บทที่ 1

(15)

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

ในปัจจุบันอัตราการเพิ่มขึ้นของประชากรโลกสูงขึ้นอย่างรวดเร็วส่งผลให้ความต้องการอาหารโปรตีนเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องและสัตว์น้ำก็เป็นแหล่งอาหารโปรตีนที่ดีของมนุษย์ ทำให้การจับสัตว์น้ำในธรรมชาติเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วตามอัตราการเพิ่มขึ้นของประชากรโลกส่งผลให้ปริมาณสัตว์น้ำที่มีอยู่ในธรรมชาติลดน้อยลงและไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค นอกจากนั้นสาเหตุที่ทำให้ทรัพยากรสัตว์น้ำลดลงอย่างมากคือการทำการประมงที่ขาดความรับผิดชอบเช่น การใช้เครื่องมือประมงที่ผิดกฎหมาย ได้แก่ การใช้ยาเบื่อ การลักลอบจับสัตว์น้ำในฤดูวางไข่ การใช้เครื่องมือประมงที่มีประสิทธิภาพสูงในการทำลายทรัพยากรสัตว์น้ำและแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำ นอกจากนี้การกำหนดเขตเศรษฐกิจจำเพาะของแต่ละประเทศก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่เป็นการจำกัดเขตทำการประมงด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้ธุรกิจการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดเป็นธุรกิจหนึ่งที่เป็นที่นิยมของเกษตรกรอย่างกว้างขวาง จากสถิติผู้ประกอบการเลี้ยงสัตว์น้ำจืดในประเทศไทย ปี พ.ศ.2547 มีถึง 423,083 ราย คิดเป็นพื้นที่การเลี้ยง 896,879 ไร่ และสัตว์น้ำจืดที่ได้รับความนิยมจากเกษตรกรผู้เลี้ยง มีหลายชนิดได้แก่ ปลานิล ปลาดุก ปลาตะเพียนขาว ปลาสลิด ปลาสวาย ปลาช่อน และกุ้งก้ามกราม โดยปลาที่นิยมเลี้ยงกันมากที่สุดได้แก่ปลานิล รองลงมาได้แก่ ปลาดุก (กรมประมง, 2547) และในปัจจุบันมีปลากินเนื้ออีกชนิดหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจจากเกษตรกรผู้เลี้ยงเพิ่มขึ้นเป็นลำดับได้แก่ ปลากดเหลือง (*Mystus nemurus*) เนื่องจากปลากดเหลืองเป็นปลาที่มีรสชาติดี เลี้ยงง่ายเป็นที่นิยมของผู้บริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศโดยเฉพาะประเทศมาเลเซีย และประเทศสิงคโปร์ ประกอบกับปลาชนิดนี้มีราคาค่อนข้างสูง โดยในท้องตลาดซื้อขายกันในราคากิโลกรัมละ 120-140 บาท

เกษตรกรนิยมเลี้ยงปลากดเหลืองในบ่อดินและในกระชัง โดยส่วนใหญ่นิยมใช้อาหารเม็ดสำเร็จรูปปลาดุกที่มีระดับโปรตีนอยู่ระหว่าง 30-35 เปอร์เซ็นต์ เลี้ยงปลากดเหลือง (สุขาวดี, 2544) ซึ่งเหตุผลที่เกษตรกรใช้อาหารเม็ดสำเร็จรูปใช้เลี้ยงปลานั้นเนื่องจาก สามารถหาซื้อ

อาหารได้ง่ายในท้องตลาด เมื่อให้ปลากินปลายอมรับอาหารและมีการเจริญเติบโตที่ดีอีกทั้งยังสะดวกในการนำไปใช้และเก็บรักษา ในการผลิตอาหารเม็ดสำเร็จรูปมีการใช้ปลาป่นที่ถือว่าเป็นแหล่งโปรตีนที่มีคุณภาพแต่มีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นการหาแหล่งโปรตีนอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแหล่งโปรตีนจากพืชเพื่อทดแทนปลาป่นในอาหารสัตว์น้ำจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งทั้งนี้เพื่อเป็นการลดการใช้ทรัพยากรสัตว์น้ำที่นำขึ้นมาใช้ทำปลาป่นให้น้อยลงและสามารถนำวัตถุดิบโปรตีนสูงจากพืชที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดอีกทั้งยังเป็นการลดต้นทุนอาหารให้ต่ำลงอีกด้วย โดย Lovell (1989) กล่าวว่าต้นทุนค่าอาหารสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำนั้นมีสูงถึง 50-60 เปอร์เซ็นต์

การพิจารณาเลือกแหล่งโปรตีนจากพืชมาใช้ในอาหารสัตว์น้ำนั้น คุณภาพโปรตีนในวัตถุดิบถือว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งกล่าวคือ การเลือกใช้วัตถุดิบพืชเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสัตว์น้ำควรมุ่งเน้นถึงชนิดของวัตถุดิบที่สัตว์น้ำสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด ซึ่งหมายถึงคุณภาพของวัตถุดิบพืชแต่ละชนิดนั้นเอง และดัชนีที่บ่งบอกถึงคุณภาพของโปรตีนในการนำไปใช้ประโยชน์ในสัตว์น้ำได้ดีอย่างหนึ่งคือการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนจากวัตถุดิบ โดยทั่วไปการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนของสัตว์น้ำ นักวิจัยอาหารสัตว์น้ำใช้โครมิกออกไซด์ผสมในอาหารที่มีวัตถุดิบที่ต้องการศึกษาและเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อเก็บรวบรวมมูล แล้วนำมูลมาวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การย่อยซึ่งเป็นวิธีที่นิยมอย่างมากในการหาค่าประสิทธิภาพการย่อยของสัตว์น้ำ และผลที่ได้สามารถบ่งบอกถึงคุณภาพของวัตถุดิบที่ใช้เป็นแหล่งโปรตีนได้เป็นอย่างดี (วุฒิพร,2542) แต่วิธีการนี้ค่อนข้างใช้ระยะเวลานานอีกทั้งค่าใช้จ่ายในการดำเนินการทดลองค่อนข้างสูง Bassompierre และคณะ (1997) ได้ทำการศึกษาคุณภาพโปรตีนโดยการนำเอนไซม์โปรติเอสที่สกัดจากทางเดินอาหารของปลาเรนโบว์เทร้าท์ ทั้งในส่วนของกระเพาะอาหารและลำไส้มาทดสอบระดับการย่อยโปรตีนจากแหล่งโปรตีนต่าง ๆ เช่น โปรตีนจากสัตว์ และโปรตีนจากพืช ซึ่งผลจากการทดสอบระดับการย่อยโปรตีนที่ได้เป็นที่น่าเชื่อถือ ประหยัดเวลา และค่าใช้จ่ายอีกทั้งยังสามารถนำผลการศึกษาระดับการย่อยโปรตีนที่ได้มาใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกใช้แหล่งโปรตีนที่มีคุณภาพในอาหารปลาได้เป็นอย่างดี

การวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นการคัดเลือกผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองโดยการใช้เอนไซม์ โปรติเอสที่สกัดจากกระเพาะอาหารของปลากดเหลืองเพื่อทดสอบระดับการย่อยโปรตีนของผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองดังกล่าวก่อนนำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารปลากดเหลือง

1.2 ตรวจเอกสาร

1.2.1 ปลากดเหลือง

ชื่อสามัญมีหลายชื่อคือ yellow mystus, freshwater catfish และ green catfish โดยอนุกรมวิธานของปลากดเหลืองจัดจำแนกโดย Smith (1965) อ้างโดยวันชัย (2545) ดังนี้

Class Pisces

Subclass Teleostomi

Order Nematognathi

Family Bagridae

Genus *Mystus*

Species *Mystus nemurus* (Cuv. & Val.)

ลักษณะทั่วไปและการแพร่กระจายของปลากดเหลือง

ปลากดเหลืองเป็นปลาน้ำจืดที่ไม่มีเกล็ด ลำตัวมีลักษณะกลมยาวส่วนหัวค่อนข้างแบนเรียวเป็นรูปกระสวย (conical) กระดูกท้ายทอยยาวจรดโคนครีบหลัง ปากกว้าง ขากรรไกรแข็งแรง ประกอบด้วยฟันซี่เล็กๆสั้นและมี ปลายแหลมแบบ cordiform เป็นกลุ่มอยู่บนขากรรไกรล่าง ขากรรไกรบนและเพดานปาก ซี่กรอง (gill rakers) สั้นเล็กปลายแหลม จำนวน 15 ซี่ รอบปากมีหนวด 4 คู่ คือบริเวณจมูก (nasal barbells) ขากรรไกรบน (maxillary barbells) ขากรรไกรล่าง (mental barbells) อย่างละ 1 คู่ ครีบหลังประกอบด้วยก้านครีบแข็ง 1 ก้าน และ ก้านครีบอ่อน 7 ก้าน มีครีบไขมันอยู่บนหลังตอนส่วนท้ายของลำตัวตำแหน่งตรงข้ามกับครีบก้น ครีบก้นเป็นครีบอ่อน 10-11 ก้าน ครีบหูเป็นครีบคู่และในแต่ละข้างมีก้านครีบแข็งและแหลมคม 1 คู่ และก้านครีบอ่อนข้างละ 9 ก้าน ครีบท้องประกอบด้วยก้านครีบอ่อน 6-7 ก้าน ครีบหางเว้าลึกแฉกบนยาวกว่าแฉกล่างประกอบด้วยก้านครีบอ่อน 16-17 ก้าน (มาโนชญ์และคณะ, 2536)

ปลากดเหลืองพบแพร่กระจายในแหล่งน้ำจืดทั่วๆไปของทวีปเอเชียตั้งแต่เอเชียตะวันตก ได้แก่ อินเดีย เนปาล ปากีสถาน และบังคลาเทศ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ เมียนมาร์ ไทย สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว กัมพูชา เวียดนาม มาเลเซียและอินโดนีเซีย สำหรับประเทศไทยพบในแหล่งน้ำธรรมชาติและอ่างเก็บน้ำทั่วทุกภูมิภาคของประเทศ เช่นภาคเหนือพบในแม่น้ำกก ปิง วัง ยม น่าน กว๊านพะเยา เขื่อนสิริกิติ์ เป็นต้น ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบในแม่น้ำมูล

เขื่อนลำปาว เขื่อนลำตะคอง ภาคกลางพบในแม่น้ำเจ้าพระยา เขื่อนศรีนครินทร์ สำหรับภาคใต้ พบในแม่น้ำตาปี ทะเลสาบสงขลา ทะเลน้อย เขื่อนบางลางเป็นต้น

พฤติกรรมการกินอาหาร

ปลากดเหลืองจัดเป็นปลาที่อยู่ในจำพวกปลากินเนื้อ ลักษณะกระเพาะอาหารเป็นถุงตรงยาวผนังหนามีสีขาวขุ่นโดยอาหารในธรรมชาติของปลากดเหลืองได้แก่ แมลงต่าง ๆ ตัวอ่อนของแมลงน้ำ กุ้งน้ำจืด และสัตว์ในกลุ่มครัสตาเซียน crustaceans รวมถึงปลา (Rainboth, 1996 อ้างโดยวันชัย, 2545)

การเลี้ยงปลากดเหลือง

ในปัจจุบันการเลี้ยงปลากดเหลืองเป็นอาชีพที่กำลังได้รับความสนใจจากเกษตรกร แต่ข้อมูลการเลี้ยงปลากดเหลืองเชิงพานิชย์ยังมีไม่มากนักซึ่งจากการรวบรวมข้อมูลของ วสันต์ และยุพินท์ (ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์) ถึงรูปแบบการเลี้ยงปลากดเหลืองของเกษตรกรบางรายพบว่านิยมเลี้ยงกัน 2 รูปแบบคือ

1. การเลี้ยงในบ่อดิน โดยพบว่าเกษตรกรจะใช้ลูกปลากดเหลืองที่มีขนาดความยาวระหว่าง 15.0 - 17.0 เซนติเมตร และมีน้ำหนักระหว่าง 22–42 กรัม เลี้ยงในบ่อดินขนาด 2 ไร่ โดยมีอัตราการปล่อย 1,600 ตัวต่อ 1 ไร่ หรือ 1 ตัวต่อตารางเมตร โดยให้อาหารจำพวกปลาเป็ดผสมวิตามินและแร่ธาตุ ระยะเวลาการเลี้ยงประมาณ 7 เดือนได้ปลาน้ำหนัก 400- 500 กรัมน้ำหนักรวมทั้งสิ้น 2,125 กิโลกรัม คิดเป็นผลผลิตไร่ละ 1,062.5 กิโลกรัมอัตราการรอดตาย 79.82 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการแลกเนื้อเท่ากับ 4.5

2. การเลี้ยงในกระชัง ลักษณะของกระชังที่ใช้เลี้ยงมีทั้งกระชังชนิดติดอยู่กับที่และกระชังชนิดลอยบนผิวน้ำโดยมีทุ่นประกอบติดกับตัวกระชัง ซึ่งโดยทั่วไปขนาดกระชังที่เลี้ยงมีขนาดตั้งแต่ 9 ลูกบาศก์เมตร จนถึง 21 ลูกบาศก์เมตร ขนาดของปลาที่ใช้เลี้ยงส่วนใหญ่เป็นปลารุ่นขนาดความยาวลำตัว 7.17 เซนติเมตร ปล่อยในอัตรา 300 ตัว/ กระชังขนาด 9 ลูกบาศก์เมตร และปลาขนาดกลางน้ำหนัก ระหว่าง 200-250 กรัมต่อตัว ปล่อยในอัตรา 1,000 ตัว/กระชังขนาด 21 ลูกบาศก์เมตร อาหารที่ให้เป็นปลาเป็ดสับและอาหารเม็ดสำเร็จรูปสำหรับปลาดุก แต่การให้ปลาเป็ดสับพบว่าปลากดเหลืองจะมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าการให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปสำหรับปลาดุกอีกทั้งต้นทุนค่าอาหารยังต่ำกว่าอีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ วสันต์และสุขาวดี (2537) ที่พบว่าในการเลี้ยงปลากดเหลืองวัยรุ่นในกระชังขนาด 9 ลูกบาศก์เมตรเป็นเวลา 6 เดือน การให้ปลาเป็ดสับเป็นอาหารทำให้ปลากดเหลืองมีน้ำหนักเฉลี่ย 83.87 กรัม/ตัว อัตราการรอดตาย 73.79 เปอร์เซ็นต์ อัตราแลกเนื้อ 4.98 คิดเป็นต้นทุนอาหาร 24.90 บาทต่อปลา 1 กิโลกรัม (ปลาเป็ดกิโลกรัมละ 5 บาท) ขณะที่การเลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปสำหรับปลาดุก ปลากดเหลืองมีน้ำหนักเฉลี่ย 72.61 กรัม/ตัว

อัตราการรอดตาย 59.29 เปอร์เซ็นต์ อัตราแลกเนื้อ 2.76 คิดเป็นต้นทุนอาหาร 33.12 บาทต่อปลา 1 กิโลกรัม (อาหารเม็ดสำเร็จรูปสำหรับปลาดุกกิโลกรัมละ 12 บาท)

ความต้องการสารอาหารของปลากดเหลือง

1. โปรตีนและกรดอะมิโนที่จำเป็น

ปลาต้องการโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโตและสร้างเนื้อเยื่อรวมทั้งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญ ความต้องการโปรตีนของปลาแต่ละชนิดจะมีมากน้อยเพียงใดขึ้นกับปัจจัยหลายประการที่สำคัญได้แก่ ชนิด ขนาดหรืออายุของปลา คุณภาพโปรตีนในอาหารรวมถึงสภาพแวดล้อม เช่น ระดับอุณหภูมิที่ปลาอาศัยอยู่ สำหรับความต้องการโปรตีนในปลากดเหลืองนั้นจากการศึกษาของ Khan และคณะ (1993) ที่ศึกษาระดับโปรตีนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลากดเหลืองขนาด 25 กรัม พบว่าอาหารที่มีระดับโปรตีน 42 เปอร์เซ็นต์ทำให้ปลามีการเจริญเติบโตดีที่สุดหลังการเลี้ยงเป็นเวลา 12 สัปดาห์ เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารสูตรอื่น ๆ ที่มีระดับโปรตีนเท่ากับ 27, 32, 37, 47 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยทุกสูตรอาหารมีระดับพลังงานที่ย่อยได้เท่ากับ 3.69 กิโลแคลอรี่/อาหาร 1 กรัม

สำหรับความต้องการโปรตีนในปลาชนิดอื่นๆเช่น ปลากดอเมริกัน (channel catfish) Gibson และ Delbert (2001) พบว่าอาหารที่มีระดับโปรตีน 37 เปอร์เซ็นต์ และพลังงาน 3.6 กิโลแคลอรี่/อาหาร 1 กรัม ทำให้น้ำหนักรวมและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลากดอเมริกันขนาด 17 กรัมมีค่าสูงที่สุดหลังการเลี้ยงเป็นเวลา 6 สัปดาห์ เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารสูตรอื่น ๆ ที่มีระดับโปรตีนต่อพลังงาน เท่ากับ 32 / 3.0 , 37 / 3.0 , 32 / 3.6 และ 32 + กรดอะมิโน 5 เปอร์เซ็นต์ / 3.0 (เปอร์เซ็นต์โปรตีน/กิโลแคลอรี่ต่ออาหาร 1 กรัม) ตามลำดับ สำหรับความต้องการโปรตีนของปลาดุกอุยวัยรุ่น Boonyaratpalin (1988) พบว่าอยู่ที่ระดับ 25-35 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้อำนวยและเวียง (2525) ได้แสดงให้เห็นว่าอาหารที่มีระดับโปรตีนเท่ากับ 30 เปอร์เซ็นต์ สามารถทำให้ปลาดุกมีการเจริญเติบโตดีที่สุด และต้นทุนอาหารต่ำที่สุด ในขณะที่ระดับโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตในปลาดุกด้านขนาด 7 กรัม โดย ขวัญฤทัย (2527, อ้างโดยเวียง, 2542) พบว่าอาหารที่มีระดับโปรตีน 30.9 เปอร์เซ็นต์ และพลังงาน 1,800 กิโลแคลอรี่/กิโลกรัม มีผลทำให้ปลาดุกด้านมีอัตราการเจริญเติบโต อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และอัตราการรอดตายสูงสุด

สำหรับระดับกรดอะมิโนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลากดเหลืองนั้นจากการศึกษาของ ชุติมา และคณะ (2545) พบว่าระดับกรดอะมิโนที่เหมาะสมในอาหารมีผลต่อการเจริญเติบโตของปลากดเหลืองเป็นอย่างยิ่งโดยเฉพาะกรดอะมิโนที่จำเป็นซึ่งปลาไม่สามารถสังเคราะห์เองได้ โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาระดับที่เหมาะสมของกรดอะมิโนที่จำเป็น 5 ชนิดได้แก่

ไลซีน อาร์จินีน เมทไธโอนีน ลูซีน และไอโซลูซีนในอาหารสำหรับปลากดเหลืองขนาดน้ำหนัก 4 กรัม โดยใช้อาหารกึ่งบริสุทธิ์ ซึ่งมีปลาป่น เจลาติน และกรดอะมิโนรูปผลึกเป็นแหล่งโปรตีน และมีระดับกรดอะมิโนที่จำเป็นที่ใกล้เคียงกับองค์ประกอบของกรดอะมิโนของปลากดเหลือง ยกเว้นกรดอะมิโนที่ต้องการทดสอบ ซึ่งมีระดับที่แตกต่างกันจากน้อยไปหามาก สำหรับอาหารสูตรควบคุมมีปลาป่นคุณภาพดี (โปรตีน 60 เปอร์เซ็นต์) เป็นแหล่งโปรตีนแต่เพียงอย่างเดียว และระดับโปรตีน ไขมัน และพลังงานของอาหารทดลองในแต่ละการศึกษาจะมีระดับใกล้เคียงกัน ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่าระดับความต้องการไลซีน อาร์จินีน เมทไธโอนีน ลูซีน และไอโซลูซีนของปลากดเหลืองมีค่าคิดเป็นร้อยละของโปรตีนเท่ากับ 3.47, 4.74, 2.69, 3.78 และ 2.46 ตามลำดับ ซึ่งค่าความต้องการระดับกรดอะมิโนที่จำเป็นที่ได้นี้มีค่าใกล้เคียงกับระดับความต้องการกรดอะมิโนของปลากดอเมริกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปลาทั้ง 2 ชนิดมีพฤติกรรมการกินอาหารที่ใกล้เคียงกันดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ระดับความต้องการกรดอะมิโนที่จำเป็นของปลากดเหลืองเมื่อเปรียบเทียบกับปลากดอเมริกัน

ชนิดกรดอะมิโน	ปลากดอเมริกัน[1]		ปลากดเหลือง[2]	
	ระดับโปรตีนในอาหาร (%)	ปริมาณความต้องการกรดอะมิโนร้อยละของโปรตีนในอาหาร	ระดับโปรตีนในอาหาร (%)	ปริมาณความต้องการกรดอะมิโนร้อยละของโปรตีนในอาหาร
ไลซีน	24	5.10	35	3.47
	30	5.00	-	-
อาร์จินีน	24	4.30	35	4.74
เมทไธโอนีน	24	2.30	35	2.69
ลูซีน	24	3.50	35	3.78
ไอโซลูซีน	24	2.60	35	2.46
ฮีสทิดีน	24	1.50	-	-
ฟีนิลอะลานีน	24	5.00	-	-
ทริโอนีน	24	2.00	-	-
ทริปโตเฟน	24	0.50	-	-
วาลีน	24	3.00	-	-

[1]National Research Council (1993)

[2]ชุติมา และคณะ (2545)

2. ไขมันและกรดไขมันที่จำเป็น

ไขมันเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในอาหารปลาโดย Alava และ Kanazawa (1996) พบว่าไขมันเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานมากที่สุดต่อหน่วยน้ำหนักเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งพลังงานอื่นๆ คือโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต ซึ่ง Halver (1980) พบว่าไขมัน 1 กรัมให้พลังงานประมาณ 9 กิโลแคลอรี่ นอกจากนี้กรดไขมันที่เป็นอนุพันธ์ของไขมันยังมีบทบาทสำคัญอย่างมากต่อร่างกายของปลากล่าวคือ ปลานำกรดไขมันมาใช้ประโยชน์ในร่างกายโดยปฏิกิริยาทางชีวเคมี เช่น ผลิตฮอร์โมนชนิดต่าง ๆ หรือนำไปสะสมในอวัยวะ ต่าง ๆ ในร่างกายเพื่อทำหน้าที่ได้ตามปกติ เช่น บริเวณเรตินา เส้นประสาท สมอง ตับ และกล้ามเนื้อ เป็นต้น และอีกส่วนหนึ่งนำไปเผาผลาญเพื่อทำให้เกิดพลังงานออกมาอีกทั้งกรดไขมันมีส่วนช่วยในการดูดซึมวิตามินที่ละลายได้ในไขมันอีกด้วย สำหรับความต้องการไขมันของปลากดเหลืองนั้นมีเพียงรายงานของ วุฒิพร และคณะ (2541, อ้าง

โดยวุฒิพร และมายมูเน๊าะ, 2544) โดยทำการเลี้ยงปลากดเหลืองขนาด 2 นิ้วด้วยสูตรอาหารที่มีระดับไขมันในอาหารตั้งแต่ 13-25 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าน้ำหนักเฉลี่ยและน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นของปลากดเหลืองไม่มีความแตกต่างกันในทุกๆชุดการทดลองแต่ระดับกรดไขมันที่จำเป็น (ลิโนลีอิค)ที่มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลากดเหลืองอยู่ที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (วุฒิพร และมายมูเน๊าะ, 2544) สำหรับระดับไขมันที่มีผลต่อการเจริญเติบโตที่ดีในปลากดอเมริกันอยู่ที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ (Twibell and Wilson, 2003)

3. คาร์โบไฮเดรต

ปัจจุบันยังไม่มีรายงานเกี่ยวกับระดับคาร์โบไฮเดรตที่เหมาะสมต่อความต้องการของปลากดเหลือง โดยส่วนใหญ่การศึกษาความต้องการคาร์โบไฮเดรตนิยมศึกษากับปลากินพืชหรือปลากินทั้งพืชและเนื้อมากกว่า เนื่องจากปลาทั้ง 2 ประเภทนี้มีเอนไซม์ย่อยคาร์โบไฮเดรตในปริมาณมากซึ่งแตกต่างจากปลากินเนื้อ (วีรพงศ์, 2536) ดังนั้นการประมาณระดับคาร์โบไฮเดรตในอาหารปลากินเนื้อส่วนใหญ่ผู้วิจัยมักจะกำหนดตามความต้องการของปลาชนิดอื่นที่มีนิสัยการกินอาหารที่ใกล้เคียงกันหรือเป็นปลาที่อยู่ในตระกูลเดียวกัน (เวียง, 2542)

สำหรับปลากดอเมริกัน Twibell และ Wilson (2003) พบว่าปลากดอเมริกันที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์มีการเจริญเติบโตดีที่สุดเมื่อได้รับอาหารที่มีระดับ คาร์โบไฮเดรต 32.5 เปอร์เซ็นต์ และระดับไขมัน 10 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่สูตรอาหารอื่นๆที่มีระดับคาร์โบไฮเดรต 38.2 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 7.5 เปอร์เซ็นต์ และระดับคาร์โบไฮเดรต 44.0 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 5.0 เปอร์เซ็นต์ มีการเจริญเติบโตรองลงมาตามลำดับ

4. วิตามิน

สัตว์น้ำมีความต้องการวิตามินในปริมาณเล็กน้อยเพื่อนำมาใช้ในการเจริญเติบโต การดำรงชีวิต การสืบพันธุ์ให้เป็นปกติ โดยปลาได้รับวิตามินจากธรรมชาติและจากการสังเคราะห์ขึ้นมาเองแต่อาจจะไม่เพียงพอต่อความต้องการดังนั้นจึงจำเป็นต้องได้จากอาหารที่กินเข้าไป โดยในปลากดเหลือง ประกอบ (2541) ได้แสดงให้เห็นว่าปลากดเหลืองที่ไม่ได้รับวิตามินอย่างครบถ้วนทำให้ปลาอาการผิดปกติอย่างเห็นได้ชัดโดย ปลาจะมีผิวคล้ำ หนีแสง เบื่ออาหาร และมีผลต่อการเจริญเติบโตอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเปรียบเทียบกับปลาที่ได้รับวิตามินครบถ้วนและยังพบว่าปลากดเหลืองที่ได้รับวิตามินบี 5 ที่ระดับ 50-200 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีผลทำให้ปลามีการเจริญเติบโตที่ดี และไม่มีความผิดปกติทางเนื้อเยื่อหรือความผิดปกติภายนอก เมื่อเปรียบเทียบกับปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่มีการเสริมวิตามินบี 5 นอกจากนี้ สุภฎา (2541) พบว่าควรผสม แอสคอบิค-2-โมโนฟอสเฟต-แมกนีเซียม (AMP) ในปริมาณที่มีเนื้อวิตามินซี 45 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

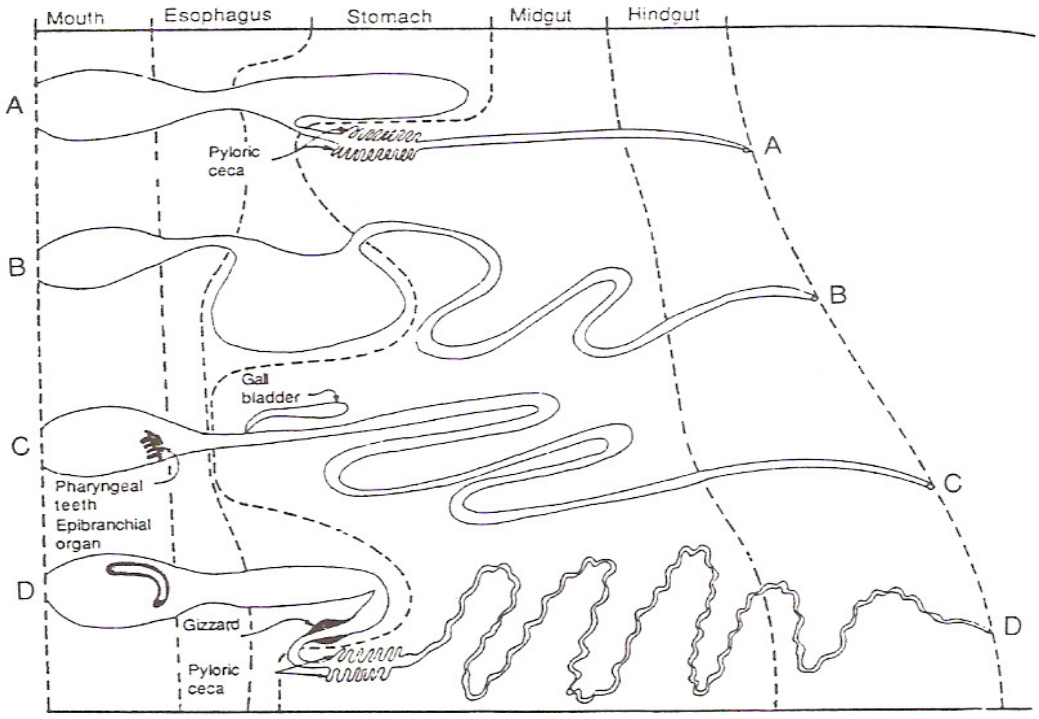
เพื่อให้ปลากดเหลืองขนาดน้ำหนัก 1.17 กรัม มีการเจริญเติบโตสูงสุด และป้องกันการขาดวิตามินซีที่แสดงออกภายนอก และในระดับเนื้อเยื่อได้

5. แร่ธาตุ

แร่ธาตุเป็นสารอนินทรีย์ที่ร่างกายต้องการเพื่อนำมาใช้ในการเจริญเติบโตและดำรงชีพ ในปลากดเหลืองยังไม่พบว่ามีการศึกษาเกี่ยวกับความต้องการปริมาณแร่ธาตุชนิดต่างๆ แต่สำหรับอาหารบริสุทธ์ (purified diets) ของปลากดอเมริกันจะใช้แร่ธาตุรวมในปริมาณ 4 กรัม ต่ออาหาร 100 กรัม (NRC, 1993)

1.2.2 ระบบการย่อยอาหารของปลา

ระบบการย่อยอาหารและกระบวนการย่อยอาหารของปลามีความสำคัญโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของปลาอาหารที่ปลากินจะเข้าสู่กระบวนการย่อยอาหาร โดยจะถูกย่อยจากสารอาหารที่มีโมเลกุลใหญ่และซับซ้อนให้เป็นสารอาหารที่มีโมเลกุลเล็ก เพื่อที่ปลาสามารถดูดซึมสารอาหารต่างๆเข้าสู่กระแสเลือดและถูกเผาผลาญเพื่อให้ได้พลังงาน โดยวีรพงศ์ (2536) กล่าวว่า คุณภาพและปริมาณของสารอาหารมีความสำคัญอย่างมากต่อประสิทธิภาพการย่อยสารอาหารของปลาเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ เนื่องจากถ้าปลาได้รับสารอาหารครบทั้งคุณภาพและปริมาณและมีการย่อยและการดูดซึมอาหารอย่างมีประสิทธิภาพ ปลาก็จะมีการเจริญเติบโตที่ดี แต่ในทางตรงข้ามถ้าปลาได้รับสารอาหารที่ไม่เหมาะสมหรือมีการย่อยและการดูดซึมไม่ดีก็จะเจริญเติบโตช้า สำหรับระบบทางเดินอาหารของปลาอาจจะมีความแตกต่างกันบ้างในด้านกายวิภาคหรือทางด้านสรีระวิทยาทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและอุปนิสัยการกินอาหารของปลา โดยทั่วไปในปลากระดูกแข็งจะมีลักษณะท่อทางเดินอาหาร 4 ลักษณะตามชนิดและอุปนิสัยการกินอาหารของปลา (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 ระบบทางเดินอาหารของปลาชนิดต่างๆ

A= ปลาเรนโบว์เทร้าท์ (ปลากินเนื้อมีกระเพาะอาหารรูปตัววาย)

B= ปลาดุก (ปลากินพืชและเนื้อแต่ส่วนใหญ่จะกินเนื้อ และมีกระเพาะอาหารเป็นถุง)

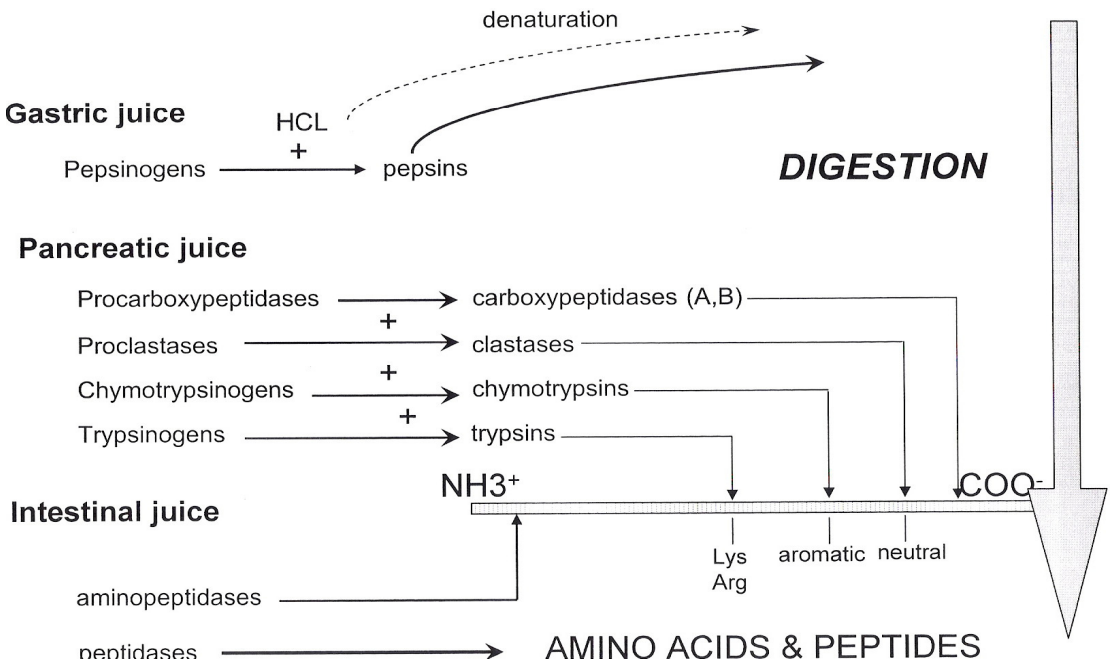
C= ปลาไน (ปลากินพืชและเนื้อแต่ส่วนใหญ่จะกินพืช และไม่มีกระเพาะอาหาร)

D= ปลานวลจันทร์ (ปลากินแพลงก์ตอนพืชมีกระเพาะอาหารเป็นท่อ)

ที่มา : Smith (1989)

จากภาพที่ 1 จะเห็นได้ว่าโดยทั่วไประบบทางเดินอาหารของปลาจะประกอบด้วย ปาก หลอดอาหาร กระเพาะอาหารและลำไส้ แต่ระบบทางเดินอาหารอาจจะมีรูปร่างที่แตกต่างกัน เนื่องจากพฤติกรรมการกินอาหารที่แตกต่างกันดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยการย่อยอาหารของปลาเริ่มต้นจากเมื่อปลากินอาหารเข้าไปก็จะมีการย่อยขนาดของอาหารให้เล็กลงโดยฟันจะทำ หน้าที่ในการบดอาหารขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลงหลังจากนั้นอาหารจะเดินทางลงสู่หลอดอาหารเพื่อผ่านต่อไปยังกระเพาะอาหารและลำไส้ ซึ่งเป็นอวัยวะที่สำคัญในการย่อยและดูดซึมสารอาหาร โดยในกระบวนการนี้เอนไซม์หรือน้ำย่อยจะมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในการย่อยสารอาหารให้มีขนาดเล็กลง โดยในกระเพาะอาหารและลำไส้จะประกอบไปด้วยเอนไซม์หลายชนิดที่มีคุณสมบัติในการย่อยสารอาหารชนิดต่าง ๆ เช่น เอนไซม์โปรติเอส (protease) เป็นเอนไซม์ที่ย่อยสารอาหารโปรตีนให้มีขนาดเล็กที่สุดออกมาในรูปของกรดอะมิโน (ภาพที่ 2) ซึ่งกระบวนการย่อยโปรตีนจะ เริ่มต้นที่กระเพาะอาหาร โดยเมื่ออาหารผ่านมาสู่กระเพาะอาหารหลังจากที่ถูกบดจนละเอียดแล้ว กระเพาะ

อาหารจะหลั่งกรดเกลือไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์เปปซิโนเจน (pepsinogens) ให้เปลี่ยนเป็นเอนไซม์เปบซิน (pepsin) ที่สามารถย่อยโปรตีนให้มีขนาดเล็กลงโดยการแยกพันธะ เปปไทด์ระหว่างกรดอะมิโนออกจากกันให้เป็นสายสั้น ๆ หลังจากนั้นก็จะย่อยต่อที่บริเวณลำไส้โดยที่ตับอ่อน และผนังลำไส้จะทำหน้าที่ในการผลิตเอนไซม์หลายชนิดเช่น ทริปซิโนเจน (trypsinogens) ไคโมทริปซิโนเจน (chymotrypsinogens) ซึ่งเอนไซม์ดังกล่าวจะถูกกระตุ้นโดยเอนไซม์เอนเตอโรไคเนส (enterokinases) ให้เปลี่ยนเป็นเอนไซม์ ทริปซิน (trypsin) เพื่อย่อยโปรตีนให้มีสายเปปไทด์ที่สั้นลงเรียกว่า เปปโตน (peptone) จากนั้นเอนไซม์หลายชนิดในกลุ่ม อะมิโนเปปติเดส (aminopeptidase) ที่ผลิตจากผนังลำไส้จะย่อยเปปโตนให้เป็นโพลีเปปไทด์ ไตรเปปไทด์และไดเปปไทด์จนในที่สุดเป็นกรดอะมิโนซึ่งเป็นหน่วยที่เล็กที่สุดของสารอาหารโปรตีน (Bassompierre, 1997)



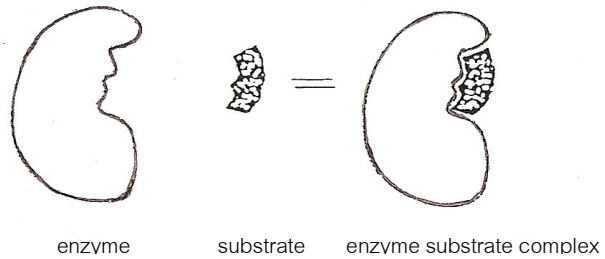
ภาพที่ 2 การทำงานของเอนไซม์โปรติเอสในการย่อยสลายโปรตีน
ที่มา : Bassompierre (1997)

สำหรับเอนไซม์ที่ย่อยไขมันได้แก่ เอนไซม์ไลเปสซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ย่อยไตรกลีเซอ-ไรด์ให้โมเลกุลของไขมันมีขนาดเล็กลงจนเป็นกรดไขมันอิสระที่ปลาสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ส่วนเอนไซม์เอสเทอเรสจะย่อยเอสเทอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อย โดยเอนไซม์ทั้ง 2 ชนิดนี้มีแหล่งกำเนิดมาจากผนังลำไส้และตับอ่อน (De Silva and Anderson,1995) ส่วนเอนไซม์ที่

สำคัญสำหรับย่อยคาร์โบไฮเดรตได้แก่ แอลฟา อะไมเลสหลั่งมาจากผนังลำไส้ ผนังกระเพาะอาหาร ตับอ่อนเป็นต้น โดยความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรตของปลาแต่ละชนิดจะแตกต่างกันค่อนข้างมาก เนื่องจากความสามารถในการสร้างเอนไซม์ แอลฟา อะไมเลส เพื่อย่อยคาร์โบไฮเดรตไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับชนิดของปลา เช่นปลากินพืชสามารถสร้างเอนไซม์แอลฟา อะ- ไมเลสได้มากกว่าปลากินเนื้อจึงส่งผลให้ปลากินพืชมีประสิทธิภาพในการย่อยคาร์โบไฮเดรตได้ มากกว่าปลากินเนื้อ ดังนั้นการใช้แป้งในอาหารปลากินเนื้อจึงใช้ได้ในระดับหนึ่งซึ่งน้อยกว่าการใช้ ในอาหารปลากินพืช

1.2.3 เอนไซม์ย่อยโปรตีน

เอนไซม์เป็นกลุ่มโปรตีนชนิดหนึ่ง ด้วยเหตุผลที่พบว่าเมื่อมีการทดสอบ โดยการนำเอนไซม์มาย่อยสลายด้วยกรดไฮโดรคลอริก หรือเอนไซม์ย่อยสลายโปรตีนก็พบว่าผลผลิตที่ได้จากการย่อยสลายเอนไซม์นั้นออกมาในรูปของกรดอะมิโน โดยเอนไซม์ที่มีอยู่ในสิ่งมีชีวิตพบทั้งในสัตว์มีกระดูกสันหลัง พืช และจุลินทรีย์ มีคุณสมบัติพิเศษในการเร่งปฏิกิริยาในการย่อยสลายสารอาหารประเภทต่าง ๆ ให้มีโมเลกุลเล็กลงได้มีอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อที่จะนำไปสู่กระบวนการสร้างพลังงาน และปลดปล่อยพลังงานจากสารอาหารเหล่านั้น ควบคู่ไปกับการนำพลังงานที่ได้ไปสร้างสารพลังงานพร้อมกับสังเคราะห์องค์ประกอบต่าง ๆ ภายในเซลล์เพื่อการเจริญเติบโตของเซลล์มีชีวิตต่อไป นอกจากนี้คุณสมบัติพิเศษของเอนไซม์อีกประการหนึ่งก็คือ เอนไซม์มี ความจำเพาะต่อสารที่ทำปฏิกิริยาที่เรียกว่า สับสเทรท (substrate) สูงมาก ดังเช่น เอนไซม์ย่อยสลายโปรตีนจะไม่ย่อยสลายพันธะไกลโคซิลของคาร์โบไฮเดรต หรือพันธะเอสเทอร์ในลิปิด และไม่สามารถย่อยสลายพันธะเปบไทด์ในโปรตีนได้ทั้งหมด (ปราณี, 2543) ดังนั้นสับสเทรทจะต้องมีโครงสร้างที่เหมาะสม และสอดคล้องกับเอนไซม์ และโคแฟคเตอร์ ซึ่งการย่อยสลายสับสเทรทของเอนไซม์นั้นมีลักษณะทางกายภาพคล้ายกับลูกกุญแจ (สับสเทรท) กับแม่กุญแจ (เอนไซม์ และโคแฟกเตอร์) โดยในการทำปฏิกิริยาเอนไซม์และโคแฟกเตอร์จะต้องจับกับสับสเทรทก่อนแล้วจึงเกิดการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายสับสเทรทได้เป็นผลผลิต (ภาพที่ 3) ดังเช่น การใช้เอนไซม์โปรติ-เอสย่อยสลายโปรตีน เมื่อสับสเทรทมีโครงสร้างที่เหมาะสมและมีความจำเพาะต่อเอนไซม์แล้วก็จะมีการจับตัวกันและเร่งปฏิกิริยาย่อยสลายได้ผลผลิตเป็นกรดอะมิโนเป็นต้น



ภาพที่ 3 ลักษณะการทำงานของเอนไซม์ในการย่อยสลายสับสเทรท
ที่มา : ปราณี (2543)

เอนไซม์โปรติเอสมีชื่อสามัญหลายชื่อ ได้แก่ เปบติเดส โปรติเอส โปรติเนส เปบ-ไทด์ไฮโดรเลสเป็นต้น จัดเป็นเอนไซม์ที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในระบบการย่อยอาหารของสัตว์มีกระดูกสันหลัง โดยเอนไซม์โปรติเอสจะทำหน้าที่เป็นเอนไซม์ที่ย่อยสลายโปรตีนให้มีขนาดเล็กลงเป็นโพลีเปบไทด์ หรือกรดอะมิโน โดยทำการย่อยสลายพันธะเปบไทด์ด้วยน้ำ (Walker *et al.*,1995 อ้างโดย วิภาวรรณ, 2544) โดยประสิทธิภาพในการย่อยสลายโปรตีนจะมีมากน้อยเพียงใดนั้น ความจำเพาะของเอนไซม์ที่มีต่อสับสเทรทของเอนไซม์นั้นมีความสำคัญอย่างยิ่ง กล่าวคือ ลักษณะการทำงานของเอนไซม์โปรติเอสในแต่ละกลุ่มจะมีความจำเพาะต่อสับสเทรทที่แตกต่างกัน เช่น เอนไซม์ในกลุ่มเซรีนโปรติเอสซึ่งประกอบด้วย α- chymotrypsin, trypsin, elastase เป็นต้น เป็นเอนไซม์ที่มีความจำเพาะกับพันธะเปบไทด์ในสายโปรตีนที่ประกอบด้วย lysine arginine phenylalanine tryptophan เป็นต้น ส่วนแอสปาร์ติกโปรติเอสเช่น เปบซิน จะมีความจำเพาะต่อพันธะเปบไทด์ที่ประกอบด้วย phenylalanine โดยการย่อยสลายโปรตีนของเอนไซม์นี้มีทั้งการย่อยสลายพันธะเปบไทด์โดยอิสระ (randomly) ภายในสายโปรตีน (endopeptidases) และการย่อยพันธะเปบไทด์จากปลายสายโปรตีน (exopeptidases)

1.2.4 การศึกษาระดับการย่อยโปรตีนในวัตถุดิบที่เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารปลาด้วยเอนไซม์โปรติเอสสกัดจากอวัยวะย่อยอาหารของสัตว์น้ำ

การนำวัตถุดิบชนิดต่างๆมาใช้ในอาหารผสมสำหรับเลี้ยงปลานั้น คุณภาพของวัตถุดิบมีความสำคัญมากที่สุดต่อการนำไปใช้ประโยชน์ของปลา โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัตถุดิบอาหารที่เป็นแหล่งโปรตีนซึ่งปลาจำเป็นต้องนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและเป็นแหล่งพลังงาน ในปัจจุบันแหล่งโปรตีนที่นิยมนำมาใช้ในอาหารผสมสำหรับปลามีอยู่ด้วยกันหลายแหล่งทั้งจากสัตว์และพืช

การเลือกวัตถุดิบชนิดใดมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาถึงความสามารถของปลาในการย่อยและดูดซึมสารอาหารจากวัตถุดิบชนิดนั้นๆมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งการทดสอบหาค่าระดับการย่อยโปรตีนจากวัตถุดิบที่เป็นแหล่งโปรตีนด้วยเอนไซม์สกัดจากอวัยวะที่ใช้ในการย่อยอาหารของปลา เช่น กระเพาะอาหาร และลำไส้เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถประเมินได้ว่าวัตถุดิบที่เป็นแหล่งโปรตีนชนิดใดมีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในอาหารปลาได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด นอกจากนั้น วิธีการหาค่าระดับการย่อยโปรตีนด้วยกระบวนการทางเอนไซม์ดังที่กล่าวมาเป็นวิธีการที่เชื่อถือได้ ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายได้เป็นอย่างดีอีกด้วย (Dimes and Haard, 1994) เช่นการทดลองของ Dimes และคณะ (1994) ที่คัดเลือกปลาป่นก่อนนำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสำหรับปลาแซลมอน โดยศึกษาระดับการย่อยสลายโปรตีนของปลาป่นจากแหล่งต่างๆได้แก่ Chilean FM Noruega, Chilean FM Negativo, Chilean FM Positivo, Norsea Mink, herring meal โดยมี casein เป็นชุดควบคุม โดยใช้เอนไซม์โปรติเอสที่สกัดจากไส้ติ่ง (pyloric cecae) ของปลาเรนโบว์เทร้าท์ปริมาณ 1 มิลลิลิตรลงในสารละลายตัวอย่าง (โปรตีนความเข้มข้น 6.25 มิลลิกรัมใน 1 มิลลิลิตร) ที่ได้จากการผสมกันระหว่างโปรตีนจากวัตถุดิบปลาป่นแต่ละชนิดกับสารละลายบัฟเฟอร์ระดับ pH 7.6 และย่อยเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส พบว่าปลาป่น Chilean FM Noruega, Chilean FM Negativo, Chilean FM Positivo มีค่าระดับการย่อยโปรตีนสูงสุดเป็นอันดับ 1,2,3 ตามลำดับ (21.0, 19.9, 19.7 เปอร์เซ็นต์) สำหรับ Norsea Mink และ herring meal มีค่าระดับการย่อยโปรตีนเท่ากับ 17.5 และ 14.4 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดย casein ซึ่งเป็นชุดควบคุมมีค่าระดับการย่อยโปรตีนเท่ากับ 25.3 เปอร์เซ็นต์

Bassompierre และคณะ (1997) ทดสอบหาค่าระดับการย่อยโปรตีนในปลาป่นที่มีระดับโปรตีนที่ละลายได้ (water soluble protein) ที่แตกต่างกันโดยใช้เอนไซม์สกัดจากกระเพาะอาหารและไส้ติ่งของปลาเรนโบว์เทร้าท์เป็นเอนไซม์ทดสอบ พบว่าปลาป่นที่มีโปรตีนที่ละลายได้เท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ มีค่าระดับการย่อยโปรตีนสูงสุดเท่ากับ 3.72 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ปลาป่นที่มีระดับโปรตีนที่ละลายได้ 25 และ 95 เปอร์เซ็นต์ มีค่าระดับการย่อยโปรตีนเท่ากับ 3.49 และ 1.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทำให้ทราบว่าคุณภาพปลาป่นมีผลต่อระดับการย่อยโปรตีนเช่นกัน

นอกจากนักวิจัยอาหารสัตว์น้ำจะมีการใช้เอนไซม์สกัดเพื่อทดสอบหาค่าระดับการย่อยโปรตีนจากปลาป่นแต่ละแหล่งเพื่อคัดเลือกปลาป่นที่มีคุณภาพมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสัตว์น้ำแล้วการทดสอบระดับการย่อยโปรตีนในวัตถุดิบพืชและในอาหารด้วยเอนไซม์สกัดเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้วัตถุดิบพืชเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่น ก็ได้รับความสนใจจากนักวิจัยอาหารสัตว์น้ำเช่นกัน ดังรายงานของ Grabner และ Hofer (1985) ได้ทำการทดสอบคุณภาพ

ของแหล่งโปรตีนโดยหาค่าระดับการย่อยโปรตีนจากวัตถุดิบพืช 2 ชนิด ได้แก่ ถั่วเหลือง (soya bean) และ broad bean ซึ่งเป็นพืชตระกูลถั่วชนิดหนึ่งมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Vicia faba* ด้วยเอนไซม์โปรติเอสที่สกัดจากกระเพาะอาหารของปลาเรนโบว์เทร้าท์ที่มีสารละลายบัฟเฟอร์ระดับ pH 3.8 เป็นเวลา 15 ชั่วโมง พบว่า ถั่วเหลืองมีค่าระดับการย่อยโปรตีนเท่ากับ 27.1 เปอร์เซ็นต์ และ broad bean มีค่าระดับการย่อยโปรตีนเท่ากับ 16.8 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการทดสอบค่าระดับการย่อยสลายโปรตีนด้วยเอนไซม์สกัดจากไส้ติ่งปลาเรนโบว์เทร้าท์ ในอาหารผสมที่มีการแทนที่โปรตีนจากปลาป่นด้วยโปรตีนจากผลิตภัณฑ์ถั่วเหลือง 2 ชนิด ได้แก่ กากถั่วเหลือง (soybean meal) และโปรตีนเข้มข้นจากถั่วเหลือง (soy protein concentrate) ที่ระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารพบว่า ค่าระดับการย่อยสลายโปรตีนในสูตรอาหารที่มีการแทนที่โปรตีนปลาป่นด้วยโปรตีนจากกากถั่วเหลืองมีค่าเท่ากับ 10.35 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าระดับการย่อยโปรตีนในสูตรอาหารที่มีโปรตีนเข้มข้นจากถั่วเหลืองแทนที่โปรตีนจากปลาป่น มีค่าระดับการย่อยโปรตีนเท่ากับ 11.55 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับสูตรควบคุม ซึ่งมีโปรตีนจากปลาป่น 100 เปอร์เซ็นต์ โดยสูตรควบคุมมีค่าระดับการย่อยโปรตีนเท่ากับ 12.42 เปอร์เซ็นต์ (Dimes and Haard, 1994) ซึ่งผลการทดสอบค่าระดับการย่อยโปรตีนของวัตถุดิบปลาป่น วัตถุดิบพืชและอาหารที่มีการแทนที่ปลาป่นด้วยวัตถุดิบพืชโดยการใช้เอนไซม์สกัดทดสอบดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นสามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 2 และ 3

จะเห็นได้ว่าวิธีการศึกษาหาค่าระดับการย่อยโปรตีนจากวัตถุดิบชนิดต่างๆที่เป็นแหล่งโปรตีนโดยการนำเอนไซม์สกัดจากอวัยวะย่อยอาหารที่เป็นแหล่งของเอนไซม์โปรติเอสของสัตว์น้ำ เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถประเมินคุณภาพของโปรตีนและเป็นข้อมูลพื้นฐานประกอบการพิจารณาคัดเลือกแหล่งโปรตีนที่มีความเหมาะสมในอาหารสัตว์น้ำเพื่อสัตว์น้ำสามารถย่อยโปรตีนจากแหล่งโปรตีนดังกล่าวไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ตารางที่ 2 ระดับการย่อยสลายโปรตีนของวัตถุดิบชนิดต่างๆ หลังการทดสอบด้วยเอนไซม์สกัด

วัตถุดิบ	เอนไซม์ที่ใช้ทดสอบระดับการย่อยโปรตีน	อุณหภูมิ	pH ของบัฟเฟอร์	ระยะเวลาการย่อยสลาย (ชั่วโมง)	ระดับการย่อยสลายโปรตีน (DH%)	ที่มา
Chilean FM Noruega Chilean FM Negativo Chilean FM Positivo Norsea Mink Herring meal Casein (Control)	Trypsin สกัดจากไส้ติ่ง (pyloric caeca)ของปลาเรนโบว์ เทร้าท์ ขนาด 250 – 500 กรัม	37°C	7.60	6 - 8	21.00 19.90 19.70 17.50 14.40 25.30	Dimes และคณะ (1994)
Fish meal (Soluble protein 20%) Fish meal (Soluble protein 25%) Fish meal (Soluble protein 95%)	Pepsin จากกระเพาะอาหาร Trypsin จากลำไส้ปลาเรนโบว์เทร้าท์ ขนาด 200 กรัม		3.80 7.80	24	4.35[1],3.33[2] 3.95[1],3.04[2] 3.42[1],3.08[2]	Bassompierre และคณะ (1997)
Soybean meal Broad bean	Pepsin สกัดจากกระเพาะอาหารปลาเรนโบว์เทร้าท์		3.80	15	27.13 10.80	Grabner และ Hofer (1985)
Chilean anchovy Mexican tuna	Hepatopancreas ของกุ้งขาว	25 °C	8.00	1	31.22 23.20	Ezquerra และคณะ

waste	*Penaeus*	33.99	(1998)
Deboned white	*vannamei* ขนาด	25.32	
fish	10 กรัม	28.60	
Menhaden A fish		28.22	
Menhaden B fish		31.13	
Langostilla			
Soybean protein			

[1]ระดับการย่อยสลายโปรตีนโดยการใช้เอนไซม์ pepsin จากกระเพาะอาหารปลาเรนโบว์เทร้าท์

[2]ระดับการย่อยสลายโปรตีนโดยการใช้เอนไซม์ trypsin จากลำไส้ปลาเรนโบว์เทร้าท์

ตารางที่ 3 ระดับการย่อยสลายโปรตีนในอาหารที่มีการแทนที่ปลาป่นด้วยวัตถุดิบพืชหลังการ ทดสอบด้วยเอนไซม์สกัด

อาหาร	ระดับโปรตีน (%)	เอนไซม์ที่ใช้ทดสอบระดับการย่อยโปรตีน	อุณหภูมิ	pH ของบัฟเฟอร์	ระยะเวลาการย่อยสลาย (ชั่วโมง)	ระดับการย่อยสลายโปรตีน (DH%)
ระดับการแทนที่โปรตีนในปลาป่นด้วยกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน[1]	48 – 50.6	ไส้ติ่ง (pyloric caeca) ของปลา Coho salmon ขนาด (2.57 กรัม)	15 °C	7.60	4	
						19.18
0						18.44
15						18.47
20						17.48
25						18.59
25+กุ้งเคยป่น5%						
Herring meal (HM)	40	Trypsin สกัด	15 °C	7.60	6 - 8	12.42

[2]	จากไส้ติ่ง	10.35
HM: SBM[3] (3:1	(pyloric caeca)	11.55
w/w)	ของปลา เรน	
HM: SBC[4](3:1 w/w)	โบว์เทร้าท์	
	ขนาด	
	(2.40 กรัม)	

[1]Haard และคณะ (1996)

[2]Dimes และ Haard (1994)

[3]SBM = ถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน (soybean meal)

[4]SBC = โปรตีนเข้มข้นจากถั่วเหลือง (soybean concentrate)

1.2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายโปรตีนในวัตถุดิบชนิดต่างๆ โดยเอนไซม์โปรติเอสจากสัตว์น้ำ

ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายโปรตีนในวัตถุดิบโดยการใช้เอนไซม์โปรติเอสสกัดมีหลายประการ เช่น วัตถุดิบ pH อุณหภูมิ และระยะเวลาในการย่อยสลายเป็นต้น

1. วัตถุดิบ

ชนิดและองค์ประกอบของวัตถุดิบ การเตรียมวัตถุดิบ ความเข้มข้นของวัตถุดิบ มีผลต่อการย่อยสลายโปรตีน โดย Bassompierre และคณะ (1997) กล่าวว่า ชนิดของวัตถุดิบมีผลต่อระดับการย่อยสลายโปรตีน โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัตถุดิบที่มีสารต้านโภชนาการ (anti-nutritional factor) อยู่ในระดับสูงซึ่งพบได้ในวัตถุดิบพืชหลายชนิด โดยจากการทดลองของ Bassompierre และคณะ (1997) พบว่าปลาป่นที่มีระดับโปรตีนที่ละลายได้ในปริมาณต่ำมีค่าระดับการย่อยโปรตีนที่สูงกว่าปลาป่นที่มีระดับโปรตีนที่ละลายได้สูงหลังจากการใช้เอนไซม์สกัดจากกระเพาะอาหารและไส้ติ่งของปลาเรนโบว์เทร้าท์เป็นเอนไซม์ทดสอบ นอกจากนี้ปริมาณไขมันในวัตถุดิบยังมีผลต่อการย่อยสลายอีกด้วย วัตถุดิบที่มีระดับไขมันสูงอาจเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นขึ้นในระหว่างการย่อยสลาย (Mackie,1982 อ้างโดยวิภาวรรณ, 2544) และวัตถุดิบที่มีส่วนของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันมากก็จะทำให้ค่าระดับการย่อยโปรตีนต่ำได้เช่น การทดลองของอัจฉริยา (2542) พบว่าค่าระดับการย่อยโปรตีนของเครื่องในปลาทูน่ามีค่าสูงกว่าค่าระดับการย่อยโปรตีนในหัวปลาทูน่า ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ให้เหตุผลว่า ในส่วนของหัวปลาทูน่ามีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันมากทำให้ยากต่อการบดและการย่อยสลายด้วยเอนไซม์

2. ระดับ pH ในสารละลายบัฟเฟอร์

ระดับ pH ที่เหมาะสมมีผลต่อเสถียรภาพและแอคติวิตีของเอนไซม์ กล่าวคือ ระดับ pH จะมีผลต่อการแตกตัวของอิออนของ phototropic group ที่อยู่ในบริเวณเร่งของเอนไซม์ทำให้เอนไซม์มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนโครงรูปสามมิติ ซึ่งจะมีผลต่อการเบี่ยงเบนในการจับ กับสับสเทรท หรือการเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้ pH ยังมีผลต่อการเกิดการจับตัวระหว่าง เอนไซม์ กับสับสเทรท การแตกอิออนของสับสเทรท และโคแฟกเตอร์ซึ่งจะนำไปสู่การจับกับเอนไซม์ที่เปลี่ยนไปด้วย ดังนั้นในปฏิกิริยาจะต้องควบคุม pH ให้เหมาะสมสูงสุดที่ไม่ให้แอคติวิตีของเอนไซม์ถูกยับยั้ง ซึ่งโดยทั่วไปเอนไซม์โปรติเอสแต่ละชนิดจะมีระดับ pH ที่เหมาะสมต่อเสถียรภาพและ แอคติวิตีของเอนไซม์แตกต่างกัน เช่น เปปซิน จะมีระดับ pH ที่เหมาะสำหรับโปรตีนทั่วไปเท่ากับ 2 และมีความเสถียรของเอนไซม์ที่ pH เท่ากับ 2.5 ส่วน ทริปซินจะมีระดับ pH ที่เหมาะสำหรับโปรตีนทั่วไปอยู่ระหว่าง 7 – 11 เป็นต้น (ปราณี, 2543)

3. อุณหภูมิ

อุณหภูมิที่เลือกใช้ในการย่อยสลายโปรตีนควรเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของเอนไซม์เนื่องจากอุณหภูมิที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มอัตราการเร่งปฏิกิริยาทำให้เอนไซม์มีการจับตัวกับสับสเทรทได้เร็วขึ้น โดยปกติการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์จะเร็วขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปก็อาจจะทำให้เอนไซม์เสียสภาพได้ ซึ่งการทดสอบอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์อาจทำได้โดยการบ่มเอนไซม์ที่อุณหภูมิต่างๆ ที่ระยะเวลาหนึ่งเท่ากับเวลาของการวิเคราะห์และนำมาหาแอคติวิตีของเอนไซม์ในแต่ละอุณหภูมิ (ปราณี, 2543)

4. ระยะเวลาในการย่อยสลาย

ระยะเวลาในการย่อยสลาย มีความสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราส่วนของกรดอะมิโนไนโตรเจนต่อไนโตรเจนรวม วิภาวรรณ (2544) รายงานว่าโดยทั่วไประดับการย่อยสลายโปรตีนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะเริ่มต้นของการย่อยสลาย และหลังจากนั้นระดับการย่อยสลายจะคงที่หรือเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ปกติในการทดลองหาค่าระดับการย่อยโปรตีนในวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ โดยการใช้เอนไซม์สกัดจากสัตว์น้ำนั้นผู้วิจัยมักจะกำหนดระยะเวลาในการย่อยสลายโดยวิธีการเลียนแบบธรรมชาติที่สัตว์น้ำแต่ละชนิดใช้เวลาจริง ๆในการย่อยอาหารในกระเพาะอาหารหรือลำไส้

1.2.6 การใช้ผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารปลา

ผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนที่นักวิจัยอาหารสัตว์น้ำพบว่าสามารถนำมาใช้ในอาหารสัตว์น้ำได้ดีแหล่งหนึ่ง (แพรวพรรณ และดรุณี, 2542) โดยพบว่าเมื่อมีการนำผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองมาใช้ในอาหารสัตว์น้ำชนิดต่างๆในระดับที่เหมาะสมแล้วสามารถทำให้ปลามีการ

เจริญเติบโตที่ดี และอัตราการรอดตายสูงใกล้เคียงกับสูตรควบคุมที่มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนเพียงอย่างเดียว เช่น ปลากะพงขาว (จูอะดี และมะลิ, 2538 ; มะลิ และคณะ, 2539) ปลานิล (Viola *et al.,* 1988; Shiau *et al.,*1987; Wee and Shu, 1989) เป็นต้น ดังนั้นจะเห็นได้ว่าในขณะที่ปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนจากสัตว์กำลังประสบปัญหาขาดแคลน และราคาสูง การนำโปรตีนจากผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองมาใช้ในการผลิตอาหารสัตว์น้ำจึงเป็นหนทางหนึ่งที่สามารถลดการใช้ปลาป่นให้ลดน้อยลง ซึ่งเป็นผลดีต่อปริมาณทรัพยากรสัตว์น้ำโดยเฉพาะประชากรปลาที่นำมาใช้ทำปลาป่นให้คงอยู่ตลอดไป รวมถึงการนำเอาผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นมาใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่าแต่ระดับการใช้ผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองในอาหารสัตว์น้ำที่เหมาะสมจะต้องขึ้นอยู่กับชนิด ปริมาณและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองด้วย ซึ่งชนิดและคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตอาหารสัตว์น้ำมีดังนี้

กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน

เป็นวัตถุดิบอาหารที่มีโปรตีนสูงโดย Sitasit (1993) รายงานว่าโปรตีนในกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันในประเทศไทย มีมากกว่า 42 เปอร์เซ็นต์ กากถั่วเหลืองที่สกัดน้ำมันจะมีคุณค่าทางโภชนาการดีกว่าถั่วเหลืองที่อัดน้ำมัน เนื่องจากกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันได้ผ่านกระบวนการผลิตโดยใช้ความร้อนสูงทำให้สามารถทำลายสารยับยั้ง ทริปซินได้เกือบทั้งหมด อีกทั้งยังจะป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาเหม็นหืนอีกด้วย (วีรพงศ์, 2536) ในปัจจุบันได้มีความพยายามที่จะนำกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันมาผสมในอาหารปลาเพื่อทดแทนการใช้ปลาป่นซึ่งมีราคาแพงโดย Chuapoehuk และคณะ (1997) พบว่า กากถั่วเหลืองสามารถนำมาใช้ในอาหารสัตว์น้ำได้ถึง 30-50 เปอร์เซ็นต์ สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของกากถั่วเหลืองดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีของกากถั่วเหลือง

ส่วนประกอบ	%	กรดอะมิโน	%
ความชื้น	10	ไลซีน	2.73
โปรตีน	44	เมทไธโอนีน	0.59
ไขมัน	1	เมทไธโอนีน + ซีสตีน	1.26
เยื่อใย	7.0	ทริปโตเฟน	0.59
เถ้า	6.0	ทรีโอนีน	1.72
แคลเซียม	0.25	ไอโซลูซีน	2.17
ฟอสฟอรัสใช้ประโยชน์ได้	0.20	อาร์จินีน	3.18

		ลูซีน	3.39
		เฟนนิลอะลานีน + ไทโรซีน	3.82
		ฮีสติดีน	1.11
		เวลีน	2.24
		ไกลซีน	1.83

ที่มา : กรมปศุสัตว์ (ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์)

เมล็ดถั่วเหลือง

เมล็ดถั่วเหลืองมีคุณค่าทางโภชนาการใกล้เคียงกับกากถั่วเหลือง อีกทั้งยังมีราคาต่ำกว่ากากถั่วเหลืองอีกด้วย ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตให้ต่ำลงแต่ควรนำเมล็ดถั่วเหลืองผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที เพื่อช่วยลดสารยับยั้งทริปซิน แล้วนำไปบดให้ละเอียดและต้องใช้ที่บดแล้วให้หมดด้วย (วีรพงศ์, 2536) เนื่องจากเมล็ดถั่วเหลืองที่เหลือใช้เมื่อเก็บไว้อาจจะทำให้เหม็นหืนได้ สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเหลืองทั้งเมล็ดดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีของถั่วเหลืองทั้งเมล็ด

ส่วนประกอบ	%	กรดอะมิโน	%
ความชื้น	10	ไลซีน	2.40
โปรตีน	38	เมทไธโอนีน	0.54
ไขมัน	18	เมทไธโอนีน + ซีสตีน	1.09
เยื่อใย	5.0	ทริปโตเฟน	0.52
เถ้า	4.6	ทรีโอนีน	1.69
แคลเซียม	0.25	ไอโซลูซีน	2.18
ฟอสฟอรัสใช้ประโยชน์ได้	0.20	อาร์จินีน	2.80
		ลูซีน	2.80
		เฟนนิลอะลานีน + ไทโรซีน	3.30
		ฮีสติดีน	1.01
		เวลีน	2.02
		ไกลซีน	2.00

ที่มา : กรมปศุสัตว์ (ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์)

ถึงแม้ว่าผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองจะมีระดับโปรตีนสูงเหมาะสำหรับนำมาใช้ทดแทนปลาป่นในอาหารสัตว์น้ำแต่ Chuapoehuk และคณะ (1997) พบว่าการใช้ผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองในปริมาณสูงหรือนำมาใช้ทดแทนปลาป่นในสัดส่วนที่สูงเกินไปมีแนวโน้มว่าสัตว์น้ำมีการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลงเนื่องจากถั่วเหลืองมีปัจจัยจำกัด ดังต่อไปนี้

1. ความไม่สมดุลของกรดอะมิโนในถั่วเหลือง โดยในผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองทุกชนิดจะมีกรดอะมิโน methionine ในปริมาณน้อยไม่เพียงพอกับความต้องการของสัตว์น้ำ นอกจากนี้ในขั้นตอนของการแยกน้ำมัน หรือการทำให้ถั่วเหลืองสุก ถั่วเหลืองจะได้รับความร้อนทำให้ปริมาณของกรดอะมิโน lysine ที่สัตว์น้ำสามารถใช้ได้มีปริมาณลดลงเนื่องจากปฏิกิริยา browning reaction ระหว่าง lysine กับสารประกอบคาร์โบไฮเดรตในกากถั่วเหลือง

2. ถั่วเหลืองดิบมีเอนไซม์ยูริเอส (urease) ซึ่งจะย่อยโปรตีนในถั่วเหลืองให้สลายไปเรื่อย ๆ หากเก็บไว้นานปริมาณโปรตีนจะลดลง (พันทิพา, 2538)

3. ถั่วเหลืองดิบมีสารต้านโภชนาการต่าง ๆหลายชนิด เช่น protease inhibitor (trypsin inhibitor), phytohaemaglutinins, phytic acid และ saponins เป็นต้น (Tacon, 1992) ในบรรดาสารเหล่านี้ trypsin inhibitor เป็นสารที่มีบทบาทสำคัญที่สุด ซึ่งมีปฏิกริยาขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ trypsin ในการย่อยโปรตีนโดยจะรวมตัวกับ trysinogen ที่ตับอ่อนผลิตออกมาทำให้เอนไซม์ enterokinase ของลำไส้เล็กไม่สามารถเปลี่ยน trypsinogen ไปเป็น trypsin ได้มีผลทำให้การย่อยโปรตีนไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้ตับอ่อนก็จะผลิตและขับเอนไซม์ออกมามาก เอนไซม์ที่เหลือใช้จะถูกขับออกนอกร่างกายมากกว่าปกติ ทำให้ร่างกายขาดกรดอะมิโน methionine เนื่องจากสัตว์ต้องใช้ในการผลิตเอนไซม์มากขึ้น จึงมีผลต่อการเจริญเติบโตของสัตว์ที่ลดลง (จารุรัตน์, 2528)

1.2.7 ประสิทธิภาพการย่อยอาหาร

ประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลาเป็นค่าที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอาหารที่ปลาได้รับและปริมาณสารอาหารที่ถูกย่อยและดูดซึม ซึ่งชี้ให้เห็นว่าปลามีความสามารถในการย่อยอาหารหรือสารอาหารต่างๆ ได้ดีเพียงใด โดยทั่วไปอาหารที่กินเข้าไปจะถูกย่อยจากโมเลกุลขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลงและถูกดูดซึม ฉะนั้นการประเมินประสิทธิภาพการย่อยอาหารจึงอาจคำนวณได้จากผลต่างของอาหารที่กินเข้าไปและมูลที่ขับออกมา ซึ่งจะได้เป็นอาหารที่ถูกย่อยหรือดูดซึมเข้าไปนั้นเอง ต่อมามีการพัฒนาศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลาโดยใช้สารอินดิเคเตอร์ ซึ่งสามารถทราบถึงเปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของธาตุอาหารหรืออาหาร เปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของธาตุอาหารถูกแสดงออกมาในลักษณะของสัมประสิทธิ์การย่อยธาตุอาหาร (apparent digestibility coefficient) (วีรพงศ์, 2536)

การประเมินประสิทธิภาพการย่อยอาหารแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. ประสิทธิภาพการย่อยอาหารแท้จริง (true digestibility) เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลา ที่มีการพิจารณาถึงปริมาณของสารภายในตัวปลา (endogenous material) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารประกอบไนโตรเจน เช่น เอนไซม์ เปปไทด์ (peptide) เซลล์บุผิว (epithelial cell) ที่ถูกขับออกมาพร้อมกับมูลปลา ในการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารแท้จริงจะให้ปลากินอาหารที่ไม่มีสารประกอบไนโตรเจน เพื่อใช้ประเมินค่าสารประกอบไนโตรเจนในตัวปลาซึ่งถูกขับออกมาพร้อมมูล

2. ประสิทธิภาพการย่อยอาหารเสมือน (apparent digestibility) จะไม่นำค่าสารประกอบไนโตรเจนภายในตัวปลาซึ่งถูกขับมาพร้อมมูลปลามาใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพการย่อยอาหาร (Lovell, 1988)

สำหรับการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลามี 3 วิธี คือ

1. วิธีตรง (direct method) เป็นการวัดสารอาหารทั้งหมดที่ปลากินเข้าไปและขับออกมาในมูลปลาโดยตรง โดยขังปลาในเมแทบอลิซึมแชมเบอร์และบังคับให้ปลากินอาหาร จากนั้นจึงเก็บมูลปลาซึ่งต้องใช้เวลานาน และประเมินค่าประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลาโดยใช้สมการ (Lovell, 1988)

$$\text{ประสิทธิภาพการย่อย (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{ปริมาณสารอาหารที่ปลากิน} - \text{ปริมาณสารอาหารที่ขับออกมาในมูลปลา}}{\text{ปริมาณสารอาหารที่ปลากิน}} \times 100$$

2. วิธีอ้อม (indirect method) เป็นการใช้อินดิเคเตอร์หรือเครื่องหมาย (indicator or marker) เติมไปในอาหารแล้วหาสัดส่วนของอาหารต่ออินดิเคเตอร์ที่มีในอาหารและมีในมูลปลาสมการที่ใช้ในการประเมินค่าประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลาด้วยวิธีนี้ คือ (Lovell, 1988)

$$\text{ประสิทธิภาพการย่อย (เปอร์เซ็นต์)} = 100 - \left(\frac{\text{ปริมาณสารอาหารที่ปลากิน}}{\text{ปริมาณสารอาหารในมูลปลา}} \times \frac{\text{ปริมาณอินดิเคเตอร์ในมูล}}{\text{ปริมาณอินดิเคเตอร์ในอาหาร}} \right) \times 100$$

3. วิธี Assay diets เนื่องจากการใช้วัตถุดิบอาหารเพียงชนิดเดียว ในการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารและการดูดซึมสารอาหารบางชนิดนั้นอาจมีปัญหาในการศึกษา เนื่องจาก

ปลาไม่ยอมรับอาหารที่ต้องการทดสอบ จึงได้มีการพัฒนาวิธีการนี้ขึ้นโดยสร้างสูตรอาหารที่เป็นสูตรอาหารอ้างอิง (reference diet) กับสูตรอาหารที่ต้องการทดสอบ (test diet) โดยใช้สูตรอาหารที่ต้องการทดสอบที่มีวัตถุดิบอาหารอ้างอิงในปริมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ และมีวัตถุดิบที่ต้องการทดสอบในปริมาณ 30% ซึ่งการหาค่าสัมประสิทธิ์การย่อยของวัตถุดิบทำได้โดยการศึกษาโดยวิธีอ้อมซึ่งมีสมการที่ใช้ในการประเมินค่า (Sugiura *et al.,* 1998) ดังนี้

ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนของวัตถุดิบ (เปอร์เซ็นต์)

= [(ปริมาณโปรตีนในอาหารทดสอบ x ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในอาหารทดสอบ) – (0.7 x ปริมาณโปรตีนในอาหารอ้างอิง x ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในอาหารอ้างอิง)] / (0.3 x ปริมาณโปรตีนในวัตถุดิบทดสอบ)

วิธีศึกษาที่ 2 และ 3 เป็นวิธีที่นิยมกันมากในปัจจุบัน แต่จำเป็นต้องศึกษาว่าอินดิเคเตอร์ชนิดใดที่ใช้แล้วมีความเหมาะสมกับปลาแต่ละชนิดด้วยทั้งนี้เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง

สำหรับอินดิเคเตอร์ที่ใช้ควรมีคุณสมบัติคือ ปลาไม่สามารถย่อยได้คุณสมบัติทางเคมีไม่เปลี่ยนแปลง ไม่เป็นพิษต่อปลา ง่ายต่อการตรวจสอบ และมีอัตราการเคลื่อนที่ในทางเดินอาหารเช่นเดียวกับอาหารที่ปลากิน (Lovell, 1988) ซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภท (De Silva and Anderson,1995) คือ

1. อินดิเคเตอร์ภายนอก (external indicator) เช่น Cr_2O_3, FeO, SiO_2, polypropylene เป็นต้นโดยนิยมใช้ Cr_2O_3 เป็นอินดิเคเตอร์ในการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลา

2. อินดิเคเตอร์ภายใน (internal indicator) ใช้สารที่มีอยู่ในธรรมชาติเป็นอินดิเค-เตอร์ในการศึกษาประสิทธิภาพในการย่อยอาหารของปลา ได้แก่ crude fiber ซึ่งมีเซลลูโลส (cellulose) และลิกนิน (lignin) เป็นส่วนประกอบหลัก hydrolysis-resistant ash ซึ่งมีคุณสมบัติเป็น mineral ash ที่ทนทานต่อการย่อยด้วยกรด

นอกจากการเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมกับปลาแต่ละชนิดแล้ว วิธีการเก็บรวบรวมมูลปลาก็มีความสำคัญต่อการประเมินประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลา เนื่องจากมูลของปลาอยู่ในน้ำทำให้มูลบางส่วนอาจละลายน้ำและสารอาหารละลายออก เมื่อนำไปวิเคราะห์พบว่าสารอาหารในมูลมีค่าต่ำกว่าความจริง ซึ่งมีผลทำให้ประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลามีค่าสูงเกินจริง (Henken *et al* ., 1997 อ้างโดย Degani *et al* , 1997) วิธีการเก็บมูลปลาเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลามีดังนี้ (วีรพงศ์, 2536)

1. การตัดลำไส้ (intestinal dissection) โดยตัดส่วนปลายลำไส้เหนือช่องทวารขึ้นมาประมาณ 2.5 เซนติเมตร หรือมากกว่าเล็กน้อย (ขึ้นกับชนิดของปลา) เนื่องจากเป็นบริเวณที่เสร็จสิ้นการย่อยอาหารแล้วพร้อมจะขับถ่ายออกนอกตัวปลา

2. การดูดช่องทวาร (anal suction) วิธีนี้มีอุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็นแก้ว (glass cannula) และมีปั๊มดูดอากาศ เพื่อดูดมูลของปลาออกมาจากช่องทวารโดยไม่ต้องฆ่าปลา

3. การรีด (stripping) ทำได้โดยการจับปลามารีดบริเวณท้องและช่องทวารเพื่อให้มูลออกมา

4. การรวบรวมในน้ำ (collection from water column) วิธีนี้ปล่อยให้ปลาถ่ายมูลออกมาตามปกติแล้วทำการรวบรวมมูลทันที วิธีการเก็บมูลอาจแตกต่างกันไป ตั้งแต่การใช้ผ้าตาถี่หรือตะแกรงตาถี่รองอยู่ด้านล่างตู้ทดลอง โดยเมื่อปลาถ่ายมูลออกมาก็สามารถยกผ้าหรือตะแกรงออกหรืออาจใช้สายยางพลาสติกขนาดเล็กเข้าไปดูดหรือกาลักน้ำให้มูลปลาออกมาหรืออาจใช้เครื่องเก็บมูลอัตโนมัติ เป็นต้น ในปัจจุบันจะนิยมใช้วิธีนี้กันมาก เนื่องจากมีการรบกวนปลาน้อย Degani และคณะ (1997) ทำการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารในปลา carp (*Cyprinus carpio* L.) พบว่ามูลปลามีการละลายน้ำอย่างรวดเร็ว ด้วยเหตุนี้จึงเป็นการยากที่จะได้มูลมาโดยไม่สูญเสียจากการละลายน้ำ ดังนั้นจึงใช้วิธีการรวบรวมมูลโดยการรีด นอกจากนี้ Spyridakis และคณะ (1989) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลากะพงยุโรป (European seabass, *Dicentrachus labrax*) โดยเปรียบเทียบการเก็บรวบรวมมูลปลาด้วยวิธีการต่างๆ คือการตัดลำไส้ การดูดช่องทวารหนัก การรีด และการเก็บรวบรวมมูลปลาจากในน้ำ 3 วิธี คือเก็บรวบรวมมูลปลาหลังจากให้อาหาร 15 ชั่วโมง (immediate pipetting) การกรองมูล (continuous filtration) และการเก็บรวบรวมโดยใช้อุปกรณ์รวบรวมมูลตกตะกอนและแยกมูลปลาออกจากน้ำ (decantation) พบว่าการรวบรวมโดยให้มูลปลาตกตะกอนและแยกมูลออกจากน้ำ เป็นวิธีการเก็บมูลปลาที่เหมาะสมต่อการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลาเมื่อพิจารณาจากประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน และประสิทธิภาพการย่อยไขมัน ดังแสดงในตารางที่ 6 แต่อย่างไรก็ตาม การเก็บมูลโดยการรวบรวมมูลหลังให้อาหาร 15 ชั่วโมง และการกรองมีข้อดีเนื่องจากปลา ถูกรบกวนน้อยกว่าวิธีอื่นๆ

ตารางที่ 6 ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนและไขมันของปลาเมื่อใช้การเก็บรวบรวมข้อมูลปลาด้วยวิธีการต่าง ๆ

วิธีการเก็บรวบรวมมูลปลา	ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน (%)	ประสิทธิภาพการย่อยไขมัน (%)
การรีด	82.5±1.4 [a]	94.1±0.8 [a]
การตัดลำไส้	84.4±0.8 [ab]	95.0±0.4 [ab]
การดูดช่องทวาร	86.6±0.3 [b]	96.3±0.4 [b]
การกรอง	90.4±0.6 [c]	93.0±0.2 [b]
การรวบรวมมูลปลาหลังให้อาหาร 15 ชั่วโมง	90.6±0.3 [c]	97.3±0.2 [b]
การรวบรวมมูลปลาโดยให้มูลปลาตกตะกอนและแยกมูลปลาออกจากน้ำ	94.2±0.1 [d]	97.1±0.3 [b]

ที่มา: Spyridakis และคณะ (1989)

1.3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาระดับการย่อยโปรตีนของผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองชนิดต่างๆด้วยเอนไซม์ โปรติเอสที่สกัดจากกระเพาะอาหารของปลากดเหลืองเพื่อเลือกผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองที่มีระดับการย่อยโปรตีนสูงมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารปลากดเหลือง

2. ศึกษาผลของระดับการใช้ผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองที่มีค่าระดับการย่อยโปรตีนสูงแทนที่ปลาป่นในอาหารต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลากดเหลือง

3. ศึกษาประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนของปลากดเหลืองหลังได้รับอาหารผสมที่ใช้ผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนที่ระดับต่างๆ