บทที่ 4

วิจารณ์ผลการทดลอง

73

การทดลองที่ 1 การศึกษาระดับการย่อยโปรตีนของผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองโดยการใช้ เอนไซม์โปรติเอสที่สกัดจากกระเพาะอาหารปลากดเหลือง

การคัดเลือกผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารปลากดเหลือง โดยการใช้เอนไซม์โปรติเอสที่สกัดจากกระเพาะอาหารปลากดเหลืองเป็นเอนไซม์ทดสอบครั้งนี้พบว่าเอนไซม์เปปซินในกระเพาะอาหารปลากดเหลืองหลังจากได้วิเคราะห์หาค่ากิจกรรมของเอนไซม์โดยการใช้ HCl และ glycine ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ที่ระดับ pH 3.00 เป็นบัฟเฟอร์เร่งปฏิกิริยาโดยมีฮีโมโกลบินเป็นสับสเทรต พบว่าค่ากิจกรรมเอนไซม์โปรติเอสทั้ง 2 ซ้ำ มีค่าเท่ากับ 193.77 และ 188.67 ยูนิตต่อมิลลิลิตรตามลำดับ ซึ่งค่ากิจกรรมเอนไซม์โปรติเอสที่วิเคราะห์ได้อาจมีความแตกต่างจากการทดลองของนักวิจัยท่านอื่นๆ โดย ฐิรารัตน์ (2541) กล่าวว่าค่ากิจกรรมของเอนไซม์ที่ได้ต้องขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ หลายปัจจัยที่อาจจะมีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ อาทิเช่น ชนิดปลาแหล่งเอนไซม์ที่นำมาสกัด ระดับ pH และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายสายโปรตีน ฤดูและระยะเวลาในการจับเป็นต้น ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ได้มีการศึกษาถึงข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวกับพฤติกรรมของปลากดเหลืองที่มีการเลี้ยงที่มีสภาพเหมือนจริงก่อนที่จะนำข้อมูลพื้นฐานที่ได้มาใช้ในการทดลองเพื่อให้การศึกษาในครั้งนี้มีความคล้ายคลึงกับสภาพแวดล้อมมากที่สุด เช่น อุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยง ระดับ pH ในกระเพาะอาหารเพื่อประโยชน์ต่อการบ่มเอนไซม์ในระดับอุณหภูมิและระดับ pH ที่เหมาะสมต่อการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์เป็นต้น ซึ่งผลที่ได้น่าจะมีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงอย่างมากและอาจมีความแตกต่างหรือสอดคล้องกับงานวิจัยในลักษณะเดียวกันของผู้วิจัยท่านอื่นๆ เช่น Francisco และ Laurent (2001) ได้ทดลองเกี่ยวกับการใช้เอนไซม์โปรติเอสจากกระเพาะอาหารปลา seabream ทดสอบระดับการย่อยโปรตีนในวัตถุดิบชนิดต่างๆ และพบว่าค่ากิจกรรมเอนไซม์โปรติเอสหลังจากใช้ HCl และ glycine ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ที่ระดับ pH 2.00 เป็นบัฟเฟอร์เร่งปฏิกิริยาโดยมีฮีโมโกลบินเป็นสับสเทรต และบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที มีค่ากิจกรรมเอนไซม์โปรติเอสเท่ากับ 498 ยูนิตต่อมิลลิลิตร นอกจากนี้ฐิรารัตน์ (2541) พบว่าการสกัดเอนไซม์จากเครื่องในรวมปลาทูน่าครีบเหลืองโดยใช้สารละลายคาร์บอเนต – ไบคาร์บอเนตที่ระดับ pH 10.00 เป็นบัฟเฟอร์เร่งปฏิกิริยาและมีเคซีนเป็นสับสเทรตบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาทีให้ค่ากิจกรรมเอนไซม์โปรติเอส (ทริปซิน) สูงที่สุดเท่ากับ 72.17 ยูนิตต่อมิลลิลิตร โดยกิจกรรมเอนไซม์โปรติเอส (ทริปซิน) มีค่าสูงกว่าการทดลองของวิภาวรรณ

(2544) ที่ทดลองสกัดเอนไซม์จากเครื่องในรวมปลาทูน่าครีบเหลืองโดยใช้สารละลายคาร์บอเนต – ไบคาร์บอเนตที่ระดับ pH 10.00 เป็นบัฟเฟอร์เร่งปฏิกิริยา และมี เคซีนเป็นสับสเทรตบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และได้ค่ากิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสเพียง 16.88 ยูนิตต่อมิลลิลิตรเท่านั้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความแตกต่างกันของค่ากิจกรรมของเอนไซม์นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น สำหรับระดับการย่อยสลายโปรตีนในวัตถุดิบแต่ละชนิดโดยเอนไซม์โปรติเอสที่สกัดจากกระเพาะอาหารปลากดเหลืองทั้ง 2 ซ้ำในครั้งนี้ พบว่าปลาป่นมีระดับการย่อยโปรตีนเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ ถั่วเหลืองต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน และถั่วเหลืองดิบ โดยวัตถุดิบแต่ละชนิดมีค่าระดับการย่อยโปรตีนเฉลี่ยเท่ากับ 10.21±0.42, 9.08±0.79, 7.76±0.77 และ 5.63±0.82 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Francisco และ Laurent (2001) ที่นำเอนไซม์โปรติเอสที่สกัดจากกระเพาะอาหารปลา Seabream เพื่อย่อยโปรตีนในวัตถุดิบ 2 ชนิด ได้แก่ ปลาป่น และกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน โดยพบว่าระดับการย่อยโปรตีนจากปลาป่นมีค่าสูงกว่ากากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันอย่างมีนัยสำคัญโดยมีค่าเท่ากับ 7.30 และ 3.60 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากสารต้านโภชนาการที่อยู่ในถั่วเหลืองซึ่งมีผลทำให้ประสิทธิภาพของเอนไซม์ในการย่อยสลายสายโปรตีนในวัตถุดิบต่ำลง นอกจากนี้คุณภาพของวัตถุดิบโดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็น (essential amino acids) ที่มีอยู่ในกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันมีน้อยกว่าปลาป่นจึงทำให้เอนไซม์ย่อยสลายโปรตีนได้น้อยลง เช่นเดียวกับการทดลองของ Dim และ Haard (1994) และ Haard และคณะ (1996) ที่ทดลองระดับการย่อยโปรตีนในอาหารทดลองที่มีโปรตีนจากกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันทดแทนโปรตีนจากปลาป่นที่ระดับต่าง ๆ โดยพบว่าสูตรอาหารที่มีการใช้โปรตีนจากกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันทดแทนโปรตีนจากปลาป่นในระดับสูงขึ้นก็จะทำให้ระดับการย่อยโปรตีนต่ำลงตามลำดับ สำหรับผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองที่มีระดับย่อยโปรตีนสูงที่สุดในการทดลองครั้งนี้คือ ถั่วเหลืองต้มที่อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที ซึ่งระดับการย่อยโปรตีนของวัตถุดิบดังกล่าวสูงกว่าผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองชนิดอื่น ๆ เป็นเพราะว่าถั่วเหลืองเมื่อผ่านการให้ความร้อนในอุณหภูมิ และระยะเวลาที่เหมาะสมจะทำให้สารยับยั้งเอนไซม์โปรติเอสหรือสารต้านโภชนาการ (protease inhibitor) น้อยลงไปหรือหมดไป (Helena *et al*, 2003) นอกจากนี้จะทำให้โปรตีนที่เกาะเป็นก้อนกลมมีการยืดหยุ่นและเกาะตัวกันอย่างหลวม ๆ จึงทำให้เอนไซม์สามารถย่อยสลายสายโปรตีนในวัตถุดิบได้สูงขึ้น (Haard *et al*, 1996) แต่แตกต่างจากการทดลองของ Grabner และ Hofer (1985) ที่พบว่าถึงแม้เมล็ดพืชตระกูลถั่วได้แก่ broad bean จะมีสารต้านโภชนาการน้อยกว่าเมล็ดถั่วเหลืองเพียงเล็กน้อยหลังจากนำผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองทั้ง 2 ชนิด มาผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาทีแต่พบว่าระดับการย่อยโปรตีนหลังการใช้เอนไซม์ที่สกัดจากกระเพาะอาหารปลาเรนโบว์เทร้าท์ทดสอบเป็นเวลา 15 ชั่ว

โมง ระดับการย่อยโปรตีนของเมล็ดถั่วเหลืองมีค่าสูงกว่า broad bean อย่างมีนัยสำคัญ โดยระดับการย่อยโปรตีนของวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิด มีค่าเท่ากับ 27.10 และ 10.80 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยผลที่ได้ดังนี้อาจเป็นเพราะคุณภาพโปรตีนที่มีอยู่ในวัตถุดิบที่อาจสูญเสียไปในระหว่างการผลิต ระดับคาร์โบไฮเดรตในวัตถุดิบ และวิธีการในการผลิตวัตถุดิบที่แตกต่างกัน (Eldred and Rodney,1946; Carpenter, 1958 อ้างโดย Grabner and Hofer,1985)

อย่างไรก็ตามในการทดลองครั้งนี้พบว่า ถั่วเหลืองต้มที่อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน เป็นผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองที่มีระดับการย่อยโปรตีนสูงอันดับ 1 และ 2 จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารปลากดเหลืองซึ่งแตกต่างกับ ถั่วเหลืองดิบที่มีระดับการย่อยโปรตีนที่ต่ำเนื่องมาจากสาเหตุหลักก็คือ ถั่วเหลืองดิบไม่มีกระบวนการผ่านความร้อนซึ่งอาจทำให้มีสารต้านโภชนาการอยู่ในระดับสูง จึงทำให้ประสิทธิภาพของเอนไซม์ในการย่อยสลายโปรตีนต่ำลง ซึ่งไม่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนทดแทนในอาหารปลากดเหลือง

การทดลองที่ 2 การศึกษาการนำผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นที่ระดับต่างๆ ในอาหารปลากดเหลือง

จากการศึกษาการเจริญเติบโตของปลากดเหลืองหลังได้รับอาหารทดลองที่มีโปรตีนจากผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองแทนที่โปรตีนจากปลาป่นที่ระดับต่างๆเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่ามีผลต่อการเจริญเติบโตของปลา โดยอาหารที่มีการแทนที่โปรตีนจากปลาป่นด้วยผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองในระดับที่สูงขึ้นทำให้การเจริญเติบโตลดลง จะเห็นได้ว่าเมื่อนำโปรตีนจากผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองมาใช้ทดแทนโปรตีนจากปลาป่นที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์เป็นต้นไป จะส่งผลให้น้ำหนักสุดท้ายของปลากดเหลืองลดลงเป็นลำดับ แสดงให้เห็นว่า การนำโปรตีนจากผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองไปใช้ในอาหารปลากดเหลืองสามารถนำมาใช้ได้เพียงระดับหนึ่งเท่านั้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากหลายสาเหตุเช่น ปลากดเหลืองเป็นประเภทปลากินเนื้อซึ่ง วีรพงศ์ (2536) ได้รายงานว่า ปลากินเนื้อจะมีปริมาณเอนไซม์ที่ย่อยคาร์โบไฮเดรตน้อยกว่าปลากินพืช จึงส่งผลให้ความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรตเพื่อนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานน้อยลง สอดคล้องกับการทดลองของ จูอะดีและมะลิ (2538) ที่ศึกษาการใช้กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน และข้าวโพดทดแทนปลาป่นในอาหารปลากะพงขาว ในอัตราส่วนกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันและข้าวโพด 5:3 และระดับการแทนที่โปรตีนจากปลาป่นเท่ากับ 0, 25, 50, 75 และ 87.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการเจริญเติบโตของปลากะพงขาวเริ่มลดลง และอัตราการแลกเนื้อเพิ่มสูงขึ้นในสูตรอาหารที่มีการแทนที่โปรตีนจากปลาป่นด้วยโปรตีนกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันและข้าวโพดที่ระดับ 50, 75 และ 87.5 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่สูตรควบคุม และสูตรอาหารที่มีการแทนที่

โปรตีนจากปลาป่นด้วยโปรตีนจากกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันและข้าวโพดที่ระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ มีการเจริญเติบโตและอัตราการแลกเนื้อใกล้เคียงกันซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Mohsen และ Lovell (1990) ที่พบว่าการเพิ่มระดับการใช้กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันเป็นแหล่งโปรตีนในสูตรอาหารปลากดอเมริกัน (channel catfish) ที่ระดับ 48.4, 55.5 และ 62.6 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักอาหาร มีผลทำให้น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลาลดลงเป็นลำดับ และระดับที่เหมาะสมต่อการแทนที่โปรตีนจากปลาป่นด้วยโปรตีนจากกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันในปลากดอเมริกันอยู่ที่ระดับ 6.1 และ 34.2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักอาหาร แต่การใช้โปรตีนจาก canola meal ร่วมกับโปรตีนจากกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันในสูตรอาหารปลากดอเมริกัน พบว่าการใช้ canola meal ที่ระดับ 36 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักอาหารมีผลให้น้ำหนักสุดท้ายของปลาทดลองไม่แตกต่างทางสถิติกับชุดควบคุมที่มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลักเพียงอย่างเดียว แต่สำหรับอัตราการแลกเนื้อเมื่อมีการใช้ canola meal ในสูตรอาหารที่ระดับ 36 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักอาหารพบว่ามีความแตกต่างทางสถิติกับชุดควบคุมแต่ไม่แตกต่างกับชุดการทดลองที่มีการใช้ canola meal ที่ระดับ 12 และ 24 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักอาหาร (Webster *et.al,*1997) ซึ่งจากการทดลองการนำผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองมาเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนโปรตีนจากปลาป่นในอาหารปลากดเหลืองในครั้งนี้พบว่าการแทนที่โปรตีนจากปลาป่นด้วยโปรตีนจากผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารเท่านั้นที่ทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลาไม่แตกต่างกับชุดควบคุมที่มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลัก นอกจากนี้พบว่าประสิทธิภาพการใช้อาหาร และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน ของปลาที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมไม่แตกต่างกันทางสถิติกับชุดการทดลองอื่น ๆ สอดคล้องกับปลากดอเมริกันที่ถึงแม้ไม่มีโปรตีนจากปลาป่นในสูตรอาหารแต่มีกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันอยู่ในสูตรอาหารร้อยละ 72 ของน้ำหนักอาหาร แต่ค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีนก็ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับสูตรอาหารที่มีปลาป่นอยู่ในสูตรอาหารร้อยละ 12 และ 6 และกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันร้อยละ 54 และ 63 ตามลำดับ (Belal and Assem,1995) ซึ่งแตกต่างกับการทดลองของ จูอะดีและ มะลิ (2538) และมะลิ และคณะ (2539) ที่พบว่าสูตรอาหารที่มีการใช้กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน และข้าวโพดแทนที่โปรตีนจากปลาป่นในระดับสูงขึ้นจะทำให้อัตราการแลกเนื้อสูงขึ้น ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนต่ำลงตามลำดับ

คุณภาพของโปรตีนในวัตถุดิบขึ้นอยู่กับระดับกรดอะมิโนที่จำเป็นและปลาไม่สามารถสังเคราะห์เองได้ซึ่งในผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองทุกชนิดมีระดับของกรดอะมิโนเมทไธโอนีนที่มีความสำคัญต่อการสังเคราะห์โปรตีนในปริมาณน้อย (Dabrowski *et al* ,1989) ดังนั้นการใช้ผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองในอาหารสัตว์น้ำจึงมีขีดจำกัด แต่จากการศึกษาของ Webster และคณะ (1992) ที่ใช้กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันทดแทนโปรตีนจากปลาป่นในอาหารเลี้ยงปลากดอเมริกัน พบว่าเมื่อมีการเสริมเมทไธโอนีนที่ระดับ 0.10 เปอร์เซ็นต์ และ ไลซีน ที่ระดับ 0.40 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักอาหาร

ในสูตรอาหารที่ใช้กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันเป็นแหล่งโปรตีนแต่เพียงอย่างเดียวพบว่า น้ำหนักสุดท้าย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการแลกเนื้อของปลาไม่แตกต่างจากสูตรอาหารที่ใช้ปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลัก โดยอาหารทดลองทุกสูตรมีระดับโปรตีน 35 เปอร์เซ็นต์เท่ากันทุกสูตร แต่ถึงแม้ว่ามีการเติมกรดอะมิโนลงไปในอาหารทดลองแล้วก็ตาม ระดับโปรตีนที่เพียงพอต่อความต้องการของปลาก็ยังมีความสำคัญอย่างมากต่อการเจริญเติบโตของปลา จากการทดลองของ Meng และ Robinson (1998) พบว่าการเสริมกรดอะมิโนไลซีนในสูตรอาหารที่ระดับ 0.40 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักอาหารในอาหารทดลองที่มีระดับโปรตีนในสูตรอาหาร 24 เปอร์เซ็นต์ ก็ไม่สามารถทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นสูงใกล้เคียงกับอาหารสูตรควบคุมที่มีระดับโปรตีน 32 เปอร์เซ็นต์ โดยมีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลัก ซึ่งจากการศึกษาการแทนที่โปรตีนจากปลาป่นด้วยโปรตีนจากผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองในครั้งนี้ พบว่าเมื่อมีการใช้โปรตีนจากผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ จะมีผลต่อน้ำหนักสุดท้าย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะที่ลดลงตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าปริมาณการแทนที่ที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้ความไม่สมดุลของกรดอะมิโนในสูตรอาหารจะเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Tantikitti และคณะ (2005) ที่ศึกษา การเจริญเติบโตของปลากะพงขาว โดยใช้อาหารทดลองที่มีการแทนที่โปรตีนจากปลาป่นด้วยกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันที่ระดับ 0, 10, 20, 30,40, 50 เปอร์เซ็นต์ เลี้ยงปลากะพงขาว เป็นเวลา 12 สัปดาห์ และพบว่า ปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารทดลองที่มีโปรตีนจากกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันแทนที่โปรตีนจากปลาป่นที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักสุดท้าย และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะไม่แตกต่างจากชุดควบคุมที่มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลัก สำหรับกลุ่มปลากะพงที่ได้รับอาหารทดลองที่มีโปรตีนจากกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันแทนที่โปรตีนจากปลาป่นที่ระดับ 20, 30, 40, 50 เปอร์เซ็นต์ และปลาเป็ด พบว่ามีน้ำหนักสุดท้าย และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะลดลงเป็นลำดับ

สำหรับน้ำหนักอาหารที่ปลากินในการทดลองครั้งนี้ พบว่ามีความผันแปรไปตามระดับการแทนที่ของผลิตภัณฑ์ถั่วเหลือง คือเมื่อมีการใช้ผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองแทนที่ปลาป่นในระดับสูงขึ้นจะส่งผลให้ปลากดเหลืองกินอาหารน้อยลงเป็นลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Storebakken และคณะ(1998) โดยพบว่าเมื่อมีการใช้โปรตีนจากกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันแทนที่ปลาป่นในสูตรอาหารในระดับสูงขึ้น ทำให้ปลาแซลมอนกินอาหารลดลง และการเจริญเติบโต แตกต่างจากชุดควบคุมที่มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลัก เช่นเดียวกับการทดลองของ Mundheim และคณะ (2004) ที่ศึกษาระดับการแทนที่ปลาป่นด้วย ข้าวโพด : ถั่วเหลืองอุดมไขมัน ในอัตราส่วน (2 :1) ในสูตรอาหารปลาแซลมอล โดยพบว่าเมื่อมีการใช้ข้าวโพด : ถั่วเหลืองอุดมไขมัน ในระดับ สูงขึ้นจะส่งผลต่อน้ำหนักอาหารที่กิน และการเจริญเติบโตลดลงเป็นลำดับ ซึ่งผลการศึกษามีความสอดคล้องกับการทดลองของ Opstvedt และคณะ (2003) ที่ศึกษาการแทนที่ปลาป่นด้วย ข้าวโพด และ

ถั่วเหลืองอุดมไขมันที่ระดับต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตของปลาแซลมอลเช่นกัน เช่นเดียวกับการทดลองในครั้งนี้ ซึ่งพบว่าเมื่อมีการใช้ผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองแทนที่โปรตีนจากปลาป่นตั้งแต่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป จะส่งผลให้น้ำหนักอาหารที่ปลากินลดลงเป็นลำดับ เนื่องจาก ความน่ากินของอาหารลดน้อยลง เมื่อมีการลดปริมาณปลาป่นในสูตรอาหาร เพราะปลาป่นเป็นวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติที่ดีต่อการกระตุ้นความอยากกินอาหารของปลาให้เพิ่มสูงขึ้น (palatability) โดยกลิ่นของปลาป่นสามารถดึงดูดให้ปลามีความอยากกินอาหารให้สูงขึ้นได้ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Tantikitti และคณะ (2005) โดยพบว่าเมื่อมีการแทนที่โปรตีนจากปลาป่นด้วยโปรตีนจากกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป ส่งผลให้น้ำหนักอาหารที่ปลากะพงขาวกินลดลงเป็นลำดับ ซึ่งปริมาณอาหารที่ปลากินมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของปลา โดยในการศึกษาครั้งนี้พบว่า กลุ่มปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่มีโปรตีนจากถั่วเหลืองต้มแทนที่โปรตีนจากปลาป่นมีปริมาณการกินอาหารสูงกว่ากลุ่มปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่มีกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันแทนที่โปรตีนจากปลาป่น จึงทำให้มีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นสูงกว่ากลุ่มปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่มีกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันแทนที่โปรตีนจากปลาป่น

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนของปลาทดลองพบว่าในกลุ่มปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่มีถั่วเหลืองต้ม และกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันแทนที่ปลาป่นมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P\leq0.05$) โดยกลุ่มปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่มีถั่วเหลืองต้มแทนที่ปลาป่นมีประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนสูงกว่ากลุ่มปลาที่ได้รับอาหารที่มีกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันแทนที่ปลาป่นทั้งนี้เนื่องมาจากถั่วเหลืองต้มได้ผ่านความร้อนในอุณหภูมิ และระยะเวลาที่เหมาะสม ซึ่งสามารถทำลายสารต้านโภชนาการโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ทริปซิน อินฮิบิเตอร์ในถั่วเหลืองให้น้อยลง หรือหมดไป ซึ่งมีผลทำให้เอนไซม์ทริปซินมีความสามารถในการย่อยสลายสารอาหารโปรตีนได้สูงขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของ Helena และคณะ (2003) ที่ศึกษาการนำกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันที่ผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ในระยะเวลาต่าง ๆ กัน คือ 0, 5, 10, 20 และ 40 นาที มาใช้ในอาหารปลากดอเมริกัน และพบว่าชุดการทดลองที่ใช้กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันที่ผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที เป็นชุดการทดลองที่ปลากดอเมริกันมีประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนสูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันได้ผ่านความร้อน และระยะเวลาที่เหมาะสมทำให้ทริปซิน อินฮิบิเตอร์ถูกทำลายจนเกือบหมดจึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนสูงกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ นอกจากนี้ผลการทดลองที่ได้ในครั้งนี้สอดคล้องกับผลการทดลองที่ 1 ที่ได้ทดสอบระดับการย่อยโปรตีนในผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองโดยใช้เอนไซม์โปรติเอสที่สกัดจากกระเพาะอาหารปลากดเหลืองโดยพบว่า ถั่วเหลืองต้มมีระดับการย่อยโปรตีนสูงกว่ากากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน ($P\leq0.05$) เช่นเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าผลการทดสอบระดับการย่อยโปรตีนโดยการใช้เอนไซม์สกัด

เป็นเอนไซม์ทดสอบมีผลไปในทิศทางเดียวกับประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนของปลาทดลอง เช่น เดียวกับการทดลองของ Dimes และ Haard (1994) ที่ศึกษาระดับการย่อยโปรตีนใน rapeseed concentrate กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน และกากเมล็ดฝ้ายด้วยเอนไซม์โปรติเอสบริสุทธิ์ที่สกัดจากไส้ติ่งปลาเรนโบว์เทร้าท์ ก่อนนำมาใช้ในอาหารทดลอง และพบว่าระดับการย่อยโปรตีนของวัตถุดิบพืชทั้ง 3 ชนิดหลังย่อยด้วยเอนไซม์มีค่าเท่ากับ 92.3, 82.5 และ 81.5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ในขณะที่ปลาเรนโบว์เทร้าท์หลังได้รับอาหารที่มี rapeseed concentrate กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน และกากเมล็ดฝ้าย ในสูตรอาหารเป็นเวลา 73 วัน พบว่ามีประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนเท่ากับ 89.3, 84.0 และ 76.0 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาระดับการย่อยโปรตีนด้วยเอนไซม์ ซึ่ง rapeseed concentrate มีระดับการย่อยโปรตีนสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน และกากเมล็ดฝ้ายตามลำดับ

สำหรับประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนของปลาทดลองในครั้งนี้พบว่าสูตรควบคุมมีค่าสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างจากกลุ่มปลาที่ได้รับอาหารที่มีผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองทดแทนปลาป่นที่ระดับ 10 , 20 ,30 และ 50 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าถึงแม้ว่าจะมีการทดแทนโปรตีนจากปลาป่นด้วยผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองในระดับสูงถึง 50 เปอร์เซ็นต์ แต่ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนมีค่าสูงใกล้เคียงกับสูตรควบคุม แต่การเจริญเติบโตของปลาจะต่ำกว่าชุดควบคุม ทั้งนี้เนื่องจากการกินอาหารลดลงและคุณภาพโปรตีนที่น้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ มะลิและคณะ (2539) ที่พบว่าเมื่อมีการใช้โปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันแทนที่โปรตีนจากปลาป่นในอาหารปลากะพงขาวถึงระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ แต่ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนไม่แตกต่างจากชุดควบคุม สำหรับปลาแซลมอนเมื่อ

มีการใช้โปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันแทนที่โปรตีนจากปลาป่นในสูตรอาหารที่ระดับ 33 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร พบว่าค่าประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนไม่แตกต่างจากชุดควบคุมโดยมีค่าเท่ากับ 82.15 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในสูตรควบคุมมีค่าเท่ากับ 82.75 เปอร์เซ็นต์ (Carter and Hauler, 2000)

สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของปลากดเหลืองพบว่าปริมาณโปรตีนในตัวปลากดเหลืองหลังได้รับอาหารที่มีผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองทั้ง 2 ชนิดแทนที่ปลาป่น ในทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) โดยมีปริมาณโปรตีนอยู่ระหว่าง 14.17 ± 0.54 ถึง 15.72 ± 0.35 เปอร์เซ็นต์ สำหรับปริมาณไขมันในตัวปลาพบว่า ปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรควบคุมมีค่าสูงที่สุดแต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับ กลุ่มปลาที่ได้รับอาหารที่มีถั่วเหลืองต้มที่ระดับการแทนที่ 10, 20, 30, 40 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มปลาที่ได้รับอาหารที่มีกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันแทนที่ปลาป่นที่ระดับ 10, 20

เปอร์เซ็นต์ ส่วนกลุ่มปลาที่ได้รับอาหารที่มีถั่วเหลืองต้มที่ระดับการแทนที่ 50, 60 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มปลาที่ได้รับอาหารที่มีกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันแทนที่ปลาป่นที่ระดับ 30, 40, 50 และ 60 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีปริมาณไขมันต่ำที่สุดใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่า ถึงแม้ปริมาณไขมันในสูตรอาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่ง สูตรอาหารที่มีถั่วเหลืองต้มแทนที่ปลาป่นที่ระดับ 40, 50 และ 60 เปอร์เซ็นต์ ที่มีปริมาณไขมันสูงกว่าสูตรอื่น ๆ ก็ไม่มีผลต่อปริมาณไขมันในตัวปลา อาจเนื่องมาจากปริมาณอาหารที่ปลากิน โดยพบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีถั่วเหลืองต้มแทนที่ปลาป่นที่ระดับ 40, 50 และ 60 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักอาหารที่กินน้อยกว่าสูตรอื่น ๆ เช่นเดียวกับกลุ่มปลาที่ได้รับอาหารที่มีกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันแทนที่ปลาป่นที่ระดับ 30, 40 , 50 และ 60 เปอร์เซ็นต์ จึงทำให้ปลามีไขมันสะสมในตัวน้อยกว่ากลุ่มปลาที่กินอาหารได้มากกว่า ซึ่งจะมีการสะสมไขมันในตัวปลาสูงกว่า

สำหรับการคำนวณราคาต้นทุนการผลิตอาหารโดยคิดเฉพาะราคาวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการทำอาหาร พบว่าเมื่อมีการใช้ผลิตภัณฑ์ถั่วเหลือง ทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ถั่วเหลืองดิบ และกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันทดแทนโปรตีนจากปลาป่นในระดับที่สูงขึ้นทำให้ราคาอาหารลดลงตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบราคาอาหารระหว่าง สูตรอาหารที่มีการทดแทนโปรตีนจากปลาป่นด้วยถั่วเหลืองต้ม และกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันแล้วพบว่า การใช้กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันทดแทนปลาป่นในอาหารมีต้นทุนค่าอาหารต่อ 1 กิโลกรัม น้อยกว่าถั่วเหลืองต้มในทุกระดับการแทนที่ ทั้งนี้เนื่องจาก กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันมีราคาต่ำกว่าเมล็ดถั่วเหลือง แต่เมื่อพิจารณาถึงต้นทุนการผลิตต่อหน่วยแล้ว พบว่าการใช้ถั่วเหลืองต้มทดแทนโปรตีนจากปลาป่นในสูตรอาหารยังมีต้นทุนการผลิต

ต่อหน่วยต่ำกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สูตรอาหารที่มีการแทนที่ที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปลามีการเจริญเติบโตใกล้เคียงกับสูตรควบคุม พบว่าอาหารที่ใช้ถั่วเหลืองต้มมีต้นทุนการผลิตต่อหน่วยต่ำกว่าการใช้กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันโดยมีค่าเท่ากับ 31.15$\pm$0.75 และ 33.22$\pm$1.47 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ดังนั้น การใช้ถั่วเหลืองต้มทดแทนโปรตีนจากปลาป่นที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารปลากดเหลืองจึงมีความเหมาะสมที่สุด ทั้งในแง่ผลผลิต และเศรษฐศาสตร์ ซึ่งเกษตรกรสามารถนำสูตรอาหารดังกล่าวไปใช้ผลิตอาหารปลากดเหลือง เพื่อลดต้นทุนการผลิตต่อไป

จากการทดลองการใช้โปรตีนจากผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองทดแทนโปรตีนจากปลาป่นในครั้งนี้พบว่าการใช้โปรตีนจากผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองทดแทนโปรตีนจากปลาป่นในระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่มีการเสริมกรดอะมิโนที่จำเป็น สามารถทำให้ น้ำหนักสุดท้าย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ของปลากดเหลืองมีค่าใกล้เคียงกับสูตรควบคุมที่มีการใช้โปรตีนจากปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลัก นอกจากนี้การใช้ถั่วเหลืองต้มทดแทนโปรตีนจากปลาป่นในสูตร

อาหารที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ปลากดเหลืองมีการเจริญเติบโตใกล้เคียงกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม อีกทั้งยังมีต้นทุนการผลิตต่อหน่วยต่ำกว่าอีกด้วย