บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากข้อมูลผลงานวิจัยการผลิตสารให้ฟองที่ผ่านมาได้ให้ข้อสรุปและข้อมูลที่น่าสังเกตหลายประการพอจะจำแนกได้ดังนี้

1. องค์ประกอบทางเคมีของกากถั่วเหลืองวัตถุดิบ มีปริมาณโปรตีน 46.01 % เมื่อนำมาสกัดโปรตีนพบว่า มีปริมาณโปรตีนคิดเป็นน้ำหนักแห้ง 93.58% ชี้ให้เห็นถึงปริมาณของโปรตีนที่สูงของกากถั่วเหลืองและการสกัดโปรตีนที่มีประสิทธิภาพดี อย่างไรก็ตามการสกัดโปรตีนในงานวิจัยนี้ใช้ถังกวนที่มีปริมาตรประมาณ 150 ลิตร และมีการกวนอย่างทั่วถึงตลอดเวลา หากสกัดในปริมาณที่มากขึ้นผลผลิตโปรตีนที่สกัดได้อาจจะมีการเปลี่ยนแปลง

2. จากการศึกษา pH และอุณหภูมิที่เหมาะสมแก่การทำงานของเอนไซม์ทั้ง 4 ชนิด โดยวัดจากปริมาณ tyrosine ที่เกิดขึ้นเทียบเป็น % แอคติวิตีสัมพัทธ์ สามารถจัดกลุ่มตาม pH ที่เอนไซม์ทำงานได้ดีเป็น กลุ่มแอซิดโปรติเอส ได้แก่ Pepsin ทำงานได้ดีที่สุดที่ pH 2 กลุ่มนิวทรัลโปรติเอสได้แก่ Papain ทำงานได้ดีที่สุดที่ pH 6 กลุ่มอัลคาไลน์โปรติเอสได้แก่ Protin AC 10® ทำงานได้ดีที่สุดที่ pH 9 และ Alcalase® ทำงานได้ดีที่สุดที่ pH 8 อุณหภูมิที่เอนไซม์ Pepsin ทำงานได้ดีที่สุดที่ คือ 60 °C Papain ทำงานได้ดีที่สุดที่ คือ 60 °C Protin AC 10® ทำงานได้ดีที่สุดที่ คือ 80 °C และ Alcalase® ทำงานได้ดีที่สุดที่ คือ 50 °C

3 .ความเข้มข้นของเอนไซม์ต่อสับสเตรทโปรตีนถั่วเหลืองที่มีความเร็วปฏิกิริยาสูงสุด คือ Pepsin 0.25% (W/W Protein) Papain 1.25% (W/W Protein) Alcalase® 0.285% (V / W protein) และ Protin AC 10® 0.014% (W / W protein)

4. พบว่าภาวะที่เอนไซม์ทั้ง 4 ชนิดสามารถตัดสายโปรตีนอย่างจำกัดและอย่างจำเพาะต่อการเกิดสารให้ฟอง ที่มีปริมาตรและความคงตัวสูง เมื่อแปร pH อุณหภูมิ และเวลา ขึ้นกับปัจจัยของเวลาร่วมกับอุณหภูมิ โดยในช่วงภาวะที่ศึกษาโปรตีนถั่วเหลืองที่ย่อยด้วยเอนไซม์ทั้ง 4 มีค่าร้อยละการขยายตัวของฟองเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ส่วนความคงตัวของฟองจะเพิ่มขึ้นและเริ่มลดลง เมื่อพิจารณาภาวะที่ให้ทั้ง ค่าร้อยละการขยายตัวของฟองและความคงตัวของฟองสูง โดยอาศัยกราฟ 2 มิติ (Contour plot)ของค่าร้อยละการขยายตัวของฟองและความคงตัวของฟอง

ประกอบกัน จะได้ภาวะการย่อยสลาย จากการประมาณออกมาซึ่งเมื่อนำไปทดลองจริงค่าที่ได้ทั้งค่าร้อยละการขยายตัวของฟองและความคงตัวของฟองมีความคลาดเคลื่อนจากค่าที่ประมาณจากกราฟต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากสมการที่ใช้สร้างกราฟสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างผลร่วมของตัวแปรและผลลัพธ์ได้เป็นอย่างดี ได้สังเกตุพบว่าค่าร้อยละการขยายตัวของฟองและความคงตัวของฟองจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการย่อยสลายเพิ่มขึ้น แต่หากเพิ่มอัตราการย่อยสลายขึ้นเรื่อยๆ ค่าร้อยละการขยายตัวของฟองและความคงตัวของฟองจะเริ่มลดลง จากการศึกษาพบว่าการผลิตสารให้ฟองที่มีปริมาตรสูงและคงตัวอยู่นานมีระดับการย่อยสลายอย่างจำกัด โดยในโปรตีนถั่วเหลืองที่ย่อยด้วย Alcalase® มีระดับการย่อยสลายประมาณ 8%- 13% Protin AC 10® มีระดับการย่อยสลายประมาณ 6% - 7% Papain มีระดับการย่อยสลายประมาณ 8% - 9% และ Pepsin มีระดับการย่อยสลายประมาณ 3% - 8% อย่างไรตามผลการทดลองที่ได้จะเห็นถึงการเปลี่ยนแปลงที่หลากหลายจากค่าการขยายตัวของฟองและความคงตัวของฟองที่จุดเริ่มต้น มีการเปลี่ยนแปลงโดยมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆไปจนถึงจุดที่สูงสุด จนกระทั่งปรับลดลงมาอีกครั้ง อันเป็นผลมาจากการเลือกศึกษาปัจจัยต่างๆในช่วงที่กว้างเพียงพอ ทำให้ต้องใช้เวลาศึกษาขั้นตอนนี้พอสมควรเพราะต้องผลิตสารให้ฟองที่ภาวะต่างๆจนเห็นจุดที่ให้ฟองดีที่สุดทั้งค่าการขยายตัวและความคงตัวดังกล่าว นอกจากนี้การใช้เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพช่วยควบคุมภาวะการผลิตทำให้ความคลาดเคลื่อนอันเกิดจากการควบคุมภาวะให้คงที่ไม่ได้ลดลง ผลกระทบที่มีต่อเอนไซม์ซึ่งไวต่อการเปลี่ยนแปลงต่อปัจจัยภายนอกจึงลดลง หากมีการนำไปเป็นต้นแบบการผลิตจริงควรคำนึงถึงการควบคุมภาวะต่างๆในการทดลองให้คงที่เช่นกัน

5. เมื่อเปรียบเทียบสารให้ฟองจากโปรตีนถั่วเหลืองที่ย่อยสลายโดยเอนไซม์ทั้ง 4 พบว่าเอนไซม์ที่มีความจำเพาะต่อหมู่อะมิโนไม่มีขั้ว (hydrophobic amino acid) คือ Protin AC 10® ซึ่งจำเพาะต่อหมู่ Phenylalanine, Lysine และ Pepsin ซึ่งจำเพาะต่อหมู่ Alanine, Leusine, Phenylalanine, Tyrosine และ Tryphtophan ให้ผลการเกิดฟองที่ดีกว่า Papain ซึ่งจำเพาะต่อหมู่อะมิโนมีขั้ว (hydrophilic amino acid) คือ Arginine, Lysine และAlcalase® ซึ่งมีความจำเพาะกว้าง และเมื่อเปรียบเทียบสารให้ฟองโปรตีนถั่วเหลืองกับสารให้ฟองทางการค้าคือโปรตีนไข่ขาว พบว่าสารให้ฟองโปรตีนถั่วเหลืองที่ย่อยด้วย เอนไซม์ทั้ง4 มีค่าร้อยละการเกิดฟองเทียบเท่าและมากกว่าโปรตีนจากไข่ขาวซึ่งมีค่าร้อยละการเกิดฟองเป็นดังนี้

สารให้ฟอง	ค่าร้อยละการขยายตัวของฟอง	ค่าความคงตัวของฟอง (นาที)	ความจำเพาะต่อหมู่อะมิโน
ไข่ขาวผง	530	300	-
โปรตีนถั่วเหลืองที่ย่อยด้วย Protin AC 10®	660	230	Phenylalanine , Leusine
โปรตีนถั่วเหลืองที่ย่อยด้วย Alcalase®	565	225	จำเพาะกว้าง
โปรตีนถั่วเหลืองที่ย่อยด้วย Papain	520	23.2	Arginine , Lysine
โปรตีนถั่วเหลืองที่ย่อยด้วยPepsin	570	235	Tryptophan , Alanine , Leusine , Phenylalanine , Tyrosine

ดังนั้นเมื่อพิจารณาในแง่ความสามารถในการเป็นสารให้ฟอง โปรตีนถั่วเหลืองที่ย่อยด้วย Protin AC 10® มีสมบัติเป็นสารให้ฟองที่ดีที่สุด และลดหลั่นลงมาในโปรตีนถั่วเหลืองที่ย่อยด้วย Pepsin, Alcalase® และ Papain ตามลำดับ

6. การทำแห้งด้วยวิธีเยือกแข็ง (freeze dry) โดยปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินที่เหมาะสมต่อการเป็นสารช่วยการทำแห้ง เมื่อเตรียมจากสารละลายโปรตีน 10% คือ 15%(W / V) ช่วยให้มีการละลายสูงขึ้นและเทียบเท่ากับสารให้ฟองโปรตีนไข่ขาวคือ 98% และมอลโทเดกซ์ทรินไม่มีผลต่อสมบัติการเป็นสารให้ฟองทั้ง ค่าร้อยละการขยายตัวของฟอง(% foam expansion) และ ความคงตัวของฟอง (foam stability)

7. ทดสอบประสิทธิภาพของสารให้ฟองเมื่อผสมด้วยน้ำตาล ไขมัน และทดสอบค่าการยอมรับทางประสาทสัมผัสเมื่อเป็นเมอะแรงส์ เทียบกับโปรตีนไข่ขาวผง ซึ่งเป็นตัวแทนสารให้ฟองทางการค้าพบว่าเมื่อเปรียบเทียบสารให้ฟองจากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ Protin AC 10® ,Alcalase®, Papain และ Pepsin และ โปรตีนไข่ขาวเมื่อผสมด้วยน้ำตาล สารให้ฟอง Protin AC

10® มีค่าการขยายตัวของฟองและความคงตัวของฟองสูงที่สุดในสารให้ฟองย่อยด้วยเอนไซม์ทั้ง 4 จึงนำสารให้ฟอง Protin AC 10® ไปศึกษาผลต่อไขมันระดับต่างๆ และผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส เมื่อเปรียบเทียบกับโปรตีนไข่ขาวต่อไป ผลที่ได้มีดังนี้

สารให้ฟอง	ส่วนผสม	ร้อยละการขยายตัวของฟอง	ความคงตัวของฟอง	การยอมรับทางประสาทสัมผัส
สารให้ฟองโปรตีนถั่วเหลืองย่อยด้วย Protin AC 10®	ไม่ผสมน้ำตาล	660	245	-
	ผสมน้ำตาล 10 %	650	290	-
	28.6 %	650	320	ไม่ต่างอย่างมีนัยสำคัญกับสารให้ฟองไข่ขาวผสมน้ำตาล 28.6 %
	50 %	650	350	-
	ผสมน้ำตาล28.6 %และผงโกโก้ 2 %	600	235	ไม่ต่างอย่างมีนัยสำคัญกับสารให้ฟองไข่ขาวผสมน้ำตาล28.6 % และผงโกโก้ 2 %
	3 %	600	160	-
	4 %	510	140	-
	5 %	500	130	-
	6 %	365	125	-
	7 %	235	105	-
	8 %	110	80	-
	9 %	100	55	-
	10%	82.5	30	-
	11 %	50	30	-
	12 %	0	-	-
	13%	0	-	-
สารให้ฟองโปรตีนไข่ขาว	ไม่ผสมน้ำตาล	530	300	-
	ผสมน้ำตาล 10 %	530	340	-
	28.6 %	525	355	ไม่ต่างอย่างมีนัยสำคัญกับสารให้ฟอง Protin AC 10® ผสมน้ำตาล28.6 %
	50 %	525	360	-
	ผสมน้ำตาล28.6 %และผงโกโก้ 2 %	500	310	ไม่ต่างอย่างมีนัยสำคัญกับสารให้ฟอง Protin AC 10® ผสมน้ำตาล28.6 %และผงโกโก้ 2 %
	3 %	410	210	-
	4 %	350	195	-

	5 %	120	64	-
	6 %	50	15	-
	7 %	0	-	-

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการเกิดฟองของสารให้ฟองที่ผลิตจากการย่อยโปรตีนถั่วเหลืองด้วย Protin AC 10® เมื่อเปรียบเทียบกับโปรตีนไข่ขาวพบว่าไม่แตกต่างกัน และการทดสอบผลิตภัณฑ์แสดงให้เห็นถึงการใช้งานได้จริงเมื่อเป็นเมอะแรงส์ อย่างไรก็ตามหากต้องการนำไปใช้ในอาหารที่หลากหลายขึ้น ควรจะได้ศึกษาวิจัยเพิ่มเติมถึงปัจจัยอื่นๆเช่น ส่วนผสมที่อาจมีผลกระทบต่อฟอง กระบวนการผลิตหรือลักษณะด้อยต่างๆที่อาจพบได้

8. ข้อมูลจากงานวิจัยนี้จะช่วยเพิ่มแนวทางและศักยภาพต่อการผลิตผลงานวิจัยให้มีการพัฒนาต่อเนื่องกันไป ในทางการศึกษาสมบัติการให้ฟองของโปรตีนชนิดอื่นๆ หรือสมบัติอื่นในโปรตีนถั่วเหลืองที่มีความเป็นไปได้หากปรับภาวะการผลิต แนวคิดและเหตุผลที่ได้ศึกษามาทั้งหมดนี้เอื้อประโยชน์ต่อการนำเอนไซม์ไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมมากขึ้น และเป็นการประยุกต์ใช้ผลพลอยได้จากการผลิตในระดับอุตสาหกรรมให้หลากหลายขึ้น