บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

ปลากะพงขาว (*Lates calcarifer* Bloch) เป็นปลาน้ำกร่อยที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เนื่องจากเป็นที่ปลาที่เลี้ยงง่าย โตเร็ว เนื้อสีขาวรสหวาน เป็นที่นิยมบริโภคของคนทุกชาติ และมีการเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายในภูมิภาคเอเชีย อาทิเช่น ฮ่องกง, อินโดนีเซีย, มาเลเซีย, ฟิลิปปินส์, สิงคโปร์ รวมทั้งประเทศไทยซึ่งมีการเลี้ยงทั้งด้านอ่าวไทยและด้านฝั่งทะเลอันดามันมานานกว่า 20 ปี โดยในปี พ.ศ. 2540 มีผลผลิตปลากะพงขาวถึง 4,090 ตัน คิดเป็นร้อยละ 83.76 ของผลผลิตที่ได้จากปลาน้ำกร่อยทั้งหมด สำหรับในภาคใต้จำนวน 12 จังหวัด ในปี 2540 มีพื้นที่เลี้ยงปลากะพงขาวรวม 105.26 ไร่ เพิ่มขึ้นจากปี 2539 ร้อยละ 11.14 และมีผลผลิตปลากะพงขาวจำนวน 1,619 ตัน (มลฤดี, 2542) ซึ่งมีทั้งการเลี้ยงในบ่อดินและในกระชังโดยการเลี้ยงในกระชังนั้นจะเลี้ยงในบริเวณปากแม่น้ำ ลำคลองที่ติดต่อกับทะเล หรือบริเวณอ่าวและทะเลสาบ เช่น มีการเลี้ยงอย่างหนาแน่นบริเวณทะเลสาบสงขลาตอนนอก (Boonyaratpalin, 1989)

ในการเลี้ยงปลากะพงขาวในกระชังนั้น เกษตรกรนิยมใช้ปลาเป็ดเป็นอาหารปลากะพงขาว ซึ่งอาหารดังกล่าวมีคุณภาพและปริมาณไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับฤดูกาล ส่งผลให้ปลาอ่อนแอเป็นโรคง่าย มีอัตราการตายสูง โดยเฉพาะปลาที่มีขนาดเล็กกว่า 4 นิ้ว (มะลิ และคณะ, 2532) อีกทั้งยังมีผลให้สภาพแหล่งเลี้ยงเสื่อมโทรมและน้ำเสีย ในการแก้ปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการทดลองใช้อาหารรูปแบบต่างๆ ที่มีส่วนประกอบของปลาป่นเป็นหลักเลี้ยงปลากะพงขาวทดแทนการใช้ปลาสดและปลาเป็ดได้ผลสำเร็จมาบ้างแล้ว เช่น อาหารเม็ดแบบเปียก, อาหารเม็ดแบบแห้ง อาหารผสม หรือ อาหารเม็ดสำหรับสัตว์น้ำชนิดอื่นๆ เช่น อาหารกุ้ง, อาหารกบ และอาหารปลาดุก เป็นต้น (ธวัช, 2538) โดยพบว่าการใช้อาหารสำเร็จรูปทำให้ปลาโตเร็วกว่าการใช้ปลาเป็ดประมาณเท่าตัว มีอัตราแลกเนื้อต่ำคือ 1.0 – 1.2 และมีอัตรารอดตาย 90 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปลาเป็ดมีอัตราแลกเนื้อสูงถึง 6 หรือ 7 และมีอัตรารอดตายไม่แน่นอน (มะลิ และคณะ, 2532) ดังนั้นในอนาคตมีแนวโน้มว่าเกษตรกรจะใช้อาหารสำเร็จรูปในการเลี้ยงปลากะพงขาวเช่นเดียวกับการเลี้ยงปลาชนิดอื่น เพื่อความสะดวกและแก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้น (ธวัช, 2538) แต่ในปัจจุบันเริ่มประสบปัญหาปลาป่นที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารมีคุณภาพโปรตีนไม่แน่นอน เนื่องจากผลผลิตปลาที่จะนำมาใช้ผลิตปลาป่นมีปริมาณลดน้อยลงแต่ความต้องการใช้ปลาป่นมี

เนื่องจากผลผลิตปลาที่นำมาใช้ผลิตปลาป่นมีปริมาณลดน้อยลงแต่ความต้องการใช้ปลาป่นเพิ่มขึ้น ทำให้มีการปลอมปนด้วยวัตถุดิบที่มีคุณภาพโปรตีนต่ำ อีกทั้งปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนที่มีราคาแพง และอาจขาดแคลนในอนาคต

โปรตีนจากพืชจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่นักวิชาการอาหารนำมาใช้ทดแทนปลาป่นเป็นผลสำเร็จ เช่น คอร์น กลูเตน มีล (corn gluten meal) (Ballestrazzi *et al*., 1994) และผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองชนิดต่างๆ (มะลิ และคณะ, 2539) ซึ่งถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนที่เหมาะสมที่สุด เพราะมีองค์ประกอบของกรดอะมิโนดีกว่าแหล่งโปรตีนพืชชนิดอื่น นอกจากนี้ยังมีปริมาณมากเพียงพอกับความต้องการของตลาด (จูอะดี และ มะลิ, 2538) แม้ว่าวัตถุดิบพืชจะเป็นแหล่งโปรตีนสำรองที่สามารถใช้ในการผลิตอาหารแต่ยังประสบกับปัญหาเกี่ยวกับระดับโปรตีนจากพืชที่เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์จากโปรตีนในอาหารของปลา เนื่องจากปลาแต่ละชนิดและแต่ละขนาดมีความสามารถย่อยโปรตีนจากพืชได้แตกต่างกัน ดังนั้นการศึกษาระดับโปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันที่ใช้แทนที่ปลาป่น เพื่อหาความเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน และสิ่งขับถ่ายไนโตรเจน จึงน่าจะเป็นแนวทางหนึ่งซึ่งจะช่วยให้การเพาะเลี้ยงปลากะพงขาวสามารถเลี้ยงได้อย่างยั่งยืน ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อปลาได้รับอาหารที่มีโปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันแทนที่โปรตีนจากปลาป่นในระดับที่เหมาะสม ส่งผลให้ปลามีการเจริญเติบโตดี และสามารถลดสิ่งขับถ่ายไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสู่สิ่งแวดล้อม

1.2 ตรวจเอกสาร

ปลากะพงขาวมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Lates calcarifer* (Bloch) มีชื่อสามัญว่า ปลากะพงขาว ปลากะพงน้ำจืด และมีชื่อสามัญภาษาอังกฤษว่า giant seaperch, seabass (กรมประมง, 2530; มะลิ และคณะ, 2539) เป็นปลาที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งในประเทศเขตร้อน ประเทศทางตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิกและมหาสมุทรอินเดีย ได้แก่ ประเทศอินเดีย, ศรีลังกา, บังคลาเทศ, ไทย, เมียนมาร์, มาเลเซีย, บอร์เนียว, ฟิลิปปินส์, ปาบัวนิวกินี, ทางตอนเหนือของออสเตรเลีย และทางตอนใต้ของจีน

ในปัจจุบันการเลี้ยงปลากะพงขาวเป็นอาชีพที่เกษตรกรให้ความสนใจ โดยการเลี้ยงปลากะพงขาวในประเทศไทยนิยมเลี้ยงใน 2 รูปแบบ (Boonyaratpalin, 1989) คือ

1. การเลี้ยงในบ่อ เป็นการเลี้ยงในบ่อดิน และบ่อซิเมนต์ ทั้งบริเวณน้ำเค็ม น้ำกร่อย และน้ำจืด

2. การเลี้ยงในกระชัง บริเวณที่เลี้ยงคือ ปากแม่น้ำหรือลำคลองที่ติดต่อกับทะเลอ่าว ทะเลสาบ หรือพื้นที่ที่มีคลื่นลมน้อย เป็นการเลี้ยงในน้ำกร่อยและน้ำเค็ม โดยแบ่งเป็น

2.1 การเลี้ยงในกระชังชนิดอยู่กับที่ มักจะเลี้ยงในพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำขึ้น น้ำลงน้อย โดยทั่วไปกระชังจะมีขนาด 5 x 5 x 2.5 เมตร หรือ 3 x 3 x 2.5 เมตร

2.2 การเลี้ยงในกระชังชนิดลอย มีการเลี้ยงในพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำขึ้น น้ำลงมาก โดยทั่วไปกระชังจะมีขนาด 5 x 5 x 2.5 เมตร หรือ 3 x 3 x 2.5 เมตร

สำหรับอัตราการปล่อยปลา ประมาณ 20–30 ตัวต่อตารางเมตร ขึ้นอยู่กับความลึก, การหมุนเวียนของน้ำ และขนาดของปลา

อาหารที่เกษตรกรนิยมใช้เลี้ยงปลากะพงขาว ได้แก่ ปลาสับหรือปลาบด ขึ้นอยู่กับขนาดของปลา ซึ่งการใช้ปลาสดนี้ไม่สามารถให้คุณค่าทางโภชนาการที่ครบถ้วนแก่ปลากะพงขาว ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปลาอ่อนแอ เจริญเติบโตช้า และเกิดโรคได้ง่าย ทั้งยังมีคุณภาพและปริมาณผันแปรไปตามฤดูกาล

1.2.1 **ความต้องการสารอาหารของปลากะพงขาว**

จากการรวบรวมเอกสารของ Boonyaratpalin (1991; 1997) ปลากะพงขาวมีความต้องการสารอาหารต่างๆ ดังนี้

ความต้องการโปรตีน

ในปลาวัยอ่อน (larvae) ต้องการโปรตีนมากกว่าปลารุ่น (grow-out stage) โดยระดับโปรตีนที่เหมาะสมสำหรับปลารุ่น คือ 40-45 เปอร์เซ็นต์ที่ระดับไขมัน 12 เปอร์เซ็นต์ โดยปลากะพงขาวจะใช้โปรตีนจากสัตว์เช่นปลาป่นและปลาหมึกป่นได้ดี ซึ่งการแทนที่ปลาป่นด้วยปลาหมึกป่นในปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้การเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารเพิ่มขึ้น

ความต้องการไขมัน

ปลากะพงขาวขนาดเล็ก (fingerling) ต้องการไขมันในระดับ 15 และ 18 เปอร์เซ็นต์ในอาหารที่มีระดับโปรตีน 50 และ 45 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แต่เมื่อปลามีขนาดใหญ่ขึ้น (9 - 62 กรัม) พบว่าการเติมไขมันในระดับ 9.3 และ 12.9 เปอร์เซ็นต์ ไม่ทำให้การเจริญเติบโตแตกต่างกันและผลของสัดส่วนของไขมันต่ออัตราการรอดตายของปลากะพงขาวพบว่า ระดับไขมัน 4.5 เปอร์เซ็นต์จากน้ำมันตับปลาคอดต่อระดับไขมัน 4.5 เปอร์เซ็นต์จากน้ำมันถั่วเหลือง จะทำให้ค่าอัตราการรอดตายสูงสุด โดยที่ปลากะพงขาวขนาดเล็กมีความต้องการกรดไขมันจำเป็นชนิด n-3 highly unsaturated fatty acid (HUFA) ในระดับ 1.0 ถึง 1.7 เปอร์เซ็นต์

ความต้องการคาร์โบไฮเดรท

ปลากะพงขาวมีความสามารถใช้คาร์โบไฮเดรทได้ไม่ดีนัก เนื่องจากอาหารธรรมชาติของปลากะพงขาวมีโปรตีนสูง โดยระดับคาร์โบไฮเดรทที่ควรมีในอาหารปลากะพงขาวขนาดเล็กคือไม่ควรเกิน 20 เปอร์เซ็นต์

ความต้องการวิตามิน

วิตามินที่ปลากะพงขาวต้องการ ได้แก่ ไรโบฟลาวิน ไพริดอกซีน กรดแพนโททีนิก อินโนซิทอล วิตามินซี ไธอามีน และวิตามินอี

ความต้องการแร่ธาตุ

มีการศึกษาถึงชนิดและปริมาณของแร่ธาตุที่ปลากะพงขาวต้องการน้อย เนื่องจากปลากะพงขาวยอมรับอาหารชนิด purified diet น้อย โดยปลากะพงขาวต้องการฟอสฟอรัสในระดับ 0.65 เปอร์เซ็นต์

สำหรับอาหารชนิด practical diet โดยส่วนใหญ่ใช้ปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลัก ทั้งนี้เนื่องจากปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนที่มีคุณภาพดี มีกรดอะมิโนครบถ้วน กลิ่นและรสชาติเป็นที่ชอบของปลา (Lovell, 1989) ซึ่งผลผลิตปลาป่นของโลกถูกนำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสัตว์น้ำ 12 เปอร์เซ็นต์หรือประมาณ 62 ล้านตัน และในอนาคตความต้องการอาหารโปรตีนจากปลาของประชากรโลกจะเพิ่มขึ้น (Barlow, 1989 อ้างโดย มะลิ และคณะ, 2539) แต่ผลผลิตปลาจากการจับมีแนวโน้มลดลง ส่งผลให้ปลาป่นมีแนวโน้มหาได้ยากและราคาสูงขึ้น คุณภาพไม่แน่นอน จึงจำเป็นที่จะต้องหาแหล่งโปรตีนอื่นที่หาได้ง่าย และราคาถูกกว่ามาใช้ทดแทนปลาป่นบางส่วนหรือทั้งหมดในอาหารสัตว์น้ำ เพื่อลดปริมาณการใช้ปลาป่น ซึ่งจะสามารถลดต้นทุนการผลิตอาหารที่เป็นต้นทุนสูง 50 ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ของการผลิตสัตว์น้ำลงได้บางส่วน (Rumsey, 1993 อ้างโดย Sullivan and Reigh, 1995)

ถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนจากพืชที่มีคุณภาพสูง เนื่องจากมีกรดอะมิโนที่จำเป็นในสัดส่วนที่ดี และมีปริมาณเพียงพอที่จะใช้เป็นแหล่งโปรตีนทดแทน (Carter and Hauler, 2000) ถั่วเหลืองที่นำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสัตว์น้ำมีหลายรูปแบบ ได้แก่ (พันทิพา, 2538)

1. กากถั่วเหลือง เป็นผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันถั่วเหลือง

2. ถั่วเหลืองไขมันเต็มหรือถั่วเหลืองอุดมไขมัน (full fat soybean, FFS) เป็นถั่วเหลืองทั้งเมล็ดที่ถูกทำให้สุกและไม่มีการสกัดไขมันออก

3. โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง เป็นโปรตีนที่มีคุณภาพดีแต่ราคาแพง แบ่งออกได้ 2 ชนิด ตามขั้นตอนการผลิต ได้แก่

3.1 โปรตีนเข้มข้นจากถั่วเหลือง (soy protein concentrate) ทำโดยนำกากถั่วเหลืองที่สกัดน้ำมันแล้ว มาแยกเอาน้ำตาล สารประกอบไนโตรเจนที่ละลายได้ (soluble nitrogeneous) แร่ธาตุและส่วนประกอบอื่นๆ ออกจนหมด

3.2 โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง (soy protein isolate) ใช้วิธีสกัดโปรตีนออกจากกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันด้วยสารละลายที่มีความเป็นกรด-ด่างเหมาะสม จากนั้นทำให้โปรตีนตกตะกอนแล้วจึงทำให้แห้ง

1.2.2 การใช้ถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นในอาหารปลา

การใช้ถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นในอาหารปลามีการศึกษาในปลาหลายชนิด เช่น ปลากะพงขาว, ปลานิล, ปลาแซลมอน, ปลาเยลโลเทล, ปลากะพงยุโรป, ปลาไน, ปลาซันไชน์บาสส์ (sunshine bass) และปลากลิทเฮดซีบรีม (gilthead seabream) ซึ่งผลการศึกษาแตกต่างกันตามชนิดปลา, ขนาดปลา, ระดับการแทนที่ปลาป่น, ระดับโปรตีนและพลังงานในอาหาร, องค์ประกอบของสูตรอาหาร และกรรมวิธีการผลิตถั่วเหลือง มีหลายการศึกษาพบว่าเมื่อมีการแทนที่ปลาป่นด้วยกากถั่วเหลืองที่ระดับสูงส่งผลให้การเจริญเติบโตลดลง (Hajen *et al*., 1993; Arndt *et al*., 1999; Hanley, 1987; Abel *et al*., 1984; Carter and Hauler, 2000; Ballestrazzi *et al*., 1994; Robaina *et al*., 1995; Carter *et al*., 1994; Refstie *et al*., 1998; Kissil *et al*., 2000) ซึ่งจากการศึกษาของ Robaina และคณะ (1995) พบว่า สามารถใช้โปรตีนจากถั่วเหลืองได้ 30 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารปลากลิทเฮดซีบรีม และมะลิและคณะ (2539) พบว่าสามารถใช้โปรตีนจากถั่วเหลืองแทนที่โปรตีนจากปลาป่นในอาหารปลากะพงขาวได้สูงถึง 37.5 เปอร์เซ็นต์ และสามารถใช้กากถั่วเหลืองและข้าวโพดแทนที่ปลาป่นได้สูงถึง 50 เปอร์เซ็นต์ (จูอะดี และมะลิ, 2538) นอกจากนั้นยังมีหลายการศึกษาที่แสดงความเป็นไปได้ที่จะแทนที่ปลาป่นเกือบทั้งหมดด้วยกากถั่วเหลืองหรือผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองในอาหารปลาหลายชนิด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพและกระบวนการผลิตถั่วเหลือง, สูตรอาหาร, ชนิดปลา, ขนาดปลา และระบบการเลี้ยง แต่ปัจจัยสำคัญที่จำกัดการใช้ถั่วเหลืองคือ ความสมดุลของกรดอะมิโนซึ่งถั่วเหลืองมีเมทไธโอนีนต่ำ และมีสารยับยั้งการทำงานของทริปซินในถั่วเหลือง (Elangovan and Shim, 2000; Webster *et al*., 2000; Kissil *et al*., 2000)

ปลามีความต้องการอาหารที่มีโปรตีนคุณภาพดีและระดับโปรตีนสูง ดังนั้นในการผลิตอาหารจึงควรใช้แหล่งวัตถุดิบอาหารที่มีโปรตีนคุณภาพดีและควรใช้ในระดับที่เหมาะสมกับปลาแต่ละชนิด

1.2.3 กระบวนการย่อยและการดูดซึมโปรตีนของปลา

กระบวนการย่อยและการดูดซึมโปรตีนของปลาแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกัน โดยจะมีความสัมพันธ์กับพัฒนาการของกระบวนการย่อยและการย่อยโปรตีนในกระเพาะอาหารและลำไส้

1.2.3.1 พัฒนาการของกระบวนการย่อย

กระบวนการย่อยอาหารในปลาวัยอ่อนจะเริ่มมีการพัฒนาในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของปลา ซึ่งการพัฒนาในส่วนของระบบทางเดินอาหารมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยา (activity) ของเอนไซม์ของระบบย่อยอาหาร Baragi และ Lovell(1986) อ้างโดย วุฒิพร (2541) แสดงให้เห็นถึงปฏิกิริยาของเอนไซม์หลายชนิดที่เกี่ยวกับการย่อยอาหารในกระเพาะของปลาสไตรป์บาสส์ (striped bass, *Morone saxatilis*) ที่กินอาหารต่างกัน 3 ชนิด โดยพบว่ามีเอนไซม์ 4 ชนิด คือ ทริปซิน, ไคโมทริปซิน, คาร์บอกซีเปปไทเดส และเปปซิน ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ย่อยโปรตีน ปฏิกิริยาของเอนไซม์เหล่านี้กล่าวได้ว่ามีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงในแง่พัฒนาการของระบบทางเดินอาหารโดยสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงจากภายในเซลล์ไปสู่การย่อยโปรตีนภายในระบบการย่อยอาหาร โดยทริปซินมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาของการพัฒนาการของปลาจนกระทั่งปลาอายุได้ 12 วัน และปริมาณลดลงเมื่อปลามีอายุได้ 16 วัน และมีการเพิ่มปริมาณทริปซินอีกครั้งเมื่อปลาอายุ 25 วัน ทริปซินออกฤทธิ์ได้ดีที่สุดในสภาวะความเป็นกรด–ด่างที่เป็นกลาง เปปซินออกฤทธิ์ได้ดีในสภาวะความเป็นกรด–ด่างต่ำ และพบเพียงในกระเพาะเท่านั้น โดยมีปริมาณเพิ่มขึ้นในวันที่ 16 การเพิ่มขึ้นดังกล่าวนี้ขึ้นอยู่กับการพัฒนาของกระเพาะและต่อมต่างๆ ซึ่งทำหน้าที่ในการหลั่งเอนไซม์และกรด ซึ่งผลิตในสภาวะแวดล้อมที่มีความเป็นกรด–ด่างต่ำ ส่วนไคโมทริปซินไม่มีการผันแปรของฤทธิ์ตามพัฒนาการของปลามากนัก และคาร์บอกซีเปปไทเดสลดลงเมื่ออายุ 16 วันและมีฤทธิ์เพิ่มมากขึ้นในวันที่ 25

Walford และ Lam (1993) ศึกษาพัฒนาการของระบบทางเดินอาหารและการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาของเอนไซม์โปรติโอไลติกของปลากะพงขาว พบว่า กระเพาะอาหารและ pyloric sphincter ยังไม่เริ่มทำงานจนกระทั่งปลาอายุ 13 วันหลังจากฟักเป็นตัวและยังไม่สมบูรณ์จนกระทั่งอายุ 17 วัน นอกจากนี้พบว่าปลากะพงขาวอายุ 6 วันมีปฏิกิริยาของ pinocytotic ที่ระดับสูงใน rectal cell และเมื่อปลากะพงขาวอายุ 14 วัน สามารถดูดซึมโปรตีนขนาดใหญ่ได้ด้วย

rectal cell ส่วนการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด–ด่างใน anterior gut พบว่าปลากะพงขาวอายุ 8 วัน จะมีความเป็นกรด–ด่างใน anterior gut อยู่ในช่วง 7.7 แต่เมื่อปลาอายุ 17 วัน ความเป็นกรด–ด่างในกระเพาะกลายเป็นกรดอยู่ที่ 5.0 และเอนไซม์เปปซินเพิ่มขึ้นจากระดับเริ่มต้น และเมื่ออายุ 22 วัน กระเพาะมีสภาพเป็นกรดมากขึ้น คือมีค่าความเป็นกรด–ด่างอยู่ที่ 3.7 และปฏิกิริยาของเอนไซม์เปปซินเกิดขึ้นได้ดีส่งผลให้ปลาสามารถย่อยโปรตีนได้ดีด้วย

1.2.3.2 **กระบวนการย่อยโปรตีน**

อาหารที่สัตว์น้ำกินจะผ่านปากและหลอดอาหารลงสู่กระเพาะอาหาร การย่อยสารอาหารโปรตีนจะเริ่มที่กระเพาะอาหาร และโปรตีนบางส่วนจะถูกย่อยต่อที่ลำไส้ กระบวนการย่อยโปรตีนต้องอาศัยเอนไซม์และเป็นกระบวนการที่ค่อนข้างสลับซับซ้อน แต่อาจจะสรุปเพื่อให้เข้าใจง่ายดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การย่อยโปรตีนในทางเดินอาหารของปลาโดยเอนไซม์ต่างๆ

อวัยวะและเอนไซม์	การทำงาน
กระเพาะอาหาร :	
เปปซินโนเจน	ถูกกรดเกลือกระตุ้นเป็นเปปซิน
เปปซิน	แยกหรือย่อยสายกรดอะมิโนหรือพันธะเปปไทด์โดยเฉพาะตรงส่วนที่เป็นกรดอะมิโนฟีนิลอะลานีนหรือไทโรซีน โมเลกุลของโปรตีนมีขนาดเล็กลงเรียกว่าโปรตีโอส
ลำไส้ :	
ทริปซิโนเจน	ถูกเอนเตอโรไคเนสกระตุ้นเป็นทริปซิน
ทริปซิน	แยกหรือย่อยกรดอะมิโนให้สั้นลง โดยเฉพาะตรงส่วนที่มีกรดอะมิโนไลซีน หรืออาร์จินีน
ไคโมทริปซินโนเจน	ถูกทริปซินกระตุ้นเป็นไคโมทริปซิน
ไคโมทริปซิน	ย่อยสายกรดอะมิโนให้สั้นลงอีก โดยเฉพาะตรงส่วนที่มีกรดอะมิโนทริปโตเฟน เมไธโอนีน ไทโรซีน หรือฟีนิลอะลานีน โมเลกุลของโปรตีนมีขนาดเล็กลงเรียกว่า เปปโตนหรือโพลีเปปไทด์
ผนังลำไส้ :	
อะมิโนเปปติเดส	ย่อยโพลีเปปไทด์เป็นไตรเปปไทด์ ไดเปปไทด์ และกรดอะมิโน ซึ่งเป็นโมเลกุลเล็กสุดของโปรตีน

ที่มา : De Silva และ Anderson (1995)

1.2.3.3 กระบวนการดูดซึมโปรตีน

อาหารที่ถูกย่อยจนโมเลกุลมีขนาดเล็กลง จะถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะอาหาร หรือผนังลำไส้เข้าสู่กระแสเลือด หรือน้ำเหลืองเพื่อไปยังส่วนต่างๆ ของร่างกาย โดยกรดอะมิโนจะถูกดูดซึมเข้ากระแสเลือด ด้วยกลไกการดูดซึมอาหารซึ่งอาจเกิดได้ 3 วิธี ได้แก่

1. การแพร่กระจายธรรมดา (passive diffusion) ซึ่งจะลำเลียงอาหารจากความเข้มข้นสูงไปสู่ความเข้มข้นต่ำ

2. การแพร่กระจายโดยมีตัวช่วย (facilitated diffusion) ซึ่งสารที่ถูกลำเลียงจะต้องจับกับตัวพา ซึ่งเป็นโปรตีนชนิดหนึ่ง (carrier) ที่อยู่บริเวณผนังเซลล์ก่อนที่จะซึมผ่านผนังเซลล์เข้าไปได้

3. การลำเลียงแบบแอคทีฟ (active transport) ซึ่งลำเลียงจากด้านที่มีความเข้มข้นต่ำไปสู่ด้านที่มีความเข้มข้นสูงโดยการใช้พลังงาน

สำหรับปลาโปรตีนจะถูกดูดซึมในรูปของเปปไทด์ (peptide) หรือกรดอะมิโนอิสระ ซึ่งการดูดซึมกรดอะมิโนจะใช้การลำเลียงแบบแอคทีฟ ถ้าปลามีอัตราการดูดซึมอาหารได้มากเท่าไร ก็จะมีการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้น ซึ่งในการดูดซึมกรดอะมิโนอาจจะมีการแข่งขันกันโดยเฉพาะสารที่มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายกัน พบว่าสารชนิดหนึ่งสามารถห้ามการผ่านของสารอีกชนิดหนึ่งโดยการแข่งขัน (competitive inhibition) เช่น ปลาไนสามารถดูดซึมกรดอะมิโนชนิดไม่จำเป็นได้ดีกว่ากรดอะมิโนชนิดจำเป็น (วีรพงศ์, 2536)

1.2.4 ประสิทธิภาพการย่อยอาหาร

ประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลา เป็นค่าที่แสดงให้ทราบว่าปลามีความสามารถในการย่อยอาหาร หรือสารอาหารประเภทต่างๆ ได้ดีเพียงไร โดยทั่วไปอาหารที่กินเข้าไปจะถูกย่อยจากโมเลกุลขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลงและถูกดูดซึมผ่านผนังของกระเพาะอาหารหรือลำไส้เพื่อนำไปเผาผลาญให้เกิดพลังงาน ฉะนั้นการประเมินประสิทธิภาพการย่อยอาหารจึงอาจคำนวณจากผลต่างของอาหารที่กินเข้าไปและอุจจาระที่ขับออกมา ซึ่งจะได้เป็นอาหารที่ถูกย่อยหรือดูดซึมเข้าไปนั่นเอง ต่อมาได้มีการพัฒนาศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลาโดยใช้สารอินดิเคเตอร์ และสามารถทราบถึงเปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของสารอาหารหรืออาหาร โดยเปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของสารอาหารแสดงเป็นค่าของสัมประสิทธิ์การย่อยสารอาหาร (apparent digestibility coefficient) (วีรพงศ์, 2536)

การประเมินประสิทธิภาพการย่อยอาหารสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

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

2. ประสิทธิภาพการย่อยอาหารเสมือน (apparent digestibility) จะไม่นำค่าสารประกอบไนโตรเจนภายในตัวปลาซึ่งถูกขับออกมาพร้อมกับมูลปลามาใช้ในการคำนวนค่าประสิทธิภาพการย่อยอาหาร (Lovell, 1989)

สำหรับการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลามี 3 วิธีคือ

1. วิธีตรง (direct method) เป็นการวัดสารอาหารทั้งหมดที่ปลากินเข้าไปและขับออกมาในมูลปลาโดยตรง โดยขังปลาในเมแทบอลิซึมแชมเบอร์และบังคับให้ปลากินอาหาร จากนั้นจึงเก็บมูลปลาซึ่งต้องใช้เวลานาน มีการประเมินค่าประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนของปลาโดยใช้สมการ (Lovell, 1989)

ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน (%)

$$= \frac{\text{ปริมาณโปรตีนที่ปลากิน} - \text{ปริมาณโปรตีนที่ขับออกมาในมูลปลา}}{\text{ปริมาณโปรตีนที่ปลากิน}} \times 100$$

2. วิธีอ้อม (indirect method) เป็นการใช้อินดิเคเตอร์หรือเครื่องหมาย (indicator or marker) เติมไปในอาหาร แล้วหาสัดส่วนของสารอาหารต่ออินดิเคเตอร์ที่มีในอาหารและในมูลปลา สมการที่ใช้ในการประเมินค่าประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนของปลาด้วยวิธีการนี้คือ (Lovell, 1989)

ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน (%)

$$= 100 - \left(\frac{\%\ \text{ตัวบ่งชี้ในอาหาร} \times \%\ \text{โปรตีนในมูล}}{\%\ \text{ตัวบ่งชี้ในมูล} \times \%\text{โปรตีนในอาหาร}} \times 100 \right)$$

3. วิธี assay diets เนื่องจากการใช้วัตถุดิบอาหารเพียงชนิดเดียวในการศึกษาการย่อยและการดูดซึมสารอาหารบางชนิด บางครั้งอาจมีปัญหาในการศึกษา เนื่องจากปลาไม่ยอมรับอาหารที่ต้องการทดสอบ จึงมีการพัฒนาวิธีการโดยสร้างสูตรอาหารที่เป็นสูตรอาหารอ้างอิง

(reference diet) กับสูตรอาหารที่ต้องการทดสอบ (test diet) โดยที่สูตรอาหารที่ต้องการทดสอบจะมีวัตถุดิบอาหารที่ใช้ในสูตรอาหารอ้างอิงในปริมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ และมีวัตถุดิบอาหารที่ต้องการทดสอบในปริมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการหาค่าสัมประสิทธิ์การย่อยของสูตรอาหารแต่ละสูตรทำได้โดยการศึกษาโดยวิธีทางอ้อม และมีสมการที่ใช้ในการประเมินค่าประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนของปลา คือ (Sugiura *et al*., 1998)

ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน (%)

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

วิธีศึกษาที่ 2 และ3 เป็นวิธีที่นิยมกันมากในปัจจุบัน แต่จำเป็นต้องศึกษาว่าอินดิเคเตอร์ชนิดใดเหมาะสมกับปลาชนิดใดด้วยจึงจะทำให้ได้ค่าที่ถูกต้อง สำหรับอินดิเคเตอร์ที่ใช้ควรมีคุณสมบัติ คือ ปลาไม่สามารถย่อยได้ คุณสมบัติทางเคมีไม่เปลี่ยนแปลง ไม่เป็นพิษต่อปลา ง่ายต่อการตรวจสอบ และมีอัตราการเคลื่อนที่ในทางเดินอาหารเช่นเดียวกับอาหารที่ปลากิน (Lovell, 1989)

De Silva และ Anderson (1995) แบ่งอินดิเคเตอร์ออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. อินดิเคเตอร์ภายนอก (external indicator) ที่นิยมใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลา เช่น Cr_2O_3, FeO, SiO_2 และ polypropylene เป็นต้น

2. อินดิเคเตอร์ภายใน (internal indicator) ใช้สารที่มีอยู่ในอาหารธรรมชาติ เป็นอินดิเคเตอร์ในการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลา ได้แก่

- crude fiber ซึ่งมีเซลลูโลส (cellulose) และลิกนิน (lignin) เป็นส่วนประกอบหลัก
- hydrolysis-resistant organic matter มีเซลลูโลสเป็นส่วนใหญ่
- hydrolysis-resistant ash ซึ่งมีคุณสมบัติเป็น mineral ash ที่ทนทานต่อการย่อยด้วยกรด

นอกจากการเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมกับปลาแต่ละชนิดแล้ว วิธีการเก็บรวบรวมมูลปลาก็มีความสำคัญต่อการประเมินประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลา เนื่องจากการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยโดยวิธีอ้อมนิยมเก็บมูลปลาที่อยู่ในน้ำทำให้มูลบางส่วนอาจละลายน้ำ และสารอาหารมีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง ซึ่งมีผลทำให้ประสิทธิภาพการย่อยอาหารปลามีค่าสูงเกินจริง

(Henken *et al*., 1987 อ้างโดย Degani *et al*., 1997) ดังนั้นจึงควรเลือกใช้วิธีเก็บมูลที่เหมาะสมกับปลาแต่ละชนิด

วิธีการเก็บมูลปลาเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลา (วีรพงศ์, 2536) มีดังนี้

1. การตัดลำไส้ (intestinal dissection) โดยตัดส่วนปลายสำไส้เหนือช่องทวารขึ้นมาประมาณ 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) วิธีนี้ต้องปล่อยให้ปลาถ่ายมูลออกมาตามปกติ แล้วทำการรวบรวมมูลทันที วิธีการเก็บมูลอาจแตกต่างกันไปตั้งแต่การใช้ผ้าตาถี่หรือตะแกรงถี่รองอยู่ด้านล่างตู้ทดลอง โดยเมื่อปลาถ่ายมูลออกมาก็สามารถยกผ้าหรือตะแกรงออกหรืออาจใช้สายอากาศพลาสติกขนาดเล็กเข้าไปดูดหรือกาลักน้ำให้มูลปลาออกมาหรืออาจใช้เครื่องเก็บมูลอัตโนมัติ เป็นต้น ในปัจจุบันจะนิยมใช้วิธีนี้กันมาก เนื่องจากมีการรบกวนปลาน้อย

แต่ละวิธีจะมีการดัดแปลงตามชนิดปลา เนื่องจากปลาแต่ละชนิดจะขับถ่ายมูลที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยในปลาไน (*Cyprinus carpio* L.) ของ Degani และคณะ (1997) พบว่ามูลปลาละลายอย่างรวดเร็ว ด้วยเหตุนี้จึงเป็นการยากที่จะได้มูลมาโดยไม่สูญเสียจากการละลาย ดังนั้นจึงใช้วิธีการรวบรวมมูลโดยการรีดท้อง

นอกจากนั้น Spyridakis และคณะ (1989) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลากะพงยุโรป (European seabass, *Dicentrarchus labrax*) โดยเปรียบเทียบการเก็บรวบรวมมูลปลาด้วยวิธีการต่าง ๆ คือ การตัดลำไส้ การดูดช่องทวารหนัก การรีด และการเก็บรวบรวมมูลปลาจากในน้ำ ซึ่งวิธีการเก็บรวบรวม 3 วิธีคือ เก็บรวบรวมมูลปลาหลังจากให้อาหาร 15 ชั่วโมง (immediate pipetting) การกรองมูล (continuous filtration) และการเก็บรวบรวมโดยใช้อุปกรณ์รวบรวมมูลตกตะกอนและแยกมูลปลาออกจากน้ำ (decapitation) พบว่า วิธีการเก็บมูลปลามีผลต่อค่าประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนมากกว่าค่าประสิทธิภาพการย่อยไขมัน (ตารางที่ 2) คณะที่ทำการศึกษาจึงสรุปว่า การเก็บมูลโดยการรวบรวมในน้ำโดยการรวบรวมมูลหลังให้อาหาร 15 ชั่วโมง และการกรองเป็นวิธีการเก็บมูลที่เหมาะสมต่อการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลา เนื่องจากปลาถูกรบกวนน้อยกว่าวิธีอื่นๆ

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนและไขมันของปลาเมื่อใช้การเก็บรวบรวมมูลปลาด้วยวิธีการต่าง 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±0.4[b]
การรวบรวมมูลปลาหลังให้อาหาร 15 ชั่วโมง	90.6±0.3[c]	97.3±0.2[b]
การรวบรวมโดยให้มูลปลาตกตะกอนและแยกมูลปลาออกจากน้ำ	94.2±0.1[d]	97.1±0.3[b]

ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P \geq 0.05$)
ที่มา : Spyridakis และคณะ (1989)

ปลามีความสามารถในการย่อยวัตถุดิบอาหารชนิดต่างๆ ได้แตกต่างกัน เนื่องจากวัตถุดิบอาหารแต่ละชนิดมีคุณภาพที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ประสิทธิภาพการย่อยยังขึ้นอยู่กับสัดส่วนของแหล่งวัตถุดิบอาหารที่ใช้ทดสอบ ดังเช่น

Refstie และคณะ (2000) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนจากถั่วเหลืองทั้งเปลือกสกัดน้ำมันของปลาเรนโบว์เทร้าท์ กับปลาแอทแลนติกแซลมอน (Atlantic salmon) ที่เลี้ยงด้วยอาหารซึ่งแทนที่ 37 เปอร์เซ็นต์โปรตีนจากปลาป่นด้วยโปรตีนจากถั่วเหลืองทั้งเปลือกสกัดไขมัน พบว่า ปลาเรนโบว์เทร้าท์สามารถย่อยโปรตีนจากถั่วเหลืองทั้งเปลือกสกัดไขมันได้ดีกว่าปลาแอทแลนติกแซลมอน

Cho และ Slinger (1979) ได้ตรวจสอบประสิทธิภาพการย่อยกากถั่วเหลืองในปลาเรนโบว์ เทร้าท์ พบว่ามีค่าประมาณ 95.6 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ Abel และคณะ (1984) พบว่า แป้งถั่วเหลืองไม่อัดน้ำมัน มีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตของปลาไนช้าลง และประสิทธิภาพของอาหารค่อนข้างต่ำ ซึ่งมีรายงานหลายฉบับกล่าวถึงสารยับยั้งทริปซินในกากถั่วเหลืองที่อบไม่สุกว่ามีผลในการยับยั้งการเจริญเติบโต

Hanley (1987) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการย่อย (apparent digestibility) โปรตีนของปลานิล (*Oreochromis niloticus*) ขนาดเฉลี่ย 33.7±1.5 กรัม ที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีวัตถุดิบพืชทดสอบ 80 เปอร์เซ็นต์ ใช้โครมิกออกไซด์เป็นอินดิเคเตอร์ และให้อาหารที่อัตรา 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวต่อวัน พบว่าปลานิลมีความสามารถในการย่อยโปรตีนจากกากถั่วเหลืองได้ดีที่สุด รองลงมา คือ ข้าวโพดบดและหวีดมิดดิ้ง (wheat middling) และมีความสามารถในการย่อยโปรตีนจากบรูเวอร์เกรน (brewer grain) ได้ต่ำที่สุด มีค่า 90.73, 83.26, 75.63 และ 62.57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Hajen และคณะ (1993) พบว่าปลาชินุกแซลมอน (chinook salmon) ที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีส่วนประกอบของกากถั่วเหลืองที่ระดับ 15 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร มีประสิทธิภาพการย่อยอาหารเสมือนโปรตีนต่ำกว่าเอกซ์ทรูดหวีด (extruded wheat) ที่ระดับ 15 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีกากถั่วเหลืองที่ระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารมีประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนต่ำกว่าโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง (soybean protein isolate) ที่ระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ แต่ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีส่วนประกอบของกากถั่วเหลือง, โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง และเอกซ์ทรูดหวีด ที่ระดับ 15 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารมีประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนไม่แตกต่างกับที่ระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

มะลิ และจูอะดี (2533) พบว่าปลาป่นต่างชนิดที่ใช้เป็นวัตถุดิบอาหารมีประสิทธิภาพการย่อยที่แตกต่างกัน โดยปลาป่นจากปลาหลังเขียวมีค่าสูงกว่าปลาป่นเบญจพรรณ และปลาป่นปลาทูน่า คือ 89.73, 86.09 และ 84.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าลูกปลากะพงขาวขนาดประมาณ 1 กรัม/ตัว สามารถย่อยโปรตีนจากกากงา และแป้งถั่วเหลืองไม่อัดน้ำมันในอัตราค่อนข้างต่ำคือประมาณ 43 และ 62 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่สามารถย่อยโปรตีนจากกากกุ้ง, ปลาหมึกป่น, หางนมผง และโปรตีนถั่วเหลืองได้ดีคือ 82.71-88.44 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นการเพิ่มเปอร์เซ็นต์กากกุ้งในอาหารทดสอบจาก 15 เปอร์เซ็นต์ เป็น 30 เปอร์เซ็นต์ มีผลให้ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนลดลงจาก 84.67 เป็น 83.29 เปอร์เซ็นต์ และพบว่า ปลากะพงขาวขนาดประมาณ 0.7-20.0 กรัม มีประสิทธิภาพย่อยโปรตีนในปลาป่นเบญจพรรณ, กากกุ้ง, กากถั่วลิสง, กากถั่วเหลือง, รำถั่วเขียว และรำข้าว มีค่า 85.12, 88.36, 35.97, 90.44, 94.67 และ 90.24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อปลากะพงขาวขนาด 1 นิ้ว ได้รับอาหารซึ่งใช้กากถั่ว

เหลืองและข้าวโพดแทนที่ปลาป่นที่ระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนไม่แตกต่างจากอาหารสูตรควบคุม (จูอะดี และมะลิ, 2538)

1.2.5 สิ่งขับถ่ายไนโตรเจน

สิ่งขับถ่ายไนโตรเจนในปลาเกิดขึ้นได้ใน 2 ลักษณะ คือ Endogenous nitrogen excretion และ exogenous nitrogen excretion โดย Endogenous nitrogen excretion เกิดขึ้นจากกระบวนการทำลายเนื้อเยื่อและโปรตีนในร่างกาย การรักษาสมดุลไนโตรเจน และกรดนิวคลีอิก ซึ่งสามารถหาค่าได้ในสภาพที่ปลาอดอาหาร (Birkett, 1969; Ogino *et al*., 1973; Kaushik, 1980; Salin and Williot, 1991; Jobling, 1981; Ramnarine *et al*., 1987) สำหรับ exogenous nitrogen excretion นั้นเกิดขึ้นจากอาหารที่ปลากิน โดยโปรตีนที่ปลาได้รับจากอาหารจะผ่านกระบวนการย่อยในกระเพาะและลำไส้เล็กและกรดอะมิโนจะถูกดูดซึมผ่านผนังลำไส้เล็กเข้าสู่กระแสเลือด และส่งไปเมแทบอไลซ์ที่ตับเพื่อใช้ในการสังเคราะห์โปรตีนขึ้นใหม่ ซึ่งจะต้องมีกรดอะมิโนที่ใช้ในการสังเคราะห์โปรตีนชนิดนั้นๆ อย่างครบถ้วน มิฉะนั้นจะไม่สามารถสังเคราะห์โปรตีนได้ ซึ่งความไม่สมดุลของกรดอะมิโนจะทำให้เกิดการสลายกรดอะมิโน นอกจากนี้ถ้าร่างกายได้รับโปรตีนมากเกินไปหรือได้รับพลังงานจากอาหารไม่เพียงพอกับความต้องการจะมีการสลายโปรตีนเป็นกรดอะมิโนเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานเช่นเดียวกัน จากนั้นปลาจะขับถ่ายของเสียซึ่งประกอบด้วย แอมโมเนีย, ยูเรีย, ครีเอติน (creatine), ครีเอตินิน (creatinine) และกรดยูริค (uric acid) (Forster and Goldstein, 1969; บุญล้อม, 2541) เนื่องจากแอมโมเนียระดับสูงจะเป็นพิษต่อปลา ทำให้ปลาขับถ่ายแอมโมเนียออกมาในน้ำโดยไม่สะสมในเลือดหรือร่างกาย ลักษณะเป็นแอมโมนิโอเทลิค (ammoniotelic) (Handy and Poxton, 1993)

แอมโมเนียเป็นผลผลิตสิ่งขับถ่ายไนโตรเจนหลักของปลา โดยปลาจะขับถ่ายผ่านทางเหงือกมากที่สุดประมาณ 80–90 เปอร์เซ็นต์ของสิ่งขับถ่ายไนโตรเจนทั้งหมด (Wiggs *et al*., 1989; Fivelstad *et al*., 1990; Kaushik and Cowey, 1991; Handy and Poxton, 1993; Wood, 1958) และอยู่ในรูปของยูเรียประมาณ 5-20 เปอร์เซ็นต์ของของเสียไนโตรเจนทั้งหมด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของปลา นอกจากนี้ปลายังขับถ่ายไนโตรเจนออกทางไตซึ่งเป็นเพียงส่วนน้อยของแอมโมเนีย และยูเรีย (Wood, 1958; Vellas *et al*., 1970; Sayer and Davenport, 1987)

การขับถ่ายแอมโมเนียมีความสัมพันธ์กับคุณภาพโปรตีนหรือแหล่งโปรตีน ดังเช่นการศึกษาของ Robaina และคณะ (1995) พบว่า ปลากลิเฮดซีบรีม (*Sparus aurata*) ที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีแหล่งโปรตีนจากพืช มีอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียสูงกว่าโปรตีนจากปลาป่นในช่วง 2

ชั่วโมงหลังจากปลาได้รับอาหาร โดยปลาที่ได้รับอาหารที่มีแหล่งโปรตีนจากถั่วเหลืองป่นมีการขับถ่ายแอมโมเนียสูงสุดมากกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีแหล่งโปรตีนจากเมล็ดลูปินบด (Lupin seed meal) และปลาป่น และหลังจากปลาได้รับอาหาร 4 ชั่วโมง พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีแหล่งโปรตีนจากปลาป่นมีการขับถ่ายแอมโมเนียสูงสุดแล้วค่อยๆ ลดลง ส่วนปลาที่ได้รับอาหารที่มีแหล่งโปรตีนจากพืชมีการขับถ่ายแอมโมเนียโดยรวมเพิ่มขึ้นจนกระทั่ง 6 ชั่วโมงหลังจากได้รับอาหารปริมาณการขับถ่ายแอมโมเนียจึงลดลงอย่างรวดเร็ว และการขับถ่ายแอมโมเนียยังมีความสัมพันธ์กับปริมาณโปรตีน ดังเช่นการศึกษาของ Leung และคณะ (1999) พบว่าในปลากะรังมีการขับถ่ายไนโตรเจนรวมสูงขึ้นเมื่อได้รับอาหารที่มีโปรตีนที่ระดับ 61 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีการขับถ่ายไนโตรเจนรวมสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีน 41 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับอุณหภูมิ 25 และ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับ Ballestrazzi และคณะ (1994) พบว่า ปลากะพงยุโรป (*Dicentrarchus labrax*) ที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีแหล่งโปรตีนจากปลาป่นอย่างเดียวและอาหารที่มีปลาป่นร่วมกับคอร์น กลูเตน มีล มีการขับถ่ายไนโตรเจนรวมเพิ่มขึ้นเมื่อปลาได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนเพิ่มขึ้นแต่อาหารที่มีปลาป่นร่วมกับคอร์น กลูเตน มีล มีสิ่งขับถ่ายฟอสฟอรัสเข้มข้นน้อยกว่าอาหารที่มีแหล่งโปรตีนจากปลาป่นอย่างเดียว

นอกจากนี้ยังมีรายงานการศึกษาของ Brett และ Zala (1975) โดยวัดปริมาณยูเรียและแอมโมเนียของปลาแซลมอน ขนาดเฉลี่ย 29 กรัม ทุกๆ 2-3 ชั่วโมง ตลอด 24 ชั่วโมง ในปลา 2 กลุ่ม โดยกลุ่มที่หนึ่งให้อาหารเพียงพอแก่การดำรงชีพ และกลุ่มที่สองไม่ให้อาหารพบว่าปลากลุ่มที่หนึ่งจะปล่อยแอมโมเนียสูงสุด 35 มิลลิกรัมไนโตรเจน/กิโลกรัม/ชั่วโมง ภายหลังกินอาหาร (08.30 น.) ประมาณ 4–4.5 ชั่วโมง แล้วค่อยๆ มีค่าลดลงเป็น 8.26–0.6 มิลลิกรัมไนโตรเจน/กิโลกรัม/ชั่วโมง (02.00–08.00 น.) และยูเรียมีค่าเฉลี่ยตลอดวัน 2.16–0.20 มิลลิกรัมไนโตรเจน/กิโลกรัม/ชั่วโมง ปลากลุ่มที่สองจะปล่อยแอมโมเนียตลอดวันมีค่าใกล้เคียงกับค่าต่ำสุดของปลา กลุ่มที่หนึ่ง (7.27–0.20 มิลลิกรัมไนโตรเจน/กิโลกรัม/ชั่วโมง) และยูเรียมีค่าใกล้เคียงกลุ่มที่หนึ่ง เช่นกัน (1.91–0.21 มิลลิกรัมไนโตรเจน/กิโลกรัม/ชั่วโมง) แสดงให้เห็นว่า ระดับไนโตรเจนต่ำที่สุดที่ปล่อยออกมาเมื่ออดอาหาร (endogenous nitrogen excretion) มีค่าเป็น 9.2 มิลลิกรัมไนโตรเจน/กิโลกรัม/ชั่วโมง (ผลรวมของยูเรียและแอมโมเนีย)

McGoogan และ Gatlin (1999) พบว่าผลผลิตแอมโมเนีย และปฏิกิริยาของ enzyme glutaminase ในกระบวนการ ammoniagenesis ลดลง ในปลาเรดดรัม (red drum) ที่กินอาหารที่มีระดับพลังงานสูงกว่า การศึกษานี้แนะนำว่าอาหารที่มีพลังงานสูงสามารถลดผลผลิต

แอมโมเนียของปลา red drum วัยอ่อน แต่ส่งผลให้ปลามีส่วนของไขมันในร่างกายสูงกว่า และอัตราการเจริญเติบโตต่ำกว่าปลาที่กินอาหารที่มีระดับพลังงานต่ำกว่า

นพวรรณ (2543) พบว่าปริมาณแอมโมเนียที่ปลากดเหลือง (*Mystus nemurus* Cuv. and Val.) ขับออกจะขึ้นอยู่กับปริมาณอาหารที่ปลาได้รับ ปลาที่ได้รับอาหารที่มีไลซีน 2 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนในอาหารกินอาหารน้อยกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีไลซีนสูงกว่า ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมซึ่งมีแหล่งโปรตีนจากปลาป่นอย่างเดียวกินอาหารในปริมาณสูงทำให้ปริมาณแอมโมเนียในน้ำมีค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองสูงสุด

ปัจจุบันปริมาณสารประกอบไนโตรเจนที่ปลาขับถ่ายออกมาได้รับความสนใจจากนักวิจัยจำนวนมาก เพราะคุณภาพน้ำมีความสำคัญมากในการเพาะเลี้ยงปลา (Handy and Poxton, 1993) และการลำเลียงหรือขนส่งปลา นอกจากนั้นยังมีความสำคัญในการประเมินของเสียไนโตรเจนเพื่อดูการใช้ประโยชน์โปรตีนในอาหารของปลา (Kaushik *et al.,* 1984) ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าผลผลิตของเสียกลุ่มไนโตรเจน โดยเฉพาะแอมโมเนียเป็นผลผลิตของเสียที่เด่น (Forster and Goldstein, 1969; Brett and Zala, 1975) ซึ่งเป็นผลมาจากอาหารที่โปรตีนสูง (Hepher, 1988) และแหล่งโปรตีนไม่เหมาะสมกับปลาชนิดนั้นๆ (Robaina *et al*., 1995) ดังนั้นการจัดการทางด้านการปรับสูตรอาหารเพื่อลดสิ่งขับถ่ายจากการเพาะเลี้ยงเป็นสิ่งหนึ่งที่ควรจะมีการจัดการ

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลากะพงขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมที่ใช้ถั่วเหลืองสกัดน้ำมันที่ระดับต่างกัน

2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการใช้โปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันในอาหารปลากะพงขาว

3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันในอาหารปลากะพงขาว

4. เพื่อศึกษาปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ขับถ่ายออกมาในน้ำที่เลี้ยงปลากะพงขาวด้วยอาหารผสมที่ใช้ถั่วเหลืองสกัดน้ำมันที่ระดับต่างกัน