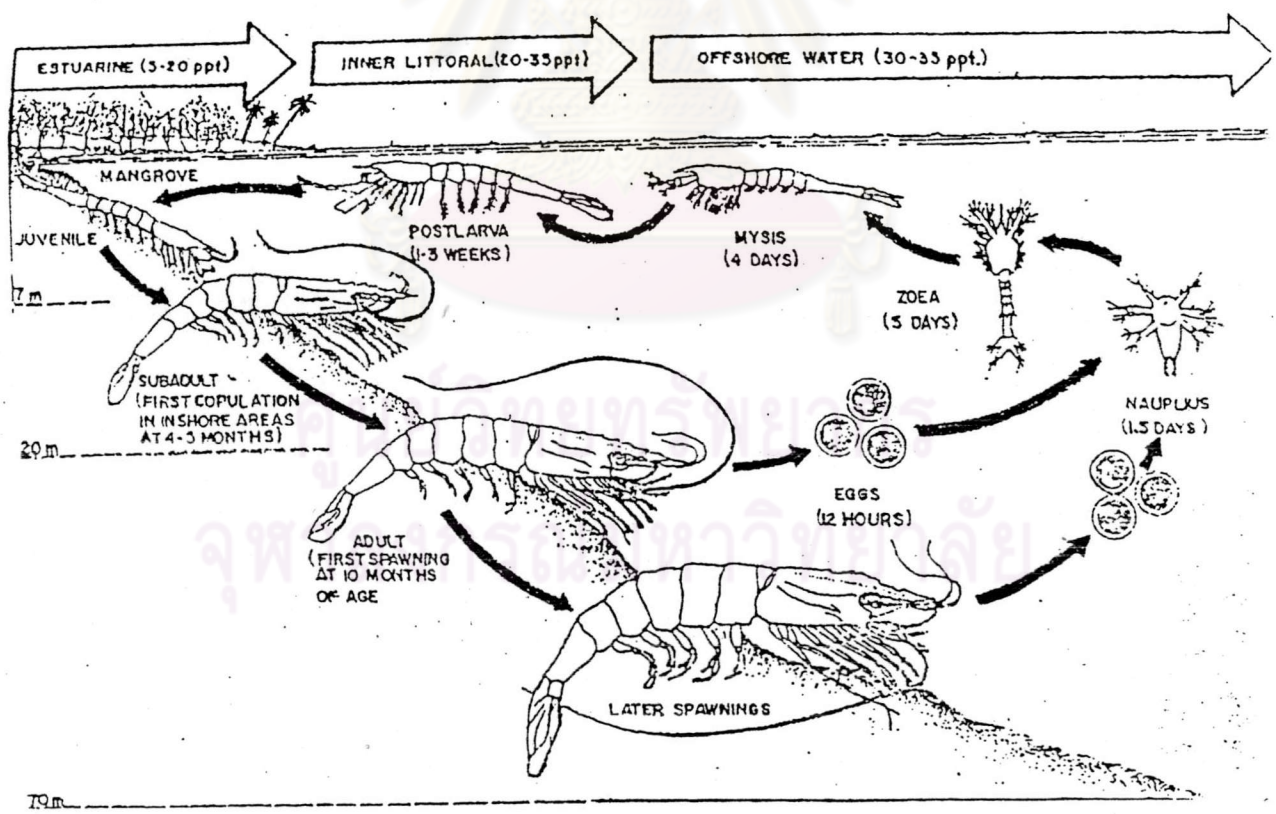
บทที่ 2
วารสารปริทัศน์

2.1 กุ้งกุลาดำ

กุ้งกุลาดำเป็นกุ้งทะเล ซึ่งมีชื่อเรียกโดยทั่วไปว่า Giant Tiger Prawn มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Penaeus monodon Fabricius เป็นกุ้งที่มีอายุประมาณ 18-24 เดือน วางไข่ในทะเลใกล้พื้นดินที่ระดับน้ำลึกประมาณ 20-70 เมตร หลังฟัก ตัวอ่อนจะค่อย ๆ เคลื่อนตัวเข้าหาชายฝั่งบริเวณป่าไม้ชายเลน เพื่อดำรงชีวิตให้เจริญเติบโตเมื่อมีอายุมากขึ้นถึงประมาณ 4 เดือน และขนาดใหญ่ขึ้นถึงระยะ subadult จึงจะค่อย ๆ เคลื่อนตัวไปในทะเลลึกเพื่อผสมพันธุ์และวางไข่ต่อไป (3) วงจรชีวิตของกุ้งกุลาดำมีดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 วงจรชีวิตกุ้งกุลาดำ (3)

2.2 การวิวัฒนาการด้านการเจริญเติบโตและการกินอาหารของกุ้งกุลาดำวัยอ่อน

ลูกกุ้งวัยอ่อนมีวิวัฒนาการรวม 4 ระยะ (3) ด้วยกันคือ

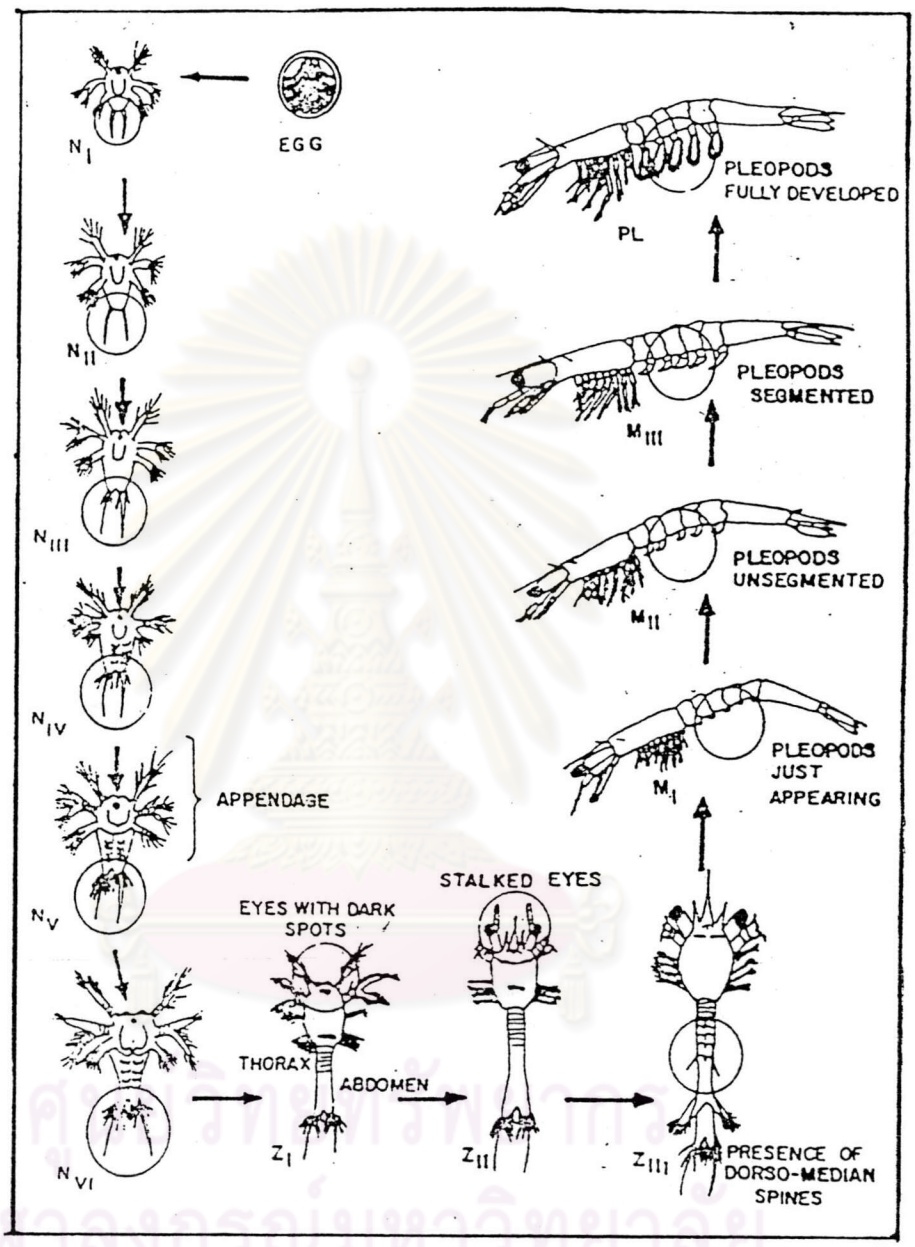
1. ลูกกุ้งวัยอ่อนระยะที่ 1 (Nauplius) เป็นลูกกุ้งที่ฟักออกเป็นตัวใหม่ ๆ ลูกกุ้งระยะนี้ยังไม่กินอาหารจากภายนอกตัว แต่จะใช้อาหารจากถุงอาหารที่ติดมากับตัว ซึ่งจะใช้หมดภายใน 36-48 ชั่วโมง และลูกกุ้งจะเจริญเป็นลูกกุ้งวัยอ่อนระยะที่ 2 ภายในระยะเวลา 45-50 ชั่วโมง มีการลอกคราบ 6 ครั้ง (N_I-N_{VI}, รูปที่ 2)

2. ลูกกุ้งวัยอ่อนระยะที่ 2 (Zoea หรือ Protozoea) ลูกกุ้งระยะนี้จะเริ่มกินอาหารจากภายนอกตัว ได้แก่ แพลงค์ตอนพืชต่าง ๆ เช่น Chaetoceros sp., Skeletonema sp. และ Tetraselmis sp. โดยใช้ระยางค์ส่วนหัวพัดโบกอาหารเข้าปาก ระยะนี้ใช้เวลา 4-5 วัน มีการลอกคราบ 3 ครั้ง ก็จะเจริญเป็นลูกกุ้งวัยอ่อนระยะที่ 3 (Z_I-Z_{III}, รูปที่ 2)

3. ลูกกุ้งวัยอ่อนระยะที่ 3 (Mysis) ลูกกุ้งระยะนี้กินแพลงค์ตอนสัตว์ เช่น โรติเฟอร์(Rotifer) และอาร์ทีเมียที่เพิ่งฟักเป็นตัวใหม่ โดยใช้ระยางค์ส่วนหัวโบกพัดและจับอาหารเข้าปาก ระยะนี้ใช้เวลา 3-4 วัน มีการลอกคราบ 3 ครั้ง แล้วเจริญเข้าสู่ระยะสุดท้าย (M_I-M_{III}, รูปที่ 2)

4. ลูกกุ้งวัยอ่อนระยะสุดท้าย (postlarva) ลูกกุ้งระยะสุดท้ายจะเปลี่ยนนิสัยมากินอาหารจำพวกเนื้อมากขึ้น โดยจะว่ายน้ำไล่จับอาหาร การนับอายุลูกกุ้งระยะสุดท้ายนั้นนับเป็นวัน เช่น Postlarva 1 วัน (P_1 หรือ PL_1, รูปที่ 2) Postlarva 2 วัน (P_{11} หรือ PL_{11}) ลูกกุ้งระยะ P1-10 จะกินอาร์ทีเมีย เมื่อเจริญขึ้นถึงระยะ P11-30 ลูกกุ้งจะกินอาร์ทีเมียและอาหารเสริมอื่น ๆ เช่น หอยสับละเอียด หลังจากนั้นลูกกุ้งก็จะเจริญเป็นกุ้งวัยรุ่น (juvenile) แต่ส่วนใหญ่ผู้เพาะลูกกุ้งจำหน่ายจะสิ้นสุดการเพาะฟักที่ P15 แล้วนำออกขายให้ผู้เพาะเลี้ยงนำไปอนุบาลและเลี้ยงต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2 วงจรชีวิตของกุ้งกุลาดำวัยอ่อน (4)

2.3 ความต้องการสารอาหารของลูกกุ้งทะเลวัยอ่อน

สารอาหารต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของลูกกุ้งวัยอ่อนมีดังต่อไปนี้ คือ

2.3.1 โปรตีนและกรดอะมิโน เป็นสารอาหารที่ให้พลังงาน ทำให้ลูกกุ้งเจริญเติบโต และซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ กรดอะมิโนที่จำเป็นสำหรับกุ้งมี 10 ชนิด ได้แก่ arginine, methionine, valine, threonine, isoleucine, leucine lysine, histidine, phenylalanine และ tryptophan (5) Teshima และ Kanazawa(6)อธิบายว่าความต้องการโปรตีนของลูกกุ้งจะแปรไปตามปริมาณคาร์โบไฮเดรตในอาหาร แต่จะไม่แปรตามปริมาณไขมัน ปริมาณโปรตีนที่เหมาะสมสำหรับลูกกุ้งคือ 45 %, 45-55 % และ 55 % หรือมากกว่า เมื่ออาหารมีคาร์โบไฮเดรต 25 %,15 % และ 5 % ตามลำดับ และมีไขมัน 6.5 % ในการศึกษาคุณค่าทางอาหารของแหล่งโปรตีนชนิดต่าง ๆ และการเสริมกรดอะมิโนในอาหารลูกกุ้ง (7) พบว่าแหล่งโปรตีนจาก casein 3 ส่วน ผสมกับ gelatin 1 ส่วน casein อย่างเดียว หรือปลาปน ให้อัตรารอดสูงกว่า gelatin ไข่ขาว และกรดอะมิโนผสม ในด้านอัตราการเจริญนั้น gelatin ปลาปน และกรดอะมิโนผสมให้อัตราการเจริญต่ำกว่าแหล่งโปรตีนอื่น และการเสริม arginine ใน casein จะช่วยเพิ่มคุณค่าทางอาหารได้เทียบเท่ากับอาหารธรรมชาติ

2.3.2 คาร์โบไฮเดรต เป็นแหล่งพลังงานและส่วนประกอบของกระบวนการ metabolisms ในร่างกาย แหล่งคาร์โบไฮเดรตพวก disaccharides เช่น sucrose, maltose และ polysaccharides เช่น dextrin แป้ง ให้อัตราการเจริญในลูกกุ้งสูงกว่าพวก monosaccharides เช่น glucose, galactose และ fructose เนื่องจาก glucose ถูกดูดซึม และส่งไปยังกระแสเลือดทันทีที่ได้รับอาหาร ทำให้ปริมาณ glucose ในเลือดสูงเกินระดับปกติ แต่พวก di- และ polysaccharide จะต้องผ่านการย่อยให้เป็นโมเลกุลเดี่ยวที่กระเพาะอาหารส่วนกลางและตับอ่อน ก่อนที่จะค่อย ๆ ปล่อยสารอาหารไปยังกระแสเลือด (8) ปริมาณความต้องการคาร์โบไฮเดรตของลูกกุ้งขึ้นอยู่กับปริมาณโปรตีนในอาหาร (6) ดังกล่าวแล้ว

2.3.3 ไขมัน เป็นสารอาหารที่ให้พลังงานและเป็นตัวทำละลายของวิตามินที่ละลายในไขมัน และ growth factor บางชนิด กรดไขมันที่จำเป็นสำหรับลูกกุ้ง ได้แก่ กรดไขมันพวก w3 หรือ w6-highly unsaturated fatty acid เช่น 18:3w3, 18:2w6,20:5w3,22:6w3 และ 20:4w6 (9,10) ซึ่งมีอยู่มากใน pollack liver

oil,cod liver oil,shrimp head oil กรดไขมันเหล่านี้ทำหน้าที่เป็น precursor ของฮอร์โมน prostaglandins จึงให้อัตราการเจริญในลูกกุ้งสูงกว่ากรดไขมันชนิด 18:1w9 ปริมาณกรดไขมันที่จำเป็นที่เหมาะสมสำหรับลูกกุ้งคือ 1 % ในอาหารที่มีไขมันทั้งหมด 8 %

2.3.4 Cholesterol เป็นสารอาหารที่จำเป็นสำหรับลูกกุ้ง ทำหน้าที่เป็น precursor ของฮอร์โมน ecdysteroids ซึ่งช่วยในการลอกคราบ และมีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์ฮอร์โมนบางชนิดที่ช่วยในการเจริญเติบโตของลูกกุ้ง (11) ปริมาณ cholesterol ที่เหมาะสมสำหรับลูกกุ้ง คือ 1 % เมื่ออาหารมี pollack liver oil 6 % และ soybean lecithin 3 % เป็นแหล่งไขมัน (11,12)

2.3.5 phospholipids มีความจำเป็นต่อการเจริญและการรอดของลูกกุ้ง เนื่องจากลูกกุ้งมีความสามารถจำกัดในการสังเคราะห์ phospholipids จากกรดไขมันและ glycerides phospholipids ทำหน้าที่เป็นสาร emulsifier สำหรับไขมัน เช่น triglyceride และ cholesterol ในสูตรอาหาร และยังเป็นส่วนประกอบของ lipoprotiens ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการลำเลียงไขมัน โดยเฉพาะ cholesterol ไปยังกระแสเลือด (11,13) ผลจากการทดลองของ Kanazawa และคณะ (13) แสดงว่าปริมาณที่เหมาะสมของ soybean lecithin ในอาหารสำหรับลูกกุ้ง แปรตามชนิดของแหล่งไขมันที่ใช้ในอาหาร การเติม soybean lecithin 1 % ในอาหารที่มี Pollack liver oil (8 %) เป็นแหล่งไขมันให้ลูกกุ้งที่มีอัตราการเจริญและอัตราการรอดสูง นอกจาก soybean lecithin แล้ว egg lecithin และ soybean phosphatidylinositol ก็เป็นแหล่ง phospholipids ที่มีประสิทธิภาพสูง

2.3.6 เกลือแร่ ลูกกุ้งสามารถดูดซึมเกลือแร่บางชนิดจากน้ำได้ แต่ก็ยังต้องการเกลือแร่จากอาหารเพื่อการเจริญเติบโต เนื่องจากร่างกายสูญเสียเกลือแร่ระหว่างการลอกคราบ เกลือแร่เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างร่างกาย มีหน้าที่ในการควบคุม osmotic pressure ช่วยในการส่งผ่านกระแสประสาท และการยืดหดของกล้ามเนื้อ (8) ปัจจุบันยังไม่มีรายงานเกี่ยวกับปริมาณความต้องการเกลือแร่แต่ละชนิดที่ลูกกุ้งต้องการ

2.3.7 วิตามิน เป็นสารอาหารที่ลูกกุ้งต้องการเป็นปริมาณน้อย แต่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของลูกกุ้งเนื่องจากวิตามินช่วยให้สามารถใช้สารอาหารต่างๆ ในกระบวนการ metabolisms ได้โดยทำหน้าที่เป็น coenzymes Kanazawa (8, 14) อธิบายว่า ลูกกุ้งต้องการวิตามิน E วิตามิน D, nicotinic acid, pyridoxin,

biotin, folic acid, cyanocobalamine, inositol, riboflavin, thiamine และ β-carotene ในการเจริญเติบโต ถ้าขาดวิตามินตัวใดตัวหนึ่งไป การเปลี่ยนรูปร่าง (metamorphosis) จะถูกยับยั้งและอัตราการตายระหว่างการพัฒนาในระยะต่าง ๆ จะสูงกว่าปกติ

หน้าที่และปริมาณความต้องการของวิตามินแต่ละชนิด มีดังต่อไปนี้

วิตามิน C มีบทบาทสำคัญในการสร้าง collagen ทำให้การสร้างกระดูกและเนื้อเยื่อมีประสิทธิภาพ และมีหน้าที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์ steroid hormone ทำให้ลูกกุ้งมีความต้านทานโรคสูงขึ้น ลูกกุ้งจึงมีความต้องการวิตามิน C สูงถึง 300-1000 มิลลิกรัมต่ออาหาร 100 กรัม (8)

Thiamine ทำหน้าที่เป็น coenzyme ในกระบวนการ metabolisms ของคาร์โบไฮเดรต ปริมาณความต้องการของลูกกุ้งคือ 6-12 มิลลิกรัมต่ออาหาร 100 กรัม (8)

Riboflavin ทำหน้าที่เป็น coenzyme ของระบบ oxidation reduction enzymes และระบบการส่งผ่าน electron ปริมาณที่แนะนำให้ใส่ในสูตรอาหารคือ 10 มิลลิกรัมต่ออาหาร 100 กรัม (5)

Pyridoxin ทำหน้าที่เป็น coenzyme ในกระบวนการ metabolisms ของกรดอะมิโน ปริมาณที่ลูกกุ้งต้องการคือ 12 มิลลิกรัมต่ออาหาร 100 กรัม (8)

Pantothenic acid เป็นส่วนประกอบของ coenzyme A ซึ่งสำคัญในการสังเคราะห์กรดไขมัน ปริมาณที่แนะนำให้ใช้ในสูตรอาหารคือ 10 มิลลิกรัมต่ออาหาร 100 กรัม (5)

Niacin เป็นส่วนประกอบของ coenzyme NAD และ NADP ซึ่งสำคัญในกระบวนการ metabolisms ของคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และ โปรตีน ปริมาณที่แนะนำให้ใช้คือ 30 มิลลิกรัมต่ออาหาร 100 กรัม (5)

Biotin เป็นสารอาหารที่มีความจำเป็นในระบบ enzyme ของร่างกาย ปริมาณที่ใช้ในสูตรอาหารคือ 0.1 มิลลิกรัมต่ออาหาร 100 กรัม (5)

Inositol เป็น growth factor ที่ละลายน้ำได้ และทำหน้าที่เป็น coenzyme ปริมาณที่ลูกกุ้งต้องการคือ 200-400 มิลลิกรัมต่ออาหาร 100 กรัม (8)

Choline เป็นสารอาหารที่จำเป็นในระบบการขนส่งไขมัน การส่งผ่านกระแสประสาท ปริมาณความต้องการของลูกกุ้งคือ 60 มิลลิกรัมต่ออาหาร 100 กรัม (8)

Folic acid เป็น coenzyme ในกระบวนการ metabolisms ของกรดอะมิโน และการสังเคราะห์ purines และ pyrimidine ปริมาณที่แนะนำให้ใช้ในสูตรอาหารคือ 20 มิลลิกรัมต่ออาหาร 100 กรัม (5)

Cyanocobalamine ทำหน้าที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์ nucleic acid เป็น coenzyme ในกระบวนการ metabolisms ปริมาณที่แนะนำให้ใช้คือ 0.01 มิลลิกรัมต่ออาหาร 100 กรัม (5)

วิตามิน A สำคัญในการสร้าง rhodopsin ใน retina ซึ่งช่วยในการมองและช่วยในการขนส่งแคลเซียมผ่านผนังเซล ปริมาณที่แนะนำให้ใช้คือ 1500 IU ต่ออาหาร 100 กรัม (5)

วิตามิน D สำคัญในกระบวนการ metabolisms ของแคลเซียมและฟอสฟอรัส ปริมาณที่แนะนำให้ใส่ในสูตรอาหารคือ 750 IU ต่ออาหาร 100 กรัม (5)

วิตามิน E มีหน้าที่ในการป้องกันการ oxidation ของไขมันบนผนังเซล ปริมาณที่แนะนำให้ใช้คือ 4 มิลลิกรัมต่ออาหาร 100 กรัม (5)

วิตามิน K มีหน้าที่เกี่ยวกับการแข็งตัวของเลือด และการส่งผ่าน electron ในกระบวนการ metabolisms ปริมาณที่แนะนำให้ใช้ในสูตรอาหารคือ 2 มิลลิกรัมต่ออาหาร 100 กรัม (5)

2.4 อาหารสำหรับลูกกุ้งวัยอ่อน

บังอร ศรีมุกดา (15) แบ่งอาหารที่ใช้เลี้ยงลูกกุ้งออกเป็น 2 ประเภทคือ

2.4.1 อาหารธรรมชาติ ได้แก่

สาหร่ายเซลเดียว

สาหร่ายเซลเดียวที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงลูกกุ้งวัยอ่อนได้แก่ Skeletonema sp. พันธุ์ที่ใช้เลี้ยงลูกกุ้งวัยอ่อนได้ดี คือ Skeletonema costatum มีขนาดประมาณ 9-12 ไมครอน, Chaetoceros sp. พันธุ์ที่สำคัญได้แก่ Chaetoceros calcitrans มีขนาดประมาณ 5-8 ไมครอน และ Tetraselmis sp. พันธุ์ที่เหมาะในการเลี้ยงลูกกุ้งวัยอ่อนในระยะ Zoea2-3 ได้แก่ Tetraselmis chuii มีขนาดประมาณ 9-15 ไมครอน

โรติเฟอร์ (Brachionus plicatilis)

เหมาะในการเลี้ยงลูกกุ้งระยะ Zoea ถึง Postlarva2 โดยเฉพาะระยะ Mysis1-3 ซึ่งมีขนาดลำตัวกว้างประมาณ 160-200 ไมครอน ยาวประมาณ 260-350 ไมครอน ปัจจุบันไม่นิยมใช้โรติเฟอร์เลี้ยงลูกกุ้ง เพราะมีข้อยุ่งยากในการเพาะเลี้ยง เนื่องจากต้องเพาะเลี้ยง Chlorella และ Tetraselmis เพื่อเป็นอาหารของโรติเฟอร์อีกต่อหนึ่ง

อาร์ทีเมีย (Brine shrimp : Artemia sp.)

อาร์ทีเมียที่ฟักออกจากเยื่อหุ้ม (cyst) ใหม่ ๆ มีขนาด 400 - 500 ไมครอน มีสีน้ำตาลส้มถึงส้มแดง ใช้เป็นอาหารลูกกุ้งระยะ Mysis ถึง Postlarva

ข้อดีของอาหารธรรมชาติ คือสามารถลอยตัวอยู่ในน้ำได้ตลอดเวลา ไม่ทำให้น้ำเน่าเสียง่าย และไม่จำเป็นต้องให้บ่อยครั้ง แต่มีข้อเสียคือ ควบคุมปริมาณได้ยาก ยุ่งยากในการจัดเตรียม และต้องใช้เนื้อที่ในการเพาะเลี้ยง

2.4.2 อาหารสำเร็จรูป

อาหารสำเร็จรูปมีคุณค่าทางอาหารสม่ำเสมอตามความต้องการของลูกกุ้ง และขนาดของอาหารสำเร็จรูปจะสม่ำเสมอกว่าอาหารธรรมชาติ แต่อาหารสำเร็จรูปมีสมบัติด้อยกว่าอาหารธรรมชาติอยู่หลายประการกล่าวคือ อาจทำให้น้ำเสียถ้าให้มากเกินไป และจำเป็นต้องให้บ่อยครั้งในปริมาณจำกัด นอกจากนั้นยังไม่สามารถลอยตัวอยู่ได้เป็นอิสระนานเหมือนอาหารธรรมชาติ อาหารสำเร็จรูปจึงมักใช้ควบคู่ไปกับอาหารธรรมชาติ เพื่อลดปัญหาต่าง ๆ ที่กล่าวข้างต้น แต่อาหารสำเร็จรูปมีข้อดีที่สามารถควบคุมปริมาณได้แน่นอน ไม่ยุ่งยากเป็นภาระในการจัดเตรียม และไม่ต้องใช้เนื้อที่ในการเพาะเลี้ยงเหมือนอาหารธรรมชาติ นักเพาะเลี้ยงกุ้งที่ดีจึงต้องยึดหลักความสมดุล และความพอเหมาะในการใช้อาหารเลี้ยงลูกกุ้งระยะต่าง ๆ โดยเฉพาะในระยะ Zoea หากเตรียมอาหารธรรมชาติไม่พอหรือไม่ทัน การให้อาหารสำเร็จรูปจะช่วยแก้ปัญหาได้มาก เพราะลูกกุ้งระยะนี้ขาดอาหารได้ไม่เกิน 1 ชั่วโมง (15)

อาหารสำเร็จรูปสำหรับลูกกุ้งวัยอ่อนมี 2 รูปแบบ คือ อาหารแบบ microparticulate และ microencapsulate (4) ทั้ง 2 แบบมีลักษณะเป็นผงละเอียดสีเขียวหรือสีน้ำตาลอมเหลือง และมีสารอาหารต่างๆ ครบถ้วนตามความต้องการของลูกกุ้ง

2.5 การผลิตอาหารสำเร็จรูปสำหรับลูกกุ้งวัยอ่อน

ประเทศไทยสั่งอาหารลูกกุ้งสำเร็จรูปจากต่างประเทศเกือบทั้งหมด (15) อาหารจากแหล่งต่าง ๆ ที่นำเข้ามีราคาและคุณภาพใกล้เคียงกัน มีลักษณะทางกายภาพคล้ายกันกล่าวคือ ส่วนใหญ่เป็นผงสีเขียวหรือสีน้ำตาลอมเหลือง ซึ่งเป็นสีที่ดึงดูดลูกกุ้ง มีขนาดอนุภาคหลายขนาดสำหรับใช้เลี้ยงลูกกุ้งตั้งแต่ระยะ Zoea ไปจนถึง Postlarva

วิธีผลิตอาหารสำเร็จรูปสำหรับลูกกุ้งวัยอ่อนมี 2 วิธีใหญ่ คือ วิธี microparticulation กับ วิธี microencapsulation (4)

2.5.1 Microparticulation

เป็นการรวมสารอาหารที่เป็นผงละเอียดหลาย ๆ ชนิดให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยให้มีสัดส่วนตรงตามความต้องการของลูกกุ้งวัยอ่อน ในการผลิตนิยมใช้สารให้ความเหนียว เช่น carrageenan, agar เพื่อทำให้สารอาหารติดกัน ชื่อทางการค้าของ microparticulated diet ที่จำหน่ายในประเทศไทยได้แก่ LarvaAP100 (Zeigler Bros, Inc.), Fry Feed Kyowa (Biokyowa, Inc.)

Sutjaritvongsanon (16) อธิบายขั้นตอนในกระบวนการผลิตแบบ microparticulation ไว้ดังต่อไปนี้คือขั้นแรกผสมส่วนผสมที่บดเป็นผงละเอียดขนาดเล็กกว่า 10-20 ไมครอน fish oil และสารเชื่อม ให้เป็นเนื้อเดียวกันขณะผสมค่อย ๆ เติมน้ำจนครบปริมาตรที่ต้องการ แล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิเหมาะสมเพื่อให้สารเชื่อมอยู่ในสภาวะที่ใช้งานได้ดี จากนั้นทำให้เย็น แล้วจึงตัดอาหารให้เป็นชิ้นเล็ก ขนาดประมาณ 4x4 มิลลิเมตร ทำแห้งจนถึงระดับความชื้นประมาณ 7 % แล้วบดอาหารและร่อนให้มีขนาด 53 ไมครอน, 53-125 ไมครอน, 125-250 ไมครอน ในอัตราส่วน 2:2:1 โดยปริมาณ อาหารที่บรรจุภายใต้บรรยากาศของกาซเฉื่อย เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสได้นานประมาณ 1 ปี

Sutjaritvongsanon (16) ได้ทดลองเลี้ยงลูกกุ้งวัยอ่อน P. japonicus ด้วยอาหารแบบ microparticulate และรายงานว่าลูกกุ้งเจริญเป็น Postlarva ภายใน 9-10 วันและให้อัตรารอดสูงถึง 84% เมื่อใช้สูตรอาหารที่เหมาะสม

Teshima และ Kanazawa (17) ได้ใช้ carrageenan micro-binded diet ในการเลี้ยงลูกกุ้ง P. japonicus จากระยะ Zoea ถึง Postlarva และพบว่าการให้อาหาร 2 ครั้งต่อวัน ในอัตรา 0.16 mg/larva/วัน ให้อัตรารอดสูงถึง 63 % อัตรารอดจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อใช้ตู้อบในการทำแห้งอาหารแทนการใช้

freeze dryer หรือให้อาหารเพียง 1 ครั้งต่อวัน หรือให้อาหารในอัตรา 0.08 mg/larva/วัน นอกจากนี้ยังพบว่าขนาดอาหารที่ทดลองไม่มีผลต่ออัตรารอดของลูกกุ้ง และทุกตัวแปรที่กล่าวมาไม่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต

Yashiro และคณะ (18) ได้เลี้ยงลูกกุ้งวัยอ่อน P. indicus ด้วย carrageenan microbinded diet ซึ่งมีโปรตีนประมาณ 45 % และพบว่าลูกกุ้งมีอัตรารอด 45 % จากระยะ Zoea1 ถึง Mysis1 เมื่อเลี้ยงด้วยอัตราความหนาแน่น 100 ตัวต่อลิตร ให้อาหาร 5 ครั้งต่อวัน ในอัตรา 0.8 mg/larva/วัน อัตรารอดจากระยะ Mysis1 ถึง Postlarva1 เป็น 70.2 % เมื่อเลี้ยงในอัตราความหนาแน่น 30 ตัวต่อลิตร ให้อาหาร 3 ครั้งต่อวัน ในอัตรา 0.3 mg/larva/วัน และเมื่อลดอัตราความหนาแน่นของลูกกุ้งเป็น 20 ตัวต่อลิตร จากระยะ Postlarva1 ถึง Postlarva5 พบว่าลูกกุ้งมีอัตรารอด 64.9 % จากผลการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่าอาหารสำเร็จรูปแบบนี้มีประสิทธิภาพสูงในการเลี้ยงลูกกุ้งวัยอ่อนจากระยะ Mysis ถึงช่วงต้นของระยะ Postlarva

2.5.2 Microencapsulation

เป็นการรวมสารอาหารต่าง ๆ ให้อยู่ภายใน artificial membrane ซึ่งมีหลายแบบ อาทิ nylon-protein membrane , zein membrane, protein membrane โดยใช้เทคนิค interfacial polymerization (19) ชื่อทางการค้าของ microencapsulated diet ที่จำหน่ายในประเทศไทย ได้แก่ Frippak Feeds (Frippak Feeds, Inc.)

ขั้นตอนการผลิต microencapsulated diet ซึ่งอธิบายโดย Chang และคณะ (20) เริ่มจากการเติมแหล่งโปรตีนในรูปโปรตีนเหลวซึ่งได้จากการผสมไข่ไก่ กากถั่วเหลือง ปลาป่น ปลาหมึกป่น น้ำมันตับปลาเข้าด้วยกันลงใน alkaline 1,6-hexamethylenediamine solution ในอัตราส่วน 1:1 แล้ว emulsify ส่วนผสมข้างต้นกับตัวทำละลายผสมซึ่งประกอบด้วย chloroform : cyclohexane ในอัตราส่วน 1 : 4 เติมตัวทำละลายในปริมาณมากเกินพอลงในอีมัลชันที่ได้ แล้วนำไป centrifuge เป็นเวลา 15 วินาที จากนั้นล้าง microcapsule ที่ได้ในสารละลาย Tween-20 คนเบา ๆ นำไปปั่นแยกส่วนของเหลวออก แล้วทำแห้ง microcapsule ที่ได้

Jones (21) รายงานว่าอาหารแบบ microencapsulate สามารถใช้แทนอาหารธรรมชาติในการเลี้ยงลูกกุ้งวัยอ่อนได้ทั้งในระดับการค้าและระดับการทดลอง

เนื่องจากอาหารแบบนี้มีปัญหาด้านการละลายในน้ำ การแตกของอนุภาคอาหาร และการเกิดน้ำเสียค่อนข้างต่ำ นอกจากนั้นในการเลี้ยงลูกกุ้งวัยอ่อนเชิงการค้าในประเทศไทย มาเลเซีย ฮาวาย โดย Scura และคณะ (22) และในประเทศเอกวาดอร์ ไต้หวัน ฟิลิปปินส์ โดย Jones และคณะ (23) ยังพบว่าอาหารแบบ microencapsulate สามารถใช้แทนอาหารธรรมชาติได้ทั้งหมดหรือบางส่วน และลูกกุ้งมีอัตรารอดสูงถึง 70 % และสูงกว่าการใช้อาหารธรรมชาติ

Jones และคณะ (24) ได้ทดลองเลี้ยงลูกกุ้งวัยอ่อนจากระยะ Zoea ถึง Postlarva ด้วยอาหารแบบ microencapsulate เปรียบเทียบกับอาหารแบบ microparticulate พบว่าเมื่อใช้อาหารแบบ microencapsulate ลูกกุ้งมีอัตราการรอดเพียง 50 % ขณะที่พวกที่เลี้ยงด้วยอาหารแบบ microparticulate มีอัตรารอด 69 % เมื่อใช้สูตรอาหารเดียวกัน

Kanazawa และคณะ (25) ได้ทดลองเลี้ยงลูกกุ้งวัยอ่อน Penaeus japonicus ด้วยอาหารสำเร็จรูปหลายแบบ ได้แก่ อาหารแบบ microencapsulate ที่มีผนังเป็น nylon (nylon-MED) หรือ zein (zein-MED) และอาหารแบบ microparticulate ที่มี zein เป็นสารเชื่อม (zein-MCD) พบว่าลูกกุ้งวัยอ่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารทุกตัวอย่างที่ทดลองมีการพัฒนาจากระยะ Zoea1 เป็น Postlarval ภายใน 8 วัน และอาหารแบบ zein-MCD ให้อัตรารอดสูงที่สุด เปรียบเทียบได้กับอาหารธรรมชาติซึ่งมีอัตรารอด 95 % และในปี 1983 Kanazawa (14) ก็ได้รายงานว่าลูกกุ้งวัยอ่อน P. japonicus ที่เลี้ยงด้วยอาหารแบบ microparticulate ที่มี carrageenan เป็นสารเชื่อมจะให้อัตรารอดสูงกว่าพวกที่เลี้ยงด้วยอาหารแบบ microparticulate ที่มี zein เป็นสารเชื่อม และอาหารแบบ microencapsulate ที่มีผนังเป็น nylon-protein และสูงกว่าพวกที่เลี้ยงด้วยอาหารธรรมชาติ (96 %)

อาหารลูกกุ้งวัยอ่อนจากกรรมวิธีทั้ง 2 มีข้อดีและข้อเสียต่างกันไป อาหารแบบ microencapsulate มีข้อดีในแง่การลดปัญหาการปนเปื้อนจากแบคทีเรีย และคุณภาพน้ำแต่ลูกกุ้งย่อยและดูดซึมสารอาหารชนิดนี้ได้น้อย ขณะที่อาหารแบบ microparticulate ทำให้น้ำเสียได้เร็วกว่าถ้าให้ในปริมาณมากเกินไป (24) แต่ลูกกุ้งสามารถย่อยและดูดซึมอาหารชนิดนี้ได้ดีกว่า และประการสำคัญคืออัตรารอดที่สูงกว่าด้วย

2.6 กรรมวิธีทำแห้งอาหารลูกกุ้งวัยอ่อน

กรรมวิธีทำแห้งมีหลายวิธี ได้แก่ การอบแห้งด้วยตู้อบแบบมีลมเป่าผ่าน การอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ การอบแห้งแบบพ่นกระจาย (spray drying) และการทำแห้งในสภาพเยือกแข็ง (freeze drying) (26, 27, 28) การเลือกใช้วิธีทำแห้งต้องพิจารณาจากหลายปัจจัย ได้แก่ ลักษณะและสมบัติของอาหารที่จะทำแห้ง และคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ความพร้อมของเครื่องมือ ต้นทุนการผลิต เป็นต้น (28)

ประเภทของเครื่องอบแห้ง

1. ตู้อบแบบมีลมเป่าผ่าน เป็นเครื่องมืออบแห้งที่สามารถปรับการใช้งานให้เป็นแบบต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่องก็ได้ ผนังของตู้อบเป็นฉนวนอย่างดี ภายในมีลวดนำความร้อนซึ่งจะทำให้อากาศที่ผ่านเข้ามามีอุณหภูมิสูงขึ้นตามต้องการ อากาศร้อนจะไหลผ่านไประหว่างชั้นของถาดหรือตะแกรงใส่อาหารแต่ละชั้นอย่างสม่ำเสมอทั่วทุกชั้นในลักษณะขนานหรือตั้งฉากกับถาดหรือตะแกรง แล้วแต่ตำแหน่งของ baffle และช่องเข้าออกของอากาศ อากาศร้อนทำให้น้ำระเหยออกจากอาหาร โดยการถ่ายเทความร้อนแบบการพา (convection) อากาศภายในตู้อบจะหมุนเวียนด้วยพัดลมและเคลื่อนที่ผ่านเข้าออกด้วยอัตราเร็วประมาณ 1-10 เมตรต่อวินาที และเพื่อเป็นการอนุรักษ์พลังงานอากาศร้อนส่วนใหญ่จะมีการใช้แบบหมุนเวียนโดยมีสัดส่วนของอากาศใหม่เพียง 5-15 % ความจุของตู้อบขึ้นกับการบรรจุวัสดุอบแห้งบนชั้นและลักษณะของวัสดุ ส่วนใหญ่การอบแห้งผลไม้จะบรรจุ 1-2 ปอนด์ต่อตารางฟุต ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการอบแห้งด้วยตู้อบแบบนี้ ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ อุณหภูมิ และการระบายอากาศออกจากตู้อบ (26,27)

2. ตู้อบแบบสุญญากาศ เป็นเครื่องมืออบแห้งแบบไม่ต่อเนื่อง สามารถปรับอุณหภูมิในการอบแห้งได้เช่นเดียวกับตู้อบแบบมีลมเป่าผ่าน แต่ระบบอยู่ภายใต้สภาวะสุญญากาศ ผนังตู้จึงต้องมีความแข็งแรง สามารถทนต่อความดันและเป็นฉนวนอย่างดี ความร้อนจะได้จากไอน้ำหรือน้ำร้อนใน jacket รอบนอกตู้หรือมีชั้นความร้อนภายในตู้ การถ่ายเทความร้อนจะเป็นแบบการนำ (conduction) ถาดหรือตะแกรงใส่อาหารจะอยู่ภายในตู้สุญญากาศ โดยมีปั๊มสุญญากาศ(vacuum pump) ดูดไอน้ำที่เกิดจากการระเหยของน้ำในอาหารไปควบแน่นที่เครื่องควบแน่น (condenser) ทำให้ภายในตู้อบเป็นสุญญากาศตลอดระยะการอบแห้ง ข้อดีของเครื่องอบแห้งชนิดนี้ คือ อุณหภูมิในการอบแห้งต่ำและวัสดุอบแห้งอยู่ในภาวะสุญญากาศ ทำให้เวลาในการอบแห้งสั้น ลดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ลดการสูญเสียสารอาหารและสารระเหยง่าย จึงมักใช้กับวัสดุที่ทนต่อความร้อน

ได้ต่ำ มีราคาแพง เช่น ยา plasma สำหรับข้อเสียของเครื่องอบแห้งชนิดนี้ก็คืออุปกรณ์มีราคาแพง และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสูง ปัจจัยที่สำคัญในการอบแห้งด้วยตู้อบแบบนี้คือ อุณหภูมิ และความดันสุญญากาศซึ่งสามารถควบคุมได้ (26, 27)

3. <u>เครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย</u> เป็นเครื่องมือในการแปลงของเหลวซึ่งอาจจะเป็นสารละลายหรือของเหลวข้นให้เปลี่ยนสภาพเป็นผงแห้งเพียงขั้นตอนเดียว หลักการพื้นฐานของการอบแห้งแบบพ่นกระจายเริ่มจากอาหารเหลวจะถูกฉีดให้เป็นละอองฝอยด้วยแรงดันจากเครื่องสูบอาหารเหลว (feed pump) หรือเครื่องอัดอากาศ (air compressor) ผ่านเครื่องทำอาหารให้เป็นละอองฝอย (atomizer) ซึ่งจำแนกได้ 3 แบบ คือ rotary disc atomizer, pressure nozzle และ two fluid nozzle อาหารฝอยจะสัมผัสกับลมร้อนที่ไหลเข้ามาซึ่งอาจจะมีทิศทางเดียวกัน (co-current) สวนทางกัน (counter current) หรือเป็นแบบผสม (mixed flow) ทำให้เกิดการระเหยน้ำอย่างรวดเร็วเนื่องจากละอองฝอยมีพื้นที่ผิวมาก หลังการระเหยของน้ำ ผงอาหารแห้งจะตกลงมา และแยกจากลมร้อนด้วยระบบไซโคลน (cyclone separater) เพื่อนำไปบรรจุต่อไป การอบแห้งด้วยวิธีนี้มักใช้กับอาหารเหลวที่ไม่ทนต่อความร้อน เช่น นม ไข่ puree ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเป็นผง ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งแบบนี้ได้แก่ ชนิดของเครื่องทำละอองฝอย สมบัติของอาหารเหลว อัตราการป้อน การออกแบบภาชนะทำแห้ง อัตราการไหลของอากาศ ความดันลมในการขับเคลื่อน atomizer และอุณหภูมิในการทำแห้ง (26, 27, 29)

4. <u>เครื่องทำแห้งในสภาพเยือกแข็ง</u> เป็นเครื่องมือทำแห้งแบบไม่ต่อเนื่อง หลักการทำแห้งจะเริ่มจากการทำให้อาหารแข็งตัวก่อน แล้วจึงทำแห้งอาหารด้วยการระเหิดผลึกน้ำแข็งที่อุณหภูมิต่ำ และมีความดันสุญญากาศสูงพอ โดยน้ำในอาหารจะไม่ผ่านสถานะของเหลวอีก ลักษณะของเครื่องเป็นตู้ลักษณะเดียวกับตู้อบแห้งแบบสุญญากาศ แต่มีท่อต่อกับ freezing unit เพิ่มขึ้นอีกระบบหนึ่ง ถาดอาหารจะวางอยู่บนชั้นที่มีลวดนำความร้อนอยู่ภายใน การถ่ายเทความร้อนเป็นแบบการนำ (conduction) เครื่องควบแน่นและปั๊มสุญญากาศจะนำไอน้ำออกจากตู้อบ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในกระบวนการอบแห้งวิธีนี้ได้แก่ อุณหภูมิในช่วงแช่แข็งอาหาร อุณหภูมิในการระเหิด ความดันสุญญากาศ การแช่แข็งอาหารในขั้นตอนแรกจะทำให้อาหารเกิดการขยายตัว เนื่องจากน้ำแข็งมีปริมาตรมากกว่าน้ำ แต่การยึดหดตัวของระบบ capillary ในอาหาร ช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งแบบนี้สามารถดูดน้ำกลับได้เร็วและมีเนื้อสัมผัสสม่ำเสมอ แต่ก็อาจทำให้กลิ่น

017444

และสารอาหารสูญเสียออกไปกับน้ำที่ใช้ปรุงอาหารได้ง่ายกว่า อย่างไรก็ตามการทำแห้งด้วยวิธีนี้นับว่าเป็นวิธีที่ดีที่สุด ในการรักษาสมบัติเดิมของอาหารให้คงอยู่อย่างครบถ้วนในผลิตภัณฑ์แห้งนั้น การทำแห้งแบบนี้มีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารไม่มากนัก เพราะต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง และยังมีข้อจำกัดทางเทคนิคเมื่อต้องการผลิตจำนวนมากจึงมักใช้กับวัสดุที่มีราคาแพง (27)

2.7 <u>การสูญเสียวิตามินซีจากกระบวนการผลิต</u>

วิตามินซีเป็นวิตามินที่ไวต่อการสูญเสียจากกระบวนการผลิตมากที่สุด และสูงกว่าสารอาหารอื่น ในบางกรณีจึงใช้ปริมาณวิตามินซีเป็นดัชนีแสดงคุณภาพอาหารที่ผ่านกระบวนการผลิตและแปรรูป (30) วิตามินซีเป็นวิตามินที่ละลายน้ำ ไม่เสถียรในสารละลายด่างและไวต่อการสูญเสียเนื่องจากความร้อน ถูกทำลายได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับอากาศโดยมีโลหะ เช่น ทองแดง เหล็ก เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา oxidation แต่ไม่ถูกทำลายเมื่อโดนแสง ยกเว้นเมื่อมี riboflavin ร่วมอยู่ด้วย (31) ปฏิกิริยาการสลายตัวของวิตามินซีจะเป็นแบบ first order reaction โดยขั้นแรก ascorbic acid จะถูก oxidise เป็น dehydroascorbic acid ซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการเช่นเดียวกับ ascorbic acid ปฏิกิริยาขั้นนี้เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ จากนั้น dehydroascorbic acid ซึ่งไวต่อความร้อนจะสลายตัวต่อไปได้ง่ายเป็น diketogulonic acid ที่ไม่มีคุณค่าทางโภชนาการ ในกระบวนการผลิตอาหารสำเร็จรูปสำหรับลูกกุ้งวัยอ่อน มีขั้นตอนสำคัญที่เกิดการสูญเสียวิตามินซีในปริมาณมาก 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการให้ความร้อน และขั้นตอนการทำแห้ง การทำแห้งที่ใช้เวลานานที่ความดันบรรยากาศ ทำให้วิตามินซีสูญเสียในปริมาณมากจากปฏิกิริยา oxidation (32) และจากการที่วิตามินซีไวต่อความร้อน การใช้อุณหภูมิสูงในกระบวนการผลิตจะทำให้วิตามินซีเกิดการสูญเสียได้มากกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำ (30,31, 32) นอกจากนั้นประเภทของเครื่องมือในการทำแห้งที่เลือกใช้ก็มีผลต่อการสูญเสียวิตามินซี เช่น นมที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธี freeze drying และต้อบแบบสุญญากาศ จะมีปริมาณวิตามินซีเหลืออยู่เกือบเท่ากับพวกที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการ (32) การสูญเสียวิตามินซีในระหว่างการเก็บอาหารขึ้นกับอุณหภูมิเก็บ ความชื้น และองค์ประกอบของอาหารด้วย โดยทั่วไปถ้าเก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่า -18 องศาเซลเซียส การสูญเสียวิตามินซีจะเกิดได้น้อย(30) การใช้วิตามินซีในรูปที่มีเสถียรภาพสูง เช่น L-ascorbyl-2-triphosphate และ L-ascorbyl-2-phosphate magnesium หรือการเคลือบวิตามินซีด้วย silicone หรือ gelatin เป็นวิธีป้องกันการสูญเสียวิตามินซีจากกระบวนการผลิตได้อีกทางหนึ่ง (5,30)

2.8 อายุการเก็บของอาหารกุ้งวัยอ่อน

อาหารธรรมชาติ

ไข่ไรน้ำเค็มแห้ง บรรจุในกระป๋องโลหะภายใต้บรรยากาศของกาซไนโตรเจน หรือสภาวะสุญญากาศ เก็บไว้ได้นาน แต่เมื่ออายุการเก็บนานขึ้น อัตราการฟักเป็นตัว และคุณภาพจะลดลง โดยเฉพาะเมื่อเปิดกระป๋องแล้ว และเก็บไว้ที่อุณหภูมิสูง จึงไม่ควรเก็บไว้นานกว่า 6 เดือน (15)

อาหารสำเร็จรูป

สาเหตุที่ทำให้อาหารกุ้งวัยอ่อนสำเร็จรูปเสื่อมคุณภาพ คือปฏิกิริยา oxidation ของอาหาร เนื่องจากอาหารมีไขมันไม่อิ่มตัวอยู่ในปริมาณสูง และการสูญเสียวิตามิน เกลือแร่ และกรดอะมิโนต่าง ๆ การจำกัดปริมาณความชื้นของอาหารไว้ไม่เกิน 7 % จะช่วยลดการเสื่อมคุณภาพเหล่านี้ได้ (15) วัสดุภาชนะบรรจุที่ใช้มีหลายชนิด ได้แก่ กระป๋องโลหะมีฝาพลาสติกปิดครอบฝาโลหะอีกชั้นหนึ่งสำหรับปิดกระป๋องเมื่อใช้อาหารไม่หมดในคราวเดียว และถุง aluminium foil บรรจุในกระป๋องพลาสติกอีกชั้นหนึ่ง อาหารสำเร็จรูปส่วนใหญ่บรรจุภายใต้บรรยากาศของกาซไนโตรเจน เพื่อป้องกันปฏิกิริยา oxidation ระหว่างการเก็บ สภาวะดังกล่าวนี้สามารถเก็บอาหารไว้ได้นาน 1 ปี ที่อุณหภูมิห้องเมื่อยังไม่เปิดภาชนะบรรจุ แต่เมื่อเปิดแล้ว ควรใช้ให้หมดภายใน 1 เดือน และเก็บไว้ในตู้แช่แข็ง เพื่อลดปฏิกิริยา oxidation (33)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย