

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ เมล็ดถั่วเหลืองกะเทาะเปลือกผ่าซีก ซึ่งนำมาวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีในด้านความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่ามีปริมาณความชื้น 8.15 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณโปรตีน ไขมัน เส้นใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต (โดยน้ำหนักแห้ง) เท่ากับ 41.02, 20.85, 5.58, 4.77 และ 31.09 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดถั่วเหลืองผ่าซีกที่คัดเอาเปลือกออกแล้ว

องค์ประกอบ	ค่าเฉลี่ย ^a ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน ร้อยละโดยน้ำหนัก
ความชื้น	8.15±0.22
โปรตีน*	41.02±0.55
ไขมัน*	20.85±0.03
เส้นใย*	5.58±0.09
เถ้า*	4.77±0.18
คาร์โบไฮเดรต***	31.09±0.14

^a ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ครั้ง

* % โดยน้ำหนักแห้ง

**หาโดยผลต่างจาก 100%

4.2 การศึกษาชนิดและปริมาณสารตกตะกอนที่เหมาะสมต่อการผลิตเต้าหู้ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2-4.9 และรูปที่ 4.1 พบว่า

การใช้แคลเซียมซัลเฟต เข้มข้น 0.02 โมลาร์ เป็นสารตกตะกอนโปรตีน จะได้ก้อนเต้าหู้ที่มีลักษณะปรากฏดีกว่าที่ความเข้มข้นอื่น ดังในตารางที่ 4.2 และ 4.3 คือ มีเนื้อเนียน แน่น แข็ง รุพรุนน้อย โดยที่ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ก้อนเต้าหู้ที่ได้มีเนื้อนิ่ม ฉ่ำน้ำ และที่ความเข้มข้น 0.03 โมลาร์ ก้อนเต้าหู้จะมีเนื้อแน่นขึ้นและมีรุพรุนมากขึ้น น้ำหนักเต้าหู้ลดลงเมื่อใช้ปริมาณสารตกตะกอนเพิ่มขึ้น ปริมาณความชื้นลดลงเมื่อใช้ปริมาณสารตกตะกอนเพิ่มขึ้น ความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณสารตกตะกอนเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณโปรตีนและความเหนียวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักเต้าหู้ (g) ปริมาณความชื้น (%) และปริมาณโปรตีน (%)
ในเต้าหู้ที่ได้จากการใช้แคลเซียมซัลเฟตเป็นสารตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นของ แคลเซียมซัลเฟต (Molar)	ค่าเฉลี่ย \pm เบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	น้ำหนักเต้าหู้ (g)	ปริมาณความชื้น (%)	ปริมาณโปรตีน ^{ns} (%, dry basis)
0.01	298.89 ^a \pm 3.91	77.91 ^a \pm 0.37	52.60 \pm 0.97
0.02	277.02 ^b \pm 4.67	73.61 ^b \pm 0.45	52.47 \pm 0.88
0.03	254.59 ^c \pm 4.60	74.10 ^b \pm 0.64	50.43 \pm 0.38

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

a,b,c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$)

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยความแข็ง (kg) และความเหนียวของเต้าหู้ที่ได้จากการใช้แคลเซียมซัลเฟต เป็นสารตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นของ แคลเซียมซัลเฟต (Molar)	ค่าเฉลี่ย \pm เบี่ยงเบนมาตรฐาน		ลักษณะปรากฏของเต้าหู้
	ความแข็ง (kg)	ความเหนียว ^{ns}	
0.01	0.62 ^b \pm 0.02	0.48 \pm 0.03	เนื้อนิ่ม เนียน มีน้ำมาก
0.02	0.99 ^a \pm 0.03	0.52 \pm 0.03	เนื้อเนียน แน่น แข็ง รุพรุนน้อย
0.03	1.00 ^a \pm 0.01	0.53 \pm 0.02	เนื้อเนียน แน่น รุพรุนมาก

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

a,b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

การใช้แมกนีเซียมซัลเฟต เข้มข้น 0.02 โมลาร์ เป็นสารตกตะกอนโปรตีน จะได้ก้อนเต้าหู้ที่มีลักษณะปรากฏดีกว่าที่ความเข้มข้นอื่น ดังในตารางที่ 4.4 และ 4.5 คือ มีเนื้อเรียบ แข็ง รุพรุนน้อย โดยที่ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ก้อนเต้าหู้ที่ได้มีผิวเรียบเนื้อค่อนข้างละเอียด แข็ง และที่ความเข้มข้น 0.03 โมลาร์ ก้อนเต้าหู้จะมีผิวหยาบ แข็ง รุพรุน น้ำหนักเต้าหู้ ปริมาณความชื้น และปริมาณโปรตีนลดลงเมื่อใช้ปริมาณสารตกตะกอนเพิ่มขึ้น ความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณสารตกตะกอนเพิ่มขึ้น และความเหนียวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักเต้านู (g) ปริมาณความชื้น (%) และปริมาณโปรตีน (%) ในเต้านูที่ได้จากการใช้แมกนีเซียมซัลเฟตเป็นสารตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นของ แมกนีเซียมซัลเฟต (Molar)	ค่าเฉลี่ย \pm เบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	น้ำหนักเต้านู (g)	ปริมาณความชื้น (%)	ปริมาณโปรตีน (%, dry basis)
0.01	292.17 ^a \pm 5.14	78.00 ^a \pm 0.35	54.48 ^a \pm 0.27
0.02	246.10 ^b \pm 5.35	71.52 ^b \pm 0.49	53.89 ^a \pm 0.94
0.03	231.54 ^c \pm 4.42	71.52 ^b \pm 0.31	52.66 ^b \pm 0.46

a,b,c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยความแข็ง (kg) และความเหนียวของเต้านูที่ได้จากการใช้แมกนีเซียมซัลเฟตเป็นสารตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นของ แมกนีเซียมซัลเฟต (Molar)	ค่าเฉลี่ย \pm เบี่ยงเบนมาตรฐาน		ลักษณะปรากฏของเต้านู
	ความแข็ง (kg)	ความเหนียว ^{ns}	
0.01	0.53 ^c \pm 0.01	0.51 \pm 0.02	ผิวเรียบ ค่อนข้างละเอียด แข็ง
0.02	0.97 ^b \pm 0.02	0.51 \pm 0.02	ผิวเรียบ แข็ง รูปทูน้อย
0.03	1.11 ^a \pm 0.06	0.48 \pm 0.03	ผิวหยาบ แข็ง รูปทูน

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

a,b,c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

การใช้แคลเซียมคลอไรด์ เข้มข้น 0.01 โมลาร์ เป็นสารตกตะกอนโปรตีน จะได้ก้อนเต้าหู้ที่มีลักษณะปรากฏดีกว่าที่ความเข้มข้นอื่น ดังในตารางที่ 4.6 และ 4.7 คือ มีเนื้อหยาบ ไม่สม่ำเสมอ รูปทรงแยง โดยที่ความเข้มข้น 0.02 โมลาร์ ก้อนเต้าหู้ที่ได้มีเนื้อหยาบ ไม่สม่ำเสมอ รูปทรงแยง และที่ความเข้มข้น 0.03 โมลาร์ ก้อนเต้าหู้จะมีผิวหยาบ แข็ง รูปทรงแยง น้ำหนักเต้าหู้และปริมาณโปรตีนลดลงเมื่อใช้ปริมาณสารตกตะกอนเพิ่มขึ้น ปริมาณความชื้นและความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณสารตกตะกอนเพิ่มขึ้น ส่วนความเหนียวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักเต้าหู้ (g) ปริมาณความชื้น (%) และปริมาณโปรตีน (%)

ในเต้าหู้ที่ได้จากการใช้แคลเซียมคลอไรด์เป็นสารตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นของ แคลเซียมคลอไรด์ (Molar)	ค่าเฉลี่ย \pm เบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	น้ำหนักเต้าหู้ (g)	ปริมาณความชื้น (%)	ปริมาณโปรตีน ^{ns} (%, dry basis)
0.01	259.59 ^a \pm 3.33	70.95 ^b \pm 0.29	53.97 \pm 0.39
0.02	244.15 ^b \pm 4.96	71.45 ^b \pm 0.45	53.53 \pm 0.14
0.03	241.32 ^b \pm 4.42	76.43 ^a \pm 0.31	52.89 \pm 0.85

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

a,b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยความแข็ง (kg) และความเหนียวของเต้าหู้ที่ได้จากการใช้ แคลเซียมคลอไรด์เป็นสารตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นของ แคลเซียมคลอไรด์ (Molar)	ค่าเฉลี่ย \pm เบี่ยงเบนมาตรฐาน		ลักษณะปรากฏของเต้าหู้
	ความแข็ง (kg)	ความเหนียว ^a	
0.01	0.62 ^c \pm 0.01	0.50 \pm 0.02	เนื้อหยาบ ไม่สม่ำเสมอ รูพรุนน้อย
0.02	1.03 ^b \pm 0.02	0.49 \pm 0.01	เนื้อหยาบ ไม่สม่ำเสมอ รูพรุน
0.03	1.07 ^a \pm 0.02	0.47 \pm 0.02	เนื้อหยาบ แข็ง รูพรุน

^a หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

a,b,c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

การใช้แมกนีเซียมคลอไรด์ เข้มข้น 0.01 โมลาร์ เป็นสารตกตะกอนโปรตีน จะได้ก้อนเต้าหู้ที่มีลักษณะปรากฏดีกว่าที่ความเข้มข้นอื่น ดังในตารางที่ 4.8 และ 4.9 คือ มีผิวเรียบ เนื้อค่อนข้างแข็ง โดยที่ความเข้มข้น 0.02 โมลาร์ ก้อนเต้าหู้ที่ได้มีผิวเรียบ แข็ง มีรูพรุนน้อย และที่ความเข้มข้น 0.03 โมลาร์ ก้อนเต้าหู้จะมีผิวหยาบ แข็ง มีรูพรุนมาก น้ำหนักเต้าหู้ และปริมาณความชื้นลดลงเมื่อใช้ปริมาณสารตกตะกอนเพิ่มขึ้น ความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณสารตกตะกอนเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณโปรตีนและความเหนียวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักเต้านุ้ (g) ปริมาณความชื้น (%) และปริมาณโปรตีน (%) ในเต้านุ้ที่ได้จากการใช้แมกนีเซียมคลอไรด์เป็นสารตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นของ แมกนีเซียมคลอไรด์ (Molar)	ค่าเฉลี่ย \pm เบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	น้ำหนักเต้านุ้ (g)	ปริมาณความชื้น (%)	ปริมาณโปรตีน ^{ns} (%, dry basis)
0.01	277.02 ^a \pm 5.35	73.51 ^a \pm 0.26	53.47 \pm 0.44
0.02	255.02 ^b \pm 5.35	72.79 ^b \pm 0.33	53.68 \pm 0.57
0.03	253.13 ^b \pm 4.37	69.41 ^c \pm 0.19	53.05 \pm 0.54

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

a,b,c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยความแข็ง (kg) และความเหนียวของเต้านุ้ที่ได้จากการใช้แมกนีเซียมคลอไรด์เป็นสารตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นของ แมกนีเซียมคลอไรด์ (Molar)	ค่าเฉลี่ย \pm เบี่ยงเบนมาตรฐาน		ลักษณะปรากฏของเต้านุ้
	ความแข็ง (kg)	ความเหนียว ^{ns}	
0.01	0.99 ^b \pm 0.05	0.50 \pm 0.02	ผิวเรียบ เนื้อค่อนข้างแข็ง
0.02	1.43 ^a \pm 0.07	0.51 \pm 0.02	ผิวเรียบ แข็ง มีรูพรุนน้อย
0.03	1.04 ^b \pm 0.09	0.52 \pm 0.03	ผิวหยาบ แข็ง มีรูพรุนมาก

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

a,b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

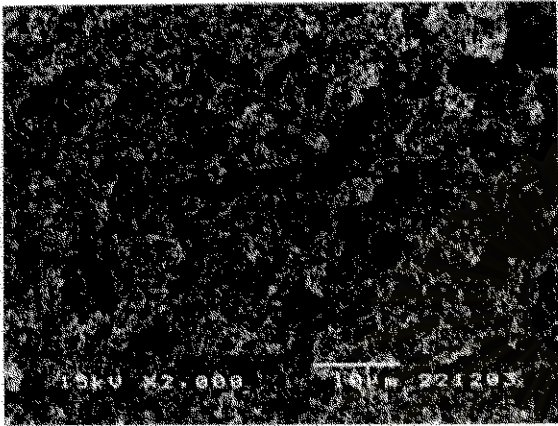
จากการใช้สารตกตะกอนชนิดต่าง ๆ ที่ความเข้มข้น 0.01 0.02 และ 0.03 โมลาร์ พบว่า
ได้น้ำที่ให้ลักษณะดีที่สุดในแต่ละสารตกตะกอน ดังนี้ คือ แคลเซียมซัลเฟตและแมกนีเซียมซัลเฟต
ใช้ที่ความเข้มข้น 0.02 โมลาร์ ส่วนแคลเซียมคลอไรด์และแมกนีเซียมคลอไรด์ใช้ที่ความเข้มข้น
0.01 โมลาร์

เมื่อพิจารณาจากภาพถ่าย Scanning Electron Microscope (SEM) รวมด้วยกับ
ลักษณะปรากฏที่ดีที่สุดของแต่ละสารตกตะกอน ดังรูปที่ 4.1 พบว่าความละเอียดของเนื้อได้น้ำที่ได้
จากการใช้แคลเซียมซัลเฟต 0.02 โมลาร์ จะมีลักษณะที่ละเอียดที่สุด ซึ่งได้น้ำที่ได้จาก
แมกนีเซียมซัลเฟต แมกนีเซียมคลอไรด์ และแคลเซียมคลอไรด์จะให้ได้น้ำที่มีเนื้อหยาบมาก
ขึ้น ตามลำดับ โดยได้น้ำที่ได้จากแคลเซียมคลอไรด์จะหยาบที่สุด

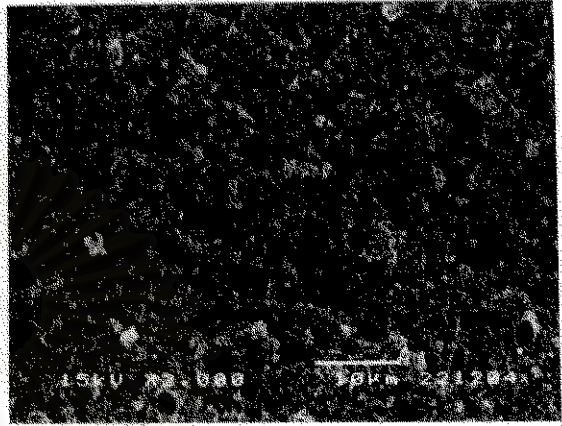
ดังนั้น ในการทดลองต่อไปจึงเลือกใช้แคลเซียมซัลเฟตเข้มข้น 0.02 โมลาร์ เพื่อตะกอน
โปรตีน และใช้เพื่อศึกษาแรงกตที่มีผลต่อคุณภาพได้น้ำต่อไป



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



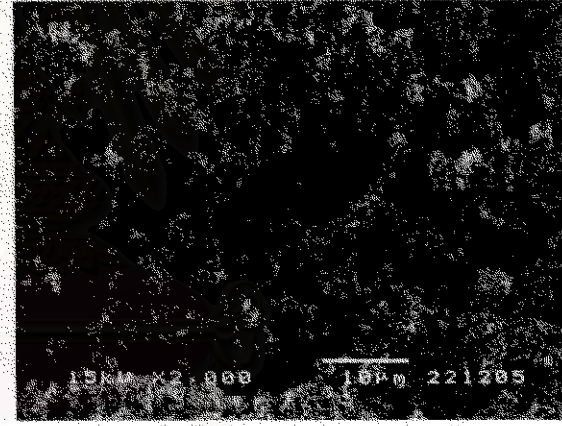
แคลเซียมซัลเฟต เข้มข้น 0.02 โมลาร์



แมนนิทอลเซลลูโลส เข้มข้น 0.02 โมลาร์



แคลเซียมคลอไรด์ เข้มข้น 0.01 โมลาร์



แมนนิทอลเซลลูโลส เข้มข้น 0.01 โมลาร์

รูปที่ 4.1 ภาพถ่าย Scanning Electron Microscope (SEM) กำลังขยาย 2,000 เท่า แสดงโครงสร้างของเด้าหนูที่ใช้ตัวตกตะกอนที่แตกต่างกัน

สถาบันวิทยบริการ

วิทยาลัยเทคนิคสุพรรณบุรี

4.3 ผลการศึกษาแรงกดที่เหมาะสมต่อคุณภาพเต้าหู้

การทดลองนี้จะหาแรงกดที่เหมาะสมต่อคุณภาพเต้าหู้ เมื่อเตรียมนมถั่วเหลืองตามวิธีทดลองในข้อ 3.2.2.1 และเตรียมเต้าหู้โดยใช้ชนิดและปริมาณสารตกตะกอนตามผลที่ได้จากการทดลองข้อ 4.2 โดยแปรแรงกดเป็น 20, 30, 40, 50 และ 60 กรัมต่อตารางเซนติเมตร พิจารณาเลือกแรงกดจากน้ำหนักเต้าหู้ ปริมาณความชื้น ความแข็ง ความเหนียว ลักษณะปรากฏของเต้าหู้ ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.10 และ 4.11 พบว่าแรงกดที่ใช้มีผลทำให้น้ำหนักเต้าหู้ ปริมาณความชื้น ความแข็ง และความเหนียวของเต้าหู้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) น้ำหนักเต้าหู้ ปริมาณความชื้นลดลงเมื่อเพิ่มแรงกด ความแข็งและความเหนียวเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มแรงกด ซึ่งที่แรงกด 60 กรัมต่อตารางเซนติเมตร มีความแข็งและความเหนียวมากที่สุด และที่แรงกด 20 กรัมต่อตารางเซนติเมตร ให้ก้อนเต้าหู้ที่มีความแข็งและความเหนือน้อยที่สุด จากลักษณะปรากฏของเต้าหู้ พบว่าเมื่อแรงกดเพิ่มขึ้นจะทำให้ผิวก้อนเต้าหู้เรียบ รูพรุนน้อยลง เนื้อติดกันดีขึ้น แข็ง และที่แรงกด 30 40 50 และ 60 กรัมต่อตารางเซนติเมตร มีลักษณะปรากฏไม่แตกต่างกัน และปริมาณความชื้นยังอยู่ในช่วงเดียวกัน ดังนั้น ปริมาณแรงกดที่เหมาะสมต่อการผลิตเต้าหู้ คือ 30 กรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งให้ลักษณะปรากฏของเต้าหู้ที่ดี คือ ผิวเรียบ เนื้อติดกันดี แข็ง

ตารางที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักเต้าหู้ (g) ปริมาณความชื้น (%) ของเต้าหู้ที่ได้จากการใช้แคลเซียมซัลเฟตเข้มข้น 0.02 โมลาร์โดยแปรแรงกดที่ใช้ขึ้นรูปก้อนเต้าหู้

แรงกดที่ใช้ ขึ้นรูปเต้าหู้ (g/cm ²)	ค่าเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	น้ำหนักเต้าหู้ (g)	ปริมาณความชื้น (%)
20	487.94 ^a ±12.15	79.12 ^a ±0.61
30	383.30 ^b ±8.00	77.67 ^b ±0.45
40	340.85 ^c ±13.47	77.08 ^{bc} ±0.47
50	334.09 ^c ±12.97	77.23 ^b ±0.36
60	306.97 ^d ±9.77	76.27 ^c ±0.44

a,b,c.... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยความแข็ง(kg) ความเหนียว และลักษณะปรากฏของก้อนเต้าหู้ที่ได้จากการใช้แคลเซียมซัลเฟตเข้มข้น 0.02 โมลาร์โดยแปรแรงกดที่ใช้ขึ้นรูปก้อนเต้าหู้

แรงกดที่ใช้ ขึ้นรูปเต้าหู้ (g/cm ²)	ค่าเฉลี่ย \pm เบี่ยงเบนมาตรฐาน		ลักษณะปรากฏของเต้าหู้
	ความแข็ง (kg)	ความเหนียว	
20	0.79 ^a \pm 0.02	0.47 ^c \pm 0.05	มีรูพรุนที่ผิว เนื้อไม่ค่อยติดกัน นิ่ม
30	0.94 ^c \pm 0.01	0.49 ^b \pm 0.03	ผิวค่อนข้างเรียบ เนื้อติดกันดี แข็ง
40	0.96 ^c \pm 0.03	0.50 ^{ab} \pm 0.02	ผิวเรียบดี เนื้อติดกันดี แข็งมากขึ้น
50	0.97 ^b \pm 0.02	0.51 ^{ab} \pm 0.01	ผิวเรียบดี เนื้อติดกันดี แข็งมาก
60	1.01 ^a \pm 0.08	0.53 ^a \pm 0.03	ผิวเรียบดี เนื้อติดกันดี แข็งมาก

a,b,c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.4 การศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ลดความชื้นที่ผิวก้อนเต้าหู้

ในการศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการอบไล่ความชื้นที่ผิวก้อนเต้าหู้ ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.12 และ 4.13 พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิต่ำ คือ 60 องศาเซลเซียส ที่ทุก ๆ เวลา ผิวหน้าของก้อนเต้าหู้ยังคงมีความชื้นสูง ซึ่งเป็นภาวะที่ไม่เหมาะต่อการเจริญของเชื้อรา และไม่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียและยีสต์ที่อาจปนเปื้อนมาในระหว่างการผลิต ทำให้มีการเจริญของเชื้อที่ปนเปื้อนมา เชื้อราจึงไม่สามารถเจริญได้ และที่อุณหภูมิสูง คือ 100 องศาเซลเซียส ที่ทุก ๆ เวลา ผิวหน้าของก้อนเต้าหู้จะมีลักษณะแห้ง แข็ง เป็นสีน้ำตาลเข้ม ไม่คงรูปสีเหลี่ยมลูกบาศก์เหมือนเดิม คือ บริเวณมุมและขอบจะหดตัว เชื้อราสามารถเจริญได้ดี แต่เมื่อใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ที่ 15 นาที จะสามารถลดความชื้นที่ผิวก้อนเต้าหู้ได้เป็นอย่างดี และไม่ทำลักษณะปรากฏของก้อนเต้าหู้เสียไป คือ ไม่ทำให้ผิวของก้อนเต้าหู้แห้ง แข็งหรือขึ้นเกินไป เชื้อราสามารถเจริญได้ดี

ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้น (%) ความแข็ง (kg) และความเหนียวของก้อนเต้าหู้ที่อบไล่ความชื้นที่ผิวก้อนเต้าหู้ โดยแปรอุณหภูมิและเวลาในการอบ

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ค่าเฉลี่ย \pm เบี่ยงเบนมาตรฐาน		
		ปริมาณความชื้น (%)	ความแข็ง (kg)	ความเหนียว
60	0*	77.56 ^{ab} \pm 0.52	0.47 ^f \pm 0.02	0.26 ^e \pm 0.02
	10	77.16 ^{abc} \pm 0.22	0.49 ^e \pm 0.01	0.26 ^e \pm 0.02
	15	77.06 ^{bc} \pm 0.06	0.50 ^e \pm 0.01	0.27 ^e \pm 0.03
	20	76.63 ^{bcd} \pm 0.17	0.57 ^d \pm 0.02	0.28 ^e \pm 0.03
	25	76.07 ^{cde} \pm 0.69	0.73 ^b \pm 0.02	0.37 ^d \pm 0.02
80	0*	77.56 ^{ab} \pm 0.52	0.47 ^f \pm 0.02	0.26 ^e \pm 0.02
	10	76.87 ^{bcd} \pm 0.31	0.57 ^d \pm 0.10	0.36 ^{cd} \pm 0.001
	15	75.44 ^{bc} \pm 0.58	0.64 ^c \pm 0.09	0.37 ^{bc} \pm 0.01
	20	75.32 ^{bcd} \pm 1.03	0.64 ^c \pm 0.03	0.41 ^{ab} \pm 0.001
	25	75.09 ^{de} \pm 0.02	0.74 ^b \pm 0.09	0.42 ^a \pm 0.002
100	0*	77.56 ^{ab} \pm 0.52	0.47 ^f \pm 0.02	0.26 ^e \pm 0.02
	10	76.03 ^a \pm 0.45	0.74 ^b \pm 0.04	0.32 ^d \pm 0.01
	15	75.85 ^{ab} \pm 0.42	0.90 ^a \pm 0.08	0.37 ^{bcd} \pm 0.01
	20	75.64 ^{bcd} \pm 0.68	0.91 ^a \pm 0.01	0.36 ^{cd} \pm 0.01
	25	75.54 ^e \pm 1.08	0.91 ^a \pm 0.31	0.37 ^{bcd} \pm 0.02

*control

a,b,c,.... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.13 ผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบไล่ความชื้นที่ผิวก้อนเต้าหู้ที่มีผลต่อการเจริญของ *A. elegans* ในการบ่มก้อนเต้าหู้เป็นเวลา 3 วัน และลักษณะปรากฏของก้อนเต้าหู้หลังการอบไล่ความชื้น

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	การเจริญของเชื้อรา (วัน)			ลักษณะปรากฏของก้อนเต้าหู้หลัง การอบไล่ความชื้น
		1	2	3	
60	10	±	+	—	ผิวหน้าเปียกน้ำ ความชื้นสูง
	15	±	++	—	ผิวหน้ายังมีน้ำอยู่ ความชื้นสูง
	20	±	++	—	ผิวหน้าขึ้น ยังมีน้ำที่ผิวเล็กน้อย
	25	±	++	++++	ผิวหน้าหมด ไม่มีน้ำที่ผิว
80	10	±	++++	+++++	ผิวหน้าหมด ไม่มีน้ำที่ผิว
	15	±	++++	+++++	ผิวหน้าแห้ง
	20	±	++++	+++++	ผิวหน้าแห้ง ขอบแห้งแข็ง
	25	±	++++	+++++	ผิวหน้าแห้ง ขอบแห้งจนเป็นสีน้ำตาล
100	10	±	++++	+++++	ผิวหน้าหมด ขอบแห้งแข็ง
	15	±	++++	+++++	ผิวหน้าแห้ง ขอบเริ่มเป็นสีน้ำตาล
	20	±	++++	+++++	ผิวหน้าแห้งมาก ขอบและมุมเป็น สีน้ำตาลเข้ม ก้อนเต้าหู้เริ่มหดตัว
	25	±	++++	+++++	ผิวหน้าแห้งมาก ขอบและมุมเป็น สีน้ำตาลไหม้ ก้อนเต้าหู้หดตัวมากขึ้น

หมายเหตุ

- Contaminate
- ± trace of visible growth
- +
- ++ mycelium growth almost covering the surface of tofu
- +++ abundant growth covering the entire surface of tofu
- ++++ luxuriant growth covering tofu
- +++++ heavy growth

4.5 การศึกษาและคัดเลือกเชื้อราที่ใช้ในการหมักเต้าหู้

เตรียมเต้าหู้โดยใช้ชนิดและปริมาณสารตกตะกอนที่เลือกใช้จากผลการทดลองข้อ 4.2 แรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูปเต้าหู้จากผลการทดลองข้อ 4.3 ใช้อุณหภูมิและเวลาในการอบไล่ความชื้นจากผิวก้อนเต้าหู้จากผลการทดลองข้อ 4.4 ใช้เชื้อราที่มีการรายงานไว้ 3 สายพันธุ์ ได้แก่ *A. elegans*, *M. hiemalis* และ *R. oligosporus* และเตรียมเต้าหู้ก่อนใส่เชื้อราตามวิธีข้อ 3.2.5 โดยแยกการศึกษาเป็น 2 ช่วง ดังนี้

4.5.1 ผลการบ่มก้อนเต้าหู้ เป็นเวลา 6 วัน คือในวันที่ 0, 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 โดยพิจารณาจากกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอส ความแข็ง ความเหนียว และสังเกตลักษณะการขึ้นปกคลุมก้อนเต้าหู้ของเส้นใยเชื้อรา ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.14 -4.20

การเจริญของเชื้อราบนก้อนเต้าหู้ พบว่าเชื้อ *A. elegans* จะเจริญได้ดีและเร็วกว่าเชื้อสายพันธุ์อื่น และเส้นใยมีความเหนียวมาก โดยที่เวลาในการบ่ม 24 ชั่วโมง เชื้อ *A. elegans* จะเริ่มเจริญเห็นเป็นเส้นใยสีขาวบนก้อนเต้าหู้ในขณะที่เชื้อตัวอื่นยังไม่มีการสร้างเส้นใยบนก้อนเต้าหู้ และพบว่า *M. hiemalis* และ *R. oligosporus* จะเริ่มเห็นเป็นเส้นใยสีขาวขึ้นเมื่อบ่มก้อนเต้าหู้ นาน 36 ชั่วโมง ซึ่งเส้นใยของ *M. hiemalis* จะมีความเหนียวน้อยกว่าเส้นใยของ *A. elegans* และเส้นใยของ *R. oligosporus* จะมีความเปราะ ยุ่ยกว่าเส้นใยของเชื้อราตัวอื่น และที่ 48 ชั่วโมงเชื้อ *A. elegans* จะเจริญเต็มที่มีเส้นใยสีขาวขึ้นปกคลุมทั่วทั้งก้อนเต้าหู้ ในช่วงนี้จะสังเกตเห็นเชื้อราเริ่มสร้างสปอร์ โดยเห็นเป็นสปอร์สีขาวหม่น แต่เชื้อ *R. oligosporus* จะสังเกตเห็นเป็นสปอร์สีดำ และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิที่ใช้บ่ม ที่อุณหภูมิห้อง ($27 \pm 2^{\circ}\text{C}$) เชื้อ *A. elegans* และ *M. hiemalis* จะเจริญได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส เชื้อ *R. oligosporus* จะเจริญได้ช้ากว่าเชื้อราสายพันธุ์อื่น และในทุก ๆ สายพันธุ์ที่อุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส จะเจริญช้ากว่าที่อุณหภูมิห้อง

ตารางที่ 4.14 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเจริญของ *A. elegans*, *M. hiemalis* และ *R. oligosporus* ในการบ่มก้อนเต้าหู้เป็นเวลา 3 วัน

เชื้อ	อุณหภูมิ (C°)	การเจริญของเชื้อรา (hr)					
		0	24	36	48	60	72
<i>A. elegans</i>	27±2	—	+	+++	++++	+++++	+++++
	23±2	—	±	+	+++	++++	+++++
<i>M. hiemalis</i>	27±2	—	±	++	+++	++++	+++++
	23±2	—	±	+	+++	++++	+++++
<i>R. oligosporus</i>	27±2	—	±	++	+++	++++	++++
	23±2	—	±	+	++	+++	++++

หมายเหตุ

- No growth
- ± trace of visible growth
- +
- ++ mycelium growth almost covering the surface of tofu
- +++ abundant growth covering the entire surface of tofu
- ++++ luxuriant growth covering tofu
- +++++ heavy growth

การบ่มก้อนเต้าหู้ด้วยเชื้อ *A. elegans* จากตารางที่ 4.15 และ 4.16 พบว่า เชื้อ *A. elegans* มีกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสสูงขึ้น และสูงที่สุดในวันที่ 4 ของการบ่มที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นจะลดลง ขณะที่เมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 23±2 องศาเซลเซียส กิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสจะสูงที่สุดในวันที่ 3 และลดลง แต่ค่าของกิจกรรมน้อยกว่าที่อุณหภูมิห้อง

ตารางที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอส (unit/ml) ปริมาณโปรตีน (%) ความแข็ง(kg) และความเหนียวของก้อนเต้าหู้ที่หมักด้วยเชื้อ *A. elegans* ที่อุณหภูมิห้อง (27 ± 2 °C)

วันที่ บ่ม (วัน)	ค่าเฉลี่ย \pm เบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	กิจกรรมของเอนไซม์ โปรติเอส(unit/ml)	ปริมาณโปรตีน (%,dry basis)	ความแข็ง (kg)	ความเหนียว
1	$0.4225^{\pm} \pm 3.536 \times 10^{-3}$	$46.84^{bc} \pm 0.10$	$0.58^{\pm} \pm 0.01$	$0.21^{\pm} \pm 1.414 \times 10^{-3}$
2	$0.6800^{\pm} \pm 2.828 \times 10^{-3}$	$45.96^{\pm} \pm 1.54$	$0.67^{\pm} \pm 0.03$	$0.25^{\pm} \pm 1.061 \times 10^{-3}$
3	$1.0160^{\pm} \pm 2.828 \times 10^{-3}$	$50.77^{\pm} \pm 0.50$	$0.84^{\pm} \pm 0.02$	$0.41^{\pm} \pm 2.121 \times 10^{-3}$
4	$1.0680^{\pm} \pm 2.828 \times 10^{-3}$	$47.99^{\pm} \pm 0.64$	$0.91^{\pm} \pm 0.07$	$0.71^{\pm} \pm 2.121 \times 10^{-3}$
5	$0.8860^{\pm} \pm 2.828 \times 10^{-3}$	$46.55^{bc} \pm 0.41$	$0.94^{\pm} \pm 0.04$	$0.78^{\pm} \pm 4.243 \times 10^{-3}$
6	$0.6310^{\pm} \pm 1.414 \times 10^{-3}$	$45.96^{\pm} \pm 0.10$	$0.99^{\pm} \pm 0.03$	$0.79^{\pm} \pm 4.243 \times 10^{-3}$

a,b,c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.16 ค่าเฉลี่ยกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอส (unit/ml) ปริมาณโปรตีน (%) ความแข็ง(kg) และความเหนียวของก้อนเต้าหู้ที่หมักด้วยเชื้อ *A. elegans* ที่อุณหภูมิ 23 ± 2 °C

วันที่ บ่ม (วัน)	ค่าเฉลี่ย \pm เบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	กิจกรรมของเอนไซม์ โปรติเอส(unit/ml)	ปริมาณโปรตีน (%,dry basis)	ความแข็ง (kg)	ความเหนียว
1	$0.3500^{\pm} \pm 1.273 \times 10^{-2}$	$45.76^{\pm} \pm 0.44$	$0.57^{\pm} \pm 0.03$	$0.29^{\pm} \pm 4.950 \times 10^{-3}$
2	$0.4255^{\pm} \pm 7.778 \times 10^{-3}$	$45.82^{\pm} \pm 0.10$	$0.62^{\pm} \pm 0.13$	$0.33^{\pm} \pm 2.121 \times 10^{-3}$
3	$1.0050^{\pm} \pm 4.243 \times 10^{-3}$	$51.29^{\pm} \pm 0.35$	$0.68^{\pm} \pm 0.03$	$0.48^{\pm} \pm 5.657 \times 10^{-3}$
4	$0.8745^{\pm} \pm 1.061 \times 10^{-2}$	$50.13^{\pm} \pm 0.13$	$0.70^{\pm} \pm 0.09$	$0.60^{\pm} \pm 8.485 \times 10^{-3}$
5	$0.7655^{\pm} \pm 4.950 \times 10^{-3}$	$47.96^{\pm} \pm 0.38$	$0.87^{\pm} \pm 0.17$	$0.71^{\pm} \pm 6.364 \times 10^{-3}$
6	$0.6370^{\pm} \pm 1.838 \times 10^{-2}$	$45.73^{\pm} \pm 0.08$	$0.91^{\pm} \pm 0.01$	$0.75^{\pm} \pm 5.657 \times 10^{-3}$

a,b,c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

การบ่มก้อนเต้าหู้ด้วยเชื้อ *M. hiemalis* จากตารางที่ 4.17 และ 4.18 พบว่าเชื้อ *M. hiemalis* มีกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสสูงขึ้น และสุดท้ายสุดในวันที่ 5 ของการบ่มที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นจะลดลง ขณะที่เมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส กิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสจะสูงสุดในวันที่ 5 และลดลงแต่ค่าของกิจกรรมน้อยกว่าที่อุณหภูมิห้อง

ตารางที่ 4.17 ค่าเฉลี่ยกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอส(unit/ml) ปริมาณโปรตีน (%) ความแข็ง(kg) และความเหนียวของก้อนเต้าหู้ที่หมักด้วยเชื้อ *M. hiemalis* ที่อุณหภูมิห้อง (27 ± 2 °C)

วันที่ บ่ม (วัน)	ค่าเฉลี่ย \pm เบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	กิจกรรมของเอนไซม์ โปรติเอส(unit/ml)	ปริมาณโปรตีน (%,dry basis)	ความแข็ง (kg)	ความเหนียว
1	$0.3145^1 \pm 3.536 \times 10^{-3}$	$47.78^b \pm 0.01$	$0.53^1 \pm 0.15$	$0.29^a \pm 3.536 \times 10^{-3}$
2	$0.6195^a \pm 2.121 \times 10^{-3}$	$43.51^c \pm 1.72$	$0.56^a \pm 0.03$	$0.30^a \pm 8.485 \times 10^{-3}$
3	$0.8560^c \pm 2.828 \times 10^{-3}$	$51.81^a \pm 0.27$	$0.62^d \pm 0.02$	$0.34^d \pm 2.404 \times 10^{-2}$
4	$1.0195^b \pm 2.121 \times 10^{-3}$	$49.35^b \pm 0.21$	$0.71^c \pm 0.02$	$0.51^c \pm 1.414 \times 10^{-2}$
5	$1.0850^a \pm 4.243 \times 10^{-3}$	$48.18^b \pm 0.26$	$0.83^b \pm 0.05$	$0.55^b \pm 6.364 \times 10^{-3}$
6	$0.6355^d \pm 4.950 \times 10^{-3}$	$45.15^c \pm 0.02$	$0.90^a \pm 0.02$	$0.72^a \pm 1.273 \times 10^{-2}$

a,b,c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.18 ค่าเฉลี่ยกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอส (unit/ml) ปริมาณโปรตีน (%) ความแข็ง(kg) และความเหนียวของก้อนเต้าหู้ที่หมักด้วยเชื้อ *M. hiemalis* ที่อุณหภูมิ 23 ± 2 °C

วันที่ บ่ม (วัน)	ค่าเฉลี่ย \pm เบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	กิจกรรมของเอนไซม์ โปรติเอส(unit/ml)	ปริมาณโปรตีน (%, dry basis)	ความแข็ง (kg)	ความเหนียว
1	$0.3025^f \pm 7.071 \times 10^{-4}$	$46.15^f \pm 0.21$	$0.54^f \pm 0.07$	$0.24^f \pm 6.364 \times 10^{-3}$
2	$0.5280^e \pm 2.828 \times 10^{-3}$	$49.39^e \pm 0.18$	$0.58^e \pm 0.10$	$0.31^e \pm 5.657 \times 10^{-3}$
3	$0.7935^d \pm 6.364 \times 10^{-3}$	$50.06^d \pm 0.06$	$0.65^d \pm 0.01$	$0.47^d \pm 8.485 \times 10^{-3}$
4	$1.0060^b \pm 5.657 \times 10^{-3}$	$51.59^c \pm 0.11$	$0.71^c \pm 0.04$	$0.52^c \pm 4.950 \times 10^{-3}$
5	$1.0800^a \pm 2.828 \times 10^{-3}$	$48.72^d \pm 0.33$	$0.81^b \pm 0.24$	$0.61^b \pm 9.192 \times 10^{-3}$
6	$0.6065^d \pm 6.364 \times 10^{-3}$	$47.18^c \pm 0.12$	$0.90^a \pm 0.06$	$0.67^a \pm 8.485 \times 10^{-3}$

a,b,c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

การบ่มก้อนเต้าหู้ด้วยเชื้อ *R. oligosporus* จากตารางที่ 4.19 และ 4.20 พบว่าเชื้อ *R. oligosporus* มีกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสสูงขึ้น และสุดท้ายในวันที่ 6 ของการบ่มที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นจะลดลง ขณะที่เมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส กิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสจะสูงสุดในวันที่ 5 และลดลงแต่ค่าของกิจกรรมน้อยกว่าที่อุณหภูมิห้อง จากการเจริญของเชื้อ *R. oligosporus* มีการสร้างแอมโนเนียขึ้นด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.19 ค่าเฉลี่ยกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอส(unit/ml) ปริมาณโปรตีน (%) ความแข็ง(kg) และความเหนียวของก้อนเต้าหู้ที่หมักด้วยเชื้อ *R. oligosporus* ที่อุณหภูมิห้อง (27 ± 2 °C)

วันที่ ป่ม (วัน)	ค่าเฉลี่ย \pm เบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	กิจกรรมของเอนไซม์ โปรติเอส(unit/ml)	ปริมาณโปรตีน (%,dry basis)	ความแข็ง (kg)	ความเหนียว
1	$0.2140^{\pm} \pm 5.657 \times 10^{-3}$	$47.36^b \pm 0.10$	$0.55^f \pm 0.01$	$0.23^i \pm 4.950 \times 10^{-3}$
2	$0.3390^d \pm 1.838 \times 10^{-2}$	$47.77^{ab} \pm 0.29$	$0.60^e \pm 0.05$	$0.30^g \pm 1.344 \times 10^{-2}$
3	$0.6195^c \pm 6.364 \times 10^{-3}$	$48.07^a \pm 0.08$	$0.62^d \pm 0.02$	$0.34^d \pm 5.657 \times 10^{-3}$
4	$0.8985^b \pm 4.950 \times 10^{-3}$	$45.79^c \pm 0.23$	$0.69^c \pm 0.14$	$0.50^c \pm 5.657 \times 10^{-3}$
5	$0.9945^{\pm} \pm 1.061 \times 10^{-2}$	$45.44^{cd} \pm 0.16$	$0.73^b \pm 0.09$	$0.56^b \pm 1.131 \times 10^{-2}$
6	$1.0065^{\pm} \pm 3.536 \times 10^{-3}$	$45.30^d \pm 0.16$	$0.81^a \pm 0.09$	$0.69^a \pm 2.121 \times 10^{-3}$

a,b,c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.20 ค่าเฉลี่ยกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอส(unit/ml) ปริมาณโปรตีน (%) ความแข็ง(kg) และความเหนียวของก้อนเต้าหู้ที่หมักด้วยเชื้อ *R. oligosporus* ที่อุณหภูมิ 23 ± 2 °C

วันที่ป่ม (วัน)	ค่าเฉลี่ย \pm เบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	กิจกรรมของเอนไซม์ โปรติเอส(unit/ml)	ปริมาณโปรตีน (%,dry basis)	ความแข็ง (kg)	ความเหนียว
1	$0.1990^{\pm} \pm 1.414 \times 10^{-3}$	$47.36^b \pm 0.10$	$0.54^f \pm 0.14$	$0.23^i \pm 3.536 \times 10^{-3}$
2	$0.2370^e \pm 4.243 \times 10^{-3}$	$47.77^{ab} \pm 0.29$	$0.60^e \pm 0.11$	$0.28^g \pm 2.828 \times 10^{-3}$
3	$0.4205^d \pm 7.778 \times 10^{-3}$	$48.07^a \pm 0.08$	$0.66^d \pm 0.09$	$0.37^d \pm 6.364 \times 10^{-3}$
4	$0.8995^b \pm 3.536 \times 10^{-3}$	$45.79^c \pm 0.23$	$0.72^c \pm 0.11$	$0.46^c \pm 1.202 \times 10^{-2}$
5	$1.0100^{\pm} \pm 2.828 \times 10^{-3}$	$45.44^{cd} \pm 0.16$	$0.80^b \pm 0.09$	$0.50^b \pm 1.131 \times 10^{-2}$
6	$0.7190^c \pm 1.273 \times 10^{-3}$	$45.30^d \pm 0.16$	$0.86^a \pm 0.10$	$0.53^a \pm 1.061 \times 10^{-2}$

a,b,c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.5.2 ผลการหมักในสารละลายน้ำเกลือ

โดยทำตามวิธีข้อ 3.2.5.2 และติดตามผลการหมักในสารละลายน้ำเกลือ 12% ที่สัปดาห์ 0, 2, 4, 6 และ 8 ของการหมัก โดยจะใช้เชื้อ *A. elegans* และ *M. hiemalis* เท่านั้น เนื่องจากเชื้อ *R. oligosporus* สามารถผลิตแอมโมเนียได้ ซึ่งเป็นกลิ่นที่ไม่ถึงประสงค์จึงไม่นำมาพิจารณาในการทดลองนี้ เมื่อพิจารณาปริมาณไนโตรเจนที่ละลายได้ในน้ำ กิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสในก้อนเต้าหู้และในสารละลายน้ำเกลือ 12% ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.21-4.22 พบว่า ปริมาณไนโตรเจนที่ละลายได้ในน้ำของก้อนเต้าหู้หมักด้วยเชื้อ *A. elegans* และ *M. hiemalis* มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการหมักเพิ่มขึ้น ซึ่งก้อนเต้าหู้ที่หมักด้วยเชื้อ *A. elegans* จะให้ปริมาณไนโตรเจนที่ละลายได้ในน้ำสูงกว่าก้อนเต้าหู้ที่หมักด้วยเชื้อ *M. hiemalis* เมื่อพิจารณาค่ากิจกรรมเอนไซม์โปรติเอสทั้งในก้อนเต้าหู้และในสารละลายน้ำเกลือ 12% พบว่าค่ากิจกรรมของเอนไซม์จะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการหมักเพิ่มขึ้นทั้งเชื้อ *A. elegans* และ *M. hiemalis* โดยเชื้อ *A. elegans* จะมีค่ากิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสสูงกว่าเชื้อ *M. hiemalis* และค่ากิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสในก้อนเต้าหู้มีค่ามากกว่าในสารละลายน้ำเกลือ 12%

ตารางที่ 4.21 ค่าเฉลี่ยดัชนีการละลายได้ของไนโตรเจน (%) ของก้อนเต้าหู้ที่หมักด้วยเชื้อ *A. elegans* และ *M. hiemalis*

สัปดาห์ที่	ค่าเฉลี่ย±เบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	ค่าดัชนีการละลายได้ของไนโตรเจน (%)	
	<i>A. elegans</i>	<i>M. hiemalis</i>
0	9.54 ^a ±1.60	9.06 ^a ±0.96
2	22.16 ^b ±2.08	20.02 ^b ±1.83
4	41.20 ^c ±1.40	32.14 ^c ±0.26
6	45.57 ^d ±1.64	41.69 ^d ±0.63
8	49.26 ^e ±2.99	46.52 ^e ±1.48

a,b,c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.22 ค่าเฉลี่ยกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอส (unit/ml) ในก้อนเต้าหู้และในสารละลาย น้ำเกลือ 12% ของก้อนเต้าหู้ที่หมักด้วยเชื้อ *A. elegans* และ *M. hiemalis*

สัปดาห์ที่	ค่าเฉลี่ย±เบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	กิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอส (unit/ml)			
	ในก้อนเต้าหู้		ในสารละลายน้ำเกลือ 12%	
	<i>A. elegans</i>	<i>M. hiemalis</i>	<i>A. elegans</i>	<i>M. hiemalis</i>
0	0.231 ^{bc} ±0.110	0.087 ^a ±0.012	0.071 ^d ±0.016	0.057 ^a ±0.013
2	0.147 ^c ±0.140	0.194 ^d ±0.018	0.163 ^c ±0.046	0.104 ^d ±0.009
4	0.289 ^{abc} ±0.065	0.223 ^c ±0.013	0.299 ^b ±0.058	0.243 ^c ±0.005
6	0.362 ^{ab} ±0.015	0.257 ^b ±0.010	0.375 ^a ±0.017	0.313 ^b ±0.016
8	0.397 ^a ±0.006	0.371 ^a ±0.017	0.423 ^a ±0.001	0.373 ^a ±0.024

a,b,c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.6 ผลของการทำเต้าหู้ยี้ โดยนำผลของปัจจัยต่าง ๆ มาใช้ร่วมกันในการผลิต

โดยนำผลของปัจจัยต่าง ๆ จากข้อ 4.2 ถึง 4.5 มาทดลองทำเต้าหู้ยี้ แยกศึกษาดังนี้

4.6.1 นำปัจจัยต่าง ๆ ที่ทดลองแล้วว่ามีเหมาะสมมาใช้ในการผลิตเต้าหู้ยี้

ซึ่งจะทำตามกระบวนการผลิตดังรูปที่ 2.1 หมักก้อนเต้าหู้เป็นเวลา 8 สัปดาห์แล้วนำมาใส่ น้ำปรุงตามสูตรที่แสดงดังภาคผนวก จ และคะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสในแต่ละด้านที่ทดสอบมีคะแนนเต็ม 9 เต้าหู้ยี้จากแหล่งต่าง ๆ มีลักษณะดังนี้ เต้าหู้ยี้ที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างที่มีขายในท้องตลาดโดยสุ่มจากที่มีขายทั้งเต้าหู้ยี้ที่ผลิตในประเทศ (ที่มีขายอย่างแพร่หลาย) คือ ตราเด็กซีกิเลนที่ผลิตในท้องถิ่น คือ ตราสวย, ที่ผลิตจากต่างประเทศ คือ ตราจุกัง และที่ผลิตเองจากเชื้อ *A. elegans* และ *M. hiemalis* ซึ่งเต้าหู้ยี้ตราจุกัง จะมีสีแดงจัดจากด้านนอก ส่วนด้านในจะมีสีแดงออกเหลือง เนื้อนุ่ม แต่ลักษณะภายนอกยังคงรูปร่างของก้อนได้ดี มีขนาดประมาณ 3 X 3 X 3 ลูกบาศก์เซนติเมตร กลิ่นหอม รสเค็ม น้ำปรุงมีสีแดงและมีรสเค็ม, เต้าหู้ยี้ตราเด็กซีกิเลน มีสีแดง ลักษณะของก้อนเหมือนก้อนเต้าหู้สด แต่มีความแน่นของเนื้อมากกว่า มีขนาดประมาณ 2.5 X 2.5 X 3 ลูกบาศก์เซนติเมตร กลิ่นหอม รสเค็ม น้ำปรุงมีสีแดงและมีรสเค็ม,

ตัวหุ้ยี่ตราเสวย มีสีน้ำตาลออกเหลือง ลักษณะของก้อนยังคงรูปได้ดี มีขนาด 3 X 3 X 2 ลูก บาศก์เซนติเมตร กลิ่นหอม มีรสเค็มกลมกล่อม

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสดังแสดงในตารางที่ 4.23 พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนลักษณะปรากฏภายนอกของตัวหุ้ยี่ตราเด็กซีกิเลนสูงสุด และตราเสวย ตราจุกัง ที่ผลิตจากเชื้อ *A. elegans* และ *M. hiemalis* ลดลงตามลำดับ แต่ลักษณะปรากฏภายใน พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนตัวหุ้ยี่ตราเด็กซีกิเลนสูงสุด และตราเสวย ตราจุกัง ที่ผลิตจากเชื้อ *A. elegans* และ *M. hiemalis* ลดลงตามลำดับ ในด้านลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่า คะแนนของตัวหุ้ยี่ตราเด็กซีกิเลนจะสูงสุด รองลงมาคือตราเสวย ตัวหุ้ยี่ที่ทำจากเชื้อ *M. hiemalis* และ *A. elegans* ตามลำดับ ในด้านการยอมรับรวม พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนตัวหุ้ยี่ตราเสวยสูงสุด และตราเด็กซีกิเลน ตัวหุ้ยี่ที่ทำจาก *A. elegans* ตัวหุ้ยี่ตราจุกัง และตัวหุ้ยี่ที่ทำจาก *M. hiemalis* ในด้านกลิ่นรส พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.23 คะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสของตัวหุ้ยี่ที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างที่มีขายในท้องตลาดและที่ผลิตเอง

ตัวอย่างตัวหุ้ยี่	คะแนนเฉลี่ย \pm เบี่ยงเบนมาตรฐาน				
	ลักษณะปรากฏ		กลิ่นรส ^{ns}	ลักษณะเนื้อสัมผัส	การยอมรับรวม
	ภายนอก	ภายใน			
ตราจุกัง	8.13 ^a \pm 0.74	6.67 ^{ab} \pm 2.58	6.87 \pm 2.10	4.80 ^b \pm 2.18	7.13 ^{ab} \pm 1.60
ตราเด็กซีกิเลน	8.73 ^a \pm 0.46	8.00 ^a \pm 1.46	5.93 \pm 2.40	7.47 ^a \pm 1.51	7.20 ^{ab} \pm 1.37
ตราเสวย	8.47 ^a \pm 0.92	7.53 ^b \pm 1.55	7.53 \pm 1.41	7.13 ^a \pm 1.68	8.00 ^a \pm 0.65
<i>A. elegans</i> *	6.67 ^b \pm 1.18	5.07 ^c \pm 1.94	6.67 \pm 1.23	5.60 ^b \pm 2.13	7.27 ^{ab} \pm 1.03
<i>M. hiemalis</i> **	6.07 ^b \pm 1.67	5.80 ^{bc} \pm 2.37	6.33 \pm 2.74	6.20 ^{ab} \pm 1.9	6.93 ^b \pm 1.49

a,b,c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

* ตัวหุ้ยี่ที่ใช้เชื้อ *A. elegans*

** ตัวหุ้ยี่ที่ใช้เชื้อ *M. hiemalis*

4.6.2 คุณภาพทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ที่ได้กับที่มีขายในท้องตลาดในด้าน ปริมาณโปรตีน ไขมัน เส้นใย เถ้า คาร์โบไฮเดรต และความชื้น

จากการตรวจคุณภาพทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ที่ได้กับที่มีขายในท้องตลาดในด้านต่าง ๆ ผลดังแสดงในตารางที่ 4.25 พบว่า เต้าหู้ยี้ที่ทำจากเชื้อ *M. hiemalis* มีความชื้นสูงสุด และ เต้าหู้ยี้ตราเสวยมีความชื้นต่ำสุด ในด้านโปรตีน พบว่า เต้าหู้ยี้ตราเสวยมีปริมาณมากที่สุด และ เต้าหู้ยี้ที่ทำจากเชื้อ *A. elegans* ตราเด็กชีกิเลน เต้าหู้ยี้ที่ทำจากเชื้อ *M. hiemalis* และ เต้าหู้ยี้ตราจุกัง มีปริมาณลดลงตามลำดับ ในด้านไขมัน พบว่า เต้าหู้ยี้ที่ทำจากเชื้อ *A. elegans* มีปริมาณมากที่สุด และเต้าหู้ยี้ที่ทำจาก *M. hiemalis* มีปริมาณน้อยที่สุด ในด้านเส้นใย พบว่า เต้าหู้ยี้ที่ทำจากเชื้อ *M. hiemalis* มีปริมาณมากที่สุด และเต้าหู้ยี้ที่ทำจากเชื้อ *A. elegans* ตราเสวย ตราเด็กชีกิเลน และเต้าหู้ยี้ตราจุกังมีปริมาณน้อยลงตามลำดับ ในด้านเถ้า พบว่าเต้าหู้ยี้ เต้าหู้ยี้ที่ทำจากเชื้อ *A. elegans* มีปริมาณมากที่สุด และเต้าหู้ยี้ตราเสวย มีปริมาณน้อยที่สุด และในด้านคาร์โบไฮเดรต พบว่า เต้าหู้ยี้ตราจุกังมีปริมาณมากที่สุด

ตารางที่ 4.24 ค่าเฉลี่ยองค์ประกอบทางเคมีของเต้าหู้ยี้ที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างที่มีขายในท้องตลาดและที่ผลิตเอง

องค์ประกอบ	ค่าเฉลี่ย ^a ±เบี่ยงเบนมาตรฐาน				
	ตราจุกัง	ตราเด็กชีกิเลน	ตราเสวย	เต้าหู้ยี้ทำจาก <i>A. elegans</i>	เต้าหู้ยี้ทำจาก <i>M. hiemalis</i>
ความชื้น*	58.82 ^c ±0.31	56.80 ^d ±0.38	56.01 ^e ±0.25	62.68 ^b ±0.12	74.34 ^a ±0.42
โปรตีน*	27.22 ^b ±2.43	29.43 ^b ±0.75	33.62 ^a ±0.61	29.75 ^b ±1.75	29.23 ^b ±0.82
ไขมัน*	17.70 ^c ±2.16	31.67 ^b ±0.09	20.79 ^c ±0.89	12.14 ^d ±4.18	14.34 ^b ±0.12
เส้นใย*	4.08 ^d ±0.39	8.32 ^c ±0.60	8.35 ^c ±0.07	11.74 ^b ±0.59	19.29 ^a ±0.72
เถ้า*	0.24 ^{cd} ±0.02	0.30 ^b ±0.02	0.21 ^d ±0.02	0.38 ^a ±0.006	0.26 ^c ±0.01
คาร์โบไฮเดรต**	50.86 ^a ±3.13	30.24 ^c ±0.99	37.81 ^b ±0.59	15.99 ^d ±5.40	16.82 ^d ±0.93

a,b,c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

* ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ครั้ง

* % โดยน้ำหนักแห้ง

**หาโดยผลต่างจาก 100%