รายงานผลการวิจัย
เงินทุนบริษัทไทยวา จำกัด

เรื่อง

การเตรียมและการประเมินคุณค่าทางโภชนาการของอาหารทางการแพทย์ชนิดผงสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว

615.854
D383S

โดย

อรอนงค์ กังสดาลอำไพ
ธิติรัตน์ ปานม่วง

2536

รายงานผลการวิจัย
เงินทุนบริษัทไทยวาจำกัด

เรื่อง

การเตรียมและการประเมินคุณค่าทางโภชนาการของอาหารทางการแพทย์ชนิดผงสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว

โดย

รศ.ดร. อรอนงค์ กังสดาลอำไพ
ผศ. ชิดิรัตน์ ปานม่วง

สิงหาคม 2536

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 15706795 - 9 พ.ย. 2538

รายงานวิจัย

เรื่อง

การเตรียมและการประเมินคุณค่าทางโภชนาการของอาหารทางการแพทย์ชนิดผงสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว

โดย

อรอนงค์ กังสดาลอำไพ

ริติรัตน์ ปานม่วง

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

งานวิจัยนี้ได้การสนับสนุนจากเงินทุนบริษัทไทยวา จำกัด

ประจำปีการศึกษา 2535

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, สิงหาคม 2536

ชื่อโครงการวิจัย การเตรียมและการประเมินคุณค่าทางโภชนาการของอาหารทางการแพทย์ชนิดผงสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว

ชื่อผู้วิจัย รศ.ดร. อรอนงค์ กังสดาลอำไพ
ผศ. ชิติรัตน์ ปานม่วง

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ได้เตรียมอาหารทางการแพทย์ชนิดผงสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว โดยทดลองสกัดโปรตีนจากถั่วเขียว ซึ่งพบว่าควรสกัดโปรตีนด้วยสารละลายพีเอช 9 อัตราส่วนของถั่วเขียวต่อน้ำเป็น 1:15 นำโปรตีนที่สกัดได้ไปทดลองเตรียมอาหาร ทางการแพทย์ ซึ่งสูตรที่ดีที่สุดมีส่วนผสมดังนี้ โปรตีนสกัดจากถั่วเขียว 20 กรัม น้ำมันข้าวโพด 16 กรัม เอ็มซีทีออยล์ 4 กรัม มอลโตเด็กซ์ตริน 42 กรัม น้ำตาลซูโครส 18 กรัม กลิ่นวานิลลา 0.2 กรัม เลซิติน 2.3 กรัม เมไทโอนีน 0.38 กรัม และ ทรีโอนีน 0.22 กรัม นำส่วนผสมนี้มาปั่นผสมในน้ำ 1 ลิตร แล้วนำไปต้มเดือด 20 นาที เพื่อทำลาย Trypsin inhibitor activity นำส่วนผสมไปทำให้เป็นผงแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย โดยให้อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150°ซ และอุณหภูมิลมร้อนออก 70°ซ จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบของสารอาหารคือ โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 17.80, 16.11 และ 61.54 ตามลำดับ โดยจะมีการกระจายของพลังงานจากโปรตีน : ไขมัน : คาร์โบ-ไฮเดรต เป็น 15.40 : 31.36 : 53.24 และมีพลังงานที่ไม่ได้มาจากโปรตีนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 137.31 กิโลแคลอรี่ต่อกรัมไนโตรเจน ผลิตภัณฑ์นี้ 21 กรัมละลายน้ำเป็น 100 มิลลิลิตร จะให้พลังงาน 1 กิโลแคลอรี่ต่อมิลลิลิตร การประเมินคุณค่าทางโภชนาการของอาหารที่เตรียมได้ โดยวิธีวิเคราะห์ทางชีวภาพในหนูทดลองเพื่อหาค่า PER NPR และ NPU พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นมีคุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนไม่แตกต่างจากโปรตีนมาตรฐาน (เคซีน) ค่า PER NPR และ NPU ของสูตรอาหารที่เตรียมขึ้นกับของเคซีนมีค่าเท่ากับ 3.14, 4.12, 80.65 และ 2.92, 3.87, 86.46 ตามลำดับ

ผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้มี Bulk density 0.51 กรัมต่อมิลลิลิตร, ดัชนีการละลายน้อยกว่า 0.1 มิลลิลิตร เมื่อนำมาละลายสามารถแขวนตะกอนได้ดีใน 24 ชั่วโมง มีความหนืด 2.227 mPaS สามารถไหลผ่านสายให้อาหารเบอร์ 5 และ 6 ได้เป็นอย่างดี มีรสชาติเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TITLE Formulation and Nutritional Evaluation of Mung Bean Protein-based Medical Food Powder

NAME Asso. Prof. Dr. Oranong Kangsadalampai

Assist. Prof. Thitirat Panmaung

ABSTRACT

Formulation and preparation of mung bean protein-based medical food powder was studied. Protein was extracted from mung bean with deionized water (1:15) at pH 8. The best formula found in this study contained mung bean protein isolate 20 g, corn oil 16 g, MCT oil 4 g, maltodextrin 42 g, sucrose 18 g, artificial vanilla flavour 0.2 g, lecithin 2.3 g, Methionine 0.38 g and Threonine 0.22 g. These constituents were mixed in deionized water 1 lit., homogenized and boiled for 20 min. Then the emulsion was spray dried at 150°C and 70°C for the inlet and outlet temperature, respectively.

The product consisted of 17.80, 16.10 and 61.54 percent of protein, fat and carbohydrate, respectively. The caloric distribution of protein, fat and carbohydrate were 15.40, 31.36 and 53.24 percent of total calories. Ratio of non protein calories to nitrogen was 137.31 Cal. per g nitrogen. Energy density was 1 Cal/ml. (21 g. powder in 100 ml. water)

Protein quality of spray-dried product was examined by rat bioassay. The PER, NPR and NPU of this product was not significant difference from those of standard protein casein.

The physical propertied of the product, i.e. bulk density was 0.51 g/ml, solubility index <0.1 ml., viscosity was 2.227 mPaS, easily flow through small-caliber feeding tube (5 and 6 French), no colloidal separation upon standing for 24 hrs. and taste good.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความสนับสนุนจากเงินทุนบริษัทไทยวา จำกัด ภาควิชาอาหารเคมี คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สถาบันวิจัยและพัฒนาองค์การเภสัชกรรม และกองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและพลังงาน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณหน่วยงานและผู้ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้ทุกท่านมา ณ โอกาสนี้ด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ช
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญเรื่อง	ช
สารบัญตาราง	ซ
บทที่	
1 คำนำ	1
2 วิธีดำเนินการวิจัย	9
3 ผลการวิจัย	20
4 วิจารณ์ผลการวิจัย	49
สรุปผลการวิจัย	56
เอกสารอ้างอิง	57
ภาคผนวก	62

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1	แสดงองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเขียวซีกอบแห้ง โดยเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้ง	20
2	ปริมาณโปรตีนที่สกัดได้จากถั่วเขียวซีกบดที่พีเอชต่าง ๆ	21
3	ปริมาณโปรตีนที่สกัดได้จากถั่วเขียวซีกบด โดยใช้อัตราส่วนถั่วซีกต่อตัวทำละลาย (น้ำ) ต่าง ๆ	22
4	ปริมาณผงโปรตีนที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นกระจายจากถั่วเขียวซีก 100 กรัม	23
5	ปริมาณสารอาหารในผงโปรตีนที่สกัดได้จากถั่วเขียวซีก	24
6	ผลผลิต ความชื้น และอัตราการไหลของสารอาหารในการทำแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย	25
7	Bulk density และผลผลิตที่ได้จากการทำแห้งของผลิตภัณฑ์อาหารทางการแพทย์ชนิดผงที่ใช้วัตถุเจือปนอาหารต่าง ๆ กัน	26
8	คุณสมบัติความคงตัวในการแขวนตะกอน ดัชนีการละลาย ความหนืด และความสามารถในการไหลผ่านสายให้อาหารของผลิตภัณฑ์อาหารทางการแพทย์ชนิดผงที่เตรียมโดยใช้วัตถุเจือปนอาหารต่าง ๆ กัน	27
9	ส่วนประกอบของสารอาหารในผลิตภัณฑ์อาหารทางการแพทย์สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว ซึ่งใช้เลซิธิน 0.5 กรัมต่อผลิตภัณฑ์พร้อมดื่ม 100 มิลลิลิตร เป็นวัตถุเจือปนอาหาร	28
10	ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนในอาหารทางการแพทย์ชนิดผงสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว	29
11	ความถี่ของคะแนนที่ผู้ชิมให้แก่ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลซูโครสในปริมาณต่าง ๆ กันในเรื่องความหวาน	30
12	ความถี่ของคะแนนความชอบในรสหวานที่ผู้ชิมให้แก่ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลซูโครสในปริมาณต่าง ๆ กัน	31

ตารางที่		หน้า
13	คะแนนเฉลี่ยของความชอบในรสหวานที่ผู้ชิมให้แก่ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลซูโครสในปริมาณต่าง ๆ	32
14	ความถี่ของคะแนนความชอบในกลิ่นที่ผู้ชิมให้แก่ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลซูโครสในปริมาณต่าง ๆ	33
15	คะแนนเฉลี่ยของความชอบในกลิ่นที่ผู้ชิมให้แก่ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลซูโครสในปริมาณต่าง ๆ	34
16	ความถี่ของคะแนนความชอบในกลิ่นที่ผู้ชิมให้แก่ผลิตภัณฑ์การแต่งกลิ่นต่าง ๆ	35
17	คะแนนเฉลี่ยของความชอบในกลิ่นที่ผู้ชิมให้แก่ผลิตภัณฑ์การแต่งกลิ่นต่าง ๆ กัน	36
18	ความถี่ของคะแนนความชอบในรสที่ผู้ชิมให้แก่ผลิตภัณฑ์ที่มีการแต่งกลิ่นต่าง ๆ	37
19	คะแนนเฉลี่ยของความชอบในรสที่ผู้ชิมให้แก่ผลิตภัณฑ์ที่มีการแต่งกลิ่นต่าง ๆ	38
20	ปริมาณ Trypsin inhibitor ในผลิตภัณฑ์อาหารทางการแพทย์สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวซึ่งผ่านการต้มในเวลาต่าง ๆ กัน	39
21	คุณค่าทางโภชนาการของอาหารทางการแพทย์สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวซึ่งเสริมด้วยกรดอะมิโน	41
22	ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนในอาหารทางการแพทย์ชนิดผงสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวสูตรที่ 2 (สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวเสริมกรดอะมิโนเมไทโอนีน และ ทรีโอนีน)	42
23	ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนในอาหารทางการแพทย์ชนิดผงสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวสูตรที่ 3 (สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวเสริมกรดอะมิโนเมไทโอนีน, ทรีโอนีน และ ลัยซีน)	43
24	น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น อาหารที่กิน โปรตีนที่กิน ค่า PER และค่า CPER ของหนูทดลองกลุ่มต่าง ๆ เมื่อเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ แสดงด้วยค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	45
25	น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น อาหารที่กิน โปรตีนที่กิน ค่า NPR และค่า RNPR ของหนูทดลองกลุ่มต่าง ๆ เมื่อเลี้ยงเป็นเวลา 14 วัน แสดงด้วยค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	46

ตารางที่		หน้า
26	ปริมาณไนโตรเจนที่ได้รับและขับออกทางบัสสาวะและอุจจาระ ค่า TD, BV และ NPU ของหนูทดลองกลุ่มต่าง ๆ เมื่อเลี้ยงเป็นเวลา 14 วัน แสดงด้วยค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	47
27	คุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อาหารทางการแพทย์สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวสูตรธรรมดา เปรียบเทียบกับสูตรที่ทำการปรับปรุงรสชาติและคุณค่าทางโภชนาการ	48

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

คำนำ

โรคขาดโปรตีนและพลังงาน เป็นภาวะทุพโภชนาการที่พบบ่อยในผู้ป่วยซึ่งรับไว้รักษาในโรงพยาบาล[1-3] ในภาวะเจ็บป่วยจากโรคบางประเภท โดยเฉพาะการเจ็บป่วยเรื้อรัง ผู้ป่วยมักมีภาวะแทรกซ้อนจากการขาดสารอาหาร เนื่องจากผู้ป่วยไม่สามารถรับประทานอาหารได้ตามปกติ, เบื่ออาหาร (anorexia) เนื่องจากสภาวะของโรค หรือภาวะจิตใจ, ความต้องการสารอาหารเพิ่มขึ้น เช่น ในภาวะบาดเจ็บหลังผ่าตัด หรือมีแผลไหม้ หรือเนื่องจากมีความผิดปกติของการย่อยและการดูดซึมอาหาร[4]

การขาดสารอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งการขาดโปรตีนและพลังงาน ทำให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจนออกจากร่างกาย เนื่องจากการสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อเพื่อใช้เป็นพลังงาน ภูมิคุ้มกันของร่างกายลดลง เป็นผลให้เกิดภาวะแทรกซ้อนจากการติดเชื้อ ซึ่งเป็นสาเหตุใหญ่ที่ทำให้ผู้ป่วยถึงแก่ความตาย[5] การให้โภชนบำบัดจึงเป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากภาวะโภชนาการที่ดีของผู้ป่วย มีความสำคัญในแง่การป้องกันภาวะแทรกซ้อนและทำให้ผู้ป่วยสามารถทนทานต่อสภาวะของโรคได้ดีขึ้น และช่วยลดอัตราการตายของผู้ป่วย

การให้โภชนบำบัดแก่ผู้ป่วยอาจให้โดย การให้อาหารผ่านระบบทางเดินอาหาร (Enteral) หรือการให้อาหารทางหลอดเลือดดำ (Parenteral) ในกรณีที่ระบบทางเดินอาหารของผู้ป่วยยังทำงานได้ตามปกติ ควรเลือกวิธีการให้อาหารทางระบบทางเดินอาหาร เพราะมีความปลอดภัยกว่า และประหยัดค่าใช้จ่ายมากกว่าการให้อาหารทางหลอดเลือดดำ[6] การให้อาหารผ่านระบบทางเดินอาหารอาจให้โดยการรับประทานอาหารทางปากหรือในกรณีที่ผู้ป่วยไม่สามารถรับประทานอาหารได้เองก็จำเป็นต้องให้อาหารทางสายให้อาหาร โดยอาจเลือกใช้อาหารปั่นผสม (blenderized diet) หรือการให้สูตรอาหารสำเร็จรูป (commercial formula)

การให้อาหารปั่นผสมมักมีปัญหาเรื่องการแยกชั้น การอุดตันของสายให้อาหาร ทำให้ต้องใช้สายให้อาหารขนาดใหญ่ ตลอดจนการปนเปื้อนของแบคทีเรีย ซึ่งอาจทำให้ผู้ป่วยเกิดภาวะอุจจาระร่วง เป็นผลให้ภาวะโภชนาการของผู้ป่วยทรุดลงอีก การใช้สูตรอาหารสำเร็จรูป หรือที่เรียกว่าอาหารทางการแพทย์จึงเป็นที่นิยมมากขึ้น เพราะนอกจากจะสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้แล้ว ยังเตรียมได้ง่าย และสามารถคำนวณปริมาณสารอาหารได้อย่างแม่นยำอีกด้วย[7] อุปสรรคของการใช้สูตรอาหารสำเร็จรูปทางสายให้อาหารในประเทศไทยคือ เรื่องราคา เนื่องจากในปัจจุบัน สูตรอาหารสำเร็จรูปที่มีจำหน่ายในประเทศไทย ส่วนใหญ่ยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศ และมีราคาค่อนข้างสูง[8] จึงน่าสนใจที่จะศึกษาเพื่อเตรียมสูตรอาหารทางการแพทย์ที่ใช้วัตถุดิบภายในประเทศ

ส่วนประกอบของสูตรอาหาร [7,8]

สูตรอาหารสำเร็จรูปมีส่วนประกอบของสารอาหาร ดังนี้

1. โปรตีน

โปรตีนในสูตรอาหารโดยทั่วไปแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ

1.1 โปรตีนที่อยู่ในลักษณะคงเดิม (Intact protein) เป็นโปรตีนที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ได้แก่โปรตีนจากเนื้อสัตว์ นม ไข่ หรือโปรตีนสกัด เช่น เคซีน (Casein) โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง และถั่วเขียว เป็นต้น

1.2 โปรตีนที่ย่อยสลายบางส่วน (Hydrolyzed protein) เป็นโปรตีนที่ถูกย่อยสลายบางส่วน จนได้เป็นสายเปปไตด์สั้น ๆ ซึ่งทำให้ถูกดูดซึมในร่างกายผู้ป่วยได้ง่ายขึ้น

1.3 กรดอะมิโน (Amino acid) ที่นิยมใช้ได้แก่ L-Amino acid (L-Crystalline amino acid) ซึ่งถูกดูดซึมได้ทันที แต่การใช้กรดอะมิโนจะทำให้สูตรอาหารมีออสโมลาลิตี้สูง มักใช้ในกรณีที่ผู้ป่วยมีภาวะของตับวายและไตวาย

2. คาร์โบไฮเดรต

แหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่นำมาใช้เป็นส่วนประกอบของสูตรอาหารมีดังนี้

2.1 แป้ง (Starch) แป้งประกอบด้วยกลูโคส (Glucose) ตั้งแต่ 400 โมเลกุลขึ้นไปมาต่อกันเป็นสายยาว แป้งจะถูกย่อยโดยเอ็นไซม์อัลฟาอมัยเลส (α-Amylase) จากตับอ่อน ได้เด็กซ์ตริน (Dextrin) มอลโทส (Maltose) และไอโซมอลโทส (Isomaltose) ภาวะที่ผู้ป่วยไม่ทนต่อแป้งพบได้น้อยมาก นอกจากนี้พบว่าการที่แป้งมีโมเลกุลใหญ่จะทำให้สูตรอาหารมีออสโมลาลิตี้ต่ำ ซึ่งทำให้ผู้ป่วยทนต่ออาหารได้ดีและย่อยง่าย แต่แป้งมีข้อเสียคือละลายน้ำได้น้อยจึงนำมาใช้ในสูตรอาหารได้ไม่ดีนัก

2.2 โพลีแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) ได้จากการย่อยแป้งเป็นโพลีเมอร์ (Polymer) ของกลูโคส เช่น มอลโตเด็กซ์ตริน (Maltodextrin) และน้ำตาลข้าวโพด (Corn syrup solid) นิยมใช้ในสูตรอาหาร เนื่องจากทำให้สูตรอาหารมีค่าออสโมลาลิตี้ต่ำกว่าการใช้กลูโคสและยังสามารถละลายในน้ำได้ดี พวกนี้จะถูกย่อยโดยเอนไซม์อัลฟาอมัยเลส และพบภาวะที่ผู้ป่วยไม่สามารถทนต่อโพลิเมอร์ของกลูโคสนี้ได้น้อยมาก

2.3 ไดแซ็กคาไรด์ (Disaccharide) ที่พบในอาหารปกติคือ แล็กโทส (Lactose) ซูโครส (Sucrose) เด็กซ์ตริน (Dextrin) และมอลโทส (Moltose) สูตรอาหารที่ใช้ไดแซ็กคาไรด์เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตจะมีค่าออสโมลาลิตี้สูงและมีรสหวาน ในการย่อยไดแซ็กคาไรด์จะใช้เอนไซม์ซึ่งมีความจำเพาะเจาะจงในการย่อยแต่ละชนิด เพื่อย่อยให้เป็นโมโนแซ็กคาไรด์ (Monosaccharide) ในภาวะปกติของร่างกายมอลโทสและซูโครสจะถูกย่อยได้เร็วกว่าแล็กโทส การขาดเอนไซม์ที่จะย่อยไดแซ็กคาไรด์แบบปฐมภูมิพบได้น้อยมาก ส่วนแบบทุติยภูมิพบได้ในโรค Tropical Sprue, Sprue, Celiac Sprue ภาวะการติดเชื้อในทางเดินอาหารและการอดอาหาร ซึ่งภาวะเหล่านี้ทำให้เกิดการรบกวนและขัดขวางการทำงานของลำไส้เล็ก การขาดเอนไซม์สำหรับการย่อยไดแซ็กคาไรด์ที่พบได้บ่อยคือ ภาวะที่ร่างกายขาดเอนไซม์แล็กเทส (Lactase) ทำให้ร่างกายไม่สามารถทนต่อน้ำตาลแล็กโทส (Lactose intolerance) ซึ่งมีทั้งแบบปฐมภูมิ (Primary lactase deficiency) และแบบทุติยภูมิ (Secondary lactase

deficiency) การที่ร่างกายไม่สามารถย่อยน้ำตาลแล็กโทสได้นี้ ทำให้ผู้ป่วยที่ใช้สูตรอาหารที่มีนมเป็นหลักเกิดอาการท้องอืดและท้องเสีย ซึ่งพบในคนไทยส่วนใหญ่โดยเฉพาะผู้สูงอายุ ดังนั้นปริมาณแล็กโทสในสูตรอาหารสำหรับผู้ป่วยกลุ่มนี้จึงต้องจำกัดให้มีน้อยที่สุด หรือเป็นสูตรอาหารที่ปราศจากแล็กโทส เช่น สูตรอาหารที่ใช้โปรตีนจากถั่วเป็นต้น

2.4 โมโนแซ็กคาไรด์ (Monosaccharide) การใช้โมโนแซ็กคาไรด์เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต โดยเฉพาะการใช้กลูโคส จะได้สูตรอาหารที่มีรสหวานดูดซึมได้ง่าย แต่มีออสโมลาลิตี้สูงมาก จึงไม่เป็นที่นิยมในสูตรอาหารทั่วไป

3. ไขมัน

แหล่งของไขมันที่ใช้ในสูตรอาหารโดยทั่วไปคือ ไขมันนม น้ำมันข้าวโพด น้ำมันถั่วเหลือง ไตรกลีเซอไรด์ที่มีสายโมเลกุลยาวปานกลาง (Medium chain triglyceride, MCT oil) เลซิธิน (Lecithin) ไขมันจะเป็นแหล่งอาหารที่มีความเข้มข้นของพลังงานสูงมาก จึงไม่มีผลต่อการเพิ่มค่าออสโมลาลิตี้ในสูตรอาหาร และเป็นแหล่งของกรดไขมันจำเป็น รวมทั้งวิตามินชนิดต่าง ๆ ที่ละลายในไขมัน นอกจากนี้ไขมันยังมีส่วนทำให้สูตรอาหารมีความน่ารับประทานด้วย

ไขมันที่นำมาใช้ในสูตรอาหาร ควรมีกรดไขมันจำเป็น โดยเฉพาะกรดไลโนลิอิก (Linoleic acid) ร้อยละ 3-4 ของพลังงานทั้งหมด ซึ่งพบว่าน้ำมันพืช ยกเว้นน้ำมันมะพร้าว จะเป็นแหล่งของไขมันที่ดีสำหรับกรณีนี้

ปัจจุบันสูตรอาหารต่าง ๆ นิยมใช้ไตรกลีเซอไรด์ที่มีสายโมเลกุลยาวปานกลาง ซึ่งมีสายคาร์บอนยาว 6-12 อะตอม ทั้งนี้เนื่องจากสามารถละลายน้ำได้ดี ย่อยได้อย่างรวดเร็ว เพราะไม่ต้องใช้เอนไซม์ไลเปส (Lipase) จากตับอ่อน และไม่ต้องใช้น้ำดีช่วยในการดูดซึม นอกจากนั้นไตรกลีเซอไรด์ที่มีสายโมเลกุลยาวปานกลางนี้ยังสามารถถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสโลหิตผ่านไปยังตับโดยตรง จึงสามารถใช้ได้กับผู้ป่วยที่มีภาวะการย่อยและการดูดซึมไขมันผิดปกติได้

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สูตรอาหารในปัจจุบันนิยมใช้ไตรกลีเซอไรด์ที่มีสายโมเลกุลยาวปานกลางร่วมกับไตรกลีเซอไรด์ที่มีสายโมเลกุลยาว เพื่อให้ย่อยง่าย ถูกดูดซึมได้ง่าย และมีกรดไขมันจำเป็นในปริมาณที่เหมาะสม

4. เกลือแร่และวิตามิน

ในสูตรอาหารสำเร็จรูปจะมีการเติมเกลือแร่และวิตามินในปริมาณที่ร่างกายต้องการในแต่ละวัน และอาจมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณให้เหมาะสมกับสภาวะของผู้ป่วย

ลักษณะที่ดีของสูตรอาหารที่ให้ทางสายให้อาหาร

สูตรอาหารที่ดีควรมีลักษณะต่าง ๆ ดังนี้[7,11,12]

1. คุณค่าทางโภชนาการ และพลังงาน

1.1 มีสารอาหารครบถ้วน สูตรอาหารที่ดีควรประกอบด้วย โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน เกลือแร่ วิตามิน และน้ำ ในปริมาณที่เพียงพอกับความต้องการของร่างกายไม่ว่าจะใช้ในระยะเวลาสั้น หรือใช้ระยะยาวก็ตาม

1.2 มีสัดส่วนของสารอาหารที่ให้พลังงานอย่างเหมาะสมคือ พลังงานที่ผู้ป่วยได้รับควรมาจากโปรตีน ร้อยละ 15-20 จากไขมัน ร้อยละ 30-35 และจากคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 45-55

1.3 มีความเข้มข้นของพลังงานพอเหมาะ ความเข้มข้นของพลังงานจะมีผลต่อร่างกายผู้ป่วยคือ มีผลต่ออัตราการว่างของกระเพาะอาหาร ซึ่งจะขึ้นกับปริมาณอาหารและอัตราเร็วในการให้สารอาหาร พบว่าถ้าให้สูตรอาหารที่มีความเข้มข้นของพลังงานสูง จะทำให้อัตราการว่างของกระเพาะช้าลง[13] นอกจากนั้นการให้อาหารที่มีความเข้มข้นของพลังงานสูงในอัตราที่เร็วเกินไป จะทำให้ผู้ป่วยเกิดภาวะขาดน้ำ (Dehydration) ซึ่งอาจเกิดอันตรายได้ โดยเฉพาะในผู้ป่วยที่ไม่รู้สึกตัว

โดยทั่วไปสูตรอาหารที่ให้พลังงาน 1-1.2 กิโลแคลอรี่ต่อมิลลิลิตร จะให้พลังงานและน้ำอย่างเพียงพอ และสามารถเพิ่มความเข้มข้นของพลังงานได้ถึง 1.5 กิโลแคลอรี่ต่อมิลลิลิตร ในผู้ป่วยที่ต้องจำกัดปริมาณน้ำ หรือขึ้นกับความต้องการพลังงานของร่างกายผู้ป่วย

1.4 มีอัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ไม่ได้มาจากโปรตีน ต่อไนโตรเจน (Non-Protein Calories : Nitrogen ratio) อย่างเหมาะสมคือ ประมาณ 150 กิโลแคลอรี่ต่อ 1 กรัมไนโตรเจน หรือ 24 กิโลแคลอรี่ต่อ 1 กรัมโปรตีน เพื่อให้ร่างกายสามารถนำเอากรดอะมิโนที่ดูดซึมเข้าไปสร้างเสริมโปรตีนใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ลักษณะทางกายภาพ

2.1 มีการละลายดี สูตรอาหารที่ดีควรมีการละลายดี สามารถชงเตรียมได้ง่ายในน้ำที่อุณหภูมิห้องหรือน้ำอุ่น

2.2 มีความคงตัวของการแขวนตะกอนดี ควรมีความคงตัวดีไม่มีการแยกชั้นเมื่อตั้งทิ้งไว้ เนื่องจากการให้อาหารแก่ผู้ป่วยบางกรณีต้องใช้ระยะเวลาในการให้นาน เช่น การให้อาหารแบบเป็นช่วง ๆ โดยการหยดตลอดเวลาโดยใช้แรงโน้มถ่วง หรือใช้เครื่องสูบหยด ซึ่งใช้เวลา 16-24 ชั่วโมง ดังนั้นตลอดช่วงเวลานี้อาหารที่เตรียมไว้ไม่ควรมีตะกอนแยกชั้น

2.3 มีความหนืดพอเหมาะ สูตรอาหารที่ให้ทางสายให้อาหารควรเป็นของเหลวที่มีความหนืดเหมาะสม หรือแบบผงแห้งเมื่อชงน้ำในปริมาณที่กำหนดให้ใช้แล้วควรมีความหนืดพอเหมาะที่จะไหลผ่านสายให้อาหารได้อย่างสะดวก ไม่ควรมีความหนืดมากเกินไปจะทำให้การไหลผ่านสายให้อาหารเป็นไปได้ไม่ดี

2.4 มีค่าออสโมลาลิตี้เหมาะสม ระดับออสโมลาลิตี้ของสูตรอาหารและของเหลวภายในร่างกายควรสมดุลย์กัน ถ้าออสโมลาลิตี้ของสูตรอาหารสูงกว่าของเหลวในร่างกายมากต้องควบคุมอัตราการไหลของอาหารให้ช้าลง เพื่อหลีกเลี่ยงภาวะท้องเสียจากความดันออสโมติก (Osmotic diarrhea) ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้

2.5 สะอาดปราศจากเชื้อโรค ในการผลิตและการเตรียมสูตรอาหารต้องระวังเรื่องความสะอาดเป็นอย่างดี เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของเชื้อโรคต่าง ๆ ลงในอาหาร

2.6 รสชาติของอาหาร ควรเป็นที่ยอมรับของผู้ป่วย เนื่องจากสูตรอาหารที่ให้ทางสายให้อาหารส่วนใหญ่จะถูกนำมาให้ผู้ป่วยรับประทานในระยะที่ผู้ป่วยเริ่มหยุดอาหารทางสายให้อาหาร และกำลังเปลี่ยนชนิดของอาหาร ดังนั้นรสชาติของอาหารจึง

เป็นปัจจัยสำคัญในการยอมรับอาหารของผู้ป่วยด้วย

เนื่องจากส่วนประกอบสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในสูตรอาหารคือโปรตีน โปรตีนที่นิยมใช้กันส่วนมากจะเป็นโปรตีนจากนม เนื่องจากมีกรดอะมิโน (Amino acid) ครบถ้วน แต่การใช้นมเป็นแหล่งของโปรตีนจะมีปัญหากับคนไทยบางคนโดยเฉพาะผู้สูงอายุ หรือผู้ที่ไม่สามารถย่อยน้ำตาลแล็กโทส (Lactose) ในนมได้ ดังนั้นอาหารทางการแพทย์สูตรที่เหมาะสมกับผู้ป่วยกลุ่มนี้จึงควรเป็นสูตรที่ไม่มีแล็กโทส ซึ่งอาจเตรียมได้โดยใช้โปรตีนจากถั่วแทนนม ถั่วเขียวเป็นแหล่งโปรตีนที่น่าสนใจ เนื่องจากปัจจุบันประเทศไทยใช้แป้งถั่วเขียวในอุตสาหกรรมทำวุ้นเส้นและแป้งซ่าหริ่ม ส่วนโปรตีนในถั่วเขียวซึ่งมีประมาณร้อยละ 20-30 ยังไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์อย่างจริงจัง ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่โปรตีนส่วนนี้มักเป็นของเหลือ ซึ่งนำมาทำเป็นอาหารสัตว์ หรือทิ้งไป ดังนั้นหากได้มีการศึกษาค้นคว้าเพื่อนำเอาโปรตีน ซึ่งเป็นส่วนที่เหลือทิ้งมาใช้ในสูตรอาหารทางการแพทย์ก็จะเป็นการเพิ่มมูลค่าของวัตถุดิบในประเทศไทยได้อีกทางหนึ่งด้วย

การศึกษานี้มีเป้าหมายที่จะผลิตอาหารทางการแพทย์แบบสำเร็จรูปชนิดผงแห้ง มีคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วนเหมาะสมกับความต้องการของร่างกาย มีกลิ่นรสตามที่คนไทยชอบ ละลายน้ำได้ดี มีความคงตัวในการแขวนตะกอนดี และสามารถให้ผู้ป่วยทางสายให้อาหาร หรือดื่มเป็นอาหารเสริมได้ สูตรอาหารที่เตรียมขึ้นนี้ใช้โปรตีนจากถั่วเขียวเป็นแหล่งของโปรตีนในอาหารแทนการใช้นม เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการไม่สามารถทนต่อน้ำตาลแล็กโทสในนมซึ่งพบในคนไทยส่วนใหญ่ นอกจากนี้ถั่วเขียวยังเป็นแหล่งโปรตีนจากพืชที่มีราคาถูก ถ้านำมาทำเป็นอาหารทางการแพทย์ชนิดแห้ง จะทำให้มีราคาถูกกว่าอาหารทางการแพทย์สำเร็จรูปชนิดผงแห้ง ซึ่งนำเข้าจากต่างประเทศ

วัตถุประสงค์ในการศึกษาครั้งนี้ได้แก่

1. เพื่อผลิตอาหารทางการแพทย์ชนิดผงสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว ที่มีสารอาหารครบถ้วนเหมาะสมกับความต้องการของร่างกาย

2. อาหารชนิดผงที่เตรียมได้จะต้องละลายได้ดี และมีความคงตัวในการแขวน

ตะกอน ไม่แยกชั้นเมื่อตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง มีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะให้ทางสายอาหารและมีรสชาติเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคเมื่อให้โดยการรับประทาน

3. ประเมินคุณค่าทางโภชนาการของสูตรอาหารที่ผลิตได้โดยวิธีทางเคมี และชีวภาพ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวซีก

ในการวิจัยนี้ทำการสกัดโปรตีนจากถั่วเขียวซีกกระเทาะเปลือกแล้ว โดยใช้วิธีการบดแบบเปียก เพื่อหลีกเลี่ยงความร้อนที่จะเกิดขึ้นจากการบดแห้ง แล้วทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนตามวิธีการสกัด ซึ่งดัดแปลงมาจากผลการทดลองของวุฒิชัย[14] และ Thomson[15] โดยนำถั่วเขียวซีกมาแช่น้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง เพื่อให้เมล็ดถั่วเขียวนิ่ม แล้วนำมาบดและสกัดโปรตีนตามขั้นตอนที่แสดงในแผนภูมิที่ 1

1.1 การหาพีเอชที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีน

ในการศึกษานี้ได้ทดลองสกัดโปรตีนที่พีเอช 6,7,8,9 และ 10 ตามขั้นตอนที่แสดงในแผนภูมิที่ 1 โดยใช้ถั่ว 5 กรัม แช่น้ำ 75 มล. (1:15)

1.2 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของถั่วเขียวซีกต่อตัวทำละลาย (น้ำ) จากการศึกษาใน 1.1 พบว่าพีเอชที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนจากถั่วเขียวคือ พีเอช 9 ในการทดลองนี้จึงใช้พีเอช 9 ในการสกัดโปรตีน โดยใช้อัตราส่วนของถั่วเขียวซีกต่อน้ำเป็น 1:5, 1:15, 1:25, 1:35, 1:45 และ 1:55 ตามลำดับ แล้วดำเนินการตามขั้นตอนที่แสดงในแผนภูมิที่ 1

1.3 การสกัดโปรตีนแล้วทำให้แห้ง

ทำการสกัดโปรตีนโดยใช้สภาวะต่าง ๆ ที่เหมาะสมที่สุดตามข้อ 1.1 และ 1.2 คือใช้พีเอช 9 และอัตราส่วนของถั่วเขียวซีกต่อน้ำ 1:15 ทำการสกัดโปรตีนตามขั้นตอนในแผนภูมิที่ 1 แล้วนำโปรตีนที่สกัดได้มากระจายตัวในน้ำให้มีความเข้มข้นของโปรตีนประมาณร้อยละ 4 ปรับพีเอชให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล คนจนละลาย แล้วนำไปทำให้แห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย (Minispray dryer, Buchi) โดยให้กระแสลมเข้า 700 ลิตร/ชั่วโมง อุณหภูมิลมเข้า (inlet temperature) 190°ซ และลมออก (outlet temperature) 70°ซ และ 90°ซ

ถั่วเขียวซีก

↓

แช่น้ำ 2 ชั่วโมง โดยเลือกใช้อัตราส่วนของถั่วเขียวและน้ำตาม 1.2

↓

บดด้วยเครื่องบด (Blender)

↓

นำมาบดให้ละเอียดด้วย Ultra-Turax T 25 10 นาที
ที่ความเร็ว 10,000 รอบ/นาที

↓

นำมาปรับพีเอชให้เหมาะสม ตาม 1.1

↓

คนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็ก 20 นาที

↓

หมุนเหวี่ยง ที่ 3500 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 15 นาที

↓

นำส่วนใสมาปรับพีเอช 4.5 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก 1 นอร์มัล

↓

หมุนเหวี่ยงที่ 3500 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 15 นาที

↓

นำตะกอนไปวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนโดย Kjeldahl`s Method

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 1 ขั้นตอนในการสกัดโปรตีนจากถั่วเขียวซีก

2. การประเมินคุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว โดยวิธีทางเคมี (Chemical Analysis)[16-20]

นำตะกอนอบแห้งของโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวมาหาองค์ประกอบทางเคมี โดยทำการวิเคราะห์หา

2.1 วิเคราะห์หาปริมาณความชื้นโดยวิธีอบให้แห้งในตู้อบไฟฟ้า (Hot Air Oven Method)

2.2 วิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนโดยวิธี Kjeldahl's Method

2.3 วิเคราะห์หาปริมาณไขมัน โดยใช้เครื่อง Soxhlet

2.4 วิเคราะห์ปริมาณเถ้า (Ash) โดยการเผาใน Muffle Furnace

2.5 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตหาได้จากการคำนวณ โดยนำค่าปริมาณร้อยละของสารอาหารที่วิเคราะห์ได้จากข้อ 2.1-2.4 หักออกจากค่า 100

2.6 วิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนในผงโปรตีนที่สกัดได้ด้วยเครื่องวิเคราะห์กรดอะมิโน (Amino Acid Analyzer, Hitachi 835-50)

3. การเตรียมอาหารทางการแพทย์ชนิดผงสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว

3.1 หาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ นำโปรตีนที่สกัดได้ตามวิธีในข้อ 1 (ให้มีปริมาณโปรตีน 20 กรัม) มากระจายตัวในน้ำ 1,000 มิลลิลิตร ปรับพีเอชให้เป็นกลาง กวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กจนโปรตีนละลาย นำมาปั่นด้วย Ultra-Turax T25 พร้อมทั้งเติมสารต่าง ๆ ตามลำดับดังนี้ น้ำมันข้าวโพด 16 กรัม น้ำมันเอ็มซีที (MCT oil) 4 กรัม มอลโตเด็กซ์ตริน 60 กรัม ปั่นผสมจนเข้ากันดี นำไปทำให้แห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย (Minispray dryer, Buchi) ซึ่งต้องเลือกสภาวะของเครื่องอบให้ได้ผลผลิตที่ดี และสามารถทำแห้งได้อย่างต่อเนื่อง

3.2 ปรับปรุงการละลาย (Solubility) และความคงตัวของการแขวนตะกอน (Colloidal Stability) ของผลิตภัณฑ์โดยเติมวัตถุเจือปนอาหาร

เตรียมอาหารตามวิธีในข้อ 3.1 แต่เติมวัตถุเจือปนอาหารต่อไปนี้ลงในอาหารที่เตรียมขึ้นแต่ละสูตรก่อนจะนำไปทำให้เป็นผงแห้ง

สูตรที่ 1,2 และ 3 เติมกัวร์กัม (Guargum) ในปริมาณ 0.05, 0.1 และ 0.2 กรัมต่อผลิตภัณฑ์พร้อมดื่ม 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ

สูตรที่ 4,5 และ 6 เติมคาร์ราจีแนน (Carrageenan) ในปริมาณ 0.1, 0.5 และ 1.0 กรัมต่อผลิตภัณฑ์พร้อมดื่ม 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ

สูตรที่ 7,8 และ 9 เติมเลซิธิน (Lecithin) 0.1, 0.3 และ 0.5 กรัมต่อผลิตภัณฑ์พร้อมดื่ม 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ

4. การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อาหารทางการแพทย์

4.1 Bulk density[23,24]

ชั่งตัวอย่าง 20 กรัม ใส่ลงในกระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร ปล่อยกระบอกตวงลงบนพื้นที่นุ่มที่ระดับความสูง 150 มิลลิเมตร 10 ครั้ง แล้วบันทึกปริมาตรของตัวอย่าง คำนวณ bulk density ได้จาก

$$\text{Bulk density} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)}}{\text{ปริมาตรของตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}$$

4.2 ความคงตัวของการแขวนตะกอน (Colloidal Stability)[25]

ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม ละลายในน้ำ 50 มิลลิลิตร คนจนละลายดี แล้วเทใส่กระบอก ตั้งทิ้งไว้ในตู้เย็นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วตรวจวัดการแยกชั้น

4.3 ดัชนีการละลาย (Solubility Index)

เป็นความสามารถของตัวอย่างผงที่ละลายได้ในน้ำ โดยรายงานผลในรูปปริมาตรมีหน่วยเป็นมิลลิลิตรของการมีตะกอนนอนก้น ตามวิธีของ American Dry Milk Institute[26] โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ชั่งตัวอย่าง 14 กรัม เติมลงในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร หยด Silicon antifoam 3 หยด
2. ผสมกันเป็นเวลานาน 90 วินาที
3. ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที
4. คนด้วยแท่งแก้วเทใส่ลงในหลอดหมุนเหวี่ยงขนาด 50 มิลลิลิตร มีเส้นแบ่งขีดละเอียดเป็น 0.1 มิลลิลิตร)

5. ทำการหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ 1,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที แล้วดูดของเหลวด้านบนออกอย่างระมัดระวังจนเหลือของเหลวเหนือตะกอนประมาณ 5 มิลลิลิตร

6. เติมน้ำกลั่นลงในหลอด 20 มิลลิลิตร ใช้เส้นลวดเขี่ยกวนให้ตะกอนกระจายตัวในน้ำ ปรับปริมาตรให้ได้ 50 มิลลิลิตร

7. ทำการหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ 1,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที และอ่านปริมาตรของตะกอนเป็นมิลลิลิตร

ดัชนีการละลาย = ปริมาตรของตะกอนในหลอดหมุนเหวี่ยง (มิลลิลิตร)

4.4 <u>ความหนืด</u> (Viscosity)[27]

เตรียมสารละลายตัวอย่าง โดยชั่งตัวอย่าง 10 กรัม ละลายในน้ำ อุณหภูมิห้อง 50 มิลลิลิตร คนจนละลายได้ดี แล้วนำไปวัดความหนืดด้วยเครื่อง Rotovisco RV20 โดยใช้ cup, sensor และสภาวะการทำงานต่าง ๆ ตามข้อกำหนดของเครื่องที่เหมาะสมที่สุดกับตัวอย่าง และทดลองให้ไหลผ่านสายให้อาหาร (Feeding tube) ขนาดเบอร์ 5 และ 6

5. ประเมินคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์โดยวิธีทางเคมี

นำผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้มาวิเคราะห์หาคุณค่าทางโภชนาการ ตามวิธีในข้อ 2

6. ปรับปรุงรสชาติของผลิตภัณฑ์ให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

ภายหลังการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และการวิเคราะห์ทางเคมีในขั้นตอนที่ 4 และ 5 แล้ว เลือกวัตถุเจือปนอาหารที่เหมาะสมที่สุด แล้วทำการเตรียมอาหารทางการแพทย์ ซึ่งทำการปรับปรุงรสชาติดังนี้

6.1 <u>ปรับปรุงรสหวาน</u>

เตรียมอาหารโดยวิธีที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น แต่ใช้น้ำตาลซูโครสแทนมอลโตเด็กซ์ตรินในปริมาณร้อยละ 10, 20 และ 30 ของปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดในสูตรอาหาร แล้วนำมาประเมินผลลักษณะกลิ่น รสของผลิตภัณฑ์ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอดในบล็อก (Randomized Complete Block Design) ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 15 คน

เป็นผู้ชิมผลิตภัณฑ์ และให้คะแนนตามลักษณะที่กำหนดไว้ในใบประเมินผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบ Hedonic scale ดังแสดงในภาคผนวก (ก)

6.2 ปรับปรุงกลิ่น

ทดลองแต่งกลิ่นโดยใช้ กลิ่นวานิลลา, กลิ่นสตรอเบอรี่ และไม่แต่งกลิ่นอะไรเลย ในผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณน้ำตาลซูโครสที่ผู้บริโภคชอบที่สุดจากข้อ 6.1 แล้วทำการประเมินผลลักษณะกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์เหมือน 6.1

7. ปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนในผลิตภัณฑ์

7.1 การลด Trypsin inhibitor activity ในผลิตภัณฑ์อาหารทางการแพทย์

7.1.1 การวิเคราะห์ Trypsin inhibitor activity[31]

นำอาหารทางการแพทย์สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวมาวิเคราะห์หาปริมาณ Trypsin inhibitor activity โดย

1. การเตรียม Tris-buffer (0.05 โมลาร์ พีเอช 8.2)

ละลาย tris (hydroxymethylamino methane) 6.05 กรัม และแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2 2H_2O$) 2.94 กรัม ในน้ำ 900 มิลลิลิตร ปรับพีเอชให้ได้ 8.2 แล้วเติมน้ำให้เป็น 1 ลิตร

2. เตรียมสารละลาย substrate BAPA

ละลาย benzoyl-DL-arginine-p-nitroanillide (BAPA) hydrochloride 40 มิลลิกรัม ใน dimethyl sulfoxide 1 มิลลิลิตร แล้วเติม tris-buffer ซึ่งอุ่นที่ 37°ซ ให้เป็น 100 มิลลิลิตร สารละลายนี้ต้องเตรียมใหม่ทุกครั้ง และขณะที่ใช้ต้องเก็บที่ 37°ซ

3. สารละลาย ทริปซิน (Trypsin solution)

ละลายทริปซิน 4.0 มิลลิกรัมใน 200 มิลลิลิตร กรดไฮโดรคลอริก 0.001 โมลาร์ (สารละลายนี้ถ้าเก็บในตู้เย็นสามารถเก็บไว้ใช้ได้ 2-3 สัปดาห์)

4. การเตรียมตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดมาประมาณ 1 กรัม แล้วสกัดด้วยสารละลายโซเดียม-ไฮดรอกไซด์ 0.01 นอร์แมล 50 มิลลิลิตร 1 ชั่วโมง พีเอชของสารละลายแขวนลอยนี้ควรอยู่ระหว่าง 8.5-8.8 (ถ้า พีเอชต่ำกว่า 8.4 จะต้องสกัดใหม่ โดยใช้สารละลายโซเดียม-

ไฮดรอกไซด์ที่เข้มข้นมากขึ้น)

5. วิธีทำ

ปิเปตต์สารละลายตัวอย่างที่เตรียมไว้ 0.4, 0.6, 1.0, 1.4 และ 1.8 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติมน้ำให้เป็น 2.0 มิลลิลิตร เติมสารละลายทริปซิน หลอดละ 2 มิลลิลิตร แล้วนำหลอดทดลองทั้งหมดไปวางในเครื่องอังน้ำที่ 37°ซ เติมสารละลาย BAPA ลงไปหลอดละ 5 มิลลิลิตร จับเวลา เมื่อครบ 10 นาที นำมาเติม 30% กรดแอซีติก หลอดละ 1 มิลลิลิตร เพื่อหยุดปฏิกิริยา กรองสารละลายในแต่ละหลอดด้วยกระดาษกรอง (Whatman No.3) วัดการดูดกลืนแสงของสารละลายที่กรองได้ ที่ 410 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับรีเอเจนต์ไร้สิ่งตัวอย่าง (reagent blank)

รีเอเจนต์ไร้สิ่งตัวอย่าง เตรียมโดยใช้สารละลาย ทริปซิน 2 มิลลิลิตร และน้ำ 2 มิลลิลิตร เติม 30% กรดแอซีติก 1 มิลลิลิตร แล้วจึงเติมสารละลาย BAPA 5 มิลลิลิตร

ถ้าตัวอย่างดูดกลืนแสงที่ 410 นาโนเมตร ก็ให้เตรียม Sample blank โดยปิเปตต์สารละลายตัวอย่าง 2 มิลลิลิตร เติมสารละลาย BAPA 5 มิลลิลิตร วางในเครื่องอังน้ำที่ 37°ซ นาน 10 นาที เติมกรดแอซีติกร้อยละ 30 1 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายทริปซิน 2 มิลลิลิตร

การแสดง activity ของเอนไซม์ trypsin inhibitor activity จะวัดออกมาเป็นหน่วย trypsin units inhibited (TIU) 1 TIU มีค่าเท่ากับค่าดูดกลืนแสงที่ 410 นาโนเมตร ที่เพิ่มขึ้น 0.01

7.1.2 การลดปริมาณ Trypsin inhibitor activity ในผลิตภัณฑ์อาหารทางการแพทย์

1. เตรียมอาหารทางการแพทย์สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวตามวิธีในข้อ 3 หลังจากผสมสารอาหารต่าง ๆ เข้าด้วยกันแล้ว ก่อนนำไปทำให้แห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย ให้นำสารละลายของส่วนผสมสารอาหารมาต้มให้เดือด โดยทดลองต้มเป็นเวลา 5, 10, และ 20 นาที นำสารละลายนี้ไปทำให้แห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย

2. นำผลิตภัณฑ์อาหารทางการแพทย์สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวที่ได้ไปวิเคราะห์หา Trypsin inhibitor activity ตามวิธีในข้อ 7.1.1

7.2 การเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนในผลิตภัณฑ์ โดยการเสริมด้วยกรดอะมิโน

นำค่าปริมาณกรดอะมิโนที่วิเคราะห์ได้จากข้อ 5 มาเปรียบเทียบกับปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นที่ร่างกายต้องการตามมาตรฐานของ FAO/WHO[32] แล้วคำนวณค่าอะมิโนแอซิดสคอร์ (amino acid score) ของกรดอะมิโนจำเป็นในผลิตภัณฑ์

$$\text{Amino acid score} = \frac{\text{mg of an amino acid in 1 g test protein} \times 100}{\text{mg of the amino acid in 1 g reference protein}}$$

เตรียมอาหารทางการแพทย์ตามวิธีในข้อ 3 แต่สูตรที่เตรียมใหม่เป็นสูตรที่เลือกใช้สารเจือปนซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์มีการละลายดี และคงตัวในการแขวนตะกอน (จากข้อ 3) และปรับปรุงรสชาติตามผลที่ได้จากข้อ 6 และเติมกรดอะมิโนซึ่งมีค่าอะมิโนแอซิดสคอร์ต่ำสุดลงไปด้วย เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนในอาหารทางการแพทย์ที่เตรียมได้

8. ประเมินคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้

8.1 การประเมินโดยการวิเคราะห์ทางเคมี ตามวิธีในข้อ 2

8.2 การประเมินโดยการวิเคราะห์ทางชีวภาพ (Biological Assay)[19,33]

นำผลิตภัณฑ์อาหารทางการแพทย์ชนิดผงสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวที่เตรียมได้มาทำการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการในหนูทดลอง (Weaning male rat) โดยเปรียบเทียบกับโปรตีนมาตรฐาน (ANRC Reference Casein) เพื่อหาค่า Protein Efficiency Ratio (PER), Net Protein Ratio (NPR), Biological Value (BV), True Digestibility (TD) และ Net Protein Utilization (NPU) ด้วยวิธีการดังนี้

8.2.1 <u>การหาค่า Protein efficiency ratio (PER) โดยวิธีของ AOAC 1990</u>

เตรียมอาหารสำหรับเลี้ยงหนูทดลองให้มีส่วนประกอบดังนี้คือ โปรตีนร้อยละ 10 ไขมันร้อยละ 8 เกลือแร่ (Salt mixture) ร้อยละ 5 ส่วนผสมของวิตามิน (Vitamin mixture) ร้อยละ 1 ใยอาหาร (Cellulose Fiber) ร้อยละ1 น้ำร้อยละ 5 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 70 เก็บอาหารที่เตรียมได้ไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4°ซ.

นำไปวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนโดยวิธี Micro Kjeldahl

สัตว์ทดลองใช้หนูขาว (rat) พันธุ์ Wistar สั่งจากสำนักสัตว์ทดลองแห่งชาติ ศูนย์ศาลายา มหาวิทยาลัยมหิดล ใช้หนูเพศผู้อายุ 21-24 วัน แยกเลี้ยงกรงละ 1 ตัว ใช้กรงที่มีที่รองรับอุจจาระ ปัสสาวะ (metabolic cage) นำหนูทดลองมาแบ่งเป็น 4 กลุ่ม ๆ ละ 10 ตัว ให้น้ำหนักเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มต่างกันไม่เกิน 5 กรัม แต่ละกลุ่มเลี้ยงด้วยอาหารต่างกันดังต่อไปนี้

กลุ่มมาตรฐาน เลี้ยงด้วยอาหารโปรตีนมาตรฐานคือเคซีน

กลุ่มทดลอง 1 เลี้ยงด้วยอาหารทางการแพทย์ชนิดผงสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว (สูตรที่ 1)

กลุ่มทดลอง 2 เลี้ยงด้วยอาหารทางการแพทย์ชนิดผงสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว เสริมด้วย เมไทโอนีน (Methionine) และทรีโอนีน (Threonine) (สูตรที่ 2)

กลุ่มทดลอง 3 เลี้ยงด้วยอาหารทางการแพทย์ชนิดผงสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว เสริมด้วย เมไทโอนีน, ทรีโอนีน และลัยซีน (Lysine) (สูตรที่ 3)

เลี้ยงในห้องปรับอากาศอุณหภูมิ 25°ซ. ให้แสงสว่างเวลากลางวัน 12 ชั่วโมง และมืดในเวลากลางคืน 12 ชั่วโมง เป็นเวลา 28 วัน ให้อาหารและน้ำตลอดวัน บันทึกน้ำหนักอาหารที่กินและน้ำหนักตัวของหนูทดลองทุก 2-3 วัน นำไปคำนวณหาค่า PER ได้ดังนี้

$$\text{PER} = \frac{\text{น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (กรัม)}}{\text{น้ำหนักของโปรตีนที่กิน (กรัม)}}$$

$$\text{CPER} = \frac{\text{PER ของกลุ่มทดลอง} * 2.5}{\text{PER ของกลุ่มมาตรฐาน}}$$

8.2.2 <u>การหาค่า Net Protein Ratio (NPR) และ Relative NPR (RNPR)</u>

ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองเพื่อหาค่า PER แต่เพิ่มกลุ่มสัตว์ทดลองอีก 1 กลุ่มคือ กลุ่มที่ให้อาหารปราศจากโปรตีน (Zero protein group, กลุ่ม Z) มีส่วนประกอบดังนี้คือ ไขมัน, เกลือแร่, วิตามิน, ใยอาหาร น้ำ และ

คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 8, 5, 1, 1, 5 และ 80 ตามลำดับ เลี้ยงนาน 14 วัน บันทึกน้ำหนักอาหารที่กินและน้ำหนักตัวของหนูทดลองทุก 2-3 วัน นำมาคำนวณค่า NPR และ RNPR ได้ดังนี้

NPR = น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นของกลุ่มทดลอง+น้ำหนักตัวที่ลดลงของกลุ่ม Z

โปรตีนที่กินโดยกลุ่มทดลอง - โปรตีนที่กินโดยกลุ่ม Z

RNPR = NPR ของกลุ่มทดลอง * 100

NPR ของกลุ่มมาตรฐาน

8.2.3 การหาค่า Net protein utilization (NPU)

ใช้วิธีวัดสมดุลย์ของไนโตรเจนโดยการแบ่งกลุ่มสัตว์ทดลองเช่นเดียวกับการหาค่า NPU เลี้ยงหนูทดลองเป็นเวลา 14 วัน บันทึกน้ำหนักอาหารที่กินและน้ำหนักตัวทุก 2-3 วัน เก็บอุจจาระและปัสสาวะทุกวันตลอดการทดลอง โดยรวบรวมไว้ในตู้เย็น นำมาวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนในปัสสาวะและอุจจาระ โดยวิธี Micro Kjeldahl นำมาคำนวณค่า NPU, True Digestibility (TD) และ Biological Value ได้ดังนี้

$$TD = \frac{(I - (F - F_o)) * 100}{I}$$

$$BV = \frac{(I - (F - F_o) - (U - U_o)) * 100}{(I - (F - F_o))}$$

$$NPU = BV * TD$$

โดยที่

I = ปริมาณไนโตรเจนที่กลุ่มทดลองกิน

F = ปริมาณไนโตรเจนที่ขับออกทางอุจจาระของกลุ่มทดลอง

F_o = ปริมาณไนโตรเจนที่ขับออกทางอุจจาระของกลุ่ม Z

U = ปริมาณไนโตรเจนที่ขับออกทางปัสสาวะของกลุ่มทดลอง

U_o = ปริมาณไนโตรเจนที่ขับออกทางปัสสาวะของกลุ่ม Z

9. การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการ และแต่งกลิ่นรสแล้ว

เลือกสูตรที่ดีที่สุดมาทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพตามวิธีในข้อ 4

10. การวิเคราะห์ทางสถิติ [34,35]

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ผลการวิจัย

1. องค์ประกอบทางเคมีของถั่วเขียวซีก

เมื่อนำถั่วเขียวมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดไฟฟ้า แล้วทำการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และกากใย ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเขียวซีกอบแห้ง โดยเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้ง

สารอาหาร	ปริมาณ (ร้อยละ)*
ความชื้น	8.07 (0.09)
โปรตีน	25.23 (0.12)
ไขมัน	1.13 (0.04)
เถ้า	3.52 (0.03)
คาร์โบไฮเดรต และกากใย	70.12 (0.25)

*ค่าที่รายงานเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ครั้ง
ค่าในวงเล็บคือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. การสกัดโปรตีนจากถั่วเขียวซีก

2.1 การหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีน

ได้ทดลองสกัดโปรตีนที่ค่าพีเอชต่าง ๆ กัน ตั้งแต่ 6-10 ปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ แสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณโปรตีนที่สกัดได้จากถั่วเขียวซีกบดที่ค่าพีเอชต่าง ๆ

ค่าพีเอช	ปริมาณโปรตีน* (กรัม/ถั่วเขียวซีก 100 กรัม)
6	17.63[a]
7	21.25[b]
8	21.57[b]
9	22.19[c]
10	22.25[c]

*เปรียบเทียบตามแนวตั้งโดยที่อักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 อัตราส่วนที่เหมาะสมของถั่วซีกต่อตัวทำละลาย (น้ำ)

ได้ทดลองสกัดโปรตีนโดยใช้อัตราส่วนของถั่วซีกต่อน้ำต่าง ๆ กันคือ 1:5, 1:15, 1:25, 1:35, 1:45 และ 1:55 ปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณโปรตีนที่สกัดได้จากถั่วเขียวซีกบด โดยใช้อัตราส่วนถั่วซีกต่อตัวทำละลาย (น้ำ) ต่าง ๆ

อัตราส่วนถั่วซีก ต่อ ตัวทำละลาย (น้ำ)	ปริมาณโปรตีน* (กรัม/ถั่วเขียวซีก 100 กรัม)
1 : 5	21.28[a]
1 : 15	22.12[b]
1 : 25	22.14[b]
1 : 35	22.17[b]
1 : 45	22.18[b]
1 : 55	22.23[b]

* เปรียบเทียบตามแนวตั้งโดยที่อักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 การสกัดโปรตีน และทำให้แห้ง

จากการทดลองนำโปรตีนที่สกัดได้มาทำให้แห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจายจะได้น้ำหนักผงโปรตีนดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณผงโปรตีนที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นกระจายจากถั่วเขียวซีก 100 กรัม

อุณหภูมิลมร้อนเข้า (°ซ)	อุณหภูมิลมร้อนออก (°ซ)	น้ำหนักผงโปรตีน (กรัม)	ความชื้น (กรัม)
190	70	11.0005	6.06
190	90	12.5364	5.69

3. การประเมินคุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนที่สกัดได้โดยวิธีทางเคมี

เมื่อนำโปรตีนที่สกัดได้มาทำเป็นผงแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย โดยมีสภาวะในการทำแห้งคือ อุณหภูมิลมร้อนเข้า 190 องศาเซลเซียส อุณหภูมิลมร้อนออก 90 องศาเซลเซียส และความเร็วลม 700 ลิตรต่อชั่วโมง ได้ผงโปรตีนแห้ง เมื่อนำมาทำการวิเคราะห์ทางเคมี พบว่ามีส่วนประกอบต่าง ๆ ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5 ปริมาณสารอาหารในผงโปรตีนที่สกัดได้จากถั่วเขียวซีก

สารอาหาร	ปริมาณ (ร้อยละ)
ความชื้น	6.06
โปรตีน	76.66
ไขมัน	2.32
เถ้า	5.20
คาร์โบไฮเดรต และกากใย	9.76

4. การเตรียมอาหารทางการแพทย์

ทำการเตรียมอาหารทางการแพทย์ โดยมีสูตรอาหารดังนี้

สารอาหาร	ปริมาณ (ร้อยละ)
โปรตีน	20
น้ำมันข้าวโพด	16
เอ็มซีทีออยล์	4
มอลโตเด็กซ์ตริน	60
วัตถุเจือปนอาหาร	ตามที่กำหนด

เมื่อเตรียมอาหารในรูปของเหลวโดยให้มีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 10 (เพื่อสะดวกในการทำแห้งโดยไม่ติดหัวพ่นกระจาย และไม่เสียเวลาในการทำแห้งมากเกินไป) นำมาทำแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย ซึ่งเมื่อทดลองหาสภาวะที่เหมาะสม โดยทดลองปรับอุณหภูมิลมร้อนเข้า และอุณหภูมิลมร้อนออก ผลการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลผลิต ความชื้น และอัตราการไหลของสารอาหารในการทำแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย

อุณหภูมิลมร้อนเข้า(°ซ)	อุณหภูมิลมร้อนออก(°ซ)	อัตราการไหลของสารอาหาร (มิลลิลิตร/นาที)	ความชื้น (ร้อยละ)	ผลผลิต (ร้อยละ)
130	70	5.67	2.81	40.11
130	90	3.33	2.16	47.85
150	70	7.14	2.64	52.03
150	90	4.76	2.15	56.49
190	70	9.09	2.60	53.01
190	90	-	-	ผงอาหารมีสีน้ำตาล มีกลิ่นไหม้

*ผลผลิต (% yield) = $\frac{\text{น้ำหนักของอาหารผงที่ได้จากการทำแห้ง (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักของอาหารผงที่ควรได้จากการคำนวณ (100 กรัม)}}$

5. การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อาหารทางการแพทย์

ค่า Bulk density และผลผลิตของอาหารทางการแพทย์ชนิดผงที่เตรียมโดยใช้วัตถุเจือปนอาหาร ชนิดและปริมาณต่าง ๆ กันทั้ง 10 สูตร แสดงในตารางที่ 7 ส่วนคุณสมบัติอื่น ๆ ทางกายภาพของอาหารทางการแพทย์ทั้ง 10 สูตร แสดงในตารางที่ 8

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7 Bulk density และผลผลิตที่ได้จากการทำแห้งของผลิตภัณฑ์อาหารทางการแพทย์ชนิดผงที่ใช้วัตถุเจือปนอาหารต่าง ๆ กัน

สูตรอาหาร	วัตถุเจือปนอาหาร	Bulk density* (กรัม/มิลลิลิตร)	ผลผลิต** (ร้อยละ)
1	ก้วร์กัม 0.05%	0.50 (0.004)	43.01
2	ก้วร์กัม 0.1%	0.49 (0.004)	39.52
3	ก้วร์กัม 0.2%	0.46 (0.005)	31.40
4	คาร์ราจีแนน 0.1%	0.50 (0.004)	43.69
5	คาร์ราจีแนน 0.5%	0.44 (0.003)	35.55
6	คาร์ราจีแนน 1.0%	0.42 (0.004)	26.22
7	เลซิธิน 0.1%	0.53 (0.004)	39.28
8	เลซิธิน 0.3%	0.50 (0.004)	40.99
9	เลซิธิน 0.5%	0.51 (0.004)	41.57
10	(ไม่เติม)	0.49 (0.006)	52.03

* เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบ 3 ครั้ง ค่าในวงเล็บคือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

** ผลผลิต (ร้อยละ) = $\frac{\text{น้ำหนักของอาหารผงที่ได้จากการทำแห้ง (กรัม)}}{\text{น้ำหนักของอาหารผงที่ควรได้จากการคำนวณ (100 กรัม)}} \times 100$

ตารางที่ 8 คุณสมบัติความคงตัวในการแขวนตะกอน ดัชนีการละลาย ความหนืด และความสามารถในการไหลผ่านสายให้อาหารของผลิตภัณฑ์อาหารทางการแพทย์ชนิดผงที่เตรียมโดยใช้วัตถุเจือปนอาหารต่าง ๆ กัน

สูตรอาหาร	วัตถุเจือปนอาหาร	ความคงตัว[a] ของการแขวนตะกอน	ดัชนีการ[b] ละลาย (มล.)	ความหนืด[c] (mPaS)	การไหลผ่านสายให้อาหารเบอร์5และ6
1	ก้วร์กัม 0.05%	-	<0.10	3.350 (0.407)	ดี
2	ก้วร์กัม 0.1%	+	0.10 (0.00)	3.975 (0.315)	ดี
3	ก้วร์กัม 0.2%	+	0.15 (0.04)	7.639 (0.437)	ติดขัด,อุดตัน
4	คาร์ราจีแนน 0.1%	+	0.13 (0.04)	9.953 (0.642)	ติดขัด,อุดตัน
5	คาร์ราจีแนน 0.5%	+	0.55 (0.04)	895.2 (9.0)	ติดขัด,อุดตัน
6	คาร์ราจีแนน 1.0%	+	0.65 (0.07)	1128 (38.2)	ติดขัด,อุดตัน
7	เลซิธิน 0.1%	-	0.10 (0.00)	2.655 (0.337)	ดี
8	เลซิธิน 0.3%	+	<0.10	3.398 (0.326)	ดี
9	เลซิธิน 0.5%	+	<0.10	3.520 (0.352)	ดี
10	(ไม่เติม)	-	<0.10	2.015 (0.278)	ดี

[a] - แสดงว่าเกิดการแยกชั้นเมื่อตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

+ แสดงว่ามีความคงตัว ไม่แยกชั้นภายใน 24 ชั่วโมง

[b] เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 3 ครั้ง ค่าในวงเล็บคือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

[c] เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัด 10 ครั้ง ค่าในวงเล็บคือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

6. คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์อาหารทางการแพทย์โดยการวิเคราะห์ทางเคมี

จากการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ พบว่าสูตรอาหารที่มีคุณสมบัติเหมาะสมที่สุดคือ สูตรที่ใช้เลซิธินร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรเป็นวัตถุเจือปนอาหาร จึงนำสูตรอาหารนี้มาวิเคราะห์หาปริมาณสารอาหารและกรดอะมิโน ดังแสดงในตารางที่ 9 และ 10 ตามลำดับ

ตารางที่ 9 ส่วนประกอบของสารอาหารในผลิตภัณฑ์อาหารทางการแพทย์สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว ซึ่งใช้เลซิธิน 0.5 กรัมต่อผลิตภัณฑ์พร้อมดื่ม 100 มิลลิลิตร เป็นวัตถุเจือปนอาหาร

สารอาหาร	ปริมาณ (ร้อยละ)
ความชื้น	2.54
โปรตีน	17.42
ไขมัน	16.47
เถ้า	1.81
คาร์โบไฮเดรต	62.42

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 10 ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนในอาหารทางการแพทย์ชนิดผงสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว

กรดอะมิโน	มิลลิกรัม/ตัวอย่าง 1 กรัม	มิลลิกรัม/กรัมโปรตีน	อะมิโนแอซิดสคอร์*
Aspartic	23.91	114.40	
Threonine	6.28	30.05	75.12
Serine	11.32	54.16	
Glutamic	36.83	176.22	
Proline	10.30	49.28	
Glycine	6.99	33.44	
Alanine	8.12	38.85	
Valine	10.46	50.05	100.10
Cystine	1.38	6.60	48.67
Methionine	2.18	10.43	
Iso-leucine	8.71	41.67	104.19
Leucine	17.59	84.16	120.23
Tyrosine	6.24	29.86	162.13
Phenylalanine	14.09	67.42	
Lysine	14.10	67.46	122.65
Histidine	5.93	28.37	
Arginine	17.53	83.88	
Tryptophan	2.42	11.58	115.80

* เปรียบเทียบกับ FAO/WHO reference protein

7. การปรับปรุงรสชาติของผลิตภัณฑ์

7.1 ปรับปรุงความหวาน

ได้เปรียบเทียบการยอมรับทางด้านกลิ่น และรสของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นโดยใช้น้ำตาลซูโครสแทนมอลโตเด็กซ์ตรินในปริมาณต่าง ๆ เมื่อให้ผู้ทดสอบจำนวน 15 คนชิมทุกตัวอย่างทีละตัวอย่าง แล้วให้คะแนนลงในแบบประเมินผลทางประสาทสัมผัสที่กำหนดไว้ (ตัวอย่างแสดงในผนวก ก)

7.1.1 การทดสอบการเรียงลำดับความหวานของผลิตภัณฑ์

ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ความถี่ของคะแนนที่ผู้ชิมให้แก่ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลซูโครสในปริมาณต่าง ๆ กันในเรื่องความหวาน*

คะแนน	ปริมาณน้ำตาลซูโครส (กรัม/100 กรัมคาร์โบไฮเดรต)			
	0	10	20	30
1 หวานน้อยที่สุด	15(100)	-	-	-
2	-	15(100)	-	-
3	-	-	15(100)	-
4 (หวานมาก)	-	-	-	15(100)

* ค่าในวงเล็บแสดงร้อยละของความถี่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7.1.2 การทดสอบความชอบในรสหวานของผลิตภัณฑ์

ผลการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ความถี่ของคะแนนความชอบในรสหวานที่ผู้ชิมให้แก่ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลซูโครสในปริมาณต่าง ๆ กัน*

คะแนน	ปริมาณน้ำตาลซูโครส (กรัม/100 กรัมคาร์โบไฮเดรต)			
	0	10	20	30
1 (ไม่ชอบ)	14(93.3)	7(46.7)	-	-
2 (เฉย ๆ)	1(6.7)	8(53.3)	7(46.7)	-
3 (ชอบ)	-	-	8(53.3)	7(46.7)
4 (ชอบมาก)	-	-	-	8(53.3)

* ค่าในวงเล็บแสดงร้อยละของความถี่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 13 คะแนนเฉลี่ยของความชอบในรสหวานที่ผู้ชิมให้แก่ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลซูโครสในปริมาณต่าง ๆ

ปริมาณน้ำตาลซูโครส (กรัม/100 กรัมคาร์โบไฮเดรต)	ค่าเฉลี่ยของคะแนน*
0	1.06[a]
10	1.53[b]
20	2.53[c]
30	3.53[d]

* คะแนนความหวานที่ผู้ชิมชอบได้จัดระดับไว้ดังนี้

1 คือ ไม่ชอบ

2 คือ เฉย ๆ

3 คือ ชอบ

4 คือ ชอบมาก

* เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยคะแนน ทุกคู่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7.1.3 การทดสอบความชอบในเรื่องกลิ่นของผลิตภัณฑ์

ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ความถี่ของคะแนนความชอบในกลิ่นที่ผู้ชิมให้แก่ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลซูโครสในปริมาณต่าง ๆ *

คะแนน	ปริมาณน้ำตาลซูโครส (กรัม/100 กรัมคาร์โบไฮเดรต)			
	0	10	20	30
1 (ไม่ชอบ)	15(100)	14(93.3)	11(73.3)	4(26.7)
2 (เฉย ๆ)	-	1(6.7)	4(26.7)	10(66.7)
3 (ชอบ)	-	-	-	1(6.7)
4 (ชอบมาก)	-	-	-	-

* ค่าในวงเล็บแสดงร้อยละของความถี่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 15 คะแนนเฉลี่ยของความชอบในกลิ่นที่ผู้ชิมให้แก่ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลซูโครสในปริมาณต่าง ๆ

ปริมาณน้ำตาลซูโครส (กรัม/100 กรัมคาร์โบไฮเดรต)	ค่าเฉลี่ยของคะแนน*
0	1.00[a]
10	1.07[a,b]
20	1.27[b]
30	1.80[c]

* คะแนนความชอบในกลิ่นได้จัดระดับไว้ดังนี้

1 คือ ไม่ชอบ

2 คือ เฉย ๆ

3 คือ ชอบ

4 คือ ชอบมาก

* เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตัวอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7.2 ปรับปรุงกลิ่น

นำผลิตภัณฑ์ที่มีความหวานเป็นที่ชื่นชอบของผู้ชิมมากที่สุดมาทำการแต่งกลิ่น 3 ชนิดคือ กลิ่นวานิลลา กลิ่นสตรอเบอรี่ และไม่แต่งกลิ่นอะไรเลย เมื่อให้ผู้ทดสอบจำนวน 15 คน ชิมทุกตัวอย่างทีละตัวอย่าง แล้วให้คะแนนลงในแบบประเมินผลทางประสาทสัมผัสที่กำหนดไว้

7.2.1 การทดสอบความชอบในเรื่องกลิ่นของผลิตภัณฑ์

ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ความถี่ของคะแนนความชอบในกลิ่นที่ผู้ชิมให้แก่ผลิตภัณฑ์การแต่งกลิ่นต่าง ๆ

คะแนน	การแต่งกลิ่น*		
	ไม่มีการแต่งกลิ่น	กลิ่นวานิลลา	กลิ่นสตรอเบอรี่
1 (ไม่ชอบ)	10 (66.67)	-	-
2 (เฉย ๆ)	5 (53.33)	1 (6.67)	4 (26.67)
3 (ชอบ)	-	7 (46.67)	9 (60.00)
4 (ชอบมาก)	-	7 (46.67)	2 (13.33)

* ค่าในวงเล็บแสดงร้อยละของความถี่

ตารางที่ 17 คะแนนเฉลี่ยของความชอบในกลิ่นที่ผู้ชิมให้แก่ผลิตภัณฑ์การแต่งกลิ่นต่าง ๆ กัน

การแต่งกลิ่น	ค่าเฉลี่ยของคะแนน*
ไม่มีการแต่งกลิ่น	1.33[a]
กลิ่นวานิลลา	3.40[b]
กลิ่นสตรอเบอรี่	2.87[c]

* คะแนนความชอบในกลิ่นได้จัดระดับไว้ดังนี้

1 คือ ไม่ชอบ

2 คือ เฉย ๆ

3 คือ ชอบ

4 คือ ชอบมาก

* เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตัวอักษรที่ต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7.2.2 การทดสอบความชอบในเรื่องกลิ่น

ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ความถี่ของคะแนนความชอบในรสที่ผู้ชิมให้แก่ผลิตภัณฑ์ที่มีการแต่งกลิ่นต่าง ๆ

คะแนน	การแต่งกลิ่น*		
	ไม่มีการแต่งกลิ่น	กลิ่นวานิลลา	กลิ่นสตรอเบอรี่
1 (ไม่ชอบ)	4 (26.67)	-	-
2 (เฉย ๆ)	10 (66.67)	-	3 (20.00)
3 (ชอบ)	1 (6.67)	9 (60.00)	9 (60.00)
4 (ชอบมาก)	-	6 (40.00)	3 (20.00)

* ค่าในวงเล็บแสดงร้อยละของความถี่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 19 คะแนนเฉลี่ยของความชอบในรสที่ผู้ชิมให้แก่ผลิตภัณฑ์ที่มีการแต่งกลิ่นต่าง ๆ

การแต่งกลิ่น	ค่าเฉลี่ยของคะแนน*
ไม่มีการแต่งกลิ่น	1.80[a]
กลิ่นวานิลลา	3.40[b]
กลิ่นสตรอเบอรี่	3.00[b]

* คะแนนความชอบในกลิ่นได้จัดระดับไว้ดังนี้

1 คือ ไม่ชอบ

2 คือ เฉย ๆ

3 คือ ชอบ

4 คือ ชอบมาก

* เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

8. การปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนในผลิตภัณฑ์

8.1 การลด Trypsin inhibitor activity ในผลิตภัณฑ์อาหารทางการแพทย์

จากการทดลองให้ความร้อนแก่ส่วนผสมของสูตรอาหาร ก่อนนำไปทำให้แห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจายในเวลาต่าง ๆ กัน พบว่าสามารถลดปริมาณ Trypsin inhibitor ลงได้ ดังแสดงในตารางที่ 20

ตารางที่ 20 ปริมาณ Trypsin inhibitor ในผลิตภัณฑ์อาหารทางการแพทย์สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวซึ่งผ่านการต้มในเวลาต่าง ๆ กัน

ระยะเวลาที่ให้ความร้อนในการเตรียมสูตรอาหาร (นาที)	Trypsin inhibitor* (TIU/มก. ตัวอย่าง)
0	4.10[a] (0.03)
5	1.68[b] (0.01)
10	1.65[b] (0.03)
20	0.99[c] (0.02)

*Trypsin Units Inhibited ค่าในวงเล็บคือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

8.2 การเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนในผลิตภัณฑ์ โดยการเสริมด้วยกรดอะมิโน

จากค่าอะมิโนแอซิดสคอร์ (ตารางที่ 10) พบว่าอาหารทางการแพทย์สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว (สูตรที่ 1) มีกรดอะมิโนเมไทโอนีน และทรีโอนีนต่ำ จึงเตรียมอาหารทางการแพทย์สูตรโปรตีนสกัดเสริมกรดอะมิโนที่มีน้อย หรือกรดอะมิโนที่มีน้อยกับลัยซีน ขึ้นโดย

สูตรที่ 2 เติมกรดอะมิโนเมไทโอนีน 19 มก./ก. โปรตีน และทรีโอนีน 11 มก/ก. โปรตีน

และ สูตรที่ 3 เติมกรดอะมิโนเมไทโอนีน 19 มก./ก. โปรตีน และทรีโอนีน 11 มก./ก. โปรตีน และลัยซีน 3 มก./ก. โปรตีน

8.3 การประเมินคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์อาหารทางการแพทย์ โดยวิธีทางเคมี คุณค่าทางโภชนาการของสูตรอาหารที่เตรียมได้แสดงในตารางที่ 21 ส่วนชนิดและปริมาณกรดอะมิโนแสดงในตารางที่ 22 และ 23

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 21 คุณค่าทางโภชนาการของอาหารทางการแพทย์สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว ซึ่งเสริมด้วยกรดอะมิโน

สารอาหาร (ร้อยละ)	สูตรที่ 1*	สูตรที่ 2*	สูตรที่ 3*
ความชื้น	2.54	2.86	2.95
โปรตีน	17.42	17.80	18.14
ไขมัน	16.47	16.11	16.09
คาร์โบไฮเดรต	62.42	61.54	61.19
เถ้า	1.81	1.69	1.63
การกระจายของพลังงาน (ร้อยละ)			
โปรตีน	14.90	15.40	15.70
ไขมัน	31.70	31.36	31.34
คาร์โบไฮเดรต	53.40	53.24	52.96
พลังงานที่ไม่ได้มาจากโปรตีน ต่อไนโตรเจน (กิโลแคลอรี่/กรัมไนโตรเจน)	142.75	137.31	134.25

* สูตรที่ 1 = สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว

สูตรที่ 2 = สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวเสริมเมไทโอนีน และทรีโอนีน

สูตรที่ 3 = สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวเสริมเมไทโอนีน และทรีโอนีน และลัยซีน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 22 ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนในอาหารทางการแพทย์ชนิดผงสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวสูตรที่ 2 (สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวเสริมกรดอะมิโนเมไทโอนีน และทรีโอนีน)

กรดอะมิโน	มิลลิกรัม/ตัวอย่าง 1 กรัม	มิลลิกรัม/กรัมโปรตีน	อะมิโนแอซิดสคอร์*
Aspartic	23.98	114.49	
Threonine	8.77	41.76	104.40
Serine	11.42	54.38	
Glutamic	36.62	174.38	
Proline	10.21	48.62	
Glycine	6.95	33.10	
Alanine	8.22	39.14	
Valine	9.93	47.29	94.58
Cystine	1.53	7.29	110.34
Methionine	6.58	31.33	
Iso-leucine	8.46	40.29	100.73
Leucine	17.74	84.48	120.69
Tyrosine	6.23	29.67	160.17
Phenylalanine	13.95	66.43	
Lysine	14.22	67.71	123.11
Histidine	5.86	27.90	
Arginine	14.06	66.95	
Tryptophan	2.65	12.62	126.20

* เปรียบเทียบกับ FAO/WHO reference protein

ตารางที่ 23 ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนในอาหารทางการแพทย์ชนิดผงสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวสูตรที่ 3 (สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวเสริมกรดอะมิโนเมไทโอนีน, ทรีโอนีน และลัยซีน)

กรดอะมิโน	มิลลิกรัม/ตัวอย่าง 1 กรัม	มิลลิกรัม/โปรตีน	อะมิโนแอซิดสคอร์*
Aspartic	23.00	107.48	
Threonine	8.02	37.48	93.70
Serine	10.88	50.84	
Glutamic	35.15	164.25	
Proline	9.90	46.26	
Glycine	6.68	31.21	
Alanine	7.92	37.01	
Valine	9.86	46.07	92.14
Cystine	1.55	7.24	99.20
Methionine	5.88	27.48	
Iso-leucine	8.48	39.63	99.08
Leucine	17.30	80.84	115.49
Tyrosine	6.07	28.36	152.33
Phenylalanine	13.49	63.04	
Lysine	15.07	70.42	128.04
Histidine	5.67	26.50	
Arginine	13.40	62.62	
Tryptophan	2.74	12.80	128.00

*เปรียบเทียบกับ FAO/WHO reference protein

8.4 การประเมินคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์อาหารที่เตรียมได้จากการวิเคราะห์ทางชีวภาพ

8.4.1 การหา PER (Protein Efficiency Ratio) เมื่อเลี้ยงหนูทดลอง 4 กลุ่มด้วยอาหารซึ่งมีแหล่งโปรตีนต่างชนิดกัน ได้แก่ เคซีน (กลุ่มมาตรฐาน) อาหารทางการแพทย์ชนิดผงสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว สูตรที่ 1 (กลุ่มทดลอง1) อาหารทางการแพทย์สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว สูตรที่ 2 (กลุ่มทดลอง 2) และอาหารทางการแพทย์สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว สูตรที่ 3 (กลุ่มทดลอง 3) เป็นเวลา 4 สัปดาห์ โดยชั่งน้ำหนักตัว และอาหารที่หนูแต่ละตัวกิน นำไปคำนวณค่า PER และ CPER ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 24

8.4.2 การหาค่า NPR (Net Protein Ratio) และ RNPR (Relative NPR)

ในการทดลองนี้ทำเช่นเดียวกับการหาค่า PER แต่เพิ่มกลุ่มสัตว์ทดลองอีก 1 กลุ่มคือ กลุ่มที่ให้อาหารปราศจากโปรตีน (Zero protein group, กลุ่ม Z) จากน้ำหนักสัตว์ทดลองที่เพิ่มขึ้น และปริมาณโปรตีนที่ได้รับ นำมาคำนวณหาค่า NPR และ RNPR ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 25

8.4.3 การหาค่า NPU (Net Protein Utilization)

จากปริมาณไนโตรเจนที่หนูทดลองแต่ละตัวได้รับ และที่ขับออกมาในอุจจาระและปัสสาวะ นำมาคำนวณค่า True Digestibility (TD) Biological Value (BV) และค่า Net Protein Utilization (NPU) ได้ ค่าเฉลี่ยของหนูทดลอง 10 ตัว ในแต่ละกลุ่มแสดงในตารางที่ 26

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 24 น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น อาหารที่กิน โปรตีนที่กิน ค่า PER และค่า CPER ของหนูทดลองกลุ่มต่าง ๆ เมื่อเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ แสดงด้วยค่าเฉลี่ย* (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

กลุ่ม	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	อาหารที่กิน (กรัม)	โปรตีนที่กิน (กรัม)	PER**	CPER**
กลุ่มมาตรฐาน	96.2	311.3	32.81	2.92[a]	-
	(22.81)	(46.13)	(4.86)	(0.44)	
กลุ่มทดลอง 1	33.4	202.8	22.63	1.52[b]	1.30[a]
	(12.98)	(49.46)	(5.52)	(0.67)	(0.57)
กลุ่มทดลอง 2	106.8	313.5	34.30	3.14[a]	2.69[b]
	(9.98)	(42.6)	(4.66)	(0.30)	(0.26)
กลุ่มทดลอง 3	101.1	303.7	32.77	3.08[a]	2.64[b]
	(12.96)	(30.69)	(3.31)	(0.24)	(0.20)

* เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลองในหนู 10 ตัวต่อกลุ่ม

** เปรียบเทียบตามแนวตั้ง ตัวเลขที่มีอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 25 น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น อาหารที่กิน โปรตีนที่กิน ค่า NPR และค่า RNPR ของหนูทดลองกลุ่มต่าง ๆ เมื่อเลี้ยงเป็นเวลา 14 วัน แสดงด้วยค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)*

กลุ่ม	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	อาหารที่กิน (กรัม)	โปรตีนที่กิน (กรัม)	NPR*	RNPR**
กลุ่มที่เลี้ยงด้วย	-10.4	64.9	0.55	-	-
อาหารที่ไม่มี	(5.31)	(13.10)	(0.11)		
โปรตีน					
กลุ่มมาตรฐาน	44.6	137.4	14.49	3.87[a]	-
	(18.74)	(27.94)	(2.95)	(0.86)	
กลุ่มทดลอง 1	16.5	98.0	10.94	2.62[b]	67.58[a]
	(9.15)	(22.61)	(2.52)	(0.80)	(20.59)
กลุ่มทดลอง 2	49.7	142.6	15.60	4.12[a]	106.41[b]
	(13.91)	(31.82)	(3.48)	(1.04)	(26.95)
กลุ่มทดลอง 3	50.3	139.30	15.03	4.19[a]	108.34[b]
	(13.01)	(17.14)	(1.85)	(0.72)	(18.50)

* ค่าเฉลี่ยจากสัตว์ทดลอง 10 ตัวต่อกลุ่ม

** เปรียบเทียบตามแนวตั้ง ตัวเลขที่มีอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

ตารางที่ 26 ปริมาณไนโตรเจนที่ได้รับและขับออกทางปัสสาวะและอุจจาระ ค่า TD, BV และ NPU ของหนูทดลองกลุ่มต่าง ๆ เมื่อเลี้ยงเป็นเวลา 14 วัน แสดงด้วยค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

กลุ่ม	ไนโตรเจน(มิลลิกรัม) ที่ได้รับ	ปัสสาวะ	อุจจาระ	TD**	BV**	NPU**
กลุ่มที่เลี้ยงด้วย อาหารที่ไม่มี โปรตีน	88.32 (17.87)	43.33 (20.75)	62.34 (9.14)	-	-	-
กลุ่มมาตรฐาน	2317.76 (471.36)	231.85 (100.50)	201.41 (47.61)	94.04[a] (1.40)	91.93[a] (3.37)	86.46[a] (3.70)
กลุ่มทดลอง 1	1750.72 (403.73)	310.46 (118.43)	169.37 (54.01)	92.95[a] (1.70)	84.18[b] (4.48)	78.27[b] (4.90)
กลุ่มทดลอง 2	2496.16 (556.87)	359.04 (130.77)	237.56 (38.72)	92.93[a] (0.95)	86.78[a] (3.19)	80.65[a,b] (3.20)
กลุ่มทดลอง 3	2404.80 (295.97)	317.98 (83.94)	255.90 (43.16)	90.00[a] (1.19)	87.68[a] (3.04)	80.69[a,b] (3.53)

* ค่าเฉลี่ยจากหนูทดลอง 10 ตัวต่อกลุ่ม

** เมื่อเปรียบเทียบตามแนวตั้ง ตัวเลขที่มีอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

9. การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการและแต่งกลิ่นรสแล้ว

จากการศึกษาพบว่าอาหารทางการแพทย์สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว ซึ่งใช้น้ำตาลซูโครสร้อยละ 30 ของคาร์โบไฮเดรต และแต่งกลิ่นด้วยกลิ่นวานิลลา เป็นสูตรที่ผู้ทดลองชิมชอบมากที่สุด และสูตรที่เสริมด้วยกรดอะมิโนเมไทโอนีน และทรีโอนีน เป็นสูตรที่ให้คุณค่าทางโภชนาการสูง จึงนำสูตรอาหารนี้มาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 27

ตารางที่ 27 คุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อาหารทางการแพทย์สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวสูตรธรรมดา เปรียบเทียบกับสูตรที่ทำการปรับปรุงรสชาติและคุณค่าทางโภชนาการ

	อาหารทางการแพทย์สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว	
	สูตรธรรมดา	สูตรปรับปรุง
Bulk density (ก./มล.)	0.51	0.51
ความคงตัวของการแขวนตะกอน (24 ชม.)	คงตัว	คงตัว
ดัชนีการละลาย (มล.)	<0.10	<0.10
ความหนืด (mPas)	2.520	2.227
การไหลผ่านสายให้อาหารเบอร์ 5 และ 6	ดี	ดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

วิจารณ์ผลการวิจัย

1. การสกัดโปรตีนจากถั่วเขียวและทำให้แห้ง

ในการวิจัยนี้ได้ทำการสกัดโปรตีนจากถั่วเขียวซีกซึ่งกระเทาะเปลือกแล้ว โดยใช้วิธีบดแบบเปียก ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงความร้อนที่อาจเกิดขึ้น หากใช้วิธีบดแบบบดแห้ง จากการทดลองพบว่าปริมาณโปรตีนที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้น เมื่อตัวทำละลายเป็นด่างมากขึ้น และพบว่าที่พีเอช 9 และ 10 สามารถสกัดโปรตีนออกมาได้มากที่สุดคือ ได้โปรตีนสกัด 22.19 และ 22.25 กรัมจากถั่วเขียวซีก 100 กรัม ในการสกัดโปรตีนเพื่อนำมาใช้ในการเตรียมอาหารทางการแพทย์ในการศึกษาขั้นต่อไป จึงเลือกสกัดโปรตีนที่พีเอช 9 เนื่องจากว่าภาวะที่เป็นด่างสูง มีผลทำให้คุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนลดลง[36] และในการสกัดพบว่าการใช้อัตราส่วนของถั่วเขียวซีกต่อน้ำเป็น 1 กรัมต่อ 15 มิลลิลิตร เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากสามารถสกัดโปรตีนออกมาได้พอ ๆ กับการใช้อัตราส่วนของน้ำที่สูงขึ้น จึงเลือกใช้อัตราส่วนถั่ว 1 กรัมต่อน้ำ 15 มิลลิลิตร เพราะจะสะดวกในขั้นตอนการแยกตะกอนโปรตีนออกมา

สำหรับโปรตีนที่สกัดได้นี้ได้นำไปทำให้เป็นผงแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย (Minispray dryer, Buchi) แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณสารอาหารในผงโปรตีนที่สกัดได้ เพื่อเป็นแนวทางในการเตรียมอาหารทางการแพทย์ต่อไป

2. การเตรียมอาหารทางการแพทย์

หลังจากเตรียมอาหารในรูปของเหลวซึ่งมีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 10 แล้วนำมาทดลองหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย พบว่าเมื่อให้อุณหภูมิลมร้อนเข้า 130°ซ และอุณภูมิลมร้อนออก 70 และ 90°ซ จะได้ผลผลิตต่ำ เมื่อให้อุณหภูมิลมร้อนเข้า 190°ซ ลมร้อนออก 70°ซ จะได้ผลผลิตสูงขึ้น แต่ผงอาหารที่ได้มีสีคล้ำ และมีกลิ่นไหม้ ในขณะที่อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150°ซ ลมร้อนออก 90°ซ จะให้ผลผลิตสูงสุด (56.49%) และผงอาหารมีความชื้นต่ำ แต่อัตราการไหลเข้าของสารละลายช้า

มาก ทำให้ต้องใช้เวลาในการทำแห้งนาน จึงเลือกใช้อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150°ซ ลมร้อนออก 70°ซ ซึ่งที่อุณหภูมินี้ผลผลิตมีความชื้นมากกว่าอุณหภูมิ 90°ซ เล็กน้อย แต่อัตราการไหลเข้าของสารละลายจะเร็วกว่าเกือบ 2 เท่า จึงใช้เวลาสั้นกว่าซึ่งสะดวก และประหยัดพลังงานกว่าการใช้อุณหภูมิลมร้อนออก 90°ซ ในการเตรียมอาหารทางการแพทย์ในการศึกษาจึงเลือกใช้อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150°ซ ลมร้อนออก 70°ซ

3. การปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อาหารทางการแพทย์

ได้ทดลองเติมก้วร์กัม คาร์ราจีแนน หรือเลซิธินปริมาณต่าง ๆ ลงในสารละลายอาหารทางการแพทย์ที่เตรียมขึ้นก่อนนำไปทำให้เป็นผงแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย โดยปริมาณวัตถุเจือปนอาหารที่ใช้จะอยู่ในช่วงที่ไม่เกินปริมาณสูงสุด ที่องค์การอนามัยโลกอนุญาตให้เติมลงในผลิตภัณฑ์นม[37]

จากคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์พบว่า สูตรอาหารที่เติมก้วร์กัม 0.2% และสูตรที่เติมคาร์ราจีแนน 0.1%, 0.5% และ 1.0% ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความหนืดมาก เมื่อทดลองให้ไหลผ่านสายให้อาหารเบอร์ 5 และ 6 ก็จะติดขัดอุดตันสายให้อาหาร ส่วนสูตรอาหารที่ใช้ก้วร์กัม 0.05% หรือเลซิธิน 0.1% ก็ไม่เหมาะสมที่จะใช้ ในกรณีนี้เช่นกัน เนื่องจากสูตรอาหารที่เตรียมได้จะแยกชั้นออกมาเมื่อตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ดังนั้นวัตถุเจือปนที่เหมาะสมจะใช้ในการเตรียมอาหารทางการแพทย์ คือสูตรอาหารที่เติมก้วร์กัม 0.1% และสูตรที่เติมเลซิธิน 0.3% และ 0.5% เนื่องจากทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารทางการแพทย์ที่เตรียมได้มีคุณสมบัติทางกายภาพเหมาะสมที่จะใช้สำหรับให้ทางสายให้อาหารได้ดี (ตารางที่ 7 และ 8) ในการศึกษานี้ในขั้นต่อไปจะเลือกใช้เลซิธิน 0.5% เป็นวัตถุเจือปน เนื่องจากจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสม และให้ผลผลิตมากที่สุด

4. การปรับปรุงรสชาติของผลิตภัณฑ์

เนื่องจากผลิตภัณฑ์อาหารทางการแพทย์นี้จะให้กับผู้ป่วยโดยการให้ทางสายให้อาหาร หรืออาจให้ผู้ป่วยดื่มเป็นอาหารเสริม หรือรับประทานเป็นอาหารหลักในระหว่างเปลี่ยนจากการให้อาหารทางสายให้อาหาร มาเป็นการรับประทานอาหารตามปกติ[11] ดังนั้น

ผลิตภัณฑ์อาหารทางการแพทย์ควรมีรสชาติน่ารับประทาน ในการศึกษานี้จึงทำการปรับปรุงรสชาติของผลิตภัณฑ์ โดยการปรับปรุงความหวานด้วยการใช้ซูโครสแทนมอลโตเด็กซ์ตริน และทดลองแต่งกลิ่นผลิตภัณฑ์ด้วยกลิ่นวานิลลา และกลิ่นสตรอเบอรี่ แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นมาให้อาสาสมัครทดลองชิม ปรากฏว่าผู้ชิมชอบผลิตภัณฑ์ที่มีความหวานซึ่งใช้น้ำตาลซูโครส 30 กรัมต่อ 100 กรัมของคาร์โบไฮเดรต ที่มีในสูตรอาหาร (ตารางที่ 13) ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำตาลซูโครสต่ำกว่านี้ผู้ชิมส่วนใหญ่จะไม่ชอบ ดังนั้นคาร์โบไฮเดรตที่ใช้ในสูตรอาหารจึงประกอบด้วยมอลโตเด็กซ์ตรินต่อซูโครสในอัตราส่วน 70:30 ในสูตรอาหารนี้เลือกใช้มอลโตเด็กซ์ตรินเป็นหลัก เนื่องจากร่างกายสามารถย่อยและดูดซึมได้ดี สารละลายของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความดันออสโมติกต่ำ ช่วยให้ผู้ป่วยรับอาหารได้ดีขึ้น โอกาสเกิดท้องเสียเนื่องจากความดันออสโมติกของอาหาร (Osmotic diarrhea) จะน้อย[38]

สำหรับการแต่งกลิ่นผลิตภัณฑ์อาหารทางการแพทย์ พบว่าผู้ชิมส่วนใหญ่จะชอบผลิตภัณฑ์ที่แต่งกลิ่นวานิลลา รองลงมาคือกลิ่นสตรอเบอรี่ ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ไม่แต่งกลิ่น ผู้ชิมส่วนใหญ่จะไม่ชอบ (ตารางที่ 16-19)

5. ส่วนประกอบของสารอาหารในอาหารทางการแพทย์สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว

ผลิตภัณฑ์อาหารที่เตรียมขึ้นประกอบด้วยโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 17.42, 16.47 และ 62.42 ตามลำดับ ซึ่งจะให้การกระจายของพลังงานจากโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต เป็นร้อยละ 14.90, 31.70 และ 53.40 ของพลังงานทั้งหมด ตามลำดับ และมีสัดส่วนระหว่างพลังงานที่ไม่ได้มาจากโปรตีนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 143 กิโลแคลอรี่ต่อกรัมไนโตรเจน ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ร่างกายสามารถนำโปรตีนไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ[11] เมื่อนำผงอาหารที่เตรียมได้ 21 กรัม ละลายน้ำให้มีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้นของพลังงาน 1 กิโลแคลอรี่ต่อมิลลิลิตรซึ่งจะทำให้ผู้ป่วยได้รับทั้งน้ำและพลังงานเพียงพอ อย่างไรก็ตามสูตรอาหารนี้หากจะนำไปใช้จริง ต้องนำไปเติมเกลือแร่และวิตามินในปริมาณเท่ากับปริมาณที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย[39]

สำหรับไขมันที่ใช้ในสูตรอาหารทางการแพทย์ เลือกใช้ส่วนผสมของน้ำมันข้าวโพดและเอ็มซีทีออยล์ซึ่งประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ที่มีสายโมเลกุลยาวปานกลาง ในอัตราส่วน 80:20 ซึ่งจะให้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง (Polyunsaturated fatty acid) โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดลิโนเลอิกในปริมาณที่เพียงพอ[40] เอ็มซีทีออยล์ที่ผสมในสูตรอาหารช่วยให้ร่างกายดูดซึมได้ดีขึ้น ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในกรณีที่ผู้ป่วยมีความผิดปกติในการย่อยและดูดซึมไขมัน หรือในกรณีที่ผู้ป่วยไม่ได้รับอาหารผ่านทางเดินอาหารเป็นเวลานาน นอกจากนี้ไขมันในสูตรอาหารช่วยให้ผู้ป่วยได้รับพลังงานเพียงพอกับความต้องการ[41]

คาร์โบไฮเดรตที่ใช้ในสูตรอาหารเป็นส่วนผสมของมอลโตเด็กซ์ตริน และซูโครส ในอัตราส่วน 70:30 ตามที่กล่าวมาแล้ว ส่วนโปรตีนในสูตรอาหารนี้เป็นโปรตีนที่สกัดจากถั่วเขียว ซึ่งพบว่าสูตรอาหารที่เตรียมขึ้นจากโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวมีกรดอะมิโนที่มีจำกัด (limiting amino acid) คือเมไทโอนีน และทรีโอนีน ซึ่งพบว่าค่าอะมิโนแอซิดสคอร์ของเมไทโอนีน บวกซีสตีน จะเท่ากับ 48.67 และของทรีโอนีน เท่ากับ 75.12 (ตารางที่ 10) การมีกรดอะมิโนจำเป็น (Essential amino acid) ทั้ง 2 ชนิดเป็นกรดอะมิโนที่มีจำกัดทำให้ร่างกายไม่สามารถนำโปรตีนไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ คุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนจะด้อยลง[42]

6. การปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์อาหารทางการแพทย์

เนื่องจากอาหารทางการแพทย์ที่เตรียมขึ้นในการวิจัยนี้ใช้โปรตีนสกัดจากถั่วเขียว ซึ่งโปรตีนที่ได้อาจมีคุณค่าทางโภชนาการด้อยกว่าโปรตีนจากนม หรือไข่ ทั้งนี้เนื่องจากพบว่าในพืชตระกูลถั่วส่วนใหญ่ซึ่งรวมถึงถั่วเขียวจะมีสารซึ่งเป็นตัวยับยั้งเอนไซม์ที่จะย่อยโปรตีน (Trypsin inhibitor)[43] โดยสารยับยั้งเอนไซม์นี้สามารถจับกับเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีน ทำให้โปรตีนบางส่วนโดยเฉพาะกรดอะมิโนที่จำเป็น ถูกขับออกจากร่างกายโดยไม่ถูกดูดซึม[44] นอกจากนี้ยังพบว่าโปรตีนในพืชตระกูลถั่วส่วนใหญ่มักจะขาดเมไทโอนีนทำให้คุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนจากถั่วลดลง การวิจัยนี้จึงศึกษาแนวทางที่จะเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนในอาหารทางการแพทย์สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวที่เตรียมขึ้นโดย

6.1 การลด Trypsin inhibitor activity ในผลิตภัณฑ์อาหารทางการแพทย์

เนื่องจากมีการศึกษาพบว่าการให้ความร้อนชื้นสามารถทำลายสารซึ่งเป็นตัวยับยั้งเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีน (Trypsin inhibitor) ได้[36,43] การวิจัยนี้จึงทดลองนำส่วนผสมของสูตรอาหารที่เตรียมขึ้นในขณะที่ยังเป็นสารละลายไปต้มเป็นเวลา 5, 10 และ 20 นาที ตามลำดับ แล้วจึงนำส่วนผสมนี้ไปทำให้แห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย พบว่าเมื่อใช้เวลาต้ม 5 หรือ 10 นาที จะสามารถลดปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซิน (Trypsin inhibitor) ลงได้ประมาณ 60% และเมื่อต้มนาน 20 นาที ปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซิน ลดลง 75% (ตารางที่ 20) ดังนั้นในการเตรียมอาหารทางการแพทย์สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว เมื่อนำส่วนผสมต่าง ๆ มาผสมกันแล้ว จึงนำสารละลายที่ได้ไปต้ม 20 นาที ก่อนนำไปทำให้แห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย

6.2 การเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนในผลิตภัณฑ์ โดยการเสริมด้วยกรดอะมิโน

คุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนจากพืชสามารถเพิ่มขึ้นได้โดยการเติมกรดอะมิโนที่มีจำกัด (limiting amino acids) ลงไป[42] จากการวิเคราะห์หาปริมาณและชนิดของกรดอะมิโนในอาหารทางการแพทย์ชนิดผง สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว แล้วนำไปหาค่าอะมิโนแอซิดสคอร์ โดยเทียบกับโปรตีนมาตรฐานของ FAO/WHO[32] พบว่ากรดอะมิโนที่มีจำกัด (limiting amino acids) ในอาหารทางการแพทย์ที่เตรียมขึ้นคือ เมไทโอนีน และทรีโอนีน (ตารางที่ 10) นอกจากนี้ได้มีผู้ศึกษาพบว่าการให้ความร้อนสูงแก่โปรตีนจะทำให้คุณค่าทางโภชนาการลดลงได้ เนื่องจากลัยซีนจะเกิดเป็นสารพวก Lysinoalanine[45] ซึ่งร่างกายไม่สามารถดูดซึมได้

ดังนั้นจึงทำการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนในอาหารทางการแพทย์สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว (สูตรที่ 1) โดยการเติมกรดอะมิโนที่มีจำกัดคือ เมไทโอนีนและทรีโอนีนลงในสูตรอาหาร (สูตรที่ 2) เพื่อให้ค่าอะมิโนแอซิดสคอร์ของกรดอะมิโนทั้งสองเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันก็เติมลัยซีนร่วมกับเมไทโอนีน และทรีโอนีน ลงในสูตรอาหาร (สูตรที่ 3) เนื่องจากความร้อนจากการทำแห้งแบบพ่นกระจายในการวิจัยนี้ อาจทำให้คุณค่าทางโภชนาการของลัยซีนลดลง

ในการประเมินคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นโดยการศึกษาในหนูทดลอง เปรียบเทียบกับเคซีนมาตรฐาน (ANRC Reference Casein) เมื่อพิจารณาค่า Protein Efficiency Ratio (PER) และ Net Protein Ratio (NPR) ซึ่งเป็นค่าที่ประเมินจากน้ำหนักตัวของสัตว์ทดลองที่เพิ่มขึ้น เปรียบเทียบกับน้ำหนักโปรตีนที่สัตว์ทดลองได้รับ พบว่าค่า PER ของสัตว์ทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวสูตรธรรมดา (สูตรที่ 1) ต่ำกว่าของสูตรอาหารโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวที่เติม เมไทโอนีนและทรีโอนีน (สูตรที่ 2) หรือสูตรอาหารโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวที่เติม เมไทโอนีน, ทรีโอนีน และลัยซีน (สูตรที่ 3) หรือโปรตีนมาตรฐาน (เคซีน) (ตารางที่ 24) ส่วนค่า PER ของสัตว์ทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 2 สูตรที่ 3 และอาหารสูตรโปรตีนมาตรฐานไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าสัตว์ทดลองที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 จะกินอาหารน้อยกว่ากลุ่มอื่น ๆ ทำให้สัตว์ทดลองได้รับโปรตีนน้อยตามไปด้วย ซึ่งได้มีการศึกษามาแล้วพบว่าค่า PER และ NPR จะขึ้นกับปริมาณอาหารที่สัตว์ทดลองได้รับ คือค่าเหล่านี้จะสูงขึ้นถ้าสัตว์ทดลองกินอาหารมากขึ้น[46] ดังนั้นการประเมินคุณค่าทางโภชนาการของโปรตีน โดยค่านี้อาจมีความผิดพลาดได้ในกรณีที่สัตว์ทดลองกินอาหารน้อย

เมื่อพิจารณาผลที่ได้จากการทดลองโดยศึกษาจากสมดุลย์ของไนโตรเจน คำนวณออกมาเป็นค่า BV (Biological Value) และ NPU (Net Protein Utilization) พบว่ากลุ่มที่เลี้ยงด้วยโปรตีนมาตรฐานจะให้ค่า BV และ NPU สูงกว่าสูตรอาหารอื่น ๆ และสูงกว่ากลุ่มที่ให้อาหารสูตรที่ 1 (โปรตีนสกัดจากถั่วเขียว) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 แต่ค่า BV และ NPU ของกลุ่มที่เลี้ยงด้วยโปรตีนมาตรฐานไม่แตกต่างจากกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 2 (โปรตีนสกัดจากถั่วเขียวเสริมเมไทโอนีนและทรีโอนีน) และอาหารสูตรที่ 3 (โปรตีนสกัดจากถั่วเขียวเสริมเมไทโอนีน และทรีโอนีนและลัยซีน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากข้อมูลในการประเมินทางชีวภาพในสัตว์ทดลองแสดงให้เห็นว่าการเสริมกรดอะมิโน (สูตรที่ 2 และสูตรที่ 3) ในอาหารทางการแพทย์สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวทำให้คุณค่าทางโภชนาการของอาหารทางการแพทย์สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวเพิ่มขึ้นเทียบได้กับเคซีน แต่การเสริมลัยซีน ร่วมกับเมไทโอนีน และทรีโอนีนลงในอาหารทางการแพทย์สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว (สูตรที่ 3) มิได้ทำให้คุณค่าทางโภชนาการเพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอาหารที่เสริมเมไทโอนีน และทริโอนีน แสดงว่าสภาวะที่ใช้ในกระบวนการทำให้แห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจายในการศึกษานี้ไม่มีผลทำให้คุณค่าทางโภชนาการของลัยซีนลดลง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปผลการวิจัย

การเตรียมอาหารทางการแพทย์ชนิดผงสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวให้คุณค่าทางโภชนาการ และมีคุณสมบัติทางกายภาพเหมาะสมที่จะให้แก่ผู้ป่วยโดยผ่านสายให้อาหารหรือโดยการรับประทาน สามารถเตรียมได้โดยการสกัดโปรตีนจากถั่วเขียว โดยใช้อัตราส่วนของถั่วเขียวต่อน้ำเป็น 1:15 และสกัดที่พีเอช 9 นำโปรตีนที่สกัดได้ไปเตรียมอาหารทางการแพทย์ โดยใช้ส่วนผสมดังนี้ โปรตีนสกัดจากถั่วเขียว 20 กรัม น้ำมันข้าวโพด 16 กรัม เอ็มซีทีออยล์ 4 กรัม มอลโตเด็กซ์ตริน 42 กรัม น้ำตาลซูโครส 18 กรัม กลิ่นวานิลลา 0.2 กรัม เลซิธิน 2.3 กรัม (เท่ากับ 0.5 กรัมต่อปริมาตรอาหารชงพร้อมดื่ม 100 มิลลิลิตร) เมไทโอนีน 0.38 กรัม และทรีโอนีน 0.22 กรัม นำส่วนผสมนี้มาปั่นผสมเข้าด้วยกันให้มีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 10 แล้วนำไปต้มเดือด 20 นาที เพื่อทำลาย Trypsin inhibitor activity นำส่วนผสมไปทำให้เป็นผงแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย โดยให้อุณหภูมิลมร้อนเข้า 150°ซ และอุณหภูมิลมร้อนออก 70°ซ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีส่วนประกอบของสารอาหารคือ โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 17.80, 16.11 และ 61.54 ตามลำดับ โดยจะมีการกระจายของพลังงานจากโปรตีน : ไขมัน : คาร์โบไฮเดรต เป็น 15.40 : 31.36 : 53:24 และมีพลังงานที่ไม่ได้มาจากโปรตีนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 137.31 กิโลแคลอรี่ต่อกรัมไนโตรเจน ผลิตภัณฑ์นี้ 21 กรัม ละลายน้ำเป็น 100 มิลลิลิตร จะให้พลังงาน 1 กิโลแคลอรี่ต่อมิลลิลิตร คุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนในสูตรอาหารนี้เทียบกับโปรตีนมาตรฐาน (เคซีน)

ผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้มี Bulk density 0.51 กรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อนำมาละลายสามารถแขวนตะกอนได้ดีใน 24 ชั่วโมง มีความหนืด 2.227 mPaS สามารถไหลผ่านสายให้อาหารเบอร์ 5 และ 6 ได้เป็นอย่างดี มีรสชาติเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

เอกสารอ้างอิง

1. Bistrian, B.R. Blackburn, G.L., Vitale, J., Cochran, D. and Naylor, J. 1976. Prevalence of malnutrition in general medical patients. JAMA, 235, 1567.
2. Tanphaichitr V., Kulaponse S., Komindr S. 1980. Assessment of nutritional status in adult hospitalized patients. Nutr. Metab. 24 :23.31.
3. Chen W.J. 1984. Malnutrition in hospitalized patients. In Greene H.L. (ed.) Enteral Nutrition. Mead Johnson Symposium Series No. 2.
4. Williams, C.D. 1962. Malnutrition. Lancet 2 : 342.
5. Warren S. 1932. The immediate causes of death in cancer. Am. J. Med. Sci. 184, 610.
6. Tanphaichitr V. and Leelahagul P. 1985. Tube feeding. Food & Drug in Medical Practice.
7. Rombeau, J. and Caldwell M.D. 1984. Clinical nutrition Vol 1. Enteral and Tube Feeding. W.B. Saunders Company.
8. Grills, N.J. and Bosscher, M.C. 1981. Manual of Nutrition and Diet Therapy. New York : Macmillan Publishing Co. Inc.
9. Flatz, G., Saengudom, C. and Sanguambhokai, T. 1969. Lactose Intolerance in Thailand, Nature. 221 : 758-759.
10. Kensch, G.T., Troncale, F.S., Thavaramara, B., Prinyanont, P., Anderson, P. and Bhamarapravathi, N. 1969. Lactose Deficiency in Thailand. Effect of prolonged Lactose Feeding. Am. J. Clin, Nutr. 22 : 638-641.

11. Bernard, M.A., Jacobs, D.O. and Rombeau, J.L. 1986. **Nutritional and Metabolic Support of Hospitalized Patients.** Saunders Blue Book Series, W.B. Saunders Company.

12. วิชัย ตันไพจิตร และปรียา ลีฬหกุล, 2528. การให้อาหารทางสายให้อาหาร. **Intern Med.** Vol.1 (2)

13. Hunt, J.N. and Stubbs, D.F. 1975. The Volume and Energy Content of Meals as Determinants of Gastric Emptying. **J. Physiol.** 245 : 209-225.

14. วุฒิชัย นาครักษา. 2526. **การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางฟิสิกส์ของพันธุ์ถั่วเขียวที่เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์.** วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

15. Thompson, L.U. 1977. Preparation and Evaluation of Mung Bean Protein Isolated. **J. Food. Sci.** 42 : 202-206.

16. Egan H., Kirk R.S. and Sawyer R. 1981. **Pearson`s chemical analysis of foods.** 8th ed., Churchill Livingstone, London.

17. Oiso T. and Yamaguchi K. 1985. **Manual for food composition analysis.** SEAMIC, TOKYO.

18. Osborne and Voogt, P. 1972. **The analysis of nutrients in food.** Academic Press, Inc. (London) Ltd.

19. Williams, S. 1990. **AOAC** : Official methods of analysis, Association of Official Analytical Chemists, Inc. Washington D.C.

20. Meason, V.C., Bech A.S. and Rudemo, M. 1980. Hydrolysate prepration for amino acid determination in feed constituents, **Proceeding of the 3rd E.A.A.P. Symposium.** Braunshweig, F.R., Germany.

21. พรศักดิ์ มนัสศิริเพ็ญ และสมยศ จรรยาวิลาส. 2533. การทำแห้งแบบพ่นฝอย. อาหาร. 20 (ตุลาคม-ธันวาคม) : 246-252.

22. สรรชัย เทียมทวีสิน. 2530. ผลของตัวแปรในกระบวนการอบแห้งต่อคุณภาพนมผงที่โรงนมผงสวนคูลิต. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

23. Kirk, R.S. and Sawyer, R. 1991. Pearson`s Composition and Analysis of Foods. 9 th.ed. Singapore : Longman Singapore Publisher.

24. Peleg, M. and Bagley, E.B. 1983. Physical Properties of Foods. Connecticut : AVI Publishing company.

25. Nelson, A.I., Steinbery, M.P. and Wei, L.S. 1976. Illinois process for preparation of soymilk, J. food. Sci. 41 : 57-61.

26. American Dry Milk Institute, Inc. 1971. Standard for grades of Dry Milk Including Methods of Analysis. 2nd printing. Bulletin 816 (revised) Chicago : American Dry Milk Institute, Inc.

27. อรวรรณ ทิตย์วรรณ 2527. วิทยาศาสตร์การไหลทางเภสัชกรรม. คณะเภสัช-ศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

28. Furia, T.E. and Bellanca, N. 1971. Fenaroli`s Hand book of Flavor ingredients. Ohio : The Chemical Rubber Co.

29. Maynard, A.A., Pangborn, R.M. and Roessler, E.B. 1965. Principles of Sensory Evaluation of Food. New York : Academic Press.

30. Tressler, D.K. and Sultan, W.J. 1975. Food Products Formulary Vol.2. Westport. Connecticut : The AVI Publishing Company.

31. Kakade, M.L., Rackis, J.J., McGhee, J.E. and Puski G. 1974. Determination of trypsin inhibitor activity of soy products. A collaborative analysis of an improved procedure. Cereal Chem. 51:376-382.

32. Joint FAO/WHO Ad Hoc Expert Committee 1973. Energy and Protein Requirement, WHO Tech, Rep. No. 522, Geneva, Switzerland.

33. Pellett, P.L. and Young V.R. 1980 Nutrition evaluation of protein foods. The United Nations University, Tokyo. : 104-108

34. จรัญ จันทลักขณา. 2523. สถิติวิเคราะห์และวางแผนวิจัย. กรุงเทพมหานคร : ไทยวัฒนาพานิช จำกัด.

35. เติมศรี ชำนิจารกิจ. 2531 สถิติประยุกต์ทางการแพทย์. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

36. O. Fennema 1985 Food processing and nutrition : an overview. in Taylor T.G. and Jenkin N.K. (eds) Proceedings of the XIII International congress of nutrition.

37. Joint FAO/WHO Standards Programme 1982. Codex Alimentarius Vol. IX 1st ed.

38. Lysen, L.K. 1986. Metabolic Complications During Enteral Nutrition Support. in S.H. Krey and R.L. Murray (eds.) Dynamics of Nutrition support. Appleton-Century-Croft. Connecticut

39. คณะกรรมการจัดทำข้อกำหนดสารอาหารประจำวันที่ร่างกายควรได้รับของประชาชนชาวไทย 2532. ข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข

40. Macburney, M.M. and Young L.S. 1984. Enteral Formulas. in Rombeau, J.L. and Caldwell, M.D. (eds.) **Clinical Nutrition** Vol.1 Enteral and Tube feeding. W.B. Saunders Co. 171-182.

41. Bach, A.C. and Babayan V.K. 1982. Medium-chain Triglycerides : an update. **Am. J. Clin. Nutr.** 36:950-62.

42. Jansen, G.R. 1977. Amino Acid Fortification. in C.E. Bodwell (ed.) **Evaluation of Proteins for Humans.** The AVI Publishing Co. Inc. Connecticut. pp. 177-203.

43. Liener, I.E. and Kakade, M.L. 1980. Protease inhibitors. in Liener, I.E. (ed.) **Toxic Constituents of Plant Foodstuffs.** 2nd ed. Academic Press, N.Y.

44. Liener, I.E. 1976. Legume toxins in relation to protein digestibility. A review. **J. Food Sci.** 41:1076-1081.

45. Feeney, R.E. 1977. Chemical Changes in Food Proteins in C.E. Bodwell (ed.) **Evaluation of Proteins for Humans.** The AVI Publishing Co. Inc. Connecticut. pp. 233-254.

46. Samonds K.W. and Hegsted, D.M. 1977. Animal Bioassay : A Critical Evaluation with Specific Reference to Assessing Nutritive Value for the Human. in C.E. Bodwell (ed.) **Evaluation of Proteins for Humans.** The AVI Publishing Co. Inc. Connecticut. pp. 68-80.

ภาคผนวก ก

แบบประเมินผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

แบบทดสอบที่ใช้ในการทดลองตามข้อ 6.1 และ 6.2 เพื่อประเมินผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส มี 2 ชุด ดังนี้

1. <u>แบบประเมินผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส (1)</u> ใช้ประเมินผลในการปรับปรุงความหวานของผลิตภัณฑ์ โดย

   ตัวอย่างที่ 1 คือ ไม่มีการเติมน้ำตาลซูโครสในสูตร

   ตัวอย่างที่ 2 คือ มีปริมาณน้ำตาลซูโครส ร้อยละ 10 ของปริมาณคาร์โบไฮเดรต

   ตัวอย่างที่ 3 คือ มีปริมาณน้ำตาลซูโครส ร้อยละ 20 ของปริมาณคาร์โบไฮเดรต

   ตัวอย่างที่ 4 คือ มีปริมาณน้ำตาลซูโครส ร้อยละ 30 ของปริมาณคาร์โบไฮเดรต

2. <u>แบบประเมินผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส (2)</u> ใช้ประเมินผลในการปรับปรุงกลิ่นของผลิตภัณฑ์ โดย

   ตัวอย่างที่ 1 คือ สูตรอาหารที่ไม่มีการแต่งกลิ่น

   ตัวอย่างที่ 2 คือ สูตรอาหารที่แต่งกลิ่นวานิลลา

   ตัวอย่างที่ 3 คือ สูตรอาหารที่แต่งกลิ่นสตรอเบอรี่

ตัวอย่างของการประเมินผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสทั้ง 2 ชุดนี้มีดังนี้

แบบประเมินผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส (1)

ผลิตภัณฑ์ .....

วันที่ .....

โปรดชิมตัวอย่างและให้คะแนนโดยขีดเครื่องหมาย [✓] ในช่องตามระดับที่ต้องการ

ความหวาน

คะแนน	ระดับความหวาน	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ตัวอย่างที่ 4
1	หวานน้อยที่สุด	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
2		[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
3		[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
4	หวานมาก	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

ความชอบในเรื่องความหวาน

คะแนน	ระดับความชอบ	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ตัวอย่างที่ 4
1	ไม่ชอบ	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
2	เฉย ๆ	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
3	ชอบ	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
4	ชอบมาก	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

ความชอบในเรื่องกลิ่น

คะแนน	ระดับความชอบ	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ตัวอย่างที่ 4
1	ไม่ชอบ	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
2	เฉย ๆ	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
3	ชอบ	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
4	ชอบมาก	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบประเมินผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส (2)

ผลิตภัณฑ์ .....

วันที่ .....

โปรดชิมตัวอย่างและให้คะแนนโดยขีดเครื่องหมาย [✓] ในช่องตามระดับที่ต้องการ

ความชอบในเรื่องกลิ่น

คะแนน	ระดับความชอบ	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ตัวอย่างที่ 4
1	ไม่ชอบ	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
2	เฉย ๆ	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
3	ชอบ	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
4	ชอบมาก	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

ความชอบในเรื่องรส

คะแนน	ระดับความชอบ	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ตัวอย่างที่ 4
1	ไม่ชอบ	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
2	เฉย ๆ	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
3	ชอบ	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
4	ชอบมาก	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย