

การจัดการทางโภชนาการสำหรับการอนุบาลและ การเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม

Nutritional Management for Nursing and Culturing Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931)

พิเชต พลายเพชร^{1/}

Pichet Plaipetch^{1/}

Abstract: Replacement of *Chaetoceros* spp., with *Schizochytrium* spp., or artificial feed containing highly unsaturated fatty acid (HUFA) for nursing Pacific white shrimp larvae has been partially achieved. However, integration of with these feeds with *Chaetoceros* spp., has increased survival rate compared with using this phytoplankton alone. Supplementing HUFA to various zooplanktons i.e. water flea and rotifer has made total replacement for *Artemia* nauplii possible. Total replacement with artificial feed can be done if its nutritional values are similar to *Artemia* nauplii supplemented with HUFA. Feed for grow-out shrimp should contain protein, lipid, sums of EPA and DHA, lecithin, cholesterol and astaxanthin at levels of 30-40%, 6-8%, 0.25%, 3.0%, 0.4% and 50 ppm, respectively. Total replacement of dietary fishmeal with another protein source for grow-out shrimp has been possible if its inclusion level is low, i.e. 8-15% or natural feeds have been involved such as culturing in earthen pond. Replacement of dietary marine fish oil with another lipid source can be achieved with total or high replacement level if dietary ARA, EPA and DHA are still sufficient for shrimp requirements. Also dietary marine fish oil can be reduced by using *Schizochytrium* spp., and *Mortierella* spp., served for DHA and ARA sources, respectively..

Keywords: Nutritional management, nursing, culture, pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931)

^{1/} สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด กรมประมง จ.พระนครศรีอยุธยา 13290

^{1/} Inland Aquaculture Research Institute, Inland Fisheries Research and Development Bureau, Department of Fisheries, Phra Nakhon Sri Ayutthaya 13290, Thailand.

บทคัดย่อ: การแทนที่ *Chaetoceros* spp. ด้วย *Schizochytrium* spp. หรืออาหารสำเร็จรูปที่มีกรดไขมันกลุ่ม Highly unsaturated fatty acid (HUFA) ในการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไมวัยอ่อนประสบความสำเร็จเพียงบางส่วน แต่การใช้ร่วมกันของอาหารเหล่านี้กับ *Chaetoceros* spp. ทำให้ลูกกุ้งมีอัตราการรอดดีกว่าการใช้แพลงก์ตอนพืชชนิดนี้เพียงอย่างเดียว ส่วนการเสริมกรดไขมันกลุ่ม HUFA ให้แก่แพลงก์ตอนสัตว์ เช่น ไรแดงและไรติเฟอร์ ทำให้สามารถใช้แทนที่อาร์ทีเมียวัยอ่อนได้ทั้งหมด ขณะที่การแทนที่ด้วยอาหารสำเร็จรูปทั้งหมดก็สามารถทำได้เช่นกันหากอาหารมีคุณค่าทางโภชนาการที่ใกล้เคียงกับอาร์ทีเมียวัยอ่อนที่เสริมด้วยกรดไขมัน HUFA อาหารสำเร็จรูปสำหรับการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมวัยรุ่นจนถึงขนาดตลาดควรมีโปรตีน ไขมัน ผลรวมของ EPA และ DHA เลซิติน คอเลสเตรอลและแอสด้าแซนทิน เท่ากับ 30-40%, 6-8%, 0.25%, 3.0%, 0.4% และ 50 ppm ตามลำดับ สามารถใช้แหล่งโปรตีนชนิดอื่นแทนที่ปลาป่นได้ทั้งหมดหากสูตรอาหารกุ้งชนิดนี้มีการใช้ปลาป่นน้อย เช่น 8-15 เปอร์เซ็นต์ หรือมีอาหารธรรมชาติเกี่ยวข้อง เช่น การเลี้ยงบ่อดิน การแทนที่น้ำมันปลาทะเลด้วยแหล่งไขมันชนิดอื่นสามารถทำได้ในอัตราสูงหรือทั้งหมดหากอาหารยังคงมีกรดไขมันจำเป็น เช่น ARA EPA และ DHA ที่เพียงพอต่อความต้องการของกุ้ง อีกทั้งสามารถลดน้ำมันปลาทะเลในสูตรอาหารได้โดยการใช้ *Schizochytrium* spp. และ *Mortierella* spp. ซึ่งเป็นแหล่งของ DHA และ ARA ตามลำดับ

คำสำคัญ: การจัดการทางโภชนาการ การอนุบาล การเลี้ยง กุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931)

คำนำ

กุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931) เป็นกุ้งทะเลเขตร้อนที่มีถิ่นกำเนิดบริเวณชายฝั่งตะวันออกของมหาสมุทรแปซิฟิกตั้งแต่ตอนเหนือของประเทศเม็กซิโกไปจนถึงตอนเหนือของประเทศเปรู (Sookying, 2010) กุ้งชนิดนี้มีลำตัวและขาสีขาว หางและหนวดสีแดง (ประจวบ, 2543) ด้วยแหล่งกำเนิดและลักษณะภายนอกดังกล่าวทำให้มีการตั้งชื่อสามัญของกุ้งชนิดนี้ว่า Pacific white shrimp หรืออาจเรียกว่า White leg shrimp ซึ่งเป็นชื่อที่ยอมรับโดย FAO (กิตยา, 2549) มีการทดลองเลี้ยงกุ้งชนิดนี้ในทวีปเอเชียครั้งแรกที่ประเทศฟิลิปปินส์ระหว่างปี พ.ศ. 2521-2522 แต่ไม่ประสบความสำเร็จ จากนั้นได้ทำการทดลองอีกครั้งที่ประเทศจีนในปี พ.ศ. 2531 โดยใช้ระยะเวลาทดลองนานถึง 8 ปี จึงจะสามารถเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์ได้ จากนั้นการเลี้ยงได้แพร่หลายไปยังไต้หวันและภูมิภาคอื่น ๆ ในช่วงปี พ.ศ. 2543-2544 เช่น ประเทศฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย เวียดนาม ไทย มาเลเซียและอินเดีย สาเหตุหลักที่เกษตรกรในประเทศไทยและประเทศอื่น ๆ สนใจการเลี้ยงกุ้งชนิดนี้เนื่องจากการเลี้ยงกุ้งขาวจีน (*Fenneropenaeus chinensis*) และกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*)

ประสบปัญหาการโตช้าและเกิดโรคระบาดได้ง่าย นอกจากนี้กุ้งขาวแวนนาไมมีข้อดีหลายประการ เช่น เจริญเติบโตเร็ว เลี้ยงได้หนาแน่น ต้องการโปรตีนจากอาหารต่ำ ทนต่อโรค ความเค็มและอุณหภูมิต่ำได้ดี รวมทั้งสามารถสมบูรณ์พันธุ์ได้ในบ่อดินและตอบสนองต่อการปรับปรุงพันธุ์ได้ดี (Funge-Smith *et al.*, 2003; Briggs *et al.*, 2004) สำหรับประเทศไทยได้เริ่มต้นการเลี้ยงกุ้งชนิดนี้ในปี พ.ศ. 2540 โดยการลักลอบนำเข้าลูกกุ้งมาทดลองเลี้ยงแต่ประสบปัญหาไม่มีตลาดรองรับผลผลิต (กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, 2546) และต่อมาได้ทดลองเลี้ยงอีกครั้งที่จังหวัดสุราษฎร์ธานีในปี พ.ศ. 2542 แต่การเลี้ยงกุ้งชนิดนี้ในประเทศไทยยังคงไม่แพร่หลาย จนกระทั่งผลผลิตที่ตกต่ำของกุ้งกุลาดำได้สร้างผลกระทบเป็นวงกว้างต่อเกษตรกรและผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลของประเทศไทย (ชลอ และพรเลิศ, 2547; หน่วยวิจัยเพื่อความเป็นเลิศเทคโนโลยีชีวภาพกุ้ง, 2547; SEAFDEC, 2005) ดังนั้นกรมประมงจึงอนุญาตให้มีการนำเข้าพ่อแม่พันธุ์กุ้งขาวแวนนาไมที่ปลอดโรคตัวแดงดวงขาว โรคแคระแกรน โรคหัวเหลืองและโรคทอราซินโดรม เพื่อผลิตนอพลีส์สำหรับการส่งเสริมการเลี้ยงกุ้งชนิดนี้ในประเทศไทย เป็นผลให้การเลี้ยงกุ้งชนิดนี้เริ่มแพร่หลายมากขึ้น

และปัจจุบันเกษตรกรไทยเกือบทั้งหมด (99 เปอร์เซ็นต์) เลี้ยงกุ้งชนิดนี้ (FAO, 2013) อย่างไรก็ตามเนื่องจากสามารถเลี้ยงกุ้งชนิดนี้ได้เกือบทั่วโลกทำให้เกษตรกรมีผลตอบแทนไม่สูงนัก ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลตอบแทนที่สูงขึ้น เกษตรกรจึงจำเป็นต้องลดต้นทุนการผลิตให้ได้มากที่สุด โดยเฉพาะค่าอาหารซึ่งคิดเป็น 40-60 เปอร์เซ็นต์ ของ ต้นทุนรวม (Tan and Dominy, 1997) แต่เป็นที่ทราบกันดีว่าอาหารมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโต อัตรารอดและ ผลผลิตของสัตว์น้ำรวมทั้งกุ้ง (เกตุณภัส และคณะ, 2556) ซึ่งหากมีการจัดการที่ไม่ถูกต้องอาจทำให้กุ้งเจริญเติบโตช้าและยังทำให้ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยสูงขึ้นด้วย ดังนั้นบทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับการจัดการทางโภชนาการในการอนุบาล และการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม เช่น การแทนที่แพลงก์ตอนพืชและการแทนที่อาร์ทีเมียวัยอ่อนสำหรับการอนุบาลลูก กุ้งวัยอ่อน ความต้องการสารอาหาร การแทนที่ปลาป่น และน้ำมันปลาทะเลในสูตรอาหารด้วยวัตถุดิบชนิดอื่น สำหรับการเลี้ยงกุ้งให้ได้ขนาดตลาด รวมทั้งการปรับปรุง ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์อาหารของกุ้งทั้งช่วงการ อนุบาลและการเลี้ยงกุ้งให้ได้ขนาดตลาดให้ดียิ่งขึ้น ซึ่ง การประยุกต์ใช้ความรู้เหล่านี้ น่าจะส่งผลให้เกษตรกร สามารถเพาะเลี้ยงกุ้งชนิดนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

อาหารสำหรับลูกกุ้งขาวแวนนาไมวัยอ่อน (larval feed)

การแทนที่ *Chaetoceros* spp. ด้วยอาหารมีชีวิตชนิดอื่นและอาหารสำเร็จรูป

โดยทั่วไปเกษตรกรนิยมอนุบาลลูกกุ้งทะเลจากระยะโปรโตโซเอีย (protozoa, Z) จนถึงระยะไมซิส (mysis, M) ด้วยแพลงก์ตอนพืชทะเล เช่น *Skeletonema* spp., *Chaetoceros* spp. และ *Isochrysis* spp. อย่างไรก็ตาม *Chaetoceros* spp. เป็นแพลงก์ตอนพืชที่นิยมใช้กันมากที่สุดทั้งในการทำฟาร์มและการทดลอง แม้ว่าจะมีความพยายามในการแทนที่แพลงก์ตอนพืชชนิดนี้ด้วยแพลงก์ตอนพืชชนิดอื่น เช่น *Tetraselmis* sp. แต่ไม่ประสบความสำเร็จ (Khojasteh et al., 2013) ทั้งนี้อาจเกิดจาก *Tetraselmis* sp. มีขนาดใหญ่กว่า *Chaetoceros*

sp. ทำให้ลูกกุ้งกินได้ยากรวมทั้งมีไขมันน้อยกว่าซึ่งทำให้ลูกกุ้งขาดแคลนกรดไขมันจำเป็น และแม้ว่า *Chaetoceros* spp. จะเป็นอาหารที่เหมาะสมสำหรับลูก กุ้งระยะนี้แต่แพลงก์ตอนพืชชนิดนี้มีกรดไขมันจำเป็นชนิด docosahexaenoic acid (DHA, 22 : 6n-3) น้อย (Harel et al., 2002) ซึ่งอาจทำให้อัตรารอดตายของลูกกุ้งมีความแปรปรวนตามคุณค่าทางโภชนาการของแพลงก์ตอนพืชที่ผลิต

ดังนั้นจึงมีความพยายามทดลองใช้อาหารที่เป็นแหล่ง DHA อื่น ๆ เช่น *Schizochytrium limacinum* แทนที่แพลงก์ตอนพืชชนิดนี้ โดยผลการทดลองของ ทรงทรัพย์ และคณะ (2551) พบว่าการแทนที่ *Chaetoceros* sp. ด้วยสาหร่ายทะเลชนิดนี้อัตรา 20-25 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไมระยะ Z1-M1 ทำให้ลูกกุ้งมีอัตราการรอดดีกว่าการใช้ *Chaetoceros* sp. เพียงอย่างเดียว หรือการใช้ร่วมระหว่าง *Chaetoceros* sp. กับสาหร่ายชนิดนี้ในอัตรา 50 : 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่ง สอดคล้องกับการทดลองของพัชรี และคณะ (2553) ที่พบว่าการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไมระยะ Z1-PL15 ที่มีการเสริมสาหร่ายทะเลชนิดนี้ทำให้ลูกกุ้งมีอัตราการรอดสูงกว่าการไม่เสริม และลูกกุ้งระยะ PL15 ที่อนุบาลด้วยการเสริมสาหร่ายทะเลชนิดนี้มีความทนทานต่อการเปลี่ยนความเค็มอย่างเฉียบพลันและความทนทานต่อฟอร์มาลิน ดีกว่าการไม่เสริม ขณะเดียวกันการแทนที่แพลงก์ตอนพืชที่มีส่วนผสมของ *C. muelleri* และ *I. galbana* ด้วยอาหารสำเร็จรูปชนิด microencapsulated feed ที่มีกรดไขมันชนิด Highly unsaturated fatty acid (HUFA) ที่มีประกอบของ DHA และ Eicosapentaenoic acid (EPA, 20 : 5n-3) ร่วมกับการเสริมวิตามินซีและอี ในการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไมระยะ Z1-Z3 นั้นยังไม่สามารถแทนที่การใช้แพลงก์ตอนพืชได้ทั้งหมด แต่อัตรารอดของลูกกุ้งที่มีการใช้แพลงก์ตอนพืชร่วมกับอาหารสำเร็จรูปมีค่าสูงกว่าการใช้แพลงก์ตอนพืชเพียงอย่างเดียว (Sangha et al., 2000) แม้ว่าอาหารทั้งสองชนิดนี้จะมีศักยภาพที่ดีในการใช้ร่วมกับแพลงก์ตอนพืชสำหรับการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไมจากระยะโปรโตโซเอียจนถึงระยะไมซิส อย่างไรก็ตามอาหารทั้งสองชนิดมีราคาแพงและเกษตรกรอาจหาซื้อยาก ดังนั้นเกษตรกรอาจเลือกใช้อาหารเป็นแหล่งของ

กรดไขมัน EPA และ DHA เช่น ปลาป่น หรือผลิตภัณฑ์ที่มีราคาถูกกว่าสำหรับใช้เองในฟาร์ม เช่น ไข่ตุ๋นที่มีส่วนผสมของน้ำมันจากสัตว์ทะเล แต่ควรบดหรือทำให้อาหารเหล่านี้มีขนาดที่เหมาะสมกับขนาดของลูกกุ้งและควรให้ในปริมาณที่พอเหมาะเพื่อป้องกันน้ำเสีย

การแทนที่อาร์ทีเมียวัยอ่อนด้วยอาหารมีชีวิตชนิดอื่นและอาหารสำเร็จรูป

แม้ว่าอาร์ทีเมียวัยอ่อนจะเป็นอาหารที่นิยมสำหรับการอนุบาลลูกกุ้งทะเลจากระยะไข่จนถึงโพสท์ลาร์วาเนื่องจากหาซื้อง่ายและวิธีการจัดเตรียมไม่ยุ่งยาก แต่ปัจจุบันราคาไข่อาร์ทีเมียมีแนวโน้มแพงขึ้นเนื่องจากผลผลิตไข่อาร์ทีเมียในประเทศผู้ผลิตหลักคือสหรัฐอเมริกา รัสเซียและจีนลดลงเป็นอย่างมาก (Gervais and Zeigler, 2013) ดังนั้นนักวิจัยจึงเริ่มทดสอบใช้อาหารมีชีวิตชนิดอื่นสำหรับแทนที่อาร์ทีเมีย เช่น โคพีพอด โรติเฟอร์ ไรน้ำกร่อย ไรแดง ตัวอ่อนไส้เดือน (Focken *et al.*, 2006) อย่างไรก็ตามการแทนที่อาร์ทีเมียวัยอ่อนด้วยอาหารมีชีวิตเหล่านี้มีผลสำเร็จที่แตกต่างกันและพบว่าส่วนใหญ่ยังไม่สามารถทดแทนอาร์ทีเมียได้ทั้งหมด เช่นสามารถใช้ไรน้ำกร่อย *Diaphanosoma celebensis* ที่เลี้ยงด้วย *T. gracilis* แทนที่อาร์ทีเมียได้ 100 เปอร์เซ็นต์สำหรับการอนุบาลลูกกุ้งกุลาดำระยะ PL1-PL15 (พรเทพ, 2546) แต่ บุญรัตน์ และคงศักดิ์ (2546) พบว่าการใช้ไรแดงแช่แข็งแทนที่อาร์ทีเมียแช่แข็งทั้งหมดในการอนุบาลลูกกุ้งกุลาดำระยะ PL7-PL23 ทำให้ลูกกุ้งมีอัตราการลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยทั้งสองเรื่องนี้พบว่าสภาพและคุณค่าทางโภชนาการของอาหารมีชีวิตที่แตกต่างกันอาจทำให้การแทนที่ประสบความสำเร็จที่ต่างกัน โดยการใช้ไรน้ำกร่อยแบบมีชีวิตน่าจะทำให้ลูกกุ้งสามารถจับกินได้อย่างต่อเนื่องขณะที่การใช้ไรแดงแช่แข็งอาจจมน้ำเร็ว ทำให้ลูกกุ้งจับกินได้ยาก สอดคล้องกับการทดลองของ Martín *et al.* (2006) ที่พบว่าสามารถใช้ไรแดง *Moina micrura* แบบมีชีวิตแทนที่อาร์ทีเมียวัยอ่อนได้ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ในการอนุบาลลูกกุ้ง *L. schmitti* โดยไม่กระทบต่อการเจริญเติบโต

นอกจากนี้อาจมีความแตกต่างของคุณค่าทางโภชนาการของอาหารทั้งสองชนิดนี้ เนื่องจากไรน้ำกร่อยมีการเลี้ยงด้วยแพลงก์ตอนพืชทะเลดังนั้นก็จะมี

สารอาหารในปริมาณที่มากกว่าไรแดงโดยเฉพาะกรดไขมัน HUFA ซึ่งการเสริมอาหารให้แก่ไรแดงอาจเป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยให้สามารถใช้ไรแดงแทนที่อาร์ทีเมียวัยอ่อนในการอนุบาลลูกกุ้งได้ในอัตราที่สูงขึ้น งานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้ไรแดง *M. macrocopa* ที่ผ่านการเสริมด้วยน้ำมันปลาหมักร่วมกับวิตามินอีแทนที่อาร์ทีเมียวัยอ่อนได้ 100 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามโดยไม่กระทบต่ออัตราการรอด (ธีรวัฒน์ และ จริกรณ์, 2548) นอกจากนี้การเสริมสารอาหาร เช่น กรดไขมัน HUFA ให้แก่ด้วยโรติเฟอร์และอาร์ทีเมียวัยอ่อนสำหรับการอนุบาลลูกกุ้งระยะ Z2-PL1 และ PL1-PL10 ตามลำดับ ทำให้ลูกกุ้งมีอัตราการรอดและอัตราส่วนของลูกกุ้งที่เข้าสู่ระยะ PL1 สูงกว่าการอนุบาลด้วยโรติเฟอร์และอาร์ทีเมียที่ไม่เสริมสารอาหารชนิดนี้ (Naessens *et al.*, 1995) ส่วนการทดสอบโดยใช้โคพีพอดทั้งแบบมีและไม่มีชีวิตที่ไม่เสริมสารอาหารสำหรับทดแทนที่อาร์ทีเมียวัยอ่อนในการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไมระยะ Z2-PL1 พบว่าแม้อัตราการรอดจะไม่แตกต่างกันแต่การใช้โคพีพอดทำให้อัตราส่วนของลูกกุ้งที่เข้าสู่ระยะ PL1 น้อยกว่าการใช้อาร์ทีเมียวัยอ่อนประมาณ 4 เท่า (DAbramo *et al.*, 2006)

แม้ว่าอาร์ทีเมียวัยอ่อนจะเป็นอาหารที่เหมาะสมสำหรับการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไมมากกว่าอาหารมีชีวิตชนิดอื่น อย่างไรก็ตามเกษตรกรอาจสามารถเพิ่มอัตราการรอดของลูกกุ้งได้ด้วยการเสริมกรดไขมันจำเป็น เช่น EPA และ DHA ให้แก่อาร์ทีเมียก่อนนำไปเลี้ยงลูกกุ้ง ทั้งนี้เนื่องจากอาร์ทีเมียวัยอ่อนมี EPA สะสมเพียงเล็กน้อยและไม่มี DHA (Naessens *et al.*, 1995) สอดคล้องกับ Sangha *et al.* (2000) ที่พบว่าการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไมระยะ M1-PL1 ด้วยอาร์ทีเมียวัยอ่อนที่เสริมกรดไขมัน HUFA ทำให้ลูกกุ้งมีอัตราการรอดดีกว่าการอนุบาลด้วยอาร์ทีเมียที่ไม่เสริมกรดไขมัน HUFA อย่างไรก็ตามการเสริมกรดไขมันให้แก่อาร์ทีเมียต้องคำนึงถึงสัดส่วนของ DHA และ EPA ด้วย เนื่องจากการมีกรดไขมันชนิดใดชนิดหนึ่งมากเกินไปอาจกระทบต่อการเจริญเติบโตได้ โดยอัตราส่วนของ DHA/EPA ที่เหมาะสมควรมีค่าอยู่ในช่วง 0.5-1.5 (Naessens *et al.*, 1995) และข้อควรระวังอีกประการ คือ อาร์ทีเมียสามารถใช้ประโยชน์กรดไขมันจำเป็นที่กินเข้าไป

ได้โดยตรงซึ่งอาจทำให้เหลือกรดไขมันเหล่านี้ก่อนถูกส่งผ่านไปยังลูกกุ้ง ดังนั้นจึงควรนำอาร์ทีเมียไปเลี้ยงลูกกุ้งทันทีหลังการเสริมสารอาหารนาน 24 หรือ 48 ชั่วโมง หรือเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส และการเสริมอาหารควรทำในช่วงก่อนที่อาร์ทีเมียจะเข้าสู่ระยะ Instar II (ระยะเวลา 12-24 ชั่วโมงหลังฟัก) ทั้งนี้เพื่อไม่ให้อาร์ทีเมียหลังการเสริมสารอาหารมีขนาดใหญ่เกินไป (Sorgeloos *et al.*, 1998) นอกจากการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของอาร์ทีเมียโดยการเสริมสารอาหารแล้ว อาจเลี้ยงอาร์ทีเมียด้วยแพลงก์ตอนพืชชนิด *Dunaliella salina* ก่อนนำไปเลี้ยงลูกกุ้ง เนื่องจากแพลงก์ตอนชนิดนี้มีโปรตีน ไขมันและสารสีคือเบต้าแคโรทีนที่ช่วยเพิ่มอัตราการรอดและการเจริญเติบโตของลูกกุ้งได้ (Hannah *et al.*, 2013)

จากข้อจำกัดของการใช้อาหารมีชีวิตชนิดอื่น เช่น คุณค่าทางโภชนาการที่ไม่สามารถควบคุมให้คงที่ได้ หรือความไม่สะดวกในการจัดเตรียมหรือจัดหา ทำให้มีการพัฒนาอาหารสำเร็จรูปเพื่อแทนที่อาร์ทีเมียวัยอ่อนและประสบความสำเร็จโดยเฉพาะกับการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไมระยะ PL ทั้งนี้เนื่องจากสามารถกำหนดคุณค่าทางโภชนาการได้และลูกกุ้งขาวแวนนาไมตั้งแต่ระยะ PL5 ขึ้นไปมีนิสัยกินอาหารบนพื้นทำให้ยอมรับอาหารสำเร็จรูปได้ง่ายขึ้น (Gervais and Zeigler, 2013) และมีความเป็นไปได้ของการใช้อาหารสำเร็จรูปแทนที่อาร์ทีเมียวัยอ่อนในการอนุบาลลูกกุ้งชนิดนี้ได้มากกว่า 65 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่กระทบต่อความสำเร็จของการอนุบาลในภาพรวม (Wouters, 2008) สอดคล้องกับรายงานของ Giguere (2011) ที่พบว่าสามารถใช้อาหารสำเร็จรูปแทนที่อาร์ทีเมียได้ 75 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไมจากระยะ PL5-PL10 และงานวิจัยล่าสุดยืนยันว่าอาหารสำเร็จรูปทั้งแบบแห้งและแบบเหลวที่มีการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการให้สอดคล้องกับคุณค่าทางโภชนาการของอาร์ทีเมียที่เสริมด้วยกรดไขมัน HUFA สามารถใช้แทนที่อาร์ทีเมียได้ 100 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการอนุบาลลูกกุ้งระยะโปรโตโซเอียจนถึงระยะโพสต์ลาร์วา (Gervais and Zeigler, 2013) อย่างไรก็ตามการเลือกใช้อาหารสำเร็จรูปเพื่อแทนที่อาร์ทีเมียวัยอ่อนควรคำนึงถึงขนาดของอาหารและความสามารถในการจับอาหารของ

ลูกกุ้ง ดังเช่น การอนุบาลลูกกุ้งแช่บ๊วย *Fenneropenaeus indicus* ระยะ PL1-PL11 โดยใช้อาหารสำเร็จรูปที่มีขนาดประมาณ 100-200 ไมครอน แทนที่อาร์ทีเมียในอัตรา 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ทำให้อัตราการรอดของลูกกุ้งลดลง (Hoseinifar and Zare, 2013) ซึ่งสาเหตุหนึ่งอาจเกิดจากอาหารมีขนาดเล็กทำให้ลูกกุ้งที่มีขนาดใหญ่รวบรวมอาหารได้ยากขึ้น

ปัจจุบันมีการจำหน่ายอาหารสำเร็จรูปสำหรับอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไมวัยอ่อนหลากหลายชนิดและเครื่องหมายการค้าและส่วนใหญ่มีการกำหนดโปรตีนและไขมันในระดับสูง ทั้งนี้เพื่อรับประกันว่าลูกกุ้งจะได้รับสารอาหารหลักเหล่านี้เพียงพอต่อความต้องการ โดยความต้องการสารอาหารในภาพรวมของลูกกุ้งวัยอ่อนอาจอ้างอิงค่าต่างๆ ตามคำแนะนำของ FAO (1987) เช่น อาหารควรมีระดับโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต โยอาหาร คอเลสเตอรอล แคลเซียมและฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ เท่ากับ 45-55, 12-14, 15-25, 1.0-2.0, 1.5-2.0, 2.5-3.0 และ 1.4-1.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และแม้ว่าจะอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไมในน้ำความเค็มปกติแต่ยังมีความจำเป็นที่ต้องเสริมแร่ธาตุลงไปให้อาหารเพื่อช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและอัตราการรอด (Davis and Saoud, 2004) อย่างไรก็ตามอาหารสำเร็จรูปสำหรับการอนุบาลลูกกุ้งทะเลมักมีราคาแพง ดังนั้นงานวิจัยที่มุ่งเน้นการผลิตอาหารสำหรับใช้เองในฟาร์มนับเป็นหัวข้อหนึ่งที่น่าสนใจ โดยหัวข้อการศึกษาควรครอบคลุมถึงระดับสารอาหารต่ำที่สุดที่ไม่กระทบต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอด ขนาดของอาหารที่เหมาะสมกับแต่ละช่วงอายุของลูกกุ้งและคุณลักษณะของอาหาร เช่น ความคงตัวในน้ำ

อาหารสำหรับเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมวัยรุ่นจนถึงขนาดตลาด (grow-out shrimp feed)

ความต้องการสารอาหาร

งานวิจัยด้านโภชนาการศาสตร์ของการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมวัยรุ่นจนถึงขนาดตลาดส่วนใหญ่เน้น 3 ประการ คือ การศึกษาความต้องการสารอาหาร การแทนที่ปลาป่น และการแทนที่น้ำมันปลาทะเลในสูตรอาหารด้วยวัตถุดิบอื่น ๆ โดยงานวิจัยด้านความต้องการสารอาหารนั้นค่อนข้างมีน้อยซึ่งขัดแย้งกับการเลี้ยงกุ้งชนิดนี้ที่แพร่หลาย

ไปเกือบทั่วโลก จากการรวบรวมข้อมูลโดย National Research Council (NRC) ในปี 2554 พบว่าความต้องการสารอาหารของกุ้งขาวแวนนาไมที่ศึกษาแล้วมีเพียง 12 ชนิด ได้แก่ ไลซีน กรดไขมันชนิด poly unsaturated fatty acids (PUFA), คอเลสเตอรอล แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส ซึ่งกุ้งชนิดนี้ต้องการในอัตรา 1.6, 0.25-0.50, 0.13, 0.26-0.35 และ 0.3-0.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่ความต้องการทองแดง ซีลีเนียม สังกะสี วิตามิน A, E, B₆ และ C มีค่าเท่ากับ 16-32, 0.2-0.4, 15, 1.4, 100, 80-100 และ 50-100 ppm ตามลำดับ (Kaushik, 2012) โดยสาเหตุหนึ่งอาจเนื่องจากการผลิตอาหารสำหรับกุ้งชนิดนี้ที่ผ่านมาได้อาศัยข้อมูลความต้องการสารอาหารของกุ้งทะเลอื่น ๆ เช่น กุ้งกุลาดำหรือ กุ้งครีมา *Marsupenaeus japonicus* (Akiyama *et al.*, 1992) ซึ่งมีผลให้กุ้งชนิดนี้เจริญเติบโตได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้ อาจเกิดจากกุ้งเหล่านี้เป็น omnivorous shrimp ที่มีนิสัยกินสัตว์มากกว่ากินพืช ขณะที่กุ้งขาวแวนนาไมเป็น omnivorous shrimp ที่มีนิสัยกินพืช (Perez-Velazquez and Lawrence, 2004) ดังนั้นอาหารที่ผลิตจึงน่าจะมีสารอาหารที่เกินพอสำหรับกุ้งชนิดนี้ โดยการศึกษาในระยะเวลาต่อมาทำให้ทราบว่ากุ้งชนิดนี้ต้องการโปรตีนเพียง 30-40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยกว่าความต้องการของกุ้งกุลาดำและกุ้งครีมา (Conklin, 2003) เช่นเดียวกันกับความต้องการกรดอะมิโนจำเป็น 5 ชนิด ที่มีการศึกษาแล้ว เช่น กุ้งชนิดนี้ต้องการเมไทโอนีนเท่ากับ 0.45-0.66 เปอร์เซ็นต์ ของอาหาร จากการเลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับโปรตีน 25-30 เปอร์เซ็นต์ (Fox *et al.*, 2010; 2011) ความต้องการไลซีนมีค่าเท่ากับ 1.64 เปอร์เซ็นต์ ของอาหาร จากการเลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับโปรตีน 40 เปอร์เซ็นต์ (Xie *et al.*, 2012) ความต้องการอาร์จินีนมีค่าเท่ากับ 1.96 เปอร์เซ็นต์ ของอาหาร จากการเลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับโปรตีน 41 เปอร์เซ็นต์ (Zhou *et al.*, 2012) ความต้องการทรีโอนีนมีค่าเท่ากับ 1.18 เปอร์เซ็นต์ ของอาหาร จากการเลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับโปรตีน 43 เปอร์เซ็นต์ (Zhou *et al.*, 2013) และความต้องการลิซีนมีค่าเท่ากับ 2.37 เปอร์เซ็นต์ ของอาหาร จากการเลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับโปรตีน 41 เปอร์เซ็นต์ (Liu *et al.*, 2014)

แต่หากคิดที่ระดับโปรตีนในอาหารเท่ากับ 25, 30 และ 35 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าที่นิยมสำหรับการผลิตอาหารกุ้งชนิดนี้ ความต้องการไลซีนอาจมีค่าเท่ากับ 2.62, 2.19 และ 1.87 เปอร์เซ็นต์ ของอาหาร ความต้องการอาร์จินีนอาจมีค่าเท่ากับ 3.21, 2.68 และ 2.30 เปอร์เซ็นต์ ของอาหาร ความต้องการทรีโอนีนอาจมีค่าเท่ากับ 2.03, 1.69 และ 1.45 เปอร์เซ็นต์ ของอาหาร และความต้องการลิซีนอาจมีค่าเท่ากับ 3.89, 3.24 และ 2.78 เปอร์เซ็นต์ ของอาหาร ตามลำดับ ทั้งนี้ค่าดังกล่าวประเมินจากจากเปอร์เซ็นต์ความต้องการกรดอะมิโนและระดับโปรตีนในอาหาร ตามสูตรดังนี้ [(โปรตีนในอาหารจากการทดลอง / ระดับโปรตีนที่ต้องการ) X เปอร์เซ็นต์ความต้องการกรดอะมิโนจากการทดลอง] เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการทดลองของความ ต้องการกรดอะมิโนจำเป็น 5 ชนิดนี้ที่ระดับโปรตีนในอาหาร 35 เปอร์เซ็นต์ กับค่าที่แนะนำโดย Akiyama *et al.* (1992) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นแม้จะยังไม่มีข้อมูลการวิจัยเพิ่มเติมแต่ความต้องการกรดอะมิโนจำเป็นอีก 5 ชนิดที่เหลือ คือ ไอโซลิซีน ฟีนิลอะลานีน ฮีสติดีน วาลีนและทรีปโตเฟน น่าจะสามารถอ้างอิงหรือประมาณการได้จากค่าที่แนะนำโดย Akiyama *et al.* (1992)

ส่วนความต้องการไขมันของกุ้งขาวแวนนาไม และกุ้งทะเลชนิดอื่น ๆ นั้นนักวิจัยส่วนใหญ่แนะนำว่าควรมีค่าประมาณ 6-8 เปอร์เซ็นต์ และไม่ควรเกิน 10 เปอร์เซ็นต์ (Perez-Velazquez and Lawrence, 2004; Smith, 2006) และแม้ว่ายังไม่มีการศึกษาความต้องการกรดไขมันจำเป็นแต่ละชนิดแต่อาจใช้ค่าจากการประมาณการของ Perez-Velazquez and Lawrence (2004) ได้ รายงานว่าอาหารควรมีกรดไขมันชนิด Linoleic acid (LOA, 18 : 2n-6), Linolenic acid (LNA, 18 : 3n-3), Arachidonic acid (ARA, 20 : 4n-6) และ ผลรวมของ EPA และ DHA ประมาณ 0.1, 0.1, 0.2 และ 0.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งทำให้ความต้องการกรดไขมันจำเป็นเหล่านี้มีความรวมกันเท่ากับ 0.8 เปอร์เซ็นต์ ใกล้เคียงกับคำแนะนำของ Akiyama *et al.* (1992) ที่ระบุว่าอาหารกุ้งทะเลควรมีกรดไขมันเหล่านี้ประมาณ 0.5-1.0 เปอร์เซ็นต์ และยังใกล้เคียงกับผลการทดลองของ González-Félix *et al.* (2002) ที่พบว่าระดับ DHA ในอาหารไม่ควรเกิน 0.25 เปอร์เซ็นต์ หรือหากคิดเป็นผลรวม

ของ EPA และ DHA ก็ไม่ควรเกิน 0.25 เปอร์เซ็นต์เช่นกัน ทั้งนี้หากระดับกรดไขมันเหล่านี้สูงเกินไปอาจกระทบต่อการเจริญเติบโตของกุ้งได้ (Smith, 2006) อย่างไรก็ตาม การเสริมกรดไขมันจำเป็นเหล่านี้ให้สูงกว่าระดับความต้องการปกติอาจมีความจำเป็นหากเลี้ยงกุ้งในน้ำที่มีความเค็มสูง เช่น 30 ppt ขึ้นไป (Hurtado et al., 2006)

นอกจากไขมันและกรดไขมันแล้วกุ้งทะเลยังมีความต้องการฟอสโฟไลปิดและคอเลสเตอรอลซึ่งสารอาหารทั้งสองชนิดนี้มักมีการศึกษาควบคู่กัน มีรายงานว่าอาหารสำหรับกุ้งชนิดนี้ควรมีฟอสโฟไลปิดประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ หากมีคอเลสเตอรอลประมาณ 0.4 เปอร์เซ็นต์ (Gong et al., 2001) สอดคล้องกับคำแนะนำของ Smith (2006) ที่กล่าวว่าอาหารสำหรับกุ้งขาวแวนนาไมควรมีฟอสโฟไลปิดประมาณ 3-5 เปอร์เซ็นต์ แต่ความต้องการฟอสโฟไลปิดจะสูงขึ้นหากอาหารมีคอเลสเตอรอลต่ำกว่าค่านี้ เช่น อาหารควรมีฟอสโฟไลปิดเท่ากับ 0, 1.5, 3.0 และ 5.0 เปอร์เซ็นต์ หากอาหารมีคอเลสเตอรอลเท่ากับ 0.35, 0.14, 0.13 และ 0.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการเพิ่มฟอสโฟไลปิดและคอเลสเตอรอลในอาหารมากกว่าความต้องการไม่ได้ช่วยให้การเจริญเติบโตและอัตราการรอดของกุ้งมีค่าที่ดีขึ้นหากเลี้ยงในระบบความเค็มต่ำที่มีโปแตสเซียม แมกนีเซียมและโซเดียมต่ำ (Roy et al., 2006) โดยทั่วไปกุ้งชนิดนี้เจริญเติบโตดีแม้ว่าจะเลี้ยงในระบบความเค็มต่ำเมื่อเลี้ยงด้วยอาหารที่ไม่มีแคลเซียมเลยแต่อาหารต้องมีฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ไม่ต่ำกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ (Cheng et al., 2006) ทั้งนี้กุ้งน่าจะได้รับแคลเซียมจากน้ำในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการ อย่างไรก็ตามอาหารกุ้งโดยทั่วไปมักมีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบเนื่องจากการผลิตอาหารที่ใช้วัตถุดิบธรรมชาติ แต่ควรมีการควบคุมไม่ให้แคลเซียมในอาหารมีค่าเกิน 1 เปอร์เซ็นต์ และฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์

ในส่วนของสารสีสำหรับการผลิตอาหารกุ้งขาวแวนนาไมเชิงพาณิชย์ส่วนใหญ่นิยมแอสต้าแซนทินหรือแคนธักแซนทินสังเคราะห์ โดย Ponce-Palafox et al. (2006) แนะนำว่าแอสต้าแซนทินหรือแคนธักแซนทินที่มีอยู่และได้จากการเปลี่ยนรูปจากสารสีอื่น ๆ ในอาหารควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 10 ppm และจากการศึกษาของ Zhang et

al. (2013) พบว่าแอสต้าแซนทินในอาหารเท่ากับ 50 ppm มีผลให้กุ้งขาวแวนนาไมเจริญเติบโตและมีการสะสมแอสต้าแซนทินในเปลือกไม่ต่างจากระดับแอสต้าแซนทินที่สูงกว่านี้ แต่หากต้องการให้กุ้งมีความต้านทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น ภาวะออกซิเจนที่ละลายน้ำต่ำนั้นระดับแอสต้าแซนทินในอาหารไม่ควรต่ำกว่า 75 ppm นอกจากนี้อาจใช้แหล่งวัตถุดิบธรรมชาติที่เป็นแหล่งของแอสต้าแซนทินโดยตรงหรือแหล่งสารสีชนิดอื่น ๆ สำหรับการผลิตอาหารกุ้งชนิดนี้ได้ เช่น เบต้าแคโรทีน ลูทีน ซีแซนทิน และคริปโตแซนทิน เนื่องจากกุ้งสามารถเปลี่ยนสารสีเหล่านี้ให้เป็นแอสต้าแซนทินได้ตัวอย่างแหล่งของแอสต้าแซนทินโดยตรง ได้แก่ ดอกดาวกระจาย (*Adonis aestivalis*) ยีสต์แดง (*Phaffia rhodozyma*) และเคยป่น (Krill meal) แหล่งแอสต้าแซนทินและแคนธักแซนทิน ได้แก่ แพลงก์ตอนพืช *Haematococcus pluvialis* แหล่งของซีแซนทินและลูทีน ได้แก่ ดอกดาวเรือง (*Tagetes erecta*) และแพลงก์ตอนพืช *Dunaliella salina* และ *Spirulina* spp. และแหล่งของแคปแซนทินและซีแซนทิน ได้แก่ พริกหยวกแดง *Capsicum annuum* (Ponce-Palafox et al., 2006) สำหรับอัตราการใช้แหล่งสารสีธรรมชาติบางชนิดสำหรับการผลิตอาหารกุ้งขาวแวนนาไมและกุ้งกุลาดำที่มีการศึกษาแล้ว เช่น สารสกัดจาก *H. pluvialis* อัตราเท่ากับ 75-100 ppm (Ju et al., 2011) สารสกัดดอกดาวเรืองอัตราเท่ากับ 50-350 ppm (Arredondo-Figueroa et al., 1999) สารสกัดจากพริกหยวกแดงอัตราเท่ากับ 200-250 ppm (Arredondo-Figueroa et al., 2004) *D. salina* อัตราเท่ากับ 125 ppm (Boonyaratpalin et al., 2001) และยีสต์แดง *P. rhodozyma* อัตราเท่ากับ 40 ppm (นันทวิทย์ และคณะ, 2546) นอกจากนี้แหล่งสารสีธรรมชาติที่น่าสนใจอีกชนิดคือสารสกัดจากถั่วอัลฟัลฟาซึ่งเป็นวัตถุดิบที่หาซื้อได้สะดวกและยังเป็นแหล่งโปรตีนได้โดยอัตราการใช้ที่เหมาะสมสำหรับอาหารกุ้งขาวแวนนาไมคือ 4-8 เปอร์เซ็นต์ (Lucien-Brun and Vidal, 2006)

แม้ว่าการศึกษาความต้องการวิตามินและแร่ธาตุของกุ้งชนิดนี้จะมีน้อยแต่อาจใช้ค่าที่แนะนำโดย Smith (2006) ได้กล่าวคืออาหารควรวิตามิน B₁, B₂, B₃,

B₅, B₆, B₁₂, Biotin, Folic acid, Inositol, Choline (ถ้าไม่มีฟอสโฟลิปิด) C, D, E และ K (menadione) ในอัตรา 60, 25, 40, 75, 72-89, 9.2, 1, 2, 3, 400, 871, 200, 0.1, 85-89 และ 185 ppm ตามลำดับ และวิตามิน A อัตรา 8,400 IU/Kg อาหาร ส่วนแร่ธาตุ เช่น Cu, Zn และ Se ควรมีค่าประมาณ 16-32, 15 และ 0.2-0.4 ppm ตามลำดับ นอกจากนี้ชนิดและปริมาณของวิตามินและแร่ธาตุในสูตรอาหารสำหรับกุ้งขาวแวนนาไม่อาจอ้างอิงได้จากงานวิจัยต่าง ๆ โดยเฉพาะงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติซึ่งมักเป็นค่าที่ถูกแนะนำหรืออ้างอิงตามนักวิจัยที่เชี่ยวชาญด้านกุ้งทะเลหรือด้านอาหาร เช่น งานวิจัยของ Forster *et al.* (2003), Samocha *et al.* (2004), Roy *et al.* (2006) และ Suárez *et al.* (2009) นอกจากสารอาหารหลักทั้ง 5 ชนิด แล้วสารอาหารอีกชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของกุ้งคือไคตินซึ่งเป็นองค์ประกอบของเปลือก แม้ไม่มีข้อมูลที่แน่ชัดว่ากุ้งต้องการไคตินโดยตรงจากอาหารหรือไม่ แต่การผลิตอาหารส่วนใหญ่มักมีการใช้วัตถุดิบที่เป็นแหล่งไคติน เช่น เปลือกกุ้งหรือเปลือกปู ซึ่งอาหารกุ้งควรมีไคตินอย่างน้อย 0.5 เปอร์เซ็นต์ (Akiyama *et al.*, 1992) นอกจากนี้อาจเสริมไคโตซานลงในอาหารระหว่างการเลี้ยงกุ้งได้โดยการเสริมไคโตซานในอัตรา 400 ppm ทำให้กุ้งมีการเจริญเติบโต อัตรารอดและมีสุขภาพดีขึ้น (ปิยะบุตร และคณะ, 2544)

การแทนที่ปลาปนด้วยแหล่งโปรตีนชนิดอื่น

การแทนที่ปลาปนด้วยแหล่งโปรตีนชนิดอื่นสำหรับการผลิตอาหารกุ้งขาวแวนนาไม่นับเป็นหัวข้อที่มีการศึกษากันมากนักเนื่องจากราคาปลาปนมีแนวโน้มสูงขึ้นตามผลผลิตปลาปนที่ลดลง แม้ว่ามีการวิจัยการแทนที่ปลาปนด้วยแหล่งโปรตีนอื่น ๆ หลายชนิดแต่วัตถุดิบบางชนิดไม่มีความเหมาะสมสำหรับการผลิตอาหารเชิงพาณิชย์เนื่องจากไม่สะดวกในการจัดหาทั้งปริมาณและระยะเวลา ดังนั้นเพื่อเป็นประโยชน์สำหรับการผลิตอาหารกุ้งขาวแวนนาไม่เชิงพาณิชย์รายงานนี้จึงนำเสนอเฉพาะงานวิจัยที่ทดสอบโดยใช้วัตถุดิบที่สามารถจัดหาได้สะดวกเท่านั้น โดยผลการแทนที่ปลาปนด้วยวัตถุดิบต่าง ๆ ในสูตรอาหารกุ้งขาวแวนนาไม่ที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโต อัตรารอดและอัตราแลกเนื้อ แสดงในตาราง

ที่ 1 อย่างไรก็ตามความสำเร็จในการแทนที่ปลาปนอาจขึ้นอยู่กับสภาพการทดลอง ขนาดของกุ้งทดลอง รูปแบบการแทนที่ ระดับโปรตีนในอาหาร ชนิดปลาปน ระดับปลาปนที่ใช้ ความสมดุลของสารอาหารและผลกระทบอื่นๆ ที่เกิดจากการแทนที่ โดยมีความเป็นไปได้ของการใช้แหล่งโปรตีนอื่น ๆ แทนที่ปลาปนได้ทั้งหมดหากสูตรอาหารมีระดับปลาปนต่ำ เช่น สามารถแทนที่ปลาปนด้วยวัตถุดิบผสมระหว่างไก่ป่นและเลือดป่นหรือไก่ป่นอย่างเดียวได้ 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อสูตรควบคุมมีการใช้ปลาปน 8 เปอร์เซ็นต์ (Tacon *et al.*, 2010) หรือกรณีการแทนที่ปลาปนด้วยวัตถุดิบผสมระหว่างกากถั่วเหลืองและกากคาโนล่าได้ 75 เปอร์เซ็นต์ เมื่อสูตรควบคุมมีการใช้ปลาปน 15 เปอร์เซ็นต์ (Suárez *et al.*, 2009) นอกจากนี้ระบบการทดลองที่มีอาหารธรรมชาติเข้ามาเกี่ยวข้องอาจมีส่วนทำให้การแทนที่ปลาปนประสบความสำเร็จ เช่น การทดลองในบ่อระบบน้ำหมุนเวียนกลางแจ้ง (Roy and Davis, 2009) หรือการทดลองในบ่อดิน (Amaya *et al.*, 2006)

แม้ว่าการแทนที่ปลาปนด้วยแหล่งโปรตีนบางชนิดในสูตรอาหารสำหรับกุ้งขาวแวนนาไม่จะประสบความสำเร็จเป็นอย่างดีแต่การผลิตอาหารกุ้งขาวแวนนาไม่เชิงพาณิชย์ยังคงใช้ปลาปนในสูตรอาหารอยู่ ทั้งนี้เนื่องจากปลาปนมีโปรตีนสูง ไขมันสูงและมีกรดอะมิโนจำเป็นที่สมดุลกับชนิดและปริมาณที่พบในสัตว์น้ำ ดังนั้นปลาปนจึงมีประโยชน์ในแง่การปรับสมดุลของกรดอะมิโนจำเป็นในสูตรอาหารให้สมดุลกับความต้องการของกุ้งชนิดนี้ รวมทั้งยังเป็นสารดึงดูดการกินอาหารที่ดีอีกด้วย (NRC, 1993) แต่ด้วยแรงกดดันเกี่ยวกับราคาปลาปนและข้อกังวลต่าง ๆ ทำให้มีการคาดการณ์ว่าระดับปลาปนเฉลี่ยในสูตรอาหารสำหรับกุ้งทะเลจะลดลงจาก 12 เปอร์เซ็นต์ ในปี พ.ศ. 2553 เหลือเพียง 8 และ 5 เปอร์เซ็นต์ ภายในปี พ.ศ. 2558 และ 2563 ตามลำดับ (Tacon and Metain, 2008) ส่วนแหล่งโปรตีนสำหรับการแทนที่ปลาปนในสูตรอาหารกุ้งทะเลรวมทั้งกุ้งขาวแวนนาไม่นั้นควรเป็นแหล่งโปรตีนที่ไม่มีสารต้านโภชนาการ (Francis *et al.*, 2001) เช่น โปรตีนจากสัตว์ได้แก่ ไก่ป่น ขนไก่ป่นและเนื้อป่น โดย Tacon *et al.* (2012) แนะนำว่าระดับการใช้แหล่งโปรตีนเหล่านี้ในสูตรอาหารสำหรับกุ้งทะเลควรมีค่าไม่เกิน 10-30, 1-10 และ 10-30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Table 1 Achievements of fishmeal replacement with alternative protein sources without adverse impacts on growth, survival and feed conversion of the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931)

Size (g.)	Experimental Condition	Dietary Protein/ Control	Ingredient/ % Replacement	Reference
0.37	Laboratory, 42 days	32%/ Menhaden FM 30%	Co-extruded soybean/poultry by-product meal, or flashed dried poultry meal / 80% of FM protein	Davis and Arnold (2000)
0.8	Laboratory, 100 ind. m ⁻² , Feeding 8 times a day, 56 days	36%/ Norwegian FM 24.5%	Meat and bone meal/ 25% of FM protein	Forster <i>et al.</i> (2003)
1.13	Shaded outdoor tank, 30 ind. m ⁻² , Feeding 4 times a days, 42 days	32%/ Menhaden FM 30%	Co-extruded soybean/poultry by-product meal supplemented with egg powder/ 100% of FM protein	Samocha <i>et al.</i> (2004)
1.7	Fiberglass tank, 1.3 ind. L ⁻¹ , Feeding 3 times a day, 52 days	40%/ White FM 22%	Meat and bone meal/ 60% of dietary FM or poultry by-product meal/ 80% of dietary FM	Zhu <i>et al.</i> (2004)
0.88	Fiberglass tank, 6.5 ind. L ⁻¹ , Feeding 3 times a day, 56 days	41%/ Anchovy FM 40%	Meat and bone meal/ 60% of dietary FM	Tan <i>et al.</i> (2005)
0.031	Earthen pond, 35 ind. m ⁻² Feeding 2 times a day, 126 days	36%/ FM 9%	Soybean meal + wheat gluten/ 100% of FM protein	Amaya <i>et al.</i> (2006)
0.45	Outdoor tank with recirculating system, 33.4 ind. m ⁻³ , Feeding 2 times a day, 63 days	36%/ Menhaden FM 10.1%	Poultry by-product meal/ 100% of dietary FM protein	Roy and Davis (2009)
-	Fiberglass tank, 6.5 ind. L ⁻¹ , Feeding 3, times a day, 60 days	39%/ Anchovy FM 30%	Poultry by-product meal/ 70% of FM protein	Shuyan <i>et al.</i> (2009)
0.3	Fiberglass tank, 2 ind. L ⁻¹ , Feeding 5 times a day, 95 days	39%/ Peruvian FM 15%	Soybean meal + canola meal/ 75% of dietary protein	Suárez <i>et al.</i> (2009)
2.7	Fiberglass tank, 75 ind. m ⁻³ Feeding 8 times a day, 70 days	34%/ Peruvian FM 8%	Poultry by-product meal+ blood meal, or only poultry by-product meal/ 100% of FM protein	Tacon <i>et al.</i> (2010)

Table 1 (continued)

Size (g.)	Experimental Condition	Dietary Protein/ Control	Ingredient/ % Replacement	Reference
0.8	Laboratory, Feeding 4 times a day, 56 days	44%/ FM 30%	Cottonseed meal/ 24% of dietary FM	Wang (2010)
0.62	Laboratory, Feeding 4 times a day, 56 days	42%/ FM 30%	Canola meal/ 24% of dietary FM	
0.66	Laboratory, Feeding 4 times a day, 56 days	43%/ FM 30%	Cottonseed meal+ canola meal (1:1) supplemented with methionine and lysine/ 30% of dietary FM	
3.37	Fiberglass tank with recirculating system, 4.3 ind. L ⁻¹ , Feeding 3 times a day, 42 days	41%/ China FM 30%	Peanut meal/ 30% of FM protein	Liu <i>et al.</i> (2012)

การแทนที่น้ำมันจากปลาทะเล

โดยทั่วไปสูตรอาหารสำหรับกุ้งขาวแวนนาไมมักมีส่วนประกอบของปลาป่น 20 เปอร์เซ็นต์ และน้ำมันปลาทะเลประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ แต่เนื่องจากน้ำมันปลาทะเลมีราคาสูงจึงมีความพยายามในการลดการใช้ไขมันชนิดนี้ เช่นเดียวกันกับปลาป่น (Tacon and Metian, 2008) โดยมีความเป็นไปได้ของการแทนที่น้ำมันปลาทะเลด้วยแหล่งไขมันชนิดอื่น ๆ ได้ในอัตราสูงหรือทั้งหมดหากอาหารยังคงมีกรดไขมันจำเป็น เช่น ARA EPA และ DHA ที่เพียงพอต่อความต้องการของกุ้งชนิดนี้ (González-Félix *et al.*, 2009) ดังเช่นกรณี

ของการแทนที่น้ำมันปลาทะเลด้วยน้ำมันถั่วเหลืองในสูตรอาหารสำหรับกุ้งขาวแวนนาไมได้ 90 เปอร์เซ็นต์ (เหลือน้ำมันปลาทะเลในสูตรอาหาร 0.46 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งมีผลให้อาหารมี ARA EPA และ DHA ประมาณ 0.01, 0.15 และ 0.09 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (da Silva, 2013) เมื่อพิจารณาผลรวมของ EPA และ DHA ของการทดลองนี้มีค่าไม่เกิน 0.25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับ González-Félix *et al.* (2002) ที่ระบุว่า

ระดับ DHA ในอาหารสำหรับกุ้งชนิดนี้ไม่ควรเกิน 0.25 เปอร์เซ็นต์ หรือหากคิดเป็นผลรวมของ EPA และ DHA ก็ไม่ควรเกิน 0.25 เปอร์เซ็นต์เช่นกัน ส่วนการแทนที่น้ำมันปลาทะเลด้วยกากจากการสกัดน้ำมันปลาทะเลให้บริสุทธิ์ หรือเรียกว่า stearine สามารถทำได้ อาจทำได้ 100 เปอร์เซ็นต์ (Ju *et al.*, 2012; da Silva, 2013) ทั้งนี้เนื่องจากวัตถุดิบชนิดนี้มีชนิดกรดไขมันจำเป็นที่เหมือนกัน ส่วนอิทธิพลของความเค็มต่อความสำเร็จของการแทนที่น้ำมันปลาทะเลด้วยแหล่งไขมันชนิดอื่นนั้นพบว่าเมื่อความเค็มของน้ำที่เลี้ยงลดต่ำลงหรือเพิ่มสูงขึ้น ทำให้มีแนวโน้มที่กุ้งขาวแวนนาไมจะต้องการกรดไขมันชนิด LNA เพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีผลให้สามารถแทนที่น้ำมันปลาทะเลด้วยแหล่งไขมันที่มี LNA ในปริมาณสูง เช่น น้ำมัน flaxseed ได้ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ (da Silva, 2013) แม้ว่าสาเหตุที่กุ้งชนิดนี้ต้องการกรดไขมันชนิด LNA เพิ่มขึ้นหากเลี้ยงในสภาพน้ำความเค็มลดลงหรือสูงขึ้นไม่ทราบแน่ชัดแต่อาจเกี่ยวข้องกับการรักษาสมดุลน้ำและแร่ธาตุในร่างกาย (osmoregulation) นอกจากนี้ยังมีความพยายามในการหาแหล่งกรดไขมันจำเป็นเพื่อทดแทน

น้ำมันปลาทะเลซึ่งพบว่ามีสาหร่ายทะเล 2 สกุล ที่มีศักยภาพคือ *Schizochytrium* spp. และ *Mortierella* spp. ซึ่งเป็นแหล่ง DHA และ EPA ตามลำดับ จากการศึกษาของ Patnaik *et al.* (2006) พบว่าสามารถแทนที่น้ำมันปลาทะเลในสูตรอาหารกุ้งชนิดนี้ได้ 100 เปอร์เซ็นต์เปอร์เซ็นต์ (ที่อัตราการใช้ประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์) โดยใช้ *Schizochytrium* sp. และ *Mortierella alpina* อัตรา 0.5 และ 0.13 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

สรุป

สามารถใช้ *Schizochytrium* spp. หรืออาหารสำเร็จรูปที่มีกรดไขมันกลุ่ม HUFA แทนที่ *Chaetoceros* spp. ได้บางส่วนสำหรับการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไมจากระยะโปรโตโซเอียถึงระยะไมซีล และการใช้ร่วมกันระหว่าง *Chaetoceros* spp. กับอาหารเหล่านี้ทำให้ลูกกุ้งมีอัตราการรอดดีกว่าการใช้ *Chaetoceros* spp. เพียงอย่างเดียว สำหรับการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไมจากระยะไมซีลถึงระยะโพสต์ลาร์วาก็สามารถใช้โคฟีพอด โรติเฟอร์ ไรน้ำกร่อยและไรแดงแทนที่อาร์ทีเมียวัยอ่อนได้บางส่วนเช่นกัน อย่างไรก็ตามอาจแทนที่อาร์ทีเมียด้วยอาหารมีชีวิตเหล่านี้ได้ทั้งหมดหากมีการเสริมกรดไขมันกลุ่ม HUFA และกำหนดอัตราส่วนของ DHA/EPA ให้มีค่าอยู่ในช่วง 0.5-1.5 นอกจากนี้สามารถแทนที่อาร์ทีเมียวัยอ่อนด้วยอาหารสำเร็จรูปได้ทั้งหมดหากอาหารสำเร็จรูปมีคุณค่าทางโภชนาการที่ใกล้เคียงกับอาร์ทีเมียที่เสริมด้วยกรดไขมัน HUFA แม้ว่าการศึกษาด้านโภชนาการสำหรับการเลี้ยงกุ้งให้ได้ขนาดตลาดยังมีไม่มากแต่พอที่จะสรุปความต้องการสารอาหารสำคัญได้ดังนี้ คือ ความต้องการโปรตีน ไขมัน กรดไขมันจำเป็นรวม (LOA, LNA, ARA, EPA และ DHA) ผลรวมของ EPA และ DHA เลซิติน คอเลสเทอรอล ไคตินและแอสด้าแซนทิน มีค่าเท่ากับ 30-40%, 6-8%, 0.8%, 0.25%, 3.0%, 0.4%, 0.5% และ 50 ppm ตามลำดับ การแทนที่ปลาป่นด้วยแหล่งโปรตีนชนิดอื่นสำหรับการผลิตอาหารเพื่อเลี้ยงกุ้งวัยรุ่นจนถึงขนาดตลาดเป็นหัวข้อที่มีการศึกษากันมากโดยมีแนวโน้มที่จะสามารถแทนที่ปลาป่นได้ทั้งหมดหากสูตรอาหารมีการใช้ปลาป่นน้อย เช่น 8-15 เปอร์เซ็นต์ หรือมีอาหารธรรมชาติ

เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น การเลี้ยงในบ่อดินหรือบ่อกลางแจ้ง ส่วนการแทนที่น้ำมันปลาทะเลด้วยแหล่งไขมันอื่น ๆ สามารถทำได้ในอัตราสูงหรือทั้งหมดหากอาหารยังคงมีกรดไขมันจำเป็น เช่น ARA EPA และ DHA ที่เพียงพอต่อความต้องการของกุ้งชนิดนี้ และสามารถใช้ *Schizochytrium* spp. และ *Mortierella* spp. ซึ่งเป็นแหล่ง DHA และ ARA ตามลำดับเพื่อลดการใช้ น้ำมันปลาทะเลได้

เอกสารอ้างอิง

- เกตุณภัต ศรีไพโรจน์ รุ่งกานต์ กล้าหาญ พงศ์นรินทร์ เมฆขุนทด และ ทองอยู่ อุดเลิศ. 2556. การเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตของสายพันธุ์ปลานิลที่เลี้ยงในจังหวัดพะเยา. วารสารเกษตร 29(2): 137-144.
- กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง. 2546. สถานการณ์การเพาะเลี้ยงกุ้งขาวในประเทศไทย. กรมประมง, กรุงเทพฯ.
- ชลอ ลิ้มสุวรรณ และ พรเลิศ จันทรรักษ์กุล. 2547. อุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงกุ้งในประเทศไทย. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ. 206 หน้า.
- ทรงทรัพย์ อรุณมกล นนทวิทย์ อารีย์ชน วิเชียร ยงมานิตยชัย สวัสดิ์ ลิ้มทอง และ เดือนรัตน์ ชลอุดมกุล. 2551. การใช้ *Schizochytrium limacinum* ในการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei* Boone) และผลที่มีต่อความทนทานต่อความเครียดและความต้านทานโรค. หน้า 138-146. ใน: เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2551. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ธีรวัฒน์ สัมภามานะ และ จริภรณ์ มีศรี. 2548. การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามด้วยไรแดงเสริมสารอาหารและอาร์ทีเมีย. เอกสารวิชาการฉบับที่ 36/2548. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดสุราษฎร์ธานี, กรมประมง. 17 หน้า.

- นนทวิทย์ อารีย์ชน ดวงใจ กิตติปรีชากุล และ ชุมพล ศรีทอง. 2546. การใช้แอสตาแซนทินจากยีสต์ *Phaffia rhodozyma* กับกุ้งกุลาดำ *Penaeus monodon* Fabricius. หน้า 137-145. ใน: เรื่องเติมการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2546. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- บุญรัตน์ ประทุมชาติ และ คงศักดิ์ เรืองบุญส่ง. 2546. การอนุบาลกุ้งกุลาดำโพลลวาดด้วยอาร์ทีเมียแช่แข็ง ไรแดงแช่แข็ง อาร์ทีเมียเฟลก และอาหารสำเร็จรูป. หน้า 187-194. ใน: เรื่องเติมการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2546. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์ นบชนก ธนพงศธร และ สุวลี จันทรกระจ่าง. 2544. การใช้โคติน-โคโดซานเป็นสารเร่งการเจริญเติบโตในกุ้งกุลาดำ. หน้า 30-37. ใน: รายงานการประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2544. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ประจวบ หล้าอุบล. 2543. อดีต-อนาคตกุ้งไทย. หน้า 1-66. ใน: เสวนาวิชาการเรื่องกุ้ง. 2543. คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- พัชรี ชุ่นสั้น จุอะดี พงศ์มณีรัตน์ จำเริญศรี พวงแก้ว และ ไพบุญย์ บุญลิปตานนท์. 2553. ผลการเสริม *Schizochytrium limacinum* (D. Honda & Yokochi, 1998) ในอาหารต่อการเจริญเติบโต อัตราการอดตาย และความทนทานของกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931) ระยะวัยอ่อน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 6/2553. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งกระบี่, กรมประมง. 23 หน้า.
- พรเทพ วิรัชวงศ์. 2546. การใช้ไรน้ำกร่อย (*Diaphanosoma celebensis* Stingelin) อนุบาลลูกกุ้งกุลาดำระยะโพลล์ลาร์วา. หน้า 3-9. ใน: เรื่องเติมการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2546. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- วิทยา รัตน์ะ. 2549. ผลของความเค็มต่ำและองค์ประกอบของธาตุในน้ำที่มีต่อการเจริญเติบโตและอัตราการอดตายของกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei* Boone). วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 82 หน้า.
- หน่วยวิจัยเพื่อความเป็นเลิศเทคโนโลยีชีวภาพกุ้ง. 2547. โครงการประเมินผลกระทบการนำเข้ากุ้งขาว (*Penaeus vannamei*) เข้าประเทศไทย (รายงานฉบับสมบูรณ์). คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหิดล. 294 หน้า.
- Akiyama, D. M., W. G. Dominy and A. L. Lawrence. 1992. Penaeid shrimp nutrition. pp. 535-565. In: E. W. Fast and L. J. Lester (eds). Marine Shrimp Culture: Principles and Practices. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Netherlands.
- Amaya, E. A., D. A. Davis and D. B. Rouse. 2006. Replacement of fish meal in practical diets for the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) reared under pond conditions. Aquaculture 262-264: 393-401.
- Arredondo-Figueroa, J. L., E. J. Vernon-Carter and J. T. Ponce-Palafox. 1999. Dose response to unesterified Aztec marigold (*Tagetes erecta*) pigments of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) fed various dietary concentrations of carotenoids. Crustacean Issues 12: 481-487.
- Arredondo-Figueroa, J. L., R. Pedroza-Islas, J. T. Ponce-Palafox and E. J. Vernon-Carter. 2004. Pigmentation of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*, BOONE1931) with esterified and saponified carotenoids from red chile (*Capsicum annum*) in comparison to astaxanthin. Revista Mexicana de Ingeniería Química 2: 101-108.

- Boonyaratpalin, M., S. Thongrod, K. Supamattaya, G. Britton and L. E. Schlipalius. 2001. Effects of b-carotene source, *Dunaliella salina*, and astaxanthin on pigmentation, growth, survival and health of *Penaeus monodon*. *Aquaculture Research* 32(1): 182-190.
- Briggs, M., S. Funge-Smith, R. Subasinghe and M. Phillips. 2004. Introductions and movement of *Penaeus vannamei* and *Penaeus stylirostris* in Asia and the Pacific. RAP Publication 2004/10. Regional office for Asia and the Pacific, FAO, Bangkok. 79 p.
- Cheng, K. -M., C. -Q. Hu, Y. -N. Liu, S. -X. Zheng and X. -J. Qi. 2006. Effects of dietary calcium, phosphorus and calcium/phosphorus ratio on the growth and tissue mineralization of *Litopenaeus vannamei* reared in low-salinity water. *Aquaculture* 251: 472-483.
- Conklin, D. E. 2003. Use of soybean meal in the diets of marine shrimp. Technical review paper. American Soybean Asssoiciation (ASA), St. Louis, Missouri, USA. 16 p.
- DAbramo, L. R., E. I. Perez, R. Sangha and A. Puello-Cruz. 2006. Successful culture of larvae of *Litopenaeus vannamei* fed a microbound formulated diet exclusively from either stage PZ2 or M1 to PL1. *Aquaculture* 261: 1356-1362.
- da Silva, F. S. D. 2013. Development and application of non marine ingredients based diets for Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*: Examining the suitability of alternative lipid sources. Dissertation. Auburn University, Alabama, USA. 144 p.
- Davis, D. A. and C. R. Arnold. 2000. Replacement of fishmeal in practical diets for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 185(3-4): 291-298.
- Davis, D. A. and I. P. Saoud. 2004. Nutritional considerations for Pacific white shrimp reared in inland, low-salinity waters. *Global Aquaculture Advocate* June: 43-44.
- FAO. 1987. The nutrition and feeding of farmed fish and shrimp - a training manual. Fisheries and Aquaculture Department, Rome, Italy.
- FAO. 2013. Report of the FAO/MARD technical workshop on early mortality syndrome (EMS) or acute hepato pancreatic necrosis syndrome (AHPNS) of cultured Shrimp (under TCP/VIE/3304). Report No. 1053. Fisheries and Aquaculture Rome, Italy. 65 p.
- Focken, U., C. Schlechtriem, M. von Wuthenau, A. García-Ortega, A. Puello-Cruz and K. Becker. 2006. *Panagrellus redivivus* mass produced on solid media as live food for *Litopenaeus vannamei* larvae. *Aquaculture Research* 37: 1429-1436.
- Forster, I. P., W. G. Dominy, L. Obaldo and A. G. J. Tacon. 2003. Rendered meat and bone meals as ingredients of diets for shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). *Aquaculture* 219: 655-670.
- Fox, J. M., A. L. Lawrence, I. P. Forster and W. G. Dominy. 2010. Methionine requirements estimated for white shrimp. *Global Aquaculture Advocate* May/April: 29-30.
- Fox, J. M., M. Humes, D. A. Davis and A. L. Lawrence. 2011. Evaluation of methionine supplements and their use in grain-based feeds for *Litopenaeus vannamei*. *Journal of the World Aquaculture Society* 42(5): 676-686.
- Francis, G., H. P. S. Makkar and K. Becker. 2001. Antinutritional factors present in plant-derived alternative fish feed ingredients and

- their effects in fish. *Aquaculture* 199: 197-227.
- Funge-Smith, S., M. Briggs and R. Subasinghe. 2003. Is white shrimp (*Penaeus vannamei*) a threat to Asian shrimp culture?. *FAO Aquaculture Newsletter* 30: 19-23.
- Gervais, N. F. and T. R. Zeigler. 2013. Synthetic product replaces live *Artemia* in shrimp larviculture. *Global Aquaculture Advocate* May/June: 28-30.
- Giguere, M. A. 2011. The economics of partial *Artemia* replacement using two commercially available feeds in the diets of *Litopenaeus vannamei* from Z3/M1-PL10. Master thesis. University of Miami. Miami, USA. 289 p.
- Gong, H., D. H. Jiang, A. L. Lawrence and D. M. Gatlin. 2001. Lipid nutrition of *Litopenaeus vannamei*. *Global Aquaculture Advocate* 4(2): 48-50.
- González-Félix, M. L., D. M. Gatlin, A. L. Lawrence and M. Perez-Velazquez. 2002. Effect of dietary phospholipid on essential fatty acid requirements and tissue lipid composition of *Litopenaeus vannamei* juveniles. *Aquaculture* 207(1-2): 151-167.
- González-Félix, M. L., M. Perez-Velazquez and J. M. Quintero-Alvarez. 2009. Effect of various dietary levels of docosahexaenoic and arachidonic acids and different n-3/n-6 ratios on biological performance of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, raised in low salinity. *Journal of the World Aquaculture Society* 40(2): 194-206.
- Hannah, C., M. Mani and R. Ramasamy. 2013. Evaluation of the biochemical composition of four marine algae and its nutritional value for brine Shrimp. *International Journal of Pharma and Bio Sciences* 6(3): 47-51.
- Harel, M., W. Koven, I. Lein, Y. Bar, P. Behrens, J. Zohar and A.R. Place. 2002. Advanced DHA, EPA and ARA enrichment materials for marine aquaculture using single cell heterotrophs. *Aquaculture* 213(1-4): 347-362.
- Hoseinifar, S. and P. Zare. 2013. Effects of different levels of live food replacement with microdiet on growth factors, survival and resistance to salinity stress of Indian white shrimp postlarvae (*Fenneropenaeus indicus*). *International Journal of Aquatic Biology* 1(5): 209-214.
- Hurtado, M. A., I. S. Racotta, O. Arjona, M. Hernandez-Rodriguez, E. Goytortúa, R. Civera and E. Palacios. 2006. Effect of hypo- and hyper-saline conditions on osmolarity and fatty acid composition of juvenile shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) fed low- and high-HUFA diets. *Aquaculture Research* 37(13): 1316-1326.
- Ju, Z. -Y., D. -F. Deng, W. G. Dominy and I. P. Forster. 2011. Pigmentation of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, by dietary astaxanthin extracted from *Haematococcus pluvialis*. *Journal of the World Aquaculture Society* 42(5): 633-644.
- Ju, Z. Y., F. Castille, D. F. Deng, W. G. Dominy, A. L. Lawrence and I. P. Forster. 2012. Effects of replacing fish oil with stearine as main lipid source in diet on growth and survival of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). *Aquaculture Research* 43(10): 1528-1535.

- Kaushik, S. J. 2012. Shrimp nutrition: from requirements to development of practical feed. pp. 3-5. In: DSM Aquaculture conference Asia Pacific 2012. Bangkok, Thailand.
- Khojasteh, Z., R. Davoodi, R. G. Vaghei and H. Nooryazdan. 2013. Survival, development and growth of white leg shrimp, zoea fed with monoalgae (*Chaetoceros* and *Tetraselmis*) diets. World Journal of Fish and Marine Sciences 5(5): 553-555.
- Liu, X. H., J. D. Ye, K. Wang, J. H. Kong, W. Yang and L. Zhou. 2012. Partial replacement of fish meal with peanut meal in practical diets for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture Research 43(5): 745-755.
- Liu, F. J., Y. J. Liu, L. X. Tian, W. D. Chen, H. J. Yang and Z. Y. Du. 2014. Quantitative dietary leucine requirement of juvenile Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone) reared in low-salinity water. Aquaculture Nutrition 20(3): 332-340.
- Lucien-Brun, H. and F. Vidal. 2006. Shrimp pigmentation with natural carotenoids. AQUA Culture Asia Pacific Magazine May/June: 34-35.
- Martín, L., A. Arenal, J. Fajardo, E. Pimentel, L. Hidalgo, M. Pacheco, C. García and D. Santiesteban. 2006. Complete and partial replacement of *Artemia* nauplii by *Moina micrura* during early postlarval culture of white shrimp (*Litopenaeus schmitti*). Aquaculture Nutrition 12(2): 89-96.
- Naessens, E., R. Wouters, M. L. Cobo, V. Vargas, A. Pedrazzoli, A. Van Hauwaert and P. Lavens. 1995. Effect of n-3 HUFA and DHA/EPA ratio in enriched live feed on fatty acid composition and culture performance of *Penaeus vannamei* larvae. pp. 217-220. In: P. Lavens, E. Jaspers and I. Roelants (eds.). Special Publication No. 24 of Larvi'95. European Aquaculture Society, Gent, Belgium.
- NRC. 1993. Nutrient Requirements of Fish. National Academy Press, Washington DC, USA. 128 p.
- Patnaik, S., T. M. Samocha, D. A. Davis, R. A. Bullis and C. L. Browdy. 2006. The use of HUFA-rich algal meals in diets for *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture Nutrition 12(5): 395-401.
- Perez-Velazquez, M. and A. L. Lawrence. 2004. Advances in triglyceride, fatty acid nutrition in penaeid shrimp. Global Aquaculture Advocate October: 76-77.
- Ponce-Palafox, J. T., J. L. Arredondo-Figueroa and E.J. Vernon-Carter. 2006. Carotenoids from plants used in diets for the culture of the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). Revista Mexicana de Ingenieria Química 5(2): 157-165.
- Roy, L. A., D. A. Davis and I. P. Saoud. 2006. Effects of lecithin and cholesterol supplementation to practical diets for *Litopenaeus vannamei* reared in low salinity waters. Aquaculture 257(1-4): 446-452.
- Roy, L. A. and D. A. Davis. 2009. Alternatives to fishmeal perform well in low-salinity shrimp farm trial. Global Aquaculture Advocate May/June: 62-64.
- Samocha, T. M., D. A. Davis, I. P. Saoud and K. DeBault. 2004. Substitution of fishmeal by co-extruded soybean poultry by-product meal in practical diets for the Pacific white

- shrimp, *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture 231(1-4): 197-203.
- Sangha, R. S., A. C. Puella-Cruz, M. C. Chavez-Sanchez and D. A. Jones. 2000. Survival and growth of *Litopenaeus vannamei* (Boone) larvae fed a single dose of live algae artificial diets with supplements. Aquaculture Research 31(8-9): 683-689.
- SEAFDEC. 2005. The report of regional technical consultation on the aquaculture of *Penaeus vannamei* and other exotic shrimps in Southeast Asia. Aquaculture department, Tigbauan, Iloilo, Philippines. 99 p.
- Shuyan, C., B. Tan, K. Mai and Z. Shixuan. 2009. Growth and feed efficiency of juvenile shrimp *Litopenaeus vannamei* fed formulated diets containing different levels of poultry by-product meal. Journal of Ocean University of China 8(4): 399-403.
- Smith, D. M. 2006. Nutritional requirements of aquaculture species-shrimp. In: Aquaculture nutrition master class. Asian Institute of Technology, Pathumtani, Thailand.
- Sookying, D. 2010. Development and application of soybean based diets for Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. Dissertation. Auburn University, Alabama, USA. 140 p.
- Sorgeloss, P., P. Coutteau, P. Dhert, G. Merchie and P. Lavens. 1998. Use of brine shrimp, *Artemia* spp., in larval crustacean nutrition: Reviews in Fish Biology and Fisheries 6(1-2): 55-68.
- Suárez, J. A., G. Gaxiola, R. Mendoza, S. Cadavid, G. Garcia, G. Alanis, A. Suarez, J. Faillace and G. Cuzon. 2009. Substitution of fish meal with plant protein sources and energy budget for white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). Aquaculture 289(1-2): 118-123.
- Tacon, A. G. J. and M. Metian. 2008. Global overview on the use of fishmeal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: trends and future prospects. Aquaculture 285(1-4): 146-158.
- Tacon, A. G. J., E. W. Cahyono, U. Sugema, C. Zaudjat and S. Nates. 2010. Replacement of fishmeal and marine proteins in practical diets for Pacific white shrimp using terrestrial land animal proteins. AQUA Culture Asia Pacific Magazine May/June: 12-17.
- Tacon, A. G. J., M. R. Hasan, G. Allan, A. -F. El-Sayed, A. Jackson, S. J. Kaushik, W. K. Ng, V. Suresh and M. T. Viana. 2012. Aquaculture feeds: Addressing the long term sustainability of the sector. pp. 193-231. In: R. P. Subasinghe, J. R. Arthur, D. M. Bartley, S.S. De Silva, M. Halwart, N. Hishamunda, C. V. Mohan and P. Sorgeloos (eds). Proceedings of the Global Conference on Aquaculture 2010: Farming the Waters for People and Food. FAO and NACA. Phuket, Thailand.
- Tan, R. K. H. and W. G. Dominy. 1997. Commercial pelleting of crustacean feeds. pp. 520-549. In: L. R. D'Abramo, D. E. Conklin and D.M. Akiyama (eds). Crustacean Nutrition. Advances in World Aquaculture. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, USA.
- Tan, B., K. Mai, S. Zheng, Q. Zhou, L. Liu and Y. Yu. 2005. Replacement of fishmeal by meat and bone meal in practical diets for the white shrimp *Litopenaeus vannamei*

-
- (Boone). *Aquaculture Research* 36(5): 439-444.
- Wang, T. 2010. Study on utilization of cottonseed meal and canola meal for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus Vannamei*. Master thesis. Guangdong Ocean University, Guangdong, China. 67 p.
- Wouters, R. 2008. Highly-digestible artificial feeds for shrimp larvae and postlarvae. *AQUA Culture Asia Pacific Magazine* November/December: 12-16.
- Xie, F., W. Zeng, Q. Zhou, H. Wang, T. Wang, C. Zheng and Y. Wang. 2012. Dietary lysine requirement of juvenile Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 358-359: 116-121.
- Zhang, J., Y. -J. Liu, L. -X. Tian, H. -J. Yang, G. -Y. Liang, Y. -R. Yue and D. -H. Xu. 2013. Effects of dietary astaxanthin on growth, antioxidant capacity and gene expression in Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Nutrition* 19(6): 917-927.
- Zhou, Q. C., W. P. Zeng, H. L. Wang, T. Wang, Y. L. Wang and F. J. Xie. 2012. Dietary arginine requirement of juvenile Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 364-365: 252-258.
- Zhou, Q. C., Y. L. Wang., H. L. Wang and B. P. Tan. 2013. Dietary threonine requirements of juvenile Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 392-395: 142-147.
- Zhu, W., K. Mai, B. Zhang, F. Wang and Y. Yu. 2004. A study on the meat and bone meal and poultry by-product meal as protein substitutes of fish meal in practical diets for juveniles. *Journal of Ocean University of China* 3(2): 157-160.
-