีนได้อย่างรวดเร็ว เหมาะแก่การผลิตเต้าหู้แข็ง ปริมาณที่ใช้ในการผลิตเต้าหู้แข็ง คือ 3 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของถั่วแห้ง(Shurtleff ;& Aoyagi.1979; สมจิต อ่อนหม่อม และเพลินใจ ตั้งคณะกุล. 2538)

2) สารประกอบซัลเฟต เป็นสารตกตะกอนที่เหมาะสมสำหรับผลิตเต้าหู้อ่อน เนื่องจากทำให้ผลิตภัณฑ์เต้าหู้ที่ได้มีลักษณะอ่อนนุ่มน้ำได้มาก แต่สารตกตะกอนชนิดนี้ก็สามารถมาผลิตเต้าหู้แข็งได้โดยใช้ปริมาณสารตกตะกอน 2.2 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักถั่วแห้ง สารประกอบซัลเฟตที่ง่ายและปริมาณผลผลิตสูง(Shurtleff ;& Aoyagi.1979) สารตกตะกอนซัลเฟตที่นิยมใช้ ได้แก่ แคลเซียมซัลเฟต( $\text{CaSO}_4$ ) ปริมาณที่ใช้ควรอยู่ในช่วง 0.02-0.04 โมลาร์จะทำให้เต้าหู้มีลักษณะค่อนข้างแข็งสามารถให้ปริมาณผลผลิต 4.45-5.26 กิโลกรัมต่อกิโลกรัม โดยน้ำหนักถั่วแห้ง สารประกอบซัลเฟตอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ได้แก่ แมกนีเซียมซัลเฟต( $\text{MgSO}_4$ ) หรือที่เรียกว่า ดีเกลือ หรือยิบซัม เป็นสารตกตะกอนที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เต้าหู้มีลักษณะแข็ง ตกตะกอนโปรตีนได้ช้ากว่าแคลเซียมคลอไรด์ให้ปริมาณผลผลิตสูงเช่นเดียวกับแคลเซียมซัลเฟต (Shurtleff ;& Aoyagi.1979)

3) แลคโตน (Lactone;GDL) เป็นสารตกตะกอนที่มีราคาสูงเมื่อเปรียบเทียบกับสารประกอบคลอไรด์ และสารประกอบซัลเฟต การทำงานของแลคโตนจะต่างกับการทำงานของแคลเซียมซัลเฟส โดยสารแลคโตนสามารถเปลี่ยนไปเป็นกรดกลูโคนิกจะให้โปรตรอนทำให้โปรตีนเกิดการตกตะกอน ส่วนสารประกอบแคลเซียมซัลเฟต ไอออนแคลเซียม( $\text{Ca}^{2+}$ ) ทำให้โปรตีนตกตะกอนสารแลคโตนเหมาะสำหรับทำเต้าหู้ (ณรงค์ นิยมวิทย์. 2528) ไม่นิยมนำมาผลิตเต้าหู้แข็ง เนื่องจากในการผลิตเต้าหู้แข็งจะใช้สารตกตะกอนปริมาณที่สูงกว่าการผลิตเต้าหู้หลอดจึงทำให้ผลผลิตที่ได้มีรสเปรี้ยว ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ปริมาณของสารตกตะกอนชนิดที่ใช้เต้าหู้หลอด คือ 1.0 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักถั่วแห้ง(น้ำทิพย์ วงษ์ประทีป. 2540)

อุณหภูมิที่ใช้ในการตกตะกอนมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้ การตกตะกอนที่อุณหภูมิสูงโปรตีนจะมีพลังงานกระตุ้นสูง(Active energy) ทำให้มีการตกตะกอนเร็ว ส่งผลให้เต้าหู้นุ่มน้ำได้น้อยเต้าหู้จึงมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็งและหยาบ ปริมาณผลผลิตที่ได้ต่ำกว่าการตกตะกอนที่อุณหภูมิต่ำ ถ้าตกตะกอนโปรตีนที่อุณหภูมิต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียสจะทำให้การตกตะกอนมาสมบูรณ์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเนื้อสัมผัสอ่อนมีน้ำสูง(Catharing ;et al. 1999) อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอนควรอยู่ในช่วง 70-80 องศาเซลเซียส(Beddows and Wong. 1987b) ในการผลิตเต้าหู้อ่อนจะใช้เวลาในการตกตะกอนประมาณ 30 นาที ส่วนเต้าหู้แข็งจะใช้เวลาประมาณ 10-15 นาที (Shi ;& Ren.1993)

### ขั้นที่ 3 การกดให้เป็นก้อน

การกดเป็นการทำให้โปรตีนจับตัวกันเป็นก้อนแข็งตามลักษณะที่ต้องการ และทำให้ปริมาณความชื้นของเต้าหู้ลดลง ในการเตรียมพิมพ์จะต้องปูผ้าขาวบางลงบนพิมพ์ จากนั้นจึงตักก้อนตะกอนโปรตีนใส่ลงในพิมพ์ โดยต้องทำอย่างระมัดระวังเพื่อไม่ทำให้ตะกอนแตก ถ้าน้ำเวย์ไม่ใสหรือผ้าขาวบางไม่สะอาด น้ำเวย์จะผ่านได้ยาก เป็นเหตุให้แกะเต้าหู้ออกจากพิมพ์ได้ยาก เมื่อตักก้อนตะกอนใส่พิมพ์แล้วปิดด้วยผ้าขาวบางอีกชั้นหนึ่ง จากนั้นจึงทับด้วยของหนัก 2-4 กรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 5 นาที แล้วจึงเพิ่มน้ำหนักเป็น 5-10 กรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 10-15 นาที หรือจนน้ำเวย์หยุดไหล (Shurtleff ;& Aoyagi.1979) หลังจากกดจนได้เวลาแล้วยก

พืชมใส่ลงในน้ำเย็นกว่าเต้าหู้แช่น้ำจะช่วยให้แกะเต้าหู้ออกจากพืชมได้ง่ายไม่แตกและยังช่วยให้เต้าหู้เย็นทันทีเพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ในการกำจัดเวียบางส่วนนอกจากการกดทับจะช่วยให้เต้าหู้สามารถจับตัวกันได้ดีขึ้น

### 3. ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตเต้าหู้

#### 1. องค์ประกอบและความแตกต่างของถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองมีความแตกต่างกันอย่างมากมาในด้านการของลักษณะปรากฏและองค์ประกอบทางเคมี ลักษณะปรากฏได้แก่ ขนาดของเมล็ด รูปร่าง โดยพบว่าองค์ประกอบทางเคมีมีผลต่อกลิ่นรส เนื้อสัมผัสและผลผลิตของเต้าหู้ ซึ่งผลกระทบขององค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของถั่วเหลืองที่มีผลต่อคุณภาพของเต้าหู้มีดังนี้(Lim,1997)

##### 1.1 โปรตีน

โปรตีน 11S (glycinin) และ 7S ( $\beta$ -conglycinin) เป็นโปรตีนหลักของโปรตีนในถั่วเหลืองมีคุณสมบัติในการเกิดเจลด้วยความร้อน แต่มีคุณสมบัติทางกายภาพของเจลเต้าหู้ที่ได้แตกต่างกัน (Lim,1997) โดยโปรตีน 7S สามารถทนต่อความร้อนได้ดีกว่า โปรตีน 11S กล่าวคือ โปรตีน 7S และ 11S มีอุณหภูมิในการสูญเสียสภาพที่ 70 และ 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ที่ความเป็นกรดต่างเป็นกลางและไม่เติมเกลือ(Hermansson.1978)

##### 1.2 กรดไฟติก

ถั่วเหลืองมีปริมาณกรดไฟติกคิดเป็นปริมาณมากกว่าสองในสามของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พบในถั่วเหลือง กรดไฟติกถูกสกัดออกจากเมล็ดถั่วเหลืองในระหว่างขั้นตอนการผลิตน้ำมันถั่วเหลือง Salo กล่าวว่าค่าความแข็งของเต้าหู้มีค่าลดลงเมื่อเติมกรดไฟติกและเต้าหู้ที่ผลิตจากโปรตีน 11S มีค่าความแข็งลดลงมากกว่าโปรตีน 7S เนื่องจากกรดไฟติกทำปฏิกิริยากับไควาเลนซ์คือ แคทไอออนและโปรตีน อีกทั้งยังทำให้เกิดตะกอนของคอลลอยด์ซึ่งสามารถกักเก็บน้ำไว้ในโครงสร้างเจลเต้าหู้ได้มากขึ้น นอกจากนี้กรดไฟติกยังเกิดการแข่งขันกับโปรตีนในการตกตะกอน (Schaefer ;& Love,1992)

#### 2. อุณหภูมิในการบดถั่วเหลือง

Obata และ Matsuura (1993) พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในขั้นตอนการบดจาก 0 องศาเซลเซียส จนถึง 50 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ความแน่นเนื้อของเต้าหู้ลดลง

#### 3. ปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำมันถั่วเหลือง

ปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำมันถั่วเหลืองมีความสัมพันธ์อย่างมากกับอัตราส่วนระหว่าง น้ำ : ถั่วเหลือง และอัตราส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลือง : ถั่วเหลือง อัตราส่วนน้ำ : ถั่วเหลืองเป็นน้ำหนักรวมของน้ำที่เติมลงไปในถั่วเหลืองแห้งในระหว่างขั้นตอนต่างๆ ได้แก่ ขั้นตอนการแช่ถั่วเหลือง การบดและการต้ม รวมถึงน้ำที่ใช้ล้างกากถั่วครั้งแรก หากรดด้วยน้ำหนักเริ่มต้นของถั่วเหลืองแห้ง อัตราส่วนของน้ำมันถั่วเหลือง : ถั่วเหลือง เป็นน้ำหนักรวมของน้ำมันถั่วเหลืองที่ได้หารด้วย

น้ำหนักเริ่มต้นของถั่วเหลืองแห้ง แต่บางครั้งน้ำจะถูกดูดซับอยู่ในกากถั่วเหลือง ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างน้ำนมถั่วเหลือง : ถั่วเหลืองจึงมีค่าประมาณร้อยละ 92 ของอัตราส่วนน้ำต่อถั่วเหลือง (Liu,1997)

#### 4. ชนิดของสารตกตะกอน

##### 4.1 สารตกตะกอนที่เป็นเกลือ

ในการหรือเกลือของคลอไรด์ ได้แก่ ในการธรรมชาติ ในการบริสุทธิ์และแคลเซียมคลอไรด์ Wang และ Hesseltine (1982) ทดสอบสารตกตะกอนที่มีคุณสมบัติเป็นเกลือ 4 ชนิด ได้แก่ แคลเซียมซัลเฟต แคลเซียมคลอไรด์ แมกนีเซียมซัลเฟต แมกนีเซียมคลอไรด์ พบว่าเกลือแคลเซียมซัลเฟตให้เต้าหู้ที่น้ำหนักสูงสุด เต้าหู้ที่ได้จากการใช้เกลือคลอไรด์ตกตะกอนจะมีความแข็งความเปราะสูงกว่าเต้าหู้ที่เกิดจากเกลือซัลเฟต

##### 4.2 สารตกตะกอนที่เป็นกรด

กลูคาโนเดลต้าแลคโตนหรือแลคโตน (Gluconodeltalactone,GDL) ถูกใช้เป็นสารตกตะกอนที่ทำให้ความเป็นกรดต่างลดต่ำลง(pH – lowing agent ) โดย GDL เมื่อละลายน้ำจะได้เป็นกรดกลูโคนิก pH = 3.6 ข้อดีของ GDLสามารถผสมกับน้ำนมถั่วเหลืองที่อุณหภูมิห้องแล้วเทใส่ภาชนะปิดผนึกทันที จากนั้นนำไปแช่น้ำร้อนการตกตะกอนของโปรตีนจะเกิดขึ้นช้าๆ เนื่องจากความร้อนไปกระตุ้นให้เกิดการไฮโดรไลซิสของ GDLในกรดกลูโคนิก

##### 4.3 สารตกตะกอนที่เป็นเอนไซม์

เอนไซม์ที่ทำให้โปรตีนถั่วเหลืองเกิดการรวมตัวกัน(clotting) เป็นพวกเอนไซม์โปรติโอไลติก(proteolytic enzyme) Scharf (1979อ้างโดย Liu,1997) ผลิตเต้าหู้จากเอนไซม์ปาเปน โดยใช้เอนไซม์ปริมาณร้อยละ 1-3 ผสมกับน้ำนมถั่วเหลืองดิบที่อุณหภูมิห้องวางทิ้งไว้ 1 นาที จากนั้นให้ความร้อน จนกระทั่งเกิดการตกตะกอนของโปรตีน ต่อมา Murata และคณะ (1987,1988) ได้ทดสอบประสิทธิภาพการรวมตัวของโปรตีนในถั่วเหลือง โดยใช้เอนไซม์โปรติเนสที่ทำงานที่สภาวะเป็นกรดเป็นกลางและเป็นด่าง ซึ่งได้จากจุลินทรีย์ พืช สัตว์ พบว่าเอนไซม์โปรติเนสสามารถตกตะกอนโปรตีนได้ ความสามารถในการทำให้เกิดการตกตะกอนของเอนไซม์เหล่านี้จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเกลือแคลเซียมคลอไรด์หรือแมกนีเซียมคลอไรด์

#### 5. ความเข้มข้นของสารตกตะกอน

ปริมาณสารตกตะกอนที่เติมจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพและปริมาณของเต้าหู้ เมื่อเติมสารตกตะกอนในปริมาณที่เหมาะสม เวย์ที่ได้จะมีลักษณะใสสีเหลืองอำพันหรือสีเหลืองอ่อนแต่ถ้าเติมในปริมาณที่มากเกินไป เวย์จะมีสีค่อนข้างเหลือง รสขมเล็กน้อยและเต้าหู้จะมีลักษณะเนื้อหยาบ Skurray และคณะ(1980) พบว่าปริมาณของแคลเซียมที่ใช้ในขั้นตอนการตกตะกอนโปรตีนจะมีผลอย่างมากต่อเต้าหู้มากกว่าสายพันธุ์ของถั่วเหลือง

#### 6. อุณหภูมิในการตกตะกอน

อุณหภูมิของน้ำนมถั่วเหลืองในขณะเติมสารตกตะกอนจะส่งผลกระทบต่ออัตราการ

ตกตะกอนและคุณภาพของเต้าหู้ โดยที่อุณหภูมิสูงโปรตีนจะมีพลังงานมากทำให้เกิดการตกตะกอนอย่างรวดเร็ว เต้าหู้ที่ได้จะมีโครงข่ายร่างแหขนาดเล็ก ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง เนื้อสัมผัสแข็ง และมีปริมาณผลผลิตต่ำ ส่วนที่อุณหภูมิต่ำจะมีผลตรงกันข้าม ยิ่งอุณหภูมิต่ำมากจะทำให้การตกตะกอนของโปรตีนไม่สมบูรณ์ เต้าหู้ที่ได้มีน้ำมากจนไม่สามารถคงรูปร่างอยู่ได้ ดังนั้นการเลือกอุณหภูมิในการตกตะกอนโปรตีนจึงขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของสารตกตะกอน การเติมสารตกตะกอน และชนิดของเต้าหู้ที่จะผลิต

## การเกิดเจล

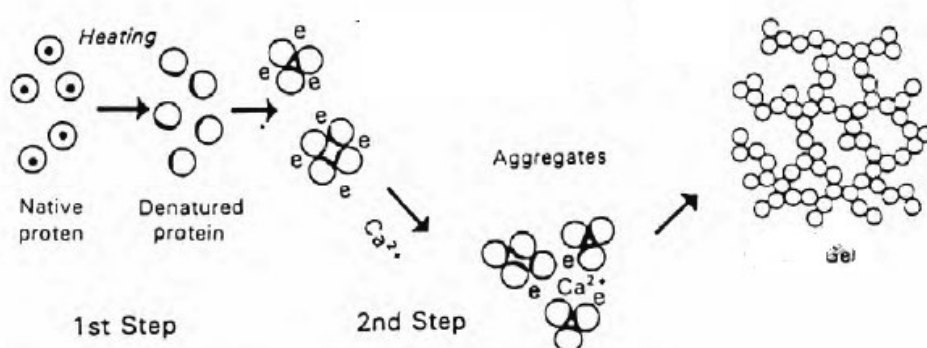
เจล คือ เป็นการเชื่อมระหว่างหน่วยโครงสร้างเพื่อให้เป็นโครงสร้างตาข่ายที่ป้องกันการไหลของของไหล (ณรงค์.2523) เจลเป็นกระบวนการผลิตพื้นฐานที่เกิดในการผลิตอาหารหลายชนิดเช่น ผลิตภัณฑ์นม เนื้อ ปลา ผลไม้และขนมอบ เป็นต้น

การเกิดเจล(gelation)คือ

- ปรากฏการณ์ที่โปรตีนประสานตัวกันอย่างมีแบบแผน เกิดเป็นโครงสร้างร่างแห 3 มิติ โดยมีโมเลกุลของน้ำระหว่างร่างแหเหล่านั้น เจลที่ได้สามารถอุ้มน้ำได้ดี ทำให้เกิดเนื้อสัมผัสที่มีความยืดหยุ่น

- การคลายตัวของโปรตีนและมีการจับกันใหม่ที่จุดเฉพาะเพื่อฟอร์มตัวเป็นโครงร่างตาข่าย 3 มิติ การคลายตัวของโปรตีนเป็นการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างโปรตีนระดับที่ 2 ซึ่งการคลายตัวอาจมาจากการให้ความร้อน การมีกรด ด่าง ยูเรีย การเกิดโครงสร้าง 3 มิติเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนกับโปรตีน และโปรตีนกับสารละลาย (น้ำ) โมเลกุลเกิดพันธะระหว่างกันจึงเกิดเป็นโครงร่างตาข่าย

วัตถุดิบและสารผสมที่สามารถเกิดเจลได้หรือมีคุณสมบัติในการเป็นสารที่ทำให้เกิดเจลได้แก่ โปรตีน เช่น โปรตีนนม โปรตีนไข่ โปรตีนถั่วเหลือง เป็นต้น



ภาพประกอบ 4 แสดงการเกิดเจลของโปรตีนถั่วเหลือง  
ที่มา: ดัดแปลงจาก Liu.(1997).

## หลักการวิเคราะห์

สำหรับงานวิจัยได้ศึกษาวิเคราะห์หาองค์ประกอบต่างๆ ในเต้าหู้จากถั่วมะแฮะและถั่วเหลือง ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันโดยวิเคราะห์หลังจากได้ผลผลิตภัณฑ์เต้าหู้แล้ววิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนรวม โดยเทคนิคการไทเทรต การวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน โดยวิธี AOAC,1999 การวิเคราะห์ความเป็นกรด-เบส โดย pH meter ดังนั้นจึงขอกล่าวถึงหลักการที่ใช้ในการวิเคราะห์ต่างๆดังนี้

## วิธีเคลดาล์ ( Kjeldahl method )

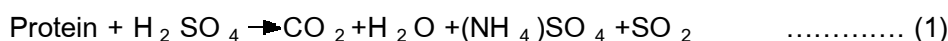
### หลักการ

วิธีเคลดาล์ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน โดยย่อยตัวอย่างให้สมบูรณ์ด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้นกับคัตาลิสต์ แล้วกลั่นแอมโมเนียออกมาซึ่งทราบปริมาณได้โดยการไทเทรต

### วิธีการ

#### การย่อย (digestion)

บดตัวอย่างขนาด 20 กรัม นำมาย่อยด้วยกรดซัลฟูริกเพื่อออกซิไดซ์สารอินทรีย์แล้วรีดิวซ์สารไนโตรเจนอินทรีย์ให้เป็นแอมโมเนียมซึ่งอยู่ในรูปแอมโมเนียมซัลเฟต โดยใช้โพแทสเซียมซัลเฟตและโลหะเป็นสารเร่งปฏิกิริยา ในการย่อยใช้อุณหภูมิสูงซึ่งไม่ต่ำกว่า 405 องศาเซลเซียส และไม่ควรมากเกิน 417 องศาเซลเซียส เพื่อใช้เวลาสั้นลงและไม่เกิดการสูญเสียแอมโมเนียไนโตรเจน (ammonia nitrogen)

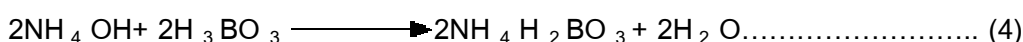
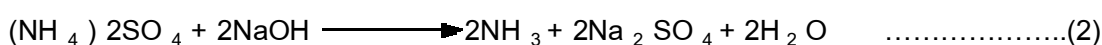


คาร์บอนและไฮโดรเจนถูกออกซิไดซ์ได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำส่วนหนึ่งของกรดซัลฟูริกถูกออกซิไดส์ เป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งซัลเฟอร์ไดออกไซด์นี้จะปรีดิวิชั่นสารไนโตรเจนอินทรีย์ให้เป็นแอมโมเนีย แล้วทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟูริกได้แอมโมเนียมซัลเฟต

ถ้าใช้วิธี macro-kjeldahl หาปริมาณโปรตีนในข้าวสาลีอาจใช้ตัวอย่าง 1 กรัมและกรดซัลฟูริก 25 ลบ.ซม. แล้วเติมสารผสมคัตาลิสต์คอปเปอร์ซัลเฟต และโพแทสเซียมซัลเฟตในปริมาณที่ช่วยให้การย่อยสมบูรณ์ภายใน 35-45 นาที พร้อมทั้งใส่สารป้องกันการเดือดรุนแรง (antibumper หรือ pumice stone)

#### การกลั่น (Distillation)

ตัวอย่างที่ย่อยทิ้งไว้อาจเกิดผลึกควรเติมน้ำเพื่อละลายแอมโมเนียมซัลเฟตในส่วนผสมที่ได้จากการย่อยทำให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น แล้วกลั่นแอมโมเนีย



รวมสมการ (3) และ (4) :

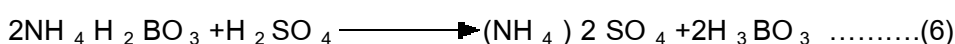


ออกมาซึ่งรองรับด้วยสารละลายกรดบอริกความเข้มข้นร้อยละ 2 หรือ ร้อยละ 4 ดังสมการที่ 2-5

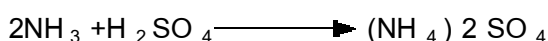
ammonium acid borate

### การไทเทรต (Titration)

นำสารละลายที่ได้จากการกลั่นมาไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐาน กรดซัลฟูริกเพื่อทราบปริมาณแอมโมเนีย



(5) + (6) จะได้สมการของการ titration :



Moles  $\text{NH}_3$  = Moles N ในตัวอย่าง

จากปริมาณแอมโมเนียคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนและคำนวณเป็นปริมาณโปรตีนโดยใช้ conversion factor โดยทั่วไปคูณด้วย 6.25โดยถือว่าโปรตีนทั่วไปมีปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ยร้อยละ 16

### การวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน(AOAC,1999)

#### วิธีการ

อบขวดก่อนกลมสำหรับหาปริมาณไขมัน ซึ่งมีความจุขนาด 250 มิลลิลิตร ในตู้อบไฟฟ้าทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นและชั่งน้ำหนักที่แน่นอน ชั่งตัวอย่างบนกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนักปริมาณ 1-2 มิลลิลิตรห่อให้มิดชิดแล้วใส่ลงในหลอดสำหรับใส่ตัวอย่าง คลุมด้วยสำลีเพื่อให้สารทำละลายมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอแล้วนำหลอดตัวอย่างใส่ในชอคเลต เติมสารตัวทำละลายปิโตรเลียมเอสเทอร์ ลงในขวดหาไขมันปริมาณ 150 มิลลิลิตรแล้ววางบนเตาให้ความร้อน ทำการสกัดไขมันเป็นเวลา 14 ชั่วโมง โดยปรับความร้อนให้หยดของสารทำละลายกลั่นตัวจากอุปกรณ์ควบแน่นด้วยอัตรา 150 หยดต่อนาที เมื่อครบ 14 ชั่วโมง นำหลอดใส่ตัวอย่างออกจากชอคเลตและกลั่นกับสารทำละลายจนเหลือสารละลายในขวดกลั่นเพียงเล็กน้อยด้วยเครื่องระเหยตัวทำละลาย หลังจากนั้นนำขวดหาไขมันไปอบที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส จนแห้ง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักแล้วอบซ้ำครั้งละ 30 นาทีจนกระทั่งผลต่างของน้ำหนัก 2 ครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิลิตร

### การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100 \quad \dots\dots\dots(7)$$

### การทดสอบกรด เบส

นำตัวอย่างเต้าหู้มาทดสอบสอบกับเครื่องวัดค่า pH

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองดังนี้

1. ขั้นตอนการทำการทดลองเพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเต้าหู้
2. ขั้นตอนการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี
3. ขั้นตอนการประเมินคุณลักษณะด้านประสาทสัมผัส ด้านสี กลิ่น รสและความชอบรวม
4. ขั้นตอนเผยแพร่ความรู้สู่ชุมชนและโรงเรียน

#### อุปกรณ์และเครื่องมือ

- เครื่องชั่งไฟฟ้าอย่างละเอียด 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Precisa รุ่น 205 A

Superbalance series

- เครื่องชั่งอาหารของบริษัท แกรนด์ไลท์ เอ็นเตอร์ไพรส์ จำกัด
- เครื่องปั่นผสมอาหารไฟฟ้า ยี่ห้อ Moulinex
- Hot plate
- เครื่องวัดค่า pH
- ชุดเคลตาห์ล
- ชุดวิเคราะห์ไขมัน

#### วัสดุและสารเคมี

วัสดุและสารเคมีที่ใช้

- ถั่วมะแฮะ จากอำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน
- ถั่วเหลืองตราเกษตร
- แคลเซียมคลอไรด์ ADR Grade บริษัท Merck K.CaA.
- กรดซัลฟิวริก Laboratory reagent Grade บริษัท Merck K.CaA.
- โพแทสเซียมซัลเฟต : ADR Grade บริษัท Merck K.CaA.
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ : ADR Grade บริษัท Merck K.CaA.
- กรดบอริก Laboratory reagent Grade บริษัท Merck K.CaA.
- เฮกเซน Laboratory reagent Grade บริษัท Merck K.CaA.
- กรดไฮโดรคลอริก : ADR Grade บริษัท Merck K.CaA.
- โบรโมกรีน Laboratory reagent Grade
- คอปเปอร์ซัลเฟต : ADR Grade บริษัท Merck K.CaA.
- เศษกระเบื้อง
- ขวดรูปชมพู

- บิวเรต
- กระบอกตวง
- ปิเปต

## 1. ศึกษาสูตรการผลิตเต้าหู้จากถั่วเหลืองและถั่วมะแฮะที่เหมาะสม

การทดลองการผลิตเต้าหู้จากถั่วมะแฮะและถั่วเหลืองมีขั้นตอนการผลิตดังนี้

### ขั้นที่ 1 การผลิตน้ำนมถั่ว

1. เลือกเมล็ดถั่วเหลือง 100 กรัม แล้วแช่ในน้ำ 300 มิลลิลิตร นาน 2-3 ชั่วโมง จนเมล็ดถั่วพองและอมน้ำเต็มที่ บีบเอาเมล็ดออกให้หมด
2. เตรียมน้ำปริมาณ 400 มิลลิลิตร ใส่ถั่วเหลืองลงในโถปั่น ใส่ น้ำ 1/3 ของโถปั่น ปั่นเข้าด้วยกันเติมน้ำส่วนที่เหลือลงไป ปั่นต่อจนละเอียด
3. กรองส่วนผสมด้วยผ้าขาวบาง
4. บีบเอาน้ำถั่วเหลืองออกให้หมดจะได้น้ำนมถั่วเหลืองเก็บไว้ทดลองขั้นตอนต่อไป
5. ทำซ้ำข้อ 1-4 โดยใช้ถั่วมะแฮะเป็นวัตถุดิบ
6. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 5 แต่ชั่งถั่วเหลืองและถั่วมะแฮะมาผสมกันในอัตราส่วน
 

|                          |         |      |
|--------------------------|---------|------|
| ถั่วมะแฮะ                | 100     | กรัม |
| ถั่วเหลือง : ถั่วมะแฮะ = | 80 : 20 | กรัม |
| ถั่วเหลือง : ถั่วมะแฮะ = | 60 : 40 | กรัม |
| ถั่วเหลือง : ถั่วมะแฮะ = | 50 : 50 | กรัม |
| ถั่วเหลือง : ถั่วมะแฮะ = | 40 : 60 | กรัม |
| ถั่วเหลือง : ถั่วมะแฮะ = | 20 : 80 | กรัม |
7. จะได้น้ำนมถั่วอยู่ 7 สูตรเก็บไว้เพื่อทำการตกตะกอนโปรตีนต่อไป

### ขั้นที่ 2 การตกตะกอนโปรตีน

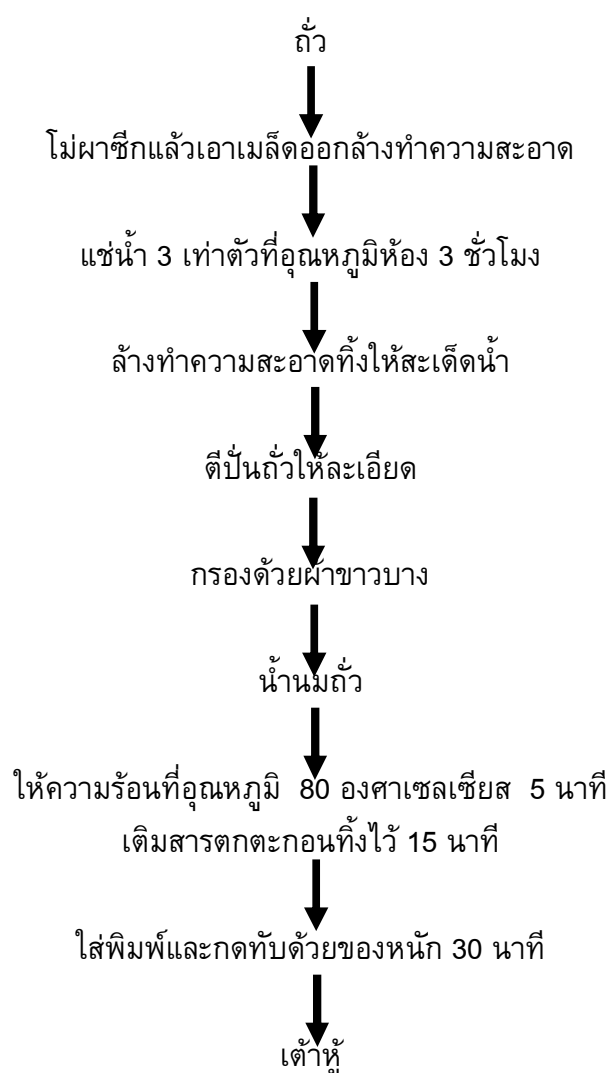
1. นำน้ำนมถั่วทุกสูตร 100 มิลลิลิตร ตามขั้นที่ 1 ไปต้มจนเดือดนาน 5 นาที แล้วนำไปทำให้อุณหภูมิลดลงถึง 70 – 80 องศาเซลเซียส
2. ชั่งสารตกตะกอน แมกนีเซียมซัลเฟต 5.0000 กรัม ละลายกับน้ำ 5 มิลลิลิตรจนละลายหมด จึงนำไปผสมในน้ำนมถั่วที่เตรียมไว้จากขั้นที่ 1
3. คนส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากันจะพบว่าโปรตีนเริ่มจับตัวเป็นก้อน ตั้งส่วนผสมทิ้งไว้ให้ประมาณ 5 นาที เพื่อให้โปรตีนในน้ำนมตกตะกอนสมบูรณ์
4. ทำการทดลองซ้ำ ข้อ 1-3 แต่ใช้สารละลาย แคลเซียมคลอไรด์เป็นสารตกตะกอน

### ขั้นที่ 3 การผลิตเป็นก้อนเต้าหู้

1. นำส่วนผสมจากข้อ 4 ในขั้นที่ 2 ไปเทลงในพิมพ์ ที่รองด้วยผ้าขาวบาง
2. นำท่อนไม้ที่มีน้ำหนักเหมาะสมวางทับลงบนแม่พิมพ์ในข้อที่ 1 ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที  
จึงนำเอาท่อนไม้ออก
3. แยกน้ำออกจากก้อนเต้าหู้ แล้วนำเต้าหู้เก็บไว้ใช้ในการทดลองตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีต่อไป

หมายเหตุ ทุกสูตรการทดลองทำ 3 ซ้ำ

กระบวนการผลิตเต้าหู้จัดทำเป็นขั้นตอนดังแสดงให้เห็นชัดในภาพประกอบ



ภาพประกอบ 5 แสดงการเตรียมเต้าหู้(ปริยาพร เขียวขำ,2544)

## 2. วิธีการตรวจสอบคุณภาพเต้าหู้

ในงานวิจัยนี้ได้นำตัวอย่างเต้าหู้แต่ละสูตรมาทำการตรวจสอบคุณภาพ ดังนี้

### 2.1 วิธีตรวจสอบคุณภาพทางเคมี ได้แก่ การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน ไขมัน และความเป็นกรด เบส

#### การวิเคราะห์โปรตีน

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้ตรวจวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน ด้วยวิธีเคลดดาห์ล ซึ่งมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

#### การย่อย

ชั่งเต้าหู้ตัวอย่างมา 5.0000 กรัม ผสมกับคอปเปอร์ซัลเฟต 1.0000 กรัม และโปแตสเซียมซัลเฟต 9.0000 กรัมเติมกรดซัลฟูริก 20 มิลลิลิตรลงไปจะได้สารละลายสีดำ นำไปย่อยความร้อนจนกระทั่งได้สารละลายสีเขียวใสของคอปเปอร์ซัลเฟต เก็บส่วนใสสำหรับการวิเคราะห์ในขั้นต่อไป

#### การกลั่น

นำสารที่ได้จากการย่อยมาทำให้เย็นโดยการเติมน้ำลงไปประมาณ 100 มิลลิลิตร เปลี่ยนขวดสารละลายลงในขวดชุดการกลั่น แล้วเติมเศษกระเบื้องลงไป แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 50 กลั่นแอมโมเนียด้วยความร้อนสม่ำเสมอ และรองรับแอมโมเนียด้วยสารละลายกรดบอริก เข้มข้น 4 % (w/w)

#### การไทเทรต

นำสารละลายที่ได้ไปไทเทรตกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมล โดยใช้โบรโมกรีนซอลกรีนเป็นอินดิเคเตอร์ ไทเทรตจนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู บันทึกปริมาณกรดที่ใช้เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณโปรตีน

#### การวิเคราะห์ไขมัน

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้ตรวจวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน ทดลองตามวิธี AOAC ซึ่งมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

1. อบขวดก้นกลมสำหรับหาปริมาณไขมัน ซึ่งมีความจุขนาด 250 มิลลิลิตร ในตู้อบไฟฟ้าทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นและชั่งน้ำหนักบันทึกไว้
2. ชั่งตัวอย่างเต้าหู้ 5.0000 กรัมห่อให้มิดชิดแล้วใส่ลงในหลอดทดลอง คลุมด้วยสำลี
3. นำหลอดทดลองใส่ในชอคเลต เติมสารเฮกเซน ลงในขวดหาไขมันปริมาณ 150 มิลลิลิตร
4. นำขวดไปวางบนเตาให้ความร้อน ทำการสกัดไขมันเป็นเวลา 14 ชั่วโมง
5. นำหลอดทดลองใส่ตัวอย่างออกจากชอคเลตและกลั่นกับเฮกเซนจนเหลือสารละลายในขวดก้นกลมเพียงเล็กน้อยด้วยเครื่องระเหยเฮกเซน

6. นำขวดก้นกลมไปอบที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส จนแห้งทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักขวดก้นกลม บันทึกผลเพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณไขมันต่อไป

#### การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100$$

#### การวัดค่าความเป็นกรด - เบส

วัดค่าความเป็นกรด - เบส ได้ทำการวัด 2 ชั้น คือ นำนมถั่วและผลิตภัณฑ์เต้าหู้ โดยนำตัวอย่างนํ้านมจากทุกสูตร ที่ได้จากการเตรียมนํ้านมในชั้นที่ 1 ไปวัดค่าความเป็นกรด - เบส ด้วย pH meter บันทึกผล และทำเช่นเดียวกันนี้แต่เปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์เต้าหู้

### 3. การประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส

#### ความชอบรวม

ในการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ได้ทำการผลิตเต้าหู้โดยมีถั่วมะเอะเป็นส่วนผสมแบ่งเป็น 3 สูตร ได้แก่ เต้าหู้สูตร 3 มีส่วนผสมถั่วเหลือง 80 ถั่วมะเอะ 20 เต้าหู้สูตร 4 มีส่วนผสมถั่วเหลือง 60 ถั่วมะเอะ 40 เต้าหู้สูตร 5 มีส่วนผสมถั่วเหลือง 50 ถั่วมะเอะ 50 ประเมินคุณลักษณะทางกายภาพทางด้านสี กลิ่น รสชาติและความชอบรวมในแต่ละสูตร ว่ามีคุณลักษณะแตกต่างกันอย่างไร และประเมินคุณลักษณะด้านความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์เต้าหู้ โดยการใช้กลุ่มผู้ทดสอบจำนวน 20 คน เพศชาย 10 คน เพศหญิง 10 คน อายุระหว่าง 20-35 ปี ทดลองชิมตัวอย่าง เพื่อทราบความพึงพอใจในสี กลิ่น รสชาติและความชอบรวม ของเต้าหู้ โดยคิดเป็นร้อยละในความพึงพอใจ ดูความแตกต่างของเต้าหู้แต่ละสูตร และเต้าหู้สูตรควบคุม มาเปรียบเทียบวัดความพึงพอใจ

ด้านสี ดูลักษณะสีของเต้าหู้ในแต่ละสูตร ความเข้มของสี

ด้านกลิ่น ทดสอบกลิ่นของถั่วที่ใช้เป็นวัตถุดิบของเต้าหู้ในแต่ละสูตรว่า มีกลิ่นถั่วมากน้อยเพียงใด

ด้านรสชาติ ทดสอบรสชาติของเต้าหู้ ในแต่ละสูตรมีรสชาติอย่างไร

ด้านเนื้อสัมผัส ทดสอบเนื้อสัมผัสของเต้าหู้ ว่าเป็นความเหนียว นุ่มหรือไม่

ด้านความชอบรวม ภาพรวมของเต้าหู้ทั้งด้าน สี กลิ่น และรสชาติ

#### 4. การเผยแพร่ข้อมูล

1. ส่งเสริมความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับถั่วมะแฮะ ตลอดจนเสนอแนวทางในการใช้ประโยชน์จากถั่วมะแฮะในการนำไปทำเป็นตำหรับให้แก่มชน กลุ่มผู้สนใจ
2. เพิ่มเติมในการจัดการเรียนการสอนในวิชาวิทยาศาสตร์ สาระสิ่งมีชีวิตกับกระบวนการดำรงชีวิต โดยจัดทำแผนการสอนบูรณาการ ที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะ การเจริญเติบโตและการใช้ประโยชน์ ของถั่วมะแฮะ

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 1. การศึกษาการเตรียมเต้าหู้

##### การผลิตน้ำมันถั่ว

จากการศึกษาสีของน้ำมันที่ผลิตได้จากถั่วแต่ละสูตรได้แก่

|                               |   |         |      |
|-------------------------------|---|---------|------|
| สูตร 1 ถั่วเหลือง             | = | 100     | กรัม |
| สูตร 2 ถั่วมะแฮะ              | = | 100     | กรัม |
| สูตร 3 ถั่วเหลือง : ถั่วมะแฮะ | = | 80 : 20 | กรัม |
| สูตร 4 ถั่วเหลือง : ถั่วมะแฮะ | = | 60 : 40 | กรัม |
| สูตร 5 ถั่วเหลือง : ถั่วมะแฮะ | = | 50 : 50 | กรัม |
| สูตร 6 ถั่วเหลือง : ถั่วมะแฮะ | = | 40 : 60 | กรัม |
| สูตร 7 ถั่วเหลือง : ถั่วมะแฮะ | = | 20 : 80 | กรัม |

พบว่า น้ำมันถั่วสูตร 1 มีสีขาวออกเหลือง น้ำมันสูตร 2 มีสีเหลืองเข้ม เนื่องจากสูตร 2 มีถั่วมะแฮะเป็นวัตถุดิบ ซึ่งสีของเมล็ดถั่วมะแฮะจะมีสีเหลือง สำหรับสูตร 3 – 7 น้ำมันมีสีเหลืองอ่อน

##### การตกตะกอนโปรตีน

จากการศึกษาใช้สารตกตะกอนโปรตีน 2 ชนิดได้แก่ แมกนีเซียมซัลเฟต และแคลเซียมคลอไรด์ ผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 3 การขึ้นรูปของเต้าหู้

| สูตรที่ | การขึ้นรูปของเต้าหู้ |                 |
|---------|----------------------|-----------------|
|         | แมกนีเซียมซัลเฟต     | แคลเซียมคลอไรด์ |
| 1       | +                    | +++             |
| 2       | -                    | -               |
| 3       | -                    | +++             |
| 4       | -                    | ++              |
| 5       | -                    | +               |
| 6       | -                    | -               |
| 7       | -                    | -               |

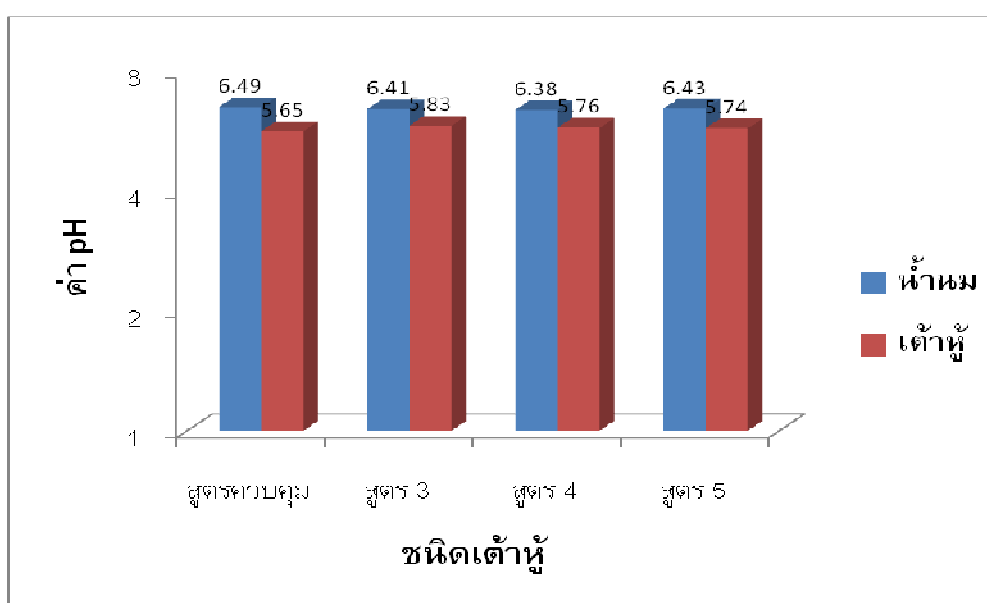
|          |     |         |                    |
|----------|-----|---------|--------------------|
| หมายเหตุ | -   | หมายถึง | ไม่ขึ้นรูป         |
|          | +   | หมายถึง | ขึ้นรูป            |
|          | ++  | หมายถึง | ขึ้นรูปดี          |
|          | +++ | หมายถึง | ขึ้นรูปดีเนื้อแข็ง |

พบว่าสารตกตะกอนที่เหมาะสมคือแคลเซียมคลอไรด์ เนื่องจากแคลเซียมคลอไรด์ ทำให้โปรตีนตกตะกอนอย่างรวดเร็วและอุ้มน้ำได้น้อย (Catharing *et al.* 1999) จึงทำให้ได้เต้าหู้ที่มีลักษณะเนื้อแน่นและแข็ง ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกแคลเซียมคลอไรด์ เป็นสารตกตะกอนโปรตีนในการผลิตเต้าหู้ที่มีถั่วมะเะเป็นส่วนผสม และอัตราส่วนของสูตรเต้าหู้ที่เหมาะสมในการศึกษาทดลองได้แก่ สูตร 1 ถั่วเหลือง 100 % สูตร 3 ถั่วเหลือง : ถั่วมะเะ = 80 : 20 สูตร 4 ถั่วเหลือง : ถั่วมะเะ = 60 : 40 และ สูตร 5 ถั่วเหลือง : ถั่วมะเะ = 50 : 50 โดยให้สูตรที่ 1 เป็นสูตรควบคุมในการศึกษาทดลอง

## 2. ผลการวิเคราะห์คุณภาพเต้าหู้

### 2.1 การวัดค่ากรด เบส

จากการศึกษา ได้ตรวจวัดและบันทึกค่าความเป็นกรด เบส ของนํ้านมถั่วและผลิตภัณฑ์เต้าหู้ ผลจากการวัดค่า pH มีค่าตามแสดงในภาพประกอบ 6



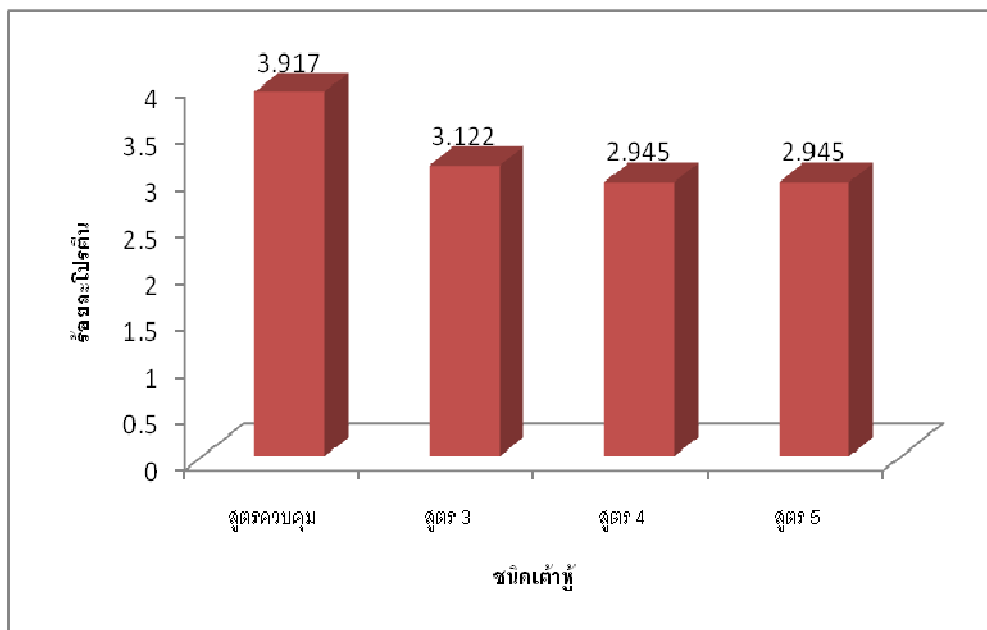
ภาพประกอบ 6 ค่าความเป็นกรด-ด่างของนํ้านมถั่วและเต้าหู้

จากภาพประกอบ 5 พบว่า ค่าความเป็นกรด-เบส หรือ pH ของนํ้านมถั่วและเต้าหู้ ความเป็นกรด-เบส ของนํ้านม จากสูตรควบคุม สูตรที่ 3, 4 และ 5 มีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ระหว่าง 6.38 – 6.49 เมื่อทำเป็นผลิตภัณฑ์เต้าหู้แล้ว ค่าความเป็นกรด-เบส มีค่าลดลง จากสูตรที่ 3 ในขณะที่เป็นนํ้านม มีค่า pH 6.41 เมื่อนํ้ามาตกตะกอนด้วยสารตะกอน มีค่า pH ลดลง 5.83 เนื่องจากสารตกตะกอนจะให้ประจุบวกซึ่งจะไปจับกับ aggregate ที่มีประจุลบ ทำให้กลุ่ม aggregate มีขนาด

ใหญ่ขึ้นเกิดการสานตัวเป็นร่างแห ที่สามารถกักเก็บน้ำไว้ได้ เกิดเป็นผลิตภัณฑ์เต้าหู้ ( Koyama *et al.*1995) และพบว่าค่าความเป็นกรดเบสของเต้าหู้ทั้ง 4 สูตร จะมีค่าใกล้เคียงกันคือ 5.65,5.83,5.76 และ5.74 ตามลำดับ ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์

## 2.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

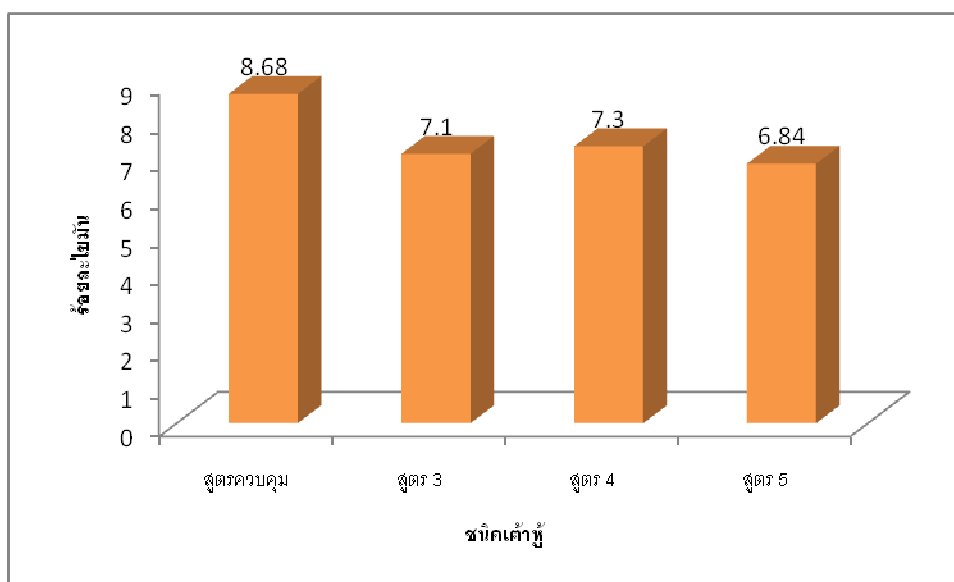
การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนโดยใช้วิธีด้วยวิธีเคลดดาห์ล โดยวิเคราะห์คุณภาพเต้า แล้วได้ผลคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ปรากฏว่าปริมาณโปรตีน สูตรควบคุม(สูตร 1) และสูตรที่ 3,4และ 5 ได้ร้อยละ 3.92 3.12 2.95 และ 2.95 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาปริมาณโปรตีนระหว่างสูตร ควบคุม ถั่วเหลืองล้วน และสูตรที่ 5 ถั่วเหลืองผสมถั่วมะเะในอัตราส่วน 50 : 50 พบว่า ใน สูตรควบคุม นั้นมีปริมาณโปรตีนมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 3.92 และกว่าสูตรที่ 5 ที่มีเพียงร้อยละ 2.95 ซึ่งสันนิษฐานได้ว่าสูตรที่ 5 มีส่วนผสมของถั่วมะเะะที่มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 20.4 ของ100 กรัมของน้ำหนักแห้ง ในผลิตภัณฑ์เต้าหู้ครั้งหนึ่ง ปริมาณโปรตีนที่ได้จึงมีค่าลดลงตามส่วน และ ร่องลงมาคือจากสูตรที่ 3 คือ ส่วนผสมถั่วมะเะเหลืองร้อยละ 80 ต่อถั่วเะะร้อยละ 20 คิดเป็นร้อยละ 3.12 ซึ่งมีมากกว่าสูตรที่ 5



ภาพประกอบ 7 ปริมาณร้อยละโปรตีนของเต้าหู้ในแต่ละสูตร

### 2.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณไขมันนั้นได้ทดลองตามวิธี AOAC โดยการชั่งน้ำหนัก ตัวอย่างก่อนอบและหลังอบ ปริมาณไขมันที่พบในเต้าหู้ทั้ง 4 สูตรร้อยละ 8.68 7.10 7.30 6.84 ตามลำดับจากผลการทดลองพบว่าปริมาณไขมันในเต้าหู้สูตรที่ 3 มีมากกว่าสูตรควบคุม คือเป็น ร้อยละ 7.10 และปริมาณไขมันที่พบน้อยที่สุดในสูตรที่ 5 ร้อยละ 6.84 ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์เต้าหู้กำหนดให้มีปริมาณไขมันคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักอยู่ในช่วงร้อยละ 8.10 นั้น ปริมาณไขมันในเต้าหู้ที่ได้จากการทดลองสูตร 3,4 และ 5 ยังมีน้อยกว่า



ภาพประกอบ 8 ปริมาณร้อยละไขมันในแต่ละสูตร

### 3. การประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส ความชอบรวม

#### 3.1 การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของเต้าหู้

ผลจากการเตรียมเต้าหู้ 4 สูตร พบว่า แต่ละสูตรจะมีลักษณะด้าน สี กลิ่น รส และ เนื้อสัมผัสแตกต่างกัน ดังตาราง 4

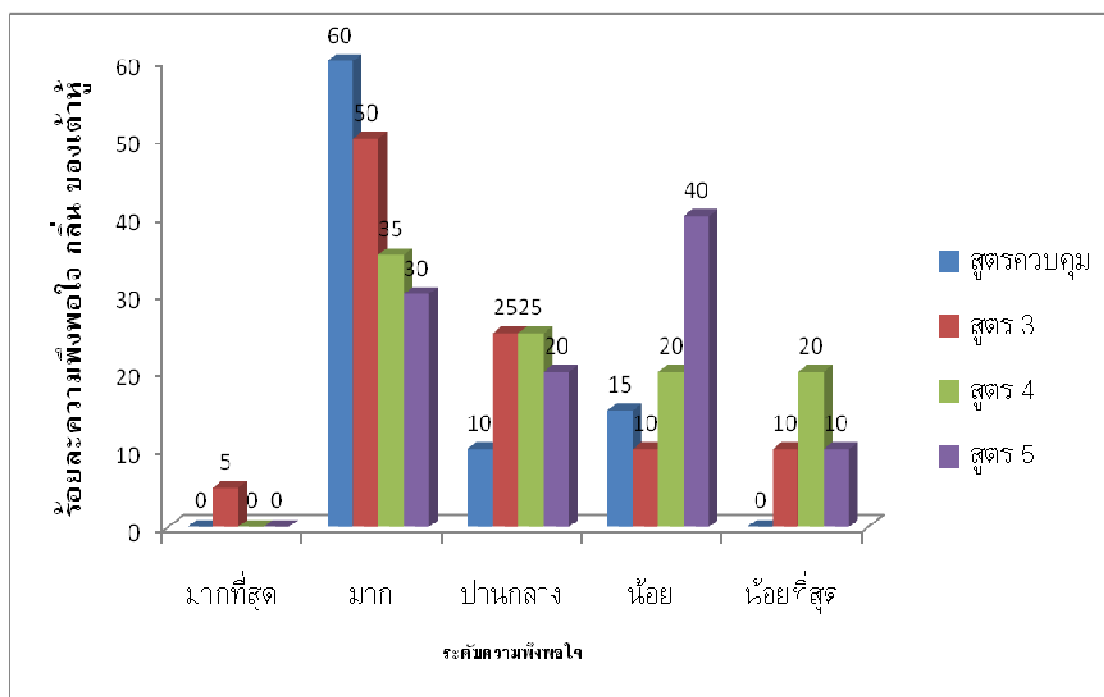
ตาราง 4 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของเต้าหู้

| สูตร   | คุณสมบัติของเต้าหู้ |           |         |             |
|--------|---------------------|-----------|---------|-------------|
|        | สี                  | กลิ่น     | รสชาติ  | เนื้อสัมผัส |
| ควบคุม | สีเหลืองอ่อน        | กลิ่นถั่ว | จืด มัน | เหนียวนุ่ม  |
| 3      | สีเหลืองอ่อน        | กลิ่นถั่ว | จืด     | เหนียว      |
| 4      | สีเหลือง            | กลิ่นถั่ว | จืด     | นุ่ม        |
| 5      | สีเหลือง            | กลิ่นถั่ว | จืด     | นุ่ม        |

#### 2.2 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

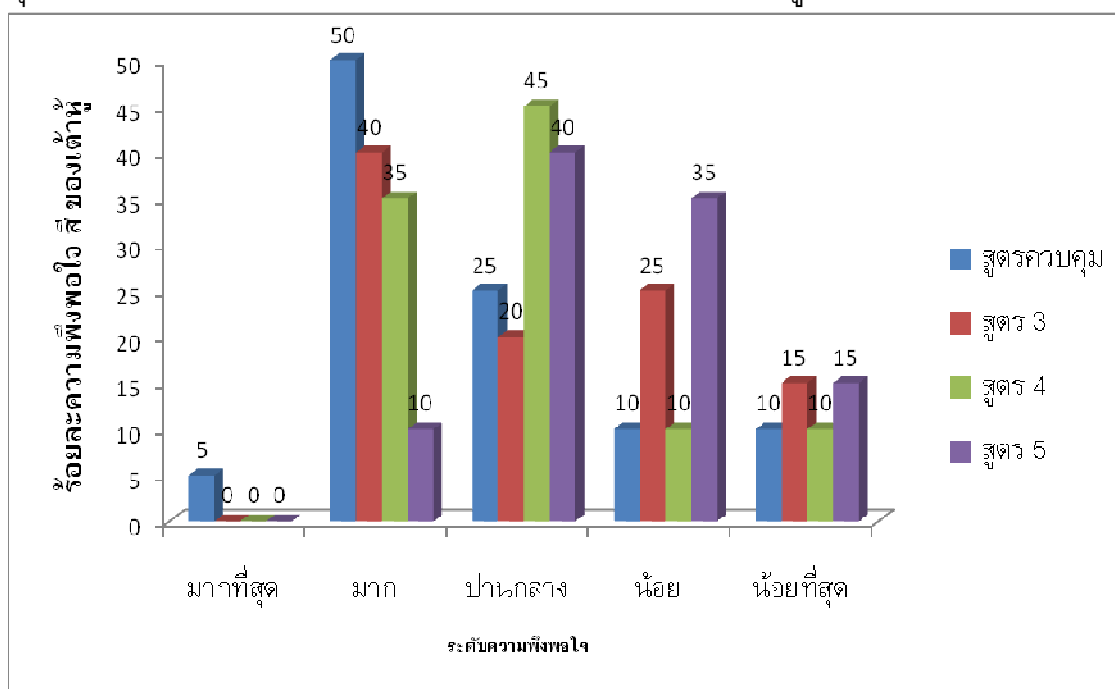
ผลจากการสุ่มตัวอย่างความพึงพอใจในการรับประทานเต้าหู้ทอด โดยสุ่มตัวอย่างจากการรับประทาน จำนวน 20 ตัวอย่าง เป็นเพศชาย 10 คน เพศหญิง 10 คน อายุระหว่าง 20 ถึง 35 ปี ผลจากการทดลองการสุ่มตัวอย่างความพึงพอใจในกลิ่นของน้ำมันที่อยู่ในระดับน้อย ส่วนความพึงพอใจในรสชาติ อยู่ในระดับปานกลาง สีของเต้าหู้มีสีเหลืองอ่อน

ผลจากการทดลองสุ่มตัวอย่างความพึงพอใจกลิ่น พบว่า มีความพึงพอใจในกลิ่นมีมาก คิดเป็นร้อยละ 43.75 และมีความพึงพอใจระดับน้อยที่สุด คิดเป็นร้อยละ 10 สาเหตุอาจเนื่องจากการเลือกสุ่มตัวอย่างมีเพศหญิงอยู่จำนวนครึ่งหนึ่ง เพศหญิงอาจมีความพึงพอใจกลิ่นเหม็นเขียวของถั่วน้อยกว่าเพศชาย จึงอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ความพึงพอใจกลิ่นมีน้อย

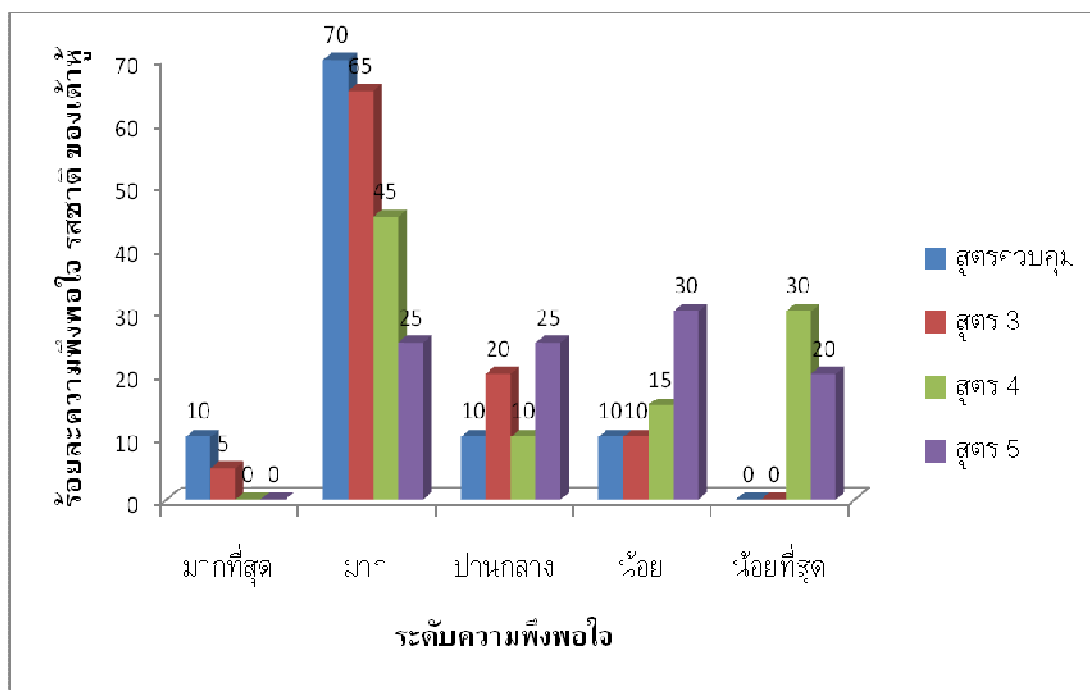


ภาพประกอบ 9 ระดับความพึงพอใจกลิ่นของเต้าหู้

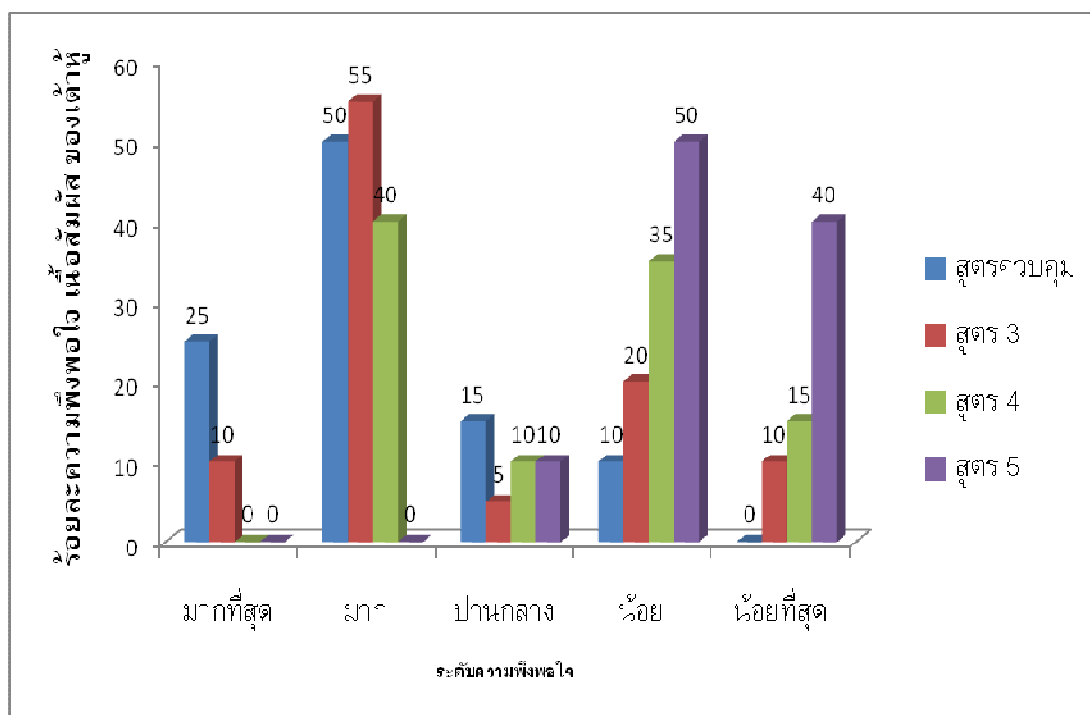
ผลจากการทดลองสูตรตัวอย่างความพึงพอใจ สี ของเต้าหู้ อยู่ในระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 33.75 ระดับน้อย คิดเป็นร้อยละ 20 ระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 1.25 และมีความพึงพอใจในระดับน้อยที่สุด คิดเป็นร้อยละ 12.50 ดังนั้นความพึงพอใจในรสชาติโดยเฉลี่ยอยู่ในระดับปานกลาง



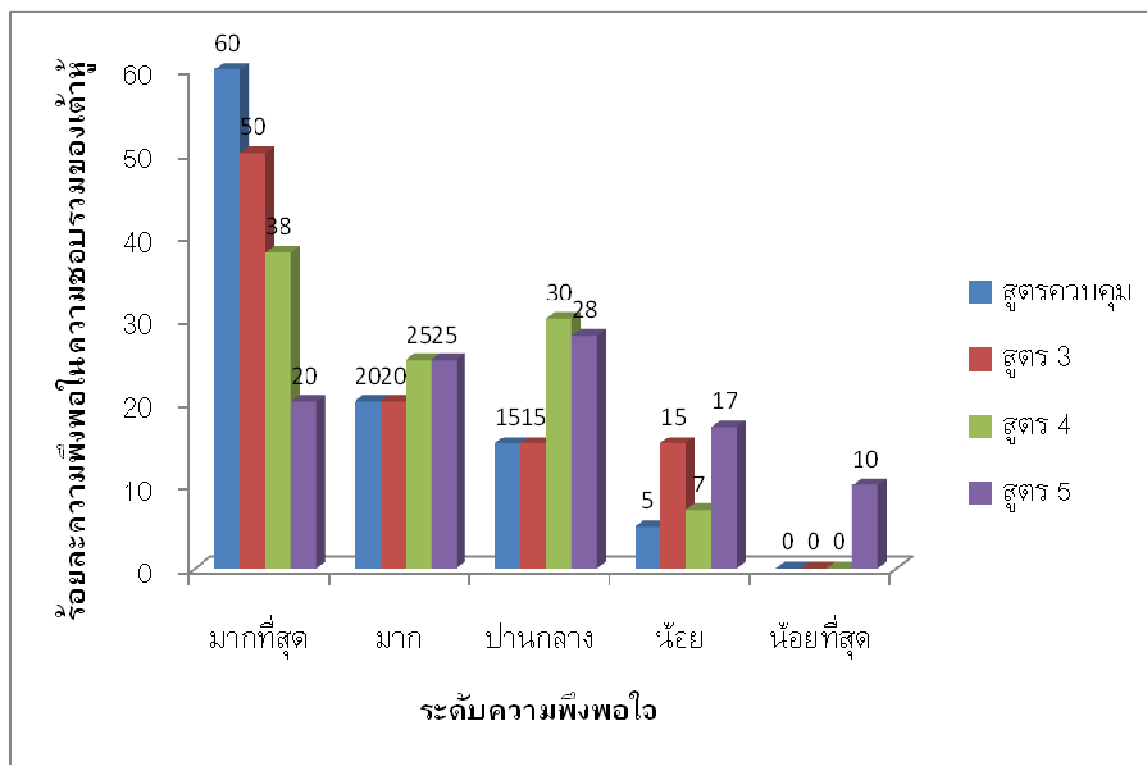
ภาพประกอบ 10 ระดับความพึงพอใจ สี ของเต้าหู้



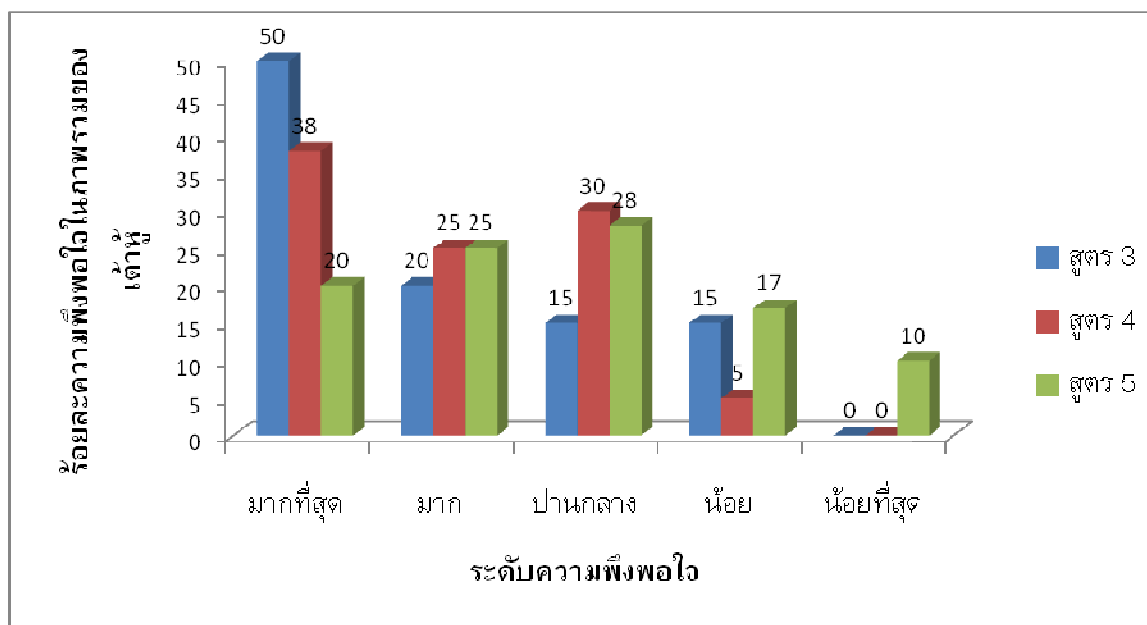
ภาพประกอบ 11 ระดับความพึงพอใจรสชาติ ของเต้าหู้



ภาพประกอบ 12 ระดับความพึงพอใจ เนื้อสัมผัส ของเต้าหู้



ภาพประกอบ 13 ระดับความพึงพอใจในความชอบรวม ของเต้าหู้



ภาพประกอบ 14 การเปรียบเทียบระดับความพึงพอใจในความชอบรวม ของเต้าหู้ 3 สูตร

ผลจากการเปรียบเทียบสูตรตัวอย่างความพึงพอใจในภาพรวม พบว่า กลุ่มผู้ทดสอบมี

ความพึงพอใจผลิตภัณฑ์เต้าหู้ อยู่ในระดับมากที่สุด ซึ่งเต้าหู้แต่ละชนิดจะมีส่วนผสมแตกต่างกัน ผลจากการทดลองสุ่มตัวอย่างความพึงพอใจพบว่า สูตรที่ 3 มีความพึงพอใจในภาพรวม ระดับมากที่สุด ร้อยละ 50 สูตรที่ 4 ความพึงพอใจในภาพรวมระดับมากที่สุด ร้อยละ 38 รองลงมาความพึงพอใจในภาพรวมระดับปานกลาง ร้อยละ 30 ส่วนสูตรที่ 5 ความพึงพอใจในภาพรวม ระดับปานกลาง ร้อยละ 30

## บทที่ 5

### สรุปผลและอภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตเต้าหู้ โดยทำการศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติและคุณภาพของเต้าหู้ที่มีถั่วมะแฮะเป็นส่วนผสม ซึ่งได้สรุปผล อภิปรายผล และให้ข้อเสนอแนะ เป็นหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้

1. สรุปผลการวิจัย
2. อภิปรายผล
3. ข้อเสนอแนะ

#### 1. สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาวิเคราะห์ด้านต่าง ๆ สามารถสรุปได้ดังนี้

1.1 จากการทดลองพบว่าตัวอย่างน้ำมันที่ไม่สามารถเกิดเป็นเคิร์ดที่คงรูปร่างได้ ได้แก่ น้ำมันสูตร 2 6 และ 7

1.2 ในระหว่างกระบวนการผลิตได้ตรวจการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-เบส ของน้ำมันถั่ว ก่อนทำเป็นเต้าหู้ ค่าความเป็นกรด-เบสอยู่ในช่วง 6.38 – 6.49 หลังจากเติมสารตกตะกอนโปรตีนลงไปและเป็นเต้าหู้แล้วค่าความเป็นกรด-เบสอยู่ในช่วง 5.65 – 5.83

1.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของเต้าหู้ โดยการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณ โปรตีน ไขมัน พบว่า ปริมาณโปรตีนในเต้าหู้ สูตรที่ 3 4 และ 5 มีปริมาณร้อยละ 3.12 2.95 และ 2.95 ตามลำดับ ซึ่งในเต้าหู้สูตรควบคุมมีปริมาณโปรตีนรวมร้อยละ 3.92 ปริมาณไขมันในเต้าหู้สูตรที่ 3, 4 และ 5 มีปริมาณเท่ากับร้อยละ 7.10 7.30 และ 6.84 ตามลำดับ ส่วนสูตรควบคุมมีไขมันร้อยละ 8.68 ผลจากการทดลองนี้จะเห็นว่าปริมาณโปรตีน ไขมัน อยู่ในช่วงเดียวกับสูตรควบคุม

1.4 ผลการทดสอบระดับความพึงพอใจ

จากการสุ่มตัวอย่างทั้งหมด 20 คน เป็นชาย 10 คน และเป็นหญิง 10 คน เพื่อวัดระดับความพึงพอใจในการรับประทานเต้าหู้ โดยแบ่งเป็น 5 ระดับ ได้แก่ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด ผลจากการทดลองในด้านความพึงพอใจในกลุ่มจากสูตร 3, 4 และ 5 พบว่าความพึงพอใจเฉลี่ยในกลุ่ม ระดับมากที่สุดร้อยละ 5 ระดับมากร้อยละ 43.75 ในระดับปานกลางคิดร้อยละ 20 ในระดับน้อยคิดร้อยละ 21.25 ความพึงพอใจเฉลี่ยในสี ในระดับมากที่สุดร้อยละ 1.25 ระดับมากคิดร้อยละ 33.75 ในระดับปานกลางคิดร้อยละ 32.50 ระดับน้อยคิดร้อยละ 20 และน้อยที่สุดคิดร้อยละ 12.50 ความพึงพอใจเฉลี่ยในรสชาติ ในระดับมากที่สุดร้อยละ 3.75 ระดับมากคิดร้อยละ 51.25 ในระดับปานกลางคิดร้อยละ 16.25 ระดับน้อยคิดร้อยละ 16.25 และน้อยที่สุดคิดร้อยละ 12.50 ความพึงพอใจเฉลี่ยในเนื้อสัมผัส ในระดับมากที่สุดร้อยละ 8.75 ระดับมากคิดร้อยละ 36.25 ในระดับปานกลางคิดร้อยละ 10 ระดับน้อยคิดร้อยละ 28.75 และน้อยที่สุดคิดร้อยละ 16.25 ความ

พึงพอใจเฉลี่ยในภาพรวม ในระดับมากที่สุดร้อยละ 67.20 ระดับมากคิร้อยละ 22.50 ในระดับปานกลางคิร้อยละ 22 ระดับน้อยคิร้อยละ 11 และน้อยที่สุดคิร้อยละ 2.50 สาเหตุที่ระดับความพึงพอใจในเนื้อสัมผัส ส่วนใหญ่อยู่ในระดับน้อย อาจเนื่องจากการสัมผัสตัวอย่างมีทั้งเพศชายและหญิง ดังนั้นกลิ่นของเต้าหู้ที่มีความเหม็นเขียวอาจทำให้เพศหญิงไม่พึงพอใจ จึงทำให้กลิ่นออกมาไม่เป็นที่น่าพึงพอใจ หรืออาจเกิดจากกลิ่นเฉพาะตามธรรมชาติของมะแขว่งเอง

## 2. อภิปรายผล

จากผลการทดลองวิเคราะห์เต้าหู้ โดยนำถั่วมะแขว่งมาเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เต้าหู้ ได้ทำการศึกษาแบ่งเป็น 7 สูตร เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการขึ้นรูปและ มีคุณสมบัติแตกต่างกันอย่างไรผลจากการ วิเคราะห์สามารถสรุปได้เป็นข้อๆ ดังนี้

2.1 การศึกษาการขึ้นรูป(เคิร์ด)ของนํ้านมถั่วตามสูตรต่างๆพบว่าตัวอย่างนํ้านมที่ไม่สามารถเกิดเป็นเคิร์ดที่คงรูปร่างได้ ได้แก่ นํ้านมสูตร 2 6 และ7 เนื่องจากชนิดของโปรตีนถั่วบางชนิดเสียสภาพที่สภาวะความกรดเบส อุณหภูมิ ค่า PI และความดันต่างกัน(Molina *et al.*,2002)

2.2 การวิเคราะห์ด้านค่าความเป็นกรด-ด่าง หรือค่า pH ของตัวอย่างนํ้านมจากสูตรควบคุม (สูตรที่ 1) สูตรที่ 3- 5 มีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ระหว่าง 6.38 – 6.49 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความเป็นกรดเบสในนํ้านมถั่วเหลืองจากการทดลองของ Shen และคณะ (1991) นอกจากนี้ Lim และคณะ (1990)กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงค่ากรดเบสมีผลต่อความสามารถในการตกตะกอนและค่าความเข้มข้น (isnic strength) เมื่อทำเป็นผลิตภัณฑ์เต้าหู้แล้ว ค่าความเป็นกรด-เบส มีค่าลดลง จากสูตรที่ 1 ในขณะที่เป็นนํ้านม มีค่า pH 6.41 เมื่อนํ้ามาตกตะกอนด้วยสารตะกอน มีค่า pH ลดลง 5.83 ความเป็นกรดเบสลดลง เนื่องจากสารตกตะกอนจะให้ประจุบวกซึ่งจะไปจับกับ aggregate ที่มีประจุลบ ทำให้กลุ่ม aggregate มีขนาดใหญ่ขึ้นเกิดการสานตัวเป็นร่างแห ที่สามารถกักเก็บนํ้าไว้ได้ เกิดเป็นผลิตภัณฑ์เต้าหู้ ( Koyama *et al.*1995) สารตกตะกอนที่สามารถให้ประจุบวกได้จะทำให้กลุ่ม aggregate เกาะตัวกันแน่น เป็นผลทำให้ปริมาณประจุลบของโปรตีนลดลง หรืออีกนัยหนึ่งมีประจุบวกเพิ่มมากขึ้น จะเห็นว่า pH มีผลทำให้ประจุสุทธิบนโมเลกุลของโปรตีนเปลี่ยนแปลงได้ และโปรตีนจะละลายได้น้อยที่สุด หรือตกตะกอนได้มากที่สุดที่จุด pi ของมัน เนื่องจากโปรตีนมีประจุสุทธิเป็นศูนย์ เรียกการตกตะกอนโปรตีนที่จุด pi ว่า isoelectric precipitation ดังนั้นช่วงความเป็นกรด-เบสที่เลือกใช้ต้องรวมถึงจุดที่มีประจุสุทธิเป็นศูนย์ (isoelectric point, pi) ของโปรตีนที่ต้องการแยกด้วย โปรตีนที่มีค่า pH ต่ำกว่าค่า pi จะมีประจุเป็นบวกและเคลื่อนที่เข้าหาขั้วลบ แต่เนื่องจากโปรตีนเคลื่อนที่ไปจึงทำให้ค่า pH ลดลงจนกระทั่งโปรตีนมีค่า pH เท่ากับค่า pi ซึ่งที่จุดนี้โปรตีนมีประจุสุทธิเป็นศูนย์ (หรือไม่มีประจุ) จึงทำให้โปรตีนรวมตัวกันตกตะกอนลงมา

2.3 จากการทดลองพบว่า สารตกตะกอนโปรตีนที่เหมาะสม คือ แคลเซียมคลอไรด์( $\text{CaCl}_2$ ) ซึ่งทำให้เต้าหู้ขึ้นรูปได้ดี เนื่องจาก  $\text{Ca}^{2+}$  สามารถทำปฏิกิริยากับโปรตีนได้อย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดพันธะเคมีในโมเลกุลของโปรตีน ทำให้โปรตีนจับตัวกันเป็นก้อนและตกตะกอนได้อย่างรวดเร็ว ทำให้

เนื้อเต้าหู้แข็ง ส่วนแมกนีเซียมซัลเฟต( $MgSO_4$ ) ไม่สามารถให้เต้าหู้ขึ้นรูปได้ เนื่องจาก แมกนีเซียมซัลเฟตตกตะกอนโปรตีนข้างจึงเหมาะสำหรับทำเต้าหู้อ่อน

2.4 เต้าหู้ที่ได้จากถั่วมะแสะและถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีน การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ในเต้าหู้ในสูตรต่างๆ ทั้ง 3 สูตร ดังนี้ 3.12 2.95 และ 2.95 เปอร์เซนต์ตามลำดับ เมื่อเทียบสูตรที่ 3 และสูตรควบคุมจะเห็นได้ว่าเต้าหู้สูตรที่ 3 มีปริมาณโปรตีนร้อยละของน้ำหนักใกล้เคียงกับเต้าหู้สูตรควบคุม และสามารถเรียงลำดับปริมาณโปรตีนของสูตรต่างๆ จากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ สูตรที่ 3 4 และ 5 ตามลำดับ

การวิเคราะห์ปริมาณไขมันในเต้าหู้ทั้ง 3 สูตร เมื่อเทียบกับตารางมาตรฐานผลิตภัณฑ์เต้าหู้ ปรากฏว่า ปริมาณไขมันอยู่ในระดับใกล้เคียงตารางมาตรฐานคือปริมาณไขมันของเต้าหู้ทั้ง 3 สูตรอยู่ในช่วง 6.84 – 7.30 เปอร์เซนต์

2.5 ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสของเต้าหู้ที่มีถั่วมะแสะเป็นส่วนประกอบในกระบวนการผลิต พบว่า สูตรที่ 3 มีความพึงพอใจในภาพรวม ระดับมากที่สุด ร้อยละ 50 สูตรที่ 4 ความพึงพอใจในภาพรวมระดับมากที่สุด ร้อยละ 38 รองลงมาความพึงพอใจในภาพรวมระดับปานกลาง ร้อยละ 30 ส่วนสูตรที่ 3 ความพึงพอใจในภาพรวม ระดับปานกลาง ร้อยละ 30 ถึงแม้ว่าผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสและคะแนนการยอมรับรวมของเต้าหู้สูตรที่มีส่วนผสมของถั่วเหลืองเป็นส่วนใหญ่จะได้รับผลการประเมินอยู่ในเกณฑ์สูง แต่ในการทดลองนี้ผู้วิจัยมีจุดประสงค์ที่จะผลิตเต้าหู้ที่ใช้ถั่วมะแสะเป็นส่วนประกอบให้มากที่สุด และจากการประเมินประสาทสัมผัส พบว่าความพึงพอใจในภาพรวมอยู่ในเกณฑ์ที่สูงเช่นกันและมีแนวโน้มว่าผู้บริโภคยอมรับได้

## ข้อเสนอแนะ

1. การวิจัยถั่วมะแสะยังไม่มีหลักฐานปรากฏว่ามีการวิจัยได้ทดลองนำมาผลิตเป็นเต้าหู้จากการทำวิจัยในครั้งนี้ครั้งแรก จากผลการวิเคราะห์ด้านคุณภาพเต้าหู้ ควรมีการศึกษาวิจัยต่อไปเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ ผลจากการศึกษาทางด้านเคมียังไม่เพียงพอ ควรศึกษาวิจัยต่อไป เพื่อพัฒนากระบวนการหมักให้ดียิ่งขึ้น โดยเฉพาะศึกษาทางด้านคุณค่าทางโภชนาการ

2. ในการทำเต้าหู้ที่มีถั่วมะแสะเป็นส่วนประกอบพบปัญหาในขณะที่ต้มน้ำนมพบว่าเนื้อของน้ำนมมีลักษณะขุ่นเหมือนกาว อาจเป็นเพราะว่าในถั่วมะแสะมีแป้งซึ่งมีผลทำให้การตกตะกอนของโปรตีนไม่สมบูรณ์ ดังนั้นเพื่อประโยชน์ในการวิจัยต่อไปควรมีการศึกษาในการแยกแป้งออกจากน้ำนมก่อนที่จะเอาไปต้มโดยวิธีการตกตะกอนแป้งก่อนนำน้ำนมไปต้ม

## บรรณานุกรม

### บรรณานุกรม

- กองโภชนาการ กรมอนามัย. (ม.ป.ป.). ตารางแสดงคุณค่าอาหารไทยในส่วนที่กินได้ 100 กรัม. กรุงเทพฯ: ม.ป.พ.
- กลุ่มงานพฤกษศาสตร์ กองพฤกษศาสตร์และวัชพืช. (2549). พฤกษศาสตร์ของผักพื้นเมือง. สืบค้นเมื่อวันที่ 9 พฤศจิกายน 2550. จาก <http://www.doa.go.th/botany/cajca.html>
- จันทน์ อริยะพงศ์สรรค์; และบวรศักดิ์ ลิลานนท์. (2548) สมบัติทางกายภาพของบะหมี่จีนจาก ถั่วมะแฮะ. วารสารแก่นนคร. 33(3): 242-251
- ณรงค์ นิยมวิทย์. (2538) ตำหูลอด. วารสารอาหาร:224-244 15(4): ม.ป.พ.
- น้ำทิพย์ วงษ์ประทีป. (2541) การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตและคุณภาพของเจลโปรตีน จากถั่วเหลือง.วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย ,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ประดิษฐ์ มีสุข. (2524). เคมีชีวิต : ชีวเคมีเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์
- ปรียาพร เขียวขำ. (2544) การศึกษากระบวนการผลิตและคุณสมบัติของนมถั่วเหลืองเสริม แคลเซียม.วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย ,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง.
- เพลินใจ ตั้งคณะกุล;และสมจิตร อ่อนหม. ( 2527) การทำตำหูลและตำห่วย. กรุงเทพฯ: สถาบันคั่นควาและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร.
- ภคธีรา อุปจักร.(2550).การศึกษากระบวนการผลิตชีวจากถั่วมะแฮะ.สารนิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต(วิทยาศาสตรศึกษา)กรุงเทพฯ:บัณฑิตวิทยาลัย,มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- แมน อมรสิทธิ์ ;และ อมร เพชรสม. (2534). หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชวนพิมพ์
- วารสารสำนักหอสมุดมหาวิทยาลัยทักษิณ.(2548).ตำหูลอาหารสุขภาพของคนจีน.กรุงเทพฯ: 2548
- วันชัย สมชิต. (2527). ถั่วเหลืองและการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย. สถาบันคั่นควาและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ: บริษัทสยามออฟเซ็ทจำกัด
- สมชาย ประภาวดี(2525). การศึกษาชนิดและปริมาณที่เหมาะสมของตัวตกตะกอนต่างๆในการทำตำหูลอด. หน้าในงานวิจัยสถาบันคั่นควาและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร. กรุงเทพฯ: สถาบันคั่นควาและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร.
- สำนักงานเกษตรอำเภอปอเกลือ.เอกสารการส่งเสริมการขายพันธุ์ถั่วมะแฮะในพื้นที่อำเภอปอเกลือ. น่าน: มีนาคม, 2548
- อุดม กาญจนปรกรณ์;และสมชาย ประภาวดี.(2519). การทำตำหูล.วารสารวิทยาศาสตรการอาหาร.1(1) : 39-46

- AOAC. Official Method of Analysis.(1995).16<sup>th</sup> cd. *The Association of Analysis Chemists*.  
Arlington, Virginia.
- Beddows. C.D. ;& Wong, J. (1987a) . *Optimization of Yield and Properties of Silken Tofu from Soybean, I. The Water:Bean Ration*, *Int. J. Food Sic. Technol.* 22:15-21.
- Beddows. C.D. ;& Wong, J. (1987b) . *Optimization of Yield and Properties of Silken Tofu from Soybean, II. The Heat Processing*. *J. Food Sic. Technol.* 22:23-27
- Cai., TD. ;& Chang, K.S. *Dry tofu Characteristics Affected by Soymilk Solid Content and oagulaion Time*. *J.Food Quality.* 20:391-402.
- Catharing, Y.W., Liu.K.S.andHUANG, Y.1999. *Asian Food Sciences & Technology*.  
Pennsylyania:Technomic Publishing Company.
- Chung .W.H and Kin,Y.H.1996."*Function Properties and Composition of Tofu Flours*." 206-209.In the processings of the Second International Soybean processing and Utilization  
Bangkok : Kasetsart University.
- Halik. J.J . Pichon, E., Sholmon, M., Schwarz, M.H. and Yezck, M.1976. *Dried Tofu Powder*.  
U.S. patent. No. 3943266, March9, 1976
- Hideo, O. ;& Kawassaki, S. (1990). *Processed Soybean Curd Food Having a Texture Similar to Meat*. U.S. patent.no. 4897280,June 7, 1990
- Lim, B.T., Deman, J.M, Deman, L. ;& Buzzlee, R.I. (1990). " *Yield and Quality of Tofu as Affected by Soybean and Soymilk Characteristics Calciam Sulfate Coagulant*". *J. Food Sci.* 55(4) : 1088-1111
- Liu, K. 1997. *Soybean : Chemistry, technology, and Utilization*. New York : Chapman & Hall
- Nelson, A.I., Steinberg, M.P. and and Wei, L.S. 1976. " *Illinois Process for preparation of Soymilk*." *J. Food Sci.* 41 : 57 - 61
- Saio, K. 1979. " *Tofu Relationships between texture and fine structure*." *Cereal Foods World.* 24(8) : 343
- Schaefer, M.J. and Love, J. 1992. " *Relationships between Soybean Component and Tofu Texture*." *J. Food Quality.* 15 : 53 – 66.
- Shen, J.L. and Jackson, R.H. 1991. " *Functional Soy Proteins Designed as Casein and Egg White Replacers* .*Cereal Foods world.* 36 : 431
- Shi, Y. G. and Ren, L. 1993. *Soybean products technolory. China's Light industry Publisher beiging.*
- Shih, M.C., Hou, HJ. And chang, K.C. 1997 " *process optimization for soft tofu*." *J. Food Sci.* 62(4) : 833 – 837

- Smith, G.C., Juhn, H., Carpenter, Z.L., Mattil, K.F. and Cater C.M. 1973. "Efficacy of Protein Additives as Emulsion stabilizers in frankfurters." J. Food sci. 38 : 349 – 353
- Sun, N. and Breene, W.M. 1991. *Calcium sulfate Concentration Influence on Yield and Quality of Tofu from Five Soybean Varieties*. J, Food Sci. 56(6) : 1604.
- Wagner, J.R. and Anor, M.C. 1990 "influence of denaturation, Hydrophobicity and Sulfhydryl Content on Solubility and Water Absorbing Capacity of Soy Protein Isolates." J. Food Sci. 55 : 765 – 700
- Wang, H.L., Swain, E.W. ;& Kwolek, W.F. . (1983). *Effect of Soybean Varieties on The Yield and quality of Tofu*. Cereal Chem. 60:245-248.
- Wilkins, W.F., Mattick, L.R. and Hond, D.B. 1976. "Effect of Processing Method on Oxidative Off – Flavors of Soybean milk." Food Tech. 21 : 86 - 89

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก  
ตารางข้อมูลการทดลอง

ตาราง 5 ค่าความเป็นกรด-เบสของเต้าหู้

| ค่า pH ของเต้าหู้ |        |      |      |      |
|-------------------|--------|------|------|------|
| สูตร              | ควบคุม | 3    | 4    | 5    |
| ก่อน              | 6.49   | 6.41 | 6.38 | 6.43 |
| หลัง              | 5.65   | 5.83 | 5.76 | 5.74 |

ตาราง 6 ปริมาณโปรตีนและไขมัน

| สูตร   | ปริมาณสารวิเคราะห์ |       |
|--------|--------------------|-------|
|        | โปรตีน             | ไขมัน |
| ควบคุม | 3.917              | 8.68  |
| 3      | 3.122              | 7.10  |
| 4      | 2.945              | 7.30  |
| 5      | 2.945              | 6.84  |

ตาราง 7 ระดับความพึงพอใจกลิ่น ของเต้าหู้

| สูตร      | ร้อยละระดับความพึงพอใจกลิ่นในเต้าหู้ |       |         |       |            |
|-----------|--------------------------------------|-------|---------|-------|------------|
|           | มากที่สุด                            | มาก   | ปานกลาง | น้อย  | น้อยที่สุด |
| ควบคุม    | 15                                   | 60    | 10      | 15    | 0          |
| 3         | 5                                    | 50    | 25      | 10    | 10         |
| 4         | 0                                    | 35    | 25      | 20    | 20         |
| 5         | 0                                    | 30    | 20      | 40    | 10         |
| ค่าเฉลี่ย | 5                                    | 43.75 | 20      | 21.25 | 10         |

ตาราง 8 ระดับความพึงพอใจสี ของเต้าหู้

| สูตร      | ร้อยละระดับความพึงพอใจ สี ของเต้าหู้ |       |         |      |            |
|-----------|--------------------------------------|-------|---------|------|------------|
|           | มากที่สุด                            | มาก   | ปานกลาง | น้อย | น้อยที่สุด |
| ควบคุม    | 5                                    | 50    | 25      | 10   | 10         |
| 3         | 0                                    | 40    | 20      | 25   | 15         |
| 4         | 0                                    | 35    | 45      | 10   | 10         |
| 5         | 0                                    | 10    | 40      | 35   | 15         |
| ค่าเฉลี่ย | 1.25                                 | 33.75 | 32.50   | 20   | 12.50      |

ตาราง 9 การเปรียบเทียบความพึงพอใจ รสชาติ ของเต้าหู้

| สูตร      | ร้อยละระดับความพึงพอใจ รสชาติ ของเต้าหู้ |       |         |       |            |
|-----------|------------------------------------------|-------|---------|-------|------------|
|           | มากที่สุด                                | มาก   | ปานกลาง | น้อย  | น้อยที่สุด |
| ควบคุม    | 10                                       | 70    | 10      | 10    | 0          |
| 3         | 5                                        | 65    | 20      | 10    | 0          |
| 4         | 0                                        | 45    | 10      | 15    | 30         |
| 5         | 0                                        | 25    | 25      | 30    | 20         |
| ค่าเฉลี่ย | 3.75                                     | 51.25 | 16.25   | 16.25 | 12.50      |

ตาราง 10 การเปรียบเทียบความพึงพอใจเนื้อสัมผัส ของเต้าหู้

| สูตร      | ร้อยละระดับความพึงพอใจ เนื้อสัมผัส ของเต้าหู้ |       |         |       |            |
|-----------|-----------------------------------------------|-------|---------|-------|------------|
|           | มากที่สุด                                     | มาก   | ปานกลาง | น้อย  | น้อยที่สุด |
| ควบคุม    | 25                                            | 50    | 15      | 10    | 0          |
| 3         | 10                                            | 55    | 5       | 20    | 10         |
| 4         | 0                                             | 40    | 10      | 35    | 15         |
| 5         | 0                                             | 0     | 10      | 50    | 40         |
| ค่าเฉลี่ย | 8.75                                          | 36.25 | 10      | 28.75 | 16.25      |

ตาราง 11 การเปรียบเทียบความพึงพอใจในภาพรวม ของเต้าหู้

| สูตร      | ร้อยละระดับความพึงพอใจ ในภาพรวม ของเต้าหู้ |       |         |      |            |
|-----------|--------------------------------------------|-------|---------|------|------------|
|           | มากที่สุด                                  | มาก   | ปานกลาง | น้อย | น้อยที่สุด |
| ควบคุม    | 60                                         | 20    | 15      | 5    | 0          |
| 3         | 50                                         | 20    | 15      | 15   | 0          |
| 4         | 38                                         | 25    | 30      | 5    | 0          |
| 5         | 20                                         | 25    | 28      | 17   | 10         |
| ค่าเฉลี่ย | 67.20                                      | 22.50 | 22      | 11   | 2.50       |

ภาคผนวก ข

วัตถุดิบ ขั้นตอนการผลิตเต้าหู้และการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี



ภาพประกอบ 15 แสดงวัตถุดิบที่ใช้



ภาพประกอบ 16 แสดงการตีปั่นแก้ว



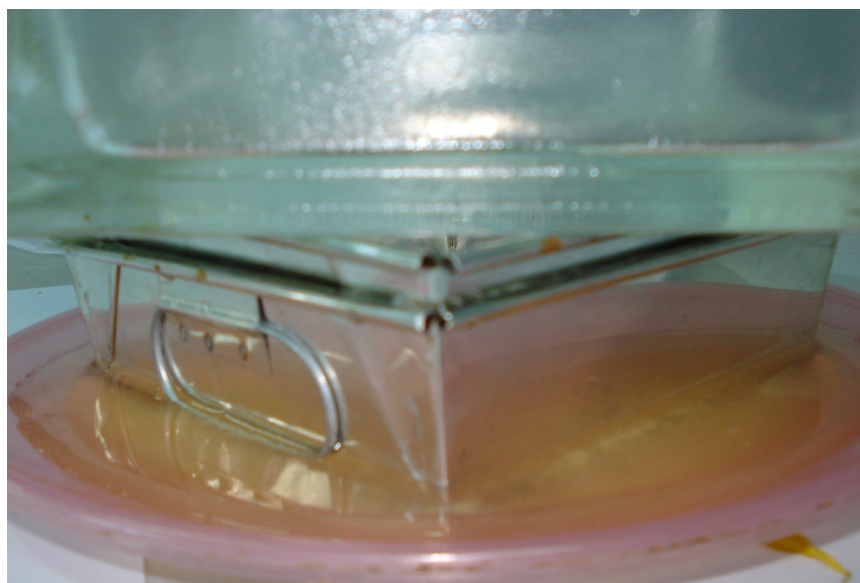
ภาพประกอบ 17 แสดงการต้มน้ำนมถั่ว



ภาพประกอบ 18 แสดงการเทน้ำนมลงในภาชนะแล้วเติม แคลเซียมคลอไรด์ลงไป



ภาพประกอบ 19 แสดงการ เติบโตในฟิมพ์



ภาพประกอบ 20 แสดงการกีดด้วยของหนัก



เต้าหู้สูตรควบคุม

เต้าหู้สูตร 3

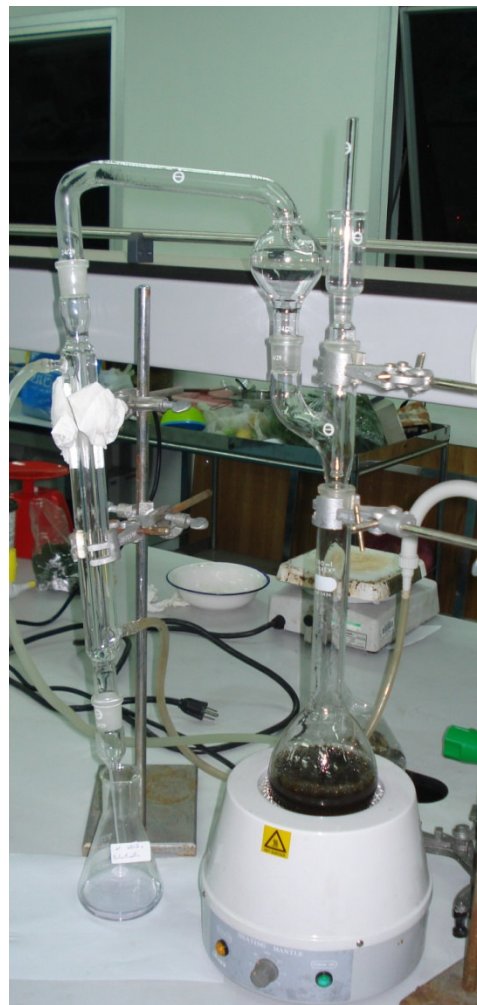
เต้าหู้สูตร 4

เต้าหู้สูตร 5

ภาพประกอบ 21 แสดงผลิตภัณฑ์เต้าหู้



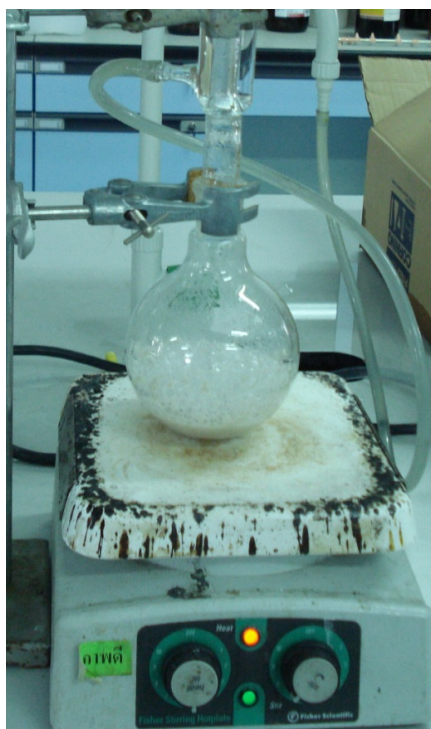
ภาพประกอบ 22 แสดงขั้นตอนการย่อย



ภาพประกอบ 23 แสดง ขั้นตอนการกลั่น



ภาพประกอบ 24 แสดงขั้นตอนการไทเทรต



ภาพประกอบ 25 การวิเคราะห์ไขมัน

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้



4. อธิบายการใช้ประโยชน์จากถั่วมะแสะในแต่ละส่วนได้
5. นำความรู้ที่ได้จากเรียนเลือกทำโครงการเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากถั่วมะแสะได้

#### 5. ชิ้นงาน/หลักฐานการเรียนรู้ของผู้เรียน

1. ใบงานเรื่องการเจริญเติบโตของถั่วมะแสะ
2. ใบงานเรื่องการใช้ประโยชน์จากถั่วมะแสะ
3. แบบฝึกคิดหัวเรื่องโครงการ
4. โครงการ

#### 6. บูรณาการ

การเรียนการสอนเรื่อง การเพิ่มมูลค่าถั่วมะแสะในผลิตภัณฑ์เต้าหู้ได้นำเอา การเขียนกราฟ การวาดรูป และการแปรรูปอาหารเข้ามาเป็นส่วนประกอบในการเรียนเพื่อให้นักเรียนเกิด ความสนใจในการเรียนและมีความสนใจในเนื้อหามากขึ้น สามารถนำความรู้ไปใช้ในวิชา คณิตศาสตร์ ศิลปะ และการงานพื้นฐานอาชีพและเทคโนโลยีได้

#### 7. แนวความคิดหลัก

ถั่วมะแสะ (Pigeon Pea) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Cajanus cajan* Millsp. มีลักษณะเป็น ไม้พุ่ม ถั่วมะแสะสามารถขยายพันธุ์โดยใช้เมล็ด โดยทั่วไปสามารถนำถั่วมะแสะมาใช้ ประโยชน์ได้ตั้งแต่รากถึงยอด และที่พบกันมากคือนำมาเป็นปุ๋ยพืชสด ปลูกเพื่อปรับสภาพดิน และนำมาเป็นอาหารสัตว์ เป็นผักพื้นเมืองผักอ่อนบริโภคพร้อมกับส้มตำ ใช้จิ้มเมี่ยง ใช้ลวกจิ้ม น้ำพริก ในถั่วมะแสะที่แก่จัดมีสารอาหารต่างๆ ประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต 63.4 กรัม/100 กรัม โปรตีน 20.4 กรัม/100 กรัม ไขมัน 11.5 กรัม/100 กรัม (คำนวณจากน้ำหนักแห้ง) นอกจากนี้ยัง ประกอบไปด้วยแคลเซียม ฟอสฟอรัส และวิตามิน A, B, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, และ ไนอาซิน

#### 8. กระบวนการจัดการเรียนรู้

##### กิจกรรมการเรียนการสอน ครั้งที่ 1

เรื่อง การเจริญเติบโตของถั่วมะแสะ เวลา 2 ชั่วโมง

##### 1.ขั้นสร้างความสนใจ

- 1 ครูถามนักเรียนว่า “รู้จักถั่วมะแสะหรือไม่” นักเรียนร่วมตอบ
- 2 ครูถามนักเรียนว่า “นักเรียนทราบหรือไม่ว่าถั่วมะแสะเจริญเติบโตได้อย่างไร และมีปัจจัยอะไรบ้างที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของถั่วมะแสะ” นักเรียนร่วมกันอภิปราย
- 3 ครูนำเมล็ดถั่วมะแสะมาให้ให้นักเรียนดูและถามว่า “นักเรียนเคยสงสัยหรือเปล่าว่า ถั่วมะแสะกว่าจะเติบโตเป็นต้นกล้าจะต้องใช้เวลากี่วัน” นักเรียนร่วมกันอภิปราย

##### 2.ขั้นสอน

- 4.ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปราย เรื่องการเจริญเติบโตของพืช
- 5.นักเรียนแบ่งกลุ่ม ลงมือทำใบงานที่ 1 เรื่อง การเจริญเติบโตของถั่วมะแสะ

6. นักเรียนรับใบงานการฝึกคิดหัวเรื่องโครงการใช้เวลาในการทำ 20 นาที  
หลังจากนั้นนำเสนอหน้าชั้นเรียน ทุกคนร่วมกันแสดงความคิดเห็น

### 3.ชั้นอภิปรายและสรุป

7. นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับการทดลองเพื่อนำไปสู่การในวัน  
สุดท้ายของการสังเกตการเจริญเติบโตของถั่วมะแฮะ

8. ครูสรุปและนำการคิดหัวเรื่องโครงการที่นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันคิดมา

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน ครั้งที่ 2 เรื่อง การใช้ประโยชน์จากถั่วมะแฮะ เวลา 2 ชั่วโมง

### 1.ชั้นสร้างความสนใจ

1. ครูซักถามนักเรียนว่า “นักเรียนทราบหรือเปล่าว่าในชุมชนของนักเรียนมีการ  
นำเอาถั่วมะแฮะมาใช้ประโยชน์ในเรื่องใดบ้าง” นักเรียนร่วมกันอภิปราย

2. ครูนำภาพการใช้ประโยชน์จากถั่วมะแฮะมาให้นักเรียนศึกษาดู

### 2.ชั้นสอน

3. นักเรียนศึกษาใบความรู้ เรื่อง การใช้ประโยชน์จากถั่วมะแฮะ

4. นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันจำแนกประโยชน์ที่ได้จากถั่วมะแฮะ และร่วมกัน  
อภิปรายหน้าชั้นเรียน

5. นักเรียนรับใบงานการฝึกคิดหัวเรื่องโครงการใช้เวลาในการทำ 20 นาที  
หลังจากนั้นนำเสนอหน้าชั้นเรียน ทุกคนร่วมกันแสดงความคิดเห็น

### 3.ชั้นอภิปรายและสรุป

6. นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายเรื่องการใช้ประโยชน์จากถั่วมะแฮะ เพื่อนำไปสู่  
การสรุปเป็นความรู้ใหม่

7. ครูสรุปและนำการคิดหัวเรื่องโครงการที่นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันคิดมาเพื่อ  
เป็นแนวทางการทำโครงการของนักเรียน

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน ครั้งที่ 3

เรื่อง การทำโครงการการใช้ประโยชน์จากถั่วมะแฮะ เวลา 2 ชั่วโมง

### 1.ชั้นสร้างความสนใจ

1. ครูซักถามนักเรียนเกี่ยวกับหัวเรื่องโครงการนำเอาถั่วมะแฮะมาใช้ประโยชน์ที่  
นักเรียนได้คิดมา นักเรียนร่วมกันอภิปราย

2. ครูนำตัวอย่างโครงร่างโครงการ และโครงการของนักเรียนรุ่นพี่ที่ทำไว้ให้นักเรียน  
ดู นักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับการศึกษาโครงงานตัวอย่าง

### 2.ชั้นสอน

3. นักเรียนศึกษาใบความรู้ เรื่อง การเขียนเค้าโครงของโครงการ และการจัดทำรายงาน  
โครงการ

4. ครูร่วมกับนักเรียนอภิปรายเรื่องการเขียนเค้าโครง
5. นักเรียนรับใบงานที่ 2 เรื่อง การเขียนเค้าโครงของโครงการ โดยเลือกใช้หัวเรื่องโครงการในใบงานที่เคยทำผ่านมา หลังจากนั้นนำเสนอหน้าชั้นเรียน ทุกคนร่วมกันแสดงความคิดเห็น

### 3.ขั้นอภิปรายและสรุป

6. นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายเค้าโครงของโครงการเกี่ยวกับเรื่องการใช้ประโยชน์จากถั่วมะแฮะ ของนักเรียนที่ละกลุ่มเพื่อนำไปสู่การสรุปและจัดทำเป็นโครงการ
7. ครูสรุปแนะนำการทำโครงการที่นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันคิดมาเพื่อเป็นแนวทางการทำโครงการของนักเรียน และให้นำมาส่งในชั่วโมงถัดไป

## กิจกรรมการเรียนรู้การสอน ครั้งที่ 4

เรื่อง การทำโครงการการใช้ประโยชน์จากถั่วมะแฮะ เวลา 2 ชั่วโมง

### 1.ขั้นสร้างความสนใจ

1. ครูซักถามนักเรียนเกี่ยวกับโครงการการนำเอาถั่วมะแฮะมาใช้ประโยชน์ที่นักเรียนได้ทำมา นักเรียนร่วมกันอภิปราย

### 2.ขั้นสอน

3. นักเรียนแต่ละกลุ่มออกมานำเสนอโครงการที่ได้ไปทำมาให้เพื่อนในห้องและครูได้รับฟังทีละกลุ่มจนครบทุกกลุ่ม
4. ครูร่วมกับนักเรียนอภิปรายโครงการที่ได้รับฟังการนำเสนอทีละกลุ่ม

### 3.ขั้นอภิปรายและสรุป

7. ครูสรุปแนะนำการทำโครงการที่นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันทำมาเพื่อเป็นแนวทางการทำโครงการเรื่องต่อไป

## **9. สื่อและแหล่งการเรียนรู้**

### **สื่อการเรียนรู้**

1. ใบงานเรื่อง การเจริญเติบโตของถั่วมะแฮะ
2. ใบความรู้เรื่อง การใช้ประโยชน์จากถั่วมะแฮะ
3. ใบงานเรื่อง การใช้ประโยชน์จากถั่วมะแฮะ
4. แบบฝึกคิดหัวเรื่องโครงการ
5. เค้าโครงงานตัวอย่าง
6. โครงการตัวอย่าง
7. ใบความรู้ เรื่อง การเขียนเค้าโครงของโครงการ และการจัดทำรายงานโครงการ

## แหล่งการเรียนรู้

1. ห้องสมุดโรงเรียน
2. แปลงปลูกถั่วมะแฮะในโรงเรียนและชุมชน
- 3 อินเทอร์เน็ต

## 10. การวัดและประเมินผล

| พฤติกรรมที่ต้องการวัด<br>และประเมินผล | วิธีการ                                                                                                                                                                                      | เครื่องมือ                                                                                                        |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ความรู้ – ความคิด                     | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. สังเกตจากการตอบคำถามและการซักถามปัญหาและการแสดงความคิดเห็น</li> <li>2. สังเกตจากการอภิปรายกลุ่มย่อย</li> <li>3. การตรวจผลงาน</li> </ol>            | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ใบงาน</li> <li>2. สมุดบันทึกของนักเรียน</li> </ol>                      |
| ด้านทักษะกระบวนการ                    | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ให้ปฏิบัติกิจกรรมการทดลอง (กระบวนการกลุ่ม)</li> <li>2. ให้อภิปรายกลุ่มย่อยและนำเสนอผลงาน</li> <li>3. การจัดทำโครงงานและการนำเสนอโครงงาน</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. แบบบันทึกการประเมินการทดลอง</li> <li>2. แบบประเมินโครงงาน</li> </ol>    |
| ด้านจิตวิทยาศาสตร์                    | สังเกตและบันทึกผลการสังเกต                                                                                                                                                                   | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. สมุดบันทึกการเข้าเรียน</li> <li>2. แบบสังเกตพฤติกรรมรายบุคคล</li> </ol> |

## 11.บันทึกหลังการสอน

ผลการสอน.....

.....

.....

ปัญหาอุปสรรค.....

.....

.....

.....

ข้อเสนอแนะ.....

.....

### แบบประเมินพฤติกรรมและคุณลักษณะที่พึงประสงค์

คำชี้แจง ให้ผู้ประเมินทำเครื่องหมาย / ลงในช่องที่ตรงกับความเป็นจริง โดยมีเกณฑ์ในการประเมินดังนี้

- 5 หมายถึง ปฏิบัติหรือแสดงคุณลักษณะนั้นเด่นชัดที่สุด (5 คะแนน)
- 4 หมายถึง ปฏิบัติหรือแสดงคุณลักษณะนั้นค่อนข้างเด่นชัด (4 คะแนน)
- 3 หมายถึง ปฏิบัติหรือแสดงคุณลักษณะนั้นปานกลาง (3 คะแนน)
- 2 หมายถึง ปฏิบัติหรือแสดงคุณลักษณะนั้นน้อย (2 คะแนน)
- 1 หมายถึง ปฏิบัติหรือแสดงคุณลักษณะนั้นน้อยที่สุด (1 คะแนน)

| พฤติกรรมที่แสดงออก                                        | ระดับการปฏิบัติ |       |       |       |       |
|-----------------------------------------------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|
|                                                           | 1               | 2     | 3     | 4     | 5     |
| 1 แต่งกายถูกต้องตามระเบียบ                                | .....           | ..... | ..... | ..... | ..... |
| 2 แสดงกริยา วาจา สุภาพเรียบร้อย                           | .....           | ..... | ..... | ..... | ..... |
| 3 กระตือรือร้น สนใจต่อการเรียน                            | .....           | ..... | ..... | ..... | ..... |
| 4 ให้ความร่วมมือในการปฏิบัติกิจกรรมในชั้นเรียน            | .....           | ..... | ..... | ..... | ..... |
| 5 ชักถามครูเมื่อมีข้อสงสัยในบทเรียนและเรื่องต่างๆ         | .....           | ..... | ..... | ..... | ..... |
| 6 มีน้ำใจกับเพื่อนๆ และยอมรับฟังความคิดเห็นของคนอื่น      | .....           | ..... | ..... | ..... | ..... |
| 7 ปฏิบัติงานที่ได้รับมอบหมายด้วยความตั้งใจสั่งทันตามกำหนด | .....           | ..... | ..... | ..... | ..... |
| 8 มีความมั่นใจในตนเอง แสดงความคิดเห็นในชั้นเรียน          | .....           | ..... | ..... | ..... | ..... |
| 9 ศึกษาความรู้จากแหล่งต่างๆ ในชุมชน โรงเรียน              | .....           | ..... | ..... | ..... | ..... |
| 10 นำความรู้ที่ได้จากการศึกษาไปใช้ในชีวิตประจำวัน         | .....           | ..... | ..... | ..... | ..... |
| รวม                                                       | .....           | ..... | ..... | ..... | ..... |

ลงชื่อ.....

(.....)

ผู้ประเมิน

### เกณฑ์การประเมินผลโครงการ

| รายการประเมิน                                                                                                                                                                                                                                                                                            | ระดับคุณภาพ |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- มีการวางแผนวิธีการทำโครงการได้ถูกต้องครบถ้วน</li> <li>- ลงมือปฏิบัติตามวิธีการที่วางแผนจนทำโครงการได้สำเร็จ</li> <li>- สรุปและอภิปรายผลการทำโครงการได้ถูกต้องชัดเจน</li> <li>- เขียนรายงานเป็นลำดับขั้นตอน</li> <li>- นำเสนอโครงการได้ชัดเจน สมบูรณ์</li> </ul> | 4 ดีมาก     |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- มีการวางแผนวิธีการทำโครงการได้ถูกต้อง</li> <li>- ลงมือปฏิบัติตามวิธีการที่วางแผนจนทำโครงการได้สำเร็จ</li> <li>- สรุปและอภิปรายผลการทำโครงการได้</li> <li>- นำเสนอโครงการได้ชัดเจน</li> <li>- เขียนรายงาน</li> </ul>                                             | 3 ดี        |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- มีการวางแผนวิธีการทำโครงการได้ถูกต้องบางส่วน</li> <li>- ลงมือปฏิบัติตามวิธีการวางแผนจนทำโครงการได้สำเร็จบางส่วน</li> <li>- สรุปและอภิปรายผล ไม่ชัดเจน</li> <li>- เขียนรายงานได้ไม่ชัดเจน นำเสนอชัดเจนบางส่วน</li> </ul>                                         | 2 พอใช้     |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- ต้องอาศัยคำแนะนำในการวางแผนวิธีการทำโครงการ</li> <li>- มีความยากลำบากในการลงมือปฏิบัติตามวิธีการทำโครงการ</li> <li>- สรุปและอภิปรายผลไม่ถูกต้อง</li> <li>- เขียนรายงานไม่ครบตามขั้นตอน ไม่ถูกต้อง</li> <li>- นำเสนอโครงการไม่ชัดเจน</li> </ul>                  | 1 ปรับปรุง  |

### เกณฑ์การประเมินผลปฏิบัติการทดลอง

| รายการประเมิน                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | ระดับความคิดเห็น |        |           |              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|--------|-----------|--------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | ดีมาก (4)        | ดี (3) | พอใช้ (2) | ปรับปรุง (1) |
| 1. ความรู้ ความคิด<br>จุดประสงค์การทำการงานที่ชัดเจน<br>สารสำคัญของภาระงานครบถ้วน<br>เนื้อหาสาระถูกต้อง<br>แสดงความคิดริเริ่มสร้างสรรค์<br>2. กระบวนการเรียนรู้<br>วางแผนและเตรียมการที่เป็นระบบ<br>ปฏิบัติการงานเป็นไปตามแผน<br>ประเมินการทำการงานและมีการปรับปรุง<br>ร่วมมือในการทำงานของสมาชิกกลุ่ม<br>3. การเสนอผลงานหรือเขียนรายงาน<br>สื่อสารได้ชัดเจน เข้าใจง่าย<br>รูปแบบการนำเสนอเหมาะสม<br>ข้อมูลการทำการงานสมบูรณ์<br>สรุปผลการทำการงานได้ตรงตามจุดประสงค์<br>เอกสารอ้างอิง/แหล่งข้อมูล |                  |        |           |              |

#### 4. ความคิดเห็นเพิ่มเติม

.....

.....

.....

.....

.....

### แบบประเมินผลการปฏิบัติงานผู้เรียน

#### คำชี้แจง

จงทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องตรงข้อความที่ท่านเห็นด้วย และเสนอความคิดเห็นเพิ่มเติมโดยจำแนกระดับความคิดเห็นออกเป็น 4 ระดับ ดังนี้

|           |         |                                                       |
|-----------|---------|-------------------------------------------------------|
| มากที่สุด | หมายถึง | ผู้เรียนมีพฤติกรรมการแสดงออกด้านนั้นได้มากที่สุด = 4  |
| มาก       | หมายถึง | ผู้เรียนมีพฤติกรรมการแสดงออกด้านนั้นได้มาก = 3        |
| พอใช้     | หมายถึง | ผู้เรียนมีพฤติกรรมการแสดงออกด้านนั้นได้น้อย = 2       |
| ปรับปรุง  | หมายถึง | ผู้เรียนมีพฤติกรรมการแสดงออกด้านนั้นได้น้อยที่สุด = 1 |

#### สถานะของผู้ประเมิน

- ☐ ผู้สอน.....
- ☐ ผู้เรียน ชื่อ..... ชั้น.....
- ..... เลขที่..... กลุ่ม .....

### แบบบันทึกการประเมินการทดลอง

กิจกรรมที่สังเกต.....วันที่สังเกต.....

ชื่อกลุ่ม.....ชั้น.....

สมาชิกได้แก่

- 1.....2.....  
3.....4.....  
5.....6.....

| ที่ | รายการพฤติกรรม                                      | คุณภาพการปฏิบัติ |         |         | ไม่ปฏิบัติ |
|-----|-----------------------------------------------------|------------------|---------|---------|------------|
|     |                                                     | ดีมาก            | ปานกลาง | พอใช้   | ปรับปรุง   |
|     |                                                     | 4 คะแนน          | 3 คะแนน | 2 คะแนน | 1 คะแนน    |
| 1   | มีการปรึกษากันก่อนทำงาน                             | .....            | .....   | .....   | .....      |
| 2   | จัดเตรียมวัสดุ/อุปกรณ์พร้อมและเหมาะสมก่อนปฏิบัติงาน | .....            | .....   | .....   | .....      |
| 3   | ปฏิบัติงานตามขั้นตอนและวิธีการที่ตกลงกัน            | .....            | .....   | .....   | .....      |
| 4   | ขณะปฏิบัติงานมีการปรึกษาและให้ความช่วยเหลือกัน      | .....            | .....   | .....   | .....      |
| 5   | ระมัดระวังเพื่อให้เกิดความปลอดภัยขณะทำการทดลอง      | .....            | .....   | .....   | .....      |
| 6   | การทดลองเป็นไปตามวัตถุประสงค์                       | .....            | .....   | .....   | .....      |
| 7   | ผลการทดลองเสร็จภายในเวลาที่กำหนด                    | .....            | .....   | .....   | .....      |
| 8   | เก็บวัสดุ/อุปกรณ์เป็นระเบียบหลังเลิกทำการทดลอง      | .....            | .....   | .....   | .....      |
| 9   | การนำเสนอผลการทดลอง                                 | .....            | .....   | .....   | .....      |
| 10  | การสรุป/วิเคราะห์การทดลอง                           | .....            | .....   | .....   | .....      |
|     | รวม                                                 | .....            | .....   | .....   | .....      |

ลงชื่อ.....

(.....)

ผู้ประเมิน

**เกณฑ์การประเมินผลการงาน**  
**การสืบค้นข้อมูล วิชาวิทยาศาสตร์**

| รายการประเมิน                                 | ระดับคะแนน |       |       |          |
|-----------------------------------------------|------------|-------|-------|----------|
|                                               | 3          | 2     | 1     | หมายเหตุ |
| 1. รูปแบบของรายงาน                            | .....      | ..... | ..... | .....    |
| 2. ความสมบูรณ์ของเนื้อหา                      | .....      | ..... | ..... | .....    |
| 3. ความทันสมัยของเนื้อหา (การ up date ข้อมูล) | .....      | ..... | ..... | .....    |
| 4. การนำเสนอหน้าชั้น                          |            |       |       |          |
| - สื่อสารชัดเจน เข้าใจง่าย                    | .....      | ..... | ..... | .....    |
| - รูปแบบการนำเสนอเหมาะสม                      | .....      | ..... | ..... | .....    |
| - ข้อมูลของรายงานสมบูรณ์                      | .....      | ..... | ..... | .....    |
| - สรุปข้อมูลได้ตรงตามจุดประสงค์               | .....      | ..... | ..... | .....    |
| คะแนนรวม                                      | .....      | ..... | ..... | .....    |

ข้อเสนอแนะ/การแก้ไข

.....

.....

.....

**การแปลผล**

17-21     ดีเยี่ยม

12-16     ดี

7-11      พอใช้

## เกณฑ์การประเมินผลการะงาน

### การทดลองแยกย่อย

| รายการประเมิน                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | ระดับคุณภาพ |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>ด้านที่ 1 การตั้งปัญหา</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ถูกต้อง ตรงประเด็น</li> <li>- ถูกต้องบางส่วน ไม่ตรงประเด็น</li> <li>- ไม่ถูกต้องและไม่ตรงประเด็น</li> </ul>                                                                                                                             | 3<br>2<br>1 |
| <b>ด้านที่ 2 การตั้งสมมติฐาน</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ตั้งสมมติฐานได้ตรงประเด็น</li> <li>- ถูกต้องบางส่วน ไม่ตรงประเด็น</li> <li>- ไม่ถูกต้องและไม่ตรงประเด็น</li> </ul>                                                                                                                   | 3<br>2<br>1 |
| <b>ด้านที่ 3 ออกแบบและวางแผนทดลอง</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- สามารถออกแบบได้อย่างถูกต้องและหลากหลาย คลุมเนื้อหา</li> <li>- ออกแบบได้แต่ยังไม่คลุมเนื้อหา</li> <li>- ออกแบบไม่ได้ ครูต้องคอยชี้แนะ</li> </ul>                                                                                 | 3<br>2<br>1 |
| <b>ด้านที่ 4 การทดลอง</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ใช้อุปกรณ์เรียงลำดับการทดลองถูกต้อง ปลอดภัย ทันเวลาที่กำหนด</li> <li>- ใช้อุปกรณ์ได้แต่ยังไม่ถูกต้อง ครูชี้แนะเป็นบางครั้ง ตรงเวลา</li> <li>- ใช้ไม่เป็น ครูต้องคอยแนะนำเสมอ ไม่ตรงเวลา</li> </ul>                                          | 3<br>2<br>1 |
| <b>ด้านที่ 5 การลงข้อมูลสรุปผลการทดลอง บันทึกและเขียนรายงาน</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- บันทึกผลการทดลอง สรุปผลถูกต้องและชัดเจน</li> <li>- บันทึกผลการทดลองได้เอง เขียนรายงานได้บ้าง แต่ยังไม่สมบูรณ์</li> <li>- เขียนผลการทดลองยังไม่ได้ ครูต้องคอยแนะนำการเขียนและสรุปผลการทดลอง</li> </ul> | 3<br>2<br>1 |
| <b>ด้านที่ 6 การนำเสนอผลการทดลอง</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- นำเสนอด้วยความมั่นใจ ถูกต้อง คล่องแคล่ว ตรงต่อเวลา</li> <li>- นำเสนอได้บ้างแต่ยังไม่คล่องแคล่วเท่าที่ควร</li> <li>- นำเสนอได้แต่ครูต้องคอยชี้แนะ</li> </ul>                                                                      | 3<br>2<br>1 |

### แบบบันทึกการประเมินการทดลอง

กิจกรรมที่สังเกต.....วันที่สังเกต.....

ชื่อกลุ่ม.....ชั้น.....

สมาชิกได้แก่

1.....2.....  
3.....4.....  
5.....6.....

ชื่อโครงการ

.....

| ที่ | รายการประเมิน                                      | คุณภาพโครงการ    |                    |                  |                     |
|-----|----------------------------------------------------|------------------|--------------------|------------------|---------------------|
|     |                                                    | ดีมาก<br>4 คะแนน | ปานกลาง<br>3 คะแนน | พอใช้<br>2 คะแนน | ปรับปรุง<br>1 คะแนน |
| 1   | ชื่อเรื่องมีความน่าสนใจ                            | .....            | .....              | .....            | .....               |
| 2   | มีการตั้งสมมติฐานที่สอดคล้องกับ<br>วัตถุประสงค์    | .....            | .....              | .....            | .....               |
| 3   | ออกแบบและวางแผนการทดลอง                            | .....            | .....              | .....            | .....               |
| 4   | การทดลอง                                           | .....            | .....              | .....            | .....               |
| 5   | การลงข้อมูลสรุปผลการทดลอง บันทึก<br>และเขียนรายงาน | .....            | .....              | .....            | .....               |
| 6   | การนำเสนอผลการทดลอง                                | .....            | .....              | .....            | .....               |
|     | รวม                                                | .....            | .....              | .....            | .....               |

ลงชื่อ.....

(.....)

ผู้ประเมิน

## ใบงานที่ 1 เรื่อง การเจริญเติบโตของถั่วมะแฮะ

คำชี้แจง ให้นักเรียนปฏิบัติตามขั้นตอนและบันทึกการทดลองโดยละเอียด

1. แบ่งเมล็ดถั่วมะแฮะออกเป็น 3 ชุดการทดลอง ชุดละ 10 เมล็ด
2. นำถั่วมะแฮะทั้ง 3 ชุดการทดลองไปแช่น้ำไว้ ประมาณ 30 นาที
3. นำสำลีสรองกันแดด 1 ชั้น กระดาษทิชชู 3 ชั้น ทั้ง 3 ถาด หลังจากนั้นพรมน้ำให้ชุ่ม
4. นำถั่วที่แช่น้ำแล้วเรียงในถาดที่เตรียมไว้ ถาดละ 10 เมล็ด แล้วแยกถาดไว้ดังนี้
  - 4.1 ถาดที่ 1 เก็บในที่สว่างได้รับแสงปกติ พรมน้ำเช้า – เย็น ให้ชุ่ม สังเกตการณ์

เจริญเติบโต บันทึกผลการทดลอง

- 4.2 ถาดที่ 2 เก็บในที่สว่างได้รับแสงปกติ ไม่พรม สังเกตการณ์เจริญเติบโต

บันทึกผลการทดลอง

- 4.3 ถาดที่ 3 เก็บในที่ไม่มีแสงสว่าง พรมน้ำเช้า – เย็น ให้ชุ่ม สังเกตการณ์

เจริญเติบโต บันทึกผลการทดลอง

5. ให้นักเรียนวาดภาพการเจริญเติบโตของถั่วมะแฮะ
6. ให้นักเรียนเขียนกราฟแสดงการเจริญเติบโตพร้อมกับอธิบายโดยละเอียด
7. นำเสนอผลงานหน้าชั้นเรียน

### แบบบันทึกการทดลอง

การทดลองเรื่อง.....วันที่ทดลอง.....

ชื่อกลุ่ม.....ชั้น.....

สมาชิกได้แก่

1.....2.....

3.....4.....

5.....6.....

วัตถุประสงค์การทดลอง

.....

.....

.....

สมมติฐานการทดลอง

.....

.....

.....

ตัวแปรการทดลอง

.....

.....

.....

วิธีการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

วัสดุ/อุปกรณ์ในการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....



กราฟแสดงการเจริญเติบโตของต้นถั่ว

This image shows a completely blank white rectangular area enclosed within a thin black frame. There are no markings, text, or illustrations present on the page.

## สรุปผลการทดลอง

This image shows a full page of a handwriting practice worksheet. It consists of ten sets of horizontal dotted lines spaced evenly down the page, providing a guide for letter height and placement. The background is plain white, and there are no other markings or text present.

## แบบฝึกคิดหัวเรื่องโครงการ

ชื่อกลุ่ม.....ชั้น.....

สมาชิกได้แก่

- 1.....2.....
- 3.....4.....
- 5.....6.....

คำชี้แจง ให้นักเรียนฝึกคิดหัวเรื่องโครงการจากสถานการณ์ที่กำหนดให้

### สถานการณ์

ทิดมาปลูกถั่วมะแฮะไว้จำนวน 1 แปลง ในช่วงระยะแรกทิดมารดน้ำดูแลจนถั่วมะแฮะโตได้ระยะหนึ่ง หลังจากนั้นทิดมาไปทำงานในกรุงเทพเป็นเวลา 3 เดือน ทั้งถั่วมะแฮะให้เติบโตเองเนื่องจากว่าเกษตรกรอำเภอบอกว่าเมื่อถั่วมะแฮะโตแล้วก็รอไปเก็บเกี่ยวเมล็ดอย่างเดียวไม่ต้องรดน้ำใส่ปุ๋ยอีก แต่ปรากฏว่าเมื่อทิดมากลับมาหวังจะเก็บเกี่ยวถั่วมะแฮะ แต่พบว่าต้นถั่วมะแฮะบางต้นแคระแกรน ไม่โต บางต้นใบซีดเหลือง ไม่ออกดอกออกผลตามที่ได้รับคำแนะนำมา

\*\*\*\*\* ทิดมาจะแก้ปัญหาได้อย่างไร \*\*\*\*\*

หัวเรื่องโครงการ ตัวอย่าง การคัดเลือกเมล็ดถั่วมะแฮะมีผลต่อการเจริญเติบโต

- หัวเรื่องที่ 1 .....
- หัวเรื่องที่ 2 .....
- หัวเรื่องที่ 3 .....
- หัวเรื่องที่ 4 .....
- หัวเรื่องที่ 5 .....
- หัวเรื่องที่ 6 .....
- หัวเรื่องที่ 7 .....
- หัวเรื่องที่ 8 .....
- หัวเรื่องที่ 9 .....
- หัวเรื่องที่ 10 .....

## ใบงานที่ 2 เรื่อง การเขียนเค้าโครงของโครงงาน

คำชี้แจง ให้นักเรียนเขียนเค้าโครงจากสถานการณ์ต่อไปนี้มา 1 เรื่อง หลังจากนั้น  
นำเสนอผลงานหน้าชั้นเรียน

### สถานการณ์

ถั่วมะสะมาใช้ประโยชน์ได้ตั้งแต่รากถึงยอด และที่พบกันมากคือนำมาเป็นปุ๋ยพืชสด  
ปลูกเพื่อปรับปรุงสภาพดิน และนำมาเป็นอาหารสัตว์ เป็นผักพื้นเมืองฝักอ่อนบริโภคพร้อมกับส้มตำ  
ใช้จิ้มเมี่ยง ใช้ลวกจิ้มน้ำพริก ทั้งนี้ได้มีการวิจัยการแปรรูปถั่วมะสะเพื่อประกอบเป็นอาหาร  
ของขบเคี้ยว แป้งถั่ว อาหารเสริม เป็นต้น ในบางประเทศ เช่น ประเทศอินเดียมีอาหารที่ทำจาก  
ถั่วมะสะเรียกว่า Turvara Parippu และ Sambhar ประเทศ Dominican Republic และฮาวาย  
นำถั่วมะสะมาแปรรูปเป็นอาหารกระป๋อง เนื่องจากตรวจพบในถั่วมะสะที่แก่จัดมีสารอาหาร  
ต่างๆ ประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต 63.4 กรัม/100 กรัม โปรตีน 20.4 กรัม/100 กรัม ไขมัน  
11.5 กรัม/100 กรัม (คำนวณจากน้ำหนักแห้ง) นอกจากนี้ยัง ประกอบไปด้วยแคลเซียม  
ฟอสฟอรัส และวิตามิน A, B, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, และ ไนอาซิน

## เค้าโครง ครงงาน

เรื่อง.....

ชื่อกลุ่ม.....ชั้น.....

สมาชิกได้แก่

1.....2.....

3.....4.....

5.....6.....

หลักการและเหตุผล

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

วัตถุประสงค์การทดลอง

.....

.....

.....

สมมติฐานการทดลอง

.....

.....

.....

ตัวแปรการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

## วิธีการทดลอง

[illegible]

## วัสดุ/อุปกรณ์ในการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

.....

.....

.....

.....

.....

## แบบจำแนกประโยชน์จากถั่วมะแฮะ

ชื่อกลุ่ม.....ชั้น.....

สมาชิกได้แก่

1.....2.....

3.....4

5.....6.....

| ส่วนที่ใช้ประโยชน์ | อาหารคน | อาหารสัตว์ | ยารักษาโรค | ปุ๋ย  | อื่นๆ |
|--------------------|---------|------------|------------|-------|-------|
| ราก                | .....   | .....      | .....      | ..... | ..... |
| ลำต้น              | .....   | .....      | .....      | ..... | ..... |
| ใบ                 | .....   | .....      | .....      | ..... | ..... |
| ผล (เมล็ด)         | .....   | .....      | .....      | ..... | ..... |

สรุปผล

---

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## ใบความรู้ที่ 1

### เรื่อง การใช้ประโยชน์จากถั่วมะแฮะ

โดยทั่วไปสามารถนำถั่วมะแฮะมาใช้ประโยชน์ได้ตั้งแต่รากถึงยอด และที่พบกันมาก คือนำมาเป็นปุ๋ยพืชสด ปลูกเพื่อปรับสภาพดิน และนำมาเป็นอาหารสัตว์ เป็นผักพื้นเมือง ผักอ่อนบริโภคพร้อมกับส้มตำ ใช้จิ้มเมี่ยง ใช้ลวกจิ้มน้ำพริก ทั้งนี้ได้มีการวิจัยการแปรรูปถั่วมะแฮะเพื่อประกอบเป็นอาหาร ของขบเคี้ยว แป้งถั่ว อาหารเสริม เป็นต้น ในบางประเทศ เช่น ประเทศอินเดียมีอาหารที่ทำจากถั่วมะแฮะเรียกว่า Turvara Parippu และ Sambhar ประเทศสาธารณรัฐโดมินิแกนและฮาวาย นำถั่วมะแฮะมาแปรรูปเป็นอาหารกระป๋อง เนื่องจากตรวจพบในถั่วมะแฮะที่แก่จัดมีสารอาหารต่างๆ ประกอบด้วย ถั่วมะแฮะสามารถนำไปใช้ได้ทั้งเป็นอาหาร เช่น พวักถั่วแห้ง แป้ง เป็นต้น และยังใช้เป็นอาหารสัตว์เหมือนพวักถั่วเขียวทั่วไป เมล็ดถั่วที่แห้งอาจนำไปใช้แตกหน่อได้ นำไปทำอาหารซึ่งจะให้รสชาติที่แตกต่างไปจากถั่วชนิดอื่นๆ

ในถั่วมะแฮะมีสารอาหารที่สำคัญโดยจะมี คาร์โบไฮเดรต 63.4 กรัม/100 กรัม โปรตีน 20.4 กรัม/100 กรัม ไขมัน 11.5 กรัม/100 กรัม (คำนวณจากน้ำหนักแห้ง) นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยแคลเซียม ฟอสฟอรัส และวิตามิน A B<sub>1</sub> B<sub>2</sub> และกรดอะมิโนคือ เมทไทโอนีน ไลซีน ทรีปโตเฟน และ ไนอาซิน เมื่อนำไปประกอบอาหารร่วมกับพวักซีเรียลจะให้อาหารที่มีประโยชน์

ส่วนต่างๆของต้นถั่วมะแฮะไม่ว่าจะเป็นลำต้น ก้าน หรือใบ สามารถนำมาใช้เป็นถ่านไม้ รั้วและนำมามูลหังคาได้ด้วย ในประเทศไทยได้นำถั่วมะแฮะมาใช้เป็นบ้านของแมลงชนิดต่างๆ เช่น แมลงครั้ง เป็นต้น

ภาคผนวก ง

ตัวอย่างแบบประเมินทางประสาทสัมผัส



ประวัติย่อผู้ทำสารนิพนธ์

## ประวัติย่อผู้ทำสารนิพนธ์

|                              |                                                                                       |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| ชื่อ ชื่อสกุล                | นางสาวจงจันต์ เทียงน้อย                                                               |
| วันเดือนปีเกิด               | 9 เมษายน 2516                                                                         |
| สถานที่เกิด                  | โรงพยาบาลน่าน จังหวัดน่าน                                                             |
| สถานที่อยู่ปัจจุบัน          | 80/1 หมู่ 7 ตำบลกลางเวียง อำเภอเวียงสา<br>จังหวัดน่าน                                 |
| ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน | ครู คศ. 1 โรงเรียนไตรธารวิทยา                                                         |
| สถานที่ทำงานปัจจุบัน         | โรงเรียนไตรธารวิทยา อำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน                                          |
| ประวัติการศึกษา              |                                                                                       |
| พ.ศ. 2529                    | ประถมศึกษาปีที่ 6<br>จากโรงเรียนบ้านดอนไชย อำเภอเวียงสา<br>จังหวัดน่าน                |
| พ.ศ. 2535                    | มัธยมศึกษาปีที่ 6<br>จากโรงเรียนสา อำเภอเวียงสา<br>จังหวัดน่าน                        |
| พ.ศ. 2540                    | ปริญญาตรี สาขาวิชาเอกวิทยาศาสตร์ทั่วไป<br>จากสถาบันราชภัฏนครลำปาง จังหวัดลำปาง        |
| พ.ศ. 2552                    | ปริญญาโท (การศึกษามหาบัณฑิต)<br>สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา<br>จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ |