



การพัฒนากระบวนการผลิตเต้าหู้แข็งจากถั่วดำ

The Production Development of Tofu from Black Bean

อรรณพ ทศนอุดม^{1*} วรณภา สระพินครบุรี¹ และ เมธาวิ อนุวัชกุล¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเต้าหู้แข็งจากถั่วดำ และศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของเต้าหู้แข็งจากถั่วดำ โดยศึกษาปริมาณโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) (ร้อยละ 0.66 และ 1.0) และอุณหภูมิเริ่มต้นที่ใช้ในการตกตะกอน (ที่ 90 และ 98°C) ที่ทำให้ได้ปริมาณผลผลิต (% yield) เต้าหู้แข็งสูงสุด ผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเต้าหู้แข็งจากถั่วดำ คือ การใช้ปริมาณโซเดียมซัลเฟต 1.0% (ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด) ที่อุณหภูมิเริ่มต้นในการตกตะกอน 98°C โดยให้ปริมาณผลผลิตสูงสุดคือ 80% โดยเต้าหู้แข็งที่ผลิตได้จะมีสีเทาอ่อน ปราศจากกลิ่นเฉพาะตัวของถั่วเหลือง (soybean off-flavor) และมีเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับเต้าหู้ที่ผลิตจากถั่วเหลือง นอกจากนี้ยังพบว่าเต้าหู้แข็งที่ผลิตจากถั่วดำจะมีปริมาณแอนโธไซยานินสูงกว่า (2.08%) แต่มีไขมันในปริมาณที่ต่ำกว่า (1.63%) เมื่อเปรียบเทียบกับเต้าหู้แข็งจากถั่วเหลือง ส่วนผลการทดสอบคุณภาพด้านประสาทสัมผัสพบว่าเต้าหู้แข็งที่ผลิตจากถั่วดำได้รับคะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะแตกต่างกัน ($P \leq 0.05$) และสูงกว่าเต้าหู้แข็งที่ผลิตจากถั่วเหลือง โดยได้รับคะแนนความชอบรวมอยู่ในระดับชอบปานกลาง

¹สาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิชณุโลก, พิชณุโลก

* Corresponding Author, E-mail: u_tassana@hotmail.com

ABSTRACT

The objectives of this study: to find the optimum condition of black bean tofu production for replacing soybean tofu consumption that occurred soybean off-flavor and to study the physical, chemical and microbiological characteristics of tofu produced from black bean. Two levels of sodium sulfate (Na_2SO_4) quantity (0.66 and 1.0%) and coagulation temperature at 90 and 98°C were studied. Then the % yield of 4 condition treatments were determined. Black bean and soybean tofu attributes were compared by sensory evaluation. The results found that 1% Na_2SO_4 at 98°C of coagulation temperature was the most optimum condition for black bean tofu production due to the highest of % yield (80%), without soy bean off-flavor and good texture comparing with soybean tofu. Moreover, black bean tofu contained higher content of anthocyanin (2.08%) than that of soybean tofu. Whereas lipid quantity of the former (1.63%) was less than the later. Sensory evaluation between black bean and soybean tofu showed significant difference ($P \leq 0.05$) in all attributes such as color, specific odor, flavor, texture, and overall preference. Furthermore, these moderately like scores of black bean tofu were higher than soybean tofu.

คำสำคัญ: เต้าหู้แข็ง ถั่วดำ โซเดียมซัลเฟต

Keywords: Hard tofu, Black bean, Sodium sulfate

บทนำ

เต้าหู้หลากหลายชนิด เช่น เต้าหู้ขาวแข็ง เต้าหู้แข็งเหลือง เต้าหู้สาหร่าย เต้าหู้เห็ดหอม เป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปจากถั่วเหลือง (บริษัทโซยาฟู้ด, 2552) นอกจากใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเต้าหู้ชนิดต่าง ๆ แล้ว ถั่วเหลืองยังถูกนำไปใช้ผลิตน้ำมันในอุตสาหกรรมอาหาร ความต้องการที่เพิ่มมากขึ้นทำให้ต้องนำเข้าถั่วเหลืองจากต่างประเทศ โดยในปี 2549 มีการนำเข้าเมล็ดถั่วเหลืองของไทยเพิ่มขึ้น 1.8 ล้านตัน (เศรษฐกิจ, 2550) นอกจากนี้กลิ่นเฉพาะตัวของถั่วเหลือง (soybean off-flavor) ยังเป็นปัญหาหนึ่งของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เต้าหู้ ทางเลือกหนึ่งในการลดปัญหาดังกล่าวข้างต้นคือการนำถั่วชนิดอื่น มาใช้ทดแทนถั่วเหลืองในการผลิตเต้าหู้ โดยถั่วชนิดที่มีคุณสมบัติ

ใกล้เคียงกับถั่วเหลือง เช่น ถั่วดำ ที่เป็นวัตถุดิบทางเลือกอีกชนิดหนึ่งซึ่งผู้ประกอบการทางด้านการอุตสาหกรรมอาหารเริ่มให้ความสนใจ และนำมาเป็นวัตถุดิบในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้น โดยนอกจากปริมาณโปรตีนที่ใกล้เคียงกับถั่วเหลืองแล้ว ในถั่วดำยังมีรงควัตถุเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ คือ แอนโทไซยานิน (จินตนา, 2551) กระบวนการที่สำคัญในการผลิตเต้าหู้แข็ง คือ การตกตะกอนโปรตีนออกมาให้ได้จำนวนมาก ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสารที่ใช้ในการตกตะกอน และอุณหภูมิในการตกตะกอน สารตกตะกอนที่นิยม ได้แก่ แมกนีเซียมซัลเฟต ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) โซเดียมซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) แคลเซียมซัลเฟต ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) แคลเซียมคลอไรด์ ($\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) (วัฒนา, 2534) สารตกตะกอนจะเกิด

พันธะเคมีภายในโมเลกุลของโปรตีน ทำให้โปรตีนจับตัวกันเป็นก้อน และตกตะกอนลงมา โดยกลไกในการเกิดเจลโปรตีนในนมถั่วเหลือง ประกอบด้วย การเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนเนื่องจากความร้อน (protein denaturation) และการตกตะกอนของโปรตีนจากการจับกันของโปรตีนด้วยปฏิกิริยาไฮโดรโฟบิก (hydrophobic coagulation) (Beddows and Wong, 1987; Kohyama et al., 1995) แต่หากปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงจะทำให้เต้าหู้ที่ได้มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็ง ทำให้ปริมาณของเต้าหู้ลดลง (Beddows and Wong, 1987) การใช้สารตกตะกอนต่างชนิดกันจะทำให้ได้ลักษณะของเต้าหู้ที่ต่างกัน ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับวิธีการผลิต ปริมาณหรือความเข้มข้นของสารตกตะกอนที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับพันธุ์ของถั่วด้วย โดยปริมาณของสารตกตะกอนที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 2–3% โดยน้ำหนักของถั่วแห้ง (Shurtleff and Aoyagi, 1979) จากการศึกษาเพื่อพัฒนากระบวนการผลิตเต้าหู้ที่ผ่านมา เช่น ดวงพร (2540) ได้ทำการศึกษาการใช้ น้ำผลไม้ตระกูลส้มเป็น ตัวตกตะกอนในการผลิตเต้าหู้แข็ง พบว่าปริมาณน้ำมะนาว น้ำส้มจืด และน้ำส้มเขียวหวานที่ใช้เป็นตัวตกตะกอนที่เหมาะสมคือ 1 2 และ 5% โดยน้ำหนักของนมถั่วเหลือง ที่อุณหภูมิในการตกตะกอน 90°C ในขณะที่สุกัญญา (2547) ได้ศึกษาอิทธิพลของชนิดสารตกตะกอนและทรานส์กลูตามิเนสต่อคุณภาพของเต้าหู้แข็ง พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการตกตะกอนนํ้านมถั่วเหลืองที่เหมาะสมคืออุณหภูมิ 50°C โดยใช้สารแมกนีเซียมซัลเฟต 0.08% ของน้ำหนักนมถั่วเหลืองเป็นสารตกตะกอน โดยจะให้ปริมาณผลผลิตมากที่สุด

แต่อย่างไรก็ตาม ยังไม่พบว่ามีการใช้ถั่วดำในการผลิตเป็นเต้าหู้แข็ง (hard tofu) และยังไม่มี

การศึกษาถึงปริมาณผลผลิตที่ได้ รวมถึงสารต้านอนุมูลอิสระที่มีอยู่ในเต้าหู้แข็งที่ผลิตจากถั่วดำ ว่าจะยังคงหลงเหลืออยู่มากน้อยเพียงใด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดเพื่อศึกษากระบวนการผลิตเต้าหู้แข็งจากถั่วดำ ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณผลผลิตในกระบวนการผลิต และเปรียบเทียบคุณลักษณะของเต้าหู้แข็งที่ผลิตจากถั่วเหลือง และถั่วดำ ทั้งนี้คาดว่าเต้าหู้แข็งที่ผลิตจากถั่วดำจะยังคงมีสารต้านอนุมูลอิสระหลงเหลืออยู่ ซึ่งจะช่วยให้ผู้บริโภคเต้าหู้แข็งจากถั่วดำได้รับสารดังกล่าวที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย (health promoting) และเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกใหม่สำหรับผู้บริโภคอาหารเจ หรืออาหารมังสะวิรัต หรือกลุ่มผู้บริโภคที่ไม่ยอมรับกลิ่นของถั่วเหลือง

วิธีดำเนินการวิจัย

ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา คือ ถั่วเหลือง (พันธุ์ นครสวรรค์ 1) และถั่วดำ (พันธุ์อุบลราชธานี) จากตลาดร่วมใจ อ.เมือง จ.พิษณุโลก

1 การคัดเลือกสูตรเต้าหู้แข็งต้นแบบ

ทำการผลิตเต้าหู้แข็ง 4 สูตร ได้แก่ สูตรที่ 1 (ประเสริฐ, 2527) สูตรที่ 2 (ธนิต, 2545) สูตรที่ 3 (อบเชย, 2540) และสูตรที่ 4 (จินตนา, 2551) ดังแสดงในตารางที่ 1 จากนั้นนำเต้าหู้แข็งทั้ง 4 สูตร มาตัดเป็นชิ้นขนาด 1.0×1.0×1.0 นิ้ว (กว้าง×ยาว×หนา) แล้วนึ่งด้วยไอน้ำที่ 80°C นาน 5 นาที (จินตนา, 2551) ให้ผู้ทดสอบชิม (untrained panelists) จำนวน 30 คน ให้คะแนนคุณลักษณะด้านสี กลิ่นถั่วเหลือง รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ด้วยวิธี 9 Point Hedonic Rating Scale (ปราณี, 2547) คัดเลือกสูตรเต้าหู้แข็งที่ได้รับคะแนนความชอบรวมสูงสุดมาใช้เป็นสูตรต้นแบบในการศึกษาขั้นต่อไป

ตารางที่ 1 สูตรเต้าหู้แข็งอ้างอิงที่ใช้ในการคัดเลือก

ส่วนผสม	สูตรที่ 1		สูตรที่ 2		สูตรที่ 3		สูตรที่ 4	
	ปริมาณ (กรัม)	ร้อยละ	ปริมาณ (กรัม)	ร้อยละ	ปริมาณ (กรัม)	ร้อยละ	ปริมาณ (กรัม)	ร้อยละ
ถั่วเหลือง	300	13.00	500	17.00	1,000	20.00	500	20.00
น้ำเปล่า	2,000	86.36	2,500	82.34	4,000	79.61	2,000	79.68
โซเดียมซัลเฟต	15	0.65	20	0.66	20	0.39	10	0.32

หมายเหตุ: กำหนดให้ สูตรที่ 1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเต้าหู้แข็งตามวิธีการของประเสริฐ (2527) สูตรที่ 2 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเต้าหู้แข็งตามวิธีการของธนิต (2545) สูตรที่ 3 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเต้าหู้แข็งตามวิธีการของอบเชย (2540) สูตรที่ 4 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเต้าหู้แข็งตามวิธีการของจินตนา (2551)

2 การผลิตและศึกษาคุณลักษณะของเต้าหู้แข็งจากถั่วดำ

นำสูตรเต้าหู้แข็งต้นแบบที่คัดเลือกได้ใช้เป็นสูตรมาตรฐานในการผลิตเต้าหู้แข็งจากถั่วดำ เพื่อศึกษาปริมาณโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) หรือติเกลือไทย (จากร้านมโนรา อ.เมือง จ.พิษณุโลก) ที่ใช้เป็นสารช่วยตกตะกอน (coagulant) และอุณหภูมิในการตกตะกอนที่ทำให้ได้ปริมาณผลผลิตเต้าหู้แข็งมากที่สุด

2.1 การผลิตเต้าหู้แข็งจากถั่วดำ

วางแผนการทดลองแบบ 2^2 factorial in CRD เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลในกระบวนการผลิตเต้าหู้แข็ง ได้แก่ ปริมาณ Na_2SO_4 ที่ระดับ 0.66% (ธนิต, 2545) และ 1.0% (ดวงพร, 2540) ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด และอุณหภูมิในการตกตะกอนที่ 90°C (ดวงพร, 2540) และ 98°C คำนวณปริมาณผลผลิต (% yield) (ปริยาพร, 2544) ของเต้าหู้แข็งจากถั่วดำที่ผลิตได้ และนำไปศึกษาในขั้นต่อไป

2.2 การประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัส

วางแผนการทดลองแบบ RCBD (randomized complete block design) ทำการประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นหอมเฉพาะตัว รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ด้วยวิธี 9 point hedonic rating scale (ปราณี, 2547) ใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน เช่นเดียวกับข้อ 1 คัดเลือกสิ่งทดลองที่มี

แนวโน้มของคะแนนคุณลักษณะด้านต่าง ๆ สูงที่สุดไปใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป

2.3 การศึกษาคุณลักษณะของเต้าหู้แข็งจากถั่วดำ

นำเต้าหู้แข็งจากถั่วดำที่ผลิตได้ ทั้ง 4 สิ่งทดลอง มาวัดค่าสี (Hunter Lab รุ่น 4510 ยี่ห้อ Colorflex[®] ประเทศสหรัฐอเมริกา) (Hunter Associates Laboratory Inc., 2009) และความแน่นเนื้อ ด้วยเครื่อง texture analyzer (รุ่น TA.XT. plus ประเทศอังกฤษ) ใช้หัววัด HDP/BS (ตัดเต้าหู้แข็งถั่วเหลืองเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด $4 \times 6 \times 2.5$ cm (กว้าง×ยาว×สูง) จึงนำตัวอย่างไปใช้ในการทดสอบ) วัดปริมาณความชื้น โปรตีน เยื่อใย ไขมัน (AOAC., 2000) ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (จากการคำนวณ) ค่าพีเอช (pH meter รุ่น PB-10 ยี่ห้อ Sartorius ประเทศเยอรมนี) ปริมาณแอนโธไซยานินโดยสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (37%) แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 530 นาโนเมตร ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV/VIS Spectrophotometer: รุ่น UV-Visible Lambda 35 ประเทศสหรัฐอเมริกา) (Fuleki and Francis, 1968) และจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดด้วย pour plate technique (Downes and Ito, 2001) คัดเลือกสิ่งทดลองที่ให้ปริมาณผลผลิต และคะแนนความชอบรวมสูงสุด ไปใช้ศึกษาขั้นต่อไป

3 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของเต้าหู้แข็งที่ผลิตจากถั่วดำและถั่วเหลือง

เปรียบเทียบคุณลักษณะด้านต่าง ๆ (เช่นเดียวกับข้อ 2.3) ระหว่างเต้าหู้แข็งจากถั่วดำที่คัดเลือกได้จากข้อ 2 และเต้าหู้แข็งที่ผลิตจากถั่วเหลือง และทำการประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของเต้าหู้ทั้ง 2 ชนิด ด้วยวิธี 9 point hedonic rating scale ด้วยวิธีการเดียวกับข้อ 1 และข้อ 2.2 (ปราณี, 2547) ต่อคุณลักษณะด้านสี กลิ่นหอมเฉพาะตัว รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ด้วยผู้ทดสอบชิม จำนวน 30 คน

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างชุดทดลองโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) สำหรับการศึกษาที่มีสิ่ง

ทดลองมากกว่า 2 สิ่งทดลองขึ้นไป และใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธี t-test สำหรับการศึกษา ที่มีสิ่งทดลองไม่เกิน 2 สิ่งทดลอง (ปราณี, 2547)

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1 การคัดเลือกสูตรเต้าหู้แข็งต้นแบบ

ตัวอย่างเต้าหู้แข็งจากถั่วเหลืองที่ผลิตได้จากสูตรอ้างอิงทั้ง 4 ตัวอย่าง มีสีเหลืองนวลไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 1) มีกลิ่นเฉพาะของถั่วเหลืองใกล้เคียงกัน แต่พบว่าเต้าหู้แข็งที่ผลิตจากสูตรอ้างอิงที่ 2 มีเนื้อสัมผัสที่เนียนละเอียดกว่าที่ผลิตจากสูตรอ้างอิงที่ 1 3 และ 4 ตามลำดับ และเต้าหู้แข็งทั้ง 4 ตัวอย่าง ได้คะแนนความชอบด้านสี กลิ่นถั่วเหลือง รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม อยู่ในช่วง 6.33–7.30 6.40–7.36 5.93–7.40 6.26–7.64 และ 6.26–7.86 ตามลำดับ โดยคะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 2



รูปที่ 1 เต้าหู้แข็งจากถั่วเหลืองที่ผลิตจากสูตรอ้างอิงทั้ง 4 สูตร

ตารางที่ 2 ผลการประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของตัวอย่างเต้าหู้แข็งจากถั่วเหลืองที่ผลิตจากสูตรอ้างอิงทั้ง 4 สูตร

สูตรอ้างอิงที่	คุณลักษณะด้าน (คะแนน)				
	สี	กลิ่นถั่วเหลือง	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบรวม
1	6.33 ^c ±0.66	6.46 ^b ±0.89	5.93 ^c ±1.04	6.26 ^b ±0.98	6.26 ^c ±1.08
2	7.30 ^a ±0.91	7.36 ^a ±1.51	7.40 ^a ±1.24	7.46 ^a ±1.47	7.86 ^a ±0.97
3	6.93 ^{ab} ±1.41	6.70 ^b ±1.34	6.93 ^{ab} ±1.33	7.23 ^a ±0.89	7.10 ^b ±1.29
4	6.66 ^{bc} ±1.12	6.40 ^b ±1.22	6.40 ^{bc} ±1.13	6.46 ^b ±1.30	6.63 ^{bc} ±1.21

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (ผู้ทดสอบชิม 30 คน) โดยกำหนดให้ สูตรอ้างอิงที่ 1 การผลิตเต้าหู้แข็งตามวิธีการของประเสริฐ (2527) สูตรอ้างอิงที่ 2 การผลิตเต้าหู้แข็งตามวิธีการของธนิต (2545) สูตรอ้างอิงที่ 3 การผลิตเต้าหู้แข็งตามวิธีการของอบเชย (2540) สูตรอ้างอิงที่ 4 การผลิตเต้าหู้แข็งตามวิธีการของจินตนา (2551)

สีเหลืองของเต้าหู้เกิดจากสารไอโซฟลาโวนซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีเหลือง (ในกลุ่มของฟลาโวนอยด์) ที่มีอยู่ในเมล็ดถั่วเหลือง (Changjiang et al., 2003) โดยสารดังกล่าวจะถูกละลายออกมาในขั้นตอนของการต้มน้ำนมถั่วเหลือง เนื่องจากเป็นโมเลกุลที่มีขั้ว และยังมีความคงตัวต่อความร้อน (นิธิยา, 2545) ส่วนกลิ่นถั่วเหลืองเกิดจากเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (ซึ่งอยู่ในกลุ่มของสารประกอบฟีนอล) ไปย่อยสลายกรดไขมันในถั่วเหลืองทำให้เกิดสารในกลุ่มอัลดีไฮด์ที่ให้กลิ่นหอมเฉพาะตัวของถั่วเหลือง เรียกว่าสารไพราซีน (pyrazine) โดยไพราซีนเป็นสารที่ระเหยได้ ทนต่อความร้อน (อภิพรหม, 2546) และมีอยู่ในถั่วเหลืองสูงถึง 25.71% (เกรียงศักดิ์, 2531) สารนี้จะถูกสกัดออกมากับน้ำนมถั่วเหลืองในขั้นตอนของการต้มถั่วเหลืองกับน้ำ (ปริยาพร, 2544) ดังนั้นเมื่อน้ำนมถั่วเหลืองมาผลิตเป็นเต้าหู้แข็งจึงส่งผลให้เต้าหู้แข็งที่ผลิตได้ยังคงมีกลิ่นของสารไพราซีนอยู่ ขณะที่ความแตกต่างของเนื้อสัมผัส (แน่นและเนียนละเอียด) ในเต้าหู้แข็งทั้ง 4 ตัวอย่าง เป็นผลจาก ปริมาณสารช่วยตกตะกอน และอุณหภูมิที่ใช้ในการตกตะกอน โดยพบว่าการใช้ปริมาณสารช่วยตกตะกอนที่ระดับความเข้มข้นสูงจะทำให้โปรตีนเกิดการตกตะกอน หรือเสียสภาพ (denature) ได้มากขึ้น (ณรงค์, 2538) ดังนั้นเมื่อนำนํ้านมถั่วเหลืองที่มีตะกอนของโปรตีนสูงมาทบน้ำออกจึงส่งผลให้ได้เต้าหู้แข็งที่มีความแน่นเนื้อมากกว่า นํ้านมถั่วเหลืองที่มีตะกอนของโปรตีนอยู่น้อยกว่า ในขณะที่สภาวะในการตกตะกอนโดยการใช้อุณหภูมิสูงจะทำให้โปรตีนมีพลังงานกระตุ้นสูง ส่งผลให้เกิดการตกตะกอนอย่างรวดเร็ว ทำให้โปรตีนอุ้มน้ำได้น้อยลง (Catharing et al., 1999) ดังนั้นเต้าหู้แข็งที่ได้จากการตกตะกอนโปรตีนที่อุณหภูมิสูงกว่าจึงมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แน่น และเนียนละเอียดกว่าเต้าหู้แข็งที่ได้จากการตกตะกอนโปรตีนที่อุณหภูมิต่ำกว่า

กลิ่นของสารไพราซีนในถั่วเหลืองเป็นลักษณะสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อการยอมรับของผู้บริโภค (สมเกียรติ, 2532) จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าตัวอย่างเต้าหู้แข็งที่ได้รับคะแนนในคุณลักษณะด้านกลิ่นหอมเฉพาะตัวสูง จะมีอิทธิพลทำให้คะแนนในคุณลักษณะด้านอื่น ๆ ของตัวอย่างนั้นสูงตามไปด้วย ดังนั้นสูตรอ้างอิงที่ 2 (ธนิต, 2545) ซึ่งได้รับคะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะสูงกว่าในตัวอย่างอื่น ๆ จึงมีความเหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้เป็นสูตรต้นแบบเพื่อผลิตเต้าหู้แข็งจากถั่วดำในการศึกษาขั้นต่อไป

2 การผลิตและศึกษาคุณลักษณะของเต้าหู้แข็งจากถั่วดำ

2.1 การผลิตเต้าหู้แข็งจากถั่วดำ

จากการผลิตเต้าหู้แข็งจากถั่วดำโดยใช้สูตรของธนิต (2545) เป็นสูตรต้นแบบในการผลิตพบว่าเต้าหู้แข็งจากถั่วดำที่ผลิตได้ทั้ง 4 สิ่งทดลอง นั้นจะมีลักษณะความเข้มของสี และเนื้อสัมผัสที่ต่างกัน โดยสิ่งทดลองที่ 4 มีสีซีดจางกว่าสิ่งทดลองที่ 2 3 และ 1 ตามลำดับ (ภาพที่ 2) ส่วนเนื้อสัมผัสพบว่าสิ่งทดลองที่ 4 มีเนื้อสัมผัสที่เนียนละเอียดกว่าในสิ่งทดลองที่ 3 2 และ 1 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ปริมาณสารช่วยตกตะกอนที่ระดับความเข้มข้นสูง (1.0%) ในสิ่งทดลองที่ 3 และ 4 จะทำให้ได้เต้าหู้แข็งที่มีเนื้อสัมผัสแน่น และเนียนละเอียด กว่าการใช้ปริมาณสารช่วยตกตะกอนที่ระดับความเข้มข้นต่ำ (0.66%) (ดวงพร, 2540) และพบว่าหากใช้อุณหภูมิในการตกตะกอนสูง (98°C) ในสิ่งทดลองที่ 2 และ 4 จะทำให้เต้าหู้แข็งจากถั่วดำที่ผลิตได้มีสีซีดจาง หรืออ่อนกว่าการตกตะกอนที่อุณหภูมิต่ำ (90°C) ทั้งนี้เนื่องจากแอนโธไซยานินซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีม่วงแดงในถั่วดำ (Jadwiga, 2002) จะทำให้เกิดสีม่วงดำ (black-purple) ในเต้าหู้แข็งจากถั่วดำที่ผลิตได้ ทั้งนี้การตกตะกอนโปรตีนด้วย Na_2SO_4 จะทำให้นํ้านมถั่วดำมีสภาวะเป็นด่าง ซึ่งในสภาวะที่เป็นด่างนี้แอนโธไซยานินจะให้สีน้ำเงิน(แต่จะให้สีแดงในสภาวะที่เป็นกรด) (Hendry,

1996) และมีรายงานว่าแอนโธไซยานินจะถูกทำลายที่อุณหภูมิ 90°C โดยสีของรงควัตถุดังกล่าวจะถูกทำลายได้มากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (ทิพวดี, 2550) ดังนั้นจึงทำให้ได้ค่าที่แข็งแรงจากถั่วดำที่ตกตะกอนโปรตีนที่อุณหภูมิ 98°C จึงมีสีจางลง หรืออ่อนกว่าค่าที่แข็งแรงจากถั่วดำที่ตกตะกอนโปรตีนที่ 90°C และเมื่อต้มด้วยจุ่มพบว่าสิ่งทดลองที่ 4 มีกลิ่นหอมเฉพาะของถั่วดำน้อยกว่าสิ่งทดลองที่ 2 3 และ 1 ตามลำดับ โดยกลิ่นที่พบนี้เป็นกลิ่นที่เกิดจากสารไพราซีนที่พบอยู่ในส่วนที่เป็นโปรตีนของถั่วซึ่งมีอยู่ในถั่วดำเช่นเดียวกับที่พบในถั่วเหลือง (อภิพรหม, 2546) ซึ่งในถั่วเหลืองมีอยู่สูงถึง 25.71% (เกรียงศักดิ์, 2531) ดังนั้นปริมาณของสารไพราซีนจะมาก หรือน้อย จึงขึ้นอยู่กับปริมาณโปรตีนในถั่วที่สามารถตกตะกอนออกมาได้ และพบว่าสารไพราซีน จะถูกทำลายได้มากขึ้นที่อุณหภูมิสูง (อภิพรหม, 2546) เพราะฉะนั้นถึงแม้ว่าในสิ่งทดลองที่ 4 จะสามารถตกตะกอนโปรตีนออกมาได้มากก็ตาม แต่เนื่องจากการใช้อุณหภูมิในการตกตะกอนสูงจึงทำให้ปริมาณของสารไพราซีนลดลง ส่งผลให้กลิ่นที่เกิดจากสารดังกล่าวลดน้อยลงด้วย

ในขณะที่ปริมาณผลผลิต (%yield) ของเต้าหู้แข็งแรงจากถั่วดำทั้ง 4 สิ่งทดลอง พบอยู่ในช่วง 60–80% ของน้ำหนักน้ำถั่วดำและมีความแตกต่างกัน ($P \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยสามารถคำนวณได้จากน้ำหนักเต้าหู้ที่ผลิตได้ (กรัม) หารด้วยปริมาตรของน้ำถั่วดำ (มิลลิลิตร) แล้วคูณด้วยหนึ่งร้อย (ปริยาพร, 2544) ตารางที่ 3 พบว่าการเพิ่มปริมาณสาร

ช่วยตกตะกอน และอุณหภูมิในการตกตะกอนจะทำให้ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นด้วย กล่าวคือ ณ อุณหภูมิในการตกตะกอนเดียวกัน การเพิ่มปริมาณสารช่วยตกตะกอนจะส่งผลให้ปริมาณผลผลิตของเต้าหู้แข็งแรงจากถั่วดำเพิ่มขึ้น และในขณะเดียวกัน การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ใช้ในการตกตะกอน ณ ที่ระดับปริมาณการใช้สารช่วยตกตะกอนระดับเดียวกัน จะทำให้ได้ปริมาณผลผลิตของเต้าหู้แข็งแรงจากถั่วดำเพิ่มขึ้นเช่นกัน เนื่องจากปริมาณสารช่วยตกตะกอน (Na_2SO_4) ที่เพิ่มขึ้นทำให้สามารถทำปฏิกิริยากับโปรตีน โดยจะเกิดการสร้างพันธะเคมีภายในโมเลกุลของโปรตีน และทำให้โปรตีนจับตัวกันเป็นก้อนและตกตะกอนลงมา (ปริยาพร, 2544) และพบว่าการใช้อุณหภูมิสูงในการตกตะกอนจะทำให้โปรตีนได้รับพลังงานกระตุ้นสูงส่งผลให้โปรตีนจับตัวกันเป็นก้อนได้ดีกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้เกิดการรวมตัวกันเพิ่มขึ้น และตกตะกอนได้มากขึ้นตามลำดับ (Catharing et al., 1999)

2.2 การประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัส

ผลการประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัส พบว่าเต้าหู้แข็งแรงจากถั่วดำที่ผลิตได้ทั้ง 4 สิ่งทดลองได้รับคะแนนในด้านสี กลิ่นหอมเฉพาะตัว รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม อยู่ในช่วง 5.63–7.86, 5.76–7.53, 5.56–7.40, 5.40–7.33 และ 5.85–7.60 ตามลำดับ และมีความแตกต่างกัน ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 4) โดยสิ่งทดลองที่ 4 ได้รับคะแนนความชอบในทุกด้านสูงกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ



รูปที่ 2 เต้าหู้แข็งแรงจากถั่วดำทั้ง 4 สิ่งทดลอง

ตารางที่ 3 ปริมาณผลผลิต (%yield) ของเต้าหู้แข็งจากถั่วดำในแต่ละสิ่งทดลอง

สิ่งทดลองที่	ปริมาณ (กรัม)				ปริมาณผลผลิต (%yield)
	ถั่วดำ	น้ำ	น้ำมันถั่วดำ	เต้าหู้แข็งถั่วดำ	
1	1,000	5,000	5,000±13.23	3,400±13.23	60 ^c ±1.0
2	1,000	5,000	5,000±13.23	4,000±20.00	72 ^b ±2.1
3	1,000	5,000	5,000±14.00	4,200±22.61	76 ^b ±1.0
4	1,000	5,000	5,000±15.00	4,400±24.27	80 ^a ±1.0

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (ทำ 3 ซ้ำ) โดยกำหนดให้ สิ่งทดลองที่ 1 คือ เต้าหู้แข็งจากถั่วดำที่ตกตะกอนด้วยโซเดียมซัลเฟต 0.66% ที่อุณหภูมิเริ่มต้น 90°C สิ่งทดลองที่ 2 คือ เต้าหู้แข็งจากถั่วดำที่ตกตะกอนด้วยโซเดียมซัลเฟต 0.66% ที่อุณหภูมิเริ่มต้น 98°C สิ่งทดลองที่ 3 คือ เต้าหู้แข็งจากถั่วดำที่ตกตะกอนด้วยโซเดียมซัลเฟต 1.0% ที่อุณหภูมิเริ่มต้น 90°C สิ่งทดลองที่ 4 คือ เต้าหู้แข็งจากถั่วดำที่ตกตะกอนด้วยโซเดียมซัลเฟต 1.0% ที่อุณหภูมิเริ่มต้น 98°C

ตารางที่ 4 ผลการประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้แข็งจากถั่วดำทั้ง 4 สิ่งทดลอง

สิ่งทดลองที่	คุณลักษณะด้าน (คะแนน)				
	สี	กลิ่นหอมเฉพาะตัว	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบรวม
1	5.63 ^d ±1.03	5.76 ^c ±0.85	5.56 ^c ±1.10	5.40 ^c ±1.16	5.85 ^c ±1.03
2	6.23 ^c ±0.89	6.30 ^b ±1.05	6.23 ^b ±1.43	6.03 ^b ±1.24	6.20 ^c ±1.06
3	6.93 ^b ±0.94	6.73 ^b ±1.17	6.56 ^b ±1.13	6.53 ^b ±1.04	7.03 ^b ±1.06
4	7.86 ^a ±0.81	7.53 ^a ±1.27	7.40 ^a ±1.19	7.33 ^a ±1.32	7.60 ^a ±1.16

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (ผู้ทดสอบชิม 30 คน)

23การศึกษาคุณลักษณะของเต้าหู้แข็งจากถั่วดำ เต้าหู้แข็งจากถั่วดำที่ผลิตได้ทั้ง 4 สิ่งทดลอง พบว่ามีค่า L* อยู่ในช่วง 52.60–55.71 ค่า c* อยู่ในช่วง 34.13–34.54 และค่า h อยู่ในช่วง 64.08–67.19 องศาตามลำดับ และมีความแตกต่างกัน ($P \leq 0.05$) ในขณะที่ค่าความแน่นเนื้อของเต้าหู้แข็งจากถั่วดำที่พบมีค่าอยู่ในช่วง 6.14–6.77 Newton/mm² และมีความแตกต่างกัน ($P \leq 0.05$) ในขณะที่ความชื้น ปริมาณโปรตีน เยื่อใย เกล็ด ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ค่าพีเอช และแอนโธไซยานินมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 66.62–69.37 5.50–5.83 0.15–0.46 1.21–1.28 1.05–1.84 21.55–25.14 5.63–5.91 และ 3.62–3.87 mg/100 g ตามลำดับ ส่วนจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดในเต้าหู้แข็งจากถั่วดำทั้ง 4 สิ่งทดลอง พบอยู่ในช่วง 2.35–2.66 log CFU/g โดยคุณสมบัติทางเคมีและจุลชีววิทยาของเต้าหู้แข็งจากถั่ว

ดำทั้ง 4 สิ่งทดลอง นั้นมีความแตกต่างกัน ($P \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 5

การเพิ่มปริมาณ Na₂SO₄ และอุณหภูมิที่ใช้ในการตกตะกอน ทำให้ความชื้นลดลงเนื่องจากการตกตะกอนโปรตีนที่อุณหภูมิสูง ส่งผลให้โปรตีนอุ้มน้ำได้น้อย (Catharing et al., 1999) จึงทำให้เต้าหู้มีความชื้นลดลง ส่วนปริมาณเยื่อใย เกล็ด และไขมันที่พบว่ามีแนวโน้มลดลง เนื่องสภาวะดังกล่าวมีอิทธิพลต่อการตกตะกอนของโปรตีนที่ละลายน้ำ อีกทั้ง Na₂SO₄ มีความจำเพาะในการจับกับอนุภาคของโปรตีน (วันชัย, 2527) มากกว่าเยื่อใย แร่ธาตุ และไขมันที่ละลายอยู่ในน้ำมัน โดย Na₂SO₄ จะแตกตัวเป็น Na⁺ และ SO₄²⁻ ซึ่งโซเดียมไอออน (Na⁺) จะทำปฏิกิริยา (จับ) กับโปรตีนแล้วทำให้เกิดการตกตะกอน (Shurtleff and Aoyagi, 1979) จึงทำให้เยื่อใย แร่ธาตุ และไขมันสามารถตกตะกอนลงมาได้น้อยกว่าโปรตีน ส่วนอุณหภูมิที่ใช้ใน

การตกตะกอนที่สูงขึ้นจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการจับตัวกันของ Na_2SO_4 กับโปรตีน (วัฒนา, 2534) นอกจากนี้ อุณหภูมิในการตกตะกอนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าพีเอชมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการแตกตัวของน้ำเป็นไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) ได้มากขึ้น ซึ่งการวัดค่าพีเอชเป็นการวัดค่าความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออน ดังนั้นเมื่อความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนมากขึ้นจะทำให้ค่าพีเอชต่ำลง (มีความเป็นกรดสูงขึ้น) (วรรณิ, 2541) สอดคล้องกับรายงานของสมณฑา (2545) ที่กล่าวว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิส่งผลให้พีเอชของอาหารมีแนวโน้มเป็นกรดเพิ่มสูงขึ้น ส่วนปริมาณ Na_2SO_4 ที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลให้ค่าพีเอชลดต่ำลง เนื่องจาก Na_2SO_4 มีความเป็นกลาง ($\text{pH} = 7.0$) (Shurtleff and Aoyagi, 1979) การเติมสารดังกล่าวลงในระบบ (น้ำนมถั่วดำ) จึงไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช ส่วนปริมาณแอนโธไซยานินที่มีแนวโน้มลดลงนั้น เกิดจากอุณหภูมิที่ใช้ในการตกตะกอนที่สูงขึ้น ทำให้แอนโธไซยานินถูกทำลาย (ทิพวดี, 2550)

การเพิ่มปริมาณสารช่วยตกตะกอนจะส่งผลให้จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง (ตารางที่ 5) เนื่องจากสารดังกล่าวเป็นเกลือชนิดหนึ่งซึ่งมีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ (สุภาพร, 2553) ดังนั้นการเพิ่มปริมาณของ Na_2SO_4 จึงส่งผลให้เชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง ส่วนอุณหภูมิที่ใช้ในการตกตะกอนที่สูงขึ้นเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดลดลง ซึ่งจุลินทรีย์โดยทั่วไปจะถูกทำลายที่อุณหภูมิ 72°C และพบว่าจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่พบในตัวอย่างอาหารจะสวนทางกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ (สมณฑา, 2545) ดังนั้นในสิ่งทดลองที่ใช้ อุณหภูมิในการตกตะกอนสูงกว่าจึงสามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำนมถั่วดำได้มากกว่าด้วย และเมื่อจำนวนเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นในน้ำนมถั่วดำลดลงจึงส่งผลให้จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ในตัวอย่างเต้าหู้แข็งลดลงด้วย

จากตารางที่ 6 พบว่าทั้งปริมาณ Na_2SO_4 และอุณหภูมิ เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า L^* ค่า c^* ค่า h และค่าความแน่นเนื้อของเต้าหู้แข็งจากถั่วดำ โดยพบว่าการเพิ่มปริมาณสารช่วยตกตะกอนจะส่งผลให้ค่า L^* , c^* และค่า h มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ค่าความแน่นเนื้อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนอุณหภูมิที่ใช้ในการตกตะกอนที่สูงขึ้นจะทำให้ค่า L^* , c^* , และค่า h มีแนวโน้มลดลง แต่จะทำให้ค่าความแน่นเนื้อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ยังพบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Na_2SO_4 (ปัจจัยที่ 1) และอุณหภูมิที่ใช้ในการตกตะกอน (ปัจจัยที่ 2) ซึ่งส่งผลต่อค่า L^* และค่า h ($P \leq 0.05$) โดยพบว่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณ Na_2SO_4 และอุณหภูมิที่ใช้ในการตกตะกอนที่สูงขึ้น จะส่งผลให้ค่า L^* และค่า h มีแนวโน้มลดลง แต่อย่างไรก็ตามพบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่า c^* และค่าความแน่นเนื้อนั้นมิได้เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสอง ($P > 0.05$)

การเพิ่มปริมาณสารช่วยตกตะกอนจะส่งผลให้ปริมาณความชื้น เยื่อใย ถั่ว ไขมัน ค่าพีเอช และปริมาณแอนโธไซยานิน มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ปริมาณโปรตีน และคาร์โบไฮเดรตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนอุณหภูมิที่ใช้ในการตกตะกอนที่สูงขึ้นจะทำให้ปริมาณความชื้นเยื่อใย ถั่ว ไขมัน ค่าพีเอช และปริมาณแอนโธไซยานิน มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ปริมาณโปรตีน และคาร์โบไฮเดรตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และพบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ 1 และปัจจัยที่ 2 ส่งผลต่อปริมาณโปรตีน เยื่อใย และไขมัน โดยพบว่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณ Na_2SO_4 และอุณหภูมิที่ใช้ในการตกตะกอนที่สูงขึ้น จะส่งผลให้ปริมาณเยื่อใย และไขมันมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่จะทำให้ปริมาณโปรตีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามพบว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้น ถั่ว คาร์โบไฮเดรต ค่าพีเอช และปริมาณแอนโธไซยานินมิได้เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้ง 2 ($P > 0.05$) ในขณะที่เดียวกับการเพิ่มปริมาณ Na_2SO_4 และอุณหภูมิที่ใช้ในการ

ตกตะกอนที่สูงขึ้นก็จะทำให้จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกัน แต่ทั้งนี้ไม่พบว่าเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ 1 และปัจจัยที่ 2 ต่อการเปลี่ยนแปลงของจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด

จากผลการศึกษพบว่าสิ่งทดลองที่ 4 เป็นสิ่งทดลองที่เหมาะสมในการนำไปใช้ศึกษาขั้นต่อไปทั้งนี้เนื่องจากให้ปริมาณผลผลิต (% yield) และได้รับคะแนนความชอบรวมสูงกว่าในสิ่งทดลองอื่น ๆ) และยังมีปริมาณไขมันต่ำ ในขณะที่มีปริมาณโปรตีน และคาร์โบไฮเดรตสูงกว่าในสิ่งทดลองอื่น ๆ แต่พบว่ามีปริมาณแอนโธไซยานินต่ำ อย่างไรก็ตามปริมาณแอนโธไซยานินที่พบนั้นยังอยู่ในระดับสูงกว่าที่ตรวจพบในเต้าหู้แข็งที่ผลิตจากถั่วเหลือง และการผลิตเต้าหู้แข็งจากถั่วค่านัน

จำเป็นต้องใช้ปริมาณสารช่วยตกตะกอน และอุณหภูมิที่ใช้ในการตกตะกอนสูงกว่าการผลิตเต้าหู้แข็งจากถั่วเหลือง ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณโปรตีนในถั่วค่านันที่มีปริมาณน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณโปรตีนที่พบในถั่วเหลือง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้สารช่วยตกตะกอนในปริมาณที่สูงกว่าเพื่อให้เกิดการรวมตัวกันของโปรตีนได้ดีขึ้น และสามารถตกตะกอนโปรตีนออกมาได้มากขึ้น และยังจำเป็นต้องใช้อุณหภูมิในการตกตะกอนที่สูงกว่า 80°C โดยจากผลการทดลองในเบื้องต้นพบว่าที่ระดับอุณหภูมิดังกล่าวไม่สามารถทำให้โปรตีนเสียสภาพได้มากเท่าที่ควร (โปรตีนยังมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้สูง) ซึ่งการตกตะกอนโปรตีนเพื่อผลิตเต้าหู้แข็งนั้นจำเป็นต้องทำให้โปรตีนมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้น้อย (Catharing et al., 1999)

ตารางที่ 5 ผลการตรวจวัดคุณลักษณะของเต้าหู้แข็งจากถั่วค่านันทั้ง 4 สิ่งทดลอง

คุณลักษณะด้านต่าง ๆ	สิ่งทดลองที่			
	1	2	3	4
ค่า L*	55.71 ^a ±0.03	54.39 ^b ±0.03	53.44 ^c ±0.15	52.60 ^d ±0.24
ค่า c*	34.54 ^a ±0.10	34.43 ^a ±0.05	34.28 ^b ±0.03	34.13 ^c ±0.05
ค่า h (degree)	67.19 ^a ±0.07	66.26 ^b ±0.04	65.36 ^c ±0.06	64.08 ^d ±0.06
ความแน่นเนื้อ (Newton/mm ²)	6.14 ^d ±0.03	6.44 ^c ±0.09	6.61 ^b ±0.04	6.77 ^a ±0.03
ความชื้น (%)	69.37 ^a ±0.17	68.51 ^b ±0.34	67.14 ^c ±0.05	66.62 ^d ±0.09
ปริมาณโปรตีน (%)	5.50 ^d ±0.03	5.66 ^c ±0.03	5.77 ^b ±0.05	5.83 ^a ±0.03
ปริมาณเยื่อใย (%)	0.46 ^a ±0.01	0.33 ^b ±0.02	0.22 ^c ±0.02	0.15 ^d ±0.01
ปริมาณเถ้า (%)	1.28 ^a ±0.01	1.26 ^b ±0.01	1.23 ^c ±0.01	1.21 ^d ±0.01
ปริมาณไขมัน (%)	1.84 ^a ±0.05	1.79 ^a ±0.10	1.59 ^b ±0.01	1.05 ^c ±0.03
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (%)	21.55 ^d ±0.22	22.45 ^c ±0.40	24.05 ^b ±0.06	25.14 ^a ±0.09
ค่าพีเอช	5.91 ^a ±0.01	5.83 ^b ±0.01	5.74 ^c ±0.01	5.63 ^d ±0.01
ปริมาณแอนโธไซยานิน (mg/100 g)	3.87 ^a ±0.04	3.80 ^b ±0.02	3.75 ^b ±0.05	3.62 ^c ±0.03
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g)	2.66 ^a ±0.02	2.54 ^b ±0.04	2.43 ^c ±0.04	2.35 ^d ±0.03

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (ทำ 3 ซ้ำ) โดยกำหนดให้ สิ่งทดลองที่ 1 คือ เต้าหู้แข็งจากถั่วค่านันที่ตกตะกอนด้วยโซเดียมซัลเฟต 0.66% ที่อุณหภูมิเริ่มต้น 90°C สิ่งทดลองที่ 2 คือ เต้าหู้แข็งจากถั่วค่านันที่ตกตะกอนด้วยโซเดียมซัลเฟต 0.66% ที่อุณหภูมิเริ่มต้น 98°C สิ่งทดลองที่ 3 คือ เต้าหู้แข็งจากถั่วค่านันที่ตกตะกอนด้วยโซเดียมซัลเฟต 1.0% ที่อุณหภูมิเริ่มต้น 90°C สิ่งทดลองที่ 4 คือ เต้าหู้แข็งจากถั่วค่านันที่ตกตะกอนด้วยโซเดียมซัลเฟต 1.0% ที่อุณหภูมิเริ่มต้น 98°C

ตารางที่ 6 ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณลักษณะทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของเต้าหู้แข็งจากถั่วดำ

คุณลักษณะด้านต่าง ๆ	ปัจจัยที่ 1	ปัจจัยที่ 2	ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ 1 และ ปัจจัยที่ 2
	P	P	P
ค่า L*	<0.001	<0.001	0.020*
ค่า c*	<0.001	0.009	0.659 ^{ns}
ค่า h (degree)	<0.001	<0.001	0.001*
ค่าความแน่นเนื้อ	<0.001	<0.001	0.065 ^{ns}
ความชื้น	<0.001	<0.001	0.184 ^{ns}
ปริมาณโปรตีน	<0.001	<0.001	0.028*
ปริมาณเยื่อใย	<0.001	<0.001	0.011*
ปริมาณเถ้า	<0.001	0.003	0.500 ^{ns}
ปริมาณไขมัน	<0.001	<0.001	<0.001
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต	<0.001	<0.001	0.566 ^{ns}
ค่าพีเอช	<0.001	<0.001	0.760 ^{ns}
ปริมาณแอนโธไซยานิน	<0.001	0.001	0.167 ^{ns}
จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด	<0.001	0.001	0.307 ^{ns}

หมายเหตุ: P หรือค่า sig เป็นค่าที่ใช้ในการตัดสินใจว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐาน; * = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$); ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยกำหนดให้ ปัจจัยที่ 1 คือ ปริมาณโซเดียมซัลเฟตที่ใช้ตกตะกอนโปรตีน (0.66% และ 1.0% ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด) ปัจจัยที่ 2 คือ อุณหภูมิเริ่มต้นที่ใช้ในการตกตะกอนโปรตีน (90°C และ 98°C)

3 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของเต้าหู้แข็งที่ผลิตจากถั่วดำ และถั่วเหลือง

การเปรียบเทียบคุณลักษณะระหว่างเต้าหู้แข็งจากถั่วดำกับเต้าหู้แข็งจากถั่วเหลืองพบว่าเต้าหู้แข็งจากถั่วเหลืองมีค่า L* c* h ค่าความแน่นเนื้อ ปริมาณความชื้น โปรตีน เยื่อใย เถ้า ไขมัน ค่าพีเอช และจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดมีค่าสูงกว่าเต้าหู้แข็งจากถั่วดำ นอกจากนี้เต้าหู้แข็งที่ผลิตจากถั่วดำมีข้อดีที่เหนือกว่าเต้าหู้แข็งที่ผลิตจากถั่วเหลือง คือ มีปริมาณแอนโธไซยานินสูง และมีปริมาณไขมันที่ต่ำกว่า (ตารางที่ 7) และเมื่อผ่าตัวอย่างเต้าหู้แข็งทั้ง 2 ชนิด มาทำการประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นหอมเฉพาะตัว รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม พบว่าได้รับคะแนนความชอบในด้านต่าง ๆ อยู่ในช่วง 6.56–7.20 6.20–6.70 6.43–7.23 6.96–7.63 และ 6.70–7.23

ตามลำดับ ซึ่งคะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะมีความแตกต่างกัน ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 8) โดยด้านสี กลิ่นหอมเฉพาะตัว รสชาติ และความชอบรวม พบว่าตัวอย่างเต้าหู้แข็งจากถั่วดำมีแนวโน้มของคะแนนความชอบในด้านดังกล่าวสูงกว่าเต้าหู้แข็งที่ผลิตจากถั่วเหลือง เนื่องจากกลิ่นของเต้าหู้แข็งจากถั่วดำมีกลิ่นของสารไพราซีนน้อยกว่าในเต้าหู้แข็งจากถั่วเหลือง (ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น) ซึ่งกลิ่นดังกล่าวเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับโดยตรงต่อผู้บริโภค (สมเกียรติ, 2532) แต่อย่างไรก็ตามในส่วนของคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัส (ตารางที่ 8) พบว่าตัวอย่างเต้าหู้แข็งที่ผลิตจากถั่วดำได้รับคะแนนความชอบน้อยกว่า โดยเต้าหู้แข็งจากถั่วเหลืองนั้นยังคงมีความแน่นเนื้อมากกว่าเต้าหู้แข็งจากถั่วดำ เนื่องจากปริมาณโปรตีนเริ่มต้นในวัตถุดิบที่สูงกว่า (34.0%) ที่พบในถั่วดำ (23.8%) ดังนั้นโปรตีนตกตะกอน

ตารางที่ 7 คุณลักษณะของเต้าหู้แข็งจากถั่วดำและถั่วเหลือง

คุณลักษณะด้านต่าง ๆ	เต้าหู้แข็ง	
	ถั่วดำ	ถั่วเหลือง
ค่า L*	52.60 ^b	78.45 ^a
ค่า c*	34.13 ^d	36.11 ^a
ค่า h (degree)	64.08 ^b	68.62 ^a
ความแน่นเนื้อ (Newton/mm ²)	6.77 ^b	7.60 ^a
ความชื้น (%)	66.62 ^b	70.64 ^a
ปริมาณโปรตีน (%)	5.83 ^b	8.15 ^a
ปริมาณเยื่อใย (%)	0.15 ^b	0.51 ^a
ปริมาณเถ้า (%)	1.21 ^b	1.36 ^a
ปริมาณไขมัน (%)	1.05 ^b	2.68 ^a
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (%)	25.14 ^a	16.64 ^b
ค่าพีเอช	5.63 ^b	6.00 ^a
ปริมาณแอนโธไซยานิน (mg/100 g)	3.62 ^a	1.54 ^b
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g)	2.35 ^b	2.73 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (ทำ 3 ซ้ำ)

ตารางที่ 8 ผลการประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้แข็งจากถั่วดำและถั่วเหลือง

เต้าหู้แข็ง	คุณลักษณะด้าน (คะแนน)				
	สี	กลิ่นหอมเฉพาะตัว	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบรวม
ถั่วดำ	7.20 ^a ±0.8	6.70 ^a ±0.7	7.23 ^a ±1.0	6.96 ^b ±1.0	7.23 ^a ±0.9
ถั่วเหลือง	6.56 ^b ±0.9	6.20 ^b ±0.6	6.43 ^b ±0.6	7.63 ^a ±0.7	6.70 ^b ±0.9

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (ผู้ทดสอบชิม 30 คน)

สรุปผลการวิจัย

ออกมาได้สูงกว่า แม้จะใช้ปริมาณสารช่วยตกตะกอน และ อุณหภูมิในการตกตะกอนที่ต่ำกว่าก็ตาม โดยการ ตกตะกอนโปรตีนออกมาได้มากจะส่งผลให้เต้าหู้มีเนื้อ สัมผัสที่แน่นขึ้น (ความแน่นเนื้อสูง) ดังนั้นแนวทางในการ พัฒนาเนื้อสัมผัสของเต้าหู้แข็งที่ผลิตจากถั่วดำให้มีเนื้อ สัมผัสให้เพิ่มขึ้นใกล้เคียงกับเต้าหู้แข็งที่ผลิตจากถั่วเหลือง จึงต้องหาวิธีการในการตกตะกอนเพื่อให้ได้ตะกอนของ โปรตีนออกมาให้ได้มากกว่าเดิม (Catharing et al., 1999)

สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเต้าหู้แข็งจาก ถั่วดำคือ การใช้ปริมาณ Na_2SO_4 1.0% ที่อุณหภูมิใน การตกตะกอนโปรตีนเริ่มต้น 98°C โดยให้ปริมาณ ผลผลิต (%yield) เต้าหู้แข็งจากถั่วดำสูงกว่าที่สภาวะ อื่น ๆ คือ 80% ของปริมาตรน้ำนมถั่วดำ (w/v) และ เมื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะระหว่างเต้าหู้แข็งที่ผลิต จากถั่วดำ และถั่วเหลืองพบว่าเต้าหู้แข็งที่ผลิตจากถั่ว ดำจะมีปริมาณไขมันอยู่ในระดับที่ต่ำกว่า (2.08%) และมี ปริมาณแอนโธไซยานินสูงที่สุดกว่า (1.63%) แต่ปริมาณ ของโปรตีนที่พบจะต่ำกว่าในเต้าหู้แข็งที่ผลิตจากถั่ว เหลือง อีกทั้งยังพบว่าคุณลักษณะของเนื้อสัมผัสยังด้อย

กว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเต้าหู้แข็งที่ผลิตจากถั่วเหลือง อย่างไรก็ตามจากการศึกษาครั้งนี้พบว่ามีความเป็นไปได้ในการนำถั่วดำมาใช้ในการผลิตเป็นเต้าหู้แข็งแทนการผลิตแบบเดิมที่ใช้ถั่วเหลือง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2555 ในการดำเนินงาน จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก

เอกสารอ้างอิง

- เกรียงศักดิ์ ไชยโรจน์. (2531). การวิเคราะห์สารให้กลิ่นของถั่วเน่า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.
- จินตนา ชูศรี. (2551). การพัฒนาเต้าหู้แข็งเสริมงาดำ. การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง ระดับปริญญาโท มหาวิทยาลัยนเรศวร. พิษณุโลก.
- ณรงค์ นิยมวิทย์. (2528). องค์ประกอบและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพของอาหาร. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แสงแดด.
- ดวงพร สามัตติยะ. (2540). การใช้ส่วนผสมผลไม้ตระกูลส้มเป็นตัวตกตะกอนต่อคุณภาพของเต้าหู้แข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- ทิพวดี จิตพิศุทธิ์. (2550). การสกัดแอนโทไซยานินจากเมล็ดถั่วดำและประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ธนิต โสภณดอน. (2545). การแปรรูปผลผลิตพืชไร่. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- บริษัทโซยาฟู้ด. (2552). เต้าหู้. เต้าหู้แสนอร่อย แหล่งข้อมูล: <http://www.rsc.lpru.ac.ab%2047/stab471.4doc/login.htm>, 10 มิถุนายน 2552.
- ปรียาพร เขียวขำ. (2544). การศึกษากระบวนการผลิตและคุณสมบัติของนํ้านมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

- ปราณี อ่านเปรื่อง. (2547). หลักการวิเคราะห์อาหารด้วยประสาทสัมผัส. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- วัฒนา ประทุมสินธุ์. (2534). การค้นคว้าทดลองอาหาร. สำนักพิมพ์หอสมุดแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.
- วันชัย สมชิต. (2527). คุณสมบัติของถั่วเหลืองและอาหารจากถั่วเหลือง. สำนักพิมพ์เค.ยู.เพลส, กรุงเทพฯ.
- วรรณิ พฤษศิริสมบัติ. (2541). ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพเต้าหู้ยี้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- เศรษฐสุวรร เศรษฐกรูณย์. (2550). ถั่วเหลือง. การนำเข้าถั่วเหลืองในประเทศไทย. แหล่งข้อมูล: <http://www.monsanto.co.th/showQAnswer.asp?qNo=622>, 3 สิงหาคม 2552.
- สมเกียรติ จิตพิศุทธิ์. (2532). การวิเคราะห์สารให้กลิ่นในถั่วเหลืองหมัก. การศึกษาด้วยตนเองระดับปริญญาโท มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- สุกัญญา นาคกก. (2547). อิทธิพลของชนิดสารตกตะกอนและทรานส์กลูตามีนต่อคุณภาพของเต้าหู้แข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง, ลำปาง.
- สุภาพร อัจฉริยศรีวงศ์. (2553). เกลือกกับจุลินทรีย์. หินฟอสเฟต. แหล่งข้อมูล: http://www.tistr.or.th/t/publication/page_area_show_bc.asp?i1=838i2=24, 28 มีนาคม 2553.
- สุนทนา วัฒนสินธุ์. (2545). จุลชีววิทยาทางอาหาร. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- อภิพรธ จันทรโรจน์. (2546). ถั่วเหลือง: พืชทองของไทย. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- AOAC. (2000). Association of Official Analytical Chemists. Official Method of Analytical. 17thed. AOAC international. Gaithersburg, Maryland. USA.
- Beddows, C.G. and Wong, J. (1987). Optimization of yield and properties of silken tofu from soybeans. The water: bean ratio. II Heat processing. III Coagulation concentration, mixing and filtration pressure. Int. Journal off Food Sciences and Technologies 22(1): 15-34.

- Catharing, Y.W., Liu, K.S. and Huang, Y. (1999). Asian Food Science & Technology. Pennsylvania, USA: Technomic Publishing Company.
- Changjiang, G., Jijun, Y., Jingyu, W., Yunfeng, L., Jing, X. and Yugang, J. (2003). Antioxidant activities of peel, pulp and seed fractions of common fruits as determined by assay. *Journal of Nutrition Research* 23(2): 1719-1726.
- Downes, F.P. and Ito, K. (2001). *Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods*. 4th ed. Washington D.C., USA: American Public Health Association.
- Fuleki, T. and Francis, F.J. (1968). Quantitative methods for anthocyanins. Extraction and determination of total anthocyanin in cranberries. *Journal of Food Sciences* 33(1): 72-77.
- Hendry, B.S. (1996). Natural Food Colours, *In* G.A.F. Hendry and J.D. Houghton. 2nd ed. Natural Food Colorants. Blackie, Glassgow. pp.40-117.
- Hunter Associates Laboratory Inc. (2009). ColorFlex Tomato Color Meter. hunterlab. retrived from : <http://www.hunterlab.com/Instruments/Bench/ColorFlex>; March 12, 2010.
- Jadwiga, W.J. (2002). Food colorants, *In* Zdzislaw E. Sikorski, 2nd ed. Chemical and Functional Properties of Food Components. CRC Press. pp. 205-229.
- Kohyama, K., Sano, Y. and Doi, E. (1995). Rheological characteristics and gelation mechanism of tofu (soybean curd). *Journal of Agriculture Food Chemistry* 43(1): 1808-1812.
- Shurtleff, W.R. and Aoyagi, A. (1979). tofu and soymilk production Lafayette: New Age Foods Study Center. *Journal of Food Sciences* 38(1): 518-530.

