# ชีววิทยาการสืบพันธุ์และความต้องการสารอาหารของพ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกราม

# Reproductive Biology and Nutrient Requirements of Giant Freshwater Prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) Broodstock

พิเชต พลายเพชร

Pichet Plaipetch

*สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด กองวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด กรมประมง*

*Inland Aquaculture Research Institute, Inland Fisheries Research and Development Division, Department of Fisheries*

วันที่ได้รับบทความ 12 มกราคม พ.ศ. 2558

วันที่ตอบรับตีพิมพ์ 26 ตุลาคม พ.ศ. 2558

## บทคัดย่อ

การเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกรามนับเป็นอีกวิธีแนวทางที่ช่วยให้การผลิตลูกกุ้งก้ามกรามมีความยั่งยืนมากกว่าการอาศัยพ่อแม่กุ้งจากฟาร์มเลี้ยงซึ่งไม่สามารถคาดการณ์ผลผลิตได้ การเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งให้ประสบความสำเร็จนั้นความรู้เกี่ยวกับชีววิทยาการสืบพันธุ์และความต้องการสารอาหารมีความสำคัญเป็นอย่างมาก สำหรับการจัดการการเลี้ยงและการผลิตอาหารใช้เอง โดยจากการศึกษาที่ผ่านมาทำให้ทราบว่าการผสมพันธุ์ของกุ้งก้ามกรามและการเตรียมพร้อมสำหรับการอุ้มไข่ใช้เวลาประมาณ 1 วัน การพัฒนาของไข่ก่อนฟักเป็นตัวใช้เวลาประมาณ 18-19 วัน การพัฒนาจนลูกกุ้งวัยอ่อนมีรูปร่างและพฤติกรรมเหมือนกุ้งตัวเต็มวัยใช้เวลาประมาณ 23-35 วัน การศึกษาความต้องการสารอาหารของพ่อแม่พันธุ์สรุปได้ว่าอาหารควรโปรตีนไม่ต่ำกว่า 35% และมีกรดอะมิโนจำเป็นที่สอดคล้องกับปริมาณที่พบในไข่ ระดับไขมัน กรดไลโนเลอิก ผลรวมของกรดไขมันชนิด EPA และ DHA ฟอสโฟไลปิดและโคเลสเตอรอลในอาหาร ไม่ควรต่ำกว่า 5, 0.13, 0.15, 0.8 และ 0.5% ตามลำดับ อาหารควรมีพลังงานไม่ต่ำกว่า 4 กิโลแคลอรีต่อกรัมอาหาร และระดับคาร์โบไฮเดรตไม่ควรเกิน 20% ความต้องการสารอาหารอื่นๆ เช่น วิตามินอี วิตามินซี แอสต้าแซนทินและสังกะสี มีค่าเท่ากับ 300, 60, 100 และ 50-90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ตามลำดับ แม้ยังไม่มีการศึกษาความต้องการวิตามินและแร่ธาตุอื่นๆ แต่อาจใช้วิตามินและแร่ธาตุรวมที่มีจำหน่ายในท้องตลาดหรือจากการทดลองต่างๆ ได้ ที่ระดับการใช้ 1-4% การเสริมสารอาหารบางชนิดร่วมกัน เช่น วิตามินอีกับวิตามินซี หรือกรดไขมัน HUFA กับแอสต้าแซนทิน เป็นอีกวิธีการที่ช่วยเร่งความสมบูรณ์พันธุ์ของพ่อแม่กุ้งก้ามกรามได้

**คำสำคัญ** : กุ้งก้ามกราม สารอาหาร ความต้องการ พ่อแม่พันธุ์

***Corresponding author. E-mail:** pichet28@yahoo.com

## Abstract

Culturing giant freshwater prawn broodstock is an alternative way that helps seed production more sustainable compared with dependency on farm raised broodstock which the production cannot be expected. However, knowledge on reproductive biology and nutrient requirements are very critical for culture management and self-feed production. The previous studies showed that breeding and preparing readiness for egg bearing spend the time approximately 1 day. Estimated 18-19 days are required for embryonic and larval developments prior hatching. Prawn larva takes time approximately 23-35 days to reach morphological characteristics and behavior similar to adult prawn. Based on the previous nutritional studies, it could be concluded that dietary protein should not below 35% with essential amino acid contents according to those found in egg. Diet should contain lipid, linoleic acid, sums of EPA and DHA, phospholipid and cholesterol at least 5, 0.13, 0.15, 0.8 and 0.5%, respectively. Dietary energy should not below 4 Kcal per gram feed, while carbohydrate not above 20%. Requirements on vitamin E, vitamin C, astaxanthin and zinc are 300, 60, 100 and 50-90 milligrams per kilogram feed, respectively. Although, other vitamins and minerals have not been studied, vitamin and mineral premix either from the market or experiment can be useful with usage doses of 1-4%. Supplementation of some integrated nutrients such as vitamin E and C or HUFA and astaxanthin can accelerate broodstock maturation.


**Keywords** : Giant freshwater prawn, nutrient, requirement, broodstock

**บทนำ**

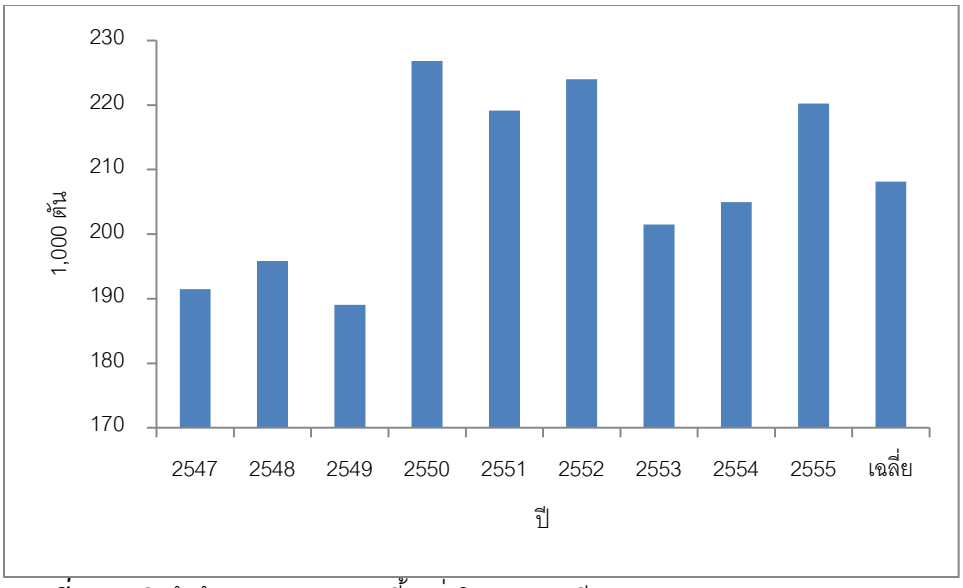
นอกจากกุ้งขาวแวนนาไมและกุ้งกุลาดำแล้วกุ้งก้ามกรามนับเป็นกุ้งเศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่งของประเทศไทย นับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 เป็นต้นมา ประเทศไทยมีผลผลิตกุ้งก้ามกรามไม่ต่ำกว่าปีละ 20,000 ตัน โดยผลผลิตถูกใช้บริโภคในประเทศประมาณ 90% และส่งออกประมาณ 10% (วชิราภรณ์ ไกรอ่ำ, 2558) ทั้งนี้แหล่งเลี้ยงกุ้งก้ามกรามที่สำคัญได้แก่ จังหวัดราชบุรี นครปฐมและสุพรรณบุรี ซึ่งมีผลผลิตรวมกันประมาณ 80% ของผลผลิตกุ้งก้ามกรามทั้งหมด ขณะที่แหล่งเลี้ยงอื่นๆ ได้แก่ จังหวัดกาญจนบุรี สมุทรสาคร ฉะเชิงเทรา กาฬสินธุ์และปราจีนบุรี (วชิราภรณ์ ไกรอ่ำ, 2557) ทั้งๆ ที่ปัจจุบันกุ้งก้ามกรามมีราคาจำหน่ายที่ดี เกษตรกรสนใจเลี้ยงกุ้งชนิดนี้มากขึ้นและความต้องการของตลาดภายในประเทศและเพื่อการส่งออกเพิ่มมากขึ้น (วชิราภรณ์ ไกรอ่ำ, 2558) แต่ผลผลิตกุ้งก้ามกรามของประเทศไทยและพื้นที่การเลี้ยงนับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 เป็นต้นมามีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ (วชิราภรณ์ ไกรอ่ำ, 2556) สาเหตุประการหนึ่งคือการขาดแคลนลูกพันธุ์ที่เป็นผลสืบเนื่องจากขาดแคลนแม่พันธุ์กุ้ง ทั้งนี้แม่พันธุ์กุ้งที่ใช้ในการผลิตลูกกุ้งเกือบทั้งหมดมาจากฟาร์มเลี้ยงกุ้งก้ามกราม (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2554) โดยจำนวนแม่พันธุกุ้งในรอบหลายปีที่ผ่านมามีจำนวนลดลงเนื่องจากผลผลิตกุ้งก้ามกรามลดลงดังที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้เกิดการแย่งชิงแม่พันธุ์กุ้งและการแข่งขันรุนแรงมากขึ้นหากจำนวนของแม่พันธุ์กุ้งในปีนั้นๆ มีน้อย การแย่งชิงแม่พันธุ์กุ้งทำให้ราคาลูกกุ้งก้ามกรามสูงขึ้นจนทำให้เกษตรกรบางส่วนเลิกเลี้ยงกุ้งก้ามกราม และกลายเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบให้จำนวนแม่พันธุ์กุ้งสำหรับการผลิตลูกกุ้งในปีต่อๆ ไป ลดลงตามไปด้วย

ดังนั้นในอนาคตจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่เกษตรกรผู้เพาะและอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามต้องผลิตพ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกรามสำหรับใช้ในฟาร์ม เช่น การเลี้ยงกุ้งเอง การซื้อกุ้งจากฟาร์มเลี้ยงมาขุนเป็นพ่อแม่พันธุ์และการเลี้ยงแม่พันธุ์กุ้ง

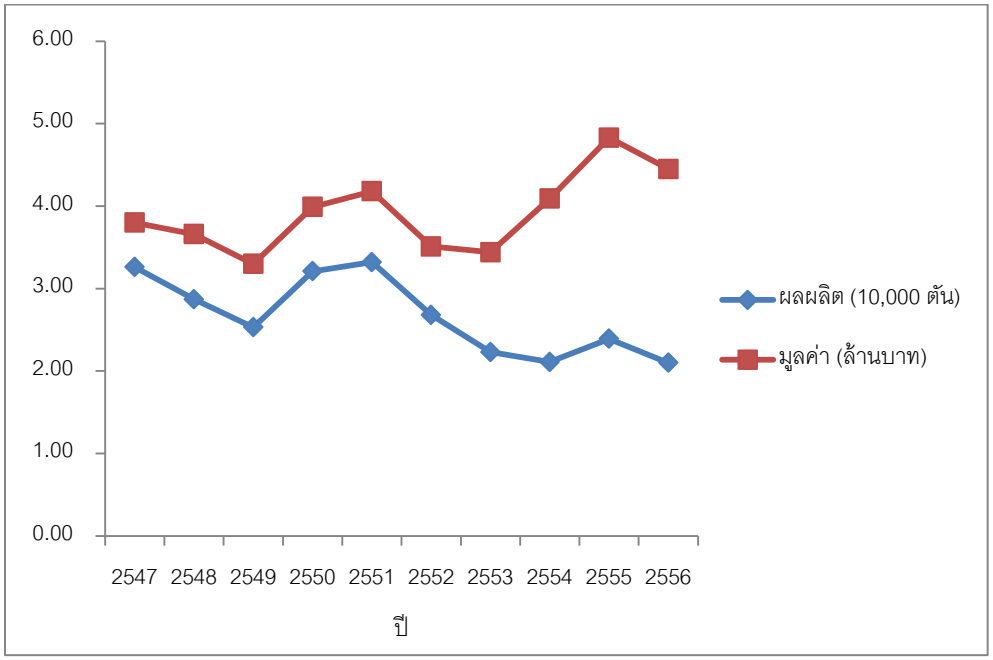
หลังการวางไข่เพื่อเป็นแม่พันธุ์ในรอบการผลิตถัดไป ทั้งนี้วิธีการที่ประหยัดทั้งต้นทุนและเวลาและให้ผลผลิตสูงคือการเลี้ยงแม่พันธุ์กุ้งที่วางไข่แล้วเนื่องจากแม่พันธุ์กุ้งมีความดกไข่เพิ่มมากขึ้นตามขนาดตัว และลูกกุ้งที่ได้มีความแข็งแรงเนื่องจากแม่พันธุ์กุ้งและไข่ไม่บอบช้ำจากการขนส่ง อย่างไรก็ตามการเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกรามให้ประสบความสำเร็จนั้นเกษตรกรผู้เพาะและอนุบาลจำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับการจัดการการเลี้ยงหลายด้านโดยเฉพาะด้านโภชนาการเนื่องจากสารอาหารเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งเสริมความสมบูรณ์พันธุ์ของสัตว์น้ำ (Izquierdo & Hernández-Palacios, 1997) ดังนั้นรายงานนี้ได้รวบรวมความรู้เกี่ยวกับความต้องการสารอาหารของพ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกรามเพื่อเป็นแหล่งข้อมูลสำหรับเกษตรกรที่ต้องการผลิตอาหารเลี้ยงพ่อแม่พันธุกุ้งเอง การเลือกซื้ออาหารสำเร็จรูป หรือการเสริมสารอาหารให้อาหารสำเร็จรูปมีคุณภาพดียิ่งขึ้น รายงานนี้ยังได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์ และชีววิทยาการสืบพันธุ์ซึ่งมีประโยชน์สำหรับการจัดการพ่อแม่พันธุ์กุ้งชนิดนี้

**การแพร่กระจายของกุ้งก้ามกรามและผลผลิตจากการเลี้ยง**

กุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii*) เป็นสัตว์น้ำที่มีถิ่นกำเนิดในแถบเอเชียใต้ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ แปซิฟิกใต้ ทางเหนือของโอเชียเนียและทางตะวันตกของหมู่เกาะแปซิฟิก มีการเลี้ยงกุ้งชนิดนี้อย่างน้อย 43 ประเทศทั่วโลก และการเลี้ยงมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องทั้งจำนวนประเทศและพื้นที่การเลี้ยง (New, 2000; New, 2005) ปัจจุบันผลผลิตกุ้งก้ามกรามมีมากที่สุดคิดเป็น 50% ของผลผลิตกุ้งน้ำจืดที่เลี้ยงทั่วโลก รองลงมาคือกุ้ง *M. nipponse* ที่มีผลผลิตจากการเลี้ยงประมาณ 47% ทั้งนี้ประเทศจีนเลี้ยงกุ้งก้ามกรามมากที่สุดและเป็นประเทศเดียวที่เลี้ยงกุ้ง *M. nipponse* ขณะที่ประเทศผู้ผลิตกุ้งก้ามกรามที่สำคัญอื่นๆ ได้แก่ ประเทศเวียดนาม อินเดีย ไทย บังกลาเทศ พม่าและไต้หวัน (New & Nair, 2012) ในรอบ 10 ปีที่ผ่านมา ผลผลิตกุ้งก้ามกรามจากการเลี้ยงทั่วโลกมีค่าเฉลี่ยประมาณ 200,000 ตันต่อปี โดยผลผลิตในช่วงปี พ.ศ. 2547-2551 ได้เพิ่มสูงขึ้นเป็นอย่างมากก่อนที่จะลดลงในช่วงปี พ.ศ. 2553-2554 และผลผลิตเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งในปี 2555 (ภาพที่ 1) ส่วนผลผลิตและมูลค่าของกุ้งก้ามกรามของประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ. 2547-2556 แสดงในภาพที่ 2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลผลิตกุ้งก้ามกรามของประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ. 2547-2549 ลดลงเพราะขาดแคลนพ่อแม่พันธุ์และลูกพันธุ์เนื่องจากการระบาดของโรคไวรัส Extra small virus (XSV) และ *Macrobrachium rosenbergii* Nodavirus (MrNV) ซึ่งเริ่มระบาดในปี พ.ศ. 2547 และระบาดอย่างรุนแรงในปี พ.ศ. 2548 (ชัยวุฒิ สุดทองคง, 2550) ทำให้เกษตรกรบางส่วนเลิกเลี้ยงกุ้งก้ามกรามและหันไปเลี้ยงสัตว์น้ำชนิดอื่นแทน ( สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2554) แม้ว่าผลผลิตกุ้งก้ามกรามของประเทศไทยค่อยๆ ฟื้นตัวในช่วงปี พ.ศ. 2550-2551 เนื่องจากการควบคุมและป้องกันโรคไวรัสมีประสิทธิภาพมากขึ้น อย่างไรก็ตามผลผลิตกุ้งก้ามกรามได้ลดลงอีกครั้งในปี พ.ศ. 2552-2554 เนื่องจากเกษตรกรเลิกเลี้ยงกุ้งเป็นจำนวนมาก เพราะราคาผลผลิตตกต่ำ แต่ในปี พ.ศ. 2555 เมื่อราคาจำหน่ายสูงขึ้นเกษตรกรบางส่วนกลับมาเลี้ยงกุ้งก้ามกรามอีกครั้ง ทำให้มีผลผลิตเพิ่มขึ้นประมาณ 2,000 ตัน เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2554 หากคำนวณค่าเฉลี่ยของผลผลิตกุ้งก้ามกรามของประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ. 2547-2555 พบว่ามีค่าประมาณ 20,000 ตันต่อปี (ภาพที่ 2) ซึ่งคิดเป็น 10% ของผลผลิตกุ้งก้ามกรามจากการเลี้ยงทั่วโลก




***ภาพที่ 1*** ผลผลิตกุ้งก้ามกรามจากการเลี้ยงทั่วโลกระหว่างปี พ.ศ. 2547-2555 (FAO, 2014)




***ภาพที่ 2*** ผลผลิตและมูลค่าของกุ้งก้ามกรามที่เลี้ยงในประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ. 2547-2556

**การเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกราม**

แม้ว่าการเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกรามยังไม่เป็นที่นิยม เนื่องจากพ่อแม่พันธุ์จากฟาร์มเลี้ยงยังคงเพียงพอต่อความต้องการ อย่างไรก็ตามเกษตรกรสามารถเลี้ยงพ่อพันธุ์กุ้ง และแม่พันธุ์กุ้งที่ไม่มีไข่หรือหลังการวางไข่เพื่อเป็นพ่อแม่พันธุ์ได้ ทั้งนี้วิธีการเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์อาจทำตามคำแนะนำต่างๆ เช่น อัตราปล่อยพ่อแม่พันธุ์ที่เหมาะสมคือ 2 ตัวต่อตารางเมตร (3,200 ตัวต่อไร่) และอัตราส่วนพ่อพันธุ์ต่อแม่พันธุ์คือ 1:5 (Ratnayake, Sivananthawerl, Walpita & Edirisinghe, 2011) แต่การ

เลี้ยงพ่อแม่กุ้งพันธุ์ในกระชังที่แขวนในบ่อดินนั้นอัตราปล่อย และอัตราส่วนพ่อพันธุ์ต่อแม่พันธุ์ที่เหมาะสมคือ 10 ตัว/ลูกบาศก์เมตร และ 1:4 ตามลำดับ (อำนาจ จงอักษร, เรืองวิชญ์ ยุ้นพันธ์ และวราห์ เทพาหุดี, 2555) ทั้งนี้เกษตรกรควรให้อาหารวันละครั้งในเวลาตอนเย็น (Nandlal & Pickering, 2005) หรืออาจให้อาหารวันละ 2 ครั้ง ในเวลาตอนเช้าและตอนเย็นได้แต่อัตราการให้อาหารไม่ควรเกิน 3-5 % ต่อน้ำหนักตัว (Mitra, Chattopadhyay & Mukhopadhyay, 2005) นอกจากนี้อาจเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกรามตามวิธีในงานวิจัยต่างๆ เช่น การเลี้ยงในบ่อคอนกรีตกลมโดยให้อาหารสำเร็จรูปหรืออาหารสด เช่น หมึกและหอยสองฝา วันละ 2 ครั้ง (เช้า-เย็น) อัตรา 3% ของน้ำหนักตัวต่อวัน (Murmu, Sahu, Mallik, Reddy & Kohli, 2007) หรือการเลี้ยงพ่อแม่พันธ์กุ้งในบ่อหรืออุปกรณ์ที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (Revathi, Iyapparaj, Munuswamy & Krishnan, 2012) หรืออาจเลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียน (de Caluwé, Lavens & Sorgeloos, 1995; Cavalli, Lavens & Sorgeloos, 2001a)

**การพัฒนาการของรังไข่และไข่กุ้งก้ามกราม**

โดยทั่วไปกุ้งก้ามกรามสมบูรณ์พันธุ์เมื่ออายุได้ 4-7 เดือน หากอุณหภูมิและอาหารมีความเหมาะสม โดยแม่กุ้งจะเริ่มมีไข่แก่ (ไข่สีน้ำตาล) หลังการเลี้ยงเป็นระยะเวลา 4 เดือน ซึ่งเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งบ่อดินสามารถจับและจำหน่ายให้แก่เกษตรกรผู้เพาะและอนุบาลลูกกุ้งได้ประมาณ 5-10% ของจานวนแม่กุ้งทั้งหมดในบ่อ (Daniels, Cavalli & Smullen, 2000) แม่พันธุ์กุ้งก้ามกรามสามารถวางไข่ได้ประมาณ 3-5 ครั้งต่อปี และปริมาณไข่ต่อตัวคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้ (สมการที่ 1)
โดย X คือน้ำหนักตัว (กรัม) และ Y คือจำนวนไข่ (ฟอง) (Cavalli *et al*., 2001a)

$$Y = 484 + 1454X \ (r^2 = 0.74) \qquad (1)$$

ระยะของรังไข่และไข่ของแม่กุ้งก้ามกรามระยะต่างๆ ก่อนการผสมพันธุ์กับกุ้งตัวผู้ มีดังนี้ (Damrongphol, Eangchuan & Poolsanguan, 1991; Chang & Shih, 1995; Nandlal & Pickering, 2005)

-ระยะที่ 1 เป็นระยะที่ไข่ยังไม่สมบูรณ์หรือเรียกว่า Previtellogenic stage โดยรังไข่มีลักษณะบางและใส อยู่บริเวณส่วนท้ายของช่องว่างใต้เปลือกหัว และไข่มีลักษณะเป็นแท่ง มีฟอลลิเคิลล้อมรอบไข่ ไข่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 12-100 ไมครอน

-ระยะที่ 2 เป็นระยะไข่เริ่มสมบูรณ์หรือเรียกว่า Primary vitellogenic stage รังไข่เริ่มมีสีเหลืองเนื่องจากเริ่มมีการสะสมไข่แดง และเริ่มขยายจนมีพื้นที่ประมาณ ¼ - ½ ของความยาวของช่องว่างใต้เปลือกหัว มีหยดน้ำมันในไข่และเห็นเป็นเซลล์ฟอลลิเคิลชัดเจนขึ้น ไข่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100-170 ไมครอน

-ระยะที่ 3 เป็นระยะไข่สมบูรณ์หรือเรียกว่า Secondary vitellogenic stage รังไข่มีสีส้มอ่อนเพราะมีการสะสมไข่แดงในไข่มากขึ้นเรื่อยๆ และรังไข่เริ่มขยายจนมีพื้นที่ประมาณมากกว่า ¾ ของความยาวของช่องว่างใต้เปลือกหัว พบเซลล์ฟอลลิเคิลน้อยลง ไข่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 170-300 ไมครอน

-ระยะที่ 4 เป็นระยะไข่สุก รังไข่มีสีส้มเข้มและจะขยายเต็มพื้นที่ช่องว่างใต้เปลือกหัว ไม่พบเซลล์ฟอลลิเคิล ไข่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 530 ไมครอน

นอกจากนี้พัฒนาการของรังไข่อาจประมาณการได้จากดัชนีความสมบูรณ์พันธุ์ (Gonado Somatic Index, GSI) โดยรังไข่ระยะที่ยังไม่สมบูรณ์จะมีค่าน้อยกว่า 0.5% และเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 4 และ 8% สำหรับรังไข่ระยะที่ 3 และ 4 ตามลำดับ (Revathi, Iyapparaj, Munuswamy & Krishnan, 2012)

**พฤติกรรมการผสมพันธุ์ของกุ้งก้ามกราม**

แม้ว่ายังไม่มีการศึกษาพฤติกรรมการผสมพันธุ์ของกุ้งก้ามกราม แต่น่าจะมีลักษณะที่ใกล้เคียงกับกุ้ง *M. dayanum* ซึ่งจากการศึกษาของ Sarkar, Basu, Dutta & Roy (2012) พบว่าก่อนการจับคู่ผสมพันธุ์ประมาณ 2-3 ชั่วโมง กุ้ง *M. dayanum* ตัวผู้จะใช้วงก้ามป้องกันกุ้งตัวเมียจากกุ้งตัวผู้อื่นที่เข้ามารบกวน และคอยขับไล่กุ้งตัวผู้อื่นที่เข้าใกล้กุ้งตัวเมีย เมื่อไม่มีการรบกวนกุ้งตัวผู้จะใช้ก้ามจับก้ามของกุ้งตัวเมียและเคลื่อนที่เข้าใกล้กุ้งตัวเมีย จากนั้นกุ้งตัวผู้จะปีนหลังกุ้งตัวเมีย ซึ่งกุ้งตัวเมียอาจป้องกันตัวโดยการใช้ขาเดินผลักกุ้งตัวผู้ การจับคู่ผสมพันธุ์จะเริ่มขึ้นหลังจากที่กุ้งตัวเมียลอกคราบใหม่ๆ โดยกุ้งตัวผู้จะใช้ขาเดินพลิกกุ้งตัวเมียให้หงายท้องขึ้นและหมุนกุ้งตัวเมียให้อยู่ในทิศทางเดียวกัน จากนั้นกุ้งตัวผู้จะใช้ขาเดินแหวกขาว่ายน้ำของกุ้งตัวเมียและสอดถุงน้ำเชื้อที่ดึงจากช่องเปิดน้ำเชื้อบริเวณโคนขาเดินคู่ที่ 5 แล้ววางไว้ใกล้ช่องปล่อยไข่ของกุ้งตัวเมียซึ่งอยู่บริเวณโคนขาเดินคู่ที่ 3 ซึ่งการผสมพันธุ์จะใช้เวลาประมาณ 45-55 วินาที ก่อนที่กุ้งจะแยกออกจากกันประมาณ 17 ชั่วโมงต่อมา กุ้งตัวเมียจะทำความสะอาดขาว่ายน้ำเพื่อรองรับไข่หลังที่ผ่านการปฏิสนธิ หลังจากนั้นอีกประมาณ 3 ชั่วโมง กุ้งตัวเมียจะงอตัวเป็นรูปตัวยูเพื่อปล่อยไข่ผ่านทางช่องปล่อยไข่ซึ่งจังหวะนี้เองถุงน้ำเชื้อจะถูกบีบให้แตกทำให้น้ำเชื้อผสมกับไข่ที่ถูกปล่อยออกมา ก่อนที่กุ้งตัวเมียจะเก็บไข่และอุ้มไว้หน้าท้องบริเวณขาว่ายน้ำ ทั้งนี้ไข่มีความเหนียวทำให้เกาะตัวบนขนของขาว่ายน้ำ (Shailender, Suresh & Krishna, 2013)

**พัฒนาการของตัวอ่อนกุ้งก้ามกราม**

หลังการปฏิสนธิของไข่และน้ำเชื้อแล้วแม่กุ้งจะรวบรวมไข่และนำมาติดกับขาว่ายน้ำคล้ายๆ ลักษณะการอุ้มไข่ ทั้งนี้ไข่ที่ปฏิสนธิแล้วจะใช้เวลาในการพัฒนาประมาณ 19 วัน ก่อนฟักเป็นตัว (Ling, 1969) โดยไข่ซึ่งมีสีส้มเข้มจะมีสีใสขึ้นหลังการปฏิสนธิ 12 วัน จากนั้นไข่เริ่มกลายเป็นสีน้ำตาล และอีกประมาณ 4-5 วัน ต่อมา ไข่จะมีสีน้ำตาลเข้ม ใกล้เคียงกับการศึกษาของ Shailender *et al*. (2013) ที่พบว่าระยะเวลาที่ตัวอ่อนพัฒนาอย่างสมบูรณ์คือประมาณ 14 วัน จากนั้นอีก 4 วัน ตัวอ่อนพร้อมที่ฟักเป็นตัว ทั้งนี้พัฒนาการของตัวอ่อนลูกกุ้งก่อนฟักเป็นตัวมี 11 ระยะ ดังนี้

-ระยะที่ 1 เป็นการแบ่งตัวของนิวเคลียสครั้งที่ 2 เพื่อสร้างเซลล์ใหม่เสร็จอย่างสมบูรณ์ซึ่งใช้เวลาประมาณ 7 ชั่วโมง

-ระยะที่ 2 จากนั้นอีก 1 ชั่วโมง 45 นาที การแบ่งตัวของนิวเคลียสของนิวเคลียสในเซลล์ครั้งที่ 3 ใกล้สมบูรณ์

-ระยะที่ 3 จากนั้นอีก 10 นาที การแบ่งตัวของนิวเคลียสของนิวเคลียสในเซลล์ครั้งที่ 3 สมบูรณ์ โดยในระยะนี้จะมีจำนวนเซลล์ 4 จากเซลล์เริ่มต้น 1 เซลล์

-ระยะที่ 4 จากนั้นอีก 5 นาที มีการสร้างผนังกันเซลล์อย่างสมบูรณ์ กลุ่มเซลล์ที่ได้เรียกว่า Blastomere

-ระยะที่ 5 จากนั้นอีก 5 ชั่วโมง จำนวนเซลล์เพิ่มเป็น 32 เซลล์

-ระยะที่ 6 จากนั้นอีก 10 ชั่วโมง (เวลารวม 24 ชั่วโมง หรือ 1 วัน) มีการแบ่งเซลล์จนหุ้มไข่แดงทั้งหมด

-ระยะที่ 7 จากนั้นอีก 5 วัน (เวลารวม 6 วัน) มีการสร้างแพนหาง

-ระยะที่ 8 จากนั้นอีก 1 วัน (เวลารวม 7 วัน) มีการสร้างส่วนตา

-ระยะที่ 9 จากนั้นอีก 2 วัน (เวลารวม 9 วัน) มีการสร้างสีของตา

-ระยะที่ 10 จากนั้นอีก 5 วัน (เวลารวม 14 วัน) ตัวอ่อนพัฒนาอย่างสมบูรณ์

-ระยะที่ 11 จากนั้นอีก 5 วัน (เวลารวม 19 วัน) ตัวอ่อนพร้อมที่จะฟักเป็นตัว

ความเค็มของน้ำนับเป็นปัจจัยที่สำคัญเป็นอย่างมากต่อการพัฒนาของลูกกุ้งก้ามกรามตัวอ่อน เนื่องจากในช่วงฤดูการสืบพันธุ์ หลังจากที่พ่อแม่กุ้งผสมพันธุ์ในเขตน้ำจืดแล้วแม่พันธุ์กุ้งที่อุ้มไข่จะอพยพไปยังเขตน้ำกร่อยที่แร่ธาตุมากขึ้น

เช่น ปากแม่น้ำ เพื่อให้ตัวอ่อนได้รับแร่ธาตุที่เพียงพอสำหรับการพัฒนาตามระยะต่างๆ (Metamorphosis) จนกระทั่งฟักเป็นตัว (Larvae) โดยหากลูกกุ้งวัยอ่อนไม่ได้อาศัยในน้ำที่มีความเค็มลูกกุ้งวัยอ่อนจะตายภายในระยะเวลา 2 วัน (Nandlal & Pickering, 2005) ทั้งนี้จากการศึกษาของ Hangsapreurke *et al*. (2551) พบว่าแมกนีเซียมมีความสัมพันธ์เป็นอย่างมากกับอัตรารอดตายของลูกกุ้ง ดังนั้นระหว่างการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามเกษตรกรควรมีการตรวจวัดระดับแมกนีเซียมในบ่ออนุบาลอย่างสม่ำเสมอ ทั้งนี้จากการสอบถามเกษตรกรหลายฟาร์มพบว่ามักมีการควบคุมปริมาณแมกนีเซียมในบ่ออนุบาลไม่ให้ต่ำกว่า 700-800 ppm แต่จากการศึกษาเบื้องต้นโดยการอนุบาลลูกกุ้ง 3 ครั้ง ของผู้เขียนบทความพบว่าความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหมาะสมคือไม่ควรต่ำกว่า 900-1,000 ppm โดยทั่วไปเกษตรกรใช้แม่พันธุ์กุ้งก้ามกรามเฉพาะที่มีไข่แก่ (สีน้ำตาลเข้ม) ผลิตลูกกุ้งก้ามกราม และโดยใช้น้ำความเค็มประมาณ 15 ppt สำหรับการกระตุ้นให้ลูกกุ้งฟักเป็นตัวและการอนุบาลจนเข้าสู่ระยะ Post larvae อย่างไรก็ตามการทดลองของ Hangsapreurke *et al*. (2551) พบว่าน้ำความเค็ม 5 ppt สามารถกระตุ้นให้ตัวอ่อนของกุ้งมีพัฒนาการจนพร้อมที่จะฟักเป็นตัวได้ ((ไข่จากสีส้มเป็นสีน้ำตาลเข้ม) และมีอัตราการฟักไม่ต่างจากกระตุ้นด้วยน้ำความเค็ม 15 ppt ขณะที่น้ำความเค็ม 25 ppt มีประสิทธิภาพด้อยกว่าน้ำความเค็ม 5 และ 15 ppt งานวิจัยนี้มีประโยชน์มากสำหรับเกษตรกรผู้เพาะ และอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม เนื่องจากสามารถซื้อหรือรวบรวมได้ทั้งแม่พันธุ์กุ้งที่มีไข่สีน้ำตาลเข้มและแม่พันธุ์กุ้งที่มีไข่สีส้มสำหรับการเพาะและอนุบาลลูกกุ้ง แต่ต้องเลี้ยงแม่พันธุ์กุ้งที่มีไข่สีส้มในน้ำความเค็ม 5 ppt จนกลายเป็นแม่พันธุ์กุ้งที่มีไข่สีน้ำตาลเข้มซึ่งใช้เวลาประมาณ 5-10 วัน วิธีการนี้ทำให้เกษตรกรมีแม่พันธุ์กุ้งที่เพียงพอสำหรับการเพาะและอนุบาลในแต่ละครั้ง เมื่อเทียบกับวิธีปฏิบัติโดยทั่วไปที่เกษตรกรจะซื้อเฉพาะแม่พันธุ์กุ้งที่มีไข่สีน้ำตาลเข้มทำให้บางครั้งได้แม่พันธุ์ที่ไม่คุ้มค่าสำหรับการเพาะ และอนุบาลโดยเฉพาะหากมีการซื้อแม่พันธุ์กุ้งพร้อมๆ กัน จากฟาร์มเดียวกัน

หลังจากลูกกุ้งก้ามกรามฟักเป็นตัวแล้วจะมีพัฒนาการอย่างต่อเนื่องอีก 13 ระยะ แยกเป็นระยะ Larvae 11 ระยะย่อย และระยะ Post larvae 2 ระยะย่อย ใช้เวลาประมาณ 23-35 วัน จนกลายเป็นลูกกุ้งที่มีลักษณะและพฤติกรรมเหมือนกุ้งตัวเต็มวัยรวมทั้งปรับตัวอาศัยในน้ำจืดได้ โดยระยะและอายุลูกกุ้งก้ามกราม มีดังนี้ (Nandlal & Pickering, 2005)

-ระยะที่ 1 ลูกกุ้งมีอายุ 1 วัน ไม่มีก้านตา

-ระยะที่ 2 ลูกกุ้งอายุ 2 วัน มีการสร้างก้านตา

-ระยะที่ 3 ลูกกุ้งอายุ 3-4 วัน มีการสร้างแพนหาง

-ระยะที่ 4 ลูกกุ้งอายุ 4-6 วัน มีการสร้างซี่ฟันบนส่วนหลังของกรีจำนวน 2 ซี่

-ระยะที่ 5 ลูกกุ้งอายุ 5-8 วัน ปลายหางแคบและยาวขึ้น

-ระยะที่ 6 ลูกกุ้งอายุ 7-10 วัน มีการสร้างปุ่มของขาว่ายน้ำ

-ระยะที่ 7 ลูกกุ้งอายุ 11-17 วัน ขาว่ายน้ำแยกเป็นสองแฉกแต่ยังไม่มีการสร้างขนเล็กๆ (Setae)

-ระยะที่ 8 ลูกกุ้งอายุ 14-19 วัน มีการสร้าง setae บนขาว่ายน้ำ

-ระยะที่ 9 ลูกกุ้งอายุ 15-22 วัน มีการสร้างรยางค์อื่นๆ บนขาว่ายน้ำ

-ระยะที่ 10 ลูกกุ้งอายุ 17-24 วัน มีการสร้างซี่ฟันบนส่วนหลังของกรีจำนวน 3-4 ซี่

-ระยะที่ 11 ลูกกุ้งอายุ 19-26 วัน มีการสร้างซี่ฟันบนส่วนหน้าของกรี

-ระยะ Post larvae ช่วงต้น ลูกกุ้งอายุ 23-27 วัน ลูกกุ้งลงเกาะพื้น ว่ายน้ำไปข้างหน้า มีซี่ฟันทั้งบนและล่างของกรี

-ระยะ Post larvae ช่วงท้าย ลูกกุ้งอายุ 23-35 วัน ลูกกุ้งมีลักษณะและพฤติกรรมเหมือนกุ้งตัวเต็มวัยคือกินอาหารตามพื้นและปรับตัวอาศัยในน้ำจืดได้

**ความต้องการโปรตีนและกรดอะมิโนจำเป็นจากอาหารของพ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกราม**

ในช่วงฤดูการสืบพันธุ์พ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกรามต้องการโปรตีนจากอาหารเพิ่มขึ้นเพื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์และฮอร์โมน ทั้งนี้ Mitra *et al.* (2005) แนะนำว่าอาหารสำหรับพ่อแม่พันธุ์กุ้งกรามที่เลี้ยงในระบบที่ไม่มีอาหารธรรมชาติควรมีระดับโปรตีนเท่ากับ 35-40% ขณะที่กุ้งวัยรุ่นต้องการโปรตีนประมาณ 25-35% (Habashy, 2009) สอดคล้องกับ Das (1995) ที่แนะนำว่าอาหารพ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกรามที่เลี้ยงในระบบที่ไม่มีอาหารธรรมชาติควรมีโปรตีนเท่ากับ 40% แต่หากเป็นการเลี้ยงในบ่อดินระดับโปรตีนในอาหารอาจลดเหลือ 35% ได้ แม้ยังไม่มีการศึกษาความต้องการกรดอะมิโนจำเป็นแต่ความต้องการกรดอะมิโนจำเป็นของพ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกรามอาจประมาณการจากระดับกรดอะมิโนจำเป็นที่พบในไข่ได้ (Das, Saad, Ang, Law & Harmin, 1996) ทั้งนี้หากอ้างอิงจากกรดอะมิโนจำเป็นในไข่ที่มีระดับโปรตีนประมาณ 52% ของน้ำหนักแห้ง จากการทดลองของ Yao *et al.* (2006) ทำให้ประมาณการได้ว่าพ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกรามมีความต้องการกรดอะมิโนจำเป็น ได้แก่ ลิวซีน ไลซีน วาลีน ไอโซลิวซีน ฟีนิลอะลานีน ทรีโอนีน เมไทโอนีน อาร์จินีน ฮีสติดีน และกรดอะมิโนไม่จำเป็นอีกสองชนิดคือ ซีสตีนและไทโรซีน เท่ากับ 7.62, 7.35, 6.05, 4.76, 3.93, 3.68, 2.35, 6.15, 2.95, 3.57 และ 3.39% ของโปรตีน ตามลำดับ แม้ว่าซีสตีนและไทโรซีนไม่ใช่กรดอะมิโนจำเป็น แต่การผลิตอาหารพ่อแม่พันธุ์จำเป็นต้องคำนึงถึงเนื่องจากซีสตีน และไทโรซีนเป็นอนุพันธ์ของเมไทโอนีน และฟีนิลอะลานีน ตามลำดับ หากอาหารมีกรดอะมิโนทั้งสองชนิดนี้น้อยทำให้พ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกรามต้องใช้เมไทโอนีน และฟีนิลอะลานีนในการสังเคราะห์ซีสตีน และไทโรซีน ซึ่งส่งผลให้พ่อแม่พันธุ์ใช้ประโยชน์เมไทโอนีนและฟีนิลอะลานีนได้ไม่เต็มที่ ทั้งนี้โรงงานผลิตอาหาร และเกษตรกรที่ผลิตอาหารพ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกรามใช้เองจำเป็นต้องมีข้อมูลเกี่ยวกับชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนเหล่านี้ในวัตถุดิบที่ใช้ เช่น แหล่งโปรตีนจากสัตว์และพืช ได้แก่ ปลาป่น หมึกป่น กุ้งป่น เคยป่น ไก่ป่น เนื้อและกระดูกป่น กากถั่วเหลือง หวีตกลูเตน คอร์นกลูเตน เป็นต้น (Tacon, Metian & Hasan, 2009) โดยควรใช้แหล่งโปรตีนจากสัตว์ในสัดส่วนที่สูงกว่าแหล่งโปรตีนจากพืช เนื่องจากแหล่งโปรตีนจากพืชมักขาดกรดอะมิโนโนชนิดเมไทโอนีนและไลซีน และกุ้งก้ามกรามสามารถย่อยแหล่งโปรตีนจากสัตว์ได้ดีกว่าแหล่งโปรตีนจากพืชเนื่องจากแหล่งโปรตีนจากสัตว์ไม่มีสารยับยั้งการย่อยอาหาร เช่น กรดไฟติกและแทนนิน (Francis, Makkar & Becker, 2001)

**ความต้องการไขมันและกรดไขมัน**

Mitra *et al. (*2005) รายงานว่าไขมันในอาหารประมาณ 3-7% (เฉลี่ยเท่ากับ 5%) เพียงพอสำหรับความต้องการของพ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกรามในแง่การเป็นแหล่งพลังงาน และแหล่งกรดไขมันจำเป็น อย่างไรก็ตามระดับไขมันในอาหารอาจสูงถึง 10% โดยไม่กระทบต่อการสืบพันธุ์ (Murmu *et al*., 2007) สอดคล้องกับระดับไขมันในอาหารพ่อแม่พันธุ์กุ้งทะเลชนิดกินทั้งพืชและสัตว์ที่แนะนำโดย FAO (1987) ทั้งนี้พ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกรามต้องการกรดไขมันทั้งกลุ่มโอเมก้า 3 และ 6 (n-3 และ n-6) อย่างน้อย 0.075% ของน้ำหนักอาหารแห้ง (Mitra *et al*., 2005) โดยมีแนวโน้มว่าพ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกราม มีความต้องการกรดไขมันกลุ่ม n-6 มากกว่ากลุ่ม n-3 เนื่องจาก de Caluwé *et al.* (1995) พบว่าไข่กุ้งก้ามกรามมีการสะสมของกรดไลโนเลอิก (Linoleic acid, LOA, 18:2n-6) มากกว่ากรดไขมันชนิดอีพีเอ (Eicosapentaenoic acid, EPA, 20:5n-3) และดีเอชเอ (Docosahexaenoic acid, DHA, 22:6n-3) และโดยทั่วไปแล้วกุ้งก้ามกรามมีการสะสมกรดไขมันกลุ่ม n-3 ในร่างกายน้อยกว่ากรดไขมันกลุ่ม n-6 เช่นกัน (D'Abramo, 1998) ทั้งนี้ความต้องการของกรดไขมันกลุ่ม n-3 และ n-6 ของพ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกรามยังไม่ทราบแน่ชัด แต่การที่อาหารมี LOA อย่างน้อย 0.13% และกรดไขมัน n-3 ชนิดไม่อิ่ม

ตัวสูง (n-3 Highly unsaturated fatty acid, n-3 HUFA) เช่น EPA และ DHA เท่ากับ 0.15% ทำให้แม่กุ้งก้ามกรามมีความดกไข่และอัตราการฟักของไข่ดีขึ้น (Cavalli, Lavens & Sorgeloos, 1999) แต่หากอาหารมี EPA และ DHA สูง แต่มี LOA ต่ำ ทำให้ความดกไข่ลดลง (de Caluwé *et al*., 1995) ดังนั้นเป็นที่แน่ชัดว่า LOA เกี่ยวข้องกับความดกไข่ เนื่องจาก LOA เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์กรดไขมันชนิดเออาร์เอ (Arachidonic acid, ARA, 20:4n-6) ซึ่งเป็นสารที่จำเป็นสำหรับการพัฒนาของรังไข่ โดยมีงานวิจัยยืนยันได้ว่ากุ้งก้ามกรามสามารถเปลี่ยน LOA ไปเป็น ARA ได้ (Reigh & Stickney, 1989) ทั้งนี้ ARA เป็นสารตั้งต้นในการสร้างฮอร์โมนพรอสตาแกลนดิน (Prostaglandin) ที่มีหน้าที่ควบคุมการสืบพันธุ์และการสร้าง และสะสมโยล์ค (ไข่แดง) (Wouters & Fegan, 2004) ดังนั้นระดับ LOA ในอาหารที่มากขึ้นมีแนวโน้มที่จะทำให้แม่กุ้งก้ามกรามมีความดกไข่มากขึ้นได้ ขณะที่การศึกษาในกุ้งกุลาดำพบว่าระดับ ARA ในอาหารที่เพิ่มขึ้นทำให้ความดกไข่ จำนวนแม่กุ้งกุลาดำที่วางไข่ จำนวนครั้งการวางไข่และจำนวนไข่ต่อแม่เพิ่มขึ้นเช่นกัน (Huang, Jiang, Lin, Zhou & Ye, 2008; Coman, Arnold, Barclay & Smith, 2009)

เมื่อพิจารณาเฉพาะความต้องการ EPA และ DHA จากระดับ EPA และ DHA ที่พบในไข่กุ้งระยะการสะสมไข่แดงจนถึงระยะก่อนฟักตัวนั้น พ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกรามน่าจะต้องการ DHA สูงกว่า EPA เล็กน้อย และผลรวมของกรดไขมันทั้งสองชนิดไขมันทั้งสองควรมีค่าอยู่ในช่วง 0.07-0.19% (Lavens, Piyatiratitivorakul, Menasveta & Sorgeloos, 1991) ส่วนความต้องการฟอสโฟไลปิดของพ่อแม่กุ้งก้ามกรามนั้น Cavalli, Menschaert, Lavens and Sorgeloos (2000) รายงานว่าแม่กุ้งก้ามกรามต้องการฟอสโฟไลปิดจากอาหารไม่เกิน 0.8% ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับที่พบในอาหารสำเร็จรูปกุ้งก้ามกรามที่มีจำหน่ายโดยทั่วไป แต่ต่ำกว่าความต้องการฟอสโฟไลปิดสำหรับการสร้างไข่ของกุ้งของทะเลที่มีค่าประมาณ 2% (Wouters & Fegan, 2004) โคเลสเตอรอลนับเป็นสารอาหารอีกชนิดที่มีความจำเป็นสำหรับการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ โดยจากการศึกษาพบว่ามีการสะสมโคเลสเตอรอลในไข่สูงกว่าในกล้ามเนื้อ 6 เท่า (Pillai, Tripathy & Dandapat, 2001) โดยระดับโคเลสเตอรอลที่เพียงพอต่อความต้องการของพ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกรามคือ 0.5-0.6% ของอาหาร (Mitra *et al*., 2005) ซึ่งสูงกว่าความต้องการของกุ้งระยะวัยรุ่น 2 เท่า (Teshima, Ishikawa, Koshio & Kanazawa, 1997) อย่างไรก็ตามโคเลสเตอรอลเป็นวัตถุดิบที่มีราคาแพงดังนั้นจึงควรใช้ในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการ หรือลดการใช้โดยการเพิ่มระดับฟอสโฟไลปิดที่มีราคาถูกกว่าในสูตรอาหารให้มากขึ้น เช่น เพิ่มปริมาณฟอสโฟไลปิดจาก 0.8% เป็น 1-1.2% และลดระดับโคเลสเตอรอลเหลือเพียง 0.2-0.3% ส่วนแหล่งของกรดไขมันจำเป็นในวัตถุดิบที่จะใช้ในการผลิตอาหารพ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกรามนั้น โรงงานผลิตอาหารหรือเกษตรกรผู้ผลิตอาหารใช้เองสามารถสืบค้นข้อมูลได้จาก Tacon *et al*. (2009)

**ความต้องการพลังงานและคาร์โบไฮเดรต**

โดยทั่วไปสัตว์ทุกชนิดสามารถใช้ทั้งโปรตีน ไขมันและคาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานได้ แต่โปรตีนเป็นสารอาหารราคาแพง ดังนั้นอาหารจึงจำเป็นต้องมีระดับพลังงานจากไขมันและคาร์โบไฮเดรตที่เหมาะสม เพื่อลดการใช้โปรตีนเป็นแหล่งพลังงาน (Protein sparing effect) หากอาหารพ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกรามมีระดับโปรตีน 40% อาหารควรมีพลังงานประมาณ 4 กิโลแคลอรีต่อกรัมอาหาร และหากโปรตีนในอาหารลดเหลือ 35% พลังงานในอาหารต้องเพิ่มเป็นอย่างน้อย 4.73 กิโลแคลอรีต่อกรัมอาหาร ทั้งนี้พ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกรามมีความต้องการพลังงานมากกว่ากุ้งวัยรุ่นที่ต้องการพลังงานจากอาหารประมาณ 3.39-4.29 กิโลแคลอรีต่อกรัมอาหาร (Habashy, 2009) เนื่องจากระดับไขมันต่ำสุดที่สามารถเป็นแหล่งพลังงานและแหล่งกรดไขมันจำเป็นคือประมาณ 5% ดังนั้นหากคิดจากอัตราส่วนไขมันต่อคาร์โบไฮเดรตที่เหมาะสมคือ 1:3-4 (Mitra *et al*., 2005) แล้วอาหารพ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกรามควรมีคาร์โบไฮเดรตประมาณ 15-20%

**ความต้องการวิตามินและแร่ธาตุ**

วิตามินเป็นสารอาหารที่เกี่ยวข้องกับความสมบูรณ์พันธุ์ของสัตว์และพัฒนาการของสัตว์วัยอ่อน เช่น ระดับวิตามินอีในอาหารที่เพิ่มขึ้นทำให้แม่กุ้งขาวแวนนาไมธรรมชาติมีประสิทธิภาพวางไข่และอัตราการฟักของไข่ดีขึ้น ขณะที่วิตามินซีไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการสืบพันธุ์แต่ช่วยเพิ่มอัตราการฟักของลูกกุ้งทะเล (Wouters & Fegan, 2004) เมื่อพิจารณาถึงความสำคัญของวิตามินซีและวิตามินอีต่อการสืบพันธุ์แล้ว วิตามินอีน่าจะมีความสำคัญมากกว่าวิตามินซีเนื่องจากมีการสะสมและใช้ระยะเวลาการสะสมในไข่มากกว่าวิตามินซี โดยรังไข่ของแม่กุ้งก้ามกรามในช่วงการสะสมไข่แดง (รังไข่ระยะที่ 1-3) มีการสะสมของวิตามินอี ($\alpha$-tocopherol) เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่เมื่อเข้าสู่ระยะการสะสมไข่แดงระยะสุดท้ายและรังไข่ระยะที่ 4 และ 5 ปริมาณของวิตามินอีในรังไข่ลดลงอย่างเห็นได้ชัด และพบการสะสมในไข่เพิ่มขึ้น ในทางตรงข้ามการสะสมวิตามินซีในรังไข่เริ่มลดลงตั้งแต่รังไข่ระยะที่ 3 เป็นต้นมา และพบการสะสมในไข่น้อยกว่าวิตามินอีประมาณ 3 เท่า (Cavalli *et al*., 2001b) สอดคล้องกับการผลการศึกษาที่พบว่าวิตามินซีและวิตามินอีในอาหารเท่ากับ 60 และ 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมเพียงพอต่อการสืบพันธุ์ของแม่กุ้งและพัฒนาการของลูกกุ้งก้ามกราม (Cavalli *et al*., 2003) ซึ่งจากการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าความต้องการวิตามินอีสูงกว่าวิตามินซี 5 เท่า นอกจากวิตามินทั้งสองชนิดนี้แล้ว วิตามินเอเป็นสารอาหารอีกชนิดที่มีความสำคัญต่อพัฒนาการของรังไข่แม่กุ้ง โดยระดับวิตามินเอในอาหารที่เพิ่มขึ้นทำให้รังไข่ของแม่กุ้งกุลาดำและแม่กุ้งขาวแวนนาไมพัฒนาได้เร็วขึ้น (Pangantihon-Kühlmann, Millamena & Chern, 1998; Liñán-Cabello & Paniagua-Michel, 2004) แม้ยังมีวิตามินอีกหลายชนิดที่ยังไม่มีการศึกษาถึงความต้องการแต่การผลิตอาหารพ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกราม อาจทำตามคำแนะนำของ FAO (1987) กล่าวคืออาหารควรมีวิตามิน $B_1$ (ไทอะมีน), $B_2$ (ไรโบฟลาวิน) $B_3$ (ไนอะซิน), $B_5$ (กรดแพนโทเทนิก), $B_6$ (ไพริดอกซิน), $B_7$ (ไบโอติน), $B_9$ (กรดโฟลิก), $B_{12}$ (โคบาลามีน), โคลีน, อิโนซิตอล และวิตามิน K ในอาหารเท่ากับ 30, 30, 150, 75, 30, 0.25, 6.0, 0.04, 1600, 700 และ 12 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ตามลำดับ และควรมีวิตามิน A และวิตามิน D เท่ากับ 6,000 และ 2,000 หน่วยสากล (International unit, IU) ต่อกิโลกรัมอาหาร ตามลำดับ นอกจากนี้การผลิตอาหารอาจมีการเติมวิตามินจากแหล่งวิตามิน และแร่ธาตุรวมที่มีจำหน่ายในท้องตลาดและจากการทดลองต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1

แร่ธาตุเป็นสารอาหารที่มีความสำคัญต่อการสืบพันธุ์เช่นเดียวกันกับวิตามิน แม้ว่ากุ้งก้ามกรามจะสามารถดูดแร่ธาตุจากแหล่งน้ำได้บางส่วนแต่ไม่เพียงพอต่อความต้องการ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องได้รับจากอาหารโดยเฉพาะในช่วงการสืบพันธุ์ที่ความต้องการแร่ธาตุต่างๆ มากขึ้น เช่นเดียวกับสัตว์น้ำชนิดอื่นที่การศึกษาความต้องการแร่ธาตุของพ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกรามยังมีน้อยมาก โดยแร่ธาตุที่มีการศึกษาแล้วคือความต้องการสังกะสีของพ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกรามที่มีค่าอยู่ในช่วง 50-90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร (Mitra *et al*., 2005) ส่วนระดับแร่ธาตุที่ควรมีในอาหารพ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกรามอาจอ้างอิงได้จากคำแนะนำสำหรับอาหารพ่อแม่พันธุ์กุ้งทะเลของ FAO (1987) โดยอาหารควรมีแร่ธาตุหลัก เช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม และแมกนีเซียม ประมาณ 2.5, 1.4, 0.9, 0.13% ตามลำดับ ส่วนแร่ธาตุรอง เช่น Fe (เหล็ก), Mn (แมงกานีส), Cu (ทองแดง), Co (โคบอลต์), I (ไอโอดีน), Cr (โครเมียม), และ Se (ซีลีเนียม) ประมาณ 100, 60, 12, 1.2, 6.0, 1.0 และ 0.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับวิตามิน อาจมีการเติมแร่ธาตุจากแหล่งวิตามินและแร่ธาตุรวม ดังแสดงในตารางที่ 1

**ความต้องการสารสี**

สารสีกลุ่มแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) มีบทบาทสำคัญสำหรับการสืบพันธุ์ของกุ้ง เช่น แอสต้าแซนทินเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันการเสื่อมของเซลล์สืบพันธุ์ และเบต้าแคโรทีน เป็นสารตั้งต้นในการสร้างวิตามินเอ ทั้งนี้สารสีมีอยู่ 2 ชนิด คือ 1) แหล่งสารสีธรรมชาติ ได้แก่ แพลงก์ตอนพืชทะเล สไปรูไลน่า ดอกดาวเรือง และพริกหยวก และ 2) สารสีสังเคราะห์ ซึ่งอาหารสำเร็จรูปพ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกรามควรใช้แหล่งสารสีอย่างใดอย่างหนึ่งในระดับที่เหมาะสม เพื่อให้กุ้งมีประสิทธิภาพการสืบพันธุ์ที่ดี แม้ว่าไม่มีงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้สารสีเพื่อเร่งความสมบูรณ์พันธุ์ของพ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกรามโดยตรง แต่อาจอ้างอิงจากระดับการใช้จากทดลองกับลูกกุ้งก้ามกรามระยะวัยอ่อนหรือจากพ่อแม่กุ้งชนิดอื่นๆ ได้ เช่น การเสริมแอสต้าแซนทินในอัตรา 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ทำให้ลูกกุ้งก้ามกรามทนต่อความเครียดได้ดี เช่น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและการลดลงของออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Tizkar, Alireza Seidavi, Ponce-Palafox & Pourashoori, 2014) ดังนั้นการเสริมแอสต้าแซนทินในอาหารพ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกรามอาจกำหนดให้มีค่าไม่ต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ทั้งนี้หากใช้แหล่งสารสีธรรมชาติอาจต้องใช้ในระดับที่สูงกว่านี้ แต่ไม่ควรสูงเกิน 250 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ซึ่งเป็นระดับที่แนะนำสำหรับอาหารพ่อแม่พันธุ์กุ้งทะเล (Chimsung, 2014) ทั้งนี้เนื่องจากการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามโดยทั่วไปมักปล่อยในอัตราความหนาแน่นต่ำทำให้กุ้งได้รับสารสีจากอาหารธรรมชาติได้ส่วนหนึ่ง

***ตารางที่ 1*** สูตรวิตามินและแร่ธาตุรวมสำหรับอาหารพ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกราม (IU หรือมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

| ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด[1] (อัตราการใช้ 4%) | | | | การทดลอง (อัตราการใช้ 1-2%) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| วิตามิน | มิลลิกรัม | แร่ธาตุ | มิลลิกรัม | วิตามิน[2] | มิลลิกรัม | แร่ธาตุ[3] | มิลลิกรัม |
| A | 2,000,000 IU | Fe | 1,000 | A | 6,750,000 IU | Fe | 100,000 |
| D | 400,000 IU | Zn | 3,000 | D | 1,450,000 IU | Zn | - |
| E | 12,000 | Mn | 2,000 | E | 31,500 | Mn | 120,000 |
| K | 480 | Cu | 100 | K | 8,500 | Cu | 8,500 |
| $B_1$ | 800 | I | 20 | $B_1$ | 11,500 | I | 1,500 |
| $B_2$ | 800 | Co | 10 | $B_2$ | 10,500 | Co | 300 |
| $B_3$ | 5,000 | Se | - | $B_3$ | 45,000 | Se | 120 |
| $B_5$ | 2,000 | | | $B_5$ | 25,000 | | |
| $B_6$ | 500 | | | $B_6$ | 12,500 | | |
| $B_7$ | 20 | | | $B_7$ | 225 | | |
| $B_9$ | 160 | | | $B_9$ | 2,500 | | |
| $B_{12}$ | 2,000 | | | $B_{12}$ | 17.5 | | |
| C (97-99%) | 35,000 | | | C (97-99%) | 45,000 | | |

**หมายเหตุ** IU คือ หน่วยสากล (International unit), [1](Anh, Hien, Mathieu, Hoa & Sorgeloos, 2009)

[2]ค่าเฉลี่ยของ (Jintasataporn,Tabthipwon & Yenmark, 2004; Habashy, 2012) และ [3](Habashy, 2012)

**การใช้สารอาหารร่วมกัน**

การเสริมสารอาหารต่างๆ ร่วมกัน เช่น กรดไขมัน วิตามินและสารสี นับเป็นอีกวิธีที่ช่วยเร่งความสมบูรณ์พันธุ์ของพ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกรามได้ โดย Murmu *et al*. (2007) พบว่าการเลี้ยงแม่กุ้งด้วยอาหารที่มีโปรตีนและไขมันเท่ากับ 46 และ 10% ที่มีการเสริมด้วยวิตามินเอ วิตามินซี วิตามินอีและเบต้าแคโรทีน อัตรา 500, 130, 250 และ 40,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ทำให้แม่กุ้งมีรังไข่พัฒนาถึงระยะที่ 4 (ระยะไข่สุก) ได้ดีกว่าการเลี้ยงด้วยอาหารสดหรือการใช้อาหารสดร่วมกับอาหารสำเร็จรูป รวมทั้ง de Caluwé *et al*. (1995) ยังพบว่าระดับวิตามินอีและวิตามินซีในอาหารเพิ่มขึ้นทำให้แม่กุ้งก้ามกรามมีความดกไข่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้อาจเสริมอาหารสดหรืออาหารสำเร็จรูปพ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกรามด้วยกรดไขมัน HUFA และแอสต้าแซนทินได้เช่นกัน เนื่องจากผลการทดลองในแม่กุ้งกุลาดำพบว่าการเสริมด้วยสารอาหารดังกล่าว ทำให้มีจำนวนแม่กุ้งที่วางไข่ อัตราการวางไข่ ระยะการวางไข่ ความดกไข่และจำนวนไข่ต่อแม่ ดีกว่าการไม่เสริมหรือการเสริมด้วยแอสต้าแซนทินเพียงอย่างเดียว (Huang *et al*., 2008) เช่นเดียวกับการเสริมด้วยวิตามินเอร่วมกับแอสต้าแซนทินให้ผลเชิงบวกต่อการพัฒนาของรังไข่และการวางไข่ของแม่กุ้งกุลาดำ (Pangantihon-Kühlmann *et al*., 1998)

**สูตรอาหารสำหรับพ่อแม่พันธุ์ก้ามกราม**

เพื่อให้ไข่ของแม่พันธุ์กุ้ง และน้ำเชื้อของพ่อพันธุ์กุ้งก้ามกรามมีคุณภาพดี การสร้างสูตรอาหารจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลความต้องการสารอาหารชนิดต่างๆ ดังที่กล่าวมาข้างต้น ปัจจุบันมีการนำเสนอสูตรอาหารสำหรับพ่อแม่กุ้งก้ามกรามอยู่บ้าง ซึ่งเกษตรกร หรือโรงงานผลิตอาหารสามารถนำไปใช้หรือหรือปรับปรุงสูตรอาหารให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 2

**บทสรุป**

ในปัจจุบันพื้นที่การเลี้ยง และจำนวนเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงกุ้งก้ามกรามของประเทศไทยลดลงอย่างต่อเนื่องส่งผลให้ขาดแคลนแม่พันธุ์กุ้งสำหรับการผลิตลูกกุ้งก้ามกราม ผลกระทบดังกล่าวนี้ทำให้เกิดการแย่งชิงแม่พันธุ์กุ้งและราคาลูกกุ้งก้ามกรามมีแนวโน้มสูงขึ้น การเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกรามเองนับเป็นอีกวิธีแนวทางที่ช่วยให้การผลิตลูกกุ้งก้ามกรามมีความยั่งยืนมากกว่าการเพาะพันธุ์ที่ต้องอาศัยพ่อแม่กุ้งจากฟาร์มเลี้ยง ทั้งนี้การเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งให้ประสบความสำเร็จนั้นเกษตรกรจำเป็นต้องมีความรู้หลายด้านโดยเฉพาะความรู้เกี่ยวกับชีววิทยาการสืบพันธุ์ และความต้องการสารอาหาร โดยจากการศึกษาที่ผ่านมาทำให้ทราบว่าพ่อแม่พันธุ์กุ้งใช้เวลาในการผสมพันธุ์ และเตรียมพร้อมสำหรับการอุ้มไข่ประมาณ 1 วัน การพัฒนาของไข่ที่ได้รับการผสมก่อนฟักเป็นตัวใช้เวลาประมาณ 18-19 วัน ลูกกุ้งวัยอ่อนใช้ระยะเวลาในการพัฒนาจนมีลักษณะและพฤติกรรมเหมือนกุ้งตัวเต็มวัยและปรับตัวอาศัยในน้ำจืดได้ประมาณ 23-35 วัน ส่วนความความต้องการสารอาหารที่สำคัญของพ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกราม ได้แก่ ความต้องการโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต กรดไลโนเลอิก ผลรวมของ EPA และ DHA ฟอสโฟไลปิดและโคเลสเตอรอล เท่ากับ 35-40, 5-10, 15-20, >0.13, 0.15, 0.8 และ 0.5-0.6 % ตามลำดับ ความต้องการสารอาหารอื่นๆ ได้แก่ วิตามินอี วิตามินซี แอสต้าแซนทินและสังกะสี มีค่าเท่ากับ 300, 60, 100, 50-90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ตามลำดับ แม้ยังไม่มีการศึกษาความต้องการวิตามินและแร่ธาตุอื่นๆ แต่การผลิตอาหารพ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกรามนั้นอาจใช้สูตรวิตามินและแร่ธาตุรวมที่มีการจำหน่ายในท้องตลาดหรือสูตรจากการทดลองที่ระดับการใช้ 1-4% เป็นแหล่งวิตามินและแร่ธาตุชนิดต่างๆ ได้ และการเร่งความสมบูรณ์พันธุ์ของพ่อแม่กุ้งก้ามกรามให้เร็วยิ่งขึ้นอาจทำได้โดยการเสริมสารอาหารบางชนิดร่วมกัน เช่น วิตามินอีร่วมกับวิตามินซี หรือกรดไขมัน HUFA ร่วมกับแอสต้าแซนทิน

***ตารางที่ 2*** สูตรอาหารแนะนำสำหรับพ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกราม (% ของน้ำหนักอาหาร)

| วัตถุดิบ | ธนาภรณ์ จิตตปาลพงศ์ (2557) | | Murmu *et al*. (2007)[1] |
|---|---|---|---|
| | โปรตีน 35% | โปรตีน 40% | โปรตีน 46% |
| ปลาป่น (โปรตีน 58-60%) | 37 | 37 | 50 |
| หมึกป่น | 5 | 5 | - |
| เคอยป่น (Acetes) | - | - | 8 |
| หัวกุ้งป่น | 5 | 5 | 20 |
| กากถั่วเหลือง | 16 | 16 | - |
| กากยีสต์ | 5 | 5 | - |
| ปลายข้าว | 20 | - | - |
| แป้งสาลี | 0 | 15 | 10.5 |
| หวีตกลูเตน | - | 5 | - |
| สารเหนียว | 6 | - | 1 |
| น้ำมันถั่วเหลือง | 1 | 1 | 6 |
| น้ำมันตับหมึกหรือปลาทะเล | 2 | 2 | - |
| โคเลสเตอรอล | - | - | 0.5 |
| เลซิติน | 1 | 1 | 2 |
| วิตามินและแร่ธาตุรวม[1] | 0.3 | 0.3 | 2 |
| วิตามินซี (97%) | 0.2 | 0.2 | * |
| วิตามินอี (50%) | 0.3 | 0.3 | * |
| สไปรูไลน่า | 1 | 1 | - |
| รำสกัดน้ำมัน | 0.2 | 6.2 | - |
| รวม | 100 | 100 | 100 |

**หมายเหตุ** [1] สูตรอาหารของ Murmu *et al*. (2007) เสริมด้วย วิตามินซี อี เอ และเบต้าแคโรทีน (10%) เท่ากับ 0.013, 0.05, 0.05 และ 4% ตามลำดับ

**เอกสารอ้างอิง**

ชัยวุฒิ สุดทองคง. (2550). การจำแนกไวรัสที่เป็นสาเหตุการตายของลูกกุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii*) ในประเทศไทย. *เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45: สาขาประมง* (หน้า 293-301). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธนาภรณ์ จิตตปาลพงศ์. (2557). การสร้างสูตรอาหารสัตว์น้ำและสูตรอาหารสัตว์น้ำเศรษฐกิจ.เอกสารวิชาการ, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

วชิราภรณ์ ไกรอ่ำ. (2556). สถานการณ์กุ้งก้ามกรามปี 2556. *จุลสารเศรษฐกิจการประมงประจำไตรมาสที่ 4 ปี 2556*, 15-18.

วชิราภรณ์ ไกรอ่ำ. (2557). สถานการณ์กุ้งก้ามกราม 3 เดือนแรก ปี 2557. *จุลสารเศรษฐกิจการประมงประจำไตรมาสที่ 1 ปี 2557*, 28-31.

วชิราภรณ์ ไกรอ่ำ. (2558). สถานการณ์กุ้งก้ามกราม 3 เดือนแรก ปี 2558. *จุลสารเศรษฐกิจการประมงประจำไตรมาสที่ 1 ปี 2558*, 28-31.

สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. (2554). *เศรษฐกิจการผลิตการตลาดกุ้งก้ามกราม*. เอกสารวิชาการเลขที่ 111, สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

อำนาจ จงอักษร, เรืองวิชญ์ ยุ้นพันธ์ และ วราห์ เทพาหุดี. (2555). การทดลองเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii* De Man) ในกระชังแขวนลอยในบ่อดินเพื่อการผลิตลูกกุ้งก้ามกรามเชิงพาณิชย์. *เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 50: สาขาสัตว์, สาขาสัตวแพทยศาสตร์, สาขาประมง* (หน้า 506-513). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Anh, N.T.N., Hien, T.T.T., Mathieu, W., Hoa, N.V., & Sorgeloos, P. (2009). Effect of fishmeal replacement with Artemia biomass as a protein source in practical diets for the giant freshwater prawn Macrobrachium rosenbergii. *Aquaculture Research*, *40*, 669-680.

Chang, C.F., & Shih, T.W. (1995). Reproductive cycle of ovarian development and vitellogenin profiles in the freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. *Invertebrate Reproduction & Development*, *27*, 11-20.

Cavalli, R.O., Lavens, P., & Sorgeloos, P. (1999). Performance of *Macrobrachium rosenbergii* broodstock fed diets with different fatty acid composition. *Aquaculture*, *179*, 387-402.

Cavalli, R.O., Menschaert, G., Lavens, P., & Sorgeloos, P. (2000). Maturation performance, offspring quality and lipid composition of *Macrobrachium rosenbergii* females fed increasing levels of dietary phospholipids. *Aquaculture International*, *8*(1), 41-58.

Cavalli, R.O., Lavens, P., & Sorgeloos, P. (2001a). Reproductive performance of *Macrobrachium rosenbergii* females in captivity. *Journal of the World Aquaculture Society*, *32*(1), 60-67.

Cavalli, R.O., Tamtin, M., Lavens, P., Sorgeloos, P., Nelis, H.J., & De Leenheer, A.P. (2001b). The content of ascorbic acid and tocopherol in the tissues and eggs of wild *Macrobrachium rosenbergii* during maturation. *Journal of Shellfish Research*, *20(3),* 339-343.

Cavalli, R.O., Batista, F.M.M., Lavens, P., Sorgeloos, P., Nelis, H.J., & De Leenheer, A.P. (2003). Effect of dietary supplementation of vitamins C and E on maternal performance and larval quality of the prawn *Macrobrachium rosenbergii. Aquaculture, 227,* 131-146.

Chimsung, N. (2014). Maturation diets for black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) broodstock: a review. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, *36*(3), 265-273.

Coman, G.J., Arnold, S.J., Barclay, M., & Smith, D.M. (2009). Effect of arachidonic acid supplementation on reproductive performance of tank-domesticated *Penaeus monodon*. *Aquaculture Nutrition*, *17*(2), 41-151.

D'Abramo, L.R. (1998). Nutritional requirements of the freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*: Comparisons with species of penaeid Shrimp. *Reviews in Fisheries Science*, *6*(1-2), 153-163.

Damrongphol, P., Eangchuan, N., & Poolsanguan, N. (1991). Spawning cycle and oocyte maturation in laboratory maintained giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). *Aquaculture*, *95*, 347-357.

Daniels, W.H., Cavalli, R.O., & Smullen, R.P. (2000). Broodstock management. In M.B. New & W.C. Valenti (Eds.), *Freshwater prawn culture: the farming of Macrobrachium rosenbergii* (pp. 41-51). London: Blackwell Science Ltd.

Das, N.N. (1995). *Studies on broodstock nutrition of Malaysian freshwater giant prawn Macrobrachium rosenbergii (de Man)*. Doctoral dissertation, Faculty of Fisheries and Marine Science, Universiti Pertanian Malaysia.

Das, N.N., Saad, C.R., Ang, K.J., Law, A.T., & Harmin, S.A. (1996). Diet formulation for *Macrobrachium rosenbergii* (de Man) broodstock based on essential amino acid profile of its eggs. *Aquaculture Research*, *27*(7), 543-555.

de Caluwé, J., Lavens, P., & Sorgeloos, P. (1995). The influence of *Macrobrachium rosenbergii* broodstock diet on egg and larval characteristics. In *Proceedings of Larvi '95: Fish & Shellfish Symposium* (pp. 79-82). Belgium: Gent.

FAO. (1987). *The nutrition and feeding of farmed fish and shrimp - a training manual*. Rome: Fisheries and Aquaculture Department, FAO.

FAO. (2014). *FAO Fishstat Plus: Global Aquaculture production for Macrobrachium rosenbergii*. วันที่ค้นข้อมูล 4 ธันวาคม 2557, เข้าถึงได้จาก http://www.fao.org/fishery/species/2608/en.

Francis, G., Makkar, H.P.S., & Becker, K. (2001). Antinutritional factors present in plant-derived alternative fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture*, *199,* 197-227.

Habashy, M.M. (2009). Growth and body composition of juvenile freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*, fed different dietary protein/starch ratios. *Global Veterinaria*, *3*(1), 45-50.

Habashy, M.M. (2012). Effect of dried earth worm (*Aporrectodea caliginosa)* as replacement of fish meal on growth and survival rate of the freshwater prawn, *Macrobrachioum rosenbergii* (De Man 1879) larvae. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries, 16*(1), 105-114.

Hangsapreurke, K., Thamrongnawasawat, T., Powtongsook, S., Tabthipwon, P., Lum-ubol, P., & Pratoomchat, B. (2551). Effect of salinity on embryonic development of *Macrobrachium rosenbergii* (De Man). *วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง*, *2*(1), 1-11.

Huang, J.H., Jiang, S.G., Lin, H.Z., Zhou, F.L., & Ye, L. (2008). Effects of dietary highly unsaturated fatty acids and astaxanthin on the fecundity and lipid content of pond-reared *Penaeus monodon* (Fabricius) broodstock. *Aquaculture Research*, *39*(3), 240-251.

Izquierdo, M., & Hernández-Palacios, H. (1997). Nutritional requirements of marine fish larvae and broodstock. In A.G.J. Tacon & B. Basurco (Eds.), *Feeding tomorrow's fish* (pp. 243-264). Zaragoza Spain: CIHEAM.

Jintasataporn, O., Tabthipwon, P., & Yenmark, S. (2004). Substitution of golden apple snail meal for fishmeal in giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii* (de Man) diets. *Kasetsart Journal (Natural Science), 38,* 66-71.

Liñán-Cabello, M.A., & Paniagua-Michel, J. (2004). Induction factors derived from carotenoids and vitamin A during the ovarian maturation of *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture International*, *12*(6), 583-592.

Lavens, P., Piyatiratitivorakul, S., Menasveta, P., & Sorgeloos, P. (1991). Hufa levels in eggs of wild and cultured broodstock of *Macrobrachium rosenbergii*. In *Proceedings of Larvi '91: Fish & Crustacean Larviculture Symposium* (pp. 353-358). Belgium: Gent.

Ling, S.W. (1969). The general biology and development of *Macrobrachium rosenbergii* (de Man). *FAO Fisheries Report*, *57*(3), 589-606.

Mitra, G., Chattopadhyay, D.N., & Mukhopadhyay, P.K. (2005). Nutrition and feeding in freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) farming. *Aquafeeds: Formulation & Beyond*, *2*(1), 17-19.

Murmu, K., Sahu, N.P., Mallik, S.K., Reddy, A.K., & Kohli, M.P.S. (2007). Rematuration of spent *Macrobrachium rosenbergii* female broodstock through dietary manipulation and eyestalk ablation. *The Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh*, *59*(2), 104-110.

Nandlal, S., & Pickering, T. (2005). *Freshwater prawn Macrobrachium rosenbergii farming in Pacific Island countries (Hatchery operation (Volume: 1).* Noumea, New Caledonia: Secretariat of the Pacific Community.

New, M.B. (2000). History and global status of freshwater prawn farming. In M.B. New & W.C. Valenti (Eds.), *Freshwater prawn culture: the farming of Macrobrachium rosenbergii* (pp. 1-11). Oxford: Blackwell Science Ltd.

New, M.B. (2005). Freshwater prawn farming, global status, recent research and a glance at the future. *Aquaculture Research*, *36*, 210-230.

New, M.B., & Nair, C.M. (2012). Global scale of freshwater prawn farming. *Aquaculture Research*, *43*(*7*), 960-969.

Pangantihon-Kühlmann, M.P., Millamena, O., & Chern, Y. (1998). Effect of dietary astaxanthin and vitamin A on the reproductive performance of *Penaeus monodon* broodstock. *Aquatic Living Resources*, *11*(6), 403-409.

Pillai, B.R., Tripathy, A.P., & Dandapat, J. (2001). Comparative evaluation of biochemical parameters in wild and cultured brood stock of *Macrobrachium rosenbergii*. *Indian Journal of Fisheries, 48*(1), 35-39.

Ratnayake, R.M.G., Sivananthawerl, T., Walpita, C.N., & Edirisinghe, U. (2011). Determination of optimum male: female ratio and salinity level for larval production of *Macrobrachium rosenbergii* (De Man 1879) under Sri Lankan conditions. *Tropical Agricultural Research*, *22*(4), 410-415.

Reigh, R., & Stickney, R. (1989). Effects of purified dietary fatty acids on the fatty acid composition of freshwater shrimp*, Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture*, *77*, 157-174.

Revathi, P., Iyapparaj, P., Munuswamy, N., & Krishnan, M. (2012). Vitellogenesis during the ovarian development in freshwater female prawn *Macrobrachium rosenbergii* (De Man). *International Journal of Aquatic Science*, *3*(2), 13-27.

Sarkar, I., Basu, A., Dutta, S., & Roy, S. (2012). Male mating tactics and mating activity in freshwater prawn, *Macrobrachium dayanum* (Henderson, 1893) Paleomonidae: Caridae. *International Journal of Aquatic Science, 3*(2), 56-70.

Shailender, M., Suresh, B.C.H., & Krishna, P.V. (2013). Cleavage, blastula and gastrulation mechanism in embryonic development of giant fresh water prawn, *Macrobrachium rosenbergii* (De Man, 1879). *International Journal of Research in Fisheries and Aquaculture*, *3*(3), 47-56.

Tacon, A.G.J., Metian, M., & Hasan, M.R. (2009). *Feed ingredients and fertilizers for farmed aquatic animals: sources and composition*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. no. 540. Rome, Italy.

Tizkar, B., Seidavi, A., Ponce-Palafox, J.T., & Pourashoori, P. (2014). The effect of astaxanthin on resistance of juvenile prawns *Macrobrachium nipponense* (Decapoda: Palaemonidae) to physical and chemical stress. *Revista de Biología Tropical*, *62*(4), 1331-1341.

Teshima, S., Ishikawa, M., Koshio, S., & Kanazawa, A. (1997). Necessity of dietary cholesterol for the freshwater prawn. *Fisheries Science*, *63*(4), 596-599.

Wouters, R., & Fegan, D.F. (2004). Shrimp broodstock nutrition - a review. *Global Aquaculture Advocate*, *(June)*, 36-38.

Yao, J.J., Zhao, Y.L., Wang, Q., Zhou, Z.L., Hu, X.C., Duan, X.W., & An, C.G. (2006). Biochemical compositions and digestive enzyme activities during the embryonic development of prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture*, 253(1-4), 573-582.