สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัย

กระบวนการผลิตผงเต้าหู้

และคุณสมบัติของอีมัลชันเจลจากผงเต้าหู้

Tofu powder production and properties of

emulsion gel formed by tofu powder

ชื่อผู้วิจัย ผศ ดร ยุพร พืชกมุทร

RCH
TX
658
.T67
ย3951
ค.1
สขหมู่.....
เลขทะเบียน 115533
วัน,เดือน,ปี 21 มิ.ย. 2554

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน

ประจำปีงบประมาณ 2551

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

b.12319355x
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) กระบวนการผลิตผงเต้าหู้และคุณสมบัติของอีมัลชันเจลจากผงเต้าหู้

ชื่อโครงการ (ภาษาอังกฤษ) Tofu powder production and properties of emulsion gel formed by tofu powder

แหล่งเงิน งบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณ 2551

จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 187300บาท

ระยะเวลาการทาวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ ตค 2551 ถึง กย 2552

หัวหน้าโครงการ ผศ ดร ยุพร พืชกมุทร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

kcyuporn@kmitl.ac.th

คำสำคัญ ถั่วเหลือง เต้าหู้ เจล

บทคัดย่อ

สายพันธุ์ของถั่วเหลืองและกระบวนการผลิตผงเต้าหู้มีผลต่อคุณภาพของผงเต้าหู้ โดยการทดลองนี้ทำการศึกษาผลของสายพันธุ์ของถั่วเหลือง (เชียงใหม่ 60 สจ. 5 และสุโขทัย 2) ชนิดของสารตกตะกอน (2.2% $CaSO_4$, 3.0% $CaCl_2$, 2.2% $MgSO_4$ และ 3.0%) และวิธีการอบแห้ง (การอบแห้งแบบถาด, การอบแห้งแบบลูกกลิ้ง และการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง) พบว่าสายพันธุ์ของถั่วเหลืองมีอิทธิพลต่อคุณภาพของถั่วเหลือง และคุณภาพของน้ำนมถั่วเหลือง ซึ่งมีผลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของผงเต้าหู้ โดยพบว่าผงเต้าหู้จากถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีปริมาณผลผลิตและมีสมบัติเชิงหน้าที่ดีกว่าผงเต้าหู้จากถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และสุโขทัย 2 เมื่อทำการศึกษาชนิดของสารตกตะกอน พบว่าสารตกตะกอนที่ให้แคลเซียมไอออนส่งผลให้ผงเต้าหู้มีค่าการละลายที่ดี และสารตกตะกอนที่ให้แมกนีเซียมไอออนส่งผลให้ผงเต้าหู้มีความสามารถในการเกิดอิมัลชันที่ดี และผงเต้าหู้ที่ทำแห้งด้วยการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่าการละลายและความสามารถในการเกิดอิมัลชันสูง แต่ให้อิมัลชันที่มีความคงตัวต่ำ

การศึกษาผลของผงเต้าหู้ที่มีต่อสมบัติด้านหน้าที่ ลักษณะเนื้อสัมผัส และโครงสร้างของอิมัลชันเจลจากซูริมิโดยการทดแทนซูริมิด้วยผงเต้าหู้ปริมาณต่างๆ (20 40 60 และ 80%) ในรูปของพรีอิมัลชัน พบว่าปริมาณของผงเต้าหู้ที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของสมบัติด้านความคงตัวของอิมัลชัน ความสามารถในการอุ้มน้ำ และค่าความแข็งแรงของเจล และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในของเจลสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัส และสมบัติด้านหน้าที่ของเจล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSTRACT

Effect of soybean varieties and tofu powder processing on the quality of the tofu powder was studied. Soybean varieties (CM 60, SJ 5 and ST 2), the commercial coagulants (2.2% $CaSO_4$, 3.0% $CaCl_2$, 2.2% $MgSO_4$ and 3.0% $MgCl_2$) and drying methods (tray dryer, drum dryer and freeze dryer) were studied with respect to their effects on the quality of tofu powder produced. Soybean varieties influenced the quality of soybean and soymilk and also affected the functional properties of tofu powder. Tofu powder obtained from CM 60 having a high yield and good functional properties. Calcium ion coagulant induced tofu powder with a high solubility and magnesium ion induced tofu powder with a high emulsion activity. The tofu powder which was dried with freeze dried had a high solubility and high emulsion activity but low emulsion stability.

Effect of tofu powder on functionality, textural parameter and microstructure of surimi emulsion gel were studied. The tofu powder (20, 40, 60 and 80%) was replaced for surimi as pre-emulsion to formulate emulsion gel. The tofu powder caused increasing of emulsion stability, water holding capacity (WHC) and hardness of the gels. Microstructure observation supported texture profile analysis (TPA) and functionality results.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
สารบัญ	III
สารบัญตาราง	IV
สารบัญภาพ	V
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความความสาคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 เต้าหู้	3
2.2 ผงเต้าหู้	5
2.3 การใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์	7
2.4 การเกิดเจล	10
2.5 การเกิดเจลของโปรตีนถั่วเหลือง	11
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	15
3.1 วัตถุดิบ	15
3.2 สารเคมี	15
3.3 เครื่องมือ	15
3.4 วิธีการทดลอง	16
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	21
4.1 ผลศึกษากระบวนการผลิตเพื่อปรับปรุงสมบัติด้านหน้าที่ของผงเต้าหู้	21
4.2 ผลศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของอีมัลชันเจลที่เตรียมจากผงเต้าหู้และซูริมิ	25
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	28
เอกสารอ้างอิง	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมในการผลิตผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจลจากผงเต้าหู้และซูริมิ 18

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของถั่วเหลือง 21

ตารางที่ 4.2 ค่าสีและปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำนมถั่วเหลือง ที่เตรียมจากถั่วเหลืองต่างสายพันธุ์ 22

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบทางเคมีของผงเต้าหู้จากถั่วเหลืองต่างสายพันธุ์ 22

ตารางที่ 4.4 คุณสมบัติด้านหน้าที่และปริมาณผลผลิตของผงเต้าหู้ ที่ผลิตจากถั่วเหลืองต่างสายพันธุ์ 22

ตารางที่ 4.4 คุณสมบัติด้านหน้าที่และปริมาณผลผลิตของผงเต้าหู้ ที่ผลิตจากถั่วเหลืองต่างสายพันธุ์ 23

ตารางที่ 4.5 คุณสมบัติด้านหน้าที่และปริมาณผลผลิตของผงเต้าหู้ที่ใช้สารตกตะกอนต่างกัน 23

ตารางที่ 4.6 คุณสมบัติด้านหน้าที่และปริมาณผลผลิตของผงเต้าหู้ด้วยวิธีการทำแห้งที่ต่างกัน 24

ตารางที่ 4.7 คุณสมบัติด้านหน้าที่ของผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจลจากซูริมิ 25

ตารางที่ 4.8 ผลของผงเต้าหู้ต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจลจากซูริมิ 26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 3.1 วิธีการเตรียมผงเต้าหู้	17
ภาพที่ 3.2 การเตรียม Pre-emulsion	19
ภาพที่ 3.3 การเตรียมผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจล	19
ภาพที่ 4.1 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ของผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจลจากซูริมิ (A) ตัวอย่างควบคุม (ผงเต้าหู้ 0%) (B) ผงเต้าหู้ 40% และ (C) ผงเต้าหู้ 80%	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ปัจจุบันผู้บริโภคมักประสบปัญหาเรื่องสุขภาพเป็นจำนวนมาก เช่น โรคอ้วน โรคหัวใจ โรคความดันโลหิต เป็นต้น ทำให้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารที่สามารถช่วยแก้ไขปัญหาสุขภาพของผู้บริโภคได้ เช่น อาหารที่มีพลังงานต่ำ อาหารไขมันต่ำ และอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์อาหารจากถั่วเหลืองซึ่งเป็นที่นิยมในกลุ่มของผู้บริโภคที่รักสุขภาพ เนื่องจากถั่วเหลืองเป็นแหล่งของโปรตีนที่มีราคาถูก มีคุณค่าทางโภชนาการใกล้เคียงเนื้อสัตว์ และพบว่าในถั่วเหลืองมีสารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายในการช่วยป้องกันโรคหัวใจ โรคกระดูกพรุน และมะเร็งบางชนิด โดยปัจจุบันได้มีการรณรงค์ให้มีการบริโภคถั่วเหลืองกันมากขึ้น เนื่องจากในปี 1999 FDA (Food and Drug Administration) ได้อนุญาตให้มีการอ้างประโยชน์ของการบริโภคโปรตีนจากถั่วเหลืองในการช่วยป้องกันการเกิดโรคหัวใจ เนื่องจากมีไอโซฟลาโวนส์ที่มีคุณสมเป็นแอนติออกซิแดนท์ช่วยป้องกันการอุดตันของหลอดเลือดได้ (Federal Register. 1998) และช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งปากมดลูก มะเร็งเต้านม มะเร็งต่อมลูกหมาก และมะเร็งลำไส้ได้ (Uzzan and Labuza, 2004)

ถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง เช่น แป้งถั่วเหลือง (soy flour) โปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น (soy protein concentrate) และ โปรตีนถั่วเหลืองสกัด (soy protein isolate) นิยมนำมาแปรรูปในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อลดปริมาณไขมันและต้นทุนในการผลิตอาหารได้ เนื่องจากสมบัติด้านหน้าที่ของโปรตีนจากถั่วเหลือง แต่เนื่องจากปัจจุบันโปรตีนถั่วเหลืองนำเข้าจากต่างประเทศและมีขั้นตอนการผลิตที่ยุ่งยาก

เต้าหู้เป็นผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองที่อุดมไปด้วยโปรตีนซึ่งสามารถเทียบเคียงโปรตีนจากเนื้อสัตว์ได้ และสามารถนำไปทดแทนเนื้อสัตว์บางส่วนในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ลดขนาดอิมัลชันได้ (Jeng et al., 1988; Ho et al., 1997) แต่เนื่องจากเต้าหู้มีปริมาณความชื้นสูงทำให้จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบได้อย่างรวดเร็วและส่งผลให้เต้าหู้เสียได้ง่าย จึงทำให้มีการพัฒนาให้เต้าหู้อยู่ในรูปของผงแห้ง ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ได้ โดยผงเต้าหู้มีปริมาณโปรตีน 52.54% ไขมัน 29.78% และความชื้น 4.65% และมีคุณสมบัติด้านความคงตัวของอิมัลชันที่ดีและมีความสามารถในการละลายค่อนข้างต่ำ (วรลักษณ์และยุพร, 2545) และเมื่อนำผงเต้าหู้ทดแทนเนื้อสัตว์ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ลดขนาดอิมัลชันได้ถึง 90% แต่ผลิตภัณฑ์มีข้อจำกัดคือผลิตภัณฑ์มีกลิ่นของถั่วเหลือง และแตกเมื่อนำไปทอด (สันติธรรม, 2546)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากข้อจำกัดของสมบัติด้านหน้าที่ของผงเต้าหู้ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการผลิต ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลของกระบวนการผลิตต่อคุณภาพของผงเต้าหู้และพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ใช้ผงเต้าหู้เป็นส่วนผสมหลักในการผลิต โดยนำคุณสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของผงเต้าหู้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการเกิดอิมัลชัน ซึ่งเป็นการลดต้นทุนในการผลิต เนื่องจากผงเต้าหู้มีขั้นตอนนการผลิตที่ไม่ยุ่งยาก ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ และมีคุณค่าทางโภชนการ และพัฒนาการผลิตผงเต้าหู้เพื่อใช้ในประเทศ ทดแทนการนำเข้าโปรตีนถั่วเหลืองสกัดจากต่างประเทศ

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษากระบวนการผลิตเพื่อปรับปรุงสมบัติด้านหน้าที่ของผงเต้าหู้

1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของอิมัลชันเจลที่เตรียมจากผงเต้าหู้และซูริมิ

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษากระบวนการผลิตผงเต้าหู้โดยศึกษาพันธุ์ของถั่วเหลือง สารตกตะกอน และวิธีการทำแห้งที่มีต่อคุณสมบัติด้านหน้าที่ของผงเต้าหู้ และศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจลที่เตรียมจากซูริมิและผงเต้าหู้ โดยศึกษาความสัมพันธ์ของโครงสร้างโมเลกุล ลักษณะเนื้อสัมผัส และคุณสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจลที่เตรียมจากซูริมิและผงเต้าหู้

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ผลิตภัณฑ์ผงเต้าหู้ที่มีสมบัติด้านหน้าที่ที่ดีซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสมหลักในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ และทราบความสัมพันธ์ของสมบัติทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจลที่เตรียมจากเนื้อสัตว์และผงเต้าหู้ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจลจากเนื้อสัตว์และผงเต้าหู้ และลดการใช้ปริมาณเนื้อสัตว์ในผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจล เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปพัฒนาในระดับอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนจากพืชที่มีคุณภาพที่สุด และจัดเป็นอาหารหลักและเป็นที่นิยมบริโภคในกลุ่มประเทศทางตะวันออก และตะวันออกเฉียงใต้ของทวีปเอเชีย ซึ่งปัจจุบันกลุ่มประเทศทางตะวันตกได้หันมาให้ความสนใจในการบริโภคถั่วเหลืองมากขึ้นเนื่องจากถั่วเหลืองเป็นแหล่งของโปรตีนที่มีราคาถูก มีคุณค่าทางโภชนาการใกล้เคียงเนื้อสัตว์ และพบว่าในถั่วเหลืองมีสารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายในการช่วยป้องกันโรคหัวใจ โรคกระดูกพรุน และมะเร็งบางชนิด โดยปัจจุบันได้มีการรณรงค์ให้มีการบริโภคถั่วเหลืองกันมากขึ้น ถั่วเหลืองสามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้มากมายหลายประภท เช่น ผลิตภัณฑ์โปรตีนจากถั่วเหลือง น้ำนมถั่วเหลือง และเต้าหู้

2.1 เต้าหู้

เต้าหู้เป็นผลิตภัณฑ์ที่คนเอเชียรู้จัก และบริโภคมาเป็นระยะเวลานาน และเป็นแหล่งโปรตีนที่ดี มีราคาถูก และย่อยง่าย เต้าหู้มีโปรตีนสูงประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถใช้ทดแทนเนื้อสัตว์ได้ เต้าหู้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ปราศจากคอเรสเตอรอล และเป็นอาหารที่มีพลังงานต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อสัตว์ โดยถ้าได้รับโปรตีนจากเต้าหู้ 20 กรัมต่อวันแทนโปรตีนจากเนื้อสัตว์ก็เพียงพอในการช่วยลดระดับคอเรสเตอรอล ในกระแสเลือดได้ (Hideo and Kawassaki. 1990)

ลักษณะของเต้าหู้มีลักษณะเนื้อสัมผัสแตกต่างกันไปขึ้นกับกระบวนการผลิต โดยเต้าหู้สามารถผลิตให้มีลักษณะแตกต่างกันไปโดยการปรับปริมาณความชื้น เช่น เต้าหู้ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ 87-90 เปอร์เซ็นต์ จะมีผิวเรียบ และอ่อนนุ่ม ส่วนเต้าหู้ที่มีปริมาณน้ำ 50-60 เปอร์เซ็นต์ มีลักษณะแข็งและมีลักษณะเนื้อสัมผัสคล้ายเนื้อสัตว์ นอกจากนี้ชนิดของสารตกตะกอนก็ส่งผลให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้ต่างกัน ส่วนรูปร่างและขนาดของเต้าหู้ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของแม่พิมพ์ หรือภาชนะที่ใส่ เต้าหู้ที่มีคุณดีต้องไม่มีกลิ่น รสจืด และมีสีขาว (อุดม และสมชาย, 2519)

เต้าหู้ที่มีคุณภาพที่ดีจะต้องมีลักษณะเนื้อสัมผัสนิ่ม เรียบ เกาะติดกันไม่เป็นยางและแข็งเกินไป ลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้จึงเป็นสิ่งสำคัญและมีผลต่อคุณภาพและการยอมรับของผู้บริโภค สภาวะต่างๆ ในการผลิตเต้าหู้ เช่น อุณหภูมิ ชนิดและความเข้มข้นของสารที่ช่วยให้แข็งตัว การคน และอัตราส่วนระหว่างน้ำกับถั่วเหลืองจะมีผลต่อคุณภาพและผลผลิตของเต้าหู้ต่างกัน นอกจากนี้การผลิตเต้าหู้โดยใช้ถั่วเหลืองสายพันธุ์ต่างๆ จะทำให้คุณภาพและผลผลิตของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เต้าหู้แตกต่างกัน เนื่องจากถั่วเหลืองแต่ละสายพันธุ์มีปริมาณโปรตีนแตกต่างกันด้วย (Lim et al. 1990)

2.1.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตเต้าหู้

2.1.1.1 สายพันธุ์ของถั่วเหลือง ถั่วเหลืองแต่ละสายพันธุ์มีลักษณะทางอายภาพและองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน ซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพของน้ำนมถั่วเหลืองและเต้าหู้ (Kim and Wicker, 2005) ลักษณะของถั่วเหลืองที่เหมาะกับการนำมาผลิตน้ำนมถั่วเหลืองและเต้าหู้ ควรมีขนาดเมล็ดใหญ่ และมีปริมาณโปรตีนสูง (Ang et al., 1999) ถั่วเหลืองที่มีการปลูกที่ต่างพื้นที่กันจะมีผลต่อคุณภาพทางเคมีและคุณภาพทางกายภาพของน้ำนมถั่วเหลือง และเต้าหู้ ซึ่งปริมาณโปรตีนในเมล็ดถั่วเหลืองเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อคุณภาพของน้ำนมถัวเหลือง และเต้าหู้ เช่น ปริมาณโปรตีนในน้ำนมเหลือง และปริมาณผลผลิตของเต้าหู้ (Poysa and Woodrow, 2002; Min et al., 2005; Panyathitipon and Puechkamut, 2008)

2.1.1.2 ความเข้มข้นของน้ำนมถั่วเหลือง ความเข้มข้นของน้ำนมถั่วเหลืองหรือปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำในน้ำนมถั่วเหลือง มีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนของถั่วเหลืองแห้งกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตน้ะนมถั่วเหลือง (Cai and Chang, 1997; Lakshmanan et al., 2006) ซึ่งปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำมีผลต่อความแข็งของเต้าหู้ ปริมาณผลผลิตของเต้าหู้ และปรมาณโปรตีนของเต้าหู้ (Beddows and Wong, 1987a; Ohara et al., 1992; Cai and Chang, 1997; Shih er al., 1997; Posysa and Woodro, 2002; Kong et al., 2009) ในกรณีที่มีปริมาณของแข็งที่ละลานน้ำสูงส่งผลให้เต้าหู้มีค่า Young's modulus สูงขึ้นและช่วยลดการ syneresis ของเต้าหู้ (Liu et al., 2004) นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความหนาแน่นของโครงสร้าง (Cheng et al., 2005)

2.1.1.3 การต้มน้ำนมถั่วเหลือง การใช้ความร้อนในการต้มน้ำนมถั่วเหลืองมีความสำคัญต่อโครงสร้างของโปรตีนในน้ำนมถั่วเหลือง โดยโปรตีนในถั่วเหลืองจะเกิดการคลายตัวทำให้เห็นหมู่ซัลไฟด์และหมู่ที่แสดงไฮโดรโฟบิกที่อยู่ภายในโครงสร้าง และเมื่อเติมสารตกตะกอนที่มีประจุบวกไปจับกับประจุลบของโมเลกุลโปรตีน ทำให้เกิดโครงสร้างแร่แห ซึ่งการใช้ความร้อนการต้มน้ำนมถั่วเหลืองมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้ (Yoon and Kim, 2007) โดยการต้มน้ำนมถั่วเหลืองที่อุณหภูมิที่สูงส่งผลให้เต้าหู้มีความแข็งมากขึ้นแต่จะลดปริมาณผลผลิตของผงเต้าหู้ (Sun and Breene, 1991; Hou et al., 1997)

การตกตะกอโปรตีนที่อุณหภูมิสูงโปรตีนจะมีพลังงานกระตุ้นสูง ทำให้มีการตกตะกอนอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เต้าหู้อุ้มน้ำได้น้อยจึงมีลักษณหยาบ ปริมาณผลผลิตต่ำกว่าการตกตะกอนที่อุณหภูมิต่ำ ถ้าตกตะกอนโปรตีนที่ต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียสจะทำให้การตกตะกอนไม่สมบูรณ์ นอกการนี้การให้ความร้อนยังช่วยเพิ่มอายุการเก็บรักษาและทาลยสารบางชนิดในถั่วเหลืองที่ทำให้ร่างกายได้รับสารอาหารน้อยลง และยังทำลายเอนไซม์ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดกลิ่นถั่ว (Ang et al., 1999)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.4 สารตกตะกอน ขั้นตอนการตกตะกอนโปรตีนเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการผลิตเต้าหู้ ชนิดและปริมาณของสารตกตะกอนจะให้ลักษณะของเต้าหู้ต่างกัน นอกจากนี้อุณหภูมิและการผสมสารตกตะกอนขณะเติมสารตกตะกอนมีผลต่อลักษณะของเต้าหู้ (Liu, 1997) สารตกตะกอนที่นิยมใช้ในการผลิตเต้าหู้ได้แก่

1) สารประกอบคลอไรด์ ได้แก่ แมกนีเซียมคลอไรด์ แคลเซียมคอลไรด์ จะทำได้เต้าหู้ที่มีลักษณะแข็ง มีกลิ่นรสที่ดี สามารถตกตะกอนได้อย่างรวดเร็ว เหมาะแก่การผลิตเต้าหู้แข็ง ปริมาณที่ใช้ในการผลิตเต้าหู้แข็ง คือ 3% โดยน้ำหนักถั่วแห้ง (Shurleff and Aoyagi, 1999)

2) สารประกอบซัลเฟต เป็นสารตกตะกอนที่เหมาะสำหรับผลิตเต้าหู้อ่อน เนื่องจากทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เต้าหู้ที่มีลักษณะอุ้มน้ำได้มาก แต่สารตกตะกอนชนิดนี้ก็สามารถนำมาผลิตเต้าหู้แข็งได้ โดยใช้ปริมาณสารตกตะกอน 2.2% โดยน้ำหนักถั่วแห้ง สารประกอบใช้ง่ายและให้ปริมารผลผลิตสูง จะให้เต้าหู้ที่มีลักษณะที่ค่อนแข็ง

3) แลคโตน เป็นสารประกอบที่ราคาสูง การทำงานของแลคโตนจะต่างจากสารตกตะกอนตัวอื่น โดยสารแลคโตนสามารถเปลี่ยนไปเป็นกรดกลูโคนิคจะให้โปรตรอนทำให้โปรตีนเกิดการตกตะกอน สารแลคโตนเหมาะสำหรับผลิตเต้าหู้หลอด ไม่นิยมผลิตเต้าหู้แข็ง เนื่องจากการผลิตเต้าหู้แข็งจะต้องให้สารตกตะกอนในปริมาณที่สูงส่งผลให้เต้าหู้ที่ได้มีรสเปรี้ยว ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของผู้บิรโภค

2.1.1.5 การกดให้เป็นก้อน การกดเป็นการทำให้โปรตีนจับตัวกันแข็งขึ้นตามลักษณะที่ต้องการ และทำให้ปริมาณความชื้นของเต้าหู้ลดลงโดยการแยกน้ำเวย์ออกจากก้อนตะกอนของโปรตีน ทำโดยการนำตะกอนไปใส่ในพิมพ์จากนั้นจึงทับด้วยของหนักจนกว่าน้ำเวย์จะหยุดไหล จากนั้นจึงแกะออกจากพิมพ์ โดยการทำไปแช่ในน้ำเย็นซึ่งจะช่วยให้แกะเต้าหู้ได้ง่าย และทำให้เต้าหู้เย็นลงทันที เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

2.2 ผงเต้าหู้ (Tofu powder)

เต้าหู้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณน้ำสูง เกิดการเน่าเสียได้ง่ายจากจุลินทรีย์ จึงมีการปรับปรุงและพัฒนาผลิตผงเต้าหู้ เพื่อลดปัญหาการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ โดยการนำเต้าหู้มาลดความชื้น และบดให้ละเอียด สามารถเก็บได้เป็นระยะเวลานาน (Smith and Circle. 1980; วรลักษณ์ และ ยุพร. 2545) ซึ่งเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการนำโปรตีนถั่วเหลืองในรูปผงเต้าหู้มาใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ เนื่องจากกระบวนการผลิตเต้าหู้มีกระบวนการที่ไม่ยุ่งยาก ไม่ซับซ้อน ราคาถูก สามารถผลิตใช้ได้เองภายในประเทศ (วรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์ และยุพร พืชกมุทร. 2545)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chung and Kim (1996) ผลิตผงเต้าหู้โดยใช้ $CaCl_2$ และ Glucono-δ-lactone (GDL) อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทดสอบคุณภาพด้านการละลายและการเป็นอิมัลซิฟายเออร์ เปรียบเทียบกับโปรตีนถั่วเหลืองสกัด พบว่าผงเต้าหู้ทั้งสองชนิดมีการละลายและการเป็นอิมัลซฟายเออร์น้อยกว่าโปรตีนถั่วเหลืองสกัด แต่จะเพิ่มขึ้นเมื่อมี NaCl โดยการละลายและการเป็นอิมัลซิฟายเออร์จะเปลี่ยนไปตามความเข้มข้นของเกลือ (Zayas. 1997)

วรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์ และยุพร พืชกมุทร (2545) ศึกษากรรมวิธีการผลิตผงเต้าหู้ พบว่าผงเต้าหู้จะให้อิมัลชันที่มีความคงตัวที่ดี แต่มีความสามารถในการละลายต่ำ สามารถนำไปทดแทนเนื้อสัตว์ในรูปของอิมัลชันถึง 30 เปอร์เซ็นต์ กระบวนการผลิตผงเต้าหู้มีการใช้ความร้อนในระหว่างการสกัดโปรตีนและการอบแห้งความร้อนเหล่านี้ทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพทางธรรมชาติ ซึ่งอาจเป็นผลให้คุณสมบัติด้านการละลายของผงเต้าหู้ลดลง นอกจากนี้ผงเต้าหู้มีไขมันเป็นองค์ประกอบค่อนข้างสูง การนำผงเต้าหู้ใช้ประโยชน์ควรใช้ในผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ (วรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์ และยุพร พืชกมุทร, 2546)

2.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของผงเต้าหู้

สุพรรณิการ์ วิลาวรรณ และมลศิริ วีโรทัย (2540) ศึกษาความสามารถในการละลายและการเป็นอิมัลซิฟายเออร์ของผงเต้าหู้เปรียบเทียบกับโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง พบว่าผงเต้าหู้มีคุณสมบัติด้านการละลายไม่ดีเท่าโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองเนื่องจากผงเต้าหู้มีไขมันเป็นส่วนประกอบมาก นอกจากนี้กระบวนการผลิตผงเต้าหู้มีการใช้ความร้อนในระหว่างการตกตะกอนและทำแห้ง ทำให้โปรตีนในผงเต้าหู้เกิดการเสื่อมสภาพ (denature) ซึ่งการเปลี่ยนโครงสร้างของโปรตีนมีผลต่อคุณสมบัติด้านการละลายน้ำ unfolding protein อาจทำให้ surface hydrophobicity ของโปรตีนในผงเต้าหู้เพิ่มขึ้น ในการนำผงเต้าหู้มาเป็นส่วนประกอบในอาหารควรปรับปรุงคุณสมบัติด้านการละลายโดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ช่วย เพื่อเพิ่ม ionic strength จะช่วยให้การละลายดีขึ้น ส่วนคุณสมบัติด้านอิมัลซิฟายเออร์โดยตรวจสอบความคงตัวของอิมัลชั่น แสดงด้วยค่า turbidity พบว่าโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองมีคุณสมบัติด้านความคงตัวของอิมัลชั่นดีกว่าผงเต้าหู้ อาจเนื่องมาจากความสามารถในการละลายที่ไม่ดีของผงเต้าหู้

วรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์ (2545) ทำการผลิตผงเต้าหู้ใช้แมกนีเซียมซัลเฟตเป็นสารตะกอนอบแห้งที่อุณหภูมิต่างกันคือ 60 70 และ80 องศาเซลเซียส เมื่อนำผงเต้าหู้ทุกตัวอย่างมาทำการตรวจสอบคุณภาพ พบว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้อบสูงขึ้น ค่าความสว่าง (L) ลดลง นั่นคือถ้าอุณหภูมิที่ใช้อบสูงขึ้นผงเต้าหู่จะมีสีคล้ำมากขึ้น สำหรับความคงตัวของอิมัลชั่น พบว่าวิธีการแยกน้ำเวย์ด้วยการเซนตริฟิวจ์มีปริมาณที่แยกชั้นออกมาน้อยกว่าอิมัลชั่นที่ใช้ผงเต้าหู้ที่ได้จากการแยกน้ำเวย์ด้วยการกดทับไม่ว่าจะเปรียบเทียบที่ใช้อุณหภูมิที่ใช้อบใด ๆ นอกจากนี้ปริมาณผลผลิตของผงเต้าหู้ที่ได้จากการแยกน้ำเวย์โดยการเซนตริฟิวจ์สูงกว่าปริมาณผลผลิตของผงเต้าหู้ที่ได้จากการแยกน้ำเวย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยการกดทับอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ดังนั้นในการทดลองต่อไปจึงเลือกใช้การแยกน้ำเวย์ด้วยวิธีการเซนตริฟิวจ์ที่นอกจากจะสะดวกทำได้ง่ายกว่ายังให้ความคงตัวอิมัลชั่นที่ดีกว่าและให้ผลผลิตที่สูงกว่า เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยของอุณหภูมิที่ใช้อบ ถึงแม้การใช้อุณหภูมิสูง 80 องศาเซลเซียส จะทำให้ระยะเวลาในการอบสั้นลง แต่ค่าความคงตัวของอิมัลชั่นต่ำกว่าการอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส อย่ามีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) การที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงทำให้โปรตีนเสียสภาพทางธรรมชาติ ทำให้คุณสมบัติด้านหน้าที่มีคุณภาพลดลง เมื่อทำการอบที่อุณหภูมิต่ำที่ 60 องศาเซลเซียส ความชื้นสมดุลของผงเต้าหู้สูงกว่าผงเต้าหู้ตัวอย่างที่อบที่อุณหภูมิอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยเฉพาะกรณีของการแยกน้ำเวย์ด้วยการเซนตริฟิวจ์ ทำให้ปริมาณของโปรตีนที่มีอยู่ในอิมัลชั่นจริง ๆ ต่ำกว่าตัวอย่างที่ใช้ผงเต้าหู้ที่อบที่ 70 องศาเซลเซียส จึงทำให้ความคงตัวของอิมัลชั่นมีค่าน้อยกว่า ดังนั้นในการทดลองต่อไปจึงเลือกใช้การอบที่ 70 องศาเซลเซียส ร่วมกับการแยกน้ำเวย์ด้วยการเซนตริฟิวจ์ และได้ทดลองนำผงเต้าหู้ไปเติมลงในผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมู พบอิมัลชั่นที่ใช้ในอัตราส่วนของผงเต้าหู้ต่อน้ำต่อน้ำมันเท่ากับ 1:1:0.75 เป็นอิมัลชั่นที่มีความคงตัวไม่พบการแยกตัวของน้ำมันและเมื่อนำไปเติมลงในผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมู พบว่าสามารถรวมตัวกับเนื้อหมูเกิดเป็นอิมัลชั่นที่มีความคงตัวดี

2.3 การใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์

Lecomte et al. (1993) ศึกษาการใช้โปรตีนในรูปของแป้งถั่วเหลือง โปรตีนถั่วเหลือเข้มข้น และโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง ในผลิตภัณฑ์ฟรังเฟอร์เตอร์ โดยเติมในลักษณะที่เป็นผง และ Pre-emulsion พบว่าการเติมโปรตีนถั่วเหลืองจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณโปรตีน และความชื้นกว่าตัวอย่างควบคุม โดยการเติมโปรตีนถั่วเหลืองจะช่วยให้มีคุณสมบัติการอุ้มน้ำ และปริมาณผลิผลิตเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้สัดส่วนของไขมันในผลิตภัณฑ์ลดลง

Rahardjo et al (1994) ศึกษาการใช้นมถั่วหลืองผงในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมู โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่มีการเติมคาราจีแนน พบว่าเมื่อมีการเติมนมถั่วเหลืองผงในไส้กรอกหมู 3 เปอร์เซ็นต์ของส่วนผสม ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูที่ได้มีปริมาณไขมันลดลง และทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณโปรตีนและความชื้นสูงขึ้น เนื่องจากเมื่อเติมนมถั่วเหลืองผงในผลิตภัณฑ์จะช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์มีความสามารถในการอุ้มน้ำมากขึ้นจึงทำให้มีปริมาณความชื้นมากขึ้น และทำให้สัดส่วนของไขมันในสูตรที่มีการเติมนมถั่วเหลืองลดลง

การเติมโปรตีนถั่วเหลืองในรูปของผงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีกลิ่นถั่วที่แรงกว่าการเติมแบบ Pre-emulsion เนื่องจากไขมันที่ใช้ทำให้เกิด Pre-emulsion จะ encapsulate ส่วนที่ทำให้เกิดกลิ่นในถั่วเหลือง จึงทำให้การเติมลักษณะ Pre-emulsion จะให้เกิดกลิ่นถั่วน้อยกว่าการเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะผง และการเติมแป้งถั่วเหลืองจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีกลิ่นถั่วแรงกว่าโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น และโปรตีนถั่วเหลืองสกัด ตามลำดับ (Lecomte et al. 1993)

Lin และ Mei (2001) ศึกษาการเติมกัม และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดในผลิตภัณฑ์ meat batter โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65.5 องศาเซลเซียส พบว่าการเติมกัม และ โปรตีนถั่วเหลืองสกัดส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณผลผลิตสูงขึ้น เนื่องจากกัมและโปรตีนถั่วเหลืองสกัดจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์สามารถอุ้มน้ำไว้ได้มากขึ้น และการเติมโปรตีนถั่วเหลืองสกัดจะช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้แก่ผลิตภัณฑ์โดยทำให้มีริมาณโปรตีนเมขึ้น จึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสัดส่วนของปิมาณไขมันลดลง

จากการทดลองของ Lecomte et al. (1993) Rahardjo et al. (1994) และ Lin and Mei (2000) ให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับการทดลองของ Rakosky (1974) ซึ่งกล่าวว่าการผสมโปรตีนถั่วเหลืองลงในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ โปรตีนถั่วเหลืองจะทำหน้าที่เป็น emulsifier และ binder ซึ่งมีผลต่อน้ำหนักเนื้อ (meat juices) โดยช่วยให้ไม่เกิดการสูญเสียในระหว่างการหุงต้ม ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะดี ปริมาณผลผลิตสูงขึ้น และทำให้มีคุณค่าทางโภชนาการทางด้านโปรตีนในผลิตภัณฑ์มากขึ้น อย่างไรก็ตามการใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แม้จะช่วยส่งเสริมให้คุณสมบัติการดูดซับน้ำ การเกิดอิมัลชันดีขึ้น และยังช่วยลดต้นทุนในการผลิต แต่พบว่าเกิดปัญญาเรื่องกลิ่น และรสชาติ จึงไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Jeng et al. 1988)

นอกจากนี้ปัญหาที่เกิดขึ้นในการใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองในอาหารคือ สารยับยั้งคุณค่าอาหาร (antinutrition) สารพิษ (flaus faction) และกลิ่นถั่ว (beany flavor) ซึ่งเกิดจากเอนไซม์ไลโปออกซิเดส (lipoxydase) ซึ่งปัญหาเหล่านี้จะมีในโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้มมากกว่าโปรตีนถั่วเหลืองสกัด เมื่อเติมลงในปลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์จะเป็นอุปสรรคสำคัญในการแปรรูป และการยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งปัญหาดังกล่าวในอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์จึงมีการเติมโปรตีนถั่วเหลืองในปริมาณที่น้อย นอกจากนี้การผลิตโปรตีนถั่วเหลืองสกัดยังมีค่าใช้จ่ายสูง ในประเทศไทยยังไม่มีการผลิตโปรตีนถั่วเหลืองสกัด ส่วนใหญ่นำเข้าจากต่างประเทศ จึงได้มีการทดลองนำผลิตภัณฑ์เต้าหู้ซึ่งมีกระบวนการผลิตที่ง่าย และมีต้นทุนในการผลิตต่ำมาทดแทนการใช้โปรตีนถั่วเหลืองในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์

Jeng et al. (1988) ศึกษาการเติมเต้าหู้เพื่อทดแทนเนื้อสัตว์และไขมันบางส่วนในโบโลญ่า โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างที่เติมโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น พบว่าเมื่อเติมเต้าหู้และโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้นส่งผงให้โบโลญ่าที่ไดมีปริมาณโปรตีนสูงขึ้น และมีความชื้นมากกว่าตัวอย่างควบคุม และทำให้มีสัดส่วนของปริมาณไขมันน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม โปรตีนที่เติมลงไปในรูปของเต้าหู้จะช่วยให้โบโลญ่ามีคุณสมบัติการเกิดอิมัลชัน และความสามารถในการอุ้มน้ำของโบโลญ่าดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าโบโลญ่าที่มีการเติมเต้าหู้ 31.6 เปอร์เซ็นต์ มีความเหนียวและกลิ่นถั่วมากกว่าตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างที่มีการเติมเต้าหู้ 15.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่มีการเติมเต้าหู้ มีความเหนียวและกลิ่นถั่วไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ส่วนโบโลญ่าที่เติมโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้นส่งผลให้โบโลญ่ามีกลิ่นแรงกว่าตัวอย่างอื่นๆ

Ho et al (1997) ศึกษาการเติมผงเต้าหู้ในผลิตภัณฑ์ฟรังเฟอร์เตอร์เพื่อทดแทนไขมันบางส่วนโดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ซึ่งได้แก่ฟรังเฟอร์เตอร์สูตรปกติ (Regular farankfurters: RF) และฟรังเฟอร์เตอร์ สูตรไขมันต่ำ (Lean frankfurters: LF) พบว่าฟรังเฟอร์เตอร์ที่เติมผงเต้าหู้มีปริมาณความชื้นเพิ่มมากขึ้น เมื่อทดสอบทางผรสาทสัมผัส พบว่าตัวอย่างสูตรปกติและตัวอย่างสูตรปกติที่มีการเติมผงเต้าหู้จะมีลักษณะเนื้อสัมผัส กลิ่นรส สี และการยอมรับโดยรวมไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนตัวอย่างสูตรไขมันต่ำ และตัวอย่างสูตรไขมันต่ำที่มีการเติมผงเต้าหู้ ผู้ทดสอบให้การยอมรับรวมของสูตรไขมันต่ำที่มีการเติมเต้าหู้มากกว่า ส่วนการศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าฟรังเฟอร์เตอร์สูตรไขมันต่ำที่เติมและไม่เติมผงเต้าหู้ให้ค่า Hardness Gumminess Chewiness และ fracturability แตกต่างกันทางสถิติ โดยสูตรไขมันต่ำให้ค่าที่น้อยกว่า

Ho *et al.* (1997) ศึกษาการเติมผงเต้าหู้ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกเพื่อทดแทนไขมันบางส่วนโดยเปรียบเทียบควบคุม ได้แก่ สูตรปกติ สูตรไขมันต่ำ และตัวอย่างที่มีการเติมคาราจีแนน พบว่าตัวอย่างที่มีการเติมผงเต้าหู้จะส่งผลให้ไส้กรอกมีปริมาณโปรตีนและมีความชื้นสูงขึ้น เมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าตัวอย่างที่มีการเติมผงเต้าหู้ 3 เปอร์เซ็นต์ของส่วนผสม จะมีลักษณะเนื้อสัมผัส ความฉ่ำน้ำ และการยอมรับรวมไม่แตกต่างกับตัวอย่างสูตรไขมันต่ำ ส่วนทางด้านกลิ่นรสทั้ง 4 ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนการศึกษาด้านลักษณะเนื้อสัมผัสพบว่าค่า Hardness Cohesiveness Springiness Gumminess และ Chewiness ของไส้กรอกที่มีการเติมผงเต้าหู้ มีค่าสูงกว่าไส้กรอกสูตรปกติและสูตรที่มีการเติมคาราจีแนน ส่วนไส้กรอกหมูสูตรไขมันต่ำที่เติมผงเต้าหู้จะให้ค่าดังกล่าวสูงกว่าไส้กรอกหมูสูตรปกติสูตรไขมันต่ำที่มีการเติมคาราจีแนน และสูตรไขมันต่ำ

สุพรรณิการ์ วิลาวรรณ และมลศิริ วีโรทัย (2540) ทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์หมูสูตรที่เติม SPI เปรียบเทียบกับการเติมผงเต้าหู้ พบว่าเมื่อเติมผงเต้าหู้ทดแทนเนื้อหมู 15 เปอร์เซ็นต์ ผู้ประเมินไม่สามารถบอกความแตกต่างของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์หมูสูตรปกติได้ และเมื่อทดสอบความชอบของผลิตภัณฑ์โดยใช้ Preference test พบว่าคุณสมบัติด้าน สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์หมูที่เติม SPI และผงเต้าหู้ไม่มีความแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การเกิดเจล

เจล คือ เป็นการเชื่อมกันระหว่างหน่วยโครงสร้างตาข่ายที่ป้องกันการไหลของของไหล (ณรงค์, 2538) เจลเป็นกระบวนการผลิตพื้นฐานที่เกิดขึ้นในการผลิตอาหารหลายชนิด เช่น ผลิตภัณฑ์นม เนื้อ ปลา ผลไม้ และขนมอบเป็นต้น (Zayas,1997)

การเกิดเจลเป็นปรากฏการณ์ที่โปรตีนเรียงตัวประสานกันอย่างมีระเบียบแบบแผน เกิดเป็นโครงสร้างร่างแห 3 มิติ โดยมีโมเลกุลของน้ำระหว่างร่างแหนั้น เจลที่ได้มีความสามารถอุ้มน้ำได้ดี ทำให้เกิดเนื้อสัมผัสที่มีความยืดหยุ่น ความสามารถในการเกิดเจลเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของซูริมิ และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ โดยการเกิดเจลที่ดีควรมีเนื้อสัมผัสที่ยืดหยุ่นสูง (Kim and Lee, 1987)

การคลายตัวของโปรตีนและมีการจับกันใหม่ที่จุดเฉพาะเพื่อฟอร์มตัวเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติ การคลายตัวของโปรตีนเป็นการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างโปรตีนระดับที่ 2 ซึ่งการคลายตัวอาจมาจากการให้ความร้อน การมีกรด ด่าง ยูเรีย การเกิดโครงสร้าง 3 มิติ เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนกับโปรตีน และโปรตีนกับสารละลาย โมเลกุลเกิดพันธะระหว่างกันจึงเกิดเป็นโครงร่างตาข่าย (Howe et al., 1994)

วัตถุดิบและสารผสมที่สามารถเกิดเจลได้หรือมีคุณสมบัติในการเป็นสารที่ทำให้เกิดเจลได้แก่ โปรตีน เช่น โปรตีนนม โปรตีนไข่ โปรตีนถั่วเหลือง เป็นต้น คาร์โบไฮเดรต เช่น สตาร์ช เพคติน กัม แอลจีเนต คาราจีแนน เป็นต้น กลไกในการเกิดเจลของสารที่ได้กล่าวมานี้มีความคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ สารเหล่านี้จะต้องถูกทำให้เปียก มีการดูดน้ำ บางชนิดละลายน้ำได้ บางชนิดพองตัวเมื่อดูดน้ำและอุ้มน้ำไว้ได้ สารที่ทำให้เกิดเจลบางชนิดจะต้องผ่านกระบวนการให้ความร้อนเพื่อทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระดับโครงสร้างโมเลกุล เช่นการเสื่อมสภาพของโปรตีน การเจลาติไนเซชันของสตาร์ช เป็นต้น หลังจากนั้นโมเลกุลของโครงสร้างจะเกิดการจับเรียงตัวกันใหม่ประสานกันเป็นร่างแห 3 มิติ เกิดเป็นเจลในสภาวะที่เหมาะสมกับสารที่ทำให้เกิดเจลนั้นๆ เช่น มีความเข้มข้นของสารที่ทำให้เกิดเจลสูงพอ การเติมอิออนบางชนิด การลดอุณหภูมิ เป็นต้น โครงสร้างเจลที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์เป็นโครงสร้างผสม ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ชนิดที่ยังคงสภาพของเส้นใยกล้ามเนื้อ เช่น แฮม เมื่อผ่านการหุงต้ม จะมีเส้นใยกล้ามเนื้อจัดเรียงตัวอยู่ในเจลของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ เช่น ไส้กรอก มีเม็ดไขมันกระจายตัวอยู่ในเจลกล้ามเนื้อ (ปาริฉัตร, 2542)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลได้แก่คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของโมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบของสารนั้นๆ เช่น ขนาด รูปร่างของโมเลกุล ประจุ และความหนาแน่นของประจุ หมู่ไฮโดรฟิลิค และหมู่ไฮโดนโฟบิค เป็นต้น สำหรับปัจจัยภายนอกโมเลกุล เช่น ความเข้มข้นของวัตถุดิบ อุณหภูมิ และเวลาในการแปรรูป เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการฟอร์มเจลแบ่งเป็น 2 ลักษณะดังนี้

1. coagulum-type gel เกิดกับโปรตีนที่มี non-polar residue ภายใต้การตกตะกอนอย่างอิสระโดยเกิด hydrophobic interaction ซึ่งเจลจะมีความยืดหยุ่นและมีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ และไม่สามารถกลับไปเป็นเหมือนเดิมได้เมื่อได้รับความร้อน (Thermo-irreversible gel) เช่น การเกิดเจลของเนื้อสัตว์

2. translucent gel เกิดกับพวกโปรตีนที่มี non-polar เหลืออยู่น้อย ปกติเจลจะจัดเรียงตัวเป็นระเบียบ มีความยืดหยุ่นสูง มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง สามารถหลอมละลายเป็นเหมือนเดิมเมื่อได้รับความร้อน (Thermo-reversible gel) เช่น เจลาติน วุ้น เมื่อโปรตีนใน Progel state ถูกความเย็นเกิดโมเลกุลเสียสภาพระหว่างการเกิด refold การเกิด refold และการฟอร์มเป็น intramolacular interaction จะลดจำนวนของหมู่ฟังก์ชันที่สามารถทำหน้าที่ได้สำหรับ intermolecular interaction ทำให้เจลมีความอ่อนและปริมาณโปรตีนที่น้อยที่สุดที่ต้องการฟอร์มตัว เพื่อให้เจลคงอยู่ได้ต้องมีมากกว่าการสูญเสียโปรตีน refold ขณะที่ cooling

โปรตีนที่มีกรดอะมิโนมากกว่า 31.5 เปอร์เซ็นต์ เป็น non-polar เช่น วาลีน โปรลีน ลิวซีน ไอโซลิวซีน จะเกิดเจลแบบ coagulum-type gel และโปรตีนที่มีกรดอะมิโน non-polar น้อยกว่า 31.5 เปอร์เซ็นต์ จะเกิดเจลแบบ translucent gel แต่การที่จะเป็นไปตามทฤษฎีนี้ต้องไม่คำนึงถึงค่าอื่นๆ เช่น pH, ionic strength (Howe et al., 1994)

อิมัลชันเจลเกิดจากการให้ความร้อนกับอิมัลชันที่มีความคงตัว โปรตีนที่มีความเข้มข้นมากเมื่อล้อมรอบเม็ดไขมันไว้จะมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อโปรตีนได้รับความร้อนจะฟอร์มตัวเป็นโครงสร้างตาข่าย (gel network) กลายเป็นเจลที่แข็งแรง และโปรตีนที่มีสภาพไม่มีขั้วที่แทรกอยู่ในเม็ดไขมันได้จะทำให้เกิดอิมัลชันที่มีความแข็งแรงกว่าอิมัลชันที่เกิดจากโปรตีนที่ล้อมรอบอยู่ด้านนอกของเม็ดไขมัน ความแข็งแรงของ heat set gel ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น ปริมาณโปรตีน อุณหภูมิในกระบวนการให้ความร้อน pH และชนิดและความเข้มข้นของเกลือ

2.5 การเกิดเจลของโปรตีนถั่วเหลือง

โปรตีนถั่วเหลืองมีคุณสมบัติทางหน้าที่ (functional property) ที่สามารถเกิดการฟอร์มเจล การเกิดเจลสามารถทำได้โดยการให้ความร้อน (heat induced gel) หรือการใช้สารตกตะกอนโปรตีน (coagulant) เจลโปรตีนถั่วเหลืองที่ได้จากสารตกตะกอนที่รู้จักกันดีคือ เต้าหู้ ถั่วเหลืองมีปริมาณโปรตีน 35-40 เปอร์เซ็นต์ แต่จะเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพไม่สมบูรณ์คือมีปริมาณของกรดอะมิโนที่มีกัมถันเป็นองค์ประกอบอยู่น้อย ได้แก่ เมทิลโอนิน ซีสติน แต่มีปริมาณไลซีนสูง โปรตีนถั่วเหลืองจะถูกสะสมอยู่ในเซลล์ เรียกว่า protein bodies หรือ storage proteins เป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ที่สามารถเชื่อมต่อกันได้อีกด้วย disulfide linkage ส่วนใหญ่เป็นโปรตีนที่มีชื่อว่า globulin ประกอบด้วย fraction ของ 2S 7S 11S และ 15S โดยมี fraction ของ 7S และ 11S เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบหลัก การฟอร์มเจลของโปรตีนถั่วเหลืองจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับโมเลกุลของ 7S และ 11S globulin การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างใดๆ ของโมเลกุลทั้งสองจะมีผลต่อการเกิดเจล (น้ำทิพย์, 2544) เนื่องจากถั่วเหลืองมีส่วนประกอบหลังคือ ไกลซินินและเบต้าไกลซินิน ซึ่งโครงสร้างจตุตรภูมิ (quaternary structure) ของโปรตีนชนิดนี้จะขึ้นอยู่กับค่า pH และสภาพอิออน ซึ่งมีโครงสร้างที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไดซัลไฟด์ (single disulfide bridge) สำหรับโพลิเปปไทด์ที่มีสภาพเป็นเบสที่ pH 7.6 ไกลซินินจะฟอร์มโครงสร้างคอมเพลกซ์ (hexmeric complexes) เป็น 11S และที่ pH 3.8 จะฟอร์มโครงสร้างคอมเพลกซ์ (trimeric complexes) เป็น 7S ดังนั้นการให้ความร้อนในการฟอร์มเจลของโกลบูลาร์โปรตีนจะต้องมีอุณหภูมิสูง และสภาพอิออนที่แข็งแรง สำหรับไกลซินิน จะเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพที่อุณหภูมิประมาณ 80-90 องศาเซลเซียส (11S) และ 60-70 องศาเซลเซียส (7S) และเบต้าคอนไกลซินิน เริ่มเปลี่ยนสภาพเป็นเจลที่อุณหภูมิ 60-75 องศาเซลเซียส (Renkema and Vlite, 2002)

Renkema and Vlite (2002) ศึกษาการให้ความร้อนต่อการเกิดของโปรตีนถั่วเหลืองที่มีค่า pH เป็นกลาง พบว่าอุณหภูมิของการเกิดเจลเริ่มเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่า 84 องศาเซลเซียส ซึ่งเกิดจากการเสียสภาพของไกลซินิน และเพิ่มอุณหภูมิการให้ความร้อนที่ 90 องศาเซลเซียส ค่าความยืดหยุ่นของเจลเพิ่มสูงขึ้น จากการเสียสภาพของโปรตีน ค่าความยืดหยุ่นที่เพิ่มขึ้นนี้เกิดจากการเชื่อมกันในโครงสร้างเป็นโครงสร้าง 3 มิติ และเมื่อลดอุณหภูมิของเจลง ค่าความยืดหยุ่นของเจลจะเพิ่มขึ้นอีก ค่าความยืดหยุ่นที่เกิดขึ้นในกระบวนการลดอุณหภูมินี้เกิดจากการสร้างพันธะไดซัลไฟด์ เพราะการเชื่อมต่อกัน (rearrangement) ของโครงสร้างจะไม่เกิดขึ้นในกระบวนการลดอุณหภูมิ

Xiong and Jong (2002) ศึกษาการรวมตัวกันระหว่างไมโอฟีบิลลาร์ของเนื้อหมูและโปรตีนถั่วเหลืองที่ถูกให้ความร้อนที่ 90 และ 95 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที พบว่าการให้ความร้อนกับโปรตีนถั่วเหลืองทำให้สภาพไม่ชอบน้ำของโปรตีนเพิ่มขึ้นและลดการรวมตัวกันตกตะกอน (aggregation) ของ 11S ในหน่วยย่อยที่เป็นกรดและเบส เมื่อเติมโปรตีนที่ถูกให้ความร้อนก่อนร่วมกับไมโอไฟบิลลาร์ของเนื้อหมู พบว่าทำให้เกิดเจลที่เป็นบวก เนื่องจากการรวมตัวกันไมโอซินและ 11S ของโปรตีนถั่วเหลือง

Remirez-Suarez and Xiong (2003) ศึกษาผลของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่ชักนำให้เกิดการเชื่อมข้าม (cross linking) ระหว่างไมโอฟีบิลลาร์กับโปรตีนถั่วเหลืองในการเกิดเจล พบว่าเอนไซม์ทรานซ์กลูตามิเนสช่วยให้การเกิดเจลดีกว่าการใช้ไมโอซิน โปรตีนถั่วเหลืองและของผสมระหว่างไมโอซินกับถั่วเหลือง โดยทุกหน่วยการทดลองที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเริ่มฟอร์มเจลที่อุณหภูมิประมาณ 45 องศาเซลเซียส ยกเว้นโปรตีนถั่วเหลืองอย่างเดียวไม่เกิดการฟอร์มเจล ซึ่งมี 5 หน่วยการทดลองที่เติมเอนไซม์ทรานว์กลูตามิเนส คือ โปรตีนถั่วเหลือง ไมโอซิน ไมโอซินกับถั่วเหลือง ไมโอซินกับถั่วเหลืองบ่ม 30 นาที ไมโอซินกับถั่วเหลืองบ่ม 4 ชั่วโมง และค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมดูลัสจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 55-65 องศาเซลเซียส การที่กราฟขึ้นสูงขึ้นเนื่องจากเกิดการเชื่อมกข้ามระหว่างไกลซินินกับไลซีนของโปรตีนผสมทั้งสองซึ่งเกิดจากการชักนำของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส ซึ่งไม่เกิดขึ้นกับหน่วยการทดลองที่ไม่เติมเอนไซม์ทรานว์กลูตามิเนส

Hua et al. (2003) ศึกษาคุณสมบัติการเกิดเจลของผสมระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองกับกัม แคปปาคาราจีแนน แซนแทนกัม โลคอสบีนกัม และโพพิวลีนไกลคอลอัลจีเนต โดยวัดคุณสมบัติของเจลด้วย small deformation พบว่าความแข็งแรงของเจลของของผสมระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองกับคารารจีแนนมีค่าแรงต้านทานสูงขึ้นกับความเข้มข้นของส่วนผสม ส่วนผสมระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองกับแซนแทนกัมจะมีแรงต้านสูงเมื่อโปรตีนในเฟสต่อเนื่องคงที่ แรงต้านของเจลจะเปลี่ยนแปลงตามความเข้มของแซนแทนกัม สำหรับเจลของโปรตีนถั่วเหลืองกับโพพิวลีนไกลคอลอัลจีเนต จะมีค่าความแข็งแรงของเตลและความคงตัวสูงกว่ากัมชนิดอื่นๆ เนื่องจากเกิดพันธะโควาเลนท์ระหว่างโพพิวลีนไกคอลอัลจีเนตกับโปรตีนถั่วเหลือง

Xie and Hettiarachchy (1997) ศึกษาการใช้ส่วนผสมระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้นร่วมกับแซนแทนกัม เปรียบเทียบกับโปไวน์ซีรัมอัลบูมิน พบว่าการละลายของไนโตรเจนมากขึ้นในอิมัลชันที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองเข้มขันร่วมกับแซนแทนกัม ส่งผลให้การเกิดอิมัลชันมีค่าสูงขึ้น

Noitup and Raksakulthai (1997) ศึกษาการพัฒนากระบวนการผลิตและเก็บรักษาลูกชิ้นปลา โดยใช้แป้งข้าวโพด แป้งสาลี และแป้งมันสำปะหลัง พบว่าการเติมแป้งช่วยทำให้การเกิดเจลดีขึ้น มีความยืดหยุน ส่งผลดีต่อคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส ซึ่งได้คะแนนดีกว่าลูกชิ้นที่ไม่มีการเติมแป้ง

Hua *et al.* (2003) ศึกษาคุณสมบัติการเกิดเจลของของผสมระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองกับกัม คาราจีแนน แซนแทนกัม โลคอสบีนกัม และโพรพิวลีนไกลคอลอัลจีเนต พบว่าความแข็งแรงของเจลของของผสมระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองกับคาราจีแนนมีค่าแรงต้านขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของส่วนผสม แรงต้านของเจลจะเปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นของแซนแทนกัม ส่วนเจลของโปรตีนถั่วเหลืองกับโพรพิวไกคอลอัลจีเนต จะมีค่าความแข็งแรงของเจลและคงตัวสูงกว่ากัมชนิดอื่นๆ เนื่องจากเกิดพันธะโควาเลนท์ระหว่างโพรพิวลีนไกคอลอัลจีเนตกับโปรตีนถั่วเหลือง

Kong *et al.* (1999) ศึกษาผลการเติมแป้งที่มีต่อคุณสมบัติด้านความยืดหยุ่นของเจลเนื้อปลาบด โดยการใช้ microscopic พบว่าเมื่อเม็ดแป้งเริ่มเกิดเจลบางส่วนจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดของแป้ง เม็ดแป้งจะดูดซับน้ำที่มีอยู่ในปลา ทำให้เม็ดแป้งบวมพองอยู่ภายในโครงสร้างของเนื้อปลา เจลเนื้อปลาจึงมีความแน่นและแข็งแรงมากขึ้น การใช้แป้งปริมาณสูงอาจทำให้ผลิตภัณฑ์เปราะและแตกง่าย

Sikorski (1990) กล่าวว่าในขณะที่มีการให้ความร้อนแป้งจะดูดน้ำจากเนื้อปลาบด ทำให้แป้งเกิดเจลาติไนส์บางส่วน และจะไปแทรกตามช่องว่างของโครงสร้างโปรตีนมีผลทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างแข็งแรงมากขึ้น นอกจากนี้แป้งยังทำหน้าที่เป็นสารดูดความชื้น และเพิ่มความคงตัวของเนื้อปลาบดในกระบวนการแช่แข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 ถั่วเหลืองพันธุ์ เชียงใหม่ 60 และ สจ. 5 จากศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ และพันธุ์ สุโขทัย 2 จากศูนย์บริการวิชาการด้านพืชและปัจจัยการผลิตสุโขทัย จังหวัดสุโขทัย

3.1.2 ซูริมิเกรด AA จากบริษัทแปซิฟิกมารีนฟู้ด จำกัด

3.2 สารเคมี

3.2.1 แคลเซียมคลอไรด์ (เกรดอาหาร)

3.2.2 แคลเซียมซัลเฟต (เกรดอาหาร)

3.2.3 แมกนีเซียมคลอไรด์ (เกรดอาหาร)

3.2.4 แมกนีเซียมซัลเฟต (เกรดอาหาร)

3.2.5 แคลเซียมคาร์บอเนต (เกรดอาหาร)

3.3. เครื่องมือ

3.3.1 เครื่องทำน้ำนมถั่วเหลือง	(Washino)
3.3.2 ตู้อบลมร้อนแบบถาด	(Path OV663)
3.3.3 เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	(Lavconco, Freezone 18)
3.3.4 เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง	(Saturn DD22)
3.3.5 เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส	(Stable Micro Systems TA-XT2i)
3.3.6 กล้องจุลทรรศอิเลคตรอน	(JEOL, JSM-5410LV)
3.3.7 สเปคโตโฟโตมิเตอร์	(Shimadzu)
3.3.8 เครื่องวัดสี	(Minota, CR-300)
3.3.9 เครื่องเซนตริฟิวส์	(Hettich, Universal 16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 ศึกษากระบวนการผลิตเพื่อปรับปรุงสมบัติด้านหน้าที่ของผงเต้าหู้

3.4.1.1 ศึกษาผลของสายพันธุ์ถั่วเหลืองต่อคุณภาพของผงเต้าหู้

ศึกษาผลของสายพันธุ์ถั่วเหลือง 3 สายพันธุ์ ได้แก่ เชียงใหม่ 60, สจ.5 และสุโขทัย 2 ต่อคุณภาพของผงเต้าหู้โดยทำการวิเคราะองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเหลือง(AOAC., 2000) และเตรียมน้ำนมถั่วเหลืองและผงเต้าหู้ดังภาพ 3.1 และทำการตรวจสอบคุณภาพดังนี้

1) น้ำนมถั่วเหลือง
   ก) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด
   ข) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Min *et al.*, 2005)
   ค) ปริมาณโปรตีน (AOAC., 2002)
   ง) ค่าสี โดยแสดงเป็นค่า L a และ b (ค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลือง)
2) ผงเต้าหู้
   ก) ค่าการละลายของผงเต้าหู้ (ดัดแปลงจาก Voutsinas et al., 1983)
   ข) ค่าความสามารถในการเกิดอิมัลชันและค่าความคงตัวของอิมัลชัน (ดัดแปลงจาก Uruakpa and Arntfield, 2005)
   ค) ปริมาณผลผลิต (Noh et al., 2005)

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของผลการทดลองที่ได้จากการตรวจสอบคุณภาพของถั่วเหลือง น้ำนมถั่วเหลือง และผงเต้าหู้ โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Complete Randomized Design; CRD) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Ducan's New Multiples Range Test เพื่อเลือกชนิดสายพันธุ์ของถั่วเหลืองเพื่อนำไปทดลองต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ถั่วเหลืองโม่ผ่าซีก

↓

ล้างทำความสะอาด และแช่น้ำที่อุณหภูมิ 5°C 3 ชั่วโมง

↓

ล้างทำความสะอาดทิ้งให้สะเด็ดน้ำ

↓

เติมแคลเซียมคาร์เนต 0.1% ของน้ำหนักถั่วแห้ง

ตีปั่นด้วยน้ำร้อน 80°C

↓

กรองและล้างกรกด้วยน้ำร้อน 80°C

(ปรับปริมาตรให้ได้อัตราส่วนถั่วแห้ง : น้ำ เท่ากับ 1 : 5)

↓

น้ำนมถั่วเหลือง

↓

ต้มที่อุณหภูมิ 80°C 10 นาที

↓

เติมสารตกตะกอน $MgSO_4$ 2.2% ของน้ำหนักถั่วแห้งทิ้งไว้ 15 นาที

↓

เซนตริฟิวส์ 1,500 rpm 5 นาที

↓

ตะกอนโปรตีน

↓

ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดที่ 70°C 5 ชั่วโมง

↓

บดให้มีขนาด 0.25 mm

↓

ผงเต้าหู้

ภาพที่ 3.1 วิธีการเตรียมผงเต้าหู้

ที่มา: วรลักษณ์ และยุพร (2545)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

115533

3.4.1.2 ศึกษาผลของสารตกตะกอนต่อคุณภาพของผงเต้าหู้

ศึกษาผลของสารตกตะกอน 4 ชนิดที่นิยมใช้ในการผลิตเต้าหู้ได้แก่ แคลเซียมซัลเฟต 2.2% แคลเซียมคลอไรด์ 3.0 % แมกนีเซียมซัลเฟต 2.2% และแมกนีเซียมคลอไรด์ 3.0% ของน้ำหนักถั่วแห้ง โดยมีวิธีการเตรียมผงเต้าหู้ดังภาพที่ 3.1 และทำการตรวจสอบคุณภาพของผงเต้าหู้ตามวิธีในข้อ 3.4.1.1

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของผลการทดลองที่ได้จากการตรวจสอบคุณภาพของผงเต้าหู้ โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Ducan's New Multiples Range Test เพื่อเลือกชนิดของสารตกตะกอนที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตผงเต้าหู้

3.4.1.3 ศึกษาผลของการทำแห้งต่อคุณภาพของผงเต้าหู้

ศึกษาวิธีการทำแห้ง 3 วิธีได้แก่ การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และการการทำแห้งด้วยลูกกลิ้งโดยมีวิธีการเตรียมผงเต้าหู้ดังภาพที่ 3.1 และทำการตรวจสอบคุณภาพของผงเต้าหู้ตามวิธีในข้อ 3.4.1.1

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของผลการทดลองที่ได้จากการตรวจสอบคุณภาพของผงเต้าหู้ โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Ducan's New Multiples Range Test เพื่อเลือกวิธีการทำแห้งที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตผงเต้าหู้

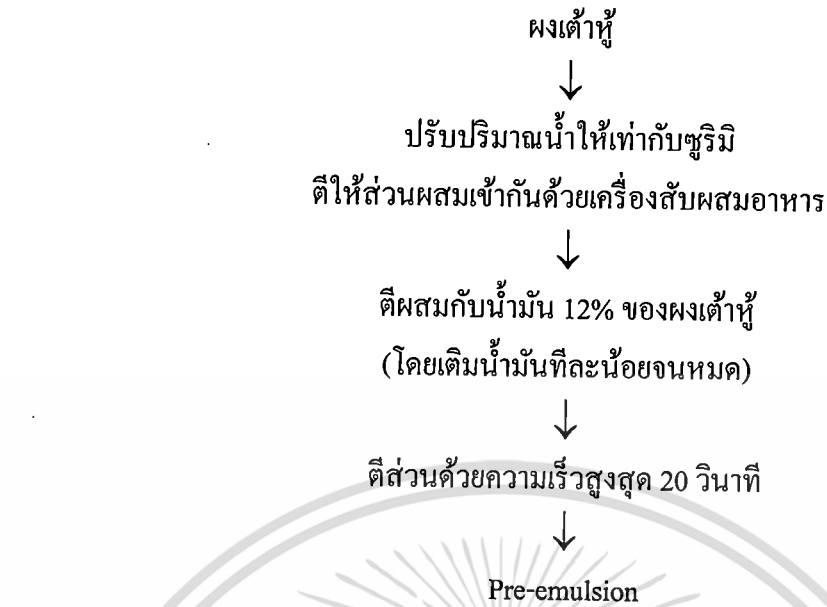
3.4.2 ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของอิมัลชันเจลที่เตรียมจากผงเต้าหู้และซูริมิ

ศึกษาความสัมพันธ์ของคุณสมบัติทางเคมีการยภาพของอิมัลชันเจลที่เตรียมจากผงเต้าหู้และซูริมิ โดยเติมผงเต้าหู้ในอัตราส่วน 20 40 60 และ 80% ของซูริมิเพื่อทดแทนซูริมิบางส่วนในการผลิตผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจล โดยเตรียมผงเต้าหู้ให้อยู่ในรูปของ Pre-emulsion (ดังภาพที่ 3.2) เพื่อเติมในส่วนผสม (ตารางที่ 3.1) โดยวิธีการเตรียมอิมัลชันเจลแสดงดังภาพที่ 3.3

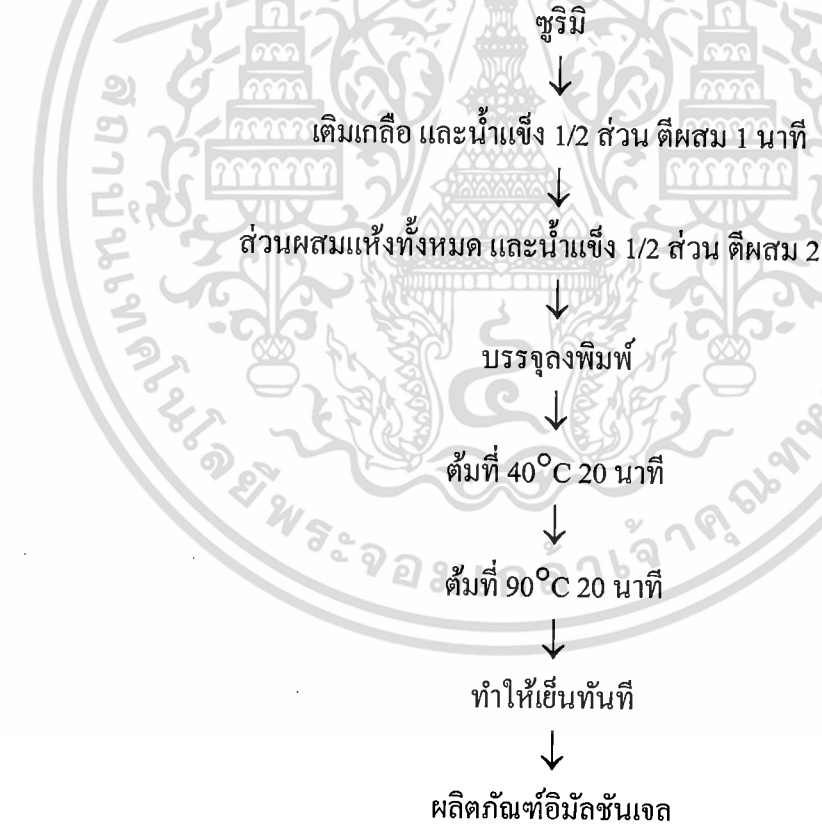
ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมในการผลิตผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจลจากผงเต้าหู้และซูริมิ

ส่วนผสม	ปริมาณ (%)
ซูริมิ	61.0
น้ำมัน	7.3
เกลือ	1.5
น้ำตาล	3.0
ผงปรุงรส	0.2
น้ำแข็ง	27.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.2 การเตรียม Pre-emulsion



ภาพที่ 3.3 การเตรียมผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจลเพื่อหาความสัมพันธ์ของคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของอิมัลชันเจลที่เตรียมการผงเต้าหู้และซูริมิ การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจลได้แก่

1) ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity; WHC) (ดัดแปลงจาก Hughes *et al.*, 1997)

2) ความคงตัวของอิมัลชัน (ดัดแปลงจาก Hughes *et al.*, 1997)

3) การวัดลักษณะเนื้อสัมผัส นำตัวอย่างอิมัลชันเจลมาวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดลักษณะสัมผัส โดยกดบนตัวอย่างที่สูง 20 มิลลิเมตร กดลงไป 30% deformation ด้วยหัวกดขนาด 75 มิลลิเมตร ความเร็วของหัวกดก่อนสัมผัสตัวอย่าง (pre-test speed) 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วของหัวกดขณะเคลื่อนที่ผ่านตัวอย่าง (test speed) มิลลิเมตรต่อวินาที และความเร็วของหัวกดขณะเคลื่อนที่ออกจากตัวอย่าง (post test speed) 1.0 ทำการทดลอง 10 ซ้ำ

4) การตรวจสอบโครงสร้างโมเลกุลด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราด (Scanning electron microscopy; SEM) (ดัดแปลงจาก Iwasaki et al., 2006)

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของผลการทดลองที่ได้จากการตรวจสอบคุณภาพของผงเต้าหู้ โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Ducan's New Multiples Range Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ศึกษากระบวนการผลิตเพื่อปรับปรุงสมบัติด้านหน้าที่ของผงเต้าหู้

4.1.1 ผลของสายพันธุ์ถั่วเหลืองต่อคุณภาพของผงเต้าหู้

น้ำนมถั่วเหลืองและเต้าหู้ที่ผลิตจากถั่วเหลืองต่างสายพันธุ์จะมีคุณภาพและลักษณะที่ต่างกันเนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเหลืองที่ต่างกัน ในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาผลของสายพันถั่วเหลือง 3 สายพันธุ์ ได้แก่ เชียงใหม่ 60 สจ 5 และสุโขทัย 2 โดยมีองค์ประกอบทางเคมีแสดงดังตารางที่ 4.1 สายพันธุ์ สจ 5 มีปริมาณโปรตีนมากที่สุด และสายพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีปริมาณไขมันมากที่สุด

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของถั่วเหลือง

สายพันธุ์	โปรตีน (%)	ไขมัน (%)	คาร์โบไฮเดรต(%)	ความชื้น (%)
เชียงใหม่ 60	34.27^{c}	17.02^{a}	34.67^{a}	14.04^{a}
สจ 5	37.83^{a}	14.70^{c}	33.82^{b}	13.65^{b}
สุโขทัย 2	36.68^{b}	15.80^{b}	33.57^{c}	13.95^{a}

อักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถติ ($P \leq 0.05$)

ผลของสายพันธุ์ถั่วเหลืองต่อคุณภาพของน้ำนมถั่วเหลืองแสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่าสายพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีปริมาณของแข็งทั้งหมดมากที่สุด ซึ่งอาจเนื่องมาจากสายพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดมากที่สุด (ตารางที่ 4.1) ถั่วเหลืองสายพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีค่าความสว่าง (L) ที่มากกว่าน้ำนมถั่วเหลืองที่ผลิตจากถั่วเหลืองสายพันธุ์อื่น ซึ่งความแตกต่างของค่าความสว่างอาจเนื่องมาจากถั่วเหลืองสายพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีลักษณะของ hilum ที่มีสีอ่อนกว่าสายพันธุ์อื่น (Khaitb *et al.*, 2002) อย่างไรก็ตามความแตกต่างของสีน้ำนมถั่วเหลืองไม่มีผลต่อความแตกต่างของสีของผงเต้าหู้

ผลของสายพันธุ์ถั่วเหลืองต่อองค์ประกอบทางเคมีของผงเต้าหู้แสดงดังตารางที่ 4.3 ในกระบวนการผลิตเต้าหู้ ตะกอนโปรตีนจากน้ำนมถั่วเหลืองจะถูกแยกออกจากเวย์ คาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่จะถูกแยกออกไปในขั้นตอนนี้จึงทำให้องค์ประกอบทางเคมีของผงเต้าหู้เป็นโปรตีน โดยปริมาณโปรตีนในผงเต้าหู้มีความสัมพันธ์กับปริมาณโปรตีนในเมล็ดถั่วเหลือง ($r = 0.98$) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Lim *et al.* (1990) และ Min *et al.* (2005)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ค่าสีและปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำนมถั่วเหลืองที่เตรียมจากกถั่วเหลืองต่างสายพันธุ์

สายพันธุ์	ค่าสี			ปริมาณของแข็งทั้งหมด
	L	a	b	(%w/w)
เชียงใหม่ 60	80.03[a]	-2.01[b]	13.47[a]	10.20[a]
สจ 5	86.88[b]	-1.56[a]	12.77[b]	9.45[c]
สุโขทัย 2	87.91[a]	-2.27[c]	13.50[a]	9.59[b]

อักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบทางเคมีของผงเต้าหู้จากถั่วเหลืองต่างสายพันธุ์

สายพันธุ์	โปรตีน (%)	ไขมัน (%)	ความชื้น (%)
เชียงใหม่ 60	56.15[c]	29.51[a]	5.95[a]
สจ 5	60.34[a]	28.60[a]	5.87[a]
สุโขทัย 2	58.40[b]	30.58[a]	5.83[a]

อักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถติ ($P \leq 0.05$)

ผลของสายพันธุ์ถั่วเหลืองต่อคุณสมบติด้านหน้าที่ของผงเต้าหู้แสดงดังตารางที่ 4.4 คุณสมบัติด้านหน้าที่ได้แก่ ค่าความสามารถในหารละลาย ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน ความคงตัวของอิมัลชันของโปรตีนถั่วเหลืองสกัดมีค่าเท่ากับ 7.856 1.744 และ 0.778 ลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าผงเต้าหู้ แต่อย่างไรก็ตามค่าความสามารถในการเกิดอิมัลชันของผงเต้าหู้มีค่าใกล้เคียงกับโปรตีนถั่วเหลืองสกัดซึ่งค่าความสามารถในการเกิดอิมัลชันเป็นคุณสมบัติด้านหน้าที่ที่สำคัญในการนำโปรตีนถั่วเหลืองสกัดไปใช้ในอุตสาหกรรม จากผลการทดลองพบว่าผงเต้าหู้ที่ผลิตจากถั่วเหลืองสายพันธุ์เชียงใหม่ 60 เป็นผงเต้าหู้มีคุณสามบัติด้านหน้าที่และและปริมาณผลผลิตที่ดีที่สุด ดังนั้นจึงเลือกถั่วเหลืองสายพันธุ์เชียงใหม่ 60 เพื่อนำไปศึกษาต่อในการทดลองต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 คุณสมบัติด้านหน้าที่และปริมาณผลผลิตของผงเต้าหู้ที่ผลิตจากถั่วเหลืองต่างสายพันธุ์

สายพันธุ์	ความสามารถในการละลาย[A]	ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน[B]	ความคงตัวของอิมัลชัน[B]	ปริมาณผลผลิต (%)
เชียงใหม่ 60	4.69[a]	1.59[a]	0.47[a]	42.74[a]
สจ 5	2.74[c]	1.62[a]	0.44[ab]	41.04[ab]
สุโขทัย 2	3.41[b]	1.62[a]	0.41[b]	39.94[b]

อักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถติ ($P \leq 0.05$)

[A]ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 260 nm (OD_{260} x dilution factor)

[B]ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 nm (OD_{500} x dilution factor)

4.1.2 ผลของสารตกตะกอนต่อคุณภาพของผงเต้าหู้

การใช้สารตกตะกอนในการผลิตผงเต้าหู้ต่างชนิดกันจะทำให้ได้ลักษณะของผงเต้าหู้แตกต่างกันทั้งนี้ขึ้นกับปริมาณของสารตกตะกอน (Cai and Chang, 1998) สารตกตะกอนที่นิยมใช้ในท้องตลาดในกรณีของเต้าหู้แข็งซึ่งมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แน่น คือ $CaCl_2$ หรือ $MgCl_2$ 3%และในกรณีของเต้าหู้ที่มีการกำจัดน้ำวย์ออกแต่มีลักษณะที่อ่อนกว่า คือ $CaSO_4$ หรือ $MgSO_4$ 2.2% (Shurleff and Aoyagi, 1999) ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกใช้สารตกตะกอนทั้ง 4 ชนิด มาทำการผลิตเป็นเต้าหู้ก่อนนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมงแล้วนำไปบดผ่านตะแกรงขนาด 0.25 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.5 คุณสมบัติด้านหน้าที่และปริมาณผลผลิตของผงเต้าหู้ที่ใช้สารตกตะกอนต่างกัน

สายพันธุ์	ความสามารถในการละลาย[A]	ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน[B]	ความคงตัวของอิมัลชัน[B]	ปริมาณผลผลิต (%)
3.0% $CaCl_2$	4.42[a]	1.58[ab]	0.40[b]	43.05[a]
2.0% $CaSO_4$	4.17[a]	1.41[b]	0.39[c]	41.67[ab]
3.0% $MaCl_2$	3.74[b]	1.70[a]	0.30[d]	41.96[ab]
2.2% $MgSO_4$	3.68[b]	1.62[ab]	0.49[a]	40.31[b]

อักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถติ ($P \leq 0.05$)

[A]ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 260 nm (OD_{260} x dilution factor)

[B]ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 nm (OD_{500} x dilution factor)

ผงเต้าหู้ที่ได้จากการตกตะกอนด้วย $CaCl_2$ และ $CaSO_4$ มีค่าความสามารถในการละลายมากกว่าผงเต้าหู้ที่ได้จากการตะกอนด้วยสารตกตะกอนตัวอื่น (ตารางที่ 4.5) ซึ่งการรวมตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจัดเรียงโครงสร้างของเต้าหู้ที่ได้จากการตกตะกอนด้วย Ca^{2+} จะมีลักษณะที่ไม่แน่นและมีช่องว่างมากพอที่ทำให้น้ำเข้าไปอยู่ในโครงสร้างได้ (Sun and Breen, 1991) ซึ่งเป็นผลให้ผงเต้าหู้มีรูพรุนจำนวนมากหลังการทำแห้งจึงทำให้มีค่าความสามารถในการละลายที่สูง สำหรับค่าความสามารถในการเกิดอิมัลชันของผงเต้าหู้ที่ผลิตจาก $MgCl_2$ และ $MgSO_4$ มีค่าที่สูงกว่าผงเต้าหู้ที่ตกตะกอนด้วยสารตกตะกอนตัวอื่น เนื่องจาก Mg^{2+} มีค่า อิเลคโตรเนกาติวิตี้ที่สูงและสามารถจับกับส่วนที่มีขั้วของโปรตีนได้ดี ดังนั้นส่วนที่ไม่มีขั้วของโปรตีนจึงไปจับไขมันได้ส่งผลให้มีความสามารถในการเกิดอิมัลชันที่ดี สำหรับความสามารถในการคงตัวของอิมัลชันของผงเต้าหู้ที่ผลิตจาก $MgSO_4$ มีความคงตัวของมากที่สุด เนื่องจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดถูกใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์เนื่องจากมีคุณสมบัติด้านการเกิดอิมัลชันที่ดี ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือก $MgSO_4$ เป็นสารตกตะกอนในการทดลองต่อไป

4.1.3 ผลของวิธีการทำแห้งต่อคุณภาพของผงเต้าหู้

ผลของวิธีการทำแห้งต่อคุณภาพของผงเต้าหู้แสดงดังตารางที่ 4.6 ปริมาณความชื้นของผงเต้าหู้ที่ทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่าต่ำที่สุด แต่มีค่าความสามารถในการละลายและความสามารถในการเกิดอิมัลชันสูงที่สุด การทำแห้งด้วยความร้อนสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งการทำแห้งแบบลูกกลิ้งจะทำให้ได้ผงเต้าหู้ที่มีค่าความสามารถในการละลายและความสามารถในการเกิดอิมัลชันต่ำที่สุด เนื่องจากความร้อนมีผลทำให้โปรตีนเสียสภาพทางธรรมชาติซึ่งส่งผลให้คุณสมบัติด้านหน้าที่ของโปรตีนเสียไป อย่างไรก็ตามคุณสมบัติด้านความคงตัวของอิมัลชันของผงเต้าหู้ที่ทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งด้วยวิธีอื่น การใช้ความร้อนในการทำแห้งผงเต้าหู้อาจส่งผลให้โกลบูลาร์โปรตีนเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างส่งผลให้เกิดการสร้างแผ่นฟิล์มที่แข็งแรงที่สามารล้อมรอบโครงสร้างของไขมันในระหว่างการเกิดอิมัลชันจึงทำให้ได้อิมัลชันที่มีความคงตัว (Zayas, 1997)

ตารางที่ 4.6 คุณสมบัติด้านหน้าที่และปริมาณผลผลิตของผงเต้าหู้ด้วยวิธีการทำแห้งที่ต่างกัน

วิธีการทำแห้ง	ความสามารถในการละลาย[A]	ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน[B]	ความคงตัวของอิมัลชัน[B]	ความชื้น (%)
การทำแห้งแบบถาด	3.56^{b}	1.70^{a}	0.40^{b}	3.43^{b}
การทำแห้งแบบลูกกลิ้ง	3.15^{c}	1.46^{b}	0.58^{a}	4.07^{a}
การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	3.87^{a}	1.65^{a}	0.28^{c}	0.68^{c}

อักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถติ ($P \leq 0.05$)

[A]ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 260 nm (OD_{260} x dilution factor)

[B]ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 nm (OD_{500} x dilution factor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของอิมัลชันเจลที่เตรียมจากผงเต้าหู้และซูริมิ

4.2.1 ผลของปริมาณผงเต้าหู้ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจลจากซูริมิ

ความสามารถในการอุ้มน้ำ (WHC) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญสำหรับผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจล WHC ของผลิตภัณฑ์ซูริมิอิมัลชันเจลที่ใช้ผงเต้าหู้ในรูปของ pre-emulsion ในการทดแทนซูริมิบางส่วนแสดงดังตารางที่ 4.7 พบว่าการเพิ่มปริมาณของผงเต้าหู้ส่งผลให้ WHC สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถติ ($P \leq 0.05$) โดยการทดแทนเนื้อสัตว์ด้วยโปรตีนจากถั่วเหลืองส่งผลให้ WHC ของผลิตภัณฑ์สูงขึ้นเนื่องจากโปรตีนจากถั่วเหลืองจะช่วยดูดซับน้ำจากกระบวนการผลิตให้เข้าไปอยู่ในโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเกิดเจลได้ (Chin *et al.*, 1998)

ความสามารถในการคงตัวของอิมัลชันของผลิตภัณฑ์ซูริมิอิมัลชันเจลที่ใช้ผงเต้าหู้ทดแทนซูริมิบางส่วนเพิ่มขึ้น เมื่อทำการเพิ่มปริมาณผงเต้าหู้ (ตารางที่ 4.7) โดยการเพิ่มปริมาณของผงเต้าหู้ส่งผลให้ปริมาณน้ำและปริมาณน้ำมันที่สูญเสียระหว่างการเกิดเจลลดลงเนื่องจาก WHC และความสามารถในการดูดซับน้ำของผงเต้าหู้ WHC ของผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจลมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำและปริมาณน้ำมันซึ่งจะส่งผลต่อความคงตัวของอิมัลชันของผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจล (Choi *et al.*, 2009) โปรตีนจากถั่วเหลืองสามารถทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ได้เนื่องจากมีส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ซึ่งทำหน้าที่ในการจับกับน้ำและน้ำมันในระบบได้ (Ayadi *et al.*, 2009)

ตารางที่ 4.7 คุณสมบัติด้านหน้าที่ของผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจลจากซูริมิ

ผงเต้าหู้ (%)	WHC (%)	ความคงตัวของอิมัลชัน	
		ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (%)	ปริมาณน้ำมันที่สูญเสีย (%)
0	$90.90^{c} \pm 8.10$	$1.12^{a} \pm 0.03$	$1.18^{a} \pm 0.02$
20	$92.01^{b} \pm 5.80$	$1.16^{a} \pm 0.02$	$1.06^{b} \pm 0.05$
40	$92.38^{b} \pm 5.02$	$0.97^{b} \pm 0.07$	$0.97^{c} \pm 0.01$
60	$93.40^{a} \pm 7.11$	$0.86^{c} \pm 0.07$	$0.65^{d} \pm 0.02$
80	$93.68^{a} \pm 1.50$	$0.69^{d} \pm 0.05$	$0.33^{e} \pm 0.03$

อักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถติ ($P \leq 0.05$)

4.2.2 ผลของปริมาณผงเต้าหู้ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจลจากซูริมิ

การใช้โปรตีนจากถั่วเหลืองในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์สามารถช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ได้ ผลของปริมาณของผงเต้าหู้ต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจลจากซูริมิแสดงดังตารางที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ผลของผงเต้าหู้ต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจลจากซูริมิ

ผงเต้าหู้ (%)	ความแข็ง (g·force)	ความยืดหยุ่น
0	2274.44^{c}±143.96	0.925^{a}±0.05
20	3675.23^{d}±219.81	0.932^{a}±0.01
40	4908.85^{c}±441.63	0.906^{a}±0.06
60	6350.90^{b}±393.79	0.901^{a}±0.04
80	7100.82^{a}±598.53	0.942^{a}±0.02

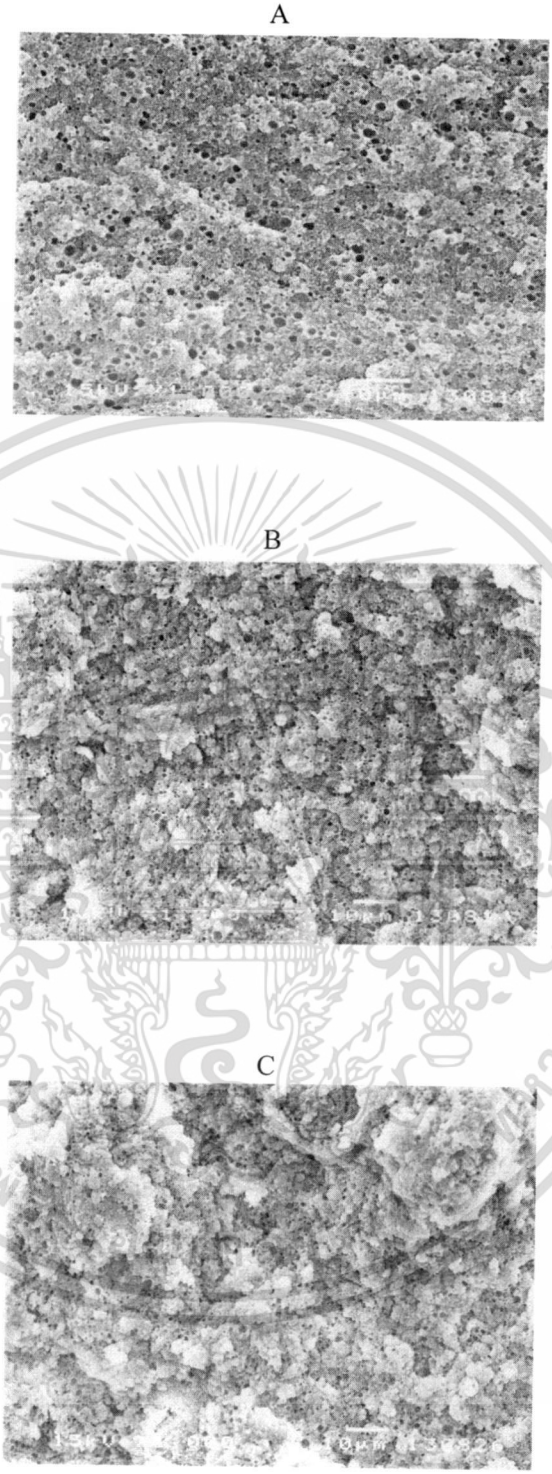
อักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถติ ($P \leq 0.05$)

ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจลจากซูริมิเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณผงเต้าหู้ เนื่องจากผงเต้าหู้ช่วยให้มีการดูดซับน้ำจากกระบวนการผลิตได้มากขึ้นส่งผลให้โครงสร้างของเจลมีความแข็งแรงมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Hung and Zayas (1992), Su et al. (2000) และ Barbut (2006) ซึ่งได้ทำการศึกษาผลของโปรตีนจากแหล่งอื่น (non meat protein) ในการทดแทนโปรตีนจากเนื้อสัตว์ในการผลิตผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจล พบว่าการเพิ่มปริมาณโปรตีนจากแหล่งอื่นส่งผลให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของผงเต้าหู้ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจลจากซูริมิสอดคล้องกับการทดลองของ Shand (2000) ซึ่งรายงานว่าโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้นไม่มีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์

4.2.3 ผลของผงเต้าหู้ต่อโครงสร้างโมเลกุลของผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจลจากซูริมิ

โครงสร้างโมเลกุลของผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจลมีความสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัสและคุณสมบัติด้านหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (Chen *et al.* 2007) เมื่อทำการวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลของผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจลจากซูริมิด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด พบว่าการจับกันของโครงสร้างตาข่าย (network) ของอิมัลชันเจลเมื่อผงเติมเต้าหู้มีลักษณะจับกันเป็นกลุ่มก้อน (aggregate) และมีขนาดของรูพรุนเล็กลง ซึ่งจะเห็นได้ชัดมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณผงเต้าหู้ (ภาพที่ 4.1A-C) ซึ่งสอดคล้องกับการวัดลักษณะเนื้อสมผัสของผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจลจากซูริมิ (ตารางที่ 4.8) การเพิ่มปริมาณผงเต้าหู้ทำให้โครงสร้างโมเลกุลมีลักษณะแน่นและขรุขระมากขึ้น จากโครงสร้างโมเลกุลที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเพิ่มปริมาณผงเต้าหู้ทำให้สามารถอธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติด้านหน้าที่ของผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจลได้ โดยพบว่าโครงสร้างโมเลกุลของผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจลจากซูริมิที่มีลักษณะแน่นและมีรูพรุนขนาดเล็กเกิดจากความสามารถในการกักเก็บน้ำและน้ำมันได้ดีกว่าโครงสร้างที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ ทำให้มีโครงสร้างที่แข็งแรงมากขึ้น (Chen *et al.*,2007)

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.1 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ของผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจลจากซูริมิ (A) ตัวอย่างควบคุม (ผงเต้าหู้ 0%) (B) ผงเต้าหู้ 40% และ (C) ผงเต้าหู้ 80%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

1. ผลของสายพันธุ์ถั่วเหลืองต่อคุณภาพของน้ำนมถั่วเหลือง พบว่าสายพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีปริมาณของแข็งทั้งหมดมากที่สุด ซึ่งอาจเนื่องมาจากสายพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดมากที่สุด ผงเต้าหู้ที่ผลิตจากถั่วเหลืองสายพันธุ์เชียงใหม่ 60 เป็นผงเต้าหู้มีคุณสมบัติด้านหน้าที่และและมีปริมาณผลผลิตมากที่สุด ดังนั้นจึงเลือกถั่วเหลืองสายพันธุ์เชียงใหม่ 60 นำไปศึกษาต่อ

ความสามารถในการเกิดอิมัลชันของผงเต้าหู้ที่ผลิตจาก $MgCl_2$ และ $MgSO_4$ มีค่าที่สูงกว่าผงเต้าหู้ที่ตกตะกอนด้วยสารตกตะกอนตัวอื่น ความสามารถในการคงตัวของอิมัลชันของผงเต้าหู้ที่ผลิตจาก $MgSO_4$ มีความคงตัวของมากที่สุด เนื่องจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดถูกใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์เนื่องจากมีคุณสมบัติด้านการเกิดอิมัลชันที่ดี ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือก $MgSO_4$ เป็นสารตกตะกอน

2. ผลของปริมาณผงเต้าหู้ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจลจากซูริมิ พบว่าการเพิ่มปริมาณของผงเต้าหู้ส่งผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถติ ($P\leq0.05$) ความสามารถในการคงตัวของอิมัลชันของผลิตภัณฑ์ซูริมิอิมัลชันเจลที่ใช้ผงเต้าหู้ทดแทนซูริมิบางส่วนเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเพิ่มปริมาณผงเต้าหู้

ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจลจากซูริมิเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณผงเต้าหู้ เนื่องจากผงเต้าหู้ช่วยให้มีการดูดซับน้ำจากกระบวนการผลิตได้มากขึ้นส่งผลให้โครงสร้างของเจลมีความแข็งแรงมากขึ้น

เมื่อทำการวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลของผลิตภัณฑ์อิมัลชันเจลจากซูริมิด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด พบว่าการจับกันของโครงสร้างตาข่าย (network) ของอิมัลชันเจลเมื่อเติมผงเต้าหู้มีลักษณะจับกันเป็นกลุ่มก้อน (aggregate) และมีขนาดของรูพรุนเล็กลง ซึ่งจะเห็นได้ชัดมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณผงเต้าหู้

3. การพัฒนาหาสูตรของผลิตภัณฑ์ทีใช้ผงเต้าหู้เป็นส่วนประกอบหลักเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์อีมัลชั่นเพื่อสุขภาพที่ต้องการลดเนื้อสัตว์ควรจะได้มีการดำเนินต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

Andres, S., Zaritzky, N. and Califano, A. 2006. The effect of whey protein concentrates and hydrocolloids on the texture and colour characteristics of chicken sausages. **International Journal of Food Science and Technology.** 41: 954-961.

Ang, Y.W., Liu, K.S. and Huang, Y. 1999. **Asian Food Sciences & Technology.** Pennsylvania : Technomic Publishing Company.

Ayadi, M.A., Kechaou, A., Makni, I. and Attia, H. 2009. Influence of carrageenan addition on turkey meat sausages properties. **Journal of Food Engineering.** 93: 278-283.

AOAC. 2000. **Official Method of Analysis.** 18th ed. The Association of Analysis Chemists. Srlington, Virginia.

Baeza, R.I., Carp, F.J.,Perez, O.E. and Pilosof A.M.R. 2002. K-Carrageenan-protein interaction: effect of proteins on polysaccharide gelling and textural properties. **Lebensm.-Wiss. u.-Technol.** 35: 741-747.

Barbut, S. 1995. Importance of fat emulsification and protein matrix characteristics in meat batter stability. **Journal of Muscle Foods.** 6: 161-167.

Barbut, S. 2006. Effect of caseinate, whey and milk powder on the texture and microstructure of emulsified chicken meat batters. **LWT-Food Science and Technology.** 39:660-664.

Beddows, C.G. and Wong, J. 1987. Optimization of yield and properies of silken tofu from soybean. III. coagulant conentration, mixing and filtration pressure. **International Journal of Food Science and Technology.** 22: 29-34.

Cai, T.D. and Chang, K.C. 1997. Dry tofu characteristics affected by soymilk solid content and coagulation time. **Journal of Food Quality.** 20: 391-402.

Cai, T.D. and Chang, K.C. 1998. Characterisitc of production scale tofu as affected by soymilk coagulation method: propeller blade size mixing time and coagulant concentrations. **Food Research International.** 31: 289-295.

Candogan, K. and Kolsarici, N. 2003. The effects of carrageenan and pectin on some quality characteristics of low-fat beef frankfurters. **Meat science.** 64: 199-206.

Chattong, U., Apichartsrangkoon, A. and Bell, A.E. 2007. Effects of hydrocooloid addition and high pressure processing on the rheological properties and microstructure of a commercial ostrich meat product "Yor" (Thai sausage). **Meat Science.** 76: 548-554.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chen, H.H., Xu, S.Y. and Wang, Z. 2007. Interaction between flaxseed gum and meat protein. **Journal of Food Engineering.** 80: 1051-1059.

Chen, H.H., Xu, S.Y. and Wang, Z. 2007. Interaction between flaxseed gum and meat protein. **Journal of Food Engineering.** 80: 1051-1059.

Chen, J. and Dickinson, E. 1999. Effect of surface character of filler particles on rheology of heat-set whey protein emulsion gels. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces.** 12: 373-381.

Cheng, Y., Shimizu, N. and Kimura, T. 2005. The viscoelastic properties of soybean curd (tofu) as affected by soymilk concentration and type of coagulant. **International Journal of Food Science and Technology.** 40: 385-390.

Chin, K.B., Keeton, J.T., Longnecker, M.T. and Lamkey, J.W. 1998. Functional, textural and microstructural properties of low-fat bologne (model system) with a konjac blend. **Journal of Food Science.** 63: 1-7.

Chin, K.B., Keeton, J.T., Longnecker, M.T. and Lamkey, J.W. 1999. Utilization of soy protein isolate and konjac blends in a low-fat bologna (model system). **Meat Science.** 53: 45-57.

Choi, Y.S., Choi, J.H., Han, D.J., Kim, H.Y., Lee, M.A. and Kim, H.W. 2009. Characteristics of low-fat meat emulsion systems with pork fat replaced by vegetable oils and rice bran fiber. **Meat Science.** 82: 266-271.

Chotipratoom, S. 2003. Study on the Gelation of the product from tofu powder and ground pork. M.S. Thesis in Food Science, King Mungkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok.

Chung, W.H. and Kim, Y.H. 1996. Functional properties and composition of tofu flours. 206-209. In the proceeding of the second international soybean processing and utilization. Bangkok : Kasetsart University.

Cierach, M., Modzelewska-Kapitula, M. and Szacilo K. 2009. The influence of carrageenan on the properties of low-fat frankfurters. **Meat Science.** 82: 295-299.

Das, A.K., Anjaneyulu, A.S.R., Verma A.K. and Kondaiah N. 2008. Physicochemical, textural, sensory characteristics and storage stability of goat meat patties extended with full-fat soy paste and soy granules. **Internation Journal of Food Science and Technology.** 43: 383-392.

Drakos, A., Doxantakis, G. and Kiosseoglou V. 2007. Functional effect of lupin protein in comminuted meat and emulsion gels. **Food Chemistry.** 100: 650-655.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Feng,, J. and Xiong, Y.L. 2002. Interacton of Myofibrillar and preheated soy proteins. Journal of Food Science. 67: 2851-2856.

Flores, M., Giner, E., Fiszman, S.M., Salvador, A. and Flores, J. 2007. Effect of a new emulsifier containing sodium stearoyl-2-lactylate and carrageenan on the functionality of meat emulsion systems. **Meat Science.** 76: 9-18.

Gan, H.E., Karin, R., Muhammad, S.K.S., Bakar, J.A., Hashim, D.M. and Rahman, R.Abd. 2007. Optimization of the basic formulation of a traditional baked cassava cake using response surface methodology. **LWT-Food Science and Technology.** 40: 611-618.

Garcia-Garcia, E. and Totosaus, A. 2007. Low-fat sodium-reduced sausages: effect of the interaction between locoust bean gum, potato starch and K-carrageenan by a mixture design approach. **Meat Science.** 78: 406-413.

Gu, X., Campbell, L.J. and Euston S.R. 2009. Effects of different oils on the properties of soy protein isolate emulsions and gels. **Food Research International.** 42: 925-932.

Hin, K.B.C., Eeton, J.T., Iller, R.K., Ongenker, M.T., Amkery, J.W. 2000. Evaluation of konjac blends and soy protein isolates as fat replacement in low-fat bologna. **Journal of Food Science.** 65(3): 756-763.

Ho, K.G., Wilson, L.A. and Sebranek, J.G. 1997. Dried soy tofu powder effects on frankfurters and pork sausage patties. **Journal of Food Science.** 62: 434-437.

Hou, H.J., Chang, K.C. and Shih, M.C. 1997. Yield and textural properties of soft tofu as affected by coagulation method. **Journal of Food Science.** 62: 824-827.

Hou, H.J. and Chang, K.C. 2003. Yield and textural properties of tofu as affected by the changes of phytate content during soybean storage. **Journal of Food Science.** 68: 1185-1191.

Hua, Y., Cui, S.W. and Wang, Q. 2003. Gelling property of soy protein-gum mixtures. **Food Hydrocolloids.** 17: 889-894.

Hughes, E., Cofrades, S. and Troy, D.J. 1997. Effects of fat level, oat fibre and carrageenan on frankfurters formulated with 5, 12 and 30% fat. **Meat Science.** 45: 273-281.

Hung, S.C. and Zayas, J.F. 1992. Functionality of milk proteins and corn germ protein flour in comminuted meat products. **Journal of Food Quality.** 15: 139-152.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Iwasaki, T., Noxshiroya, K., Saitoh, N., Okano, K. and Yamamoto, K. 2006. Studies of the effect of hydrostatic pressure pretreatment on thermal gelation of chicken myofibrils and pork meat patty. **Food Chemistry.** 95: 474-483.

Jeng, C., Ockerman, H.W., Cahill, V.R. and Peng, A.C. 1988. Influence of substitutuing two level of tofu for fat in a cooked comminuted meat-type product. **Journal of Food Science.** 53: 97-100.

Kao, F.-J., Su, N.-W. and Lee, M.-H. 2003. Effect of calcium sulfate concentration in soymilk on the microstructure of firm tofu and the protein constitutions in tofu whey. **Journal of Agricultural and Food Chemistry.** 51: 6211-6216.

Khatib, K.A., Aramouni, F.M., Herald, T.j. and Boyer, J.E. 2002. Physicochemical characteristics of soft tofu formulated from selected soybean varieties. **Journal of Food Quality.** 25: 289-303.

Kim, Y. and Wicker, L. 2005. Soybean cultivars impact quality and function of soymilk and tofu. **Journal of the Science of Food and Agriculture.** 85: 2514-2518.

Kong, F. and Chang S.K.C. 2009. Statistical and kinetic studies of the changes in soybean quality during storage as related to soymilk and tofu making. **Journal of Food Science.** 74: S81-S89.

Kroll, R.D. 1984. Effect of pH on the binding of calcium ions by soybean proteins. **Cereal Chem.** 61: 490-495.

Lakshmanan,R., Lamballerie, M.D. and Jung, S. 2006. Effect of soybean-to water ratio and pH on pressurized soymilk properties. **Journal of Food Science.** 71: E384-E391.

Lecomte, N.B., Zayas, J.F. and Kastner, C.L. 1993. Soya proteins functional and sensory characteristics improved in comminuted meats. **Journal of Food Science.** 53(3): 464-472.

Luruena-Martinez, M.A., Vivar-Quintana, A.M. and Revilla, I. 2004. Effect of locust bean/xantan gum addition and replacement of pork fat with olive oil on the quality characteristics of low-fat frankfurters. **Meat Science.** 68: 363-389.

Lim, B.T., DeMan, L., DeMan, J.M. and Buzzell, R.I. 1990. Yield and quality of tofu as affected by soybean and soymilk characteristics, calcium sulfate coagulant. **Journal of Food Science.** 55: 1088-1101.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lin, K.W. and Mei M.Y. 2000. Influences of gums, soy protein isolate, and heating temperature on reduced-fat meat batters in a model system. **Journal of Food Science.** 65: 48-52.

Liu, K. 1997. **Soybean: Chemistry, Tecnology, and Utilization.** Chapman & Hall, New York. 532 p.

Liu, Z.-S and Chang, S.K.C. 2008. Optimal coagulant concentration, soymilk and tofu quality as affected by a short-term model storage of proto soybean. **Journal of Food Processing and Preservation.** 32: 39-59.

Liu, Z.-S., Chang, S.K.C., Li, L.-T. and Tatumi, E. 2004. Effect of selective thermal denaturation of soybean proteins on soymilk viscosity and tofu's phydical properties. **Food Research International.** 37: 815-822.

Luruena-Martinez, M.A., Vivar-Quintana, A.M. and Revilla, I. 2004. Effect of locust bean/xantan gum addition and replacement of pork fat with olive oil on the quality characteristics of low-fat frankfurters. **Meat Science.** 68: 363-389.

Mavrakis, C., Doxastakis, G. and Kiosseoglou, V. 2003. Large deformation properties of gels and model comminuted meat products containing lupin protein. **Journal of Food Science.** 68: 1371-1376.

Min, S., Yu, Y. and Martin, S. St. 2005a. Effect of soybean varieties and growing locations on the physical and chemical properties of soymilk and tofu. **Journal of Food Science.** 70: C8-C12.

Min, S., Yu, Y and Martin, S. S. 2005b. Effect of soybean varieties and growing locations on the flavor of soymilk. **Journal Food Science.** 70: C1-C7.

Mourtzinos, I. and Kiosseoglou, V. Protein interactions in comminuted meat gels containing emulsified corn oil. **Food Chemistry.** 90: 699-704.

Mujoo, R., Trinh, D.T. and Ng, P.K.W. 2003. Characterization of strogae proteins in different soybean varieties and their relationship to tofu yield and texture. **Food Chemistry.** 82: 265-273.

Murphy, P.A., Chen, H.P. Hauck, C.C. and Wilson, L.A. 1997. Soybean storage protein composition and tofu quality. **Food Techology.** 51: 86-88.

Noh, E.J., Park, S.Y., Pak, J.I., Hong, S.T. and Yun, S.E. 2005. Coagulation of soymilk and quality of tofu as affected by freeze treatmeat of soybeans. **Food Chemistry.** 91: 715-721.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ortiz, S.E.M., Puppo, M.C. and Wagner, J.R. 2004. Relationship between structural changes and functional properties of soy protein isolates-carrageenan systems. **Food Hydrocolloids** 18: 1045-1053.

Ohara, T., Karasawa, H and Matsuhashi, I. 1992. Relationship of coagulation characteristics and properies of Kori-tofu in a controlled soymilk coagulation system. **Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology.** 39(6): 1286-1290.

Panyathitipong, W and Puechkamut, Y. 2002. Studies on the tofu powder processing for alternative protein sources. **KMITL Agricultural Journal.** 19(2): 50-59.

Panyathitipong, W. and Puechkamut, Y. 2008. Qualities of tofu powder as affected by soybean variety, coagulant and drying method. **Kasetsart Journal (Natural Science).** 42: 156-172.

Pearce, K.N. and Kinsella, J.E. 1978. Emulsifying properties of proteins evaluation of turbidimetric technique. **Journal of Agricultural and Food Chemistry.** 26(3): 716-723.

Pietrasik, Z. and Duda, Z. 2000. Effect of fat content and soy protein/carrageenan mix on the quality characteristics of comminuted, scalded sausages. **Meat Science.** 56: 181-188.

Prabhakaran, M.P., Perera, C.O. and Valiyaveettil, S. 2006. Effect of different coafulants on the isoflavone levels and pyysical properties of prepared firm tofu. **Food Chemistry.** 99: 429-499.

Poysa, V and Woodrow, L. 2002. Stability of soybean composition and its effects on soymilk and tofu yield and quality. **Food Research International.** 35: 337-345.

Rahardjo, R., Wilson, L.A. and Sebranek, J.G. 1994. Spray Dried soymilk used in reduced fat pork sausage patties. **Journal of Food Science.** 59: 1286-1290.

Ramezani, R., Aminlari, M. and Fallahi, H. 2003. Effect of chemically modified soy proteins and ficin tenderized meat on the quality attributes of sausage. **Journal of Food Science.** 68: 85-88.

Ruusunen, M., Vainionpa, J., Puolanne, E., Lylyb, M., Lahteenmaki, L., Niemisto, M. and Ahvenainen, R. 2003. Effect of sodium citrate, carboxymethyl cellulose and carrageenan levels on quality characteristics of low-salt and low-fat bologna type sausages. **Meat Science.** 64: 371-381.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sanchez, V.E., Bartholomai, G.B. and Pilosof, AM.R. 1995. Rheological properties of food gums as related to their water binding capacity and to soy protein interaction. **Lebensm.-Wiss. u.-Technol.** 28: 380-385.

Shand, P.J. 2000. Textural, water holding, and sensory properties of low-fat pork bologna with normal or waxy starch hull-less barley. **Journal of Food Science.** 65: 101-107.

Shen, C.F., DeMan, L., Buzzell, R.I. and DeMan, J.M. 1991. Yield and quality of tofu as affected by soybean and soymilk characteristics: glucono-delta-lactone coagulant. **Journal of Food Science.** 56: 109-122.

Shih, M.C., Hou, H.J. and Chang, K.C. 1997. Process optimization of soft tofu. **Journal of Food Science.** 62: 833-837.

Shurtleff, W. and Aoyagi, A. 1990. **Tofu & Soymilk Production. The Book of Tofu Vol II.** 2nd ed. Lafayette, CA: The Soybeans Center.

Stein, K. 2000. FDA approves health claim labeling for foods containing soy protein. **Journal of the American Dietetic Association.** 100: 292.

Su, Y.K., Bowers, J.A. and Zayas, J.F. 2000. Physical characteristics and microstructure of reduced-fat frankfurters as affected by salt and emulsified fats stabilized with non-ment proteins. Journal of Food Science. 65: 123-128.

Sun, N. and Breene, W.M. 1991. Calcium sulfate concentration influence on yield and quality of tofu from five soybean varieties. **Journal of Food Science.** 56: 1604-1610.

Tolstoguzov, V.B. 1997. Protein-polysaccharide interaction. In S. Damodaran and A. Paraf (Eds.), **Food protein and their applications.** (pp.171-256). New York: Marcel Dekker.

Tay, S.L., Tan, H.Y. and Perera, C. 2006. The coagulating effects of cations and anions on soy protein. **International Journal of Food Properties.** 9: 317-323.

Uruakpa, F.O. and Arntfield, S.D. 2005. Emulsifying characteristic of commercial canola Protein-hydrocolloids system. **Food Research International.** 38: 659-672.

Verbeken, D., Neirinck,N., Der Meeren, P.V. and Dewettinck, K. 2005. Influence of K-carrageenan on the thermal gelation of salt-soluble meat proteins. **Meat Science.** 70: 161-166.

Vilavan, S and Veerothai, M. 1997. Tofu flour production as a plant protein source used in food products. **Journal of Srinakharinwirot University.**13(1): 26-33.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Voutsinas, L.P., Cheung, E. and Nakai, S. 1983. Relationships of hydrophobicity to emulsifying properties of heat denatural proteins. **Journal of Food Science.** 48: 26-32.

Vongprateep, N. 1997. Studies on factors affection the yield and quality of soy-curd. Master of Science. Food Science, KMITL.

Wang, L.-J.. Li, D., Tatsumi, E., Liu, Z.-J., Chen, X.D. and Li, L.-T. 2007. Application of two-stage ohmic heating to tofu processing. **Chemical Engineering and Processing.** 46: 486-490.

Wilcox, J.R. and Shibles, R.M. 2001. Interrelationships among Seed Quality Attributes in Soybean. **Crop Science.** 41: 11-14.

Yang, H.S, Choi, S.G., Jeon, J.T., Park, G.B. and Joo, S.T. 2007. Textural and sensory properties of low fat pork sausages with added hydrated oatmeal and tofu as texture-modifiying agents. **Meat Science.** 75: 283-289.

Yoon, H.H. and Kim, M. 2007. Physicochemical and sensory properties of tofu prepared with heat treated soybeans. **Journal of Texture Studies.** 38: 393-403.

Zayas, J.F. 1997. **Functionality of Proteins in Food.** Springer, Berlin. 372 p.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้