นิพนธ์ต้นฉบับ

ผลของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน ต่อการเจริญเติบโต องค์ประกอบเลือด และพยาธิสภาพของเนื้อเยื่อตับ ของปลานิลแดงแปลงเพศ

นิรุทธิ์ สุขเกษม[1] และ จรีพร เรืองศรี [2]

Abstract

Sukasem, N.[1] and Ruangsri, J.[2]

Effects of palm kernel cake (PKC) on growth performance, blood components and liver histopathology of sex reversed red tilapia (*Oreochromis niloticus*)

Songklanakarin J. Sci. Technol., 2007, 29(5) : 1283-1299

Effects of Palm Kernel Cake (PKC) on growth performance, blood components and liver histopathology of sex- reversed red tilapia *Oreochromis niloticus* were studied using seven isocaloric diets (3400 kCal/ kg) containing different levels of protein and PKC. Diet 1, 2 and 3 contained 20% protein with the supplementation of 15, 30 and 45% PKC, respectively. Diets 4, 5 and 6 contained 24% protein in combination with the same PKC supplemention levels mentioned above, and diet 7 was commercial feed containing 20% protein as a control diet. Experimental diets were fed to experimental fish of 48.65 g initial average body weight cultured in floating cages (3 cages/diet) for 10 weeks. Fish fed diets containing higher protein (24%;

[1]Program of Aquaculture, Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Phuket University, Muang, Phuket 83000 Thailand. [2]Department of Bio-industry, Faculty of Technology and Management, Prince of Songkla University, Surat Thani Campus, Surat Thani, 84100 Thailand.

[1]วท.ม. (วาริชศาสตร์) โปรแกรมวิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะเกษตรและอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต 83000 [2]วท.ม. (เทคโนโลยีชีวภาพ) สาขาวิชาอุตสาหกรรมชีวภาพ คณะเทคโนโลยีและการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เขตการศึกษาสุราษฎร์ธานี 84000

Corresponding e-mail: jareeporn.r@psu.ac.th

รับต้นฉบับ 31 ตุลาคม 2549 รับลงพิมพ์ 27 เมษายน 2550

diets 4, 5 and 6) had significantly better growth performance ($p<0.05$) than those fed lower protein (20%; diets 1, 2 and 3). Considering the effect of PKC, fish fed diet 5 (Prot. 24%, PKC 30%) gave the greatest growth performance ($p<0.05$) and all the PKC-fed groups had significantly higher growth than fish fed control diet. There was evidence that supplementation of PKC in fish feed ranging from 15 to 45% had no effect to the survival rate, blood components, or hepatocytic cells of tilapia. However, liver tissue showed higher numbers of lipid droplets in fish fed diet contained 45% PKC (diets 3 and 6). For the production cost, all test diets with PKC supplementation had significantly higher price ($p<0.05$) than commercial feed. However, when considering the feeding cost per unit of fish production, fish reared with PKC supplemented diets had significantly lower cost ($p<0.05$) than fish fed commercial feed.

Key words : PKC, sex reversed red tilapia, *Oreochromis niloticus*, growth performance, blood component

บทคัดย่อ

นิรุทธิ์ สุขเกษม และจรีพร เรืองศรี

ผลของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันต่อการเจริญเติบโต องค์ประกอบเลือด และพยาธิสภาพของเนื้อเยื่อตับของปลานิลแดงแปลงเพศ

ว. สงขลานครินทร์ วทท. 2550 29(5) : 1283-1299

ศึกษาผลของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน ต่อการเจริญเติบโต องค์ประกอบเลือด และพยาธิสภาพของเนื้อเยื่อตับ ของปลานิลแดงแปลงเพศ โดยใช้อาหารทดลอง 7 สูตร ที่มีค่าพลังงานใกล้เคียงกันทุกสูตร (3,400 กิโลคาลอรี/กก.) แต่มีปริมาณโปรตีนและกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันต่างกัน อาหารสูตรที่ 1 2 และ 3 มีระดับโปรตีนในอาหาร 20% และเสริมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน 15 30 และ 45% อาหารสูตรที่ 4 5 และ 6 มีระดับโปรตีนในสูตรอาหาร 24% และเสริมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในระดับเดียวกันกับข้างต้น สูตรที่ 7 เป็นชุดควบคุมใช้อาหารปลากินพืชสำเร็จรูปโปรตีน 20% ให้อาหารทดลองแต่ละสูตรแก่ปลาทดลองขนาดเฉลี่ย 48.65 กรัม ที่เลี้ยงในกระชังลอย 3 กระชังต่ออาหาร 1 สูตรนาน 10 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่าปลานิลแดงชุดที่ได้รับอาหารซึ่งมีปริมาณโปรตีนสูงกว่า (24%) ในสูตรที่ 4 5 และ 6 มีการเจริญเติบโตดีกว่าปลาชุดการทดลองที่ได้รับอาหารสูตรที่มีโปรตีนต่ำกว่า (20%) คือสูตรที่ 1 2 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และพบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันทุกสูตรมีการเจริญเติบโตดีกว่าปลาที่ได้รับอาหารปลากินพืชสำเร็จรูปในชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอาหารที่เสริมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันแต่ละสูตรต่อการเจริญเติบโตของปลานิลแดง พบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (โปรตีน 24% และ PKC 30%) มีการเจริญเติบโตดีที่สุดแตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับอาหารกลุ่มอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และพบว่าการเสริมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันตั้งแต่ 15-30% ในอาหารให้ปลานาน 10 สัปดาห์ ไม่มีผลต่ออัตรารอดตาย องค์ประกอบเลือด และพยาธิสภาพของเซลล์ในเนื้อเยื่อตับของปลานิล อย่างไรก็ตามพบว่าเนื้อเยื่อตับปลาที่ได้รับอาหารผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน 45% (สูตรที่ 3 และ 6) มีเม็ดไขมันแทรกอยู่มากขึ้น การคำนวณต้นทุนค่าอาหารจากการทดลองพบว่าราคาการผลิตอาหารปลาเสริมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันทุกสูตรมีค่าสูงกว่าอาหารปลากินพืชสำเร็จรูปอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แต่เมื่อพิจารณาต้นทุนอาหารต่อหน่วยผลผลิตปลา พบว่า อาหารเสริมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันทุกสูตรมีค่าต้นทุนต่อหน่วยผลผลิตต่ำกว่าอาหารผสมสำเสร็จรูปสำหรับปลากินพืชอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ในธรรมชาติปลานิลเป็นปลาที่กินอาหารได้ทุกชนิดทั้งพืช สัตว์ แพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์ ซากอินทรีย์ และซากอนินทรีย์เน่าเปื่อย มูลสัตว์ สัตว์หน้าดินบางชนิด เช่น หนอนแดง รวมทั้งแบคทีเรียและพืชน้ำชนิดต่าง ๆ (Stickney and Hardy, 1986) ส่วนในระบบการเพาะเลี้ยงอาหารที่ใช้เลี้ยงปลานิลก็เหมือนอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์น้ำทั่ว ๆ ไป ที่มี

แหล่งโปรตีนจากปลาป่น ถั่วเหลืองป่น ข้าวโพดป่น เมล็ดฝ้ายป่น และข้าวสาลี โดยเฉพาะปลาป่นจัดเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในอาหารสัตว์น้ำ เพราะเป็นแหล่งโปรตีนที่มีคุณภาพดีมีรสชาติที่ปลาชอบ และการขยายการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเชิงพาณิชย์เพิ่มขึ้นทุกๆ ปี ทำให้มีความต้องการใช้ปลาป่นเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ในขณะที่ปลาป่นที่ผลิตได้ทั่วโลกมีแนวโน้มลดลงแต่ราคากลับสูงขึ้น ปลานิลเป็นสัตว์น้ำที่มีราคาไม่สูงนัก ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องหาวัสดุอาหารชนิดอื่นที่มีราคาถูกกว่ามาใช้เป็นแหล่งโปรตีนแทนปลาป่นบางส่วนหรือทั้งหมดเพื่อลดต้นทุนในการผลิต การดัดแปลงหรือนำแหล่งโปรตีนที่สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่นและมีราคาถูกเพื่อนำมาใช้เลี้ยงปลานิลจึงเป็นสิ่งที่ควรพิจารณา สำหรับการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับโปรตีนทดแทนที่เป็นผลพลอยได้จากสัตว์ที่ใช้ในการเตรียมอาหารปลานิล เช่น เลือดป่น เนื้อและกระดูกป่น ขนป่น ปลาหมึก กุ้งป่น เคย หนอนมีชีวิต พบว่าสามารถใช้ทดแทนปลาป่นได้บางส่วน (Davies *et al*., 1990; Fagbenro, 1994; El-Sayed, 1998) แต่ดูเหมือนว่าปลานิลจะเป็นปลาที่มีความสามารถในการย่อยและใช้ประโยชน์จากโปรตีนจากพืชได้ดีกว่าและมีประสิทธิภาพมากกว่าปลาชนิดอื่นๆ (Degani and Revach, 1991) ด้วยเหตุนี้การใช้โปรตีนจากพืชในระดับสูงๆ เพื่อทดแทนโปรตีนจากปลาป่นในอาหารปลานิลจึงมีความเป็นไปได้สูง ตัวอย่างเช่น การใช้กากแมคคาเดเมีย (macadamia press cake) เปลือกเมล็ดกาแฟ (coffee pulp) เปลือกโกโก้ (cocao husk) เมล็ดในอินทผลัม (pitted date fruit) เมล็ดกระจับ (guar seed) และเมล็ดข้าวบาร์เล่ย์ (barley seeds)

และมีรายงานการใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในสูตรอาหารสำหรับเลี้ยงปลานิล แต่พบว่าส่วนใหญ่การทดลองทำในปลานิลขนาดเล็ก เช่น นิรุทธิ์ (2544) พบว่าสามารถใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารที่ใช้เลี้ยงปลานิลขนาดเฉลี่ย 2.25 กรัม ได้สูงถึง 30% โดยที่ไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโต องค์ประกอบเลือดและเนื้อเยื่อตับของปลา เช่นเดียวกับวุฒิพร และคณะ (2547) พบว่าสามารถใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันแทนที่ปลาป่นได้ไม่เกิน 20% ในสูตรอาหารที่มีระดับโปรตีน 30% เพื่อเลี้ยงปลานิลแดงแปลงเพศขนาด 3 กรัม โดยที่ไม่มีผลลดการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร สัมประสิทธิ์การย่อย และสรีรวิทยาของปลานิลแปลงเพศ แสดงให้เห็นว่ากากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์เพื่อผลิตอาหารเลี้ยงปลานิลได้ อย่างไรก็ตามการใช้วัตถุดิบดังกล่าวในปริมาณที่สูงเกินไปเช่นตั้งแต่ 30-40% (วุฒิพร และคณะ, 2547) หรือ 45% (นิรุทธิ์, 2544) ในสูตรอาหารที่มีโปนตีนประมาณ 30% ให้ปลานิลขนาดเล็กพบว่ามีผลให้การเจริญเติบโตลดลง เนื่องจากพบว่าปลามีการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนลดลงอย่างชัดเจน นอกจากนั้น นิรุทธิ์ (2544) กล่าวว่า ปลานิลขนาดเฉลี่ย 2.25 กรัม ที่ได้รับอาหารที่ผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันสูงถึง 45% นาน 10 สัปดาห์ จะเกิดการสะสมไขมันไว้ในเนื้อเยื่อตับสูงขึ้น โดยเฉพาะเมื่อผสมลงในสูตรอาหารที่มีระดับพลังสูงขึ้น (3600-3900 กิโลคาลอรี/ กก.) ก็จะยิ่งพบการสะสมของเม็ดไขมันในเนื้อเยื่อตับเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันมากขึ้นก็จะทำให้ระดับไขมันในอาหารสูงขึ้น และอาจทำให้กระบวนการเมตาบอลิซึมของไขมันไม่สมบูรณ์ มีผลให้มีการสะสมไว้ในตับสูงขึ้นด้วยเช่นเดียวกับการทดลองใช้น้ำมันจากพืชชนิดต่างๆ ทั้งน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันแรปสีด (rapeseed) น้ำมันปาล์ม และน้ำมันมะกอก ทดแทนน้ำมันปลาในอาหารอัตราส่วนต่างๆ กัน เพื่อเลี้ยงปลาเรนโบว์เทร้าท์ขนาดเฉลี่ย 250 กรัม นาน 2 เดือน พบว่าปลาทดลองมีการเจริญเติบโต มีองค์ประกอบเลือด และองค์ประกอบของกรดไขมันไม่แตกต่างกัน แต่พบว่าเนื้อเยื่อตับของปลาที่ได้รับอาหารผสมแหล่งไขมันจากพืชทุกชนิดมีการสะสมเม็ดไขมันในตับเพิ่มขึ้น (Caballero *et al*., 2002) อย่างไรก็ตามในปลานิลขนาดใหญ่ไม่พบรายงานเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงเนื้อเยื่อตับอันเนื่องมาจากการใช้แหล่งวัตถุดิบจากพืชตระกูลน้ำมันมาก่อน

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของการใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันระดับต่างๆ ในสูตรอาหาร เพื่อใช้เลี้ยงปลานิลขนาดใหญ่ในกระชังในแง่ผลต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพของอาหาร การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบเลือด การเปลี่ยนแปลงทางเนื้อเยื่อวิทยาของตับ รวมทั้งต้นทุนค่าอาหารต่อผลผลิตปลา ข้อมูลต่างๆ ที่จะได้รับจากการศึกษาเหล่านี้จะเป็นประโยชน์โดยตรงต่อเกษตรกรผู้เลี้ยงปลานิล และช่วยให้เกิดการใช้ทรัพยากรเหลือใช้จากโรงงานแปรรูปปาล์มน้ำมันให้มีประสิทธิภาพต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design: CRD) โดยผลิตอาหารทดลองให้มีระดับโปรตีน 2 ระดับ คือ 20 และ 24% โดยแต่ละระดับมีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันเป็นส่วนประกอบในอาหาร 15 30 และ 45% เปรียบเทียบกับสูตรอาหารชุดอ้างอิงซึ่งเป็นอาหารปลากินพืชที่มีโปรตีนไม่ต่ำกว่า 20% แต่ละชุดการทดลองมี 3 ซ้ำ ใช้เวลาทดลองเลี้ยงนาน 10 สัปดาห์

การเตรียมอาหารทดลอง

วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบทุกชนิดที่จะนำไปเตรียมอาหารทดลองโดยวิธี AOAC (1995) ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และเยื่อใย ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรตหาได้จากการคำนวณตามสูตร 100 - (โปรตีน+ไขมัน + เถ้า + ความชื้น) คำนวณสูตรอาหารให้มีโปรตีน 2 ระดับ คือ 20 และ 24% โดยแต่ละระดับจะมีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันเป็นส่วนประกอบ 15 30 และ 45% (Table 1) และมีระดับพลังงานใกล้เคียงกันทุกสูตรอาหารคือ 3,400 กิโลคาลอรี/อาหาร 1 กก. ค่าพลังงานที่ย่อยได้ (digestible energy) ในอาหารคำนวณโดยใช้ค่าต่างๆ ที่ประยุกต์มาจากค่าที่ใช้ในปลานิลคือมีโปรตีน 4.4 กิโลคาลอรี/กรัมโปรตีน ไขมัน 9.0 กิโลคาลอรี/กรัมไขมัน และคาร์โบไฮเดรต 3.7 กิโลคาลอรี/กรัมคาร์โบไอเดรต (Stickney, 1979) เตรียมอาหารทดลองโดยใช้เครื่องผสมและอัดเม็ดอาหาร อัดอาหารผ่านหน้าแว่นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 มม. อบอาหารที่เตรียมให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 60°C จากนั้นจึงบรรจุในถุงพลาสติกแล้วเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4°C สำหรับอาหารชุดอ้างอิงใช้อาหารเม็ดลอยน้ำของปลากินพืชที่มีโปรตีนไม่ต่ำกว่า 20% ที่มีขายตามท้องตลาด แต่นำมาผ่านกระบวนการผลิตใหม่ให้เป็นอาหารเม็ดจมน้ำตามวิธีการเดียวกับอาหารทดลองสูตร 1-6 ซึ่งมีการเตรียมอาหารทดลองวิตามิน และแร่ธาตุ ตลอดจนวิธีการเก็บรักษาอาหารทดลองอ้างตาม วุฒิพร และคณะ (2541) จากนั้นจึงวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของอาหารทุกสูตรตามวิธี AOAC (1995)

การเตรียมปลาและกระชังทดลอง

นำลูกปลานิลแดงแปลงเพศซึ่งเป็นเพศผู้ทั้งหมดน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ยตัวละ 3 กรัม จำนวน 5,000 ตัว มาอนุบาลในบ่อคอนกรีตขนาดความจุน้ำ 20 ลบ.ม. เป็นเวลา 4 สัปดาห์ จากนั้นนำไปอนุบาลต่อในกระชัง ในบ่อเลี้ยงปลาบริเวณที่จะทำการทดลอง จนได้ขนาดประมาณ 50 กรัม เพื่อให้ปลาสามารถปรับสภาพให้เหมาะสมต่อสภาพแวดล้อมของการวิจัย และฝึกหัดให้กินอาหารที่มีลักษณะใกล้เคียงกับอาหารทดลอง วันละ 2 เวลา คือ 8.00 และ 16.00 น. สังเกตพฤติกรรมการยอมรับอาหาร นำปลาไปตรวจสอบการติดเชื้อแบคทีเรียและพยาธิภายนอกก่อนเริ่มทดลอง ส่วนกระชังทดลองใช้กระชังอวนตา 1.5 ซม. ขนาด 150 x 150 x 150 ซม. จำนวน 21 กระชัง ติดตั้งอยู่บนแพขนาด 16 x 20 เมตร ใช้โฟมเป็นทุ่นลอยโดยให้กระชังจมอยู่ในน้ำประมาณ 1 เมตร และกระชังแต่ละใบจะติดตั้งถาดรองรับอาหารเพื่อป้องกันอาหารทดลองจมลงก้นและหลุดออกนอกกระชัง

การเลี้ยงและสภาวะการเลี้ยง

เริ่มต้นการทดลองโดยจับปลาทั้งหมดที่อนุบาลไว้ในกระชังมาชั่งน้ำหนักและคัดแยกปลาที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 48.65 กรัม/ตัว มาจำนวน 1,050 ตัว ปล่อยลงในกระชังทดลองกระชังละ 50 ตัว ปลาอีกส่วนหนึ่งจำนวน 20 ตัว นำมาชั่งน้ำหนักเริ่มต้น และนำไปวิเคราะห์หาความชื้นของตัวปลาองค์ประกอบต่างๆ ของตัวปลาได้แก่ โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และเถ้า ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (1995) ปลาในกระชังเลี้ยงอาหารทดลองแต่ละสูตรๆ ละ 3 กระชัง ให้อาหารวันละ 2 ครั้ง คือ 8.00 น. และ 16.00 น. โดยให้ปลากินจนอิ่ม บันทึกน้ำหนักอาหารที่ให้ทุกมื้อ ชั่งน้ำหนักและนับจำนวนปลาที่เหลืออยู่ทุก 2 สัปดาห์ และตรวจสอบลักษณะของปลาตลอดการทดลองเป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ ขณะทำการทดลองทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำทุกสัปดาห์ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen, DO) อุณหภูมิ ด้วยเครื่องตรวจวัด และวิเคราะห์ค่าความเป็นด่างของน้ำ (total alkalinity) ตามวิธีของ Boyd (1990)

การเก็บรวบรวมข้อมูล

เมื่อสิ้นสุดการทดลองชั่งน้ำหนักปลาทั้งหมดในแต่ละกระชัง ตรวจสอบลักษณะภายนอกของปลา จดบันทึกไว้ นับจำนวนปลาที่เหลืออยู่ในแต่ละกระชังนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่าอัตรารอด (survival rate) การเจริญเติบโต (growth performance) ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion ratio: FCR) ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (protein efficiency ratio: PER) การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ (apparent net protein utilization, ANPU) และต้นทุนค่าอาหารต่อผลผลิตปลานิล (unit feeding cost) สุ่มตัวอย่างปลาจากกระชังทดลองๆ ละ 3 ตัว ไปวิเคราะห์หาความชื้นของตัวปลาตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (1995) และนำปลาจากแต่ละกระชังทดลองๆ ละ 3 ตัวไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60°C นาน 48 ชั่วโมง บดให้ละเอียดแล้วนำไปวิเคราะห์โปรตีน ไขมัน และเถ้า ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (1995)

สุ่มปลาจากทุกกระชังทดลองๆ ละ 3 ตัว นำปลาแต่ละตัวไปชั่งน้ำหนักตับเปรียบเทียบน้ำหนักตัวปลาเพื่อคำนวณหาค่าดัชนีตับต่อตัว (hepatosomatic index: HSI) ตามวิธีของ Anwar และ Jafri (1995) และสุ่มปลาในกระชังทดลองๆ ละ 3 ตัว มาเก็บเนื้อเยื่อตับจากโดยแช่ในสารละลายบูแอง (Bouin's fluid) แล้วเตรียมเนื้อเยื่อตามวิธีการของ Humason (1972) ตัดเนื้อเยื่อตับให้มีความหนา 3-4 ไมโครเมตร แล้วย้อมด้วยสี Hematoxylin & Eosin (HE) (Bancroft, 1976) จากนั้นนำตัวอย่างไปศึกษาพยาธิสภาพของเนื้อเยื่อด้วยกล้องจุลทรรศน์

สุ่มปลาจากทุกกระชังทดลองๆ ละ 3 ตัว มาสลบด้วยน้ำยา 2-phenoxyethanol เจาะเลือดจากบริเวณโคนหางโดยใช้ EDTA 1.0% เป็นสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด นำมาศึกษาองค์ประกอบเลือดคือฮีโมโกลบิล (haemoglobin) โดยใช้วิธี Cyanet-haemoglobin (Larsen and Snieszko, 1961) ฮีมาโตคริต (haematocrit) โดยวิธีดัดแปลงจาก Blaxhall และ Daisley (1973) พลาสมาโปรตีน (plasma protein) โดยวิธีดัดแปลงจาก Lowry และคณะ (1951)

สูตรการคำนวณ

$$\text{อัตรารอดตาย (\%)} = \frac{\text{จำนวนปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง}}{\text{จำนวนปลาเมื่อเริ่มต้น}} \times 100$$

$$\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (weight gain, \%)} = \frac{[\text{นน.ปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \text{นน.ปลาเมื่อเริ่มต้นการทดลอง}]}{\text{น.น. ปลาเมื่อเริ่มต้น}} \times 100$$

$$\text{อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate: SGR, \%/วัน)} = \frac{[\text{In นน.ปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \text{In นน.ปลาเมื่อเริ่มต้นการทดลอง}]}{\text{เวลา (วัน)}} \times 100$$

$$\text{อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion ratio: FCR)} = \frac{\text{นน. อาหารที่ปลากินทั้งหมด}}{\text{นน. ปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง}}$$

$$\text{ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (protein efficiency ratio: PER)} = \frac{\text{นน. ปลาที่เพิ่มขึ้น}}{\text{นน. โปรตีนที่ปลากิน}}$$

$$\text{การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ(apparent net protein utilization: ANPU, \%)} = \frac{[\text{โปรตีนในตัวปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง-โปรตีนในตัวปลาเมื่อเริ่มต้น}]}{\text{นน.โปรตีนที่ปลากินตลอดการทดลอง}} \times 100$$

$$\text{ดัชนีตับต่อตัว (hepatosomatic index: HIS, \%)} = \frac{\text{นน. ตับปลา}}{\text{นน. ตัวปลา}} \times 100$$

$$\text{ต้นทุนค่าอาหารต่อผลผลิต} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่ปลากินทั้งหมด (กก.)} \times \text{ราคาอาหาร (บาท)}}{\text{น้ำหนักปลาทั้งหมด (กก.)}}$$

Table 1. Ingredient composition of the experimental diets

Ingredient (%)	Experimental Diet						
	1	2	3	4	5	6	7
Palm kernel cake	15.00	30.00	45.00	15.00	30.00	45.00	*
Fish meal	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	*
Soybean meal	15.00	10.00	7.00	15.00	20.00	17.00	*
Rice bran	31.00	26.00	20.00	26.00	21.00	15.00	*
Rice flour	31.00	26.00	20.00	26.00	21.00	15.00	*
Vitamin mixed[1]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	*
Mineral mixed[2]	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	*

*** Commercial diet**

[1] Vitamin mixed (mg/kg diet): Thiamine (B1) 10, Riboflavin (B2) 20, Pyridoxine (B6) 10, Cobalamin (B12) 2, Retinal (A) 4, Choleccalciferol (D3) 0.4, Phylloquinone (K1) 80, Folic acid 5, Calcium pantothenate 40, Inosital 400, Niacin 150, Tocopherol (E) 60, Choline 6000, Ascorbic acid (C) 500, Cellulose 2718.60

[2] Mineral mixed (g/kg diet): NaCl 0.25, $MgSO_4$ 3.75, KH_2PO_4 8, $Ca(H_2PO_4)_2$ 5, $FeSO_4$ 0.72, $(CH_3COO)_2Ca$. $5H_2O$ 0.88, $ZnSO_4.7H_2O$ 0.088, $MnSO_4.7H_2O$ 0.040, $CuSO_4.5H_2O$ 0.088, $CoCl_2.6H_2O$ 0.00025, $KIO_3.6H_2O$ 0.00075, Cellulose 11.183

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้ทั้ง การเจริญเติบโต น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการรอดตาย อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ และต้นทุนค่าอาหารต่อผลผลิต ค่าดัชนีตับต่อตัว ค่าองค์ประกอบเลือด ไปวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test

ผลการทดลอง

องค์ประกอบทางโภชนของอาหารทดลอง

ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของอาหารทดลองสูตรต่างๆ แสดงใน Table 2 โดยพบว่าอาหารทุกสูตรมีความชื้นใกล้เคียงกันซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 7.48±0.19 และ 7.95±0.33% เมื่อพิจารณาระดับโปรตีนพบว่าอาหารสูตรที่ 1 2 และ 3 มีโปรตีนเท่ากับ 20.72±0.40 20.26±1.26 และ 20.52±1.05% ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับอาหารสูตรอ้างอิง (สูตรที่ 7) ที่มีระดับโปรตีน 20.11±0.69% ในขณะที่อาหารสูตรที่ 4 5 และ 6 มีระดับโปรตีนเท่ากับ 24.01±0.13 24.07±0.86 และ 24.07±0.86% ตามลำดับ และพบว่าระดับไขมันในสูตรอาหารจะเพิ่มขึ้นเมื่ออาหารมีระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันเป็นส่วนประกอบเพิ่มขึ้น กล่าวคืออาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน 15% (สูตรที่ 1 และ 4) มีระดับไขมันเฉลี่ย 5.56% ส่วนอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน 30% (สูตรที่ 2 และ 5) จะมีระดับไขมันเฉลี่ย 7.01% และอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน 45% (สูตรที่ 3 และ 6) จะมีระดับไขมันเฉลี่ย 8.41% ส่วนอาหารสูตรอ้างอิง (สูตรที่ 7) มีระดับไขมัน 6.90% สำหรับระดับของเถ้าในสูตรอาหารต่างๆ พบว่าสามารถแบ่งออกได้ 3 กลุ่ม กลุ่มแรกคือ อาหารสูตรที่ 1 2 และ3 ซึ่งเป็นสูตรอาหารที่มีโปรตีน 20% พบว่ามีค่าเถ้าเฉลี่ย 6.83% กลุ่มที่สองคือกลุ่มสูตรอาหารที่มีโปรตีน 24% ได้แก่ อาหารสูตร 4 5 และ 6 มีค่าเฉลี่ย 7.11% และกลุ่มสุดท้ายคือ สูตรอาหารอ้างอิงมีค่าเฉลี่ย 9.42%

ความผิดปกติและพฤติกรรมของปลานิลแดงที่ได้รับอาหารทดลอง

ผลการศึกษาในครั้งนี้ไม่พบความผิดปกติของรูปร่างลักษณะภายนอกและพฤติกรรมของปลานิลแดงที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 7 สูตร และปลาทดลองมีสุขภาพแข็งแรงตลอดการเลี้ยงนาน 10 สัปดาห์

Table 2. Proximate analysis of experimental diets [1]

Diets	Proximate composition					
	Moisture	Protein	Fat	Ash	Fiber	Carbohydrate
1	7.81±0.30	20.72±0.40 [b]	5.94±0.08 [d]	6.84±0.04 [c]	3.32±0.30 [d]	55.37
2	7.95±0.33	20.26±1.26 [b]	7.17±0.13 [b]	6.82±0.08 [c]	4.93±0.28 [c]	52.87
3	7.52±0.22	20.52±1.05 [b]	8.39±0.15 [a]	6.82±0.04 [c]	6.91±0.41 [a]	49.84
4	7.52±0.32	24.01±0.13 [a]	5.18±0.16 [d]	7.06±0.08 [b]	4.02±0.28 [d]	52.21
5	7.48±0.33	24.07±0.76 [a]	6.84±0.11 [c]	7.08±0.09 [b]	5.06±0.11 [c]	49.47
6	7.89±0.19	24.07±0.86 [a]	8.42±0.22 [a]	7.18±0.04 [b]	7.08±0.50 [a]	45.36
7	7.49±0.40	20.11±0.69 [b]	6.90±0.02 [c]	9.42±0.05 [a]	5.90±0.06 [b]	50.18

[1] Mean ± SD (3 replicates)
Values within the same column sharing a common superscript are not statistically different (p>0.05)

Table 3. Mean body weight (g/fish) of sex-reversed red tilapia fed different diets for 10 weeks period

Diets	Time (week)					
	0	2	4	6	8	10
1	48.13±0.46 [a]	62.15±0.86 [a]	79.26±4.71 [ab]	100.05±6.36 [bc]	117.84±11.49 [cd]	149.51±19.32 [cd]
2	49.33±1.15 [a]	61.33±1.01 [a]	80.94±3.85 [a]	107.13±6.02 [ab]	125.12±4.23 [bc]	156.40±6.77 [c]
3	49.20±0.69 [a]	59.86±0.85 [a]	73.33±2.89 [bc]	95.95±2.37 [c]	111.30±3.78 [d]	138.59±5.58 [d]
4	48.53±1.40 [a]	62.42±2.49 [a]	83.97±1.60 [a]	110.72±2.71 [a]	136.13±1.25 [ab]	177.20±7.66 [ab]
5	48.53±0.92 [a]	62.85±3.94 [a]	83.60±4.90 [a]	113.31±4.85 [a]	141.75±6.30 [a]	183.87±9.34 [a]
6	47.87±1.51 [a]	56.82±4.21 [a]	72.91±4.70 [bc]	101.31±5.33 [bc]	119.96±10.45 [cd]	160.62±5.84 [bc]
7	48.93±1.40 [a]	59.74±5.03 [a]	66.89±3.01 [c]	76.49±2.26 [d]	82.49±1.39 [e]	91.90±1.13 [e]

[1] Mean ± SD (3 replicates)
Values within the same column sharing a common superscript are not statistically different (p>0.05)

การเจริญเติบโตและอัตรารอดตาย

ผลการเลี้ยงปลานิลในกระชังด้วยอาหารทดลองต่างกัน 7 สูตร นาน 10 สัปดาห์ พบว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 7 สูตรมีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาของการทดลอง ดังแสดงใน Table 3 โดยที่น้ำหนักปลาเฉลี่ยต่อตัวเมื่อเริ่มทดลองจนถึงสัปดาห์ที่ 2 ของแต่ละหน่วยทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลาเริ่มมีความแตกต่างกันตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4 จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง เมื่อพิจารณาแนวโน้มของการเจริญเติบโตของปลานิลแดงในสัปดาห์ที่ 4 6 และ 8 พบว่าปลากลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีระดับของโปรตีน 24% (สูตร 4 5 และ 6) จะมีน้ำหนักตัวเฉลี่ยสูงกว่าปลากลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีน 20% (สูตร 1 2 และ 3) ในขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารสูตรอ้างอิง (สูตร 7) จะมีน้ำหนักตัวเฉลี่ยต่ำสุด และเมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 10 พบว่ากลุ่มปลานิลแดงที่มีการเจริญเติบโตสูงสุดยังคงเป็นปลากลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีน 24% โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (Prot. 24%, PKC 30%) เป็นปลาที่มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยสูงสุด (183.87± 9.34 กรัม) แต่มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 (Prot. 24%, PKC 15%) (p>0.05) และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 กับสูตรที่ 6 (Prot. 24%, PKC. 45%) ก็มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน (p>0.05) ในขณะที่ปลานิลแดงกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีน 20% จะมีการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่ำกว่าปลากลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีน 24% โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 (Prot. 20%, PKC 30%) จัดเป็นปลาที่มีน้ำหนักสูงสุดในกลุ่มที่ได้รับ

Table 4. Growth performance and survival rate of sex-reversed red tilapia fed different experimental diets for 10 weeks period [1]

Diets	Initial weight (g/fish)	Final weight (g/fish)	Weight gain (%)	SGR (%/day)	RFI (%/day)	Survival rate (%)
1	48.13±0.46 [a]	149.51±19.32 [cd]	210.60±39.55 [cd]	1.61±0.18 [bc]	3.71±0.32 [bc]	96.67±1.15 [a]
2	49.33±1.15 [a]	156.40±6.77 [c]	217.07±13.46 [cd]	1.65±0.06 [bc]	3.69±0.02 [bc]	98.00±2.00 [a]
3	49.20±0.69 [a]	138.59±5.58 [d]	181.83±15.14 [d]	1.48±0.08 [c]	4.03±0.10 [b]	95.33±5.03 [a]
4	48.53±1.40 [a]	177.20±7.66 [ab]	265.62±26.14 [ab]	1.85±0.10 [a]	3.34±0.02 [c]	94.67±2.31 [a]
5	48.53±0.92 [a]	183.87±9.34 [a]	279.13±25.34 [a]	1.90±0.10 [a]	3.77±0.39 [bc]	94.67±1.15 [a]
6	47.87±1.15 [a]	160.62±5.84 [bc]	235.54±4.13 [bc]	1.73±0.02 [ab]	3.46±0.19 [c]	98.00±2.00 [a]
7	48.93±1.40 [a]	91.90±1.13 [e]	87.87±3.09 [e]	0.90±0.02 [e]	4.62±0.43 [a]	94.67±6.11 [a]

[1] Mean ± SD (3 replicates)
Values within the same column sharing a common superscript are not statistically different (p>0.05)

อาหารที่มีระดับโปรตีน 20% ซึ่งมีน้ำหนักตัวเฉลี่ยเท่ากับ 156.40±6.77 กรัม และไม่แตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 (Prot. 20%, PKC. 15%) และสูตรที่ 6 (p>0.05) แต่มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยแตกต่างจากที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 (Prot. 20%, PKC 45%) (p<0.05) และยังพบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 7 ซึ่งเป็นอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่ใช้เป็นอาหารสูตรอ้างอิงมีการเจริญเติบโตต่ำที่สุด โดยมีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 91.90±1.13 กรัม แตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่น ๆ ทุกสูตร (p<0.05)

น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น การเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตรารอดตาย

น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอดตาย ของปลานิลที่ได้รับอาหารทั้ง 7 สูตร เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ แสดงใน Table 4 พบว่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลาที่ได้รับอาหารทั้ง 7 สูตร มีความแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลอง (p<0.05) โดยปลาในกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีน 24% มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงกว่าที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีน 20% ในทุกระดับการเสริมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน โดยที่น้ำหนักเพิ่มของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1-7 มีค่า 210.60 ±39.55% 217.07±13.46% 181.83±15.14% 265.62± 26.14% 279.13±25.34% 235.54±4.13% และ 87.87± 3.09% ตามลำดับ โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นสูงที่สุด และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 7 มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด ทั้งนี้การเสริมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในอาหารที่ 30% ไม่ทำให้การเจริญเติบโตของปลานิลลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) เมื่อเทียบกับการแทนที่ด้วยกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่ระดับ 15% แต่การใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่ระดับ 45% ในอาหารที่มีระดับโปรตีน 24% มีผลทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นของปลาลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ในขณะที่เมื่อเสริมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่ระดับ 15-45% ในอาหารที่มีระดับโปรตีน 20% ไม่ทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นของปลาแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05)

ส่วนผลการวิเคราะห์อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีระดับโปรตีน 24% ทั้ง 3 ระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะไม่แตกต่างกัน (p>0.05) โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 มีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงที่สุด คือ 1.90±0.10 รองลงมาคือปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 และ 6 ซึ่งมีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเท่ากับ 1.85±0.10 และ 1.73±0.02%/วัน ตามลำดับ และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีระดับโปรตีน 20 เปอร์เซ็นต์ คือสูตรที่ 1, 2 และ 3 ก็มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะไม่แตกต่างกัน (p>0.05) โดยมีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเท่ากับ 1.61±0.18 1.65±0.06 และ 1.48± 0.08%/ วัน ตามลำดับ ในขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารสูตร 7 มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะน้อยที่สุด (0.90±0.02%/วัน) (Table 4) สำหรับอัตรารอดตายของปลาที่ได้รับอาหารทั้ง 7

สูตรไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) โดยอยู่ในช่วง 94.67±6.11 - 98.00±2.00% (Table 4)

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนและการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ

ผลข้อมูลในด้านอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนและการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ ของปลานิลแดงที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 7 สูตร แสดงใน Table 5 พบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1-6 มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อไม่แตกต่างกัน (p>0.05) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 2.16±0.08 - 3.13±0.18 ในขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 7 มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อสูงที่สุด (5.76 ±1.30) และแตกต่างทางสถิติกับทุก ๆ สูตรอาหาร (p<0.05)

ส่วนค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) พบว่าปลานิลแดงกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีน 20% คือสูตรที่ 1-3 มีค่า 2.01±0.36 2.12±0.06 และ1.69±0.09 ตามลำดับ โดยค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีนในอาหารสูตรที่ 3 ซึ่งแทนที่ปลาป่นด้วยกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่ระดับ 45% มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) แต่ไม่แตกต่างกับอาหารสูตรที่ 1 ในขณะที่ค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลานิลแดงกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีน 24% คืออาหารสูตรที่ 4-6 มีค่า 2.09±0.07 1.90±0.18 และ 1.98±0.08 ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ทุกระดับการเสริมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน (15-45%) และยังพบว่าการเสริมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่ระดับเดียวกันในอาหารที่มีโปรตีนต่างกัน 2 ระดับ คือ 20 และ 24% ไม่ทำให้ค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีนมีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) ส่วนอาหารที่มีค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีนต่ำที่สุดคืออาหารสูตรที่ 7 (0.94±0.19) โดยมีค่าแตกต่างจากสูตรอาหารอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

สำหรับค่าการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ พบว่าอาหารสูตรที่ 1 2 4 5 และ 6 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) โดยมีค่าการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิอยู่ในช่วง 59.84±5.86 - 70.30±2.83% รองลงมาคืออาหารสูตรที่ 3 (45.62±2.94) โดยอาหารสูตรที่ 7 เป็นอาหารที่มีค่าการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิต่ำที่สุด

องค์ประกอบทางเคมีของปลาทั้งตัว

ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางโภชนาการของปลาทั้งตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (Table 6) พบว่า ความชื้นของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1-6 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) แต่มีค่าต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 7 อย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ส่วนโปรตีนของตัวปลาที่ได้รับอาหารทั้ง 7 สูตร พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 มีค่าสูงที่สุด (49.51±0.38%) รองลงมาคือปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 6 และ 7 ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05)

Table 5. Feed conversion ratio (FCR), protein efficiency ratio (PER) and apparent net protein utilization (ANPU) of red tilapia fed different experimental diets for 10 weeks period [1]

Diets	FCR	PER	ANPU
1	2.67±0.50 [b]	2.01±0.36 [ab]	62.24±12.20 [a]
2	2.53±0.07 [b]	2.12±0.06 [a]	63.36±1.75 [a]
3	3.13±0.18 [b]	1.69±0.09 [b]	45.62±2.94 [b]
4	2.16±0.08 [b]	2.09±0.07 [a]	70.30±2.73 [a]
5	2.38±0.24 [b]	1.90±0.18 [ab]	59.84±5.86 [a]
6	2.28±0.09 [b]	1.98±0.08 [ab]	65.61±2.65 [a]
7	5.76±1.30 [a]	0.94±0.19 [c]	27.60±6.08 [c]

[1] Mean ± SD (3 replicates)
Values within the same column sharing a common superscript are not statistically different (p>0.05)

Table 6. Body compositions of sex-reversed red tilapia fed different experimental diets for 10 weeks period [1]

Diets	Moisture (%)	Composition (% DM)		
		Protein	Fat	Ash
Initial	75.25±0.62	51.29±0.71	26.42±1.91	12.11±0.53
1	70.86±0.95 [b]	47.81±1.11 [bc]	36.79±0.59 [b]	14.07±0.19 [c]
2	69.91±0.93 [b]	46.18±1.04 [d]	37.98±1.23 [ab]	14.56±0.05 [b]
3	69.22±1.15 [b]	44.24±0.52 [e]	38.63±1.82 [ab]	14.99±0.16 [a]
4	70.49±0.56 [b]	49.51±0.38 [a]	34.37±1.05 [d]	13.84±0.05 [c]
5	69.29±1.31 [b]	47.24±0.45 [cd]	36.74±0.83 [bc]	14.05±0.37 [c]
6	69.04±1.64 [b]	49.15±0.99 [ab]	39.78±0.70 [a]	14.53±0.15 [b]
7	73.52±1.59 [a]	48.63±0.83 [abc]	35.63±0.15 [cd]	9.87±0.37 [d]

[1] Mean ± SD (3 replicates)
DM = Dry matter
Values within the same column sharing a common superscript are not statistically different (p>0.05)

Table 7. Blood components and hepatosomatic index (HSI) of sex-reversed red tilapia fed with 7 experimental diets for 10 weeks period[1]

Diets	Haematocrit (%)	Haemoglobin (g/dl)	Plasma protein (g%)	HIS (%)
1	30.83±2.40 [a]	7.66±1.04 [a]	6.76±0.33 [a]	2.70±0.47 [b]
2	31.67±1.89 [a]	8.08±0.36 [a]	5.95±1.33 [a]	2.08±0.17 [bc]
3	30.00±3.06 [a]	7.73±0.39 [a]	6.24±0.23 [a]	2.43±0.33 [bc]
4	34.22±1.11 [a]	8.53±0.49 [a]	7.31±0.76 [a]	2.32±0.44 [bc]
5	30.89±3.99 [a]	7.76±0.84 [a]	6.26±0.71 [a]	2.04±0.04 [c]
6	34.33±0.60 [a]	7.62±0.57 [a]	6.04±0.71 [a]	2.15±0.44 [bc]
7	29.33±1.88 [a]	7.34±0.46 [a]	6.83±0.52 [a]	3.68±0.16 [a]

[1] Mean ± SD (3 replicates)
Values in the same column sharing a common superscript are not statistically different (p>0.05)

ในขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 มีค่าองค์ประกอบของโปรตีนในตัวต่ำที่สุด และแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นๆ ทุกสูตรอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) สำหรับไขมันพบว่ามีความแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลอง ($p<0.05$) มีค่าอยู่ในช่วง 34.37±1.05 - 39.78±0.70% และค่าเถ้าในซากปลานิลพบว่าสามารถแบ่งได้ 4 กลุ่ม คือซากปลาที่มีค่าเถ้าสูงที่สุด (14.99±0.16%) ได้แก่ ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 รองลงมาคือกลุ่มปลาที่ได้รับอาหารสูตร 2 และ 6 ส่วนกลุ่มที่ 3 คือกลุ่มปลาที่ได้รับอาหารสูตร 1 4 และ 5 และค่าเถ้าที่มีค่าต่ำที่สุดคือ ปลาที่ได้รับอาหารสูตร 7

องค์ประกอบเลือด และดัชนีตับต่อตัว

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเลือด พบว่า ทุกสูตรอาหารมีค่าฮีมาโตคริต ฮีโมโกลบิน และโปรตีนในพลาสมาไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนผลของการศึกษาค่าดัชนีตับต่อตัวของปลานิลที่ได้รับอาหารสูตรต่างๆ ทั้ง 7 สูตร พบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 7 มีค่าดัชนีตับต่อตัวสูงที่สุด (3.68±0.16%) และมีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันเป็นองค์ประกอบ (สูตร 1-6) อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ซึ่งมีค่าดัชนีตับต่อตัวอยู่ในช่วง 2.04-2.70% (Table 7)

การศึกษาเนื้อเยื่อวิทยาของตับปลานิล

จากผลการศึกษาพยาธิสภาพของเนื้อเยื่อตับของปลานิล พบว่าปลาที่ได้รับอาหารทั้ง 7 สูตร ตรวจไม่พบการเปลี่ยนแปลงทางพยาธิสภาพของเซลล์ตับและตับอ่อน แต่พบว่าเนื้อเยื่อตับของปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในสูตรอาหาร 45% (สูตรที่ 3 และ 6) สะสมเม็ดไขมันที่มีลักษณะเป็นแวคิวโอล (vacuole) ย้อมไม่ติดสี แทรกอยู่ภายในเนื้อตับมากกว่าปลาในชุดการทดลองอื่น ๆ (Figure 1)

ราคาอาหารและต้นทุนการผลิต

จากการคำนวณราคาค่าอาหารจากราคาวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่นำมาเป็นส่วนประกอบในสูตรทั้ง 7 สูตร พบว่าสูตรอาหารที่มีส่วนประกอบของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันเพิ่ม

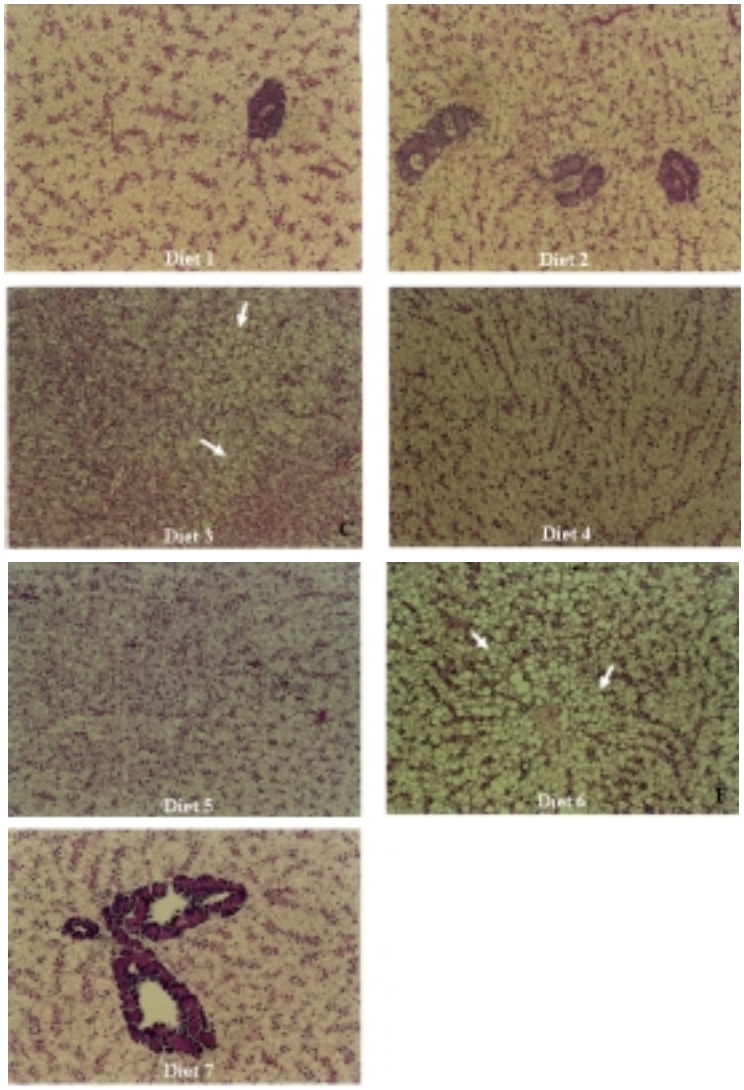

Figure 1. Liver tissue of sex-reversed red tilapia fed with seven experimental diets, in fish fed test diets 3 and 6 (containing with 45% PKC) histopathological of liver showed higher number of oil droplets (arrow) (H&E, x 200).

(Color figure can be viewed in the electronic version)

Table 8. Feed cost and unit feeding cost of sex-reversed red tilapia fed different experimental diets for 10 weeks period [1]

Diets	Feed cost (Baht/kg)	Unit feeding cost (Baht/kg)
1	15.486	41.35±7.76 [b]
2	14.406	36.05±1.06 [b]
3	13.356	41.80±2.36 [b]
4	15.636	33.72±1.26 [b]
5	14.556	34.64±3.54 [b]
6	13.506	30.84±1.23 [b]
7	11.250	64.76±14.56 [a]

[1] Mean ± SD (3 replicates)
Values within the same column sharing a common superscript are not statistically different (p>0.05)

ขึ้นจะทำให้อาหารมีราคาต่ำลง แต่การเพิ่มระดับโปรตีนในสูตรอาหารจาก 20% เป็น 24% พบว่าจะทำให้ราคาอาหารเพิ่มสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยในทุก ๆ ระดับของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน ดังแสดงใน Table 8 และจากการวิเคราะห์ต้นทุนค่าอาหารสูตรต่าง ๆ ต่อการผลิตปลา 1 กก. พบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 7 มีต้นทุนการผลิตต่อหน่วยสูงที่สุด (64.76±14.56 บาท) แตกต่างกับอาหารสูตรอื่น ๆ ($p<0.05$) โดยปลากลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันเป็นส่วนประกอบในสูตรทั้ง 2 ระดับโปรตีน มีต้นทุนค่าการผลิตปลาต่อหน่วยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยต้นทุนค่าอาหารอยู่ในช่วง 30.84±1.23 - 41.80± 2.36 บาท ต่อการผลิตปลา 1 กก.

คุณภาพน้ำ

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในบ่อที่ทำการวางกระชังทดลองในช่วงระยะเวลาที่ทำการทดลอง พบว่า อุณหภูมิมีค่าอยู่ระหว่าง 30.0-31.0°C ความเป็นกรดด่าง 7.4-7.8 ค่าความกระด้าง 34.0-58.0 มก./ลิตร และค่าออกซิเจนละลายน้ำ 5.80-7.20 มก./ลิตร ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงที่ปลานิลสามารถดำรงชีวิตได้อย่างปกติ

วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าปลานิลที่ได้รับอาหารสูตรต่าง ๆ มีอัตราการเจริญเติบโตแบ่งออกได้ 3 กลุ่ม คือ ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 5 และ 6 จะมีอัตราการเจริญเติบโตดีที่สุด รองลงมาคือปลากลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 2 และ 3 ในขณะที่ปลาที่มีการเจริญเติบโตต่ำที่สุดคือปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 7 ทั้งนี้เป็นเพราะว่าปลากลุ่มที่มีอัตราการเจริญเติบโตที่ดีนั้นได้รับอาหารที่มีโปรตีนประมาณ 24% ซึ่งสูงกว่าอาหารสูตรที่ 1 2 และ 3 ที่มีระดับโปรตีนประมาณ 20% ในขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 7 ซึ่งเป็นอาหารเม็ดลอยน้ำสำหรับปลากินพืชที่เกษตรกรผู้เลี้ยงปลานิลใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่นำมาเตรียมเป็นอาหารจมน้ำเช่นเดียวกับอาหารสูตรอื่น ๆ ในการทดลองนี้กลับส่งผลทำให้ปลานิลมีการเจริญเติบโตต่ำที่สุด ทั้งที่อาหารดังกล่าวมีระดับโปรตีนในสูตร 20.11% ซึ่งใกล้เคียงกับสูตรที่ 1-3 ที่โปรตีนอยู่ในช่วง 20.26-20.72% และเมื่อพิจารณาคุณค่าทางโภชนาการของสารอาหารตัวอื่น ๆ ได้แก่ เถ้า เยื่อใย และความชื้น ก็พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับอาหารสูตรอื่น ๆ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอาหารสูตรที่ 7 นั้นเป็นอาหารสำเร็จรูปที่มีองค์ประกอบของสูตรอาหารแตกต่างจากอาหารสูตรที่ 1-6 และถึงแม้จะมีระดับโปรตีนใกล้เคียงกับสูตรที่ 1-3 แต่ชนิดของวัตถุดิบ และแหล่งโปรตีนที่ใช้อาจแตกต่างกันจึงส่งผลให้สัดส่วนขององค์ประกอบของกรดอะมิโนแตกต่างออกไป แต่จะด้วยเหตุผลใดก็ตามผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่าอาหารที่ทดลองผลิตขึ้นมาทั้ง 6 สูตร เป็นอาหารที่มีคุณภาพดีกว่าอาหารสำเร็จรูปเพื่อใช้เลี้ยงปลานิลขนาดใหญ่ในกระชัง เพราะเมื่อพิจารณาค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ พบว่าอาหารที่ใช้กากเนื้อเมล็ดใน

ปาล์มน้ำมันเป็นส่วนประกอบเพื่อทดแทนปลาป่นในสูตรอาหารทั้ง 6 สูตรมีค่าสูงกว่าอาหารในสูตรที่ 7 อย่างชัดเจน รวมทั้งเมื่อพิจารณาถึงค่าอัตราแลกเนื้อพบว่าอาหารสำเร็จรูปมีค่าสูงมาก (5.76) และสูงกว่าอัตราแลกเนื้อของปลาที่ได้รับอาหารที่ผลิตขึ้นมาทดลองทั้ง 6 สูตร ที่มีค่าอยู่ในช่วง 2.16-3.13 อย่างไรก็ตามอัตราแลกเนื้อของปลาจากการทดลองนี้มีค่าค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับการทดลองอื่น ๆ ซึ่งทำการทดลองเลี้ยงในถังทดลอง บ่อซีเมนต์หรือบ่อดิน (Viola and Zohar, 1984; El-Sayed, 1992; El-Sayed, 1998) ทั้งนี้เป็นเพราะขณะที่ให้อาหารปลาในกระชังจะขึ้นมากินอาหารที่ผิวน้ำเหนือถาดใส่อาหารทำให้มีอาหารบางส่วนหลุดออกนอกกระชัง จึงเกิดการสูญเสียอาหารไปบางส่วน เมื่อนำน้ำหนักอาหารที่ใช้ไปทั้งหมดมาคำนวณค่าอัตราแลกเนื้อ จึงมีค่าสูงกว่าที่ควรเป็น อย่างไรก็ตามผลการทดลองนี้พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับการเลี้ยงปลานิลในกระชังของ สัณฑ์ชัย (2514) Cheong และคณะ (1987) และ Cruz และ Ridha (1989)

เมื่อพิจารณาถึงระดับของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน 15-45% ในสูตรอาหารที่มีระดับโปรตีนในอาหาร 24% (สูตรที่ 4 5 และ 6) พบว่าการเสริมวัตถุดิบพืชดังกล่าวที่ระดับ 30% (สูตรที่ 5) มีผลให้ปลานิลมีการเจริญเติบโตดีที่สุด สอดคล้องกับผลการทดลองของนิรุทธิ์ (2544) ที่พบว่าปลานิลขนาด 2 กรัมเจริญเติบโตดีที่สุดเมื่อได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันเป็นส่วนประกอบอยู่ 30% ในสูตรอาหารที่มีระดับของโปรตีน 30% ส่วนการเสริมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในระดับ 30% หรือต่ำกว่าในสูตรอาหารที่มีโปรตีน 20% (สูตรที่ 1 2 และ 3) ในการทดลองนี้พบว่าทำให้ปลานิลมีการเจริญเติบโตต่ำกว่าการเสริมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มในอาหารที่มีระดับโปรตีนอยู่ 24% ทุกระดับ แสดงให้เห็นว่าในสูตรอาหารที่มีระดับโปรตีน 20% นั้นอาจจะต่ำเกินสำหรับการใช้เลี้ยงปลานิลแดงแปลงเพศขนาด 50 กรัม ให้มีการเจริญเติบโตดี เมื่อเทียบกับอาหารที่มีระดับโปรตีนสูงกว่า ซึ่งการศึกษาผลของการเสริมวัตถุดิบพืชชนิดต่าง ๆ เพื่อทดแทนแหล่งโปรตีนจากปลาป่นในอาหารปลานิล พบว่าส่วนใหญ่ทดลองเสริมในสูตรอาหารที่มีระดับโปรตีนตั้งแต่ 28-32% (El sayed, 1992; Omoregie and Ogbemudia, 1993; Balogun and Fagbenro, 1995; Balal and Al-Jasser, 1997; Pouomegne *et al.*, 1997; Al-Hafedh and Siddiqui, 1998; Belal, 1999) โดยไม่มีรายงานการศึกษาในสูตรอาหารที่มีระดับโปรตีน 24% มาก่อน อย่างไรก็ตามในผลการทดลองนี้บ่งชี้ให้เห็นว่าการเตรียมอาหารที่มีระดับโปรตีน 20 และ 24% และเสริมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในระดับ 30% สามารถใช้เลี้ยงปลานิลได้ดีกว่าการใช้อาหารเม็ดสำหรับปลากินพืชที่มีระดับโปรตีนประมาณ 20% ซึ่งเป็นอาหารที่เกษตรกรผู้เลี้ยงปลานิลให้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากพบว่าปลานิลที่ได้รับอาหารที่ผลิตเองมีผลให้ปลานิลมีการเจริญเติบโตดี รวมทั้งมีต้นทุนการผลิตปลาต่อหน่วยที่ต่ำกว่า

ส่วนผลการทดลองใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน 45% เสริมลงในอาหารที่มีระดับโปรตีน 20 และ 24% พบว่ามีผลให้ปลามีการเจริญเติบโตลดลงแตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมกากเนื้อเมล็ดในปาล์ม 15-30% อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเป็นไปได้ว่าการเสริมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในระดับที่สูงเกินไปเพื่อเพิ่มระดับโปรตีนรวมในสูตรอาหาร โดยลดระดับของปลาป่นลงนั้นอาจจะมีผลในแง่ของความสมดุลของสารอาหารโดยเฉพาะชนิดและปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตของปลานิล วุฒิพร และคณะ (2547) กล่าวว่า กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันมีความสมดุลและชนิดของกรดอะมิโนที่ย่อยได้ในปริมาณต่ำ โดยเฉพาะกรดอะมิโนที่จำเป็นของปลา ได้แก่ เมทไทโอนีน ไลซีน และทริปโตเฟน และ Ng (2004) กล่าวว่า กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันจะมีปริมาณของ sulphur amino acid และไลซีน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของปลาในปลาดุกบิ๊กอุย พบว่า การเสริมวัตถุดิบชนิดนี้ 40% ในอาหารผลให้การเจริญเติบโตของปลาลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษานี้รวมทั้งการศึกษาในปลานิลขนาด 2-3 กรัม ของนิรุทธิ์ (2544) วุฒิพร และคณะ (2547) ที่พบว่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีนและการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิลดลงเมื่อปลาได้รับอาหารที่มีการเสริมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันสูงกว่า 30% และสัมพันธ์กับผลการศึกษานี้ที่พบว่าเปอร์เซ็นต์การกินอาหารต่อวันของปลานิลมีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าอัตราแลกเนื้อของปลาสูงขึ้นเมื่อได้รับอาหารมีระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในอาหารถึง 45% ซึ่งอาจเป็นสัญญาณที่แสดงให้เห็นว่าเมื่อระดับโปรตีนและกรดอะมิโนที่จำเป็นมีปริมาณต่ำเกินไปปลาจำเป็นต้องกินอาหารเพิ่มมากขึ้นเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการในการอยู่รอดเท่านั้น แต่เมื่อพิจารณาผลของการเจริญเติบโตพบว่ากลับ

ลดลง

จากข้อมูลข้างต้นจึงอาจกล่าวได้ว่าการเสริมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันไม่เกิน 30% เพื่อเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารที่มีระดับโปรตีน 24% เพื่อทดแทนแหล่งโปรตีนจากปลาป่นเป็นระดับที่เหมาะสมในการใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศขนาด 50 กรัม ทั้งด้านการเจริญเติบโต และด้านต้นทุนการผลิตปลาต่อหน่วย ซึ่งเป็นปริมาณที่ใช้ได้สูงกว่าการใช้ในปลานิลขนาดเล็ก ของวุฒิพร และคณะ (2547) ที่พบว่าปลานิลขนาด 3 กรัม มีการเจริญเติบโตดีเมื่อเสริมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน ไม่เกิน 20% ในอาหารที่มีระดับโปรตีน 30% แต่ไม่แตกต่างกับรายงานของนิรุทธิ์ (2544) ที่กล่าวว่าการเสริมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน 30% ในสูตรอาหารที่มีระดับพลังงานไม่เกิน 3600 กิโลคาลอรี/กก. เป็นระดับที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลานิลขนาด 2 กรัม ทั้งในด้านการเจริญเติบโตและด้านเศรษฐศาสตร์ แสดงให้เห็นว่าน่าจะมีปัจจัยอื่นๆ เช่น ลูกพันธุ์ปลา สภาพแวดล้อมของการเลี้ยง หรือปัจจัยอื่นๆ ที่อาจมีผลต่อการกิน การย่อย หรือการใช้ประโยชน์จากสารอาหารได้ อย่างไรก็ตามหากมีความต้องการใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันทดแทนปลาป่นซึ่งแนวโน้มมีราคาแพงขึ้นเรื่อยๆ หรือมีปริมาณไม่เพียงพอในอนาคต เพื่อเลี้ยงปลานิลและปลากินพืชอื่นๆ ก็อาจมีความเป็นไปได้ แต่จำเป็นต้องหาวิธีการที่ทำให้ปลาสามารถใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบอาหารนี้ได้มากขึ้น เช่น Ng และ Chong (2002) กล่าวว่าการเสริมเอ็นไซม์ทางค้า เช่น Allzyme VegproTMi RonozymeTMVP และ Mannanasek ลงในสูตรอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันเป็นองค์ประกอบ 40% มีผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยวัตถุแห้ง และพลังงานในสูตรอาหารเพิ่มสูงขึ้น ส่วนวิธีการอื่นอาจทำได้โดยทำการเสริมกรดอะมิโน กรดไขมัน หรือสารอาหารตัวที่ขาดเพิ่มเติม หรืออาจทำให้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันมีองค์ประกอบของโปรตีน กรดไขมันที่จำเป็น และสารอาหารอื่นๆ เพิ่มขึ้นก่อนนำไปใช้ในสูตรอาหาร เช่น Ng และคณะ (2002) พบว่าการหมักกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันด้วยเชื้อรา *Trichoderma koningii* นาน 21 วัน พบว่า มีผลให้โปรตีนรวมในวัตถุดิบเพิ่มสูงขึ้น 1.85 เท่า เป็นต้น

สำหรับการศึกษาองค์ประกอบเลือด คือ ค่าปริมาณโปรตีนในพลาสมา ฮีโมโกลบิน ฮีมาโตคริต พบว่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของปลาที่ปกติ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลการศึกษาของ กิจการ และวัชรินทร์ (2530) และ Fagbenro (1994) แสดงว่าสูตรอาหารที่ใช้ในการทดลองนี้มีคุณค่าทางโภชนาการที่ครบถ้วน เมื่อนำมาทดลองเลี้ยงปลาทำให้ปลามีกลไกการทำงานของระบบเลือดเป็นปกติ และสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ปกติเนื่องจากพบว่าปลาทุกสูตรมีอัตราการรอดตายที่ไม่แตกต่างกัน แต่ทั้งนี้การดำรงชีวิตได้หรือมีองค์ประกอบเลือดที่ปกติอาจไม่เพียงพอสำหรับการผลิตสัตว์น้ำในเชิงเศรษฐกิจ เนื่องจากพบว่าปลานิลที่ได้รับอาหารที่เสริมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันเท่ากัน แต่มีระดับโปรตีนในอาหารสูงกว่าพบว่ามีผลให้ปลามีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าและมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าอีกด้วย ดังนั้นหากจะใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มเสริมในสูตรอาหารก็จำเป็นต้องพิจารณาระดับโปรตีนรวมทั้งความสมดุลของกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของปลาด้วย สำหรับค่าดัชนีตับต่อตัวของปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีส่วนประกอบของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันมีค่าประมาณ 2% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าดัชนีตับต่อตัวในปลานิลขนาด 75-91 กรัม ที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้ปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลัก อาหารที่เสริมถั่วเหลืองบด และกากถั่วเหลืองแทนปลาป่นที่มีค่าเท่ากับ 2.5 1.9 และ 2.1% ตามลำดับ (Fontainhas-Fernandes *et al.*, 2000) แต่ค่าดังกล่าวค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับปลานิลขนาด 28-35 กรัม มีค่าอยู่ในช่วง 1.53-1.96% (นิรุทธิ์, 2544) และขนาด 54-84 กรัม ที่มีค่าอยู่ในช่วง 1.29-1.88% (วุฒิพร และคณะ, 2547) ส่วนค่าดัชนีตับต่อตัวของปลาที่ได้รับอาหารสำเร็จรูป (สูตร 7) มีค่าสูงถึง 3.68% แสดงว่าตับมีขนาดใหญ่ขณะที่เซลล์ตับและเนื้อเยื่อตับยังคงเป็นปกติ แต่เมื่อพิจาณาร่วมกับผลของประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิพบว่ามีค่าต่ำกว่าชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรนี้น่าจะมีปัญหาเกี่ยวกับความสามารถในการย่อย และการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร ซึ่งสอดคล้องกับผลต่อการเจริญเติบโตที่มีค่าต่ำกว่าอย่างชัดเจนด้วย จากข้อมูลข้างต้นจึงบ่งชี้ให้เห็นว่าอาหารสำเร็จรูปสำหรับกินพืชที่นำมาใช้ครั้งนี้ไม่มีความเหมาะสมสำหรับที่จะนำมาเลี้ยงปลานิลแปลงเพศ

ผลการศึกษาทางเนื้อเยื่อวิทยาของตับปลานิลในชุดการทดลองที่ให้อาหารเสริมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันพบว่าไม่พบความผิดปกติของเซลล์และเนื้อเยื่อตับของปลาชุดการทดลองที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 2 4 5 และ 7 ซึ่งเป็นชุด

การทดลองที่เสริมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน 15-30% ส่วนปลานิลที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 และ 6 ซึ่งมีการผสมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน 45% พบว่าเนื้อเยื่อตับเกิดการสะสมเม็ดไขมันซึ่งมีลักษณะเป็นช่องว่างที่ย้อมไม่ติดสีกระจายอยู่จำนวนมาก ซึ่งผลดังกล่าวพบว่ามีความสอดคล้องกับคุณค่าทางโภชนของอาหารทั้ง 2 สูตรที่มีค่าอยู่ในช่วง 8.39-8.42% ซึ่งสูงกว่าสูตรอื่นๆ ที่มีค่าอยู่ในช่วง 5.18-7.17% แสดงให้เห็นว่าการเสริมวัตถุดิบพืชชนิดนี้ในปริมาณที่สูงเกินก็มีผลไปเพิ่มระดับของไขมันในอาหารด้วย และหากไขมันในอาหารสูงเกินความจำเป็นส่งผลให้ไขมันที่ไม่ถูกนำไปใช้เกิดการสะสมไว้ในตับ หรืออาจเป็นไปได้ว่าชนิดของไขมันที่อยู่ในกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันเป็นกลุ่มกรดไขมันที่จำเป็นมีอยู่น้อย ทำให้กระบวนการเมตาบอลิซึมของไขมันในปลาเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ปลาจึงต้องสะสมไขมันไว้ที่ตับมากขึ้น ซึ่ง Ceballero และคณะ (2002) พบว่า ปลาเทร้าท์มีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยไขมันลดลงเมื่อได้รับอาหารสูตรที่มีน้ำมันพืชผสมจากน้ำมันเรปสิด น้ำมันมะกอก และลาร์ด (Lard) เป็นองค์ประกอบอยู่ในอัตราส่วนสูงๆ และพบว่าเนื้อเยื่อตับมีปริมาณเม็ดไขมันแทรกอยู่จำนวนมาก ในขณะที่สูตรที่ใช้น้ำมันปลาเคปลิน (Capelin oil) หรือน้ำมันพืชผสมในอัตราส่วนน้อยๆ ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยไขมันและเนื้อเยื่อตับมีลักษณะปกติ ที่เป็นเช่นนี้ Ceballero และคณะ (2002) กล่าวว่า เนื่องจากในน้ำมันพืชนั้นจะมีองค์ประกอบของฟอสฟอลิปิด (phospholipids) ซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็นสำหรับการสังเคราะห์ ลิพอโปรตีน (lipoprotein) ที่ใช้ขนส่งไขมันไปยังเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ของร่างกาย เมื่อปลาได้รับอาหารที่มีกรดไขมันชนิดดังกล่าวไม่เพียงพอก็จะทำให้ไขมันถูกเคลื่อนย้ายไปสะสมในเนื้อเยื่อต่างๆ จึงพบการสะสมไขมันในตับและตับอ่อนได้มากขึ้น จากการทดลองครั้งนี้จึงมีความเป็นไปได้ว่าอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันเป็นองค์ประกอบในสูตรถึง 45% มีผลให้เปอร์เซ็นต์ไขมันในสูตรเพิ่มสูงเกินความจำเป็นปลาจึงสะสมไว้ในตับและอาจเป็นไปได้ว่าอาหารสูตรดังกล่าวมีกรดไขมันที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมตาบอลิซึมของไขมันอยู่น้อย จึงทำให้เมื่อนำอาหารไปใช้เลี้ยงปลาไขมันส่วนที่ไม่ถูกใช้สะสมไว้ที่ตับดังพยาธิสภาพของเนื้อเยื่อที่ปรากฏในการทดลองนี้ ซึ่งหากตับมีการสะสมไขมันมากขึ้นในการเลี้ยงระยะยาวก็น่าจะส่งผลต่อการย่อย และการใช้ประโยชน์จากอาหารอื่นๆ ซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตในที่สุด สอดคล้องกับผลการทดลองนี้ที่พบปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันเป็นองค์ประกอบ 45% นาน 10 สัปดาห์ มีการเจริญเติบโตต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารเสริม 15-30% ในกลุ่มที่มีระดับโปรตีนเท่ากัน

ดังนั้นจากการทดลองนี้จึงสามารถสรุปได้ว่าสูตรอาหารที่เหมาะสมสำหรับใช้เลี้ยงปลานิลแดงแปลงเพศขนาด 48.65 กรัม ในกระชัง ควรเป็นอาหารมีระดับโปรตีนไม่น้อยกว่า 24% และสามารถใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารได้สูงถึง 30% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโต คุณภาพซาก ค่าดัชนีตับต่อตัว และองค์ประกอบเลือด รวมทั้งทำให้มีต้นทุนค่าอาหารต่อหน่วยการผลิตปลาต่ำกว่าการใช้อาหารสูตรที่เสริมกากเนื้อเมล็ดในปาล์ม 15% และอาหารสำเร็จรูปปลากินพืชซึ่งไม่มีความเหมาะสมสำหรับที่จะนำมาเลี้ยงปลานิลแปลงเพศเชิงการค้า

เอกสารอ้างอิง

กิจการ ศุภมาตย์ และวัชรินทร์ รัตนชู. 2530. ผลการเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำต่อองค์ประกอบเลือดในปลานิล (*Sarotherodon niloticus*). ว. สงขลานครินทร์. 9: 471-477.

นิรุทธิ์ สุขเกษม. 2544. ผลของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันต่อการเจริญเติบโตของปลานิล. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 108 หน้า

วุฒิพร พรหมขุนทอง ทัศนีย์ นบนอบ เรวดี สัจจกุล และกิจการ ศุภมาตย์. 2541. ผลของไขมันระดับต่างๆ ต่อการเจริญเติบโต อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ การใช้ประโยชน์จากอาหาร และองค์ประกอบทางเคมีของปลากดเหลืองขนาดปลานิ้ว. ว. สงขลานครินทร์ วทท. 20: 313-321.

วุฒิพร พรหมขุนทอง วรรณชัย พรหมเกิด กิจการ ศุภมาตย์ วุฒิกรณ์ จิตติวรรณ และดุสิต นาคะชาติ. 2547. การแทนที่ปลาป่นในอาหารปลานิลแดงแปลงเพศ (*Oreochromis niloticus* Linn.) ด้วยกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน. ว. สงขลานครินทร์ วทท. 26: 167-179.

AOAC. 1995. Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis. AOAC. Washington DC. 1263 p.

Al-Hafedh, Y.S. and Siddiqui, A.Q. 1998. Evaluation of guar seed as protein sources in *Nile tilapia, Oreochromis niloticus* (L.) practical diets. Aquacult. Res. 29: 703-708.

Anwar, M.F. and Jafri, A.K. 1995. Effect of varying dietary lipid levels on growth, feed conversion, nutrient retention and carcass composition of fingerling catfish, *Heteropneustes fossilis*. Asian Fish. Sci. 8: 55-62.

Belal, I.E.H. 1999. Replacing dietary corn with barley seeds in *Nile tilapia, Oreochromis niloticus*. (L.) feed. Aquacult. Res. 30: 265-269.

Belal, I.E.H. and Al-Jasser, M.S. 1997. Replacing dietary starch with pitted date fruit in *Nile tilapia, Oreochromis niloticus*. (L.) feed. Aquacult. Res. 28: 385-389.

Balogun, A.M. and Fagbenro, O.A. 1995. Use of macadamia press cake as protein feedstuff in practical diets for tilapia, *Oreochromis niloticus.* (L.) feed. Aquacult. Res. 26: 371-377.

Bancroft, J.D. 1967. Histochemical Techniques. Butterworth. London. 348 pp.

Blaxhall, P.C. and Daisley, K.W. 1973. Routine hematological methods for use with fish blood. Fish Biol. 5: 771-781.

Boonyaratpalin, M. and Phromkunthong, W. 2000. Effects of Ronozyme treated rice bran and oil palm meal on growth of sex reversed *Tilapia niloticus*. The Sixth Roche Aquaculture Conference Asia Pacific (ed. B. Hunter) Bangkok, Thailand, September 29, 2000. pp. 50-63.

Boyd, C. 1990. Water Quality in Ponds for Aquaculture. Birmingham Publishing Co., Alabama. 482 p.

Caballero, M.J., Obach, A., Rosenlund, G., Montero, D., Gisvold, M. and Izquierdo, M.S. 2002. Impact of different dietary lipid sources on growth, lipid digestibility, tissue fatty acid composition and histology of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Aquaculture 214: 253-271.

Cheong, L., Chan, F.K., Wong, F.J. and Chou, R. 1987. Observations on the culture of red tilapia (*Oreochromis niloticus* hybrid) in seawater under intensive tank condition using a biodrum. Singapore J. Pri. Ind. 15: 42-56.

Cruz, E.M. and Ridha, M. 1989. Preliminary study on the production of the tilapia, *Oreochromis spilurus* (Gunther), culture in seawater cages. Aquacult. Fish. Manag. 21: 187-194.

Davies, S.J., McConnell, S. and Bateson, R.I. 1990. Potential of rapeseed meal as an alternative protein source in complete diets for tilapia (*Oreochromis mossambicus* Peters). Aquaculture 87: 145-154.

Degani, G. and Revach, A. 1991. Digestive capabilities of three commensal fish species: Carp, *Cyprinus carpio* L., tilapia, *Oreochromis aureus* x *O. niloticus*, and African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). Aquacult. Fish. Manag. 22: 397-403.

El-Sayed, A.F.M. 1992. Effect of substituting fish meal with *Azolla pinnata* in practical diets for fingerling and adult *Nile tilapia, Oreochromis niloticus* (L.). Aquacult. Fish. Manag. 23: 167-173.

El-Sayed, A.F.M. 1998. Total replacement of fish meal with animal protein sources in *Nile tilapia, Oreochromis niloticus* (L.) feed. Aquacult. Res. 29: 275-280.

Fagbenro, O.A. 1994. Dried fermented fish silage in diets for *Oreochromis niloticus*. Isr. J. Aquacult.-Bamidgeh 46:140-147.

Fontainhas-Fernandes, A., Monteiro, M., Figueiredo, A., Gomes, E., Coimbra, J. and Reis-Henriques, A. 2000. Partial or total replacement of fish meal by plant protein effects gonadal development and plasma 17β-estradiol levels in female *Nile tilapia*. Aquacult. Int. 8: 299-313.

Humason, G.L. 1972. Animal Tissue Technique, 4th.ed. San Francisco. CA: W.H. Freeman and Company.

Larsen, H.M. and Snieszko, S.F. 1961. Modification of the microhaematocrit technique with trout blood. Trans. Amer. Fish. Soc. 90: 139-142.

Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L. and Randall, R.J. 1951. Protein measurement with the folin phenol reagent. Biol. Chem., 193: 265-275.

Ng, W.K. 2004. Researching the use of palm kernel cake in aquaculture feeds. Palm Oil Development. 41: 20-21.

Ng, W.K. and Chong, K.K. 2002. The nutritive value of palm kernel meal and the effect of enzyme supplementation in practical diets for red hybrid tilapia (*Oreochromis* sp.). Asian Fish. Sci. 15: 167-176.

Ng, W.K., Lim, H.A., Lim, S.L. and Ibrahim, C.O. 2002. Nutritive value of palm kernel meal pretreated with *Trichoderma koningii* (Oudemans) as a dietary ingredient for red hybrid tilapia (*Oreochromis* sp.) Aquacult. Res. 33: 1199-1207.

Omoregie, E. and Ogbemudia, F.I. 1993. Effect of substituting fish meal with palm kernel meal on growth and food utilization of the *Nile tilapia, Oreochromis niloticus*. Isr. J. Aquacult.-Bamidgeh 45: 113-119.

Pouomegne, V., Takam, G. and Pouemegene, J.B. 1997. A preliminary evaluation of cacao husks meal in practical diets for juvenile *Nile tilapia Oreochromis niloticus*. (L.) feed. Aquaculture 156: 211-219.

Stickney, R.R. 1979. Principles of Warmwater Aquaculture. John Wiley & Sons. New York.

Stickney, R.R. and Hardy, R.W. 1986. Lipid requirements of some warm water species. Aquaculture 79: 145-156.

Viola, S. and Zohar, G. 1984. Nutrition studies with market size hybrids of tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) in intensive culture 3 protein levels and sources. Isr. J. Aquacult.-Bamidgeh 36: 3-15.