บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 กุ้งกุลาดำ

กุ้งกุลาดำ (**Penaeus monodon** Fabricius) มีชื่อเรียกทั่วไปว่า grass shrimp หรือ giant tiger prawn ในขณะที่มีชีวิตอยู่ลำตัวจะมีสีม่วงแดงมีแถบสีดำหรือสีน้ำตาลพาดขวางเป็นปล้อง ๆ โคนขาว่ายน้ำมีแถบสีเหลืองสลับ หนวดสีเข้มไม่มีลาย เปลือกหุ้มหัวเกลี้ยงไม่มีขน ฟันกรีด้านบนมี 6-9 ซี่ (ปกติพบ 7 ซี่) และด้านล่างมี 2-4 ซี่ (ปกติพบ 3 ซี่) (5)

2.1.1 วงจรชีวิตของกุ้งกุลาดำ

วงจรชีวิตกุ้งกุลาดำเริ่มจากไข่โดยกุ้งที่มีอายุประมาณ 18-24 เดือนจะวางไข่ในทะเลมีน้ำลึกประมาณ 20-70 เมตรใกล้กับพื้นท้องทะเล หลังจากนั้นไข่ที่ได้รับการผสมจะฟักเป็นตัวอ่อน กุ้งวัยอ่อนจะถูกกระแสน้ำพัดเข้าหาฝั่งและเมื่อถึงฝั่งก็จะเลี้ยงตัวอยู่ในบริเวณนั้นจนเติบโตเป็นกุ้งวัยรุ่นจึงอพยพลงสู่ทะเลลึกต่อไป (6)

2.1.2 วิวัฒนาการของกุ้งกุลาดำ

กุ้งกุลาดำมีวิวัฒนาการเป็น 5 ระยะ (7) คือระยะแรกเป็นระยะวัยอ่อนในไข่ (embryo) เริ่มตั้งแต่ไข่ที่ได้รับการผสม แบ่งตัวเพิ่มจำนวนเซลจนฟักเป็นตัวใช้ระยะเวลาประมาณ 12 ชั่วโมงระยะต่อมาเป็นระยะลูกกุ้งวัยอ่อน (larva) เริ่มจากลูกกุ้งวัยอ่อนระยะแรก หรือ Nauplius I พัฒนาเป็น Nauplius VI แล้วกลายเป็น Protozoea I ใช้เวลาประมาณ 36 ชั่วโมง จากนั้นประมาณ 5 วัน จะพัฒนาเป็น Protozoea II, III และ Mysis I แล้วพัฒนาต่อไปเป็น Mysis II, III สู่ Post larva I โดยใช้เวลา 4-5 วัน จากนั้นจึงเข้าสู่ระยะกุ้งวัยรุ่น (juvenile) หรือกุ้ง post larva กุ้งระยะนี้มีระบบเหงือกสมบูรณ์ เมื่อเลี้ยงต่อไปร่างกายเริ่มมีสัดส่วนความยาวของท่อนหัว กลาง

ลำตัวและท่อนหางเหมือนกุ้งใหญ่ และเริ่มมีอวัยวะเพศระยะนี้กินเวลา 4 เดือนโดยมากจะมีการเลี้ยงกุ้งในระยะนี้ จากระยะวัยรุ่นจะเจริญเข้าสู่ระยะก่อนตัวเต็มวัย (subadult) เป็นระยะที่กุ้งมีการพัฒนาของระบบสืบพันธุ์ แต่ยังไม่สมบูรณ์และระยะสุดท้ายคือ ระยะตัวเต็มวัย (adult) เป็นระยะที่กุ้งมีการพัฒนาระบบสืบพันธุ์สมบูรณ์เต็มที่

2.2 รูปแบบการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

เนื่องจากกุ้งกุลาดำเป็นกุ้งที่เลี้ยงง่าย มีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่ากุ้งทะเลชนิดอื่น จึงมีผู้นิยมเลี้ยงกันมาก รูปแบบการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในประเทศไทยมี 3 รูปแบบ (4)

2.2.1 การเลี้ยงแบบธรรมชาติ (conventional or extensive culture) เป็นการเลี้ยงแบบดั้งเดิม บ่อมีขนาดตั้งแต่ 20-60 ไร่ ขุดแบบมีขาวัง (periferal canal) กว้าง 10-20 เมตร ลึก 30-60 เซนติเมตร ตรงกลางเป็นพื้นเรียบ ใช้วิธีดันน้ำเข้านาหรือเปิดน้ำเข้านาเวลาน้ำขึ้น เพื่อให้ลูกกุ้งและอาหารธรรมชาติติดเข้ามากับน้ำทะเล แล้วเก็บกักน้ำไว้ประมาณ 1-2 เดือน เพื่อให้กุ้งเจริญเติบโตโดยกินอาหารจากธรรมชาติ ไม่มีการให้อาหารหรือทำลายศัตรูกุ้ง การเลี้ยงวิธีนี้ผลผลิตไม่สามารถควบคุมได้ เพราะลูกกุ้งที่เข้าไปกับน้ำมีปริมาณไม่แน่นอน อัตรารอดตายมีเปอร์เซนต์ต่ำ ผลผลิตจะขึ้นกับความอุดมสมบูรณ์ของธรรมชาติ โดยทั่วไปให้ผลผลิตต่ำประมาณ 60-100 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี

2.2.2 การเลี้ยงแบบกึ่งพัฒนากึ่งหนาแน่น (semiintensive culture) เป็นการเลี้ยงที่สามารถควบคุมปัจจัยการผลิตบางส่วน บ่อมีขนาด 6-20 ไร่ขุดขาวังลึกมากขึ้นเป็น 0.80-1.20 เมตร มีความลาดชันเพื่อความสะดวกในการจับ ความหนาแน่นของลูกกุ้งมากขึ้นโดยการรวบรวมจากแหล่งธรรมชาติเพิ่มเติมจากที่ได้รับเวลาเปิดน้ำเข้า หรือปล่อยลูกกุ้งจากการเพาะฟักเสริมกุ้งจากธรรมชาติ 5-10 ตัวต่อตารางเมตรให้อาหารสมทบไม่มีเครื่องให้อากาศ อาจมีการดัดแปลงประตูน้ำให้แข็งแรง มีการป้องกันกำจัดศัตรูกุ้ง การเปลี่ยนถ่ายน้ำ ใส่ปุ๋ย การควบคุมโรค ใช้เวลาเลี้ยงนานประมาณ 5 เดือนจึงจับขาย ผลผลิตจะอยู่ในระหว่าง 200-600 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.3 การเลี้ยงแบบพัฒนา (intensive culture) หรือการเลี้ยงแบบหนาแน่น เป็นการเลี้ยงที่มีการนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยเข้ามาจัดการในเรื่องคุณภาพน้ำ นำลูกกุ้งที่ได้จากโรงเพาะฟักมาปล่อยในนาแทนการใช้ลูกกุ้งจากแหล่งน้ำธรรมชาติทั้งหมด ใช้อาหารเม็ดสำเร็จรูปที่มีคุณภาพสูง มีปริมาณโปรตีนมากกว่า 40 % ประกอบด้วยสารอาหารหลายชนิดที่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง บ่อมีขนาดตั้งแต่ 2-6 ไร่ มีคันดินแยกเฉพาะบ่อ มีทางน้ำเข้าออกคนละด้าน มีเครื่องเพิ่มอากาศและพัดน้ำ เพื่อช่วยให้มีการหมุนเวียนได้ดีขึ้น ไม่ขุดแบบขาวัง แต่ขุดเป็นบ่อพื้นราบตลอดทั้งบ่อ กุ้งสามารถใช้พื้นที่ทุกตารางนิ้ว มีลานลาดชันลงบริเวณทางน้ำเข้าออก เพื่อสะดวกในการจับกุ้ง มีการถ่ายเปลี่ยนน้ำทุกวัน วันละ 20-50 % กำจัดศัตรูกุ้ง ควบคุมโรค อัตราการปล่อยกุ้ง 20-30 ตัวต่อตารางเมตร ใช้เวลาเลี้ยงนาน 3-5 เดือน ผลผลิตสูงมากประมาณ 1000-2000 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี

จะเห็นได้ว่าลักษณะสำคัญที่แตกต่างกันระหว่างการเลี้ยงทั้ง 3 รูปแบบ ได้แก่ อัตราการปล่อยลูกกุ้ง การควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยง และชนิดอาหารที่ใช้ในการเลี้ยง

2.3 อาหารที่ใช้เลี้ยงกุ้งกุลาดำ

แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่คืออาหารธรรมชาติ กับ อาหารเสริมหรืออาหารสมทบ

2.3.1 อาหารธรรมชาติ เป็นอาหารที่อยู่ในน้ำทะเล มักเป็นพวกแพลงค์ตอนพืชต่างๆ เช่น Chaetoceros sp., Skeletonema sp., และ Tetraselmis sp.กับแพลงค์ตอนสัตว์ เช่น โรติเฟอร์ (Rotifer) และ ไรน้ำเค็ม (Artimia) รวมถึงสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ ที่กุ้งสามารถจับกินได้ อาหารธรรมชาติจะมีมาก หรือน้อยขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของดินและน้ำ อาหารชนิดนี้โดยทั่วไปใช้กับการเลี้ยงกุ้งแบบธรรมชาติ และแบบกึ่งพัฒนา (6)

2.3.2 อาหารเสริมหรืออาหารสมทบ ได้มีการแบ่งอาหารที่เสริมหรือสมทบกับอาหารธรรมชาติออกเป็น 3 ชนิด (4) ได้แก่อาหารสด ปัจจุบันนิยมใช้หอยสองฝา เช่น หอยกระพง หอยลาย ปลาเป็ด เช่น ปลาข้างเหลือง ปลาหลังเขียว เนื้อมะพร้าว และ

เคย โดยนำอาหารสดเหล่านี้มาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดอาหารหรือสับให้เป็นชิ้นก่อนหว่านให้กุ้งกินทั่วบ่อหรืออาจจะหว่านไว้บนยอขนาดเล็กให้กุ้งว่ายเข้ามากิน ข้อดีของอาหารสดได้แก่ ปริมาณการบริโภคถ้าได้อาหารที่ความสดจริง กุ้งจะชอบกินมากกว่าเพราะมีกลิ่นรสคาวและสารอาหารจำเป็นบางอย่างเช่นโปรตีน วิตามินไม่ถูกทำลายในระหว่างกระบวนการผลิต และสุดท้ายถ้าให้ในปริมาณพอเหมาะจะเร่งให้เกิดอาหารธรรมชาติ เนื่องจากทำให้เกิดสารอาหารสำหรับการเจริญของอาหารธรรมชาติที่มีอยู่ในน้ำ ส่วนข้อเสีย ได้แก่ คุณภาพน้ำในบ่อเสียเร็วถ้าให้ในปริมาณมากเกินไป ส่วนใหญ่มีปริมาณและองค์ประกอบของอาหารไม่แน่นอนขึ้นกับชนิด และความสดของอาหารมีโอกาสที่จะเป็นตัวนำเชื้อโรคลงสู่บ่อเลี้ยง นอกจากนั้นอัตราแลกเนื้อไม่แน่นอน เก็บรักษายาก อาหารผสมสด เป็นอาหารที่เตรียมจากการผสมปลาสด หอยสดบดกับวัตถุดิบอาหารแห้งอย่างอื่น เช่น รำ ปลายข้าว กากถั่วเหลือง อาจมีการใช้สารเชื่อมในการช่วยการยึดเกาะของอาหารแล้วอัดเม็ดโดยใช้เครื่องบดอัดที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นหว่านให้กุ้งกินทั้งบ่อในรูปเม็ดเปียก ข้อดีของอาหารผสมสด ได้แก่ ผลิตง่ายใช้เพียงเครื่องบดอาหารแบบธรรมดา กุ้งชอบกินมากกว่าอาหารแห้งเพราะมีกลิ่นคาวจัดกว่า และสุดท้ายถ้าผสมโดยใช้วัตถุดิบอาหารต่างๆในอัตราส่วนที่เหมาะสมจะได้อาหารที่มีคุณค่าทางอาหารสมบูรณ์ สารอาหารไม่ถูกทำลายเนื่องจากความร้อนที่ใช้ทำแห้ง ส่วนข้อเสียได้แก่ คุณภาพน้ำในบ่อเสียเร็วเช่นเดียวกับอาหารสด อาหารผสมสดที่ผลิตได้มีปริมาณความชื้นสูงจึงเสียง่ายจากเชื้อจุลินทรีย์ นอกจากนั้นยังทำให้อัตราการแลกเนื้อของกุ้งไม่แน่นอน อาหารชนิดนี้ถ้านำมาลดความชื้นโดยการทำแห้งโดยวิธีง่าย ๆ เช่น ตากแดด ก็สามารถเก็บไว้ใช้ได้นานขึ้น อาหารเสริมชนิดสุดท้ายคือ อาหารอัดเม็ดสำเร็จรูป เป็นอาหารที่มีคุณค่าโภชนาการครบถ้วน ผลิตจากวัตถุดิบอาหารหลายชนิดที่เมื่อผสมกันแล้วให้คุณค่าทางโภชนการครบถ้วนตามความต้องการของกุ้ง นอกจากนั้นยังมีการเติมวิตามินเกลือแร่ และสารอื่น ๆ เพื่อปรับและหรือรักษาคุณภาพของอาหารกุ้งไว้ ได้แก่ สารเชื่อม สารกันหืน สารกันบูด เป็นต้นบางครั้งอาจมีการเติมยาปฏิชีวนะลงไปในอาหารเพื่อฆ่าเชื้อโรคต่างๆ ที่เกิดกับกุ้ง ในปัจจุบันมีผู้ผลิตจำหน่ายในระดับอุตสาหกรรมในประเทศไทยหลายรายด้วยกัน ข้อดีของอาหารอัดเม็ดสำเร็จรูปได้แก่ ลดปัญหาด้านการเกิดน้ำเสียในบ่อเลี้ยง ใช้สะดวกเก็บได้นาน และอัตราแลกเนื้อค่อนข้างแน่นอน ทำให้ผู้เลี้ยงสามารถควบคุมผลผลิตกุ้งได้ง่าย นอกจากนั้นสามารถตรวจวิเคราะห์เพื่อควบคุมคุณภาพให้สม่ำเสมอได้ และสามารถผสมยาปฏิชีวนะหรือสารเคมีต่าง ๆ ได้ตามความต้องการลงในอาหารและสุดท้าย

อัตราการนำเชื้อโรคลงสู่บ่อเลี้ยงต่ำ ส่วนข้อเสีย คือกุ้งชอบกินน้อยกว่าอาหารสดเนื่องจากกลิ่นรสเปลี่ยนแปลงจากกระบวนการผลิตและมีราคาแพง

2.4 ความต้องการสารอาหารของกุ้งกุลาดำวัยรุ่น

สารอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตและการรอดชีวิตของกุ้งกุลาดำวัยรุ่น ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน เส้นใย เกลือแร่ และวิตามิน

โปรตีนเป็นสารอาหารที่กุ้งต้องการตลอดชีวิตเพื่อดำรงชีพเจริญเติบโตและสืบพันธุ์ (8) ความต้องการโปรตีนของกุ้งกุลาดำ ขึ้นกับขนาดหรืออายุและรูปแบบการเลี้ยง (9) ปริมาณโปรตีนเหมาะสมที่กุ้งกุลาดำวัยรุ่นต้องการคือ 40 % ที่ระดับโปรตีนนี้จะทำให้กุ้งมีอัตราการเจริญเติบโต อัตราการแลกเนื้อ (feed conversion rate) Protein Efficiency Ratio (PER) และอัตรารอดสูงสุด (10) กรดอะมิโนที่จำเป็นต้องมีในอาหารกุ้งมี 10 ชนิดคือ arginine, histidine, isoleucine, leucine, lysine, methionine, phenyalanine, threonine, tryptophan และ valine (11) เนื่องจากแหล่งโปรตีนแต่ละชนิดมีส่วนประกอบและปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นแตกต่างกัน ในการผลิตอาหารจึงต้องผสมโปรตีนจากแหล่งต่าง ๆ ในสัดส่วนที่เหมาะสมพบว่า glutamic acid, glycine, taurine และ betaine เป็นกรดอะมิโนที่มีสมบัติช่วยกระตุ้นให้กุ้งอยากกินอาหารเนื่องจาก chemoreceptor บริเวณหนวด กรี และแพนหางของกุ้งจะมีความไวต่อกลิ่นของกรดอะมิโนเหล่านี้ (12)

แหล่งโปรตีนสำหรับอาหารกุ้งแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ โปรตีนจากพืช โปรตีนจากสัตว์ และโปรตีนจากจุลินทรีย์ ชนิดของโปรตีนจากสัตว์ที่สำคัญได้จากทั้งสัตว์น้ำและสัตว์บก โปรตีนจากสัตว์น้ำได้แก่ ปลาป่นซึ่งมีปริมาณโปรตีน 50-65 % (13) ระดับของปลาป่นที่ใช้ในการผลิตอาหารกุ้งเชิงการค้าอยู่ในช่วง 10-40 % ถูกจำกัดปริมาณการใช้โดยต้นทุน หัวและเปลือกกุ้งป่นจะมีปริมาณโปรตีน 20-50 % ระดับของหัวและเปลือกกุ้งป่นที่ใช้ในการผลิตอาหารกุ้งเชิงการค้าอยู่ในช่วง 5-15 % ถูกจำกัดโดยปริมาณเส้นใย ปลาหมึกป่นถือว่าเป็นวัตถุดิบอาหารกุ้งที่ดีที่สุด เพราะว่ามี unknown growth factor จำพวกเป็ปไทด์สายสั้น ๆ ซึ่งเป็นตัวช่วยให้กุ้งย่อยอาหารได้ดีขึ้น และยังมีสารช่วยดึงดูดกุ้งให้เข้ามากินอาหาร ระดับการใช้ปลาหมึกป่นในการผลิตอาหารกุ้งเชิงการค้าอยู่ในช่วง 2-10 % ถูกจำกัดโดยต้นทุนและ availability (14) แหล่งโปรตีนจากสัตว์บกที่สำคัญ

ได้แก่ เนื้อปนและกระดูกปน ซึ่งมีปริมาณโปรตีนประมาณ 50 % โปรตีนชนิดนี้ไม่ควรใช้ในสูตรอาหารเกิน 15 % เพราะจะทำให้อาหารที่ได้มีปริมาณเกลือแร่สูงเกินไป (15) เลือดปนก็เป็นแหล่งโปรตีนที่ดีอีกอันหนึ่ง พบว่าสามารถใช้เลือดปนแทนโปรตีนจากแหล่งทะเลได้ในการผลิตอาหารเลี้ยงกุ้ง P. vannamei ขนาด 3-4 กรัม (16) แหล่งโปรตีนที่ดีอีกชนิดหนึ่งได้แก่หางนมผง ซึ่งมีกรดอะมิโนครบถ้วนตามความต้องการของกุ้งทั้งชนิดและปริมาณ (9) โปรตีนจากพืชที่ใช้มากที่สุดในอาหารกุ้งได้แก่ กากถั่วเหลือง ได้มีการทดลองใช้กากถั่วเหลืองทดแทนปลาป่นในปริมาณ 35 % ในสูตรอาหารที่ใช้ปลาป่น 16 % จะทำให้อาหารที่ผลิตได้มีโปรตีน 40 % ซึ่งเป็นปริมาณโปรตีนที่ให้อัตรารอดสูงสุด(17) นอกจากกากถั่วเหลืองแล้วใบกระถินป่นก็อาจใช้เป็นแหล่งโปรตีนได้ในใบกระถินป่นมีโปรตีน 20 % แต่ในการใช้สูตรอาหารควรใช้ไม่เกิน 30 % ของปริมาณโปรตีนทั้งหมดเนื่องจากใบกระถินป่นมี xanthophyll ในปริมาณค่อนข้างสูง ถ้าใช้มากเกินไปจะทำให้กุ้งมีสีผิดปกติ (18) ปัจจุบันยังมีการทดลองใช้ cow pea และ rice bean เป็นแหล่งโปรตีนในอาหาร สำหรับกุ้งกุลาดำวัยรุ่น ปรากฏว่า cow pea ที่เอาเปลือกออกแล้วทำให้กุ้งเจริญเติบโตและมีอัตราการรอดดีที่สุด (19) ส่วนโปรตีนจากจุลินทรีย์ที่นิยมใช้คือโปรตีนจากยีสต์เพราะนอกจากเป็นแหล่งโปรตีนที่ดีแล้ว ยังมีกลิ่นดึงดูดให้กุ้งเข้ามากินอาหารและมีวิตามินบีอีกด้วย (8)

คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานที่ราคาถูกที่สุดสำหรับกุ้ง ได้มีการศึกษาความต้องการสารคาร์โบไฮเดรตของกุ้งกุลาดำวัยรุ่น โดยแปรชนิดและปริมาณสารคาร์โบไฮเดรตในสูตรอาหาร (ที่มีโปรตีน 40 % และมีไขมัน 10 % เท่ากัน) เป็น trehalose, sucrose และ glucose ที่ระดับ 10, 20 และ 30 % พบว่าเมื่อใช้ trehalose 20 % กุ้งมีอัตราเพิ่มน้ำหนักสูงสุด และอาหารที่ประกอบด้วย trehalose และ sucrose ให้อัตราการเจริญและอัตราการรอดมากกว่าที่มี glucose เป็นองค์ประกอบ (20) และยังมีการศึกษาหา apparent digestability ของอาหารกุ้งซึ่งมีแป้งขนมปังที่ผ่านการทำให้สุกแล้วเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตในสูตรอาหารที่ระดับ 5, 10, 25 และ 35 % พบว่าไม่มีความแตกต่างในเรื่อง protein และ fat apparent digestability แต่ dry matter digestability และ ปริมาณไขมันในซากกุ้งลดลง สำหรับอัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอด และอัตราแลกเนื้อ ไม่แตกต่างกัน แต่จะต่ำสุดที่ระดับคาร์โบไฮเดรต 35 % (21)

กุ้งกุลาดำวัยรุ่นต้องการปริมาณไขมันตั้งแต่ 5-12 % (22,23)ระดับไขมันที่แนะนำสำหรับการผลิตอาหารกุ้งควรอยู่ในช่วง 6-7.5 % และไม่ควรเกิน 10 % (9) กรดไขมันที่กุ้งต้องการส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว (highly unsaturated fatty acid) เช่น linolenic acid, linoleic acid, eicosapentaenoic acid (EPA) (14) และ decosahexaenoic acid (DHA)(24) และยังมีรายงานว่า DHA เป็นกรดไขมันจำเป็นที่มีประสิทธิภาพกว่า linoleic acid และ linolenic acid (25) ได้มีการศึกษาเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มน้ำหนัก อัตราการแลกเนื้อของกุ้ง P. japonicus ที่เลี้ยงด้วยอาหาร 2 ชนิดซึ่งมีการเติม soybean lecithin 3 % และไม่เติมพบว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารชนิดหลังมีอัตราเพิ่มน้ำหนัก และอัตราการแลกเนื้อต่ำ เมื่อวิเคราะห์เนื้อกุ้งที่กินอาหารชนิดหลัง ปรากฏว่ามีปริมาณ phospholipids ต่ำกว่าจึงสรุปว่ากุ้งวัยรุ่นชนิดนี้ต้องการ phospholipids เพื่อการเจริญที่ดี (26) สำหรับกุ้งกุลาดำวัยรุ่นมีผู้รายงานว่าต้องการ soybean lecithin ในอาหารประมาณ 2 % (27) แหล่งของ lecithin อื่นที่ใช้กับกุ้งได้ ได้แก่ lecithin จากไข่ปลา น้ำมันปลาหมึก น้ำมันกุ้ง และน้ำมันหอย ไขมันอีกประเภทที่กุ้งต้องการได้แก่ cholesterol ซึ่งเป็นส่วนประกอบของฮอร์โมนหลายชนิด ควรมีอยู่ในสูตรอาหารประมาณ 5-30 % ของไขมันทั้งหมดในสูตร (9) หรือ 0.3-0.5 % ของส่วนผสมทั้งหมด (8)

เส้นใยหมายถึงส่วนประกอบของ cellulose, hemicellulose, lignin, pentosan และส่วนประกอบต่าง ๆ ที่กุ้งไม่สามารถย่อยได้ เส้นใยมีหน้าที่ช่วยให้อาหารที่กุ้งกินผ่านลำไส้กุ้งได้ง่ายขึ้น เส้นใยควรมีในสูตรอาหารไม่เกิน 4 % เพราะถ้ามีเส้นใยปริมาณสูงจะเพิ่มอุจจาระของกุ้ง และจะทำให้น้ำในบ่อเสีย (14)

เกลือแร่มีหน้าที่ทั่วไป คือเป็นส่วนประกอบของเปลือก ทำให้แรงดันออสโมติกในตัวกุ้งสมดุลย์ เป็นส่วนประกอบโครงร่างของเนื้อเยื่อ ช่วยในการส่งกระแสประสาทและเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของ enzymes วิตามิน ฮอร์โมน เม็ดสี และยังเป็น cofactor สำหรับปฏิกิริยาต่าง ๆ (14) เกลือแร่ที่กุ้งต้องการแบ่งเป็น 2 ประเภทคือเกลือแร่หลัก ได้แก่ Ca, P, K, Mg, Na, Cl และ S เกลือแร่รองได้แก่ Fe, Mn, Zn, I, Co, Cu และ Se เกลือแร่อื่น ๆ ที่มีรายงานว่ากุ้งอาจต้องการได้แก่ Ni, F, V, Cr, Mo

และ Si เกลือแร่ที่ใช้ในอาหารกุ้งอาจรวมอยู่ในลักษณะขององค์ประกอบของวัตถุดิบหลักที่ใช้ผลิตอาหาร หรืออาจเสริมโดยการเติมเกลือแร่ผสม เช่น dicalcium phosphate หรือ monocalcium phosphate (8)

หน้าที่และปริมาณความต้องการเกลือแร่แต่ละชนิด มีดังต่อไปนี้

calcium (Ca) เป็นส่วนประกอบหลักของ exoskeleton มีบทบาทสำคัญในการแข็งตัวของเลือด กระตุ้นการทำงานของ enzymes ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อและ cell permeability นอกจากนั้นยังเชื่อว่ามีความสำคัญต่อการดูดซึม vitamin B12 ปริมาณ Ca ในอาหารกุ้งจำเป็นต้องทำให้สัดส่วนของ Ca:P อยู่ในช่วง 1:1 ถึง 1.5:1 แต่ไม่ควรมีอยู่ในสูตรอาหารเกิน 2.8 % (14)

Phosphorus (P) มีความจำเป็นในการสร้าง exoskeleton เป็นส่วนประกอบของ phospholipids, nucleic acids, phosphoproteins, ATP และ coenzyme นอกจากนี้ inorganic phosphate ยังเป็นตัวควบคุม pH ของของเหลวในและนอกเซล ปริมาณความต้องการของกุ้งคือ 0.9 % ปริมาณที่แนะนำให้ใส่ในสูตรอาหารคือ 1.8 % (14)

Magnesium (Mg) มีความจำเป็นในการสร้าง exoskeleton เป็นส่วนประกอบของ enzymes และจำเป็นต่อกระบวนการทาง enzymes หลายชนิดเช่น กระบวนการทาง enzymes ของโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต กล้ามเนื้อและเส้นประสาท และ osmoregulation ปริมาณที่แนะนำให้ใช้ในสูตรอาหารคือ 0.2 % (14)

Sodium (Na), Potassium (K) และ Chlorine (Cl) เป็นส่วนประกอบของของเหลวและเนื้อเยื่ออ่อน ๆ มีบทบาทสำคัญในการควบคุมแรงดันออสโมติก ความเป็นกรดด่าง และ กระบวนการ metabolism ของน้ำปริมาณที่ใช้ในสูตรอาหารของ Na และ K คือ 0.6 % และ 0.9 % ตามลำดับ ส่วน Cl ยังไม่มีการกำหนดนอกจากนั้นอาจเติมเกลือ (NaCl) ในปริมาณ 0.2 % เพื่อเป็น flavor enhancer ในสูตรอาหารโดยเฉพาะสูตรอาหารที่มีวัตถุดิบพืชเป็นองค์ประกอบสูง ๆ (14)

Sulfer (S) เป็นส่วนประกอบของกรดอะมิโน methionine และ cystine และยังเป็นส่วนประกอบของ glutathione, taurine, heparine และ chondroitin sulfate ปริมาณที่แนะนำให้มีในสูตรอาหารยังไม่มีการกำหนด (14)

Iron (Fe) เป็นสารอาหารที่จำเป็นใน enzymes หลายชนิดได้แก่ cytochromes, catalases, peroxidases, oxidases และ dehydrogenases ปริมาณที่แนะนำให้มีในสูตรอาหาร คือ 300 ppm. (14)

Copper (Cu) ทำหน้าที่ในระบบ oxidation - reduction enzymes และ เป็นส่วนประกอบของ hemocyanin ซึ่งเป็นตัวนำพาออกซิเจนในกุ้ง ปริมาณที่แนะนำให้มีในสูตรอาหารคือ 25 ppm. (14)

Zinc (Zn) เป็นส่วนประกอบของ metalloenzymes มากกว่า 80 ชนิด และยังเป็น cofactor ในระบบ enzymes อีกด้วย ปริมาณที่แนะนำให้ใช้ในสูตรอาหาร คือ 110 ppm. (14)

Manganese (Mn) ทำหน้าที่เป็น cofactor ของ enzyme phosphate transferases, dehydrogenases, alkaline phosphatases, arginases และ hexokinase ปริมาณที่แนะนำให้ใช้ในสูตรอาหาร คือ 20 ppm. (14)

Selenium (Se) เป็นส่วนประกอบของ enzyme glutathione peroxidase ซึ่งมีหน้าที่ป้องกันเนื้อเยื่อ และ membrane จากปฏิกิริยา oxidation ปริมาณที่แนะนำให้ใช้ในสูตรอาหารคือ 1.0 ppm.(14)

Cobalt (Co) เป็นส่วนประกอบสำคัญของ vitamin B12 ปริมาณที่แนะนำให้ใช้ในสูตรอาหารคือ 10 ppm. (14)

วิตามินเป็นสารอาหารที่กุ้งต้องการในปริมาณน้อย ใช้ช่วยในการเจริญเติบโต ช่วยควบคุมการทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ป้องกันและต้านทานโรค มักเติมลงในสูตรอาหารในรูปวิตามินผสม โดยทั่วไปกุ้งวัยรุ่นต้องการวิตามินทั้งสิ้นรวม 15 ชนิด (8,14)

หน้าที่และปริมาณความต้องการของวิตามินแต่ละชนิด มีดังต่อไปนี้

Thiamin (B1) ทำหน้าที่เป็น coenzyme ควบคุม metabolism ของคาร์โบไฮเดรต ปริมาณที่แนะนำให้ใช้ในสูตรอาหารคือ 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร (14)

Riboflavin (B2) ทำหน้าที่เป็น coenzyme flavin mono nucleotide (FMN) และ flavin adenine dinucleotide (FAD) ปริมาณที่แนะนำให้ใช้ในสูตรอาหารคือ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร (14)

Pyridoxine (B6) ทำหน้าที่เป็น coenzyme ในหลายปฏิกิริยา ปริมาณที่แนะนำให้ใช้ในสูตรอาหาร คือ 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร (14)

Pantothenic acid เป็นส่วนประกอบของ coenzyme A ในปฏิกิริยาเกี่ยวข้องกับไขมันต่างๆ ปริมาณที่แนะนำให้ใช้ในสูตรอาหารคือ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร (14)

Niacin หรือ nicotinic acid เป็นส่วนประกอบ coenzyme nicotinamide adenine dinucleotide (NAD) และ nicotinamide adenine dinucleotide phosphate (NADP) ปริมาณที่แนะนำให้ใช้ในสูตรอาหาร คือ 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร (14)

Biotin เป็นส่วนประกอบของ enzymes ในปฏิกิริยาเกี่ยวข้องกับคาร์โบไฮเดรต ปริมาณที่แนะนำให้ใช้ในสูตรอาหารคือ 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร (14)

Inositol ทำหน้าที่เป็น growth factor และเป็นส่วนประกอบของ inositol phosphoglycerides และ inositol phospholipids ปริมาณที่แนะนำให้ใช้ในสูตรอาหาร คือ 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร (14)

Choline เป็นส่วนประกอบสำคัญ phospholipids และ acetycholine ปริมาณที่แนะนำให้ใช้ในสูตรอาหาร คือ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร (14)

Cyanocobalamine (B12) เป็นส่วนประกอบของ cobarnide enzymes ปริมาณที่แนะนำให้ใช้ในสูตรอาหารคือ 0.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร (14)

Ascorbic acid มีบทบาทสำคัญในการสร้าง collagen เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเนื้อเยื่อ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็น antioxidant ในอาหารอีกด้วยปริมาณวิตามิน C ที่กุ้งต้องการอยู่ในช่วง 100-200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหารแต่ปริมาณที่แนะนำให้ใส่ในอาหารในรูปของวิตามิน C coat และอนุพันธ์ของวิตามิน C ที่คงตัว คือ 1200 และ 250 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหารตามลำดับ (14)

Vitamin A มีหน้าที่ขนส่ง calcium ผ่าน membrane ต่าง ๆ นอกจากนี้ยังสำคัญต่อระบบสืบพันธุ์ และการพัฒนาตัวอ่อนปริมาณที่แนะนำให้ใช้ในสูตรอาหารคือ 15000 IU ต่อกิโลกรัมอาหาร (14)

Vitamin D ทั้งวิตามิน D_2 และ D_3 มีหน้าที่ในระบบ metabolism ของ Ca และ P ปริมาณที่แนะนำให้ใช้ในสูตรอาหาร คือ 7500 IU ต่อกิโลกรัมอาหาร (14)

Vitamin E มีหน้าที่ป้องกันไขมันและ membrane จากปฏิกิริยา oxidation ปริมาณที่แนะนำให้ใช้ในสูตรอาหารคือ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร (14)

Vitamin K มีบทบาทสำคัญในการแข็งตัวของเลือด ปริมาณที่แนะนำให้ใช้ในสูตรอาหารคือ 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร (14)

2.5 อาหารอัดเม็ดสำหรับกุ้งวัยรุ่น

2.5.1 ส่วนประกอบ

ปลาป่นและผลิตผลพลอยได้ ปลาป่นได้จากการทำปลาให้สุกด้วยไอน้ำแล้วทำให้แห้ง ปลาป่นคุณภาพดีเป็นพวกที่ทำแห้งด้วยสุญญากาศและไอน้ำ กุ้งชอบกินปลาป่นมาก เพราะมีกลิ่นซึ่งเป็น attractant สำหรับกุ้งโดยตรง ปลาป่นขาวจะมีคุณภาพดีกว่าปลาป่นสีน้ำตาล เนื่องจากมีโปรตีนสูงกว่าและไขมันต่ำกว่า นอกจากนั้นยังสกัดสาร anti-nutritional factor ออกแล้วปลาป่นควรมีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วง 50-60 % (14) ความสดของวัตถุดิบและอุณหภูมิในการผลิตปลาป่นมีผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้งมีรายงานว่ากุ้งที่กินอาหารที่มีส่วนประกอบเป็นปลาป่นที่ทำจากปลาที่สดจะมีการเจริญเติบโตดีกว่า ส่วนปลาป่นที่ใช้อุณหภูมิทำแห้งต่ำจะทำให้ปลาแซลมอนเจริญเติบโตดีกว่าปลาป่นที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันไม่ให้น้ำในบ่อเลี้ยงเสีย เพราะสัตว์น้ำสามารถใช้ไนโตรเจนในปลาป่นชนิดนี้ได้ดีกว่า (28) ผลิตภัณฑ์ปลาชนิดอื่น ที่สามารถใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารกุ้งได้แก่ ปลาสด, fish protein concentrate, fish liver meal, condensed fish soluble, dried fish soluble และ fish silage (14)

ปลาหมึกป่นและผลิตผลพลอยได้ เป็นส่วนประกอบของอาหารกุ้งที่ดีที่สุด เพราะมี unknown growth factor พวก peptide สายสั้นๆ ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยอาหารของกุ้งจึงช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของกุ้ง นอกจากนี้ปลาหมึกป่นยังเป็น attractant ที่ดีเลิศปลาหมึกป่นควรมีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วง 35-40 % ไขมัน 5-15 % (14) อุชุกร (29) ได้นำปลาหมึกป่นทดแทนปลาป่นในการผลิตอาหารสำหรับกุ้งกุลาดำขนาด P_{15} ปรากฏว่าอาหารกุ้งกุลาดำที่ใช้ปลาป่นและปลาหมึกป่นในอัตราส่วน 1:1 ให้การเจริญเติบโตและผลผลิตสูงสุด อัตราแลกเนื้อและอัตราการตายต่ำสุด

ผลิตภัณฑ์ปลาหมึกชนิดอื่นที่สามารถใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารกุ้งได้แก่ squid liver meal, squid viscera meal, squid mantle meal และ squid soluble (14) Cruz-Suarez, Guillaume และ Wormhoudt (30) ได้ใช้โปรตีนสกัดจากปลาหมึก (SPF) แทนที่จากปลาในอาหารกุ้ง Penaeus japonicus วัยรุ่นในปริมาณ 16 % พบว่า SPF ปรับปรุงในเรื่องการเจริญเติบโต และ feed conversion rate

กากกุ้งป่นและผลิตผลพลอยได้ กากกุ้งป่นได้จากการบดเศษกุ้งส่วนหัวเปลือก และหรือตัวกุ้ง ซึ่งผ่านการทำแห้งด้วยไอน้ำหรือตากแดด กากกุ้งป่นจะเป็นแหล่งที่ดีของ เกลือแร่ chitin, cholesterol, phospholipids และ fatty acids กากกุ้งป่น มีโปรตีนอย่างต่ำ 32 % ไขมัน 4 % fiber สูงสุดไม่เกิน 14 % ผลิตภัณฑ์กุ้งชนิดอื่น ๆ ที่สามารถใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารกุ้งได้แก่ หัวกุ้งป่น เปลือกกุ้งป่น, shrimp waste meal และ extracted shrimp head solubles (8,14)

กากถั่วเหลืองได้จากถั่วเหลืองที่ผ่านการสกัดเอาน้ำมันออกแล้ว จัดเป็น แหล่งโปรตีนที่ให้คุณค่าทางโภชนาการดีที่สุดในบรรดาแหล่งโปรตีนจากพืช กากถั่วเหลือง ควรมีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วง 44-47 % (8) Piedad-Pascual, Cruz และ Sumalangcay (31) ได้ทดลองแปรปริมาณกากถั่วเหลืองที่ผ่านการสกัดน้ำมัน (DSM) ในสูตรอาหารกุ้งที่ระดับ 15, 25, 35, 45 และ 50 % เลี้ยงกุ้งที่อัตราการปล่อย 10 ตัว/ตารางเมตร และ 20 ตัว/ตารางเมตร พบว่าไม่มีความแตกต่างในเรื่องอัตราการ เจริญเติบโต และอัตราการรอดของกุ้งที่ทุกระดับ DSM และทุกอัตราการปล่อย แต่แนะนำ ให้ใช้ DSM ในสูตร 35 % ร่วมกับปลาป่น 16 % ผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองชนิดอื่นที่สามารถใช้ เป็นส่วนประกอบในอาหารกุ้งได้แก่ full fat soybean meal, soybean cake และ soy protein concentrate (14) Lim และ Dominy (32) ได้แทนที่โปรตีนจากสัตว์ ด้วยกากถั่วเหลืองที่ยังไม่ผ่านการสกัดน้ำมัน (FSM) ในระดับต่าง ๆ ในอาหารกุ้ง P. vannamai พบว่าเมื่อปริมาณ FSM เพิ่มขึ้นเป็น 42 % ทำให้อัตราการเจริญเติบโต อัตราการกินอาหาร อัตราแลกเนื้อ PER, apparent protein digestability ของ กุ้งลดลงและยังทำให้ค่าความคงตัวของอาหารในน้ำลดลงอีกด้วย

ผลิตภัณฑ์ข้าวสาลี มักจะเติมเป็นสารเชื่อม และ filler ในอาหารกุ้ง ผลิตภัณฑ์ข้าวสาลีที่นิยมใช้เป็นสารเชื่อมคือ wheat gluten ซึ่งนอกจากเป็นสารเชื่อมที่ดีแล้วยังเป็นแหล่งโปรตีนที่ดีอีกด้วยคือ มีปริมาณโปรตีนอย่างต่ำ 60 % (14) ส่วนแป้งสาลีก็นิยมใช้เป็นสารเชื่อมเช่นกัน เพราะราคาถูก ความสามารถในการยึดเกาะอนุภาคอาหารขึ้นกับปริมาณ gluten แป้งสาลีประกอบด้วยโปรตีนอย่างต่ำ 14 % ในการผลิตอาหารกุ้งเชิงการค้ามักใช้ wheat gluten 0-5 % ส่วนแป้งสาลี 15 - 30 % ผลิตภัณฑ์ข้าวสาลีชนิดอื่นที่สามารถใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารกุ้งได้แก่ รำข้าวสาลี wheat pollards และ wheat middling (14) Akiyama และ FSGP Aquaculture Research (33) ได้ผลิตอาหารเลี้ยงกุลาดำโดยใช้โปรตีนจากกากถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์ข้าวสาลี ทดแทนโปรตีนจากปลาป่น ปลาหมึกป่น และกากกุ้งป่น ในสัดส่วน 72.2 % และ 50.3 % ของปริมาณโปรตีนทั้งหมดในสูตรอาหาร หลังจากเลี้ยงกุ้งเป็นเวลา 42 วันพบว่าไม่มีความแตกต่างในเรื่องอัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอด และ FCR ระหว่างอาหารที่มีพืชเป็นองค์ประกอบกับอาหารที่มีสัตว์เป็นองค์ประกอบ

ผลิตภัณฑ์สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังอื่น ๆ เช่น crab meal, crawfish meal และ clam meal ประกอบด้วย cholesterol, phospholipids และ fatty acid ส่วนประกอบเหล่านี้เป็น attractants ที่ดี แต่การใช้ผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะถูกจำกัดด้วย availability (14)

เลือดป่นได้จากการนำเลือดมาทำแห้งด้วยวิธีต่าง ๆ แล้วบดเป็นผงเลือดป่นเป็นแหล่ง protein ที่เข้มข้นคือมีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วง 75-85 % แต่มีคุณภาพต่ำในเรื่องการย่อยจึงไม่นิยมใช้ในอาหารกุ้งเกิน 7 % (8,14) Marchiori และคณะ (34) พบว่าอาหารกุ้ง Penaeus paulensis ที่ใช้เลือดป่นแทนปลาป่น กากกุ้งป่น กากปูป่น กากถั่วเหลือง หรือรำข้าว จะให้การเจริญเติบโตของกุ้งที่ต่ำกว่า Dominy และ Ako (35) ได้ทดลองและสรุปว่า สามารถใช้เลือดป่นแทนแหล่งโปรตีนจากทะเลได้และยังทำให้กุ้งมีการเจริญเติบโตดีอีกด้วย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

019162

yeast เป็นสิ่งมีชีวิตเซลเดียว มีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วง 40-60 % (8) เป็นแหล่งที่ดีของ vitamin ที่เกี่ยวข้องกับ unknown growth factor ซึ่ง vitamin และ growth factor ถูกทำลายได้ยากเพราะถูก encapsulate ไว้ในเซล การใช้ยีสต์ในการผลิตอาหารกุ้งจะถูกกำจัดด้วย palatability เพราะ yeast จะทำให้อาหารมีรสขม ควรใช้ 2-5 % (14)

Feed additives เป็นสารที่ใช้ในปริมาณน้อย แต่สามารถช่วยปรับปรุง performance และ feed efficiency ของอาหารกุ้งได้ 10-25 % การใช้ feed additives ต้องคำนึงถึงการตกค้างของสาร สิ่งแวดล้อม ความปลอดภัยในการใช้ และที่สำคัญคือ ต้นทุน (14)

สารเชื่อม (pellet binders) เป็นสารเจือปนที่ใช้เพิ่มความคงตัวของอาหารเพื่อหลีกเลี่ยงการแตกตัวของอาหารในน้ำก่อนที่กุ้งจะกิน ลดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการเนื่องจากสารเชื่อมช่วยผสมวัสดุอาหารและยึดสิ่งเหล่านั้นไว้ ทำให้กุ้งได้รับสารอาหารครบตามต้องการ ลดปัญหาด้านคุณภาพน้ำ และลดการสูญเสียอนุภาคอาหารระหว่างการผลิต (8,14) สามารถแบ่งกลุ่มของสารเชื่อมตามแหล่งที่มาได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ กลุ่มแรกเป็นสารเชื่อมจากแร่ธาตุธรรมชาติคือ mengren earth สารเชื่อมชนิดนี้มีราคาถูกและมีประสิทธิภาพในการยึดเกาะต่ำ มักใช้ในอาหารราคาถูก ที่ต้องการความคงตัวของอาหารในน้ำต่ำ สารเชื่อมกลุ่มต่อไปเป็นสารเชื่อมจากส่วนต่าง ๆ ของพืช แบ่งออกเป็นกลุ่มย่อย ได้แก่ สารเชื่อมที่ได้จากผลิตผลและผลพลอยได้ทางการเกษตร (เช่น wheat gluten, high gluten wheat flour, tapioca flour) สารเชื่อมประเภท glue จากสาหร่ายชนิดต่าง ๆ (เช่น agar, alginate, carrageenan) สารเชื่อมจาก endosperm ของ beans (เช่น guar gum, locust bean gum) และสารเชื่อมที่ได้จากการขับสารออกจากส่วนต่าง ๆ ของพืช (เช่น arabic gum, tragacanth gum, karaya gum) สารเชื่อมกลุ่มสุดท้ายเป็นสารเชื่อมที่ได้จากการสังเคราะห์ เช่น Basfin ® (ส่วนประกอบหลักคือ urea formaldehyde) และ Aquabind ® (ส่วนประกอบหลักเป็น ethylene/vinyl acetate copolymer) (36) สารเชื่อมที่เหมาะในการทำอาหารกุ้งเพื่อการทดลอง ได้แก่ carboxy methyl cellulose, quar gum, agar

และ alginic acid (37) แต่ไม่นิยมใช้ในการผลิตอาหารกุ้งเชิงการค้าเพราะมีราคาแพง สารเชื่อมที่นิยมใช้ในการผลิตอาหารกุ้งเชิงการค้าได้แก่ wheat gluten, high gluten wheat flour, starch, gelatin, collagen, lignosulfonates สารเชื่อมที่นิยมใช้มากที่สุดคือ high gluten wheat flour เพราะนอกจากใช้เป็นสารเชื่อมที่ทำให้อาหารมีค่าความคงตัวในน้ำสูง มีราคาถูกกว่า wheat gluten แล้วยังเป็นแหล่งโปรตีนอีกด้วย (14) gelatinized starch สามารถทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมได้ดีที่ปริมาณมากกว่าหรือเท่ากับ 10 % ของสูตรอาหารข้อดีของ gelatinized starch คือเป็นแหล่งพลังงานที่ดี แต่แป้งเป็นสารพวก hygroscopics จึงดูดน้ำเข้าไว้ในตัวทำให้อาหารกุ้งมีการพองตัวและแตกตัวได้ง่าย (38) มะลิ (39) ทดลองใช้ quar gum, Basfin ® ปลายข้าวสุก ข้าวเหนียวสุก แป้งแปรสภาพ (α-starch) แป้งข้าวเหนียวเหลือง กล้วยน้ำว้า ปลายถั่วเขียว และรำถั่วเขียว ในระดับต่าง ๆ กันเป็นสารเชื่อมในอาหารกุ้ง และวัดความคงตัวของอาหารในน้ำสรุปได้ว่า Basfin ® เป็นสารเชื่อมที่ดีที่สุด ให้ความคงตัวในน้ำนานถึง 12 ชั่วโมง Basfin ® เป็นสารเชื่อมชนิดสังเคราะห์เดิมนิยมใช้มาก แต่ระยะหลังมีการศึกษาพบว่า Basfin ® อาจมีอันตรายต่อสัตว์ที่กิน (40) Heinen (41) ได้ทดลองเติมสารเชื่อม 11 ชนิดลงในอาหารอัดเม็ดทั้งเปียกและแห้งที่ระดับ 3 % พบว่าอาหารแห้งมีความคงตัวในน้ำมากกว่าอาหารเปียก แต่อย่างไรก็ตาม ไม่มีการวัดผลของสารเชื่อมต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง หลักเกณฑ์การเลือกสารเชื่อม พิจารณาถึงนิสัยการกินอาหารของกุ้ง ว่าต้องการอาหารที่มีความคงตัวในน้ำมากน้อยเพียงใด ลักษณะของสารเชื่อม ปริมาณการใช้และต้นทุน ปฏิกิริยาระหว่างสารเชื่อมกับวัสดุอาหาร (สารเชื่อมบางชนิดอาจทำลายคุณค่าทางโภชนาการของวัสดุอาหารได้) คุณค่าทางโภชนาการของสารเชื่อม ผลของสารเชื่อมต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอดของกุ้ง และผลของสารเชื่อมต่อต้นทุนการผลิตและกระบวนการผลิต (36)

สารกันหืน ใช้เพื่อป้องกันการเกิดกลิ่นหืนและการสูญเสียวิตามิน ที่ใช้มากคือ butylated hydroxy anisole (BHA), butylated hydroxytoluene (BHT) และ ethoxyquin (1,2-dihydro-6-ethoxy-2,2,4-trimethyl-quinoline) ปริมาณ BHT และ BHA สูงสุดที่ The U.S. Food and Drug Administration กำหนดคือ 0.02 % ของปริมาณไขมันในสูตรอาหารส่วน ethoxyquin ใช้ได้ไม่เกิน 150

มิลลิกรัมต่อกรัมอาหาร (14,42)

รงควัตถุ เป็นสารที่อาจให้หรือไม่ให้คุณค่าทางโภชนาการต่อกุ้ง Yamada, Tanaka และ Ito (43) ได้ทดลองให้กุ้งกินอาหารที่กิน astaxanthin, β-carotene, canthaxanthin เปรียบเทียบกับอาหารควบคุม พบว่า dietary astaxanthin เข้าอยู่ในเนื้อเยื่อกุ้งได้ดีกว่า carotenoids ตัวอื่น ๆ จึงมีการแนะนำให้เติม astaxanthin ลงในอาหาร 50 ppm. ให้กุ้งกินเป็นเวลา 6 สัปดาห์จะปรับปรุงเกี่ยวกับสี ป้องกันการเกิดกุ้งสีฟ้า (14)

attractants ได้แก่พวก free amino acid และ peptide สายสั้น ๆ ซึ่งปกติจะมีอยู่แล้วในปลาปน ปลาหมึกปน กากปูปน และพบว่ามีความเข้มข้นสูงใน dried solubilized หรือ hydrolized marine products เช่น fish soluble, squid soluble, shrimp soluble และ fish silage attractants ที่นิยมใช้มาก คือ fish soluble คือใช้ 1-5 % หรืออาจใช้ส่วนผสมของกรดอะมิโนที่สังเคราะห์ขึ้นเช่น glycine, alanine, glutamate และ betaine (14)

antibiotic ใส่เพื่อลดประชากรจุลินทรีย์ จะช่วยปรับปรุงการผลิตและประสิทธิภาพของอาหาร แต่มีความเชื่อว่าจุลินทรีย์มีส่วนสำคัญในการส่งสารอาหารต่าง ๆ ให้กุ้ง ฉะนั้นการลดปริมาณจุลินทรีย์จะเป็นการลด available nutrients และถ้าใส่ antibiotic ในอาหารที่ให้กุ้งกินทุกวัน จุลินทรีย์บางชนิดที่ทำให้เกิดโรคอาจดื้อยาได้ (14) ปัจจุบันที่นิยมใช้กันมากคือ oxytetracycline และ oxolinic acid ซึ่งมักมีปัญหาเรื่องตกค้างในเนื้อกุ้ง ฉะนั้นเกษตรกรควรหยุดให้ยาก่อนการจับกุ้งขายประมาณ 3 วัน เพราะยาปฏิชีวนะทั้ง 2 ชนิดนี้กุ้งขับออกได้หมด และการทำให้กุ้งสุกที่ 100 °c ทำให้ยาปฏิชีวนะลดลงถึง 94 % (44)

zeolite เป็นสารพวก hydrated sodium alumino silicate ซึ่งเป็นสารที่สามารถเปลี่ยนประจุโดยไม่เปลี่ยนแปลงรูปร่าง จึงมีความสามารถในการจับและขับไล่ NH_3 จากน้ำ การเติม zeolite ลงในอาหารจะทำให้แน่ใจว่าการย่อยสลายของอาหารที่กุ้งไม่กินและของเสียของกุ้งสมบูรณ์นอกจากนั้นยังเป็นแหล่งของ trace minerals มักเติม 2 % ในสูตรอาหาร หรือใช้เป็น carrier สำหรับ trace mineral premix (14)

enzymes มักเติม proteolytic enzymes และ amylolytic enzymes ลงในอาหารกุ้งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต ใช้ในปริมาณ 0.1-0.2 % ของสูตรอาหาร (14)

phytosterols เป็นพวก steroid ที่สกัดจากพืช มีหน้าที่เป็น precursor ของ cholesterol ส่วนใหญ่ใช้ในปริมาณ 0.1 % (14)

2.5.2 วิธีผลิตอาหารสำเร็จรูป

เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของอาหารกุ้งวัยรุ่นต้องเป็นเม็ดเล็กยาวหรือเป็นชิ้น มีขนาดพอเหมาะกับขนาดหรืออายุกุ้ง ประกอบด้วยวัตถุดิบอาหารที่ผ่านการบดละเอียด ขณะให้ต้องจมลงใต้ผิวน้ำ ต้องมีกลิ่นดึงดูดให้กุ้งเข้ามากินอาหาร และต้องมีความคงทนในน้ำนานพอ เพื่อให้กุ้งมีเวลาพอในการเกาะแทะอาหารกิน ถ้าอาหารแตกสลายง่ายกุ้งจะไม่ได้รับสารอาหารครบถ้วน และยังทำให้น้ำเสียเร็วอีกด้วย (6,8)

กระบวนการผลิตอาหารกุ้งขึ้นอยู่กับเครื่องมือผลิตเม็ดอาหาร โดยทั่วไปจะชั่งวัตถุดิบอาหารที่ผ่านการบดร่อนแล้วตามสูตร ผสมให้เข้ากับน้ำ และของเหลวชนิดอื่น เช่นน้ำมัน จากนั้นผ่านเข้าสู่กระบวนการอัดเม็ด โดยใช้เครื่องอัดเม็ดชนิดต่าง ๆ แล้วทำให้แห้งทิ้งให้เย็นบรรจุถุงปิดผนึก Koh (45) กล่าวถึงประโยชน์ของการอัดเม็ดอาหาร คือความร้อนและความชื้นจะเพิ่มการ gelatinization ทำให้อาหารมี digestability สูงขึ้น เป็นการทำลาย Salmonella อาหารที่เป็นเม็ดช่วยป้องกันไม่ให้กุ้งกินอาหารที่ชอบ เพิ่ม bulk density จึงง่ายแก่การขนส่ง คงสภาพทางกายภาพในสภาวะแห้ง มีความคงตัว

ในน้ำ เครื่องอัดเม็ดอาหารแบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่ เครื่องบดอาหาร เครื่อง pellet mill และเครื่อง cooker extruder

เครื่องบดอาหาร เป็นเครื่องอัดเม็ดแบบง่าย มีรูปร่างและส่วนประกอบคล้ายเครื่องบดอาหารเปียก ส่วนประกอบได้แก่ สกรู ซึ่งหมุนได้รอบแกนในท่อทรงกระบอกกลวง ด้านบนของท่อเจาะและติดตั้งกรวยสำหรับเติมวัตถุดิบ อาหารที่ผสมและปรับสภาพแล้วที่ปลายอีกข้างหนึ่งของท่อปิดด้วยแผ่นเหล็ก รูปทรงกลมซึ่งเจาะเป็นรูขนาดเท่ากับขนาดเม็ดอาหารที่ต้องการ ด้านหน้าของแผ่นเหล็กดังกล่าวอาจจะติดตั้งใบพัดสำหรับตัดอาหารที่อัดเม็ดออกมาเป็นแท่งสั้นยาวตามต้องการ เครื่องบดใช้ได้ดีเฉพาะกับวัตถุดิบที่มีความชื้นอยู่ในช่วง 35-40 % เครื่องอัดเม็ดแบบง่ายนี้มีข้อดีได้แก่ เป็นเครื่องมือราคาถูก ผลิตได้เองภายในประเทศ จึงหาซื้อได้ง่าย ราคาถูก เหมาะกับเกษตรกรที่ผลิตอาหารไว้ใช้เอง หลักการทำงานไม่ซับซ้อน และไม่มีการให้ความร้อนขณะอัดเม็ดดังนั้นการสูญเสียสารอาหารที่ไวต่อความร้อนจึงเกิดขึ้นน้อย ส่วนข้อเสียได้แก่ ข้อจำกัดเกี่ยวกับปริมาณความชื้นของวัตถุดิบผสมที่จะอัดเม็ด ไม่สามารถแปรภาวะ หรือปรับสภาพวัตถุดิบระหว่างการอัดเม็ด (6,8) Balazs, Ross และ Brooks (46) ได้ทดลองผลิตอาหารกุ้งโดยใช้เครื่องบดอาหารแล้ววัดน้ำหนักแห้งที่สูญเสียในน้ำที่เวลา 1, 3 และ 5 ชั่วโมง พบว่าการสูญเสียของอาหารขึ้นกับส่วนประกอบของอาหารและจะสูญเสียในน้ำจืดมากกว่าในน้ำทะเล และให้อัตราการเจริญเติบโตที่ดี อัตราการตายต่ำเมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่น Jayaram และ Shetty (47) ได้ผลิตอาหารปลาโดยใช้ดักแด้ตัวไหมที่ตากแห้งบดละเอียดแทนที่ปลาป่นในสูตร ผ่านการอัดเม็ดด้วยเครื่องทำเส้นบะหมี่ พบว่าอาหารสูตรนี้มีความคงตัวในน้ำสูงกว่าอาหารที่ใช้ปลาป่นที่เวลา 3, 5 และ 7 ชั่วโมง

เครื่อง pellet mill หลักการของเครื่องคือการอัดส่วนผสมต่าง ๆ ซึ่งมีลักษณะเป็นผงละเอียด ให้เกาะตัวได้แน่นด้วยแรงอัด (compression) ระหว่างอัดมีการให้ความร้อนชื้น และความดัน วัตถุดิบอาหารที่ผ่านการผสมแล้วจะถูกป้อนเข้าส่วนป้อนวัตถุดิบ ซึ่งสามารถปรับอัตราการป้อนให้สม่ำเสมอเข้าสู่ส่วนปรับสภาพ (conditioning chamber) ซึ่งภายในมีเครื่องผสมติดตั้งอยู่บริเวณด้านบนหรือด้านข้างมีช่องเปิดมากกว่า 1 ช่อง สำหรับเติมไอน้ำและของเหลวต่าง ๆ เข้าด้านใน เพื่อปรับสภาพวัตถุดิบให้เหมาะสม

สำหรับการอัดเม็ด โดยเพิ่มระดับความชื้นของวัตถุดิบจาก 15 % เป็น 18 % และอุณหภูมิ 85 °C เพื่อทำให้แป้งในสูตรเกิด gelatinization ช่วยให้อนุภาคต่าง ๆ ยึดเกาะกัน แต่ในสูตรต้องมีปริมาณแป้งเพียงพอ จากนั้นวัตถุดิบอาหารที่ผ่านการปรับสภาพเรียบร้อยแล้ว จะผ่านไปยังส่วนอัดเม็ดซึ่งประกอบด้วยแม่แบบรูปทรงกระบอก ทำด้วยโลหะมีรูเปิดให้วัตถุดิบอาหารที่ถูกลูกกลิ้งอัดผ่านออกมาได้ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเปิดต้องสัมพันธ์กับความหนาของแม่แบบ เพื่อให้ได้แรงดันที่เพียงพอที่จะอัดเม็ดอาหารให้แน่น จากนั้นเม็ดอาหารจะถูกตัดให้มีความยาวตามต้องการด้วยใบมีดที่ตั้งไว้ ข้อดีของเครื่องได้แก่ สามารถปรับภาวะวัตถุดิบอาหารให้เหมาะสมกับการอัดเม็ดได้ ส่วนข้อเสียได้แก่ สารอาหารที่ไวต่อความร้อนจะถูกทำลายและสูญเสียได้ง่ายด้วยความร้อน เช่นวิตามิน C จะสูญเสียระหว่างการอัดเม็ด 15-25 % แต่เมื่อใช้วิตามิน C ที่เคลือบด้วย ethylcellulose การสูญเสียวิตามิน C จะลดลงกว่าเดิมถึง 90 % (48) ส่วน Skelbaek และ คณะ (49) ทำการทดลองและพบว่าวิตามิน C จะสูญเสียขณะผ่านกระบวนการ pelleting 29 % ในขณะที่เคลือบด้วย polymer สังเคราะห์จะสูญเสียเพียง 19 % นอกจากนี้ Hilton, Cho และ Slinger (50) ยังได้ทำการทดลองเปรียบเทียบอาหารปลาที่ผลิตด้วยกระบวนการ steam pelleting กับกระบวนการ extrusion พบว่าวิตามิน C ในอาหารกุ้งที่ผ่านกระบวนการ pelleting จะสูญเสียน้อยกว่า แต่มีความทนทานของเม็ดอาหาร การดูดน้ำกลับ และความคงทนของอาหารในน้ำต่ำกว่า ในขณะที่คุณค่าทางโภชนาการไม่แตกต่างกัน McEllhiney อ้างถึง Smith (51) ว่ากระบวนการ pelleting อาจเพิ่มจำนวนแป้งที่ถูก gelatinization ได้ถึง 47 % ที่อุณหภูมิ 83 °C

2.5.3 การให้อาหาร

ปริมาณอาหารกุ้งที่ให้กุ้งวัยรุ่นกินในแต่ละวันถูกกำหนดโดยขนาดของกุ้ง เวลาการให้อาหาร อัตราการปล่อยกุ้ง ปริมาณของอาหารธรรมชาติในบ่อเลี้ยง และคุณภาพน้ำ สำหรับกุ้งวัยรุ่นปริมาณอาหารกุ้งที่ให้ต่อวันอยู่ในช่วง 8-12 % ของน้ำหนักกุ้ง สำหรับกุ้งที่มีขนาดน้ำหนักตัว 2-5 กรัม และให้อาหารวันละ 3 เวลา คือมื้อเช้า กลางวัน เย็น การให้อาหารให้หว่านทั่วบ่อหลังการให้ 2-3 ชั่วโมงควรตรวจสอบว่ามีอาหารเหลือหรือไม่ เหลือตรงจุดใดของบ่อ จะได้ปรับลดหรือเพิ่มอาหารสำหรับมื้อเช้าวันที่อากาศหนาวเย็น (อุณหภูมิต่ำกว่า 20 °C) ควรงดให้อาหารเช้า (8)

2.5.4 อายุการเก็บและวิธีเก็บ

อาหารอัดเม็ดสำเร็จรูปสำหรับกุ้งวัยรุ่นนั้นเมื่อผ่านขั้นตอนการผลิตแล้วต้องบรรจุในภาชนะบรรจุ ที่กันความชื้นและอากาศได้ ปิดผนึกให้สนิท เก็บในโกดังที่แห้งอากาศถ่ายเทสะดวกโดยวางบนชั้นไม้โปร่ง สูงจากพื้นประมาณ 4-5 นิ้ว (6)

ระหว่างการเก็บมีการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารดังต่อไปนี้ starch จะเปลี่ยนแปลงเป็น dextrin และ raffinose น้ำตาลจะเปลี่ยนแปลงเป็น CO_2 กับน้ำมีผลทำให้ dry matter ในอาหารลดลง crude protein ไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่ protein solubility และ protein digestability ลดลง ไขมันจะถูกออกซิไดซ์โดยทั่วไปการสูญเสียวิตามินและเกลือแร่ไม่ปรากฏ แต่จะมีการสูญเสีย tocopherols , vitamin A, vitamin D เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่น นอกจากนี้ยังมีการสูญเสียรงควัตถุ เช่น alfalfa carotene จะสูญเสีย 60-70 % หลังการเก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 เดือน (50)

อายุการเก็บของอาหารกุ้งสำเร็จรูปสำหรับกุ้ง ไม่ควรเก็บอาหารกุ้งเกิน 3 เดือนที่อุณหภูมิ 30 °C ส่วน Dela Cruz, Erazo และ Van Wormhoudt (53) ได้ทำการทดลองและพบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในการเก็บรักษาอาหารกุ้ง มีผลทำให้อัตราการเจริญ อัตราการรอด และอัตราแลกเนื้อของกุ้งกุลาดำวัยรุ่นลดลง จึงแนะนำให้เก็บอาหารกุ้งไว้ไม่เกิน 15 วันที่อุณหภูมิ 28-31 °C หรือเก็บได้ 30-45 วันที่อุณหภูมิ 10-20 °C และต้องมีการตรวจหา peroxide value ด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย