บทที่ 5

วิจารณ์และสรุปผลการวิจัย

1. <u>การเตรียมโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวซีก</u>

เมื่อนำถั่วเขียวซีกมาสกัดโปรตีนโดยวิธีปรับพีเอช พบว่าถั่วเขียว 100 กรัม สามารถสกัดโปรตีนได้ 15.90 กรัม

เมื่อนำสารละลายโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวมาทำเป็นผงแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย (Spray dryer) ได้ผงโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว ซึ่งมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 78.87±0.04 หรือ 83.46 โดยน้ำหนักแห้ง ปริมาณโปรตีนที่เป็นส่วนประกอบของผงโปรตีนสกัดใกล้เคียงกับผลการทดลองของวีรวิชญ์ (38)

2. <u>การเตรียมอาหารทางการแพทย์ชนิดผงสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว (สูตรที่ 1)</u>

เมื่อนำโปรตีนที่สกัดได้ไปผสมในสูตรอาหารทางการแพทย์ โดยใช้โปรตีนสกัดจากถั่วเขียว 20 กรัม ผสมกับน้ำมันข้าวโพด 16 กรัม น้ำมันเอ็มซีที 4 กรัม เลซิทิน 2.5 กรัม และมอลโตเด็กซ์ตริน 60 กรัม ตามลำดับ ปั่นผสมกันแล้วทำให้แห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย นำมาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ พบว่าอาหารทางการแพทย์ชนิดผงสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวสูตรที่ 1 ประกอบด้วยโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ความชื้นและเถ้า ปริมาณร้อยละ 17.42±0.03, 16.47±0.06, 62.42, 2.54±0.04 และ 1.81±0.03 ตามลำดับ เมื่อคำนวนเป็นพลังงาน มีสัดส่วนการกระจายพลังงาน จากโปรตีน ไขมันและคาร์โบไฮเดรตเป็นร้อยละ 14.90, 31.70 และ 53.40 ตามลำดับ

ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมที่ร่างกายควรได้รับคือ ควรได้รับพลังงานจากโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 15-20, 30-35 และ 45-55 ตามลำดับ (5) พลังงานที่ไม่ได้มาจากโปรตีนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 142.75 กิโลแคลอรี่ต่อกรัมไนโตรเจน ซึ่งอยู่ในปริมาณที่เหมาะสม ร่างกายสามารถนำโปรตีนไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อาหารทางการแพทย์ชนิดผงสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวสูตรที่ 1 มีปริมาณกรดอะมิโนเมไทโอนีน และซิสตีนต่ำที่สุด (ตารางที่ 8) และมีกรดอะมิโนทรีโอนีนปริมาณต่ำรองลงมา กรดอะมิโนนี้จึงเป็นกรดอะมิโนที่มีปริมาณจำกัด (limiting amino acid) โดยมีปริมาณกรดอะมิโนเมไทโอนีนและซิสตีนและทรีโอนีนใน 1 กรัมโปรตีนในอาหารทางการแพทย์สูตรที่ 1 น้อยกว่าในโปรตีนมาตรฐาน FAO/WHO 1973 (44) (ตารางที่ 8, ภาพที่ 3) โดยค่าอะมิโนแอซิดสคอร์เท่ากับ 48.67 และ 75.12 ตามลำดับ (ตารางที่ 8) ดังนั้นจึงควรเสริมกรดอะมิโนที่มีในปริมาณจำกัดนี้ หรือผสมรวมเข้ากับโปรตีนชนิดอื่นเพื่อปรับปรุงคุณภาพของโปรตีน

จากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของเคซีนโดยวิธีทางเคมี พบว่าเคซีนมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 85.14$\pm$0.05 (ตารางที่ 7) มีปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นสูง (ตารางที่ 9) เมื่อเปรียบเทียบกับโปรตีนมาตรฐาน FAO/WHO 1973 (44) พบว่าค่าอะมิโนแอซิดสคอร์ของกรดอะมิโนจำเป็นทุกชนิดสูงกว่า 100 (ตารางที่ 9)

3. <u>การปรับปรุงคุณภาพโปรตีนในอาหารทางการแพทย์ชนิดผง สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว</u>

อาหารทางการแพทย์ชนิดผงสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว มีกรดอะมิโนเมไทโอนีน ซีสตีน และทรีโอนีนในปริมาณต่ำ จึงเตรียมอาหารสูตรที่ 2 โดยการเสริมกรดอะมิโนเมไทโอนีน 19.02 มิลลิกรัมต่อกรัมโปรตีน และทรีโอนีน 11.16 มิลลิกรัมต่อกรัมโปรตีนตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนในอาหารทางการแพทย์สูตรที่ 2 พบว่าปริมาณกรดอะมิโนเมไทโอนีนและซิสตีน และทรีโอนีนใน 1 กรัมโปรตีนใกล้เคียงกับโปรตีนมาตรฐาน FAO/WHO 1973 (44) (ตารางที่ 11)

การเติมกรดอะมิโนเมไทโอนีนและทรีโอนีนมีผลทำให้ปริมาณของวาลีน (Valine) ใน 1 กรัมโปรตีนลดลง อาจเป็นผลเนื่องจากการเติมกรดอะมิโนเมไทโอนีนและทรีโอนีนทำให้ปริมาณโปรตีนทั้งหมดเพิ่มขึ้นและความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์กรดอะมิโนแต่ละครั้ง

กระบวนการผลิตอาหารที่มีส่วนประกอบของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตปริมาณมากให้เป็นชนิดผง โดยการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจายซึ่งใช้ความร้อนสูง อาจจะทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไลซีนและน้ำตาลรีดิวส์ชิง ทำให้ร่างกายไม่สามารถนำไลซีนไปใช้ประโยชน์ได้ มีรายงานพบว่าการใช้ความร้อนในการทำแห้งจะมีผลทำให้ไลซีนเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนนี้ประมาณร้อยละ 5-10 ของปริมาณไลซีนทั้งหมด (15,16,17,18) การเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์กรดอะมิโนในอาหารต้องแยกสลายโปรตีนด้วยน้ำ (Protein hydrolyzed) ด้วยสารละลายกรดเกลือ ทำให้สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไลซีนและน้ำตาลรีดิวส์ชิง ถูกย่อยสลายได้ไลซีนอิสระ (18)

ทำให้ปริมาณไลซีนอิสระที่ตรวจวิเคราะห์ได้มีมากกว่าที่มีอยู่ในอาหารทางการแพทย์ ดังนั้นจึงเตรียมอาหารทางการแพทย์สูตรที่ 3 โดยเติมเมไทโอนีน ทรีโอนีนและไลซีน ไฮโดรคลอไรด์ ในปริมาณ 19.28, 11.45 และ 8.43 มิลลิกรัมต่อกรัมโปรตีนในอาหารทางการแพทย์สูตรที่ 1 ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนในอาหารทางการแพทย์สูตรที่ 3 พบว่าปริมาณกรดอะมิโนเมไทโอนีนและซิสตีน และทรีโอนีนใน 1 กรัมโปรตีนใกล้เคียงกับโปรตีนมาตรฐาน FAO/WHO 1973 (44) แต่ปริมาณกรดอะมิโนเมไทโอนีนและซิสตีน และทรีโอนีนใน 1 กรัมโปรตีนเพิ่มขึ้นน้อยกว่าสูตรที่ 2 ปริมาณไลซีนในสูตรที่ 3 เพิ่มขึ้นจากสูตรที่ 1 ประมาณร้อยละ 4.4 ของปริมาณไลซีนทั้งหมด

การเติมกรดอะมิโนเมไทโอนีนและทรีโอนีน ซึ่งมีปริมาณจำกัดลงในสูตรที่ 1 หรือการเติมกรดอะมิโนเมไทโอนีน ทรีโอนีน และไลซีนลงในสูตรที่ 1 มีผลทำให้กรดอะมิโนที่มีปริมาณต่ำรองลงมาจากเมไทโอนีน และทรีโอนีน คือวาลีน มีปริมาณกรดอะมิโนใน 1 กรัมโปรตีนลดลง การเสริมกรดอะมิโนทั้ง 3 ชนิดทำให้ปริมาณโปรตีนรวมเพิ่มขึ้นมากกว่าการเสริมกรดอะมิโนเพียง 2 ชนิด ขณะเดียวกันค่าอะมิโนแอซิดสคอร์ของกรดอะมิโนวาลีนในอาหารทางการแพทย์สูตรที่ 3 ลดลงมากกว่าในอาหารทางการแพทย์สูตรที่ 2 (ตารางที่ 12)

การเตรียมอาหารทางการแพทย์สูตรที่ 4 โดยการผสมอาหารทางการแพทย์สูตรที่ 1 และเคซีน ในอัตราส่วนโปรตีน 1 ต่อ 1 ทำให้ได้รับกรดอะมิโนหลายชนิดจากโปรตีนเคซีน แต่เนื่องจากปริมาณกรดอะมิโนเมไทโอนีนและซิสตีนในโปรตีนเคซีนไม่สูงมากพอที่จะทำให้ส่วนผสมของอาหารทางการแพทย์สูตรที่ 1 และเคซีนมีกรดอะมิโนเมไทโอนีนและทรีโอนีนใน 1 กรัมโปรตีนใกล้เคียงกับโปรตีนมาตรฐาน FAO/WHO 1973 (44) จึงเสริมกรดอะมิโนเมไทโอนีนและทรีโอนีนด้วยในปริมาณ 14.48 และ 8.63 มิลลิกรัมต่อกรัมโปรตีน

ตามลำดับ การเสริมด้วยเคซีนมีข้อดีคือเป็นการเสริมกรดอะมิโนชนิดอื่นด้วย นอกจากกรดอะมิโนที่มีปริมาณจำกัดจากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนในอาหารทางการแพทย์สูตรที่ 4 พบว่าปริมาณกรดอะมิโนเมไทโอนีนและทรีโอนีนใน 1 กรัมโปรตีนใกล้เคียงกับโปรตีนมาตรฐาน FAO/WHO 1973 (44) ปริมาณกรดอะมิโนวาลีนใน 1 กรัมโปรตีน มากกว่าในโปรตีนมาตรฐาน FAO/WHO 1973 (44) ปริมาณไลซีนในสูตรที่ 4 เพิ่มขึ้นจากสูตรที่ 1 ประมาณร้อยละ 8.9 (ตารางที่ 13, ภาพที่ 7)

ส่วนประกอบของสารอาหารในอาหารทางการแพทย์สูตรที่ 1, สูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 ใกล้เคียงกัน และมีการกระจายของพลังงานจากโปรตีน, ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตอยู่ในช่วงที่เหมาะสมในสภาวะเมแทบอลิกปกติ (ตารางที่ 10) คือ พลังงานได้จากโปรตีน, ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 15-20, 30-35 และ 45-55 ตามลำดับ (5) พลังงานที่ไม่ได้มาจากโปรตีนต่อไนโตรเจนของสูตรอาหารที่ 2 และ 3 เท่ากับ 137.31 และ 134.25 กิโลแคลอรี่ต่อกรัมไนโตรเจนตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับสูตรที่ 1

ส่วนประกอบของสารอาหารในสูตรที่ 4 มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าสูตรที่ 1 โดยมีการกระจายของพลังงานจากโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 26.64, 25.47 และ 47.89 (ตารางที่ 10) ดังนั้นจึงเหมาะสมที่จะใช้ในสภาวะที่มีเมแทบอลิกสูงเกินไป (Hypermetabolic state) ซึ่งต้องการพลังงานจากสารอาหารโปรตีนมากกว่าปกติ (34,35)

4. การประเมินคุณค่าทางโภชนาการของอาหารทางการแพทย์ชนิดผงสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวโดยวิธีวิเคราะห์ทางชีวภาพ

4.1 การหาค่า PER, CPER, และ RPER

ค่า PER แสดงถึงการนำโปรตีนไปใช้สำหรับการเจริญเติบโต โดยพิจารณาจากการเจริญเติบโตของหนูทดลอง ไม่คำนึงถึงการนำโปรตีนไปใช้ทดแทนโปรตีนที่สูญเสียจากร่างกาย (49)

พิจารณาจากค่าเฉลี่ย PER, CPER, และ RPER พบว่าหนูกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 2 มีค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตสูงกว่าหนูกลุ่มที่เลี้ยงด้วยสูตรที่ 3, หนูกลุ่มที่เลี้ยงด้วยเคซีน, หนูกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 4 และหนูกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1 ตามลำดับ แต่อัตราการเจริญเติบโตโดยเฉลี่ยของหนูกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 2, หนูกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 3, หนูกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 4 และหนูกลุ่มที่เลี้ยงด้วยเคซีนไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 14) ค่าเฉลี่ยอัตราการเจริญเติบโตของหนูกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1 เท่านั้นที่มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำที่สุด และมีความแตกต่างจากกลุ่มอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 14) แสดงว่าอาหารทางการแพทย์ชนิดผงสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวเสริมด้วยกรดอะมิโนเมไทโอนีนและทรีโอนีน อาหารทางการแพทย์ชนิดผงสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวเสริมด้วยกรดอะมิโนเมไทนีน ทรีโอนีน และไลซีน อาหารทางการแพทย์ชนิดผงสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว และเคซีน เสริมด้วยกรดอะมิโนเมไทโอนีน และทรีโอนีนมีโปรตีนซึ่งสามารถไปใช้ประโยชน์สำหรับการเจริญเติบโตได้เทียบเท่ากับโปรตีนเคซีน โปรตีนของอาหารทางการแพทย์ทั้ง 3 สูตรนี้ นำมาใช้แทนโปรตีนจากสัตว์ได้ เนื่องจากมีค่า PER มากกว่าร้อยละ 80 ของโปรตีนเคซีน (50)

หนูทดลองกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารทางการแพทย์สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวสูตรที่ 1 มีค่าเฉลี่ยอัตราการเจริญเติบโตต่ำและแตกต่างจากกลุ่มอื่น ๆ อย่างมาก แสดงว่าหนูทดลองนำโปรตีนจากอาหารทางการแพทย์สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวสูตรที่ 1 ไปใช้ประโยชน์สำหรับการเจริญเติบโตน้อยกว่ากลุ่มอื่น ๆ นอกจากนั้นอัตราการเจริญเติบโตของหนูทดลองขึ้นอยู่กับปริมาณอาหารที่กิน (45,46) ซึ่งงานวิจัยนี้พบว่าหนูทดลองกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารทางการแพทย์สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวสูตรที่ 1 มีค่าเฉลี่ยของอาหารที่กินน้อยที่สุด ซึ่งอาจจะมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยอัตราการเจริญเติบโตของหนูทดลองต่ำ

4.2 การหาค่า NPR และ RNPR

ค่า NPR และ RNPR ได้จากอัตราการเจริญเติบโตของหนูทดลอง แสดงถึงการนำโปรตีนมาใช้สำหรับการเจริญเติบโตและทดแทนโปรตีนที่สูญเสียจากร่างกาย (45,49,51)

ค่าเฉลี่ย NPR และค่าเฉลี่ย RNPR ของหนูทดลองกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 3 สูงกว่าหนูทดลองกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 2, หนูทดลองกลุ่มที่เลี้ยงด้วยโปรตีนเคซีน, หนูทดลองกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 4 และหนูทดลองกลุ่มที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารที่ 1 ตามลำดับ หนูทดลองกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 2, หนูทดลองกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 3, หนูทดลองกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 4 และหนูทดลองกลุ่มที่เลี้ยงด้วยโปรตีนเคซีนไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 15) เฉพาะหนูทดลองกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1 เท่านั้น มีค่าเฉลี่ย NPR และ RNPR ต่ำที่สุดและแตกต่างจากกลุ่มอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 15) หนูทดลองกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1 มีการนำโปรตีนไปใช้ในการเจริญเติบโต และทดแทนโปรตีนที่สูญเสียในร่างกายน้อยกว่าหนูทดลองกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 2, หนูทดลองกลุ่มที่เลี้ยงด้วย

อาหารสูตรที่ 3, หนูทดลองกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 4 และหนูทดลองกลุ่มที่เลี้ยงด้วยโปรตีนเคซีน

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย RPER และค่าเฉลี่ย RNPR ของหนูทดลองแต่ละกลุ่มพบว่ากลุ่มหนูทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1 มีค่าเฉลี่ย RPER น้อยกว่าค่าเฉลี่ย RNPR ซึ่งแตกต่างจากหนูทดลองกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 2, หนูทดลองกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 3, หนูทดลองกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 4 และหนูทดลองกลุ่มที่เลี้ยงด้วยโปรตีนเคซีนมีค่าเฉลี่ย RPER และค่าเฉลี่ย RNPR ของกลุ่มหนูทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารชนิดเดียวกันใกล้เคียงกัน (ภาพที่ 13) โดยทั่วไปโปรตีนที่มีคุณภาพต่ำมีค่า RPER แตกต่างจากค่า RNPR และส่วนใหญ่จะมีค่า RPER น้อยกว่า RNPR โปรตีนคุณภาพดีจะมีค่า RPER ใกล้เคียงกับ RNPR (52) ดังนั้นโปรตีนในอาหารทางการแพทย์สูตรที่ 2, อาหารทางการแพทย์สูตรที่ 3, อาหารทางการแพทย์สูตรที่ 4 และโปรตีนเคซีนมีคุณภาพโปรตีนดีกว่าโปรตีนในอาหารทางการแพทย์สูตรที่ 1

4.3 การหาค่า TD, BV และ NPU

TD, BV และ NPU เป็นค่าซึ่งได้จากการศึกษาโดยใช้เทคนิคสมดุลย์ไนโตรเจน ค่า NPU แสดงถึงการย่อยสลายโปรตีนและการดูดซึมไนโตรเจนไปใช้ประโยชน์ในร่างกาย (45)

เมื่อเปรียบเทียบการย่อยสลายโปรตีนจากอาหาร โดยใช้ค่า TD พบว่า ค่าเฉลี่ย TD ของหนูทดลองกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารทางการแพทย์ทั้ง 4 สูตร และโปรตีนเคซีน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 16) แสดงว่าโปรตีนในอาหารสูตรที่ 1, สูตรที่ 2, สูตรที่ 3 และสูตรที่ 4 มีการย่อยสลายภายในร่างกายได้ดีเท่ากับเคซีน โปรตีนจากถั่วเขียวมีค่า TD ต่ำ การสกัดโปรตีนจากถั่วเขียวทำให้ค่า TD สูงขึ้น (49)

เปรียบเทียบการดูดซึมและการนำไนโตรเจนไปใช้ในร่างกาย โดยใช้ค่าเฉลี่ย BV พบว่าค่าเฉลี่ย BV ของหนูทดลองกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารทางการแพทย์สูตรที่ 1, สูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงว่า อาหารทางการแพทย์ที่ได้รับการเสริมเมไทโอนีน และทรีโอนีน (สูตรที่ 2) และอาหารทางการแพทย์ที่ได้รับการเสริมเมไทโอนีน ทรีโอนีนและไลซีน (สูตรที่ 3) หนูทดลองมีการดูดซึมโปรตีนและนำไนโตรเจนไปใช้ประโยชน์ในร่างกายในทางสรีรวิทยา และชีวเคมีไม่แตกต่างจากอาหารทางการแพทย์ที่ไม่ได้รับการเสริมกรดอะมิโน ค่าเฉลี่ย BV ของหนูทดลองกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารทางการแพทย์สูตรที่ 2, สูตรที่ 3 และสูตรที่ 4 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงว่าอาหารทางการแพทย์ที่ได้รับการเสริมเมไทโอนีนและทรีโอนีน (สูตรที่ 2), อาหารทางการแพทย์ที่ได้รับการเสริมเมไทโอนีน ทรีโอนีน และไลซีน (สูตรที่ 3) และอาหารทางการแพทย์ที่ได้รับการเสริมเคซีน เมไทโอนีน และทรีโอนีน (สูตรที่ 4) มีการดูดซึมโปรตีนและการนำไนโตรเจนมาใช้ประโยชน์ในร่างกายในทางสรีรวิทยาและชีวเคมีไม่แตกต่างกัน

ค่าเฉลี่ย BV ของหนูทดลองกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารทางการแพทย์สูตรที่ 2 แตกต่างจากหนูทดลองกลุ่มที่เลี้ยงด้วยโปรตีนเคซีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ค่าเฉลี่ย BV ของหนูทดลองกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารทางการแพทย์สูตรที่ 3, สูตรที่ 4 และโปรตีนเคซีน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงว่าการเสริมกรดอะมิโนเมไทโอนีนและทรีโอนีน ทำให้การดูดซึมและการนำไนโตรเจนไปใช้ประโยชน์แตกต่างจากโปรตีนเคซีน การเสริมกรดอะมิโนไลซีนทำให้การดูดซึมและการนำไนโตรเจนไปใช้ประโยชน์ไม่แตกต่างจากโปรตีนเคซีน แสดงว่ากระบวนการทำแห้งทำให้ไลซีนอิสระมีปริมาณลดลง อาหารทางการแพทย์ชนิดผงสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวมีไลซีนเป็นกรดอะมิโนที่มีปริมาณจำกัด การเสริมไลซีน ทำให้มีไลซีนถูกดูดซึมและนำไปใช้ประโยชน์ในร่างกายมากขึ้น

ค่าเฉลี่ย BV ของหนูทดลองกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารทางการแพทย์สูตรที่ 1 แตกต่างจากหนูทดลองกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารทางการแพทย์สูตรที่ 4 และโปรตีนเคซีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงว่าอาหารทางการแพทย์สูตรที่ 1 มีการดูดซึมและนำไนโตรเจนไปใช้ประโยชน์ในร่างกายได้น้อยกว่า อาหารทางการแพทย์สูตรที่ 4 และโปรตีนเคซีน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 การผสมโปรตีนเคซีนและการเสริมกรดอะมิโนเมไทโอนีน และทรีโอนีนในอาหารทางการแพทย์สูตรที่ 1 ทำให้การดูดซึมและการนำไนโตรเจนไปใช้ประโยชน์ในร่างกายดีขึ้น

ความสามารถของการนำไนโตรเจนมาใช้ดูจากค่า NPU พบว่าหนูทดลองกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 4 และโปรตีนเคซีน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 16) หนูทดลองกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1 มีค่าเฉลี่ย NPU น้อยกว่าหนูทดลองกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 2, สูตรที่ 3 และสูตรที่ 4 แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 16) เมื่อเปรียบเทียบกับหนูทดลองกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1, สูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 กับหนูทดลองกลุ่มที่เลี้ยงด้วยโปรตีนเคซีน พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 16) แสดงว่าหนูทดลองสามารถนำไนโตรเจนจากโปรตีนในอาหารทางการแพทย์สูตรที่ 1, สูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 มาใช้ประโยชน์ได้เท่ากับโปรตีนในอาหารสูตรที่ 4 แต่สามารถนำไนโตรเจนมาใช้ประโยชน์ได้ต่ำกว่าโปรตีนเคซีน การนำไนโตรเจนมาใช้ประโยชน์จากโปรตีนในอาหารสูตรที่ 4 เท่ากับโปรตีนเคซีน

พิจารณาผลการปรับปรุงคุณภาพโปรตีนโดยดูจากผลที่ได้จากอัตราการเจริญเจริญเติบโตของหนูทดลอง และการใช้เทคนิคสมดุลย์ไนโตรเจน พบว่าโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวในอาหารสูตรที่ 1 มีค่าเฉลี่ย PER, NPR, BV และ NPU ต่ำกว่าโปรตีนเคซีนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตาราง

ที่ 14, 15 และ 16) แสดงว่าโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวในอาหารสูตรที่ 1 มีคุณภาพโปรตีนต่ำกว่าโปรตีนเคซีน

การปรับปรุงคุณภาพโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวในอาหารสูตรที่ 1 ด้วยการเสริมกรดอะมิโนเมไทโอนีนและทรีโอนีน (สูตรที่ 2) การเสริมกรดอะมิโนเมไทโอนีน, ทรีโอนีน และไลซีน (สูตรที่ 3) การผสมกับโปรตีนเคซีนในอัตราส่วนโปรตีน 1 ต่อ 1 และเสริมด้วยกรดอะมิโนเมไทโอนีนและทรีโอนีน (สูตรที่ 4) มีค่าเฉลี่ย PER และ NPR ไม่แตกต่างจากโปรตีนเคซีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 14 และ 15) แสดงว่าการปรับปรุงคุณภาพโปรตีนของโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวในอาหารสูตรที่ 1 ทำให้ได้อาหารทางการแพทย์สูตรที่ 2, 3 และ 4 ซึ่งมีโปรตีนที่นำมาใช้ในการเจริญเติบโตและทดแทนโปรตีนที่สูญเสียจากร่างกายได้ดีเทียบเท่าโปรตีนเคซีน

การเสริมกรดอะมิโนเมไทโอนีนและทรีโอนีนในโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวมีค่าเฉลี่ย PER, NPR และ NPU ใกล้เคียงกับการเสริมกรดอะมิโนเมไทโอนีน, ทรีโอนีน และไลซีนในโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่มีค่าเฉลี่ย BV แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงว่ากรดอะมิโนไลซีนเป็นกรดอะมิโนจำกัดของโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวในสูตรอาหารที่ 1 กระบวนการผ่านความร้อนโดยการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย ทำให้ปริมาณกรดอะมิโนไลซีนที่ถูกดูดซึมและนำไปใช้ประโยชน์น้อยกว่าในโปรตีนมาตรฐาน FAO/WHO 1973 จึงจำเป็นต้องเสริมกรดอะมิโนไลซีนในอาหารทางการแพทย์นี้ แต่การเสริมกรดอะมิโนไลซีนทำได้จำกัด ทำให้กรดอะมิโนที่มีปริมาณต่ำรองจากกรดอะมิโนเมไทโอนีน (ได้แก่ ทรีโอนีน, วาลีน และไอโซลิวซีน) มีปริมาณลดต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณโปรตีนทั้งหมด การนำไนโตรเจนไปใช้ประโยชน์ในร่างกายจึงไม่แตกต่างจากสูตรที่ 2

เมื่อเปรียบเทียบค่า PER, NPR, BV และ NPU ของสูตรอาหารที่ 4 กับสูตรอาหารที่มีการเสริมกรดอะมิโนเมไทโอนีน, ทรีโอนีน และไลซีนในโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว (สูตรที่ 3) พบว่าหนูทดลองกลุ่มที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารที่ 4 มีค่าเฉลี่ย PER, NPR, BV และ NPU ไม่แตกต่างกับหนูทดลองกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 14, 15 และ 16) แสดงว่าการปรับปรุงคุณภาพโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว ในอาหารทางการแพทย์สูตรที่ 1 โดยผสมโปรตีนเคซีน และเสริมด้วยกรดอะมิโนเมไทโอนีน และทรีโอนีน มีผลทำให้คุณภาพโปรตีนดีขึ้นเช่นเดียวกับการเสริมด้วยกรดอะมิโนเมโนโอนีน, ทรีโอนีน และไลซีน

การปรับปรุงคุณภาพโปรตีนของอาหารทางการแพทย์สูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว โดยการเสริมกรดอะมิโนจำกัดและไลซีนหรือผสมกับโปรตีนเคซีนในอัตราส่วนโปรตีน 1 ต่อ 1 และเสริมกรดอะมิโนจำกัด ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารทางการแพทย์ที่มีคุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนเทียบเท่ากับโปรตีนจากสัตว์

เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ย PER, NPR และ BV อาหารทางการแพทย์ชนิดผงสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว (สูตรที่ 3) เป็นสูตรอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเลือกใช้ เนื่องจากมีการเสริมกรดอะมิโน ทำให้ปริมาณโปรตีนทั้งหมดเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าการผสมกับโปรตีนเคซีน ทำให้ได้สูตรอาหารที่มีอัตราส่วนการกระจายพลังงานเหมาะสมสำหรับบุคคลที่มีสภาวะเมแทบอลิกปกติ

เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ย PER, NPR และ NPU อาหารทางการแพทย์ชนิดผงสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว (สูตรที่ 4) เป็นสูตรอาหารที่เหมาะสมในการเลือกใช้ แต่เนื่องจากการผสมโปรตีนเคซีนทำให้ปริมาณโปรตีนทั้งหมดในสูตรอาหารเพิ่มขึ้น ทำให้ได้สูตรอาหารที่มีอัตราส่วนการกระจายพลังงาน

เหมาะสมสำหรับผู้ป่วยที่มีสภาวะเมแทบอลิกสูงกว่าปกติ การผลิตอาหารทางการแพทย์ชนิดผงสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว (สูตรที่ 4) ให้มีอัตราส่วนการกระจายพลังงานเหมาะสมสำหรับบุคคลที่มีสภาวะเมแทบอลิกปกติ ทำได้โดยเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของสารอาหารในสูตรอาหารทางการแพทย์สูตรที่ 1 ให้มีปริมาณโปรตีนลดลง, ปริมาณคาร์โบไฮเดรตและไขมันเพิ่มขึ้น

อาหารทางการแพทย์ชนิดผงสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวที่ผลิตได้เหมาะสมที่จะนำไปใช้กับผู้ป่วยที่ต้องให้อาหารผ่านทางสายให้อาหาร มีการละลายน้ำได้ดี นำมาใช้เตรียมอาหารทางการแพทย์ชนิดน้ำได้ง่าย มีความคงตัวของการแขวนตะกอนดี ไม่แยกชั้นเมื่อนำมาละลายน้ำแล้วตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง มีความหนืดเหมาะสม สามารถไหลผ่านสายให้อาหารเบอร์ 5-6 ได้อย่างดี (38) การนำไปใช้ในผู้ป่วยจำเป็นต้องเติมวิตามินและเกลือแร่ลงในสูตรอาหารด้วย อาจจะใช้น้ำตาลซูโครสร้อยละ 30 ของปริมาณส่วนประกอบคาร์โบไฮเดรตในสูตรอาหารแทนมอลโตเด็กซ์ตริน เพื่อปรับปรุงรสชาติของผลิตภัณฑ์ และแต่งกลิ่นวานิลลา เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สำหรับรับประทาน (38)

การเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตอาหารทางการแพทย์สูตรที่ 1 สูตรที่ 2, สูตรที่ 3 และสูตรที่ 4 กับผลิตภัณฑ์อาหารทางการแพทย์ในท้องตลาดที่มีอัตราส่วนการกระจายพลังงานใกล้เคียงกัน แสดงในตารางที่ 55 (ภาคผนวก ช.) ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปชนิดที่ 1 เป็นผลิตภัณฑ์ชนิดผงสำหรับให้ทางสายให้อาหาร ส่วนประกอบของสารอาหารโปรตีนคือเคซีนและโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปชนิดที่ 2 เป็นผลิตภัณฑ์ชนิดน้ำสำหรับรับประทาน นำผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปชนิดที่ 2 มาเปรียบเทียบราคากับอาหารทางการแพทย์ชนิดผงสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวสูตรที่ 4 เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราส่วนการกระจายพลังงานใกล้เคียงกัน และไม่มีผลิตภัณฑ์ชนิดผงในท้องตลาด จากการเปรียบเทียบราคาพบว่าราคาของอาหารทางการแพทย์ชนิดผงสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวถูกกว่า แต่ต้นทุนการผลิตอาหารทางการแพทย์ชนิดผงในการศึกษาวิจัยนี้ค่อนข้างสูง เนื่องจาก

ข้อจำกัดของเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตอาหารทางการแพทย์ เช่น เครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจายมีขนาดเล็ก ไม่สามารถทำแห้งอาหารทางการแพทย์ปริมาณมาก ผลผลิตที่ได้ต่ำเนื่องจากมีผงอาหารเกาะอยู่ด้านในของเครื่อง

เคซีนและกรดอะมิโนที่นำมาใช้เสริมในอาหารทางการแพทย์เป็นชนิดที่มีความบริสุทธิ์สูง เหมาะสำหรับนำมาศึกษาวิจัยแต่มีราคาแพง จึงทำให้ต้นทุนการผลิตสูง ถ้าเลือกใช้เคซีน และกรดอะมิโนในรูปของเกลือ และเป็นชนิดที่นำมาใช้ผสมอาหารจะมีราคาถูกกว่ามาก ถั่วเขียวที่นำมาใช้สกัดโปรตีน ควรคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีปริมาณโปรตีนสูง อาจนำโปรตีนที่เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ถั่วเขียวเป็นวัตถุดิบมาใช้ โดยปรับปรุงการตกตะกอนโปรตีนจากสารละลายที่เหลือหลังจากการแยกแป้งแล้ว เพื่อให้ได้โปรตีนที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้เป็นอาหารได้อย่างปลอดภัย มีการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแป้งและโปรตีนจากถั่วเขียวสำหรับอุตสาหกรรม เพื่อสกัดแป้งและโปรตีนที่มีคุณภาพจากถั่วเขียว และนำโปรตีนที่ได้มาย่อยด้วยเอนไซม์ (53) จึงน่าสนใจนำโปรตีนที่ได้มาผลิตอาหารทางการแพทย์ที่มีโปรตีนซึ่งถูกดูดซึมได้ง่าย เป็นสูตรอาหารสำหรับผู้ที่มีการย่อยและการดูดซึมของกระเพาะอาหารและลำไส้ไม่ปกติ

การประเมินคุณภาพโปรตีนของอาหารทางการแพทย์ชนิดผงสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว อาจทำการทดลองในคนต่อไป เนื่องจากหนูทดลองมีความต้องการกรดอะมิโนที่มีกำมะถันสูงกว่าในคน (46) ทำให้การประเมินคุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนของอาหารทางการแพทย์ชนิดผงสูตรโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวต่ำกว่าความเป็นจริง

การปรับปรุงคุณภาพโปรตีน อาจใช้โปรตีนจากอาหารธรรมชาติ ซึ่งมีกรดอะมิโนที่มีกำมะถันสูง เช่น ข้าว, ข้าวโพด และงา นำมาผสมกับโปรตีนสกัดจากถั่วเขียวเพื่อเพิ่มคุณภาพโปรตีน และลดการใช้กรดอะมิโนสังเคราะห์ในสูตรอาหาร