

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เต้าหู้จากกากงาขาวผสมลูกเดี๋ยย

Development of Tofu from White Sesame Meal and Job's Tears

ศิริพร ดลภักนิยมกุล วารางคณา สมพงษ์ และ สมโภช พจนพิมล

Siriporn Dolpakniyomkul, Warangkana Sompongse, and Sompoche Pojjanapimol

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์เต้าหู้จากกากงาขาว ลูกเดี๋ยย และข้าวโพด โดยทำการศึกษหาสูตรและภาวะการผลิตที่เหมาะสม ได้แก่ อัตราส่วนของกากงาขาว ลูกเดี๋ยย และข้าวโพด ภาวะการให้ความร้อนและภาวะการตกตะกอน พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมของกากงาขาวและลูกเดี๋ยย คือ 0.69 : 0.31 โดยไม่ใส่ข้าวโพดเนื่องจากทำให้เต้าหู้ที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันต่ำ ภาวะการให้ความร้อนที่เหมาะสม คือ $90 \pm 2^{\circ}\text{C}$ นาน 10 นาที และภาวะการตกตะกอนที่เหมาะสม คือ การเติมแมกนีเซียมซัลเฟต 3% ของน้ำหนักวัตถุดิบ และทิ้งให้ตกตะกอนนาน 40 นาที และเมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์คุณภาพ พบว่า มีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เส้นใย และเถ้า เท่ากับ 71.44 ± 0.11 , 15.67 ± 0.02 , 4.23 ± 0.09 , 6.49 ± 0.04 , 0.10 ± 0.01 และ $2.07 \pm 0.14\%$ (ของน้ำหนักเปียก) ตามลำดับ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด เท่ากับ 23 ± 5.77 และยีสต์และรา น้อยกว่า 10 โคโลนีต่อกรัม ตามลำดับ มีค่า TBA เท่ากับ 0.06 ± 0.00 มิลลิกรัมมาโลนัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม มีค่าความแข็งเท่ากับ 448.80 ± 4.95 กรัม ความยืดหยุ่นและความเป็นเนื้อเดียวกันเท่ากับ 1.00 ± 0.00 และ 0.45 ± 0.04 ตามลำดับ

ABSTRACT

The aim of this study was to develop tofu from white sesame, job's tears, and corn. The optimum ratio of white sesame, job's tears, and corn, heating and coagulation conditions were investigated. The optimum ratio of white sesame meal and job's tears was 0.69 : 0.31 with no corn because the product had low cohesiveness. The optimum heating condition was $90 \pm 2^{\circ}\text{C}$ for 10 min and coagulation condition was magnesium sulfate 3% of raw material weight for 40 min. The chemical, microbiological, and textural qualities of the product were analyzed. Protein, fat, carbohydrate, fiber, and ash were 71.44 ± 0.11 , 15.67 ± 0.02 , 4.23 ± 0.09 , 6.49 ± 0.04 , and $2.07 \pm 0.14\%$ (wet basis), respectively. The total plate count was 23 ± 5.77 cfu/g. Yeast and mold count was less than 10 cfu/g. TBA value was 0.06 ± 0.00 mg malonaldehyde/kg. Hardness was 448.80 ± 4.95 g. Springiness and cohesiveness were 1.00 ± 0.00 and 0.45 ± 0.04 , respectively.

Key Words: tofu, sesame, job's tears, response surface methodology

E-mail address: cheeryasc@gmail.com, wsompongse@hotmail.com, sompoche@hotmail.com.

ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12121

Department of Food Science and Technology, Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Rangsit Campus, Patumthanee 12121.

คำนำ

เต้าหู้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเสียสภาพของโปรตีนถั่วเหลืองด้วยความร้อนแล้วเติมสารตกตะกอนลงไปเพื่อช่วยในการเกิดเคิร์ด (ตะกอนโปรตีน) ซึ่งความแตกต่างของภาวะที่ใช้ในการเตรียมจะมีผลต่อลักษณะและคุณภาพของเต้าหู้ แต่เนื่องด้วยวัตถุดิบหลักที่ใช้เป็นถั่วเหลือง จึงทำให้เกิดกลิ่นถั่วซึ่งผู้บริโภคบางส่วนไม่ให้การยอมรับ โดยเฉพาะผู้บริโภคที่ไวต่อกลิ่นถั่ว แม้ว่าจะมีการกำจัดกลิ่นถั่วนี้ให้น้อยลงด้วยวิธีการให้ความร้อนแล้วก็ตาม ประกอบกับโปรตีนจากงา ลูกเดือย และข้าวโพดยังไม่ถูกนำไปแปรรูปหรือพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารมากนัก ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์เต้าหู้จากงา ลูกเดือย และข้าวโพด เพื่อเป็นการเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภค และสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัตถุดิบที่ใช้

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เต้าหู้จากกากงาขาว ลูกเดือย และข้าวโพด โดยทำการศึกษาลักษณะและภาวะการผลิตที่เหมาะสม ได้แก่ อัตราส่วนของกากงาขาว ลูกเดือย และข้าวโพด ภาวะการให้ความร้อน และภาวะการตกตะกอนที่เหมาะสม รวมทั้งวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์

อุปกรณ์และวิธีการ

วัตถุดิบและสารเคมี

กากงาขาวที่ได้จากการนำงาขาวพันธุ์เมืองเลยไปบีบน้ำมันออก ลูกเดือยพันธุ์ข้าวเหนียว ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ 97 แคลเซียมซัลเฟต และแมกนีเซียมซัลเฟต

เครื่องมือและอุปกรณ์

อุปกรณ์เครื่องครัว กระบอกตวง เทอร์โมมิเตอร์ ผ้าขาวบาง พิมพ์สำหรับกด เครื่องปั่นน้ำผลไม้ ถังพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร เครื่องชั่ง ปีกเกอร์ อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นโดยความร้อนจากหลอดไฟฟ้าอินฟราเรด ชุดวิเคราะห์องค์ประกอบของอาหารทางเคมีและจุลินทรีย์

กระบวนการผลิตเต้าหู้เบื้องต้น

แช่ลูกเดือยและข้าวโพดในน้ำสะอาด นาน 6 – 8 ชั่วโมง นำไปปั่นให้ละเอียด แล้วปั่นผสมกับน้ำสะอาดในปริมาณ 4 เท่า กรองเอากากออก จะได้น้ำนมลูกเดือยและน้ำนมข้าวโพด ตามลำดับ ส่วนกากงาขาว นำไปปั่นให้ละเอียด แล้วปั่นผสมกับน้ำสะอาดในปริมาณ 6 เท่า กรองเอากากออก จะได้น้ำนมงาขาว นำไปผสมกันตามอัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบ ได้น้ำนมผสม จากนั้นนำไปให้ความร้อน แล้วลดอุณหภูมิเหลือ 78°C เติมหรือไม่เติมสารตกตะกอน ทั้งให้ตกตะกอน ตักส่วนที่เป็นตะกอนใส่ลงในแม่พิมพ์ แล้วกดทับด้วยน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 15 กรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลานาน 30 นาที

การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของกากงาขาว ลูกเดือย และข้าวโพด

แปรอัตราส่วนของปริมาณกากงาขาว ลูกเดือย และข้าวโพดในน้ำนมผสม ตามการจัดสิ่งทดลองแบบ Mixture design โดยกำหนดปริมาณกากงาขาวขั้นต่ำไว้ที่ 60% ได้ทั้งหมด 9 สิ่งทดลอง (ทำซ้ำจุดตรงกลาง 3 ครั้ง) ดัง Table 1 นำน้ำนมผสมไปหาปริมาณของแข็งทั้งหมดด้วยเครื่องวิเคราะห์หาความชื้นโดยความร้อนจากหลอดไฟฟ้าอินฟราเรด ทำการผลิตเต้าหู้ตามกระบวนการผลิตข้างต้น โดยให้ความร้อน $90 \pm 2^{\circ}\text{C}$ นาน 5 นาที ไม่ใส่สารตกตะกอน ทั้งให้ตกตะกอน 30 นาที คำนวณร้อยละผลผลิต และนำเต้าหู้ที่ได้ไปหาปริมาณความชื้น วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส และทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส สร้างกราฟ response surface และทำการทวนสอบ

Table 1 Ratios of sesame meal, job's tears, and corn for the optimum ratio study.

	Ratio 1	Ratio 2	Ratio 3	Ratio 4	Ratio 5	Ratio 6	Ratio 7 - 9
Sesame meal	1	0.80	0.80	0.60	0.60	0.60	0.74
Job's tears	0	0.20	0	0.40	0	0.20	0.13
Corn	0	0	0.20	0	0.40	0.20	0.13

การศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนที่เหมาะสม

แปรอุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 85 90 และ 95⁰C และแปรเวลา 3 ระดับ คือ 5 10 และ 15 นาที จัดสิ่งทดลองแบบ 3X3 Factorial design ได้ 9 สิ่งทดลอง ทำการผลิตเต้าหู้ตามกระบวนการผลิตข้างต้น โดยไม่ใส่สารตกตะกอน ทั้งให้ตกตะกอน 30 นาที คำนวณร้อยละผลผลิต และนำเต้าหู้ที่ได้ไปหาปริมาณความชื้น วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส และทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การศึกษาชนิดและความเข้มข้นของสารตกตะกอนที่เหมาะสม

แปรชนิดของสารตกตะกอน 2 ชนิด คือ แคลเซียมซัลเฟตและแมกนีเซียมซัลเฟต และแปรความเข้มข้นของสารตกตะกอน 3 ระดับ คือ 1 2 และ 3% ของน้ำหนักวัตถุดิบ จัดสิ่งทดลองแบบ 2X3 Factorial design ได้ 6 สิ่งทดลอง รวมกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใส่สารตกตะกอนอีก 1 สิ่งทดลอง ทำการผลิตเต้าหู้ตามกระบวนการผลิตข้างต้น โดยทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที คำนวณร้อยละผลผลิต และนำเต้าหู้ที่ได้ไปหาปริมาณความชื้น วิเคราะห์ลักษณะ เนื้อสัมผัส และทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการตกตะกอน

แปรระยะเวลาในการตกตะกอน 3 ระดับ คือ 20, 30 และ 40 นาที ทำการผลิตเต้าหู้ตามกระบวนการผลิตข้างต้น คำนวณร้อยละผลผลิต และนำเต้าหู้ที่ได้ไปหาปริมาณความชื้น วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส และทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์

ทำการผลิตเต้าหู้ตามกระบวนการผลิตข้างต้น นำเต้าหู้ที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ไขมัน เกล็ด เกล็ด ความชื้น และคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีของ AOAC (AOAC, 1997) วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ รา ค่า TBA และทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยเก็บเต้าหู้ในภาชนะปิดสนิทและทิ้งไว้ 100 นาที ที่อุณหภูมิห้อง ก่อนทำการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

นำเต้าหู้ไปใส่ในภาชนะปิดสนิทและทิ้งไว้ 100 นาที ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture profile analysis) ด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร วัดค่าความแข็ง (Hardness) ความยืดหยุ่น (Springiness) และความเป็นเนื้อเดียวกัน (Cohesiveness) (ดัดแปลงจาก Cai และ Baik, 2001 และ Prabhakaran และคณะ, 2006)

การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

นำเต้าหู้ไปใส่ในภาชนะปิดสนิท เก็บที่อุณหภูมิ 4⁰C 30 นาที ต้มในน้ำเดือดนาน 1 นาที แล้วทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยสเกลแบบ 9-point hedonic scale โดยนำเสนอตัวอย่างในน้ำซุ๊ป ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝนจำนวน 60 คน

สถิติที่ใช้ในการประเมิน

วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมีและกายภาพ ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบ randomized complete block design ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามวิธีของ Duncan's new multiple range test หาสมการถดถอย สร้างกราฟ response surface ส่วนการทวนสอบ (Verification) ทำการทดลองซ้ำ แล้วเก็บข้อมูลทางเคมีและกายภาพ วิเคราะห์ one sample t-test เทียบกับค่าที่ทำนายได้

ผลและวิจารณ์

การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของกากงาขาว ลูกเดือย และข้าวโพด

อัตราส่วนของปริมาณกากงาขาว ลูกเดือย และข้าวโพดมีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในนํ้านมผสมอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$, Table 2) และมีผลต่อร้อยละผลผลิต ความชื้น ความแข็งและความเป็นเนื้อเดียวกันของเต้าหู้อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$, Table 2) โดยเต้าหู้ที่ได้มีความยืดหยุ่นเท่ากับ 1.00 ± 0.01 ได้คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านสี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมเท่ากับ 5.69 ± 1.61 , 4.68 ± 1.84 , 4.51 ± 1.96 , 4.43 ± 1.95 และ 4.69 ± 1.93 ตามลำดับ (ข้อมูลไม่ได้แสดง)

เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี Response surface ได้ response surfaces ดัง Fig. 1 เมื่อพิจารณาอิทธิพลของปริมาณกากงาขาว ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุด พบว่า เมื่อปริมาณกากงาขาวเพิ่มขึ้นจาก 60 เป็น 100% นํ้านมผสมจะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้น เต้าหู้ที่ได้มีร้อยละผลผลิตเพิ่มขึ้น แต่มีความชื้น ความแข็ง และความเป็นเนื้อเดียวกันลดลง เนื่องจากลูกเดือยและข้าวโพดมีปริมาณโปรตีนต่ำกว่ากากงาขาว ส่งผลให้เมื่อใช้ปริมาณลูกเดือยหรือข้าวโพดเพิ่มขึ้นและปริมาณกากงาขาวลดลง นํ้านมผสมจึงมีปริมาณโปรตีนลดลง ซึ่งมีผลทำให้ร้อยละผลผลิตของเต้าหู้ลดลงตามไปด้วย และเมื่อพิจารณาในทุกด้าน โดยพิจารณาความเป็นเนื้อเดียวกันเป็นหลัก จะพบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมของกากงาขาวและลูกเดือย คือ 0.69 : 0.31 ทั้งนี้ไม่ใส่ข้าวโพดเนื่องจากทำให้เต้าหู้ที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันต่ำ และเมื่อทำการทวนสอบ พบว่า มีปริมาณของแข็งทั้งหมดในนํ้านมผสม $4.20 \pm 0.03\%$ และเต้าหู้ที่ได้มีร้อยละผลผลิตเท่ากับ 74.17 ± 0.42 ปริมาณความชื้นเท่ากับ $72.22 \pm 0.62\%$ ความแข็ง 209.55 ± 7.99 กรัม และความเป็นเนื้อเดียวกันเท่ากับ 0.55 ± 0.04 ซึ่งไม่แตกต่างจากค่าที่ทำนายได้อย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$)

Table 2 Effects of the ratio of sesame meal, job's tears, and corn on total solid in milk mixture, yield, moisture content, and texture profile analysis of tofu.

Ratio	Total solid (%)	Yield (%)	Moisture (%)	Hardness (g)	Cohesiveness
1	5.09±0.01 ^a	99.01±0.62 ^a	72.14±1.55 ^{ab}	361.63±4.41 ^a	0.46±0.03 ^c
2	4.49±0.02 ^b	84.06±0.29 ^b	70.93±2.27 ^{abc}	254.47±21.23 ^{bc}	0.49±0.06 ^{abc}
3	4.37±0.01 ^c	77.70±0.88 ^c	70.85±3.04 ^{bc}	260.43±23.81 ^b	0.51±0.04 ^{abc}
4	4.12±0.01 ^g	64.64±1.02 ^e	71.86±2.33 ^{bc}	226.47±12.81 ^c	0.57±0.02 ^{ab}
5	4.06±0.01 ^h	59.54±1.71 ^f	72.44±1.67 ^{ab}	227.63±13.94 ^c	0.48±0.03 ^{bc}
6	4.01±0.02 ⁱ	62.12±0.88 ^g	71.26±1.66 ^{bc}	191.97±15.03 ^d	0.51±0.02 ^{abc}
7	4.21±0.01 ^f	76.22±0.83 ^d	71.12±0.78 ^{bc}	280.30±18.06 ^{bc}	0.54±0.08 ^{abc}
8	4.31±0.01 ^d	76.42±1.33 ^{cd}	69.75±2.06 ^c	261.77±5.37 ^b	0.58±0.06 ^{ab}
9	4.25±0.02 ^e	75.35±0.92 ^d	73.56±2.62 ^a	241.83±15.36 ^{bc}	0.58±0.12 ^a

^{a-i} Values followed by different letter within the same column are significantly different. ($P \leq 0.05$)

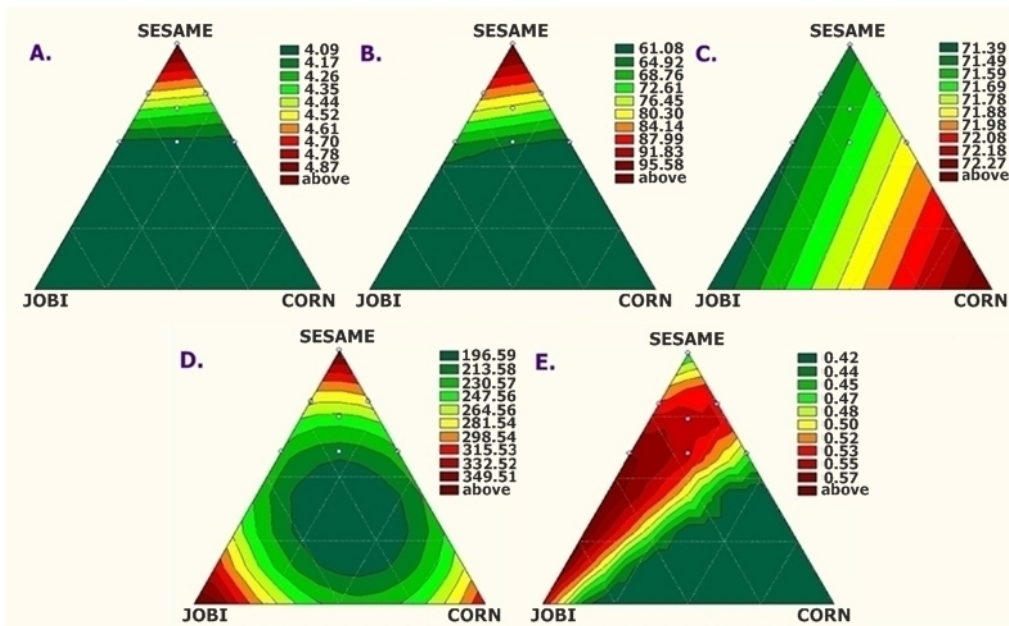


Fig. 1 Response surface contour plots for effects of the ratio of sesame meal, job's tears, and corn on (A) total solid in milk mixture, (B) yield, (C) moisture content, (D) hardness, and (E) cohesiveness of tofu which were fitted with (A) $v=2.688*x+2.435*y+4.956*z$, (B) $v=15.102*x-1.449*y+99.520*z$, (C) $v=71.294*x+72.371*y+71.442*z$, (D) $v=295.484*x+317.650*y+358.921*z-530.739*x*y-625.074*x*z-490.491*y*z$, and (E) $v=0.533*x-0.623*y+0.450*z+0.498*x*y+0.0340*x*z+1.880*y*z$ when x, y, and z were code of job's tears, corn, and sesame (0 - 1), respectively.

การศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนที่เหมาะสม

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อร้อยละผลผลิต ความแข็ง และคะแนนความชอบด้านสี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของเต้าหู้อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) โดยการให้ความร้อนที่ 90°C นาน 10 นาที จะได้คะแนนความชอบด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงที่สุด ส่วนการให้ความร้อนที่ 95°C นาน 15 นาที จะได้รับร้อยละผลผลิต ความแข็ง และคะแนนความชอบด้านสีสูงที่สุด (Table 3) และพบว่า อุณหภูมิในการให้ความร้อนมีผลต่อความเป็นเนื้อเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) โดยการให้ความร้อนที่ 95°C มีความเป็นเนื้อเดียวกันต่ำที่สุด ทั้งนี้เต้าหู้ที่ได้มีความยืดหยุ่นเท่ากับ 1.00 ± 0.00 ปริมาณความชื้นเท่ากับ $68.99 \pm 5.66\%$ ได้คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านกลิ่นรสเท่ากับ 6.22 ± 0.76 (ข้อมูลไม่ได้แสดง)

เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี Response surface ได้ response surfaces ดัง Fig. 2 พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนสูงขึ้น เต้าหู้ที่ได้จะมีร้อยละผลผลิตและความแข็งมากขึ้น แต่มีความเป็นเนื้อเดียวกันลดลง และเมื่อเวลาในการให้ความร้อนมากขึ้น เต้าหู้ที่ได้จะมีร้อยละผลผลิตและความแข็งเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และมีความเป็นเนื้อเดียวกันลดลงเล็กน้อย ซึ่งเพราะการให้ความร้อนมากเกินไปหมูซัลไฟต์ในโปรตีนจะถูกออกซิไดส์ด้วยอากาศ ส่งผลให้การประสานกันในการจับก้อนของโปรตีนลดลง (Liu, 1999) และเมื่อพิจารณาในทุกด้าน โดยพิจารณาความเป็นเนื้อเดียวกันและคะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวมเป็นหลัก จะพบว่า ภาวะการให้ความร้อนที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิ 90°C นาน 10 นาที และเมื่อทำการทวนสอบ พบว่า เต้าหู้ที่ได้มีร้อยละผลผลิตเท่ากับ

77.07 ± 0.06 ความแข็ง 322.43 ± 13.05 กรัม และความเป็นเนื้อเดียวกัน 0.57 ± 0.02 ซึ่งไม่แตกต่างจากค่าที่ทำนายได้อย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$)

Table 3 Effects of heating temperature and time on yield, hardness, and sensory evaluation scores in color, taste, texture, and overall acceptability of tofu.

Temp. (°C)	Time (min)	Yield (%)	Hardness (g)	Color	Taste	Texture	Overall acceptability
85	5	66.34±0.87 ^h	204.55±30.73 ^e	6.47±0.75 ^{ab}	5.98±1.24 ^{ab}	4.70±1.12 ^d	5.35±1.02 ^{de}
85	10	68.08±0.63 ^g	194.80±25.74 ^e	6.57±0.74 ^{ab}	5.83±1.33 ^{ab}	4.77±1.13 ^d	5.53±0.95 ^{cd}
85	15	70.95±0.75 ^f	219.08±32.27 ^e	6.50±0.79 ^{ab}	5.70±1.12 ^b	4.73±1.39 ^d	5.48±0.93 ^{cd}
90	5	72.67±1.10 ^e	282.47±31.90 ^d	6.62±0.78 ^{ab}	5.62±1.37 ^b	5.27±1.41 ^{bc}	5.93±1.27 ^b
90	10	77.98±1.34 ^d	357.90±51.26 ^c	6.38±0.72 ^b	6.12±1.26 ^a	5.98±1.37 ^a	6.45±1.05 ^a
90	15	80.27±0.37 ^c	349.53±62.65 ^c	6.50±0.75 ^{ab}	5.95±1.24 ^{ab}	5.58±1.24 ^b	5.73±0.90 ^{bc}
95	5	80.40±0.51 ^c	398.22±24.95 ^{bc}	6.40±0.74 ^b	5.78±1.37 ^{ab}	4.98±1.03 ^{cd}	5.48±1.07 ^{cd}
95	10	83.34±0.91 ^b	435.95±40.57 ^b	6.38±0.69 ^b	6.10±1.04 ^a	4.97±1.18 ^{cd}	5.55±1.00 ^{cd}
95	15	86.54±1.48 ^a	494.78±63.73 ^a	6.67±0.84 ^a	5.67±1.17 ^b	4.70±1.17 ^d	5.12±1.04 ^e

^{a-h} Values followed by different letter within the same column are significantly different. ($P \leq 0.05$)

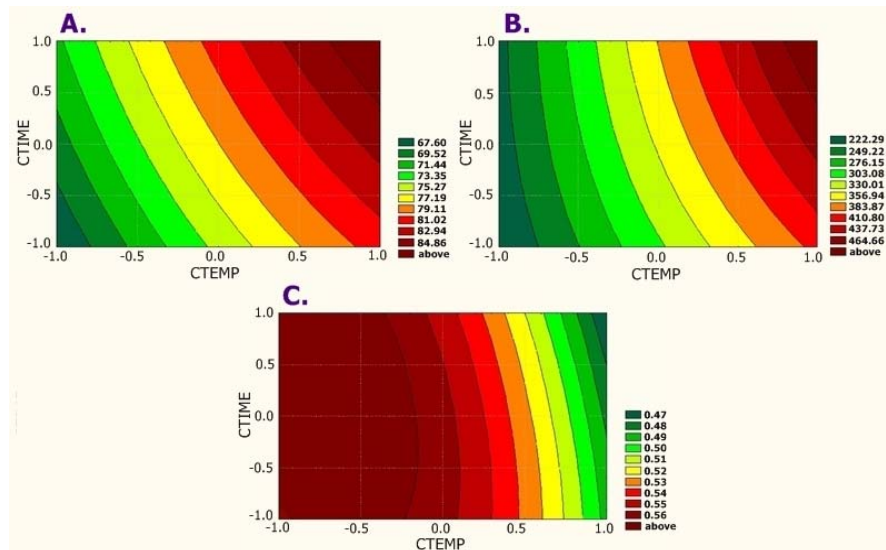


Fig. 2 Response surface contour plots for effects of heating temperature and time on (A) yield, (B) hardness, and (C) cohesiveness of tofu which were fitted with (A) $z=77.155+7.486*x+3.058*y-1.033*x*x+0.382*x*y-0.269*y*y$, (B) $z=333.152+118.419*x+29.694*y-5.403*x*x+20.508*x*y-4.778*y*y$, and (C) $z=0.56-0.047*x-0.004*y-0.033*x*x-0.01*x*y-0.004*y*y$ when x and y were code of heating temperature (-1:85, 0:90, 1:95°C) and time (-1:5, 0:10, 1:15 min), respectively.

การศึกษาชนิดและความเข้มข้นของสารตกตะกอนที่เหมาะสม

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดและความเข้มข้นของสารตกตะกอนมีผลต่อร้อยละผลผลิต ความแข็ง ความเป็นเนื้อเดียวกันและคะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวมของเต้าหู้ อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) โดยการใส่แมกนีเซียมซัลเฟต 3% ของน้ำหนักรวตฤติบ จะได้เต้าหู้ที่มีความแข็งและคะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวมสูงที่สุด เนื่องจากแมกนีเซียมซัลเฟตจะเกิดปฏิกิริยาการตกตะกอนเร็วและจับตัวเป็นก้อนขนาดใหญ่ จึงได้เต้าหู้ที่มีเนื้อแข็ง (เพลินใจ, 2545) ส่วนการใช้แคลเซียมซัลเฟต 2% ของน้ำหนักรวตฤติบ จะมีร้อยละผลผลิต

สูงที่สุด และการไม่ใส่สารตกตะกอนจะมีความเป็นเนื้อเดียวกันสูงที่สุด (Table 4) และพบว่า ชนิดของสารตกตะกอนมีผลต่อความชื้นและคะแนนความชอบด้านรสชาติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) โดยการไม่ใส่สารตกตะกอนจะมีความชื้นและคะแนนความชอบด้านรสชาติที่น้อยที่สุด ทั้งนี้เต้าหู้ที่ได้มีความยืดหยุ่นเท่ากับ 1.00 ± 0.00 ปริมาณความชื้นเท่ากับ $71.24 \pm 1.84\%$ ได้คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านสี กลิ่นรสและเนื้อสัมผัสเท่ากับ 7.60 ± 1.17 , 6.49 ± 1.45 และ 6.04 ± 1.59 (ข้อมูลไม่ได้แสดง) และเมื่อพิจารณาในทุกด้าน พบว่าการใช้แมกนีเซียมซัลเฟต 3% ของน้ำหนักวัตถุดิบ มีความแข็งและคะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวมสูงที่สุด แม้จะไม่แตกต่างทางสถิติกับสภาวะอื่น จึงเลือกใช้สภาวะนี้

Table 4 Effects of coagulants on yield, hardness, cohesiveness, and overall acceptability of tofu.

Type	Concentration (% of raw material wt.)	Yield (%)	Hardness (g)	Cohesiveness	Overall acceptability
CaSO ₄	1	83.01 ± 0.40 ^c	400.23 ± 35.39 ^b	0.53 ± 0.01 ^b	6.50 ± 1.36 ^{ab}
CaSO ₄	2	87.68 ± 1.97 ^a	407.58 ± 44.77 ^{ab}	0.52 ± 0.02 ^{bc}	6.47 ± 1.28 ^{ab}
CaSO ₄	3	79.82 ± 1.31 ^d	334.72 ± 21.25 ^c	0.49 ± 0.02 ^d	6.22 ± 1.46 ^b
MgSO ₄	1	79.86 ± 0.95 ^d	372.58 ± 42.28 ^{bc}	0.49 ± 0.01 ^d	6.48 ± 1.37 ^{ab}
MgSO ₄	2	83.33 ± 1.54 ^c	414.85 ± 31.17 ^{ab}	0.50 ± 0.03 ^{cd}	6.58 ± 1.44 ^{ab}
MgSO ₄	3	86.37 ± 1.65 ^b	452.18 ± 33.39 ^a	0.50 ± 0.01 ^{bcd}	6.68 ± 1.53 ^a
No-coagulant		78.06 ± 0.30 ^e	339.63 ± 42.86 ^c	0.56 ± 0.03 ^a	5.22 ± 1.30 ^c

^{a-e} Values followed by different letter within the same column are significantly different. ($P \leq 0.05$)

การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการตกตะกอน

เวลาในการตกตะกอนมีผลต่อร้อยละผลผลิต ความแข็ง และความเป็นเนื้อเดียวกันของเต้าหู้ อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่อเวลาในการตกตะกอนมากขึ้น จะมีความแข็งมากขึ้นแต่ความเป็นเนื้อเดียวกันลดลง (Table 5) ทั้งนี้เนื่องจากการใช้เวลาดตกตะกอนนาน ทำให้คุณสมบัติของระบบลดลง ตกตะกอนได้ไม่สมบูรณ์ และยากต่อการขึ้นรูป เพราะคุณสมบัติขณะขึ้นรูปต่ำเกินไป โปรตีนเกิดการรวมตัวกันไม่สมบูรณ์ มีความเป็นเนื้อเดียวกันต่ำ (Liu, 1999) เมื่อพิจารณาจากคะแนนความชอบ พบว่า การใช้เวลาดตกตะกอนนานขึ้น ได้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสเพิ่มขึ้น ส่วนการใช้เวลา 40 นาที ได้คะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวมสูงที่สุด (Table 5) ซึ่งเป็นเพราะความแข็งมากที่สุด ทั้งนี้เต้าหู้ที่ได้มีความยืดหยุ่นเท่ากับ 1.00 ± 0.00 ปริมาณความชื้นเท่ากับ $71.01 \pm 0.79\%$ ได้คะแนนความชอบด้านสี กลิ่นรสและรสชาติเท่ากับ 6.19 ± 1.45 , 6.22 ± 1.20 และ 5.92 ± 1.39 (ข้อมูลไม่ได้แสดง) และเมื่อพิจารณาในทุกด้าน โดยพิจารณาความแข็งและคะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวมเป็นหลัก จะพบว่า ระยะเวลาในการตกตะกอนที่เหมาะสม คือ 40 นาที

การวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์

เต้าหู้จากงาขาวผสมลูกเดี๋ยมีองค์ประกอบทางเคมี ดัง Table 6 ซึ่งพบว่า มีปริมาณโปรตีนและจุลินทรีย์ทั้งหมดเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของเต้าหู้แผ่น มผช.461/2546 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2546) และเมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบทางเคมีของเต้าหู้ที่ได้กับเต้าหู้ขาวอ่อนที่ทำจากถั่วเหลืองในส่วนที่กินได้ 100 กรัม (กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2535) พบว่าเต้าหู้ที่ได้มีปริมาณความชื้นต่ำกว่า แต่มีโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และเถ้าสูงกว่าเต้าหู้ขาวอ่อนอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$, Table 6) นอกจากนั้นพบว่า เต้าหู้จากงาขาวผสมลูกเดี๋ยมีค่า TBA เท่ากับ 0.06 ± 0.00 มิลลิกรัมมาโลนัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม ได้คะแนนความชอบด้านสี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม

เป็น 6.13 ± 1.33 , 5.57 ± 1.50 , 5.37 ± 1.65 , 5.20 ± 1.30 และ 5.37 ± 1.52 ตามลำดับ มีค่าความแข็งเท่ากับ 448.80 ± 4.95 กรัม ความยืดหยุ่นและความเป็นเนื้อเดียวกันเท่ากับ 1.00 ± 0.00 และ 0.45 ± 0.04 ตามลำดับ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและยีสต์และราเท่ากับ 23 ± 5.77 และน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อกรัม ตามลำดับ

Table 5 Effects of coagulation time on yield, hardness, cohesiveness, and sensory evaluation scores in texture and overall acceptability of tofu.

Coagulation time (min)	Yield (%)	Hardness (g)	Cohesiveness	Texture	Overall acceptability
20	85.99 ± 0.74^a	375.12 ± 11.08^b	0.51 ± 0.03^a	5.60 ± 1.54^b	6.20 ± 1.23^b
30	86.35 ± 0.25^a	428.22 ± 23.81^a	0.51 ± 0.03^a	6.22 ± 1.46^a	5.98 ± 1.20^b
40	85.32 ± 0.24^b	432.08 ± 24.41^a	0.45 ± 0.03^b	6.15 ± 1.44^a	6.55 ± 1.24^a

^{a,b} Values followed by different letter within the same column are significantly different. ($P \leq 0.05$)

Table 6 Chemical compositions of finished tofu and soft tofu.

Tofu	Moisture (%)	Protein (%)	Fat (%)	Carbohydrate (%)	Fiber (%)	Ash (%)
Tofu	71.44 ± 0.11^b	15.67 ± 0.02^a	4.23 ± 0.09^a	6.49 ± 0.04^a	0.10 ± 0.01^a	2.07 ± 0.14^a
Soft ^A	90.0^a	4.3^b	1.9^b	2.9^b	0.1^a	0.8^b

^{a,b} Values followed by different letter within the same column are significantly different. ($P \leq 0.05$)

^A Soft tofu made from soybean (Nutrition Division, Department of Health, Ministry of Public Health, 2535)

สรุป

ในการเตรียมเต้าหู้กากงาขาวผสมลูกเดี๋ยย พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมของกากงาขาวและลูกเดี๋ยย คือ 0.69 : 0.31 ไม่ใส่ข้าวโพด ภาวะการให้ความร้อนที่เหมาะสม คือ $90 \pm 2^\circ\text{C}$ นาน 10 นาที ภาวะการตกตะกอนที่เหมาะสม คือ การเติมแมกนีเซียมซัลเฟต 3% ของน้ำหนักวัตถุดิบ และทิ้งให้ตกตะกอน นาน 40 นาที โดยเต้าหู้ที่ได้มีปริมาณโปรตีนและจุลินทรีย์ทั้งหมดเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของเต้าหู้แผ่น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ประจำปี 2549

เอกสารอ้างอิง

- กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. 2535. **คุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย**. โรงพิมพ์องค์การทหารผ่านศึก. กรุงเทพฯ. 97 หน้า.
- เพลินใจ ตั้งคณะกุล. 2545. ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเต้าหู้. **อาหาร** 32(2): 92-97.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2546. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเต้าหู้แผ่น**. มพช.461/2546.
- AOAC. 1997. **Official Method of Analysis**, 16th ed. Association of official analytical chemists, Maryland. USA.
- Cai, R., and B.K. Baik. 2001. Preparation of chickpea curd by heat-induced gelation. **J. Food Sci.** 66: 1294-1300.
- Liu, K.S. 1999. **Soybeans: chemistry, technology, and utilization**. Aspen Publishers, Inc., Maryland.
- Prabhakaran, M.P., C.O. Perera, and S. Valiyaveetil. 2006. Effect of different coagulants on the isoflavone levels and physical properties of prepared firm tofu. **Food Chem.** 99: 492-499.