บทที่ 3

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในรวมของปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลือง

1.1 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้มี 3 ชนิด คือ เครื่องในรวมของปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลือง, หัวกุ้งกุลาดำ และน้ำนึ่งปลาทูน่า (ตารางที่ 5) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่าเครื่องในรวมปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลือง มีความชื้น 76.73% (โดยน้ำหนักตัวอย่าง) โปรตีน ไขมัน และเถ้า 67.70 , 9.65 และ 6.32% (โดยน้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้ใกล้เคียงกับ วิภาวรรณ ไตรรัตนานุกูล (2543) ซึ่งรายงานว่าเครื่องในรวมปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลืองประกอบด้วยความชื้น 77.79% (โดยน้ำหนักตัวอย่าง) โปรตีน ไขมัน และเถ้า 74.02, 5.10 และ 5.57% (โดยน้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ เช่นเดียวกับรายงานของ อัจฉริยา เชื้อช่วยชู (2542) ซึ่งวิเคราะห์องค์ประกอบของเครื่องในปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ พบว่ามีความชื้น 76.12% โปรตีน, ไขมันและเถ้ามีอยู่ 76.68, 9.58 และ 11.63% ตามลำดับ ส่วนองค์ประกอบทางเคมีของหัวกุ้งกุลาดำ มีความชื้น 79.58% โปรตีน 50.94 % ไขมัน 4.73% และเถ้า 24.75% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันกับการศึกษาของไตรตะวัน คงแก้ว (2542) ที่พบว่าหัวกุ้งกุลาดำมีความชื้นและโปรตีน 79.82 และ 48.76% ตามลำดับ ส่วนไขมันและเถ้ามีค่าใกล้เคียงกับกุ้ง *Cragon cragon* ซึ่งมีไขมันอยู่ 9.95% และเถ้า 27.5% (Synowiecki *et al*., 2000) ส่วน Ferrer และคณะ (1996) พบว่ากุ้งที่จับได้ในรัฐฟาลคอน (Falcon) ในอ่าวเวเนซูลา (Venezuela) มีเถ้าอยู่ 28.1% ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่วิเคราะห์ได้ นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนึ่งปลาทูน่า พบว่ามีความชื้นเท่ากับ 93.32 (โดยน้ำหนักตัวอย่าง) ส่วนไขมันมีอยู่ 8.38% โปรตีน 65.76% และเถ้า 9.36% ซึ่งได้ผลใกล้เคียงกับน้ำนึ่งปลาทูน่าจากโรงงานโชติวัฒน์อุตสาหกรรมการผลิต จำกัด (มหาชน) ที่มีความชื้น ไขมัน โปรตีน และเถ้า 93.0, 0.17, 4.76 และ 2.37% ตามลำดับ (อัญชลี สาระโบก และ อรัญ หันพงศ์กิตติกูล, 2542)

1.2 การผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในรวมปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลือง

ในการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในรวมปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลือง ซึ่งไม่มีการเติมเอนไซม์ลงไป โดยใช้ความเข้มข้นโปรตีนเริ่มต้น 10% พบว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ผลิตได้มีปริมาณไนโตรเจนที่ผลิตได้ (NR) อยู่ในช่วง 90.00-97.36% และมีระดับการย่อยสลาย (DH) อยู่ในช่วง 44.19-48.19% แสดงให้เห็นว่าเอนไซม์จากเครื่องในปลาและทางเดินอาหารมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายโปรตีนได้ดี เนื่องจากเอนไซม์ที่พบในเครื่องในปลาและทางเดินอาหาร (gut enzyme หรือ autolytic

enzyme) เป็นเอนไซม์ในกลุ่มเอนโดเปปติเดสได้แก่ ทริปซิน, ไคโมทริปซินและเปปซิน คุณสมบัติของเอนไซม์ในกลุ่มนี้คือสามารถทำงานได้ดีที่พีเอชมากกว่า 7 (พีเอช 7-11) (Meinke *et al*., 1972) และข้อดีของเอนไซม์จากเครื่องในปลาคือสามารถทำงานได้ดีในสภาวะอุณหภูมิห้อง (Kristinsson and Rasco, 2000) ผลการทดลองที่ได้มีความใกล้เคียงกับรายงานของ วิภาวรรณ ไตรรัตนานุกูล (2544) ซึ่งได้ทำการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลืองเช่นเดียวกัน โดยได้โปรตีนไฮโดรไลเสตที่มีปริมาณไนโตรเจนที่ผลิตได้อยู่ในช่วง 86.22-95.35% และมีระดับการย่อยสลายอยู่ในช่วง 37.47-42.26% ส่วนการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ (*Katsuwonus pelamis*) โดยใช้เอนไซม์อัลคาเลส มีปริมาณไนโตรเจนที่ผลิตได้ 95% และมีระดับการย่อยสลาย 50% (อัจฉริยา เชื้อช่วยชู, 2542) เช่นเดียวกับการผลิต chickpea protein hydrolysates (CPH_s) ที่ใช้เอนไซม์ 2 ชนิดร่วมกันคือเอนไซม์อัลคาเลส และเอนไซม์เฟลเวอร์ไซม์ (Flavourzyme) จะให้ระดับการย่อยสลายมากกว่า 50 % (Clemente *et al*., 1999) นอกจากนี้การผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลืองที่มีการเติมเอนไซม์อัลคาเลส พบว่าปริมาณไนโตรเจนที่ผลิตได้และระดับการย่อยสลายใกล้เคียงกันกับการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่าที่ไม่มีการเติมเอนไซม์ (วิภาวรรณ ไตรรัตนานุกูล, 2544) ทั้งนี้เนื่องจากเอนไซม์ที่มีอยู่ในเครื่องในปลาทูน่ามีเพียงพอที่จะย่อยสลายโปรตีน ซึ่งจะเห็นได้ว่าเอนไซม์จากภายในตัวปลาเป็นเอนไซม์สำคัญที่ใช้ในการย่อยสลายตัวปลา การเพิ่มปริมาณเอนไซม์ไม่มีผลต่อการละลายของวัตถุดิบ และไม่มีผลในการเพิ่มระดับการย่อยสลายของเครื่องในปลา (Kristinsson and Rasco, 2000)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้าของผลิตภัณฑ์ พบว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่าที่ผลิตได้มีความชื้นอยู่ในช่วง 86.45-87.13% โปรตีนอยู่ในช่วง 62.26-72.01% ซึ่งค่าที่ได้ต่ำกว่าค่าของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากการย่อยเครื่องในปลาทูน่าพันธุ์โอแถบด้วยเอนไซม์ปาเปน (71.84-82.67% โดยน้ำหนักแห้ง) (อัจฉริยา เชื้อช่วยชู, 2542) chickpea protein hydrolysates (CPH_s) ซึ่งมีปริมาณโปรตีน (91.20%) (Clemente *et al*., 1999) แต่สูงกว่าปริมาณโปรตีนของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากปลาคาเพลิน (Capelin : *Mallotus villosus*) โดยใช้เอนไซม์ทางการค้า (51.6-70.6%) (Shihidi *et al*., 1995) ส่วนปริมาณไขมันของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ผลิตได้มีค่าอยู่ในช่วง 1.63-2.52% ซึ่งลดลงอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่มีอยู่ในวัตถุดิบเริ่มต้น แต่มีค่าสูงกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณไขมันที่มีอยู่ในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ผลิตจากปลาคาเพลิน ซึ่งมีปริมาณระหว่าง 0.18-0.39% (Shahidi *et al*., 1995) สำหรับปริมาณเถ้าของผลิตภัณฑ์มีค่าอยู่ระหว่าง 14.00-15.41% ซึ่งใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักหัวกุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium vollenhovenii*) (12.10-13.70%) (Fagbenro and Bello-Olusoji, 1997)

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีของเครื่องในรวมปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลือง, หัวกุ้งกุลาดำและน้ำนึ่งปลาทูน่า

Table 5 Chemical composition of whole viscera of Yellowfin tuna (*Thunnus albacares*), shrimp head (*Penaeus monodon*) and tuna condensate

Chemical composition	Raw material		
	Whole tuna viscera	Shrimp head	tuna condensate
Moisture[1]	76.73 ± 0.48	79.58 ± 0.38	93.32 ± 0.28
Protein[2]	67.70 ± 0.76	50.94 ± 0.37	65.76 ± 0.90
Fat[2]	9.65 ± 1.89	4.95 ± 0.33	8.38 ± 0.48
Ash[2]	6.32 ± 0.40	23.46 ± 1.51	9.36 ± 0.01

Data are mean values of triplicate determinations ± standard deviation

[1] Expressed as a percentage of wet weight [2] Expressed as a percentage of dry weight

2. ศึกษาชนิดและความเข้มข้นของเอนไซม์ที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์จากหัวกุ้งกุลาดำและน้ำนึ่งปลาทูน่า

2.1 การเตรียมเอนไซม์สกัด

จากการสกัดเอนไซม์จากเครื่องในรวมปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลือง พบว่าเอนไซม์สกัด (crude enzyme) ที่ได้มีลักษณะสีน้ำตาล มีกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสเท่ากับ 35.78 ยูนิตต่อมิลลิลิตร และมีกิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์โปรติเอส 1.41 ยูนิตต่อมิลลิกรัม ค่าที่ได้เหล่านี้ต่ำกว่าค่าที่ได้จากเอนไซม์สกัดจากเครื่องในปลาทูน่าพันธุ์โอดำ (*Thunnus tonggol*) โดยให้ค่ากิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสและกิจกรรมจำเพาะเท่ากับ 48.53 ยูนิตต่อมิลลิลิตร และ 2.30 ยูนิตต่อมิลลิกรัม ตามลำดับ (ฐิรารัตน์ ประชุมรัตน์, 2541) และต่ำกว่าค่าของเอนไซม์ crude proteinase ที่สกัดจากไส้ติ่ง (pyloric caeca) ของปลาทูน่าซึ่งมีกิจกรรมจำเพาะของโปรติเอส 2.75 ยูนิตต่อมิลลิกรัม (Jeon *et al*., 1999) แต่สูงกว่าค่ากิจกรรมจำเพาะของโปรติเอสที่สกัดเอนไซม์จากไส้ติ่งของปลาทูน่า (*Thunnus thynnus*) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.54 ยูนิตต่อมิลลิกรัม (Kim *et al*., 1997) ซึ่งเอนไซม์ที่สกัดจากไส้ติ่งปลาแซลมอนประกอบด้วย เอนไซม์ไคโมทริปซิน ทริปซินและอีลาสเตส (Kristinsson and Rasco, 2000) กิจกรรมการย่อยสลายตัวเองของเอนไซม์โปรติเอสในเครื่องในปลาและทางเดินอาหารจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของปลาและฤดูกาลที่เก็บเกี่ยว (Shahidi *et al*., 1995) จากผลดังกล่าวนี้จะเห็นว่ามีปัจจัย

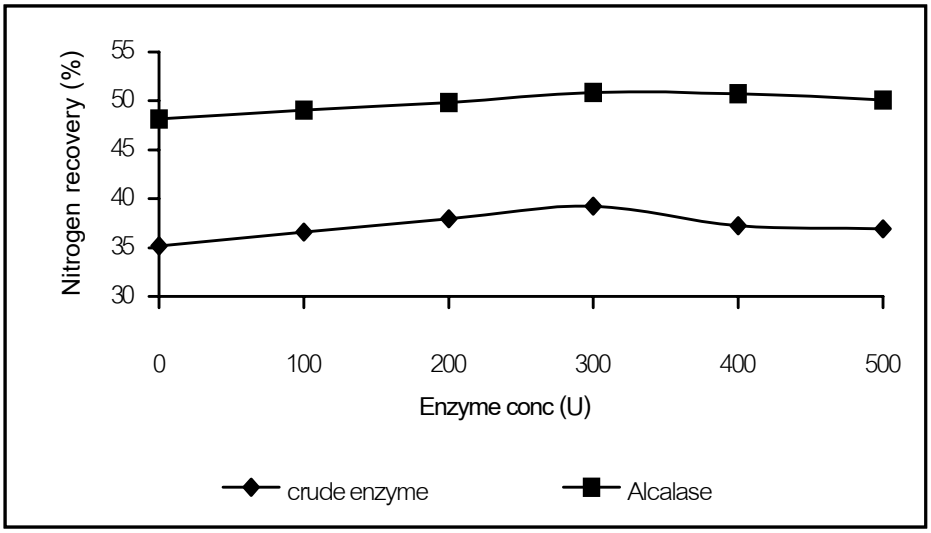
หลายประการที่ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสที่ได้มีความแตกต่างกันคือ อาหาร อายุ เพศ ฤดูกาลที่จับและแหล่งที่อยู่อาศัย เป็นต้น (Spenelli and Dassaw, 1982)

2.2 ชนิดและความเข้มข้นของเอนไซม์ต่อการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากหัวกุ้งกุลาดำ

จากการใช้เอนไซม์สกัดจากเครื่องในรวมปลาทูน่าและเอนไซม์อัลคาเลส 2.4 L ในการย่อยสลายโปรตีนจากหัวกุ้งกุลาดำ โดยการเติมเอนไซม์ทั้ง 2 ชนิดที่ความเข้มข้นต่างๆกันคือ 0, 100, 200, 300, 400 และ 500 ยูนิต พบว่าเอนไซม์อัลคาเลสมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายโปรตีนดีกว่าเอนไซม์สกัดที่ความเข้มข้นทุกระดับ (ภาพที่ 4 และ 5) เนื่องจากเอนไซม์ที่สกัดได้จากเครื่องในปลาทูน่ามีเอนไซม์หลายชนิดเช่น ไคโมทริปซิน ทริปซินและเปปซิน (Meinke *et al*., 1972) โดยเฉพาะเปปซินสามารถทำงานได้ดีในสภาวะเป็นกรด (2-4) (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2543) ซึ่งสภาวะในการย่อยโปรตีนจากหัวกุ้งกุลาดำไม่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ และโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ผลิตได้ให้ปริมาณไนโตรเจนที่ผลิตได้ (nitrogen recovery ; NR) และระดับการย่อยสลาย (degree of hydrolysis ; DH) สูงสุดที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ 300 ยูนิต ซึ่งโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากการย่อยสลายหัวกุ้งกุลาดำด้วยเอนไซม์อัลคาเลสมีปริมาณไนโตรเจนที่ผลิตได้สูงกว่าเอนไซม์สกัด ให้ค่าปริมาณไนโตรเจนที่ผลิตได้เท่ากับ 50.88% และ 39.26% ตามลำดับ ปริมาณไนโตรเจนที่ผลิตได้ต่ำกว่าการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากปลาแปซิฟิกไวทิง (Pacific whiting) โดยใช้เอนไซม์อัลคาเลสแต่สูงกว่าเอนไซม์นิวเทรสซึ่งให้ปริมาณไนโตรเจนที่ผลิตได้ 60% และ 40% ตามลำดับ (Benjakul and Morrissey, 1997) สำหรับระดับการย่อยสลายของโปรตีนไฮโดรไลเสตจะให้ค่าสูงสุดที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ 300 ยูนิตเช่นเดียวกัน เอนไซม์อัลคาเลสให้ระดับการย่อยสลาย 25.39% ส่วนเอนไซม์สกัดให้ค่าเท่ากับ 19.72% ทั้งนี้เนื่องจากเอนไซม์แต่ละชนิดมีความสามารถในการย่อยสลายโปรตีนที่แตกต่างกัน กล่าวคือเอนไซม์อัลคาเลสมีสมบัติในการตัดสายเปปไทด์แบบสุ่มและมีความจำเพาะแบบกว้าง (Adler-Nissen, 1986) การเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์มากกว่า 300 ยูนิตไม่มีผลต่อปริมาณไนโตรเจนที่ผลิตได้และระดับการย่อยสลาย ระดับการย่อยสลายของเอนไซม์อัลคาเลสนี้ (25.39%) ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากกระเพาะปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลืองซึ่งได้เท่ากับ 23% (Guerard *et al*., 2001) ส่วนโปรตีนไฮโดรไลเสตจากหัวกุ้งกุลาดำที่เติมเอนไซม์สกัดลงไปมีระดับการย่อยสลาย (19.72%) สูงกว่าผลการทดลองของ Kristinsson และ Rasco (2000) ที่ใช้เอนไซม์สกัดจากเครื่องในปลาแอตแลนติกแซลมอน (Atlantic salmon ; *Salmo salar*) ในการย่อยสลายกล้ามเนื้อปลาแซลมอนเพื่อผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตซึ่งมีประสิทธิภาพในการย่อยสลาย 14.10% และรวมทั้งผลจากการใช้เอนไซม์ Corolase 7089 ซึ่งเป็นเอนไซม์ทางการค้าที่อยู่ในกลุ่มอัลคาไลน์โปรติเอส ที่ให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลาย 14.40% ดังนั้นจึงเลือกใช้ความเข้มข้น

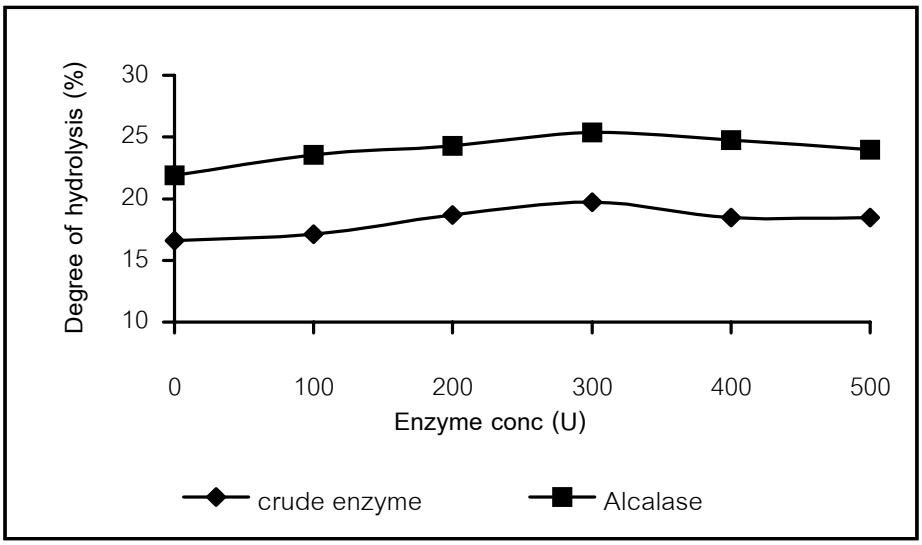
เอนไซม์ที่ 300 ยูนิตเพื่อผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากหัวกุ้งกุลาดำ ในการผลิตโปตีนไฮโดรไลเสตจากหัวกุ้งกุลาดำ พบว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ผลิตได้มีปริมาณไนโตรเจนที่ละลายได้อยู่ในช่วง 49.85-53.97% และมีระดับการย่อยสลายอยู่ในช่วง 24.41-25.39%

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ผลิตได้ พบว่ามีความชื้น 94.03-94.80% โปรตีน 60.60-62.79% จะเห็นว่าปริมาณโปรตีนต่ำกว่าค่าที่ได้จากการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากปลาแปซิฟิกไวทิงโดยใช้เอนไซม์อัลคาเลส (82.25%) (Benjakul and Morrissey, 1997) เช่นเดียวกับโปรตีนไฮโดรไลเสตจากปลาเฮอริ่งมีปริมาณโปรตีน (82.30-87.90%) (Hoyle and Merritt, 1994) แต่ปริมาณโปรตีนที่ได้นี้สูงกว่าการย่อยสลายหัวกุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium vollenhovenii*) โดยใช้เชื้อ *Lactobacillus plantarum* ซึ่งได้ปริมาณโปรตีน 41.80-42.70% (Fagbenro and Bello-Olusoji, 1997) ส่วนปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์พบว่ามีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณไขมันในวัตถุดิบ โดยมีค่าระหว่าง 0.17-0.67% และต่ำกว่าค่าที่รายงานโดย Fagbenro และ Bello-Olusoji (1997) ที่นำหัวกุ้งก้ามกรามมาย่อยสลายโดยการหมักด้วยเชื้อแบคทีเรีย โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณไขมัน 1.13-1.65% และมีปริมาณเถ้า 12.10-13.70% ซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณเถ้าในผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ (12.04-13.63%) รวมทั้งในโปรตีนไฮโดรไลเสตจากปลาเฮอริ่ง (12.00-13.30%) (Hoyle and Merritt, 1994)



ภาพที่ 4 ผลของชนิดและความเข้มข้นของเอนไซม์ต่อปริมาณไนโตรเจนที่ผลิตได้ของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากหัวกุ้งกุลาดำ

Figure 4 Effect of type and concentration of enzyme on nitrogen recovery of protein hydrolysate from shrimp head



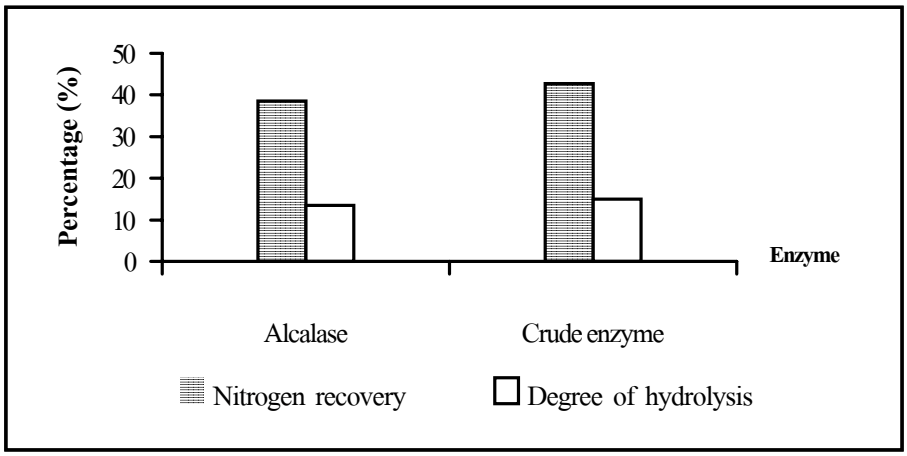
ภาพที่ 5 ผลของชนิดและความเข้มข้นของเอนไซม์ต่อระดับการย่อยสลายของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากหัวกุ้งกุลาดำ

Figure 5 Effect of type and concentration of enzyme on degree of hydrolysis of protein hydrolysate from shrimp head

2.3 ชนิดของเอนไซม์ต่อการผลิตสารสกัดจากปลาโดยใช้น้ำนึ่งปลาทูน่า

จากการผลิตสารสกัดจากปลา (fish extract) โดยใช้เอนไซม์ 2 ชนิดคือ เอนไซม์อัลคาเลส และเอนไซม์สกัดซึ่งจะเติมเอนไซม์ในกิจกรรมเท่าๆกันคือ 300 ยูนิต พบว่าปริมาณไนโตรเจนที่ผลิตได้และระดับการย่อยสลายที่ได้จากการใช้แต่ละเอนไซม์มีค่าใกล้เคียงกัน โดยการผลิตสารสกัดจากปลาที่เติมเอนไซม์อัลคาเลสจะได้ปริมาณไนโตรเจนที่ผลิตได้ 38.57% และมีระดับการย่อยสลาย 13.54% ส่วนการผลิตสารสกัดจากปลาที่เติมเอนไซม์สกัดจะมีปริมาณไนโตรเจนที่ผลิตได้และระดับการย่อยสลาย 42.70 และ14.98% ตามลำดับ (ภาพที่ 6) จากผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ Kristinsson และคณะ (2000) กล่าวว่าเอนไซม์โปรติเอสที่ได้จากเครื่องในปลามีความจำเพาะต่อโปรตีนปลามากกว่าเอนไซม์อัลคาเลส ปริมาณไนโตรเจนที่ผลิตได้ในผลิตภัณฑ์มีค่าใกล้เคียงกับโปรตีนไฮโดรไลเสตจากปลาแปซิฟิกไวทิงโดยใช้เอนไซม์นิวเทรสซึ่งให้ปริมาณไนโตรเจนที่ผลิตได้อยู่ระหว่าง 22-40% (Benjakul and Morrissey, 1997) สำหรับระดับการย่อยสลายที่ได้ใกล้เคียงกับการใช้เอนไซม์สกัดจากเครื่องในปลาแอตแลนติกแซลมอน และเอนไซม์ Corolase 7089 ในการย่อยสลายกล้ามเนื้อปลาแซลมอนซึ่งมีระดับการย่อยสลาย 14.10% และ 14.40% ตามลำดับ (Kristinsson and Rasco, 2000)

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดจากปลา พบว่ามีโปรตีนระหว่าง 62.61-66.67% ความชื้นและไขมัน 94.38-96.72 และ 0.11-1.97% ตามลำดับ สารสกัดจากปลาที่ผลิตได้มีปริมาณไขมันน้อยกว่าตอนเริ่มต้น ทั้งนี้เนื่องจากในกระบวนการผลิตมีการเอาไขมันออกไป (Jantaro, 2000) ซึ่งใกล้เคียงกับผลการทดลองของ Jantaro (2000) ที่ผลิตสารสกัดจากปลาโดยใช้เอนไซม์ทริปซินและเอนไซม์ไคโมทริปซินทางการค้าซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณความชื้น 94.87 และ 94.52% ตามลำดับ ส่วนปริมาณไขมันพบว่าจะมีปริมาณน้อยมาก เช่นเดียวกับการรายงานของ Gildberg และ Quan (1994) ที่ผลิตโปรตีนสกัดจากปลาซึ่งมีปริมาณไขมัน 0.20% ปริมาณเถ้าของผลิตภัณฑ์มีค่าระหว่าง 18.48-19.70% ซึ่งใกล้เคียงกับการผลิตสารสกัดจากปลาซึ่งมีปริมาณโปรตีนและเถ้า 69.81 และ 17.95% ตามลำดับ



ภาพที่ 6 ผลของเอนไซม์อัลคาเลสและเอนไซม์สกัดที่ความเข้มข้น 300 ยูนิตต่อปริมาณไนโตรเจนที่ผลิตได้และระดับการย่อยสลายในการผลิตสารสกัดจากปลาโดยใช้น้ำนึ่งปลาทูน่า

Figure 6 Effect of Alcalase and crude enzyme at the concentration of 300 U/g on nitrogen recovery and degree of hydrolysis for production of fish extract from tuna condensate

2.4 องค์ประกอบของกรดอะมิโนในโปรตีนไฮโดรไลเสต

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดอะมิโนในโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในรวมปลาทูน่า, หัวกุ้งกุลาดำ และน้ำนึ่งปลาทูน่า (ตารางที่ 6) โปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในรวมปลาทูน่า ประกอบด้วยกรดกลูตามิกในปริมาณสูง (6.16%) รองลงมาคือ กรดแอสพาร์ติก (4.26%) ไกลซีน (4.17%) และลูซีน (3.91%) และพบฮีสติดีนในปริมาณต่ำสุด (1.60%) เช่นเดียวกับโปรตีนไฮโดรไลเสตจากกุ้งเคย (krill hydrolysate) ที่มีกรดกลูตามิกในปริมาณสูง (6.26) รองลงมาคือ กรดแอสพาร์ติก (4.66%) ไลซีน (3.69%) และไกลซีน (3.48%) ตามลำดับ (Kolkovski *et al*., 2000) และพบว่ากรดอะมิโนในโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในรวมปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลืองมีปริมาณน้อยกว่าเครื่องในปลาทูน่าพันธุ์โอแถบที่เป็นวัตถุดิบเริ่มต้น ทั้งนี้เนื่องจากวัตถุดิบต่างชนิดกัน องค์ประกอบกรดอะมิโนจึงมีความแตกต่างกัน และในกระบวนการวิเคราะห์อาจเกิดการสูญเสียกรดอะมิโนโดยเฉพาะกรดอะมิโนที่มีความไวสูงได้แก่ เมตไทโอนีนและทริปโตเฟน (Shahidi *et al*., 1995) นอกจากนี้โปรตีนไฮโดรไลเสตจากปลาแปซิฟิกไวทิง, โปรตีนไฮโดรไลเสตจากส่วนที่เหลือจากการแล่เนื้อปลาคอดและโปรตีนไฮโดรไลเสตจากปลาคาเพลินประกอบด้วยกรดกลูตามิกมากที่สุด รองลงมาคือ กรดแอสพาร์ติก ไกลซีน ไลซีน และมีปริมาณของซีสเตอีน และทริปโตเฟนน้อยที่สุด (Benjakul and Morrissey, 1997; Kim *et al*., 1997; Shahidi *et al*., 1995) สำหรับกรดอะมิโนในโปรตีนไฮโดรไลเสตจากหัวกุ้งกุลาดำ ประกอบด้วยกรดกลูตามิกสูงสุด (6.42%) รองลงมาคือ ไกลซีน (4.15%)

กรดแอสพาร์ติก (3.96%) และอะลานีน (3.92%) และพบไทโรซีนในปริมาณน้อยที่สุด (0.64%) โดยทั่วไปโปรตีนไฮโดรไลเสตจากกุ้ง ประกอบด้วยกรดอะมิโนจำเป็น (essential amino acid; EAA) เป็นส่วนใหญ่ผลที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ Gildberg และ Stenberg (2001) ซึ่งพบว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตจากกุ้ง *Pandalus borealis* มีปริมาณกรดกลูตามิกสูงสุด (8.92%) รองลงมาคือ อาร์จีนีน (8.90%) ลูซีน (8.86%) ไลซีน (8.31%) ตามลำดับ ส่วนกรดอะมิโนที่พบมากที่สุดในสารสกัดจากปลาคือ ไกลซีน (7.45%) รองลงมาคือ กรดกลูตามิก (4.84%) โปรลีน (4.61%) และอะลานีน (3.88%) และพบไทโรซีนและฟีนิลอะลานีนในปริมาณต่ำ (0.40% และ 0.97% ตามลำดับ) ผลที่ได้ใกล้เคียงกับโปรตีนไฮโดรไลเสตจากปลาแปซิฟิกไวทิงและปลาคอด ซึ่งมีปริมาณไกลซีนอยู่ 8.09% และ 9.53% ตามลำดับ (Benjakul and Morrissey, 1997; Kim *et al*., 1997)

ตารางที่ 6 องค์ประกอบกรดอะมิโนของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในรวมปลาทูน่า หัวกุ้งกุลาดำ และน้ำนึ่งปลาทูน่า

Table 6 Amino acid composition of protein hydrolysate from tuna viscera, shrimp head and tuna condensate

Amino acid composition	g/100 g		
	Tuna viscera	Shrimp head	Tuna condensate
Aspartic acid	4.26	3.96	2.62
Serine	2.73	1.50	1.54
Glutamic acid	6.16	6.42	4.84
Glycine	4.17	4.15	7.45
Histidine	1.60	1.15	2.69
Arginine	3.31	1.91	1.98
Threonine	2.69	1.72	1.49
Alanine	2.92	3.92	3.88
Proline	2.70	1.77	4.61
Tyrosine	1.84	0.64	0.40
Valine	2.96	2.65	1.81
Lysine	3.05	3.12	1.99
Isoleucine	2.64	2.17	1.06
Leucine	3.91	3.15	1.73
Phenylalanine	2.44	2.19	0.97

3. การใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตเป็นสารดึงดูดการกินอาหารของปลากดเหลือง

3.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองสูตรต่างๆ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองทั้ง 10 สูตร (ตารางที่ 7) พบว่าอาหารทดลองมีความชื้นอยู่ในช่วง 4.43-15.06% ซึ่งแต่ละสูตรมีความชื้นแตกต่างกัน เนื่องจากในกระบวนการผลิตเม็ดอาหารใช้เวลาในการทำให้อาหารแห้งไม่เท่ากัน ในขณะที่มีปริมาณโปรตีน ไขมัน, เถ้า และเยื่อใยอยู่ในช่วง 34.92-36.00%, 9.80-10.61%, 7.03-7.42% และ 3.33-4.99% ตามลำดับ ส่วนพลังงานในอาหารมีค่าอยู่ในช่วง 20.14-20.58 กิโลจูลต่อกรัม องค์ประกอบทางเคมีของอาหารขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของอาหารที่ใช้ในการผลิต โดยปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ได้ใกล้เคียงกับระดับโปรตีนที่กำหนดไว้ ซึ่งอาหารแต่ละสูตรจะมีปริมาณโปรตีน 35% ซึ่งเป็นระดับที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต ปลากินเนื้อส่วนใหญ่มีความต้องการโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโตสูงประมาณ 35% ขึ้นไป ในขณะที่ปลากินพืชและปลากินพืชและเนื้อมีความต้องการโปรตีนประมาณ 20-25% และ 25-35% ตามลำดับ (วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2536) ส่วนปริมาณไขมันของอาหารทดลองทุกๆสูตรมีค่าใกล้เคียงกัน (9.80-10.61%) ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสม โดยส่วนมากระดับไขมันที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 10-15% เพราะระดับไขมันดังกล่าวทำให้ปลาใช้โปรตีนได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีการเจริญเติบโตเป็นปกติ (วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2536) ส่วนปริมาณเถ้าและเยื่อใยของอาหารทดลองทุกๆสูตรก็มีค่าใกล้เคียงกัน ปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ได้ใกล้เคียงกับอาหารทดลองของ Khan และคณะ (1996) ซึ่งมีโปรตีนอยู่ในช่วง 35.10-38.39% ไขมัน 10.65-10.88% ส่วนค่าความชื้น เถ้า และพลังงานก็ใกล้เคียงกับอาหารที่มีการเติมโปรตีนไฮโดรไลเสตสำหรับเลี้ยงปลาเทอโบท (*Scophthalmus maximus*) ซึ่งมีความชื้นระหว่าง 10.50-11.50% เถ้า 9.20-11.20% และพลังงาน 19.30-19.80 กิโลจูลต่อกรัม (Teles *et al*., 1999)

ตารางที่ 7 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองสูตรต่างๆ

Table 7 Chemical composition of experimental diets

Diets[2]	Chemical composition[1](%)					
	Moisture	Protein	Fat	Ash	Fiber	Energy
1(0%)	7.97±0.26	35.70±0.25	9.80±0.21	7.21±0.12	4.99±0.15	20.14±0.02
2(YTH5%)	12.97± 0.08	35.84±0.16	10.55±0.11	7.03±0.14	4.64±0.14	20.47±0.03
3(YTH10%)	5.53±0.01	35.32±0.16	10.34±0.21	7.09±0.03	3.90±0.59	20.58±0.02
4(YTH15%)	4.43±0.16	34.92±0.50	10.47±0.18	7.18±0.09	4.27±0.13	20.41±0.11
5(SHH5%)	15.06±0.20	35.21±0.28	9.98±0.02	7.15±0.14	4.47±0.66	20.34±0.07
6(SHH10%)	11.57±0.05	36.01±0.17	10.12±0.30	7.17±0.10	4.35±0.17	20.25±0.02
7(SHH15%)	11.59±0.11	35.67±0.45	10.13±0.12	7.22±0.15	3.94±0.44	20.37±0.08
8(FE5%)	14.98±0.08	35.79±0.22	10.61±0.06	7.14±0.09	4.06±0.69	20.15±0.06
9(FE10%)	7.36±0.12	35.85±0.21	10.27±0.20	7.10±0.08	3.33±0.49	20.17±0.02
10(FE15%)	8.87±0.06	36.00±0.16	10.44±0.08	7.42±0.12	3.98±1.05	20.18±0.07

Data are mean values of triplicate determinations ± standard deviation.

[1] Moisture is expressed as percentage of wet weight and protein, fat, ash and fiber are expressed as percentage and energy as kilojoul/gram on dry matter basis.

[2] Numbers and abbreviation in the bracket are the concentrations and dietary treatments. YTH=yellowfin tuna hydrolysate, SHH=shrimp head hydrolysate, FE=fish extract from tuna condensate.

3.2 การยอมรับอาหารและการกินอาหารของปลากดเหลือง

ในระหว่างการทดลองมีการสังเกตพฤติกรรมการกินอาหารของปลากดเหลือง โดยในช่วง 2 สัปดาห์แรกของการทดลอง (ภาพที่ 7) พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในรวมปลาทูน่าที่ระดับ 10% และ 15% ปลายอมรับอาหารได้รวดเร็วใน 2-3 วันแรกของการทดลอง และมีปริมาณการกินอาหารเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยในวันที่ 14 ปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในรวมปลาทูน่าที่ระดับ 10% มีปริมาณการกินอาหาร 0.46 กรัมต่อตัว

ซึ่งใกล้เคียงกับปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในรวมปลาทูน่าที่ระดับ 15% มีปริมาณการกินอาหาร 0.49 กรัมต่อตัว แตกต่างจากชุดควบคุมที่มีปริมาณการกินอาหาร 0.23 กรัมต่อตัว ส่วนปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากหัวกุ้งกุลาดำและน้ำนึ่งปลาทูน่าสามารถยอมรับอาหารได้มากขึ้นภายใน 1 สัปดาห์ โดยปลามีปริมาณการกินอาหารเพิ่มขึ้นจากช่วงแรกของการทดลอง ปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากหัวกุ้งกุลาดำที่ระดับ 5, 10 และ 15% ในวันที่ 14 มีปริมาณการกินอาหารเท่ากับ 0.27, 0.30 และ 0.40 กรัมต่อตัว ตามลำดับ และปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากน้ำนึ่งปลาทูน่าที่ระดับ 5, 10 และ 15% มีปริมาณการกินอาหารเท่ากับ 0.27, 0.29 และ 0.34 กรัมต่อตัว ตามลำดับ และมากกว่าชุดควบคุม (0.23 กรัมต่อตัว) แสดงว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ใช้เคลือบเม็ดอาหารมีผลต่อการกินอาหาร โดยจะไปดึงดูดให้ปลากินอาหารมากขึ้นและว่ายเข้าหาอาหารอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากในโปรตีนไฮโดรไลเสตมีกรดอะมิโนที่ทำหน้าที่เป็นตัวดึงดูดการกินอาหาร ซึ่งจะเป็นกรดอะมิโนในกลุ่มที่ไม่มีขั้ว (non-polar R group) ได้แก่ เซอรีน อะลานีน โปรลีน วาลีน ลูซีน และไอโซลูซีน (Borquez and Cerqueira, 1998; Clarke *et al*., 1994; Jones, 1989) โดยกรดอะมิโนดังกล่าวจะทำหน้าที่ร่วมกันในการดึงดูดการกินอาหารของปลา จากการยอมรับอาหารและปริมาณอาหารที่ปลากิน สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์กรดอะมิโนของโปรตีนไฮโดรไลเสต ซึ่งพบว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในรวมปลา ทูน่ามีปริมาณของกรดอะมิโนกลุ่มที่ไม่มีขั้วสูงกว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตจากหัวกุ้งกุลาดำและสารสกัดจากปลาจากน้ำนึ่งปลาทูน่า จึงทำให้ปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในรวมปลาทูน่ามีปริมาณการกินอาหารสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากหัวกุ้งกุลาดำและสารสกัดจากปลาจากน้ำนึ่งปลาทูน่า

การกินอาหารของปลากดเหลืองในช่วง 2 สัปดาห์ (ตารางที่ 8) พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในรวมปลาทูน่ามีปริมาณการกินอาหารสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากหัวกุ้งกุลาดำและน้ำนึ่งปลาทูน่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากหัวกุ้งกุลาดำและน้ำนึ่งปลาทูน่าไม่มีความแตกต่างกัน จากปริมาณการกินอาหารแสดงว่าปลายอมรับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในรวมปลาทูน่าได้ดี และเมื่อปลายอมรับอาหารได้ดีทำให้ปลากินอาหารได้มากส่งผลให้ปลามีการเจริญเติบโตดี โดยปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในรวมปลาทูน่ามีปริมาณการกินอาหารอยู่ในช่วง 3.15-4.88 กรัมต่อตัว ปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากหัวกุ้งกุลาดำและน้ำนึ่งปลาทูน่ามีปริมาณการกินอาหารอยู่ในช่วง 2.42-3.08 และ 2.14-2.89 กรัมต่อตัว ตามลำดับ ส่วนปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่ได้เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตมีปริมาณการกินอาหารอยู่ในช่วง 1.21-2.35 กรัมต่อตัว จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตมีผลต่อการรับกลิ่นและรสของปลา ซึ่งสามารถดึงดูดและกระตุ้นการกินอาหารของปลากดเหลืองได้ ส่งผลให้ปลามีการเจริญเติบโตดีทั้งนี้เนื่องจากในโปรตีนไฮโดรไลเสตมีคุณค่าทางโภชนาการสูง (Kolkovski *et al*., 2000) และในโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในรวมปลาทูน่ามีปริมาณกรดอะมิโนอะลานีน, เซอรีน, ไฮโซลูซีน, ลูซีน, วาลีน และไกลซีน สูงกว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตจากหัวกุ้งกุลาดำและน้ำนึ่งปลาทูน่า ซึ่งกรดอะมิโนเหล่านี้ทำหน้าที่เพิ่มความน่าสนใจของอาหารและดึงดูดการกินอาหารของปลา (Borquez and Cerqueira, 1998; Clarke *et al*., 1994; Jones, 1989) และระดับของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ใช้เคลือบเม็ดอาหารส่งผลต่อการกินอาหารของปลากดเหลือง โดยปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 10% และ 15% มีปริมาณการกินอาหารสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 5% และอาหารที่ไม่ได้เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แต่ปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 10% และ 15% มีปริมาณการกินอาหารไม่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าการเคลือบเม็ดอาหารด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 10% เป็นระดับที่เหมาะสมต่อการรับกลิ่นและรสของปลากดเหลืองซึ่งถ้าหากเพิ่มปริมาณมากกว่านี้ก็ไม่สามารถเพิ่มปริมาณการกินอาหารของปลาได้ (Kolkovski *et al*., 2000)

ตารางที่ 8 ปริมาณการกินอาหารของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีการเคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตระดับต่างๆ เป็นเวลา 2 สัปดาห์

Table 8 Feed intake of *Mystus nemurus* (Cuv. & Val.) fed with protein hydrolysate coated diet after 2 weeks.

Level	Raw material		
	YTH	SHH	FE
0%	1.88 ± 0.60^{d}	1.88 ± 0.60^{d}	1.88 ± 0.60^{d}
5%	3.15 ± 0.54^{b}	2.44 ± 0.25^{bcd}	2.14 ± 0.74^{cd}
10%	4.88 ± 0.80^{a}	2.42 ± 0.22^{bcd}	2.33 ± 0.14^{bcd}
15%	4.41 ± 0.26^{a}	3.08 ± 0.11^{b}	2.89 ± 0.29^{bc}

Data are mean values of triplicate determinations ± standard deviation.

YTH=yellowfin tuna hydrolysate, SHH=shrimp head hydrolysate, FE=fish extract from tuna condensate.

^{abcd} Different superscripts in a row and a column indicate significant differences between the diets ($p<0.05$).

3.3 การเจริญเติบโต

จากการให้อาหารทดลอง 10 สูตรแก่ปลากดเหลืองเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์และวิเคราะห์น้ำหนักปลาเฉลี่ยต่อตัวเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง ปริมาณอาหารที่ปลากิน อัตราการเปลี่ยนอาหารไปเป็นเนื้อ และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารทั้ง 10 สูตร (ตารางที่ 9) และการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 10 และ 11) พบว่าน้ำหนักปลากดเหลืองเฉลี่ยต่อตัว เมื่อเริ่มต้นการทดลองอยู่ในช่วง 8.56-9.49 กรัมซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) หลังเสร็จสิ้นการทดลองได้ชั่งน้ำหนักปลากดเหลือง พบว่ามีน้ำหนักอยู่ในช่วง 14.98-25.94 กรัมต่อตัว และปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในรวมปลาทูน่า 10% มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยสูงสุด (25.94 ± 5.32 กรัมต่อตัว) และพบว่าน้ำหนักสุดท้ายของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ผลิตจากเครื่องในรวมปลาทูน่า, หัวกุ้งกุลาดำ และน้ำนึ่งปลาทูน่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) เนื่องจากปลาสามารถยอมรับอาหารได้ใกล้เคียงกันและในโปรตีนไฮโดรไลเสตมีคุณค่าทางโภชนาการเพียงพอต่อการเจริญเติบโต (Kolkovski *et al*., 2000) ส่วนระดับ

ของโปรตีนไฮโดรไลเสต (0%, 5%, 10%, 15%) ที่ใช้เคลือบเม็ดอาหาร พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 10% มีน้ำหนักสุดท้ายสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 5% และปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่มีการเคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสต (ชุดควบคุม) อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แต่ปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 10% และ 15% พบว่าน้ำหนักปลาสุดท้ายไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณการกินอาหารโดยปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 10% มีปริมาณการกินอาหารสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 5% และอาหารที่ไม่ได้เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการเคลือบเม็ดอาหารด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 10% เป็นระดับที่เหมาะสมและเพียงพอต่อการเจริญเติบโต เมื่อปลากินอาหารได้มากกว่าและในอาหารมีปริมาณโปรตีนและพลังงานเพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย ส่งผลให้ปลามีการเจริญเติบโตดีกว่าปลาที่กินอาหารได้น้อย

การที่ปลากดเหลืองมีการตอบสนองที่ดีต่ออาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในรวมปลาทูน่า เนื่องจากมีปริมาณกรดอะมิโนที่ทำหน้าที่เป็นสารดึงดูดการกินอาหารอยู่ในปริมาณสูง ซึ่งพบว่ากรดอะมิโนที่ทำหน้าที่เป็นสารดึงดูดการกินอาหารเป็นกรดอะมิโนกลุ่มที่ไม่มีขั้ว (non-polar R group) (Jones, 1989) โปรตีนไฮโดรไลเสตและสารสกัดจากปลาที่ผลิตได้มีปริมาณและองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่แตกต่างกัน โดยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในรวมปลาทูน่ามีปริมาณของกรดอะมิโน เซอรีน (2.73) โปรลีน (2.70) วาลีน (2.96) ลูซีน (3.91) ไอโซลูซีน (2.64) และฟีนิลอะลานีน (2.44) ซึ่งเป็นกรดอะมิโนในกลุ่มที่ไม่มีขั้วและมีปริมาณสูงกว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตจากหัวกุ้งกุลาดำและสารสกัดจากปลา โดยมีปริมาณกรดอะมิโนเซอรีน (1.50, 1.54) โปรลีน (1.77, 4.61) วาลีน (2.65, 1.81) ลูซีน (3.15, 1.73) ไอโซลูซีน (2.17, 1.06) และฟีนิลอะลานีน (2.19, 0.97) ตามลำดับ การทำหน้าที่เป็นสารดึงดูดการกินอาหารไม่ใช่เป็นเพราะกรดอะมิโนตัวใดตัวหนึ่ง แต่เป็นการทำงานร่วมกันของกรดอะมิโนหลายๆตัว จากปริมาณของกรดอะมิโนในโปรตีนไฮโดรไลเสตและสารสกัดจากปลาที่ผลิตได้สอดคล้องกับปริมาณการกินอาหารและการเจริญเติบโตของปลา พบว่าปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในรวมปลาทูน่ามีปริมาณการกินอาหารและการเจริญเติบโตสูงกว่าปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากหัวกุ้งกุลาดำและน้ำนึ่งปลาทูน่า

ตารางที่ 10 น้ำหนักปลาเริ่มต้น น้ำหนักปลาสุดท้าย ปริมาณอาหารที่ปลากิน อัตราการเปลี่ยนอาหารไปเป็นเนื้อ และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีการเคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตชนิดต่างๆเป็นเวลา 6 สัปดาห์

Table 10 Initial weight, final weight, feed intake, feed conversion ratio and specific growth rate of *Mystus nemurus* (Cuv. & Val.) fed with different types of protein hydrolysate coated diet for 6 weeks.

Parameter	Raw material		
	YTH	SHH	FE
Initial weight	8.79 ± 0.78	9.18 ± 0.53	9.29 ± 0.46
Final weight	22.29 ± 4.94	18.43 ± 2.31	18.67 ± 3.02
Feed intake	17.53 ± 3.98[a]	13.87 ± 1.95[b]	13.15 ± 1.83[b]
Feed conversion ratio	1.25 ± 0.24	1.35 ± 0.22	1.35 ± 0.25
Specific growth rate	2.17 ± 0.44[a]	1.64 ± 0.33[b]	1.64 ± 0.35[b]

Data are mean values ± standard deviation.

YTH=yellowfin tuna hydrolysate, SHH=shrimp head hydrolysate, FE=fish extract from tuna condensate.

[ab] Different superscripts in a row indicate significant differences between the diets ($p<0.05$). Mean values without superscript are not significantly different ($p>0.05$).

ตารางที่ 11 น้ำหนักปลาเริ่มต้น น้ำหนักปลาสุดท้าย ปริมาณอาหารที่ปลากิน อัตราการเปลี่ยนอาหารไปเป็นเนื้อ และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่มีการเคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับต่างๆเป็นเวลา 6 สัปดาห์

Table 11 Initial weight, final weight, feed intake, feed conversion ratio and specific growth rate of *Mystus nemurus* (Cuv. & Val.) fed with different levels of protein hydrolysate coated diet for 6 weeks.

Parameter	Level			
	0%	5%	10%	15%
Initial weight	8.58 ± 0.48	9.18 ± 0.83	9.10 ± 0.49	8.99 ± 0.57
Final weight	14.98 ± 3.10^{c}	17.85 ± 3.30^{bc}	21.32 ± 4.83^{a}	20.21 ± 2.84^{ab}
Feed intake	9.44 ± 3.35^{b}	13.32 ± 2.62^{a}	16.08 ± 4.43^{a}	15.14 ± 2.12^{a}
Feed conversion ratio	1.35 ± 0.25	1.48 ± 0.26	1.25 ± 0.17	1.22 ± 0.17
Specific growth rate	1.29 ± 0.46^{c}	1.55 ± 0.41^{bc}	1.98 ± 0.47^{a}	1.91 ± 0.35^{ab}

Data are mean values ± standard deviation.

YTH=yellowfin tuna hydrolysate, SHH=shrimp head hydrolysate, FE=fish extract from tuna condensate.

^{abc} Different superscripts in a row indicate significant differences between the diets ($p<0.05$). Mean values without superscript are not significantly different ($p>0.05$).

ตลอดระยะเวลาในการทดลองมีการชั่งน้ำหนักอาหารที่ปลากินทุกๆวัน และเมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง พบว่าปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่ามีปริมาณการกินอาหารสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากหัวกุ้งกุลาดำและน้ำนึ่งปลาทูน่า ส่วนระดับของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ใช้เคลือบเม็ดอาหารก็มีผลต่อปริมาณการกินอาหาร โดยปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 5%, 10% และ15% มีปริมาณการกินอาหารสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่ได้เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แต่ปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 5%, 10% และ15% มีปริมาณการกินอาหารไม่แตกต่างกัน ซึ่งจะแตกต่างจากช่วง 2 สัปดาห์แรกของการทดลอง เนื่องจากปลาสามารถปรับตัวและยอมรับอาหารได้มากขึ้น รวมทั้งปลาในชุดการทดลองที่ได้รับอาหารที่

เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในรวมปลาทูน่าที่ระดับ 15% ปลามีพฤติกรรมก้าวร้าว ทำให้ปลาเกิดความเครียดและกินอาหารได้น้อยลงส่งผลให้ปริมาณการกินอาหารของปลาต่ำ ซึ่งพฤติกรรมก้าวร้าวที่เกิดขึ้น เพราะมีการสร้างอาณาเขตการกินอาหารของปลาจ่าฝูงซึ่งหากมีปลาตัวอื่นเข้ามาในบริเวณอาณาเขตการกินอาหารก็จะถูกไล่กัด ทำให้ปลาเกิดความเครียดและกินอาหารได้น้อย เมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง (6 สัปดาห์) ปลามีปริมาณการกินอาหารอยู่ในช่วง 9.44-21.07 กรัมต่อตัว ดังนั้นการยอมรับอาหารเป็นสิ่งสำคัญมากต่อปริมาณการกินอาหารของปลา โดยจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของปลาซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Berge และคณะ (1999) ปลา Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) ที่ได้รับอาหารซึ่งประกอบด้วยปลาป่นและโปรตีนเข้มข้นจากถั่วเป็นแหล่งโปรตีน พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ใช้โปรตีนเข้มข้นจากถั่วเป็นแหล่งโปรตีนมีปริมาณการกินอาหารสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ใช้ปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีน จากผลการทดลองกล่าวได้ว่าการรับกลิ่นและรสมีความสำคัญอย่างมากในการหาอาหารของสัตว์น้ำ โดยเฉพาะในลูกปลาซึ่งมีขีดจำกัดในการมองเห็น และสารเคมีที่ทำหน้าที่เป็นสารดึงดูดการกินอาหารจะมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (น้อยกว่า 10,000 ดาลตัน) ตัวอย่างเช่น L-amino acid, นิวคลีโอไทด์ และนิวคลีโอไซด์ (Kolkovski *et al*., 2000)

สำหรับปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 10 นั้น เมื่อเสร็จสิ้นการทดลองอัตราการเปลี่ยนอาหารไปเป็นเนื้อ (feed conversion ratio; FCR) (ตารางที่ 9) ของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในรวมปลาทูน่า, หัวกุ้งกุลาดำและน้ำนึ่งปลาทูน่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ส่วนระดับของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 5%, 10% และ 15% ที่ใช้เคลือบเม็ดอาหารต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารไปเป็นเนื้อของปลากดเหลืองก็ไม่มีความแตกต่างเช่นเดียวกัน เนื่องจากอาหารแต่ละสูตรมีระดับโปรตีนเท่าๆกัน และใช้เคซีนเป็นแหล่งโปรตีนซึ่งถือว่าเป็นแหล่งโปรตีนที่ดีมีคุณค่าทางโภชนาการและปลาก็สามารถนำโปรตีนที่กินเข้าไปเพื่อการเจริญเติบโตโดยเปลี่ยนเป็นเนื้อได้ (Kolkovski *et al*., 2000) ทำให้อัตราการเปลี่ยนอาหารไปเป็นเนื้อไม่แตกต่างกัน อัตราการเปลี่ยนอาหารไปเป็นเนื้อมีค่าอยู่ในช่วง 1.10 ถึง 1.63 ซึ่งใกล้เคียงกับการเลี้ยงปลา coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) (walbaum) ที่ได้รับอาหารที่เติมบีเทนและเติมโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 3% ซึ่งผลปรากฏว่าอัตราการเปลี่ยนอาหารไปเป็นเนื้อของปลาแซลมอนที่เลี้ยงในน้ำจืดไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (0.91 และ 0.91 ตามลำดับ) (Castro *et al*., 1998) ค่าที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ต่ำกว่าของ Khan และคณะ (1996) ที่ศึกษาระดับโปรตีนต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารไปเป็นเนื้อของปลากดเหลืองซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 1.52 ถึง 2.30 ส่วน Kolkovski และคณะ (2000) ใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตจากกุ้งเคย (krill hydrolysate) เคลือบเม็ดอาหารสำหรับเลี้ยงปลา yellow perch, walleye และ lake whitefish อัตราการเปลี่ยนอาหารไปเป็นเนื้อไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างอาหารทางการค้า (2.95) และอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีน

ไฮโดรไลเสตที่ระดับ 5% (3.69) สำหรับปลา coho salmon ที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เติม FinnStim มีอัตราการเปลี่ยนอาหารไปเป็นเนื้อ (FCR) ต่ำกว่าอาหารที่ไม่เติม FinnStim (Castro *et al*., 1998)

ปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 5%, 10% และ 15% มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate; SGR) อยู่ในช่วง 1.29-2.42% ต่อวัน และชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลากดเหลือง ปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในรวมปลาทูน่ามีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากหัวกุ้งกุลาดำและน้ำนึ่งปลาทูน่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เช่นเดียวกับระดับของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ใช้เคลือบเม็ดอาหารก็มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเช่นกัน โดยปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 10% และ 15% มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะไม่แตกต่างกัน แต่อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 10% สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 5% และอาหารที่ไม่ได้เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสต (ชุดควบคุม) อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) จากผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับปริมาณการกินอาหารของปลา ซึ่งปลาที่มีปริมาณการกินอาหารสูงย่อมมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะที่สูงด้วยเช่นกัน ผลการทดลองนี้ใกล้เคียงกับรายงานของ Gildberg และคณะ (1995) ที่เลี้ยงปลาแอตแลนติกแซลมอนด้วยอาหารที่เติม 10% cod muscle protein, 10% hydrolyzed cod protein และ 10% cod muscle protein ที่ย่อยด้วยเชื้อ lactic acid bacteria ปลาแซลมอนที่ได้รับอาหารแต่ละสูตรมีการเจริญเติบโตดี และมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ 2.5% ต่อวัน นอกจากนี้มีการเติม FinnStim ที่ระดับ 1% ลงไปในอาหารเพื่อจะกระตุ้นการเจริญเติบโตของปลา chinook salmon ที่มีอายุ 1 ปี และพบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เติม FinnStim มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะดีกว่าอาหารที่ไม่ได้เติม FinnStim (Clarke *et al*., 1994; Castro *et al*., 1998)

3.4 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักปลาที่เพิ่ม อัตราการรอดตาย ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และโปรตีนสะสม

จากข้อมูลในตารางที่ 12 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักปลาที่เพิ่ม อัตราการรอดตาย ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และโปรตีนสะสมของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสต และการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 13 และ 14) เมื่อพิจารณาถึงเปอร์เซ็นต์น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น พบว่าทั้งชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตและระดับของโปรตีนไฮโดรไลเสตมีผลต่อน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น โดยปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ผลิตจากเครื่องในรวมปลาทูน่าส่งผลให้น้ำหนักปลากดเหลืองเพิ่มขึ้นสูงกว่า

ปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ผลิตจากหัวกุ้งกุลาดำและน้ำนึ่งปลาทูน่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) (ภาพที่ 8) มีผลมาจากการยอมรับอาหารและปริมาณอาหารที่ปลากินซึ่งพบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในรวมปลาทูน่ามีปริมาณการกินอาหารสูงทำให้ปลามีการเจริญเติบโตดีกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากหัวกุ้งกุลาดำและน้ำนึ่งปลาทูน่าซึ่งเห็นได้จากน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น สำหรับระดับของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ใช้เคลือบเม็ดอาหาร (ภาพที่ 9) พบว่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นของปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 10% และ 15% ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แต่ปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 10% มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 5% และอาหารที่ไม่มีการเคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) พบว่าผลที่ได้สอดคล้องกับปริมาณการกินอาหารของปลาเช่นกัน ปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 10% มีปริมาณการกินอาหารสูงจึงทำให้ปลามีการเจริญเติบโตดีกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 5% และอาหารที่ไม่ได้เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสต เช่นเดียวกับรายงานของ Kolkovski และคณะ (2000) เปอร์เซ็นต์น้ำหนักปลาที่เพิ่มหลังเสร็จสิ้นการทดลองของปลา yellow perch ที่ได้รับอาหารทางการค้ากับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากกุ้งเคย (krill hydrolysate) ไม่มีความแตกต่างกัน แต่มีความแตกต่างกันกับปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่ได้เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากกุ้งเคย

ตารางที่ 13 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักปลาที่เพิ่ม อัตราการเปลี่ยนอาหารไปเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และโปรตีนสะสมของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตชนิดต่างๆ เป็นเวลา 6 สัปดาห์

Table 13 Weight gain, survival rate, feed efficiency ratio, protein efficiency ratio and protein retention of *Mystus nemurus* (Cuv. & Val.) fed with different types of protein hydrolysate coated diet for 6 weeks.

Parameter	Raw material		
	YTH	SHH	FE
Weight gain	152.27 ± 48.27^{a}	101.22 ± 27.30^{b}	100.79 ± 28.82^{b}
Survival rate	69.63 ± 18.59	72.59 ± 15.44	76.30 ± 12.07
Feed efficiency ratio	0.75 ± 0.11	0.66 ± 0.09	0.70 ± 0.13
Protein efficiency ratio	2.31 ± 0.33	2.11 ± 0.29	2.07 ± 0.49
Protein retention	8.57 ± 1.15	7.43 ± 0.78	7.22 ± 1.04

Data are mean values $\pm$ standard deviation.

YTH=yellowfin tuna hydrolysate, SHH=shrimp head hydrolysate, FE=fish extract from tuna condensate.

[ab] Different superscripts in a row indicate significant differences between the diets ($p<0.05$). Mean values without superscript are not significantly different ($p>0.05$).

ตารางที่ 14 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักปลาที่เพิ่ม อัตราการเปลี่ยนอาหารไปเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และโปรตีนสะสมของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับต่างๆ เป็นเวลา 6 สัปดาห์

Table 14 Weight gain, survival rate, feed efficiency ratio, protein efficiency ratio and protein retention of *Mystus nemurus* (Cuv. & Val.) fed with different levels of protein hydrolysate coated diet for 6 weeks.

Parameter	Level			
	0%	5%	10%	15%
Weight gain	74.09 ± 31.53^{c}	94.87 ± 34.60^{bc}	134.13 ± 52.14^{a}	125.27 ± 31.77^{ab}
Survival rate	60.00 ± 11.55^{b}	65.19 ± 14.82^{b}	80.74 ± 12.67^{a}	72.59 ± 15.44^{ab}
Feed efficiency ratio	0.66 ± 0.14	0.64 ± 0.12	0.75 ± 0.10	0.73 ± 0.10
Protein efficiency ratio	2.02 ± 0.41	1.98 ± 0.50	2.27 ± 0.30	2.25 ± 0.27
Protein retention	6.32 ± 1.79^{b}	7.05 ± 1.17^{ab}	7.92 ± 1.04^{a}	8.25 ± 0.94^{a}

Data are mean values $\pm$ standard deviation.

YTH=yellowfin tuna hydrolysate, SHH=shrimp head hydrolysate, FE=fish extract from tuna condensate.

^{abc} Different superscripts in a row indicate significant differences between the diets ($p<0.05$). Mean values without superscript are not significantly different ($p>0.05$).

ในระหว่างการทดลองมีการสังเกตความผิดปกติของปลากดเหลือง พบว่าปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตระดับต่างๆ ไม่มีความผิดปกติของพยาธิสภาพภายนอกตลอดระยะการทดลอง แต่ก็มีการตายของปลากดเหลืองเกิดขึ้นมากในช่วงสัปดาห์แรกของการทดลอง หลังจากนั้นการตายของปลาก็ลดลง อัตราการรอดตาย (ตารางที่ 12) ของปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในรวมปลาทูน่าไม่มีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากหัวกุ้งกุลาดำและน้ำนึ่งปลาทูน่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ส่วนระดับของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ 5%, 10% และ 15% ที่ใช้เคลือบเม็ดอาหารมีผลต่ออัตราการรอดตายของปลากดเหลือง ปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 10% ให้อัตราการรอดตายสูงสุด แต่ไม่มีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 15% อย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) และปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 10% ให้อัตราการรอดตายสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 5% และอาหารที่ไม่ได้เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ผลของการเคลือบอาหารด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตทำให้ปลามีอัตราการรอดตายสูงนี้ อาจเกิดเนื่องจากคุณสมบัติของโปรตีนไฮโดรไลเสตซึ่งนอกจากจะมีศักยภาพกระตุ้นการกินอาหารและส่งเสริมการเจริญเติบโตแล้ว พบว่าในโปรตีนไฮโดรไลเสตยังมีสารที่ช่วยกระตุ้นภูมิคุ้มกันอีกด้วย (Gildberg and Stenberg, 2001) จึงทำให้อัตราการรอดตายของปลากดเหลืองสูง และที่ระดับ 10% ของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ใช้เคลือบเม็ดอาหารมีความเหมาะสมต่อปลากดเหลือง เช่นเดียวกับผลการทดลองของ Yufera และคณะ (1999) ผลิตอาหารสำหรับเลี้ยงลูกปลา gilthead seabream ซึ่งประกอบด้วยเคซีน, โปรตีนปลาไฮโดรไลเสต, ปลาหมึกป่น, เดกตริน, ไขมันและวิตามินผสม สามารถทดแทนอาหารที่เป็นสิ่งมีชีวิตเช่น rotifer ได้โดยอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายไม่มีความแตกต่างกับลูกปลาที่ได้กิน rotifer เป็นอาหาร นอกจากนี้มีรายงานว่าเมื่อใช้อาหารที่เติม 10% hydrolyzed cod protein กับอาหารที่เติม 10% cod muscle protein ในการเลี้ยงปลาแอตแลนติกแซลมอนอัตราการรอดตายก็ไม่มีความแตกต่างเช่นกัน (Gildberg *et al*., 1995) ส่วน Cahu และคณะ (1998) ได้รายงานว่าลูกปลากะพง (sea bass) ที่ได้รับอาหารที่ใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตและยีสต์เป็นแหล่งโปรตีน ลูกปลากะพงมีอัตราการรอดตาย (35%) สูงกว่าสูตรอาหารที่ใช้โปรตีนเข้มข้นจากถั่วเหลือง (soybean protein concentrate) และยีสต์ (14%) และสูตรอาหารที่ใช้ปลาป่นอย่างเดียว (19%) ส่วนในลูกปลาคาร์พที่กินอาหารที่เติมโปรตีนไฮโดรไลเสตมีอัตราการรอดตายสูง (86%) และมีการเจริญเติบโตสูงสุด และอาหารที่ใช้ปลาป่นมีอัตราการรอดตายต่ำสุด (45%) เช่นเดียวกับรายงานของ Cahu และคณะ (1999) ที่ใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตแทนที่ปลาป่นที่ระดับต่างๆ และพบว่าการแทนที่ปลาป่น 25% ส่งผลให้ลูกปลากะพง (sea bass; *Dicentrarchus labrax*) มีอัตราการรอดตายสูงสุด (47%) และสูงกว่าอาหารที่ใช้ปลาป่น (39%) จากผล

การวิจัยหลายฉบับชี้ให้เห็นว่าอาหารที่ประกอบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตส่งเสริมการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของปลา สำหรับอัตราการรอดตายของปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในรวมปลาทูน่าที่ระดับ 15% มีอัตราการรอดตายน้อยที่สุด (55.56%) นั้นเนื่องจากปลากดเหลืองในชุดการทดลองนี้มีพฤติกรรมก้าวร้าว ปลาเกิดความเครียดทำให้ปลากินอาหารได้น้อยลง และปลามีการกัดกันจึงทำให้อัตราการรอดตายต่ำ

เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลากดเหลือง พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในรวมปลาทูน่าที่ระดับต่างๆมีประสิทธิภาพการใช้อาหารสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากหัวกุ้งกุลาดำและน้ำนึ่งปลาทูน่าแต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เนื่องจากอาหารทดลองทุกสูตรใช้เคซีนเป็นแหล่งโปรตีนซึ่งถือว่าเป็นแหล่งโปรตีนที่ดีซึ่งปลาสามารถใช้ในการเจริญเติบโตได้ โดยพบว่าปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในรวมปลาทูน่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.71-0.78 ส่วนหัวกุ้งกุลาดำ (0.63-0.67) และน้ำนึ่งปลาทูน่า (0.57-0.79) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ส่วนระดับของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ 5%, 10% และ15% ที่ใช้ในการเคลือบเม็ดอาหารก็ไม่มีความแตกต่างกับชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ซึ่งเห็นได้ว่าปลากดเหลืองมีประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำ เนื่องจากในอาหารทดลองมีส่วนประกอบของถั่วเหลืองป่นซึ่งใช้เป็นแหล่งโปรตีนและในถั่วเหลืองป่นมีองค์ประกอบของเยื่อใยสูง (Berge *et al*., 1999) ในขณะที่ปลากดเหลืองเป็นสัตว์กินเนื้อสามารถย่อยโปรตีนหรือมีประสิทธิภาพการใช้อาหารเช่น ปลาป่นได้ดีกว่าอาหารที่มีแป้งและกากสูง (Khan, 1994)

ส่วนประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลากดเหลือง พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในรวมปลาทูน่ามีประสิทธิภาพการใช้โปรตีนสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากหัวกุ้งกุลาดำและน้ำนึ่งปลาทูน่า แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เนื่องจากอาหารแต่ละสูตรมีระดับโปรตีนเท่าๆกัน และปลากดเหลืองก็สามารถนำโปรตีนจากอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ โดยปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในรวมปลาทูน่ามีค่าอยู่ในช่วง 2.26-2.34 ส่วนหัวกุ้งกุลาดำ (2.10-2.13) และน้ำนึ่งปลาทูน่า (1.81-2.38) ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) และระดับของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ใช้ในการเคลือบเม็ดอาหารก็ไม่มีความแตกต่างกับชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เช่นกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.80-2.38 สอดคล้องกับรายงานของ Khan และคณะ (1993) กล่าวว่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลากดเหลืองจะลดลงเมื่อในอาหารมีระดับโปรตีนเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากในอาหารทดลองมีระดับโปรตีนเท่ากันทุกสูตร (35%) ส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลากดเหลืองไม่มีความแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลอง เช่นเดียวกับการทดลองของ

Ezquerra และคณะ (1998) ที่ใช้วัสดุเศษเหลือจาก tuna, anchovy, deboned whitefish เป็นแหล่งโปรตีนในการเลี้ยงกุ้งขาวแปซิฟิก (pacific white shrimp) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการใช้โปรตีนอยู่ในช่วง 0.70-0.77 และการเพิ่มระดับของโปรตีนในอาหารเลี้ยงปลากดเหลืองที่ระดับ 27-50% พบว่าปลากดเหลืองมีประสิทธิภาพการใช้โปรตีนอยู่ในช่วง 1.31-1.61 (Khan *et al*., 1996)

เมื่อพิจารณาถึงค่าโปรตีนสะสมต่อวัน พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 10% และ 15% มีปริมาณโปรตีนสะสมสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่ได้เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสต และพบว่าปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในรวมปลาทูน่าให้ค่าสูงสุดคือ 9.07 แต่ไม่มีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากหัวกุ้งกุลาดำและน้ำนึ่งปลาทูน่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ส่วนระดับของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ใช้เคลือบเม็ดอาหารมีผลต่อโปรตีนสะสมต่อวันของปลากดเหลือง โดยปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 5%, 10% และ 15% ไม่มีความแตกต่างกัน แต่ปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 10% และ 15% มีค่าโปรตีนสะสมต่อวัน (7.20-8.78, 7.75-9.07 ตามลำดับ) สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่ได้เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสต (6.32) อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เนื่องจากปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับ 10% และ 15% สามารถยอมรับอาหารได้ดีและมีปริมาณการกินอาหารสูง จึงทำให้ค่าโปรตีนสะสมต่อวันสูงซึ่งสอดคล้องกับปริมาณการกินอาหารของปลา ค่าที่ได้สูงกว่ารายงานของ นพวรรณ ฉิ้มสังข์ (2543) ที่ศึกษาความต้องการกรดอะมิโนไลซีนของปลากดเหลืองซึ่งค่าโปรตีนสะสมต่อวันอยู่ในช่วง 2.67-3.93 (กรัมโปรตีนต่อกิโลกรัมต่อวัน)

3.5 องค์ประกอบทางเคมีของร่างกายของปลากดเหลือง

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของปลากดเหลืองเริ่มต้นและหลังเสร็จสิ้นการทดลอง (ตารางที่ 15) และการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 16 และ 17) พบว่าปลากดเหลืองเริ่มต้นมีความชื้นอยู่ 77.10%, โปรตีน 62.62%, ไขมัน 16.63% และเถ้า 14.94% ค่าความชื้น โปรตีนและเถ้าที่ได้สูงกว่ารายงานของ นพวรรณ ฉิ้มสังข์ (2543) มีค่าเท่ากับ 73.17%, 48.19% และ 12.34% ตามลำดับ แต่มีปริมาณไขมันต่ำกว่า (35.92%) ส่วนองค์ประกอบทางเคมีของร่างกายปลากดเหลืองเมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง พบว่าปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสต มีความชื้นในช่วง 73.96-75.41% และปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่ามีความชื้น (73.96-74.54%) ต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากหัวกุ้งกุลาดำ (74.98-75.41%) และน้ำนึ่งปลาทูน่า (75.16-75.37%) อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ส่วนระดับของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ 5%, 10% และ 15% ที่ใช้เคลือบเม็ดอาหาร พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ระดับต่างๆมีความชื้น

ไม่แตกต่างกัน สำหรับปริมาณโปรตีนของปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่า, หัวกุ้งกุลาดำและน้ำนึ่งปลาทูน่า รวมทั้งระดับของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ใช้เคลือบเม็ดอาหารไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ปริมาณโปรตีนที่ได้อยู่ในช่วง 56.66-60.06% ปริมาณโปรตีนในร่างกายของปลากดเหลืองจะต่ำกว่าตอนเริ่มต้น เนื่องจากปลาขนาดใหญ่จะมีอัตราการเจริญเติบโตที่ช้าลง อันเนื่องมาจากอัตราการสังเคราะห์โปรตีนในร่างกายต่ำกว่าปลาที่มีขนาดเล็ก และมี ไขมันอยู่ในช่วง 20.61-25.79% ซึ่งปริมาณไขมันในร่างกายของปลามีปริมาณสูงกว่าตอนเริ่มต้น เนื่องจากปลานำกรดอะมิโนที่มีมากพอซึ่งถูกสะสมไว้ในแหล่งเก็บกรดอะมิโนซึ่งอยู่บริเวณเนื้อเยื่อจะถูกเปลี่ยนเป็นไขมันหรือไกลโคเจนสะสมในร่างกาย (วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2536) และเมื่อปลามีการเจริญเติบโต น้ำหนักของปลาเพิ่มขึ้นทำให้ไขมันในตัวปลาเพิ่มขึ้นเช่นกัน (Choo *et al*., 1991) โดยปริมาณไขมันของปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่า (21.54-25.79) สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากหัวกุ้งกุลาดำ (21.54-21.87) อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากน้ำนึ่งปลาทูน่า (20.61-22.51) อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เนื่องจากในอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่ามีปริมาณลูซีนสูง ซึ่งปลาจะใช้ลูซีนในการสังเคราะห์ไตรกลีเซอไรด์ในเนื้อเยื่อ ทำให้ไขมันในตัวปลาของปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากหัวกุ้งกุลาดำและน้ำนึ่งปลาทูน่า (Choo *et al*., 1991) เช่นเดียวกับระดับของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ใช้เคลือบเม็ดอาหาร ซึ่งปลาที่ได้รับอาหารระดับต่างๆมีไขมันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ส่วนปริมาณเถ้ามีค่าอยู่ในช่วง 10.20-13.41% และปริมาณเถ้าของปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในปลาทูน่า (12.37-13.07%) สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากหัวกุ้งกุลาดำ (10.20-12.92%) และน้ำนึ่งปลาทูน่า (10.92-11.89%) อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ส่วนระดับของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ 5%, 10% และ 15% มีปริมาณเถ้าสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่มีการเคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตความอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ค่าต่างๆที่ได้ใกล้เคียงกับรายงานของ Khan และคณะ (1996) ปลากดเหลืองมีความชื้น 73.30-75.90%โปรตีน 52.80-67.76% ไขมัน 19.30-22.47% และเถ้า 12.93-15.54% เช่นเดียวกับองค์ประกอบของปลาเทอโบทซึ่งมีค่าระหว่าง 75.10-75.90%, 64.66-65.80%, 19.05-23.29% และ 15.79-17.84% ตามลำดับ (Teles *et al*., 1999)

ตารางที่ 15 องค์ประกอบทางเคมีของร่างกายปลากดเหลืองเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลองที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตชนิดต่างๆและที่ระดับต่างๆเป็นเวลา 6 สัปดาห์

Table 15 Chemical composition of *Mystus nemurus* (Cuv. & Val.) before and after 6 weeks of feeding with different types and levels of protein hydrolysate coated diet.

Diet[2]	Chemical composition[1](%)			
	Moisture	Protein	Fat	Ash
initial fish	77.10 ± 0.56	62.62 ± 0.53	16.63 ± 0.10	14.94 ± 0.66
1(0%)	75.37 ± 1.07	59.60 ± 1.68	21.48 ± 2.25	13.41 ± 1.76
2(YTH5%)	73.96 ± 0.74	57.43 ± 3.64	23.94 ± 4.16	13.05 ± 1.17
3(YTH10%)	74.35 ± 0.60	56.66 ± 1.65	25.79 ± 1.03	12.37 ± 0.91
4(YTH15%)	74.54 ± 0.69	59.63 ± 2.52	21.54 ± 1.70	13.07 ± 0.64
5(SHH5%)	75.41 ± 0.75	59.91 ± 1.61	21.87 ± 1.20	12.92 ± 0.35
6(SHH10%)	75.31 ± 0.43	57.74 ± 2.08	21.68 ± 2.00	11.12 ± 1.38
7(SHH15%)	74.98 ± 0.83	60.06 ± 0.86	20.83 ± 0.71	10.20 ± 0.21
8(FE5%)	75.35 ± 0.61	58.48 ± 1.21	20.61 ± 0.92	10.92 ± 0.27
9(FE10%)	75.37 ± 1.15	58.63 ± 0.46	22.27 ± 0.45	11.89 ± 0.26
10(FE15%)	75.16 ± 0.37	58.71 ± 0.40	22.51 ± 0.98	11.46 ± 0.43

Data are mean values of triplicate determinations ± standard deviation.

[1] Moisture is expressed as percentage of wet weight and protein, fat, ash are expressed as percentage on dry matter basis.

[2] Numbers and abbreviation in the bracket are the levels and dietary treatments. YTH=yellowfin tuna hydrolysate, SHH=shrimp head hydrolysate, FE=fish extract from tuna condensate.

ตารางที่ 16 องค์ประกอบทางเคมีของร่างกายปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตชนิดต่างๆเป็นเวลา 6 สัปดาห์

Table 16 Chemical composition of *Mystus nemurus* (Cuv. & Val.) after 6 weeks of feeding with different types of protein hydrolysate coated diet.

Chemical composition	Raw material		
	YTH	SHH	FE
Moisture	74.28 ± 0.64^{b}	75.23 ± 0.63^{a}	75.29 ± 0.69^{a}
Protein	57.91 ± 2.72	59.24 ± 1.78	58.61 ± 0.68
Fat	23.76 ± 2.95^{a}	21.46 ± 1.31^{b}	21.80 ± 1.14^{ab}
Ash	12.83 ± 0.88^{a}	11.42 ± 1.40^{b}	11.42 ± 0.51^{b}

Data are mean values ± standard deviation.

YTH=yellowfin tuna hydrolysate, SHH=shrimp head hydrolysate, FE=fish extract from tuna condensate.

[ab] Different superscripts in a row indicate significant differences between the diets ($p<0.05$). Mean values without superscript are not significantly different ($p>0.05$).

ตารางที่ 17 องค์ประกอบทางเคมีของร่างกายปลากดเหลืองที่ได้รับอาหารที่เคลือบด้วยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับต่างๆเป็นเวลา 6 สัปดาห์

Table 17 Chemical composition of *Mystus nemurus* (Cuv. & Val.) after 6 weeks of feeding fed with different levels of protein hydrolysate coated diet.

Chemical composition	Level			
	0%	5%	10%	15%
Moisture	75.37 ± 1.07	74.90 ± 0.94	75.01 ± 0.84	74.89 ± 0.63
Protein	59.60 ± 1.68	58.61 ± 2.34	57.68 ± 1.60	59.47 ± 1.47
Fat	21.48 ± 2.25	22.14 ± 2.65	23.25 ± 2.24	21.62 ± 1.27
Ash	13.41 ± 1.76[a]	12.30 ± 1.21[b]	11.79 ± 1.00[b]	11.58 ± 1.31[b]

Data are mean values ± standard deviation.

YTH=yellowfin tuna hydrolysate, SHH=shrimp head hydrolysate, FE=fish extract from tuna condensate.

[ab] Different superscripts in a row indicate significant differences between the diets ($p<0.05$). Mean values without superscript are not significantly different ($p>0.05$).