บทที่ 5

วิจารณ์และสรุปผลการวิจัย

1. โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง

ในการทดลองนี้เลือกใช้พีเอชในการสกัดสูงสุดคือ 9 ซึ่งสามารถสกัดโปรตีนได้ในปริมาณร้อยละ 81.76 ซึ่งมากกว่าการสกัดที่พีเอช 7 และ 9 เนื่องจากโปรตีนในถั่วเหลืองส่วนใหญ่เป็นกลอบูลิน ละลายได้ดีในภาวะที่เป็นด่าง สมชาย[17] พบว่าการละลายโปรตีนในถั่วเหลืองสูงสุดที่พีเอช 10-12 โดยการละลายของโปรตีนถั่วเหลืองที่พีเอชตั้งแต่ 10 ขึ้นไป ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เนื่องจากการสกัดโปรตีนด้วยสารละลาย ที่มีพีเอชสูงกว่า 9 อาจทำให้คุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนลดลง และอาจก่อให้เกิดความเป็นพิษ เนื่องจากเกิด cross linking ระหว่าง dehydroalanine ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของ ซิสทีนและซีรีน กับ ไลซีน ได้สาร lysinoalanine[16,20] จึงเลือกใช้พีเอชในการสกัดสูงสูดเพียง 9

เมื่อนำสารละลายโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง มาปรับพีเอช ให้เป็นกลาง แล้วนำไปทำให้แห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ได้ผลิตภัณฑ์โปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองชนิดผง มีลักษณะเป็นผงแห้ง สีขาวนวล ลักษณะคล้ายเปียกน้ำ ละลายน้ำได้ดี มีกลิ่นถั่วเล็กน้อย มีโปรตีนเป็นส่วนประกอบร้อยละ 88.15 หรือเท่ากับร้อยละ 90.8 โดยน้ำหนักแห้ง เมื่อนำผงโปรตีนสกัด ไปวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดอะมิโน พบว่า มีเมทไธโอนีน ในปริมาณต่ำ โดยมีค่าอะมิโนแอสิดสคอร์ เท่ากับ 74.26

2. อาหารทางการแพทย์สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง

จากการทดสอบการยอมรับของผู้ชิม พบว่าผู้ชิมให้การยอมรับต่อผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลทรายร้อยละ 30 ของส่วนผสมคาร์โบไฮเดรตมากที่สุด การมีน้ำตาลทรายผสมในผลิตภัณฑ์ นอกจากจะทำให้รสชาติเป็นที่ยอมรับของผู้ชิมมากขึ้นแล้ว ยังมีส่วนช่วยให้การดูดซึมคาร์โบไฮเดรต ดีขึ้นกว่าการใช้มอลโทเดกซ์ทรินเดี่ยวๆ เนื่องจากเอนไซม์ซูเครส (Sucrase) มีความเข้มข้นในลำไส้เล็กสูง และมี activity ใกล้เคียงกับเอนไซม์ α- Amylase [28,49] ผู้ป่วยจึงสามารถทนต่อผลิตภัณฑ์ได้ดี

การเติมเลซิตินลงในสูตรอาหาร มีผลให้ทั้งดรรชนีการละลาย และความคงตัวของการแขวนตะกอนดีขึ้น เนื่องจากเลซิตินเป็นฟอสโฟไลปิด (Phospholipid) จึงทำให้ไขมันในสูตรอาหารเข้ากับน้ำได้ดีขึ้น[47] ในสูตรนี้มีการเติมเลซิติน ในปริมาณ 0.4 กรัมต่อผลิตภัณฑ์พร้อมดื่ม 100 มิลลิลิตร ซึ่งพบว่าปริมาณนี้จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ มีดรรชนีการละลายต่ำ และสารละลายที่ได้มีความคงตัวของการแขวนตะกอน และปริมาณที่ใช้ยังอยู่ในปริมาณที่ WHO ยอมรับ[48]

ผลิตภัณฑ์อาหารทางการแพทย์ชนิดผงแห้ง สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองที่เตรียมได้นี้ มีลักษณะเป็นผงแห้งสีขาวนวล ละลายน้ำได้ดี และเมื่อละลายน้ำแล้วให้สารละลายที่คงตัว ไม่มีการแยกชั้นเมื่อตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง มีค่า bulk density เท่ากับ 0.51 กรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมที่ American Dry Milk Institute (ADMI) แนะนำ (0.5 กรัมต่อมิลลิลิตร)[36]

ผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้นี้ ประกอบด้วย โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ให้สัดส่วนของพลังงานจากโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 14.44, 36.21และ 49.35 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ที่คนเราควรได้รับคือ พลังงานจากโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ควรเป็นร้อยละ 15-20,30-35 และ 45-55 ตามลำดับ[6] มีอัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ไม่ได้มาจากโปรตีนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 148 กิโลแคลอรี่ ต่อกรัมไนโตรเจน ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ร่างกายสามารถนำโปรตีนไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อนำอาหารทางการแพทย์สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง 20.86 กรัม ละลายน้ำให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้นของพลังงาน 1 กิโลแคลอรี่ ต่อมิลลิลิตร ซึ่งจะทำให้ผู้ป่วยได้รับทั้งน้ำและพลังงานอย่างเพียงพอ อย่างไรก็ตามหากต้องการนำไปใช้กับผู้ป่วย ต้องมีการเสริมเกลือแร่และวิตามินในปริมาณที่เหมาะสม

ในด้านส่วนประกอบของสูตรอาหารนั้น ไขมันที่ใช้มีส่วนผสมของน้ำมันข้าวโพดและ Medium chain triglyceride ในอัตราส่วน 80:20 จึงให้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (Polyunsaturated fatty acid) โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดลิโนเลอิก ในปริมาณที่เพียงพอ[29,32] MCT ที่ผสมในสูตรอาหาร จะช่วยให้การดูดซึมไขมันดีขึ้น ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในกรณีที่ผู้ป่วย มีความผิดปกติในการย่อยและดูดซึมไขมัน และช่วยให้ผู้ป่วยได้รับพลังงานจากไขมันในสูตรอาหารอย่างเพียงพอ[29]

คาร์โบไฮเดรตที่ใช้ในสูตรอาหารประกอบด้วยมอลโทเดกซ์ทรินและน้ำตาลทราย ในอัตราส่วน 70:30 การเลือกใช้มอลโทเดกซ์ทรินในสูตรอาหาร เนื่องจากร่างกายสามารถย่อยและดูดซึมได้ดี สารละลายของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความดันออสโมติกต่ำ การมีน้ำตาลทรายเป็นส่วนผสมอยู่ จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น และยังช่วยให้ผู้ป่วยสามารถทนต่อคาร์โบไฮเดรตในสูตรอาหารได้ดีขึ้นด้วย[49]

โปรตีนที่ใช้ในสูตรอาหาร เป็นโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง ซึ่งมีกรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นส่วนประกอบ ได้แก่ เมทไธโอนีนและซิสทีน อยู่ในปริมาณต่ำ จึงได้ทำการผลิตอาหารขึ้น 2 สูตร โดยแก่ สูตรที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง เป็นแหล่งของโปรตีน และสูตรที่ 2 ได้จากการนำสูตรที่ 1 มาเสริมเมทไธโอนีนในปริมาณ 1.2 กรัม ต่อ 16 กรัม ไนโตรเจน เมื่อนำสูตรอาหารทั้ง 2 สูตร มาวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดอะมิโน พบว่า สูตรอาหารมี ไลซีน อยู่ในปริมาณต่ำ และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณ ไลซีนในโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองชนิดผงแห้ง พบว่า ปริมาณไลซีน ลดลงประมาณร้อยละ 40 ทั้งนี้คงเนื่องจากในขั้นตอนการทำแห้งสูตรอาหาร ซึ่งมีโปรตีนสกัดและคาร์โบไฮเดรต ผสมกันอยู่ โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งใช้อุณหภูมิค่อนข้างสูงนั้น ไลซีนบางส่วน อาจจะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) กับ น้ำตาลรีดิวส์ซิง (reducing sugar) ในสูตรอาหาร เป็นผลให้ปริมาณไลซีนลดลง [50,51] และเนื่องจากไลซีนเป็นกรดอะมิโนจำเป็น จึงควรมีการเสริมไลซีนลงในสูตรอาหารด้วย

เมื่อนำสูตรอาหารทั้งสอง มาหาคุณค่าทางโภชนาการ โดยวิธีการทางชีวภาพเปรียบเทียบกับโปรตีนมาตรฐานเคเซอินและสูตรอาหารทางการแพทย์อาหารทางการแพทย์ชนิดผงแห้งสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองที่นำเข้าจากต่างประเทศ โดยการเลี้ยงหนูทดลอง เมื่อพิจารณาค่าที่ได้จากการใช้หลักสมดุลย์ไนโตรเจน(Nitrogen balance technique) แสดงให้เห็นว่า โปรตีนในสูตรอาหารทั้งสองที่เตรียมขึ้นถูกย่อยได้ดีพอๆกับเคเซอิน โดยค่า True Digestibility ของหนูกลุ่มที่เลี้ยงด้วยเคเซอิน,อาหารสูตรที่ 1,อาหารสูตรที่ 2 และอาหารสูตรที่นำเข้าจากต่างประเทศ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

เมื่อพิจารณาถึงความสามารถที่ร่างกายนำไนโตรเจนใช้ โดยดูจากค่า Biological Value และ Net Protiein Utilization พบว่า โปรตีนมาตรฐานคือเคเซอิน เป็นโปรตีนที่ร่างกายสัตว์ทดลองสามารถนำไปใช้ได้ดีที่สุด รองลงมาคืออาหาร

สูตรที่นำเข้าจากต่างประเทศ แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 สำหรับอาหารสูตรที่ 2 ซึ่งมีการเสริมเมทไธโอนีน จะมีค่า BV สูงกว่าสูตรที่ 1 ซึ่งไม่ได้เติมเมทไธโอนีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 แต่ค่า BV ของสูตรอาหารที่เติมเมทไธโอนีนนี้ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอาหารสูตรที่นำเข้าจากต่างประเทศ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 สำหรับค่า BV ในหนูทดลองที่เลี้ยงด้วยโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองในคนที่มีสุขภาพดี จะมีค่าต่ำกว่าค่าในมนุษย์ เนื่องจากหนูมีความต้องการกรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นส่วนประกอบสูงกว่ามนุษย์ [43]

เมื่อพิจารณาจากอัตราการเจริญเติบโตของหนูทดลอง โดยดูจากค่า PER, CPER, NPR และ RNPR พบว่าหนูกลุ่มที่เลี้ยงด้วยเคเซอินมีค่าเฉลี่ยอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าหนูกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 2 และหนูกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 มีเฉพาะหนูกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารนำเข้าเท่านั้น ที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูงและมีความแตกต่างจากกลุ่มอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการใช้หลักสมดุลย์ไนโตรเจน กับผลที่ได้จากอัตราการเจริญเติบโตของหนู พบว่า กลุ่มที่เลี้ยงด้วยเคเซอิน, อาหารสูตรที่ 1, อาหารสูตรที่ 2 มีความสอดคล้องกันกล่าวคือ ค่าที่ได้จากการใช้หลักสมดุลย์ไนโตรเจนได้แก่ค่า BVและNPU และค่าที่ได้จากการพิจารณาการเจริญเติบโตของหนู คือค่า PER และ NPR ของหนูกลุ่มที่เลี้ยงด้วยเคเซอิน >หนูกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 2 >หนูกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1 ในขณะที่ผลการทดลอง ในหนูกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารนำเข้าให้ผลการทดลองไม่สอดคล้องกัน กล่าวคือ เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ย BV และ NPU พบว่า โปรตีนในสูตรอาหารนำเข้าสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่ำกว่าเคเซอิน แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 แสดงว่าหนูที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่นำเข้าจากต่างประเทศสามารถนำไนโตรเจนไปใช้ได้พอๆกับกลุ่มมาตรฐาน แต่ค่าที่ได้จากการวัดอัตราการเจริญเติบโตของหนู ได้แก่ค่า PER และ NPR กลับสูงกว่ากลุ่มมาตรฐาน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอัตราการเจริญเติบโตของหนู ขึ้นกับปริมาณอาหารที่กินด้วย [43] พบว่าค่าเฉลี่ยของอาหารที่กินของหนูกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่นำเข้าจากต่างประเทศกิน เมื่อเลี้ยงเป็นเวลา 14 และ23 วัน มีค่าเท่ากับ 100.3 และ 201.0 กรัม ตามลำดับ สูงกว่ากลุ่มที่เลี้ยงด้วยเคเซอิน กลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1 และกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 84.6

และ169.2 ,70.3 และ146.9 และ 61.9และ123.9 กรัม ตามลำดับ จึงทำให้หนูกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่นำเข้าจากต่างประเทศ มีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่ากลุ่มอื่น ๆ เหตุผลอีกประการหนึ่งที่เป็นไปได้คือ ในการเตรียมอาหารสำหรับหนูทดลองนั้น จะมีการคำนวณ ปริมาณเกลือแร่และวิตามินที่ต้องเติมลงไป โดยการนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์หรือปริมาณวิตามินและเกลือแร่ที่ระบุไว้บนฉลาก มาหักออกจากค่าที่ระบุไว้ในสูตรอาหารมาตรฐานสำหรับเลี้ยงหนูทดลองดังอธิบายไว้ในภาคผนวก ข. โดยปกติแล้วในอุตสาหกรรมจะมีการเติมเกลือแร่และวิตามิน ในปริมาณที่สูงกว่าที่ระบุไว้บนฉลาก ปริมาณวิตามินและเกลือแร่ในสูตรอาหารสำหรับเลี้ยงหนูทดลอง ที่เตรียมจากอาหารสูตรที่นำเข้าจากต่างประเทศ จึงมีปริมาณสูงกว่าสูตรอาหารอื่นๆ รวมทั้งสูตรอาหารที่เตรียมจากเคเซอินด้วย จึงอาจมีผลให้มีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าหนูกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรอื่นๆ เนื่องจากวิตามินและเกลือแร่ มีส่วนช่วยให้เมตาโบลิซึมของร่างกายเป็นไปได้ดีขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กลุ่มวิตามินบี ซึ่งเกี่ยวข้องกับเมตาโบลิซึม ของคาร์โบไฮเดรต,โปรตีน และไขมัน [25]

เมื่อนำผลการทดสอบคุณภาพของโปรตีน มาวิเคราะห์ความแปรปรวน และทดสอบ HSD โดยพิจารณาเฉพาะกลุ่มมาตรฐาน กลุ่มทดลอง 1 และกลุ่มทดลอง 2 ซึ่งไม่ทราบแหล่งที่มาของโปรตีนที่แน่นอนออก ได้ผลดังตารางที่ 54-67 พบว่าค่า TD และ NPU ของกลุ่มทดลอง 2 สูงกว่ากลุ่มทดลอง 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนค่า BV ของกลุ่มทดลอง 1 และ 2 ไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องจาก สูตรอาหารทั้ง 2 มี ไลซีนเป็น limiting amino acid การเสริมเมทไธโอนีน จึงไม่ทำให้ค่า BV ของสูตรอาหารทั้งแตกต่างกัน

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่าที่ได้จากค่าที่ได้จากการใช้หลักสมดุลย์ไนโตรเจน จะเห็นได้ว่า สูตรอาหารการแพทย์ชนิดผงแห้ง สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองสูตรที่ 2 มีโปรตีนที่ร่างกายสามารถนำไปใช้ได้ดี ใกล้เคียงกับสูตรอาหารที่นำเข้า และให้อัตราการเจริญเติบโตของหนูทดลองสูงโดยไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 กับหนูกลุ่มที่เลี้ยงด้วยเคเซอิน สูตรอาหารที่เตรียมได้จัดว่า มีคุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนค่อนข้างดี รสชาติเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค มีดรรชนีการละลายที่ดี และเมื่อนำมาละลายน้ำ จะได้สารละลายที่คงตัว ไม่มีการแยกชั้นเมื่อตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง หากจะนำมาใช้กับผู้ป่วย ควรเสริมด้วยไลซีน เกลือแร่และวิตามินลงในปริมาณที่เหมาะสม

ตารางที่ 17 คุณลักษณะและคุณประโยชน์ของอาหารทางการแพทย์สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองที่เตรียมได้

คุณลักษณะ	คุณประโยชน์
คาร์โบไฮเดรตประกอบด้วยมอลโทเดกซ์ทรินและน้ำตาลทราย	
-มอลโทเดกซ์ทริน	-สามารถย่อยและดูดซึมได้ง่าย
-น้ำตาลทราย	-ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติดีขึ้น
-ไม่มีแล็คโทสเป็นส่วนประกอบ	-สามารถนำไปใช้ได้กับผู้ป่วยที่ไม่สามารถทนต่อน้ำตาลแล็คโทสได้
ไขมัน ประกอบด้วยน้ำมันข้าวโพดและ MCT	
-น้ำมันข้าวโพด	-ช่วยให้ร่างกายได้รับกรดไขมันจำเป็นในปริมาณที่พอเพียง
-MCT	-ช่วยให้การดูดซึมไขมันดีขึ้น
โปรตีน ประกอบด้วยโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองเสริมด้วยเมทไธโอนีน	-เป็นโปรตีนที่มีคุณภาพดี -สามารถนำไปใช้กับผู้ป่วยที่แพ้นมวัว
การเตรียมโดยใช้นมผง 20.86 กรัม ผสมน้ำให้ครบ 100 มิลลิลิตร จะให้อาหารที่มีความเข้มข้นของพลังงาน 1 กิโลแคลอรี่ต่อมิลลิลิตร	-ผู้ป่วยได้รับทั้งน้ำและพลังงานในปริมาณที่พอเพียง
การกระจายพลังงานของ โปรตีน : ไขมัน : คาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 14.4:36.2:49.4 โดยมีสัดส่วนของพลังงานที่มิได้มาจากโปรตีนเท่ากับ 148.11 กิโลแคลอรี่ต่อกรัมไนโตรเจน	-ร่างกายสามารถนำโปรตีนไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ