

ผลของแป้งถั่วเหลืองไขมันเต็มต่อลักษณะของเนื้อเทียมโปรตีนถั่วเหลือง

ขจิรัตน์ วรรณรมย์ สุันทาทองทา* และ จิรวัดน์ ยงสวัสดิกุล

Kajirat Rareunrom, Sunanta Tongta and Jirawat Yongsawatdigul. (2007). Effect of Full Fat Soy Flour on Characteristics of Soy Protein Meat Analog. Suranaree J. Sci. Technol. 14(2):185-193.*

Received: Oct 2, 2006; Revised: Jan 15, 2007; Accepted: Feb 9, 2007

Abstract

Soy protein meat analog was fabricated using a twin screw extruder. The full fat soy flour (FSF) of 10, 20, 30, 40 and 50% were blended with defatted soy flour, soy protein isolate and wheat flour. From protein solubility study, hydrophobic interaction and hydrogen bond were the major linkages stabilizing meat analog structure. Meat analog containing 10 and 20% FSF showed tearing and fibrous characteristics, expansion ratio and water holding capacity similar to that without FSF but lower cutting forces and bulk densities. The long and fine fibrous structure with small and large pores was observed in the sample containing low FSF. Increasing FSF to 50% resulted in a greater cutting force and bulk density. In addition, the fibrous structure of 50% FSF meat analog disappeared and its texture was coalescence, resulting in less tearing and fibrous characteristic. Expansion ratio and water holding capacity of high FSF (40 - 50%) meat analogs were lower than those at low FSF (20 - 30%). A decrease in structure integrity of meat analog was obtained as increased FSF from 0 to 40%.

Keywords: Soy protein meat analog, full fat soy flour, protein solubility, structure

บทคัดย่อ

การทำเนื้อเทียมจากโปรตีนถั่วเหลืองด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ โดยใช้แป้งถั่วเหลืองไขมันเต็ม (FSF) 10, 20, 30, 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับแป้งถั่วเหลืองพร่องไขมัน โปรตีนถั่วเหลืองสกัดและแป้งสาลี จากการศึกษาปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ พบว่า พันธะไฮโดรเจนและอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิก มีบทบาทสำคัญในการเชื่อมโยงโครงสร้างของโปรตีนในผลิตภัณฑ์ เนื้อเทียมที่มี FSF 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ มีลักษณะปรากฏทางเนื้อสัมผัสทางด้านการฉีกได้และความเป็นเส้นใย อัตราการขยายตัวและ

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง
จังหวัดนครราชสีมา 30000 E-mail: s-tongta@g.sut.ac.th

* ผู้เขียนที่ให้การติดต่อ

วารสารเทคโนโลยีสุรนารี 14(2):185-193

ความสามารถในการกักเก็บน้ำไม่แตกต่างจากตัวอย่างที่ไม่เติม FSF แต่พบการลดลงของแรงตัดและความหนาแน่นจำเพาะ และมีการจัดเรียงตัวของเส้นใยยาวต่อเนื่อง มีรูพรุนที่เล็กและใหญ่ แต่เมื่อเพิ่ม FSF ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ เนื้อเทียมมีแรงตัดและความหนาแน่นจำเพาะเพิ่มขึ้น ไม่ปรากฏโครงสร้างแบบเส้นใย มีเนื้อสัมผัสที่เกาะตัวเชื่อมเป็นเนื้อเดียวกัน มีลักษณะการฉีกได้และความเป็นเส้นใยน้อย เนื้อเทียมที่มี FSF สูง (40 - 50 เปอร์เซ็นต์) มีอัตราการขยายตัวและความสามารถในการกักเก็บน้ำต่ำกว่าตัวอย่างที่มี FSF ต่ำ (20 - 30 เปอร์เซ็นต์) ดังนั้นความสมบูรณ์ของโครงสร้างมีค่าลดลงเมื่อเพิ่ม FSF จาก 0 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์

บทนำ

แป้งถั่วเหลืองไขมันเต็ม (FSF) เป็นผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองที่มีขั้นตอนการผลิตง่ายและมีความน่าสนใจที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเนื้อเทียม McCabe (1991) ได้แปรรูปผลิตภัณฑ์ทดแทนเนื้อสัตว์จาก FSF ด้วยการให้อาหารร้อนที่มีความดันสูงกับสารละลาย FSF ที่มี pH 4.5 - 6.5 ได้ชิ้นของโปรตีนที่แข็งแรง มีลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสคล้ายเนื้อสัตว์ แต่ในปัจจุบันมีความนิยมการผลิตเนื้อเทียมด้วยเครื่องเอกซทรูเดอร์เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัสและความรู้สึกในปากคล้ายเนื้อสัตว์มาก จากการศึกษาของ Hayakawa (1992) พบว่าเนื้อเทียมที่แปรรูปด้วยเครื่องเอกซทรูเดอร์แบบสกรูคู่ และผสม FSF ที่มีไขมันอยู่ 25 เปอร์เซ็นต์ มีโครงสร้างและเนื้อสัมผัสที่ดี แต่โครงสร้างที่มีรูพรุนมีไขมันเป็นส่วนประกอบ ทำให้ความแน่น (firmness) ของเนื้อสัมผัสผลิตภัณฑ์ลดลง แต่มีการรายงานถึงการผลิตเนื้อเทียมด้วยกระบวนการเอกซทรูชันที่ใช้ FSF แต่ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้างไม่เป็นเส้นใย ไม่แน่นหนา ไม่พองตัวและมีการดูดซับน้ำต่ำ (Gwiazda *et al.*, 1987; Bhattacharya and Hanna, 1988; Cheftel *et al.*, 1992) โดย Kearns *et al.* (1989) พบว่า การผลิตเนื้อเทียมที่มีไขมันอยู่ 0.5 - 6.0 เปอร์เซ็นต์นั้น จำเป็นต้องเพิ่มพลังงานในการเนียนและอุณหภูมิในการแปรรูปให้สูงขึ้น โดยการนำรูปแบบการจัดเรียงสกรูที่แข็งแรงเนียนสูง ๆ มาใช้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pilli *et al.* (2004) ที่พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิและความเร็วรอบของสกรู รวมทั้งการลดความชื้นของวัตถุดิบ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี อย่างไรก็ตาม ความสามารถในการใช้ FSF เพื่อผลิตเนื้อเทียมและผล

ต่อคุณภาพด้านต่าง ๆ นั้นยังไม่ชัดเจน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงหน้าที่ และพันธะเคมีของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมที่เติม FSF ในระดับต่าง ๆ

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การเตรียมวัตถุดิบ

นำแป้งถั่วเหลืองพร่องไขมัน (defatted soy flour: DSF) โปรตีนถั่วเหลืองสกัด (soy protein isolate: SPI) (Profam 970) จากบริษัท ADM Protein Specialties (Decatur, IL, USA) แป้งสาลี (wheat flour: WF) ตราหางสัวจากบริษัทยูนิเด็ค ฟลาวมิลล์ จำกัด (มหาชน) และ FSF จากบริษัทคอยคำผลิตอาหารจำกัด มาผสมกันในอัตราส่วน SPI ต่อ WF เป็น 30 ต่อ 20 เปอร์เซ็นต์ แล้วเติม FSF ในปริมาณ 0 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง โดยแทนที่ในปริมาณ DSF เมื่อวิเคราะห์โปรตีน และไขมัน ด้วยวิธี AOAC (1995) ทุกตัวอย่างมีปริมาณโปรตีนในช่วง 54.8 - 49.8 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณไขมัน 0.85, 2.73, 4.63, 6.53, 8.43 และ 10.33 เปอร์เซ็นต์ ในตัวอย่างที่เติม FSF 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

การแปรรูปด้วยกระบวนการเอกซทรูชัน

วัตถุดิบที่ผสมป้อนเข้าเครื่องเอกซทรูเดอร์สกรูคู่แบบหมุนตามกัน (APV Baker MPF 19-25, APV Baker, Peterborough, UK) ควบคุมอุณหภูมิของบาริลไว้ที่ 60, 90, 140 และ 160 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วรอบสกรู 250 รอบต่อนาที ป้อนวัตถุดิบด้วยอัตราเร็ว 65 กรัมต่อนาที ปรับให้วัตถุดิบมีความ

ขึ้น 30 เปอร์เซนต์ ติดตามการบันทึกค่าทอร์ค (เปอร์เซนต์) และความดันที่หัวแบบ (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) ระหว่างที่เครื่องทำงาน นำเนื้อเยื่อที่ได้ไปอบแห้งในตู้อบร้อนที่ 50 องศาเซลเซียส จนผลิตภัณฑ์มีความชื้นไม่เกิน 9 เปอร์เซนต์

การตรวจวัดแรงตัดของเนื้อสัมผัส (Textural cutting force)

ใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (TA-XT2 Texture Analyzer; Stable Micro Systems, United Kingdom) โดยแช่เนื้อเยื่อที่มีความยาว 3 เซนติเมตรในน้ำกลั่น ให้มีความชื้น 80 เปอร์เซนต์ วิเคราะห์ค่าแรงตัดด้วยหัววัดแบบ Warner-Bratzler shear จำนวน 15 ซ้ำต่อตัวอย่าง รายงานค่าแรงตัด (cutting force) เป็นกรัมต่อตารางเซนติเมตร (พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง)

ลักษณะปรากฏทางเนื้อสัมผัส (Textural appearance)

ทดสอบด้วยวิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA) เตรียมเนื้อเยื่อให้คืนตัวในน้ำ โดยให้มีความชื้น 80 เปอร์เซนต์ แล้วนำไปให้ผู้ทดสอบฉีกตัวอย่างเนื้อเยื่อออกตามแนวยาว สังเกตลักษณะการฉีกได้ (tearing) และความเป็นเส้นใย (fibrousness) ที่ปรากฏภายในชิ้นเนื้อเยื่อ โดยมีสเกลคือ “ไม่มีโครงสร้างแบบเส้นใย” ถึง “มีโครงสร้างแบบเส้นใยมากที่สุด” และ “ไม่สามารถฉีกได้” ถึง “สามารถฉีกได้ตลอดความยาว” ตามลำดับ โดยมีจำนวนผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนมาแล้ว 10 คน และทำการทดสอบ 2 ครั้ง

อัตราการขยายตัว (Expansion ratio)

คำนวณอัตราการขยายตัวของเนื้อเยื่อจากอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวอย่างต่อเส้นผ่าศูนย์กลางของรูเปิดที่หัวแบบของเครื่องเอกซทราเดอร์ ทำการวัดอย่างน้อย 20 ชิ้นต่อตัวอย่าง

ลักษณะโครงสร้างภายใน (Microstructure)

ตัดเนื้อเยื่อตามขวางและตามยาวให้เป็นชิ้นบางขนาด $0.4 \times 0.6 \times 0.2$ เซนติเมตร ตรวจสอบโครงสร้างภายในเนื้อเยื่อด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบ

สเตอริโอ (SMZ-U Stereo Microscope, Nikon Corporation, Japan) ที่กำลังขยาย 12 เท่า และ 30 เท่า

ความสามารถในการละลายของโปรตีน (Protein solubility)

ตรวจสอบตามวิธีของ Lin *et al.* (2000) และวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนตามวิธีการของ Lowry *et al.* (1951) โดยใช้บัฟเฟอร์ในการสกัดโปรตีน 5 ชนิด คือ (1) สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.035 โมลาร์ pH 7.6 (P) (2) สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่มี sodium dodecyl sulfate (SDS) เข้มข้น 1.5 เปอร์เซนต์ (P + S) (3) สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่มียูเรีย เข้มข้น 8 โมลาร์ (P + U) (4) สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่มี 2-mercaptoethanol เข้มข้น 0.1 โมลาร์ (P + M) (5) สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่มียูเรียและ SDS (P + S + U)

ดัชนีความสมบูรณ์ของโครงสร้าง (Structure integrity index)

ตรวจสอบตามวิธีการของ Harper (1981) โดยนำตัวอย่างบดด้วยโกลีนผสมเป็นเวลา 1 นาที แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 20 เมช (mesh) นำส่วนที่ค้างบนตะแกรง 100 กรัม มาแช่น้ำกลั่น 5 นาที ผึ่งให้สะเด็ดน้ำแล้วนำไปให้ความร้อนในหม้อนิ่งภายใต้ความดัน 15 นาที ลดอุณหภูมิ แล้ววางบนตะแกรง 20 เมช ฉีกด้วยน้ำเย็น 1 นาที เขย่าและซับน้ำให้แห้ง ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างที่ค้างอยู่บนตะแกรง คำนวณค่าดัชนีความสมบูรณ์จากสัดส่วนของน้ำหนักของส่วนที่ค้างอยู่บนตะแกรงต่อ 100 กรัม

ความหนาแน่นจำเพาะ (Bulk density)

การวิเคราะห์ความหนาแน่นจำเพาะของตัวอย่างเนื้อเยื่อ โดยวัดปริมาตรของตัวอย่างด้วยการแทนที่ด้วยทราย ตามวิธีของ Penfield and Campbell (1990)

ความสามารถในการกักเก็บน้ำ (Water holding capacity)

ชั่งตัวอย่าง 15 กรัม (W_a) แช่น้ำกลั่นแล้วให้ความร้อนที่ 50 องศาเซลเซียส 12 ชั่วโมง แล้วเททิ้ง

บนตะแกรง 5 นาที ชั่งน้ำหนัก (Wb) จำนวนค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการกักเก็บน้ำ (Water holding capacity) จากสูตร (Lin *et al.*, 2002): $[(Wb - Wa)/Wa] \times 100$

การวิเคราะห์ข้อมูล

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วย Analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรม Statistical Analysis System (SAS) version 9.0

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ผลของแป้งถั่วเหลืองไขมันเต็มต่อพันธะเคมี

การศึกษานิพจน์พันธะเคมีในวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมใช้หลักการละลายโปรตีนด้วยบัฟเฟอร์ชนิดต่าง ๆ โดยฟอสเฟตบัฟเฟอร์สามารถทำลายอันตรกิริยาทางไฟฟ้า (electrostatic interaction) SDS สามารถทำลายอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิก (hydrophobic interaction) ยูเรียสามารถทำลายพันธะ

ไฮโดรเจน และ 2-mercaptoethanol สามารถทำลายพันธะไดซัลไฟด์จากการวัดปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ของวัตถุดิบที่เติม FSF ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 5 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 1 เห็นได้ว่าจากปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ของวัตถุดิบที่มี FSF ในระดับ 0 - 50 เปอร์เซ็นต์ ในบัฟเฟอร์ P + S และ P + M มีค่าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) และในวัตถุดิบที่มี FSF เป็นส่วนผสมในระดับ 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ใน P + S และ P + M มากกว่าของ P + U ($p < 0.05$) แสดงว่าพันธะไดซัลไฟด์และอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิกมีบทบาทที่สำคัญและมากกว่าพันธะไฮโดรเจนในวัตถุดิบ

เมื่อศึกษาพันธะของเนื้อเทียมที่มี FSF ในระดับ 0 - 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่าพันธะหลัก คืออันตรกิริยาไฮโดรโฟบิกและพันธะไฮโดรเจน ซึ่งพบมากกว่าพันธะไดซัลไฟด์ (ตารางที่ 2) ดังเห็นได้จากเนื้อเทียมที่เติม FSF ทุกระดับ มีปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ใน P + S, P + U และ P + S + U ที่มากกว่าใน P + M ($p < 0.05$) ทั้งนี้ อาจเป็นผลมาจากโปรตีนถั่วเหลืองเกิดการสูญเสียสภาพทางธรรมชาติเมื่อผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ทำให้โครงสร้างคลายตัว และเปิดส่วนที่เป็นไฮโดรโฟบิกภายใน

Table 1. Soluble protein content (g/g protein) of raw materials containing various amounts of FSF

FSF content (%)	Buffer				
	P	P + S	P + U	P + M	P + S + U
0	0.520 ^c	0.837 ^{ab}	0.734 ^b	0.882 ^a	0.900 ^a
10	0.522 ^c	0.996 ^a	0.737 ^b	0.946 ^a	0.963 ^a
20	0.509 ^c	0.981 ^a	0.740 ^b	0.939 ^a	0.975 ^a
30	0.309 ^c	0.803 ^a	0.489 ^b	0.728 ^a	0.792 ^a
40	0.340 ^c	0.869 ^a	0.915 ^a	0.951 ^a	0.757 ^b
50	0.325 ^c	0.728 ^b	0.855 ^a	0.722 ^b	0.664 ^b

P = phosphate buffer;

P + S = phosphate buffer + sodium dodecyl sulfate;

P + U = phosphate buffer + phosphate buffer + sodium dodecyl sulfate;

P+M = phosphate buffer + 2-mercaptoethanol;

P+S+U = phosphate buffer + sodium dodecyl sulfate + urea

Number with different letters within the same row are significantly different ($p < 0.05$)

โมเลกุลออกมา (Hermansson, 1978) จึงสามารถเกิดอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิกระหว่างโมเลกุลโปรตีนและโมเลกุลไขมันได้ จึงทำให้สัดส่วนของพันธะไดซัลไฟด์ที่เชื่อมโยงโครงสร้างของโปรตีนลดลง นอกจากนี้ ความสามารถในการละลายของโปรตีนในเนื้อเทียมลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ของวัตถุดิบ (ตารางที่ 1 และ 2) โดยปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ของเนื้อเทียมที่มีส่วนผสมของ FSF ระดับ 0 - 50 เปอร์เซ็นต์ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ทั้ง 5 ชนิด มีค่าต่ำกว่าของวัตถุดิบที่ระดับ FSF เดียวกัน ($p < 0.05$) จึงแสดงให้เห็นว่า กระบวนการเอกซ์ทรูชันมีผลทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของโปรตีนในเนื้อเทียมในรูปแบบใหม่ที่มีความซับซ้อนมากขึ้นเมื่อเทียบกับวัตถุดิบ

การเพิ่ม FSF จาก 0 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ มีผลให้ปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ใน P + S + U ของเนื้อเทียมที่มีปริมาณ FSF 0 - 50 เปอร์เซ็นต์ มีค่าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ซึ่งพบผลเช่นเดียวกันนี้ในปริมาณโปรตีนที่ละลายได้จาก P + S, P + U และ P + M ดังนั้น การเพิ่มปริมาณ FSF ในระดับดังกล่าวจึงไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของพันธะไฮโดรเจน อันตรกิริยาไฮโดรโฟบิก และพันธะไดซัลไฟด์ในเนื้อเทียม

ผลของแป้งหัวเลียงไขมันต่อลักษณะโครงสร้างและเนื้อสัมผัส

โครงสร้างภายในของเนื้อเทียมที่เติม FSF 0 - 20 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 1(a-c)) แสดงให้เห็นว่าเนื้อเทียมทั้งสามชนิดมีช่องรูพรุนที่เล็กและใหญ่ ผันบางและปรากฏริ้วเส้นใยขึ้น และมีการจัดเรียงตัวของโครงสร้างแบบเส้นใยยาวต่อเนื่องที่ดูโปร่งบาง ดังสังเกตได้จากรูปที่ 2(a-c) ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะทางด้านการฉีกได้และความเป็นเส้นใยของเนื้อเทียมที่มีค่าสูง (ตารางที่ 3) แต่เมื่อปริมาณ FSF เพิ่มขึ้นถึง 50 เปอร์เซ็นต์ เนื้อเทียมมีช่องรูพรุนเล็ก ผันหนาขึ้นมาก เนื้อสัมผัสมีลักษณะเชื่อมเกาะตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ดังรูปที่ 1(d-f) โดยไม่พบลักษณะการจัดเรียงตัวแบบเส้นใยดังรูปที่ 2(d-f) ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการฉีกได้และความเป็นเส้นใยของเนื้อเทียมที่มีค่าลดลงมาก ($p < 0.05$) เมื่อเติม FSF เพิ่มขึ้นจาก 30 เป็น 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการใช้ FSF ปริมาณมากขึ้น ทำให้มีน้ำมันหัวเลียงเพิ่มขึ้นถึง 7 - 10 เปอร์เซ็นต์ จึงมีส่วนไปลดแรงเสียดทานและแรงตอร์คในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ลงได้ (Camier, 2000) ดังเห็นได้จากการที่ค่าตอร์คและความดันที่หัวแบบ (ตารางที่ 4) ของโด (dough) ที่มี

Table 2. Soluble protein content (g/g protein) of meat analog containing various amounts of FSF

FSF content (%)	Buffer				
	P	P + S	P + U	P + M	P + S + U
0	0.090 ^y	0.282 ^{wx}	0.347 ^w	0.165 ^{xy}	0.383 ^w
10	0.091 ^y	0.266 ^x	0.367 ^w	0.174 ^y	0.311 ^w
20	0.087 ^y	0.245 ^{wx}	0.288 ^w	0.150 ^{xy}	0.324 ^w
30	0.091 ^y	0.239 ^{xy}	0.393 ^w	0.196 ^{yz}	0.364 ^{wx}
40	0.067 ^y	0.197 ^x	0.359 ^w	0.142 ^{xy}	0.299 ^w
50	0.062 ^z	0.212 ^{xy}	0.396 ^w	0.145 ^{yz}	0.312 ^{wx}

P = phosphate buffer;

P+S = phosphate buffer + sodium dodecyl sulfate;

P+U = phosphate buffer + phosphate buffer + sodium dodecyl sulfate;

P+M = phosphate buffer + 2-mercaptoethanol;

P+S+U = phosphate buffer + sodium dodecyl sulfate + urea

Number with different letters within the same row are significantly different ($p < 0.05$)

FSF ในระดับสูง (30 – 50 เปอร์เซ็นต์) มีค่าลดลงมาก ($p<0.05$) จึงอาจทำให้ความดันไม่เพียงพอต่อการสร้างเนื้อสัมผัสแบบเส้นใยของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม (Cheftel *et al.*, 1992; Lin *et al.*, 2002) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gwiazda *et al.* (1987) ที่พบว่าโครงสร้างภายในของเอกซ์ทราคตจาก DSF

ที่เติมน้ำมันถั่วเหลือง 15 เปอร์เซ็นต์ มีหยดไขมันเล็กๆ กระจายตัวไปตามโครงสร้างของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต ซึ่งขัดขวางการจัดเรียงตัวแบบเส้นใยที่ดีของเอกซ์ทราคต นอกจากนี้ อาจเป็นผลมาจากการที่ไขมันมีส่วนทำให้การดูดซึมน้ำของโคลลดลง ในระหว่างการผสมวัตถุดิบเข้าด้วยกัน ส่งผลให้การ

Table 3. Extrusion parameters, physical and functional properties of meat analog containing 0-50% FSF

Extrusion parameters and properties	FSF (%)					
	0	10	20	30	40	50
Torque (%)	46.88 a ⁽¹⁾	33.50 b	29.13 c	21.25 d	18.38 e	16.00 e
Die pressure (psi)	428.75 a	343.75 b	227.50 c	177.50 d	156.2 de	136.25 e
Stress (g/cm ²)	2,233 ab	1,978 ab	1,648 b	1,672 b	1,896 ab	2,457 a
Textural appearance score						
Tearing	7.89 a	6.15 ab	6.59 ab	2.28 bc	1.96 bc	1.46 c
Fibrousness	7.17 a	7.07 a	6.00 abc	4.30 bc	4.03 bc	2.59 c
Expansion ratio	2.38 a ⁽¹⁾	2.53 a	2.48 a	1.90 b	1.72 bc	1.54 c
Piece density (g/cm ³)	0.395 bc	0.266 cd	0.186 d	0.283 cd	0.498 ab	0.602 a
Water holding capacity	281 ab	307 a	316 a	280 ab	261 b	264 b
Integrity index	0.82 a	0.64 ab	0.61 b	0.48 bc	0.33 c	0.66 ab

⁽¹⁾ Values in row with the different letter are significantly different ($p<0.05$)

Table 4. Extrusion parameters, physical and functional properties of meat analog containing various amount of FSF

Extrusion parameters and properties	FSF (%)					
	0	10	20	30	40	50
Torque (%)	46.88 a ⁽¹⁾	33.50 b	29.13 c	21.25 d	18.38 e	16.00 e
Torque (%)	46.88 a ⁽¹⁾	33.50 b	29.13 c	21.25 d	18.38 e	16.00 e
Die pressure (psi)	428.75 a	343.75 b	227.50 c	177.50 d	156.2 de	136.25 e
Cutting force (g/cm ²)	2,233 ab	1,978 ab	1,648 b	1,672 b	1,896 ab	2,457 a
Textural appearance score						
Tearing	7.89 a	6.15 ab	6.59 ab	2.28 bc	1.96 bc	1.46 c
Fibrousness	7.17 a	7.07 a	6.00 abc	4.30 bc	4.03 bc	2.59 c
Expansion ratio	2.38 a ⁽¹⁾	2.53 a	2.48 a	1.90 b	1.72 bc	1.54 c
Bulk density (g/cm ³)	0.395 bc	0.266 cd	0.186 d	0.283 cd	0.498 ab	0.602 a
Water holding capacity (%)	281 ab	307 a	316 a	280 b	261 b	264 b
Structural integrity index	0.82 a	0.64 ab	0.61 b	0.48 bc	0.33 c	0.66 ab

⁽¹⁾ Number with different letters within the same row are significantly different ($p<0.05$)

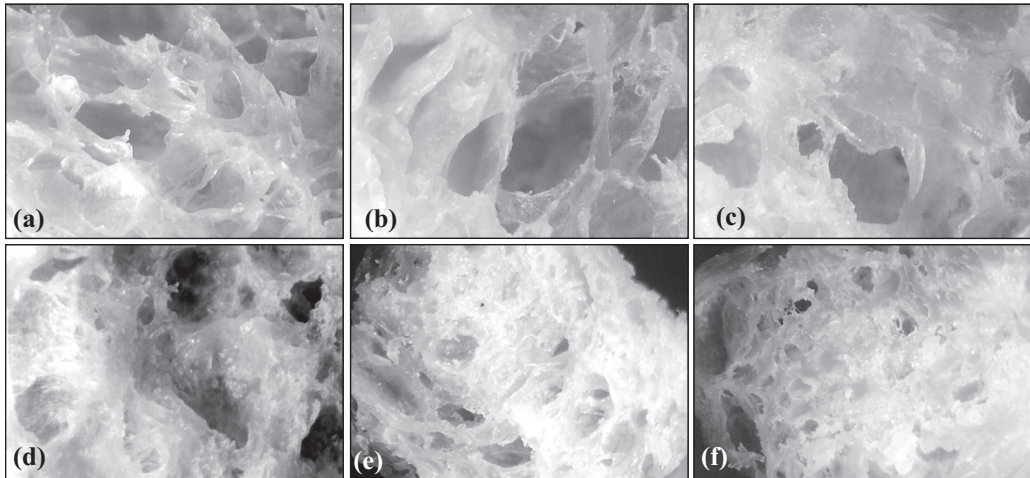


Figure 1. a) Cross-sectional micrograph of meat analog containing 0% FSF (12x)
 b) Cross-sectional micrograph of meat analog containing 10% FSF (12x)
 c) Cross-sectional micrograph of meat analog containing 20% FSF (12x)
 d) Cross-sectional micrograph of meat analog containing 30% FSF (12x)
 e) Cross-sectional micrograph of meat analog containing 40% FSF (12x)
 f) Cross-sectional micrograph of meat analog containing 50% FSF (12x)

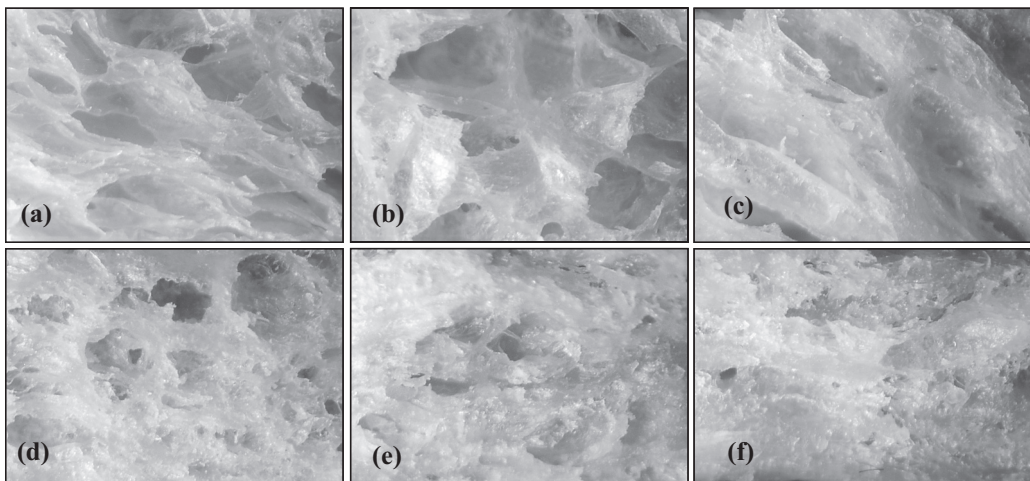


Figure 2. a) Longitudinal micrograph of meat analog containing 0% FSF (30x)
 b) Longitudinal micrograph of meat analog containing 10% FSF (30x)
 c) Longitudinal micrograph of meat analog containing 20% FSF (30x)
 d) Longitudinal micrograph of meat analog containing 30% FSF (30x)
 e) Longitudinal micrograph of meat analog containing 40% FSF (30x)
 f) Longitudinal micrograph of meat analog containing 50% FSF (30x)

เปลี่ยนแปลงโครงสร้างขององค์ประกอบต่าง ๆ ในวัตถุดิบเกิดได้ยาก ทำให้เนื้อสัมผัสของเนื้อเทียมไม่สมบูรณ์ จึงพบว่าเนื้อเทียมที่เติมแป้งถั่วเหลืองไขมันเติมในปริมาณมาก มีลักษณะเนื้อสัมผัสคล้ายของแข็งแข็งเหนียวขึ้น ดังรูปที่ 2(d-f)

การเติม FSF เพิ่มจาก 10 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เนื้อเทียมมีค่าแรงตัดไม่แตกต่างจากเนื้อเทียมที่ไม่มีส่วนผสมของ FSF ($p>0.05$) (ตารางที่ 4) โดยค่าแรงตัดนี้อาจบ่งบอกได้ถึงความแน่นแข็งของเนื้อสัมผัส แสดงว่าการเติม FSF เพิ่มถึง 40 เปอร์เซ็นต์ ไม่ได้ทำให้ความแข็งของเนื้อเทียมลดลง ในขณะที่เมื่อเพิ่มปริมาณ FSF ในเนื้อเทียมขึ้นถึง 50 เปอร์เซ็นต์ กลับทำให้เนื้อเทียมมีค่าแรงตัดสูงสุด ซึ่งอาจเป็นผลมาจากเนื้อเทียมชนิดนี้มีอัตราการขยายตัวต่ำมาก (ตารางที่ 4) โครงสร้างภายในของเนื้อเทียมเกาะตัวเป็นเนื้อเดียวกันอย่างหนาแน่น ดังเห็นได้จากภาพที่ 1(f) และ 2(f) จึงทำให้เนื้อเทียมมีเนื้อสัมผัสที่แน่นแข็ง

ผลของแป้งถั่วเหลืองไขมันเติมต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่

การเติม FSF ที่ 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีไขมันประมาณ 2 - 5 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เนื้อเทียมมีอัตราการขยายตัวไม่แตกต่างทางสถิติกับเนื้อเทียมที่ไม่ได้เติม FSF (ตารางที่ 4) สอดคล้องกับผลของ Pan *et al.* (1991) ที่พบว่าการเอกซ์ทรูดแป้งข้าวที่มีส่วนผสมของน้ำมันถั่วเหลือง 3 - 4 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการขยายตัวตามขวางเพิ่มขึ้น 2 - 4 เท่า ที่อาจเป็นผลจากไขมันช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนให้กับโด รวมทั้งการเป็นสารหล่อลื่น (lubricant) ของไขมัน ทำให้กระบวนการแปรรูปเอกซ์ทรูดขึ้นต่อเนื่อง รวดเร็ว ไม่ติดขัด จึงสร้างเนื้อสัมผัสได้ดี ดังนั้น เนื้อเทียมที่มี FSF 0 - 20 เปอร์เซ็นต์ อาจเป็นระดับที่ทำให้กระบวนการเอกซ์ทรูดขึ้นทำงานได้ตามปกติ และทำให้เนื้อเทียมมีการขยายตัวสูง มีความสามารถในการกักเก็บน้ำสูง เพราะมีโครงสร้างเป็นรูพรุน ส่งผลให้ความหนาแน่นจำเพาะของเนื้อเทียมต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bhattacharya *et al.* (1988) ที่พบว่าเอกซ์ทรูด

ที่มีปริมาณไขมันต่ำ มีอัตราการขยายตัวสูงกว่าและมีความสามารถในการกักเก็บน้ำสูงกว่า แต่เมื่อระดับ FSF ในเนื้อเทียมสูงกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้เนื้อเทียมมีอัตราการขยายตัวลดลงมาก ($p<0.05$) Guy and Horne (1988) กล่าวว่า อัตราการขยายตัวของผลิตภัณฑ์เอกซ์ทรูดขึ้นกับสมบัติด้านความยืดหยุ่นของส่วนผสมแต่ละชนิดในวัตถุดิบในระหว่างการเอกซ์ทรูด ดังนั้น การที่เอกซ์ทรูดมี FSF ในปริมาณมาก อัตราการขยายตัวจะลดลง แสดงว่าโครงสร้างของโดมีความยืดหยุ่นลดลง ซึ่งอาจเป็นผลจากไขมันที่ปลดปล่อยการกระจายตัวของโปรตีนถั่วเหลือง โปรตีนสาไธและสตาร์ชสาไธที่เป็นโครงสร้างหลักของโด ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ขยายตัวเมื่อออกจากเครื่องเอกซ์ทรูดอร์ (Mohamed, 1990; Guy, 1994) จึงทำให้เนื้อเทียมที่มี FSF สูงจาก 30 - 50 เปอร์เซ็นต์ มีความหนาแน่นจำเพาะเพิ่มขึ้น และมีความสามารถในการกักเก็บน้ำลดลง ($p<0.05$)

ดัชนีความสมบูรณ์ของโครงสร้างของเนื้อเทียมที่เติม FSF เพิ่มจาก 0 - 40 เปอร์เซ็นต์ มีค่าลดลง ($p<0.05$) แสดงว่าความสมบูรณ์ของการก่อตัวเป็นเนื้อเดียวกันของโครงสร้างเนื้อเทียมลดลง โดยอาจเป็นผลมาจากเนื้อเทียมที่มี FSF เพิ่มขึ้น มีการจัดเรียงตัวแบบร่างแหเส้นใยที่สมบูรณ์น้อยลง จึงเกิดการสูญเสียโครงสร้างอย่างง่ายตายเมื่อได้รับความร้อนและความดันสูง แต่ทั้งนี้ เนื้อเทียมที่มีส่วนผสมของ FSF 50 เปอร์เซ็นต์ มีดัชนีความสมบูรณ์ของโครงสร้างสูงไม่แตกต่างจากเนื้อเทียมที่มี FSF 0 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ($p>0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับผลของค่าแรงตัดดังตารางที่ 3 ทั้งนี้ เกิดจากเนื้อเทียมที่มี FSF ในระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ มีเนื้อสัมผัสเกาะตัวกันแน่น เมื่อแช่ในน้ำ น้ำไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปในเนื้อโครงสร้างได้สมบูรณ์ จึงทำให้โครงสร้างของเนื้อเทียมไม่ถูกทำลายเมื่อได้รับความร้อนและความดันสูง

บทสรุป

การใช้ FSF เป็นวัตถุดิบสำหรับแปรรูปเนื้อเทียมพบว่าพันธะเคมีที่พบมากในโครงสร้างโปรตีนของ

เนื้อเทียม คือ อันตรกิริยาไฮโดรโฟบิก รongลงมาเป็น พันธะไฮโดรเจนและพันธะไดซัลไฟด์ ตามลำดับ เนื้อเทียมที่มี FSF เป็นส่วนผสม 0 - 20 เปอร์เซ็นต์ มีเนื้อสัมผัสที่แข็งแรงและมีการจัดเรียงตัวของ โครงสร้างภายในแบบเส้นใยที่มีช่องรูพรุนตลอด โครงสร้าง จึงมีความสามารถในการกักเก็บน้ำสูง ขณะที่เนื้อเทียมที่มี FSF เพิ่มถึง 50 เปอร์เซ็นต์ มีเนื้อสัมผัสที่เกาะตัวกันแน่นแข็งแรงและไม่พองตัว โดย ไม่ปรากฏลักษณะการจัดเรียงตัวแบบเส้นใย จึงทำ ให้มีลักษณะการฉีกและความเป็นเส้นใยต่ำ ดังนั้น FSF 20 เปอร์เซ็นต์ จึงเป็นปริมาณสูงสุดที่ทำให้ เนื้อเทียมมีลักษณะทางกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ ที่ดี สามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมของวัตถุดิบใน การแปรรูปผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมโปรตีนถั่วเหลืองได้

เอกสารอ้างอิง

- Bhattacharya, M. and Hanna, M.A. (1988). Effect of lipid on the properties of extruded product. *J. Food Sci.*, 53: 1,230-1,231.
- Camier, M.E. (2000). Chemical and nutritional changes in food during extrusion. In: *Extruder in Food Applications*. Riaz, M.N. (ed). Technomic Publication, Lancaster, Pennsylvania, USA, p. 127-148.
- Cheftel, J.C., Kitagawa, M., and Queguiner, C. (1992). New protein texturization process by extrusion cooking at high moisture level. *Food Rev. Internat.*, 8:235-242.
- Guy, R.C.E. (1994). Raw material for extrusion cooking. In: *The Technology of Extrusion Cooking*. Frame, N.D. (ed). American of Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA, p. 52-72.
- Gwiazada, S., Noguchi, A., and Saio, K. (1987). Microstructure studies of texturized vegetable protein products: Effect of oil addition and transformation of raw materials in various sections of twin screw extruder. *Food Micro.*, 6:57-61.
- Harper, J.M. (1981). *Extrusion of foods*. Vol II. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 174p.
- Hayakawa, I. (1992). *Food Processing by Ultra High Pressure Twin Screw Extrusion*. Technomic Publishing, USA, 153p.
- Hermansson, A.M. (1978). Physico-chemical aspects of soy protein structure formation. *J. Texture Studies*. 9:33-58.
- Kearns, J.P., Rokey, G.J., and Huber, G.R. (1989). Extrusion of texturized protein. *Proceedings of the World Congress on Vegetable Protein Utilization in Human Foods and Animal Feedstuffs*. Applewhite, T.H. (ed). American Association of Cereal Chemists, Champaign, IL, USA, 313p.
- Lin, S., Huff, H.E., and Hsieh, F. (2000). Extrusion process parameters, sensory characteristics, and structural properties of high moisture soy protein meat analog. *J. Food Sci.*, 67(3):1,066-1,072.
- Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L., and Randall, R.J. (1951). Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.*, 193:256-275.
- McCabe, E.M., inventors; Method of Producing Simulated Meat Product from Whole Soybeans, assignee. (1991). U.S. Patent no. 5,068,117.
- Mohamed, S. (1990). Factor affecting extrusion characteristics of expanded food products. *J. Food Proc. Preserv.*, 14:437-452.
- Pan, B.S., Kong, M.S., and Chen, H.H. (1991). Twin screw extrusion for expanded rice product: Processing parameter and formation of extruded properties. In: *Food Extrusion Science and Technology*. Kokini, L.J., Ho, T.C., and Karwe, M.V. (eds). Marcel Dekker, NY, p. 693-709.
- Penfield, M.P. and Campbell, A.M. (1990). *Experimental Food Science*. 3rd ed. Academic Press, San Diego, USA. 342p.
- Pilli, T.D., Severini, C., Baiano, A., Derossi, A., Anhalass, A., and Legrand, J. (2004). Effect of operating conditions on oil loss and properties of products obtained by co-rotating twin-screw extrusion of fatty meal: Preliminary study. *J. of Food Eng.*, Article in press.