บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 กุ้งกุลาดำ

กุ้งกุลาดำเป็นกุ้งทะเลซึ่งมีชื่อทั่วไปว่า Giant Tiger Prawn มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Penaeus monodon Fabricius ลำตัวมีสีม่วงแดง มีแถบสีน้ำตาลหรือดำพาดขวาง ลำตัวเป็นปล้อง ๆ โคนขาว่ายน้ำมีแถบสีเหลืองเป็นปล้อง เปลือกหัวเกลี้ยงไม่มีขน หนวดสีดำไม่มีลาย ฟันกรีด้านบนมี 7-8 ซี่ ด้านล่าง 3 ซี่ ร่องข้างกรีทั้งสองด้านมีลักษณะแคบและยาวไม่ถึงฟันกรีอันสุดท้าย ที่ขาเดินคู่ที่ 5 ไม่มีระยางค์อันนอก กุ้งกุลาดำมีถิ่นอาศัยอยู่ทั่วไปในทวีปเอเชีย อาศัยในที่ที่มีพื้นดินเป็นดินทรายปนโคลน หรือทรายปนเปลือกหอยและหินปะการัง สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมในแหล่งน้ำกร่อยหรือบ่อเลี้ยงได้ กุ้งมีการเจริญเติบโตรวดเร็ว ทั้งยังแข็งแรงและเลี้ยงง่าย กุ้งกุลาดำวางไข่ได้ตลอดปี

2.1.1 วงจรชีวิตกุ้งกุลาดำ

กุ้งกุลาดำที่มีอายุประมาณ 18-24 เดือน วางไข่ในทะเลใกล้พื้นดินที่ระดับน้ำลึกประมาณ 20-70 เมตร หลังฟัก ตัวอ่อนจะค่อยๆเคลื่อนตัวเข้าหาชายฝั่งบริเวณป่าไม้ชายเลนเพื่อดำรงชีวิตจนเจริญเติบโตมีอายุประมาณ 4 เดือนซึ่งอยู่ในระยะ subadult จะค่อย ๆ เคลื่อนตัวเข้าสู่ทะเลลึกเพื่อผสมพันธุ์และวางไข่ต่อไป (3)

2.1.2 รูปแบบของการเลี้ยงกุ้ง

การเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยทั่วไปมี 3 แบบคือ .

การเลี้ยงแบบธรรมชาติ (extensive system) เป็นการเลี้ยงกุ้งแบบดั้งเดิม บ่อมีขนาดตั้งแต่ 20-60 ไร่ ส่วนใหญ่ดัดแปลงมาจากนาข้าวหรือนาเกลือโดยขุดร่องน้ำหรือเรียกว่าขาวังรอบนากุ้ง ขนาดขาวังกว้าง 10-20 เมตร ลึก 30-60 เซนติเมตร ตรงกลางเป็นพื้นราบ

มีการยกคันนาให้สูงขึ้นเพื่อให้สามารถเก็บกักน้ำได้ ใช้วิธีดันน้ำเข้ามาหรือเปิดน้ำเข้ามาเมื่อเวลาน้ำขึ้นเพื่อให้ลูกกุ้งและอาหารธรรมชาติติดเข้ามากับน้ำทะเล แล้วเก็บกักน้ำไว้ประมาณ 1-2 เดือน เพื่อให้กุ้งเจริญเติบโตโดยกินอาหารจากธรรมชาติ ไม่มีการให้อาหารหรือทำลายศัตรูกุ้งการเลี้ยงวิธีนี้ไม่สามารถควบคุมผลผลิตได้ เพราะลูกกุ้งที่เข้ามากับน้ำมีปริมาณไม่แน่นอน อัตรารอดต่ำ ผลผลิตที่ได้จากการเลี้ยงกุ้งแบบนี้จึงขึ้นกับความอุดมสมบูรณ์ของอาหาร ผลผลิตที่ได้โดยทั่วไปต่ำประมาณ 60-100 กิโลกรัม/ไร่/ปี ปัจจุบันการเลี้ยงกุ้งแบบนี้ยังมีอยู่แพร่หลาย (3)

การเลี้ยงแบบกึ่งพัฒนากึ่งหนาแน่น (semi-intensive system) หรือการเลี้ยงกุ้งแบบปล่อยเสริม (additional system) เป็นการเลี้ยงที่สามารถควบคุมปัจจัยการผลิตได้บางส่วน มีการปรับปรุงนากุ้งแบบดั้งเดิมให้มีขนาดแปลงเล็กลงเหลือแปลงละ 6-20 ไร่ ขาวังลึกมากขึ้นเป็น 0.8-1.2 เมตร และมีความลาดชันเพื่อความสะดวกในการจับ ความหนาแน่นของลูกกุ้งในบ่อมากขึ้นโดยการรวบรวมจากแหล่งธรรมชาติเมื่อเปิดน้ำเข้าบ่อ หรือปล่อยลูกกุ้งในบ่อจากการเพาะฟักเสริมกุ้งจากธรรมชาติ 5-10 ตัว/ตารางเมตร หรือ 8,000-10,000 ตัว/ไร่ ให้อาหารสมทบ อาจมีหรือไม่มีเครื่องให้อากาศ ดัดแปลงประตูน้ำให้แข็งแรง มีการจัดการในด้านการป้องกันกำจัดศัตรูกุ้ง การเปลี่ยนถ่ายน้ำ ใส่ปุ๋ย และการควบคุมโรค ใช้เวลาเลี้ยงประมาณ 5 เดือน จึงจับขายได้ ผลผลิตที่ได้มากขึ้นเป็น 200-600 กิโลกรัม/ไร่/ปี การเลี้ยงแบบนี้ได้รับความสนใจจากเจ้าของนากุ้งมากขึ้น (3)

การเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนา (intensive system) หรือ การเลี้ยงกุ้งแบบหนาแน่นเป็นการเลี้ยงกุ้งที่ทันสมัยต้องใช้ความรู้ตามหลักวิชาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ตลอดจนการบริหารด้านต่าง ๆ ลูกกุ้งที่เลี้ยงนำมาจากโรงเพาะฟัก ให้อาหารสำเร็จรูปที่มีคุณภาพดีมีคุณค่าทางอาหารเหมาะแก่ความต้องการของกุ้ง โดยทั่วไปบ่อมีขนาดเล็กประมาณ 2-6 ไร่ บ่อมีคันแยกเฉพาะแต่ละบ่อ มีทางน้ำเข้าและทางน้ำออกคนละด้าน มีเครื่องเพิ่มอากาศและพัดน้ำ เพื่อช่วยให้อากาศหมุนเวียนได้ดีขึ้น พื้นบ่อราบตลอดบ่อไม่มีขาวัง มีลานลาดชันลงบริเวณทางน้ำเพื่อสะดวกในการจับ มีการจัดการในเรื่องการเปลี่ยนถ่ายน้ำ กำจัดศัตรูกุ้ง ควบคุมโรค อัตราการปล่อยกุ้ง 20-30 ตัว/ตารางเมตร หรือ 40,000-50,000 ตัว/ไร่ เลี้ยงนาน 3-5 เดือน ผลผลิตที่ได้สูงมากประมาณ 1,000-2,000 กิโลกรัม/ไร่/ปี (3)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 ความต้องการสารอาหารของกุ้งกุลาดำ

สารอาหารที่จำเป็นสำหรับกุ้งกุลาดำมีดังนี้

2.2.1. โปรตีน

โปรตีนเป็นสารอาหารที่ให้พลังงาน ทำให้กุ้งเจริญเติบโต และซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ Alava และ Lim (4) พบว่าปริมาณโปรตีนเหมาะสมที่กุ้งกุลาดำวัยรุ่นต้องการคือ 40 % โปรตีนที่ระดับนี้จะทำให้กุ้งมีอัตราการเจริญ อัตราการแลกเนื้อ Protein Efficiency Ratio (PER) และอัตราการรอดสูงสุด Bautista (5) พบว่าการเพิ่มระดับพลังงานในอาหารกุ้งที่มีระดับโปรตีนคงที่ จะทำให้การใช้โปรตีนของกุ้งและประสิทธิภาพการแลกเนื้อเพิ่มขึ้น กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ใช้ casein และ gelatin เป็นแหล่งโปรตีนมีอัตราการรอดสูงกว่าใช้อาหารที่มี casein เพียงอย่างเดียว โปรตีนคุณภาพดีที่กุ้งกุลาดำต้องการควรประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็น ได้แก่ arginine, histidine, isoleucine, leucine, lysine, methionine, phenylalanine, threonine, tryptophan และ valine ครบทั้ง 10 ชนิด และควรมีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของกุ้งด้วย กรดอะมิโนที่มีสมบัติช่วยกระตุ้นให้กุ้งอยากกินอาหาร ได้แก่ glutamic acid, glycine, taurine และ betaine

แหล่งโปรตีนสำหรับอาหารกุ้งแบ่งออกเป็น 2 แหล่งคือ โปรตีนจากสัตว์ และพืช โปรตีนจากสัตว์ส่วนมากมีคุณภาพดีกว่าโปรตีนจากพืช เพราะเป็นแหล่งของกรดอะมิโนที่สำคัญเช่น lysine, tryptophan และ methionine ซึ่งกรดอะมิโนเหล่านี้มีน้อยในพืช โปรตีนจากสัตว์ที่สำคัญได้แก่ ปลาป่น หัวและเปลือกกุ้งป่น ปลาหมึกป่น เนื้อและกระดูกป่น และนมผงพร่องมันเนย นอกจากนี้ยังสามารถใช้เลือดป่นเป็นแหล่งให้โปรตีนได้ (6) แต่ไม่ควรใช้เกิน 5 % (7) แหล่งโปรตีนจากพืชที่สำคัญได้แก่ กากถั่วเหลือง กากถั่วลิสง กากเมล็ดฝ้าย และใบกระถินป่น Pascual และ Gruz (8) พบว่าการใช้กากถั่วเหลืองปริมาณ 35 % และปลาป่น 16 % ในสูตรอาหารจะให้อาหารที่มีโปรตีน 40 % ซึ่งเป็นปริมาณโปรตีนที่ให้อัตรารอดสูงสุด

2.2.2 ไขมัน

ไขมันเป็นแหล่งพลังงานและเป็นที่สะสมของวิตามิน มีความสำคัญสำหรับการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ เป็นส่วนประกอบของสมอง หัวใจ เส้นประสาท และฮอร์โมนของ

กุ้ง Medonza (9) กล่าวว่ากุ้งกุลาดำวัยรุ่นต้องการไขมันในปริมาณ 5-12 % ของส่วนผสมทั้งหมด ไขมันควรมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวยิ่งยวด (highly unsaturated fatty acid) เช่น linolenic acid, linoleic acid และควรมีทั้ง 2 ชนิดในปริมาณอย่างละ 1 % โดยน้ำหนักอาหารในสูตรอาหาร แหล่งไขมันที่ดีสำหรับอาหารกุ้งกุลาดำได้แก่ มันกุ้ง น้ำมันปลาทะเล และน้ำมันถั่วเหลือง (10)

2.2.3 คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานราคาถูก การนำมาใช้จึงเป็นการลดต้นทุนอาหารและช่วยให้กุ้งเจริญเติบโตดีขึ้น ช่วยลดปริมาณโปรตีนในสูตรอาหารด้วย เนื่องจากกุ้งใช้คาร์โบไฮเดรตในการสร้างไคตินได้ แต่ถ้าไม่มีคาร์โบไฮเดรตกุ้งจะใช้โครงสร้างคาร์บอนจากโปรตีนแทน นอกจากนี้คาร์โบไฮเดรตยังเป็นสารเชื่อมซึ่งช่วยให้อาหารเม็ดเกาะกันดี มีความคงตัวในน้ำสูง Alava และ Pascual (11) ศึกษาชนิดและปริมาณของคาร์โบไฮเดรตที่กุ้งกุลาดำต้องการโดยใช้ trehalose, sucrose และ glucose ที่ระดับ 10 20 และ 30 % โดยให้ทุกสูตรมีสารประกอบไนโตรเจน 45 % และไขมัน 10 % เท่ากัน พบว่าเมื่อใช้ trehalose 20 % กุ้งจะมีอัตราการเพิ่มน้ำหนักสูงสุด และอาหารที่ประกอบด้วย trehalose และ sucrose ให้อัตราการเจริญและอัตราการรอดมากกว่าอาหารที่ประกอบด้วย glucose มะลิ บุญรัตผลิน รายงานว่ากุ้งมีประสิทธิภาพในการใช้แป้งได้สูงกว่าน้ำตาล (10)

2.2.4 เส้นใย

เส้นใยเป็นสารอาหารที่ทำให้อาหารอยู่ในกระเพาะ และเคลื่อนผ่านท่อทางเดินอาหารอย่างสม่ำเสมอ จึงช่วยให้กุ้งได้รับประโยชน์จากอาหารได้เต็มที่ แต่ถ้าในอาหารมีเส้นใยมากเกินไปกุ้งจะขับถ่ายของเสียลงบ่อมาก โอกาสที่น้ำจะเสียจึงมีมากด้วย และเมื่อน้ำเสียปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะลดลงทำให้กุ้งเกิดภาวะเครียดและกินอาหารน้อยลง เม็ดอาหารควรมีเส้นใย 3-5 % แหล่งอาหารที่ให้เส้นใยได้แก่ รำ กากกุ้งปน เป็นต้น (10)

2.2.5 lecithin

เป็นสารอาหารที่มีผลให้อัตราการเจริญเติบโตและอัตรารอดของกุ้งเพิ่ม

ขึ้น เนื่องจาก lecithin มีหน้าที่ย่อย ดูดซึมและขนส่งไขมัน ช่วยให้เกิดการลอกคราบ และช่วยลดการละลายของสารอาหารที่ละลายได้ในน้ำ Pascual (12) รายงานว่ากุ้งกุลาดำต้องการ soybean lecithin ประมาณ 2 % (ในสูตรอาหาร) กุ้งอาจใช้ lecithins จากแหล่งอื่นได้ เช่น ไข่ ปลา และหัวกุ้ง

2.2.6 cholesterol

เป็นสารที่กุ้งนำไปสร้างฮอร์โมนที่ใช้ในการเจริญเติบโต สืบพันธุ์ ลอกคราบและสร้างวิตามินดี ปริมาณที่ควรมีในสูตรอาหารคือ 5-30 % ของไขมันทั้งหมด (14) หรือ 0.3-0.5 % ของส่วนผสมทั้งหมด (10)

2.2.7 เกลือแร่

เกลือแร่ที่จำเป็นสำหรับกุ้งกุลาดำสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ เกลือแร่หลัก (macro-minerals) ซึ่งเป็นเกลือแร่ที่กุ้งต้องการในปริมาณมาก ได้แก่ Ca, P, K, Mn, Na, Cl, และ S และเกลือแร่รอง (micro-minerals) ซึ่งเป็นเกลือแร่ที่กุ้งต้องการในปริมาณน้อยกว่า ได้แก่ Fe, Cu, Zn, Mn, Co และ Se กุ้งสามารถดูดซึมหรือขับแร่ธาตุจากสิ่งแวดล้อมที่เป็นน้ำได้โดยตรงด้วยเหงือกและผิวตัว ดังนั้น ความต้องการเกลือแร่จากอาหารของกุ้งจึงขึ้นกับความเข้มข้นของเกลือแร่ในน้ำที่มันอาศัยอยู่ รายละเอียดของเกลือแร่แต่ละชนิดที่กุ้งต้องการมีดังนี้

แคลเซียม (Ca) เป็นเกลือแร่ที่จำเป็นสำหรับการเกิดของเนื้อเยื่อโครงกระดูก พบแคลเซียมในเปลือกกุ้ง แคลเซียมจำเป็นสำหรับการแข็งตัวของเลือด การกระตุ้นเอนไซม์ muscle contraction และการยอมให้สารเข้าออกจากเซล โดยมากน้ำทะเลที่ใช้เลี้ยงกุ้งมีความเข้มข้นของแคลเซียมสูง จึงมักพิจารณาว่าไม่จำเป็นต้องมีในอาหารกุ้ง แต่อาหารควรมีระดับของแคลเซียมที่ทำให้ แคลเซียม : ฟอสฟอรัส เท่ากับ 1:1 ถึง 1.5:1 ดังนั้นในอาหารจึงควรมีแคลเซียมไม่เกิน 2.3 % (14)

ฟอสฟอรัส (P) ฟอสฟอรัสเกี่ยวข้องกับแคลเซียม และจำเป็นสำหรับการเกิดเปลือก ฟอสฟอรัสมีหน้าที่ในกระบวนการเมตาบอลิซึมหลายกระบวนการ เป็นองค์ประกอบที่จำเป็นของ phospholipids, nucleic acid, phosphoproteins และ high

energy compound-ATP นอกจากนี้ยังมีหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ทสำคัญซึ่งทำให้ pH ของของไหลทั้งภายนอกและภายในเซลเป็นปกติ กุ้งสามารถดูดซึมฟอสฟอรัสได้โดยตรงจากน้ำ แต่ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมักมีจำกัด ระดับของ available phosphorus ที่แนะนำให้ใช้ในอาหารกุ้งเชิงการค้าคือ 0.8 % (14)

<u>โซเดียม (Na),โปแตสเซียม (K) และคลอรีน (Cl)</u> พบในของไหลและเนื้อเยื่ออ่อนของร่างกาย มีหน้าที่ในการกำหนดความดันออสโมติก ความสมดุลย์ของกรด-ด่าง และแสดงบทบาทที่สำคัญในเมตาบอลิซึมของน้ำด้วย เกลือแร่เหล่านี้มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกันในด้านเมตาบอลิซึม ระดับของโซเดียมและโปแตสเซียมที่แนะนำให้ใช้ในอาหารกุ้งเชิงการค้าคือ 0.6 และ 0.9 % ระดับของคลอรีนมักใช้ได้ไม่จำกัดในสูตรอาหาร การเติมโปแตสเซียมมักใช้ potassium chloride และ potassium iodate (14)

<u>ซัลเฟอร์</u> (S) มีประโยชน์ต่อโปรตีนในรูปกรดอะมิโน เช่น methionine และ cystine ซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบของสารประกอบ เช่น glutathione, taurine, heparine และ chondroitin sulfate ระดับของซัลเฟอร์ในสูตรอาหารมักใช้ได้ไม่จำกัด (14)

<u>เหล็ก</u> (Fe) ใช้ในเอนไซม์ต่าง ๆ เช่น cytochromes, catalases, peroxidases, oxidases และ dehydrogenases กุ้งอาจดูดซึมเหล็กได้น้อยลงถ้ามี phosphates, Ca, phytates, Cu และ Zn สูง การเติมเหล็กลงในอาหารกุ้งจะเติมในรูป ferrous gluconate และ ferric sulfate ระดับที่แนะนำให้เติมในอาหารกุ้งเชิงการค้าคือ 300 ppm. (14)

<u>ทองแดง</u> (Cu) ใช้ในระบบ oxidation-reduction enzymes หลายชนิด และเป็นองค์ประกอบของ hemocyanins เพื่อขนส่งออกซิเจนของกุ้ง การเติมทองแดงอาจเติมในรูป cupric sulfate และ cupric chloride ระดับที่แนะนำในอาหารกุ้งเชิงการค้าคือ 20 ppm. (14)

<u>สังกะสี</u> (Zn) เป็นองค์ประกอบใน enzymes มากกว่า 80 ชนิด และเป็น cofactor ในระบบเอนไซม์ กระบวนการของเมตาบอลิซึมเหล่านี้เช่น โปรตีน กรดนิวคลีอิก ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และ micropolysaccharides การเติมสังกะสีอาจเติมในรูป zinc sulfate และ zinc gluconate ระดับที่แนะนำให้ใช้ในอาหารกุ้งเชิงการค้า

คือ 110 ppm. (14)

แมงกานีส (Mn) มีหน้าที่เป็น cofactor สำหรับเอนไซม์หลายชนิด เช่น phosphate transferases และ dehydrogenases, alkaline phosphatases, arginase และ hexokinase การเติมแมงกานีสอาจใช้ในรูป manganese sulfate ระดับที่แนะนำให้เติมในอาหารกุ้งเชิงการค้าคือ 20 ppm. (14)

ซีลีเนียม (Se) เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ glutathione peroxidase ซึ่งใช้ป้องกันการเกิด oxidation ของเนื้อเยื่อเซลและ membranes ซีลีเนียมและวิตามินอีทำหน้าที่เสริมซึ่งกันและกัน การเติมซีลีเนียมอาจใช้ในรูป sodium selenite ระดับที่แนะนำในอาหารกุ้งเชิงการค้าคือ 1 ppm. (14)

โคบอลท์ (Co) เป็นองค์ประกอบที่จำเป็นของวิตามินบี 12 หรือ cyanocobalamine ความสำคัญของโคบอลท์คือเป็น micronutrient ที่ใช้ได้จำกัดในการสังเคราะห์วิตามินบี 12 ของจุลินทรีย์ในท่อทางเดินอาหารของกุ้ง การใช้โคบอลท์อาจเติมในรูป cobalt sulfate และ cobalt chloride ระดับที่แนะนำในอาหารกุ้งเชิงการค้าคือ 10 ppm. (14)

2.2.8 วิตามิน

วิตามินเป็นอินทรียสารที่มีองค์ประกอบซับซ้อนซึ่งกุ้งต้องการในปริมาณน้อย เพื่อให้กุ้งเจริญเติบโต มีเมตาบอลิซึมและการสืบพันธุ์ปกติ อาหารธรรมชาติที่กุ้งกินมีวิตามินบางชนิดหรือวิตามินที่จำเป็นทั้งหมดไม่เพียงพอ ดังนั้นการเติมวิตามินลงในอาหารจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการเลี้ยงแบบพัฒนา ในอาหารกุ้งเชิงการค้ามักเติมวิตามินให้มากเกินพอ ทำให้ต้นทุนสูง วิตามินที่กุ้งต้องการแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือวิตามินที่ละลายได้ดีในน้ำ (water-soluble vitamin) มี 11 ชนิดคือ thiamine, riboflavin, pyridoxine, pantothenic acid niacin, biotin, inositol, choline, folic acid, cyanocobalamine และวิตามินซี และวิตามินที่ละลายได้ดีในไขมัน (fat-soluble vitamin) มี 4 ชนิดคือวิตามินเอ ดี อี และเค ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

thiamine (B_1) มีบทบาทในการควบคุมเมตาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต เป็นเอนไซม์ร่วมสำหรับ oxidative decarboxylation ของ pyruvic

acid ในเมตาบอลิซึมของพลังงาน B_1 ถูกทำลายได้ถ้ามีทองแดงและเนื้อเยื่อปลาสด การขาด B_1 ทำให้การเจริญเติบโตช้า มีสีคล้ำ และตาย ระดับที่แนะนำให้ใช้ในอาหารกุ้งเชิงการค้าคือ 50 ppm. (14)

riboflavin (B_2) สังเคราะห์ได้จากพืชทุกชนิดและจุลินทรีย์บางชนิด แต่สัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์ได้ หน้าที่ของ B_2 คืออยู่ในรูปของ coenzyme flavin mononucleotide และ flavin adenine dinucleotide B_2 ละลายน้ำได้ดีจึงเกิดการสูญเสียมากระหว่างการผลิตอาหาร และสูญเสียเมื่อสัมผัสแสงแดดด้วย การขาด B_2 ทำให้กุ้งเจริญเติบโตช้า พฤติกรรมว่ายน้ำผิดปกติและตาย ระดับของ B_2 ที่แนะนำให้ใช้ในอาหารกุ้งเชิงการค้าคือ 40 ppm. (14)

pyridoxine (B_6) หรือ active coenzyme pyridoxal phosphate จำเป็นสำหรับปฏิกิริยาของเอนไซม์หลายอย่างในการสร้างกรดอะมิโน การขาด B_6 ทำให้การเจริญเติบโตช้า การว่ายน้ำผิดปกติและตาย ระดับที่แนะนำในอาหารกุ้งเชิงการค้าคือ 50 ppm. (14)

pantothenic acid มีบทบาทด้านเมตาบอลิซึม โดยเป็นส่วนของ coenzyme A ในการขนส่ง acyl group ในปฏิกิริยาทางเอนไซม์ การขาด pantothenic acid จะทำให้เหงือกมีลักษณะผิดปกติ เบื่ออาหาร และตาย ระดับที่แนะนำในอาหารกุ้งเชิงการค้าคือ 75 ppm. (14)

niacin หรือ nicotinic acid เป็นองค์ประกอบของ coenzyme 2 ชนิด คือ nicotinamide adenine dinucleotide และ nicotinamide adenine dinucleotide phosphate การขาด niacin ทำให้การเจริญเติบโตช้าเบื่ออาหาร เซื่องซึม และตาย ระดับของ niacin ที่แนะนำในอาหารกุ้งเชิงการค้าคือ 200 ppm. (14)

biotin เป็นองค์ประกอบที่จำเป็นของระบบเอนไซม์ที่เกี่ยวกับปฏิกิริยา carboxylation, transcarboxylation และ decarboxylation โดยเฉพาะ การขาด biotin ทำให้เบื่ออาหาร การเจริญเติบโตช้า และสีซีด ระดับของ biotin ที่แนะนำในอาหารกุ้งเชิงการค้าคือ 1 ppm. (14)

inositol หรือ myo-inositol เป็น growth factor ที่ละลายน้ำได้ inositol phospholipids ซึ่งพบในเนื้อเยื่อกุ้ง เช่นที่โครงร่าง หัวใจ และสมอง

อาการขาด inositol คือเติบโตช้า เบื่ออาหาร ระดับที่แนะนำในอาหารกุ้งคือ 300 ppm. (14)

choline ใช้เป็นแหล่งของ methyl group และเกี่ยวข้องกับ transmethylations บางส่วน choline เป็นองค์ประกอบที่จำเป็นของ phospholipids และ acetylcholine ซึ่งมีหน้าที่ในการขนส่งไขมัน โครงสร้างเซลและการส่งกระแสความรู้สึก อาการขาดคือเติบโตช้า เบื่ออาหาร มีไขมันในเนื้อมาก ระดับที่แนะนำในอาหารกุ้งคือ 400 ppm. (14)

folic acid อยู่ในรูป coenzymes, tetrahydrofolic acid มีบทบาทเป็น intermediate carrier ของ 1-carbon units (hydroxymethyl หรือ methyl groups) ในปฏิกิริยาเมตาบอลิซึม ปฏิกิริยาเหล่านี้พบในเมตาบอลิซึมของกรดอะมิโนและการสังเคราะห์ purines และ pyrimidines ทางชีวภาพ รวมทั้งเป็นตัวหลักของ nucleotides DNA และ RNA อาการขาดคือการเจริญเติบโตช้า เบื่ออาหาร และเซื่องซึม ระดับที่แนะนำในอาหารกุ้งเชิงการค้าคือ 10 ppm. (14)

cyanocobalamine (B_{12}) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนซึ่งเป็นองค์ประกอบของ porphyrin ring ที่มี cobalt cyanocobalamine ทำหน้าที่เป็นส่วนหนึ่งของ cobarnide enzyme ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ nucleic acid เมตาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต ไขมันและกรดอะมิโน อาการขาดคือการเจริญเติบโตช้าและเบื่ออาหาร ระดับที่แนะนำในอาหารกุ้งเชิงการค้าคือ 0.1 ppm. (14)

วิตามินซี เป็นวิตามินที่ละลายในน้ำและเอธิลแอลกอฮอลได้ เป็น antioxidant ที่สำคัญและถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย หน้าที่หลักของวิตามินซีคือการสังเคราะห์ collagen ซึ่งเป็นองค์ประกอบเฉพาะของ capillaries และ connective tissues อาการขาดทำให้เกิด black death ทำให้อัตราการลอกคราบของกุ้งลดลง ตับอ่อนมีสีสว่างขึ้น การเจริญเติบโตช้า และตาย ระดับที่แนะนำให้ใช้สำหรับ coated ascorbic acid และ stable ascorbic acid derivatives ในอาหารกุ้งเชิงการค้าคือ 1000 และ 100 ppm. (14)

วิตามินเอ มี 2 รูปคือ A_1 (retinol) พบในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม

และปลาทะเล และ A_2 (retinol$_2$) พบในปลาน้ำจืด วิตามินเอเกี่ยวข้องกับการขนส่งแคลเซียมข้ามเนื้อเยื่อบางชนิด การสืบพันธุ์ และการพัฒนาตัวอ่อน และความสมบูรณ์ของเนื้อเยื่อเซล อาการขาดวิตามินเอจะเกี่ยวข้องกับการเกิดสีจางของกุ้งและเปลือกนุ่ม ระดับที่แนะนำในอาหารคือ 10,000 IU/kg (14)

วิตามินดี มีองค์ประกอบหลัก 2 ชนิดคือ D activity เป็น D_2 หรือ ergocalciferol และ D_3 หรือ cholecalciferol D_3 เกี่ยวข้องกับเมตาบอลิซึมของแคลเซียมและฟอสฟอรัสโดยเฉพาะ D_3 ช่วยการดูดซึมและการตกตะกอนของแคลเซียมในโครงร่างภายนอก ช่วยการดูดซึม และการผันกลับของฟอสฟอรัสที่เป็นอินทรียสารไปเป็นฟอสฟอรัสที่เป็นอนินทรียสาร อาการขาดคือการเจริญเติบโตช้า เปลือกนุ่ม และเชื่องซึม ระดับที่แนะนำในอาหารคือ 5,000 IU/kg (14)

วิตามินอี เป็น antioxidant ที่ละลายได้ในไขมัน และเป็นส่วนหนึ่งของกลุ่มที่เรียกว่า tocopherols มีหน้าที่ป้องกัน oxidation ของไขมันในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต ถ้าขาด อัตราการเจริญเติบโตลดลง เกิด depigmentation เนื้อเยื่อมีไขมันมากและตาย ระดับที่แนะนำในอาหารเชิงการค้าคือ 300 ppm. (14)

วิตามินเค เกิดในธรรมชาติมี 2 รูปคือ phylloquinone (K_1 อยู่ในพืช) menaquinone (K_2 อยู่ในจุลินทรีย์) และในรูปสังเคราะห์คือ menadione (K_3) วิตามินเคจำเป็นสำหรับการแข็งตัวของเลือดในสัตว์ทั่วไปและอาจจะเกี่ยวข้องกับการขนส่ง electron และ oxidative phosphorylation ความต้องการวิตามินเคของกุ้งยังไม่เป็นที่แน่ชัด แต่ระดับที่แนะนำในอาหารกุ้งคือ 5 ppm. (14)

2.3 นิสัยการกินอาหารของกุ้ง

กุ้งกุลาดำกินอาหารโดยใช้ขาเดินคู่ที่ 1 หรือ 2 จับอาหาร แล้วถือแทะ เพราะปากกุ้งเป็นแบบกัดแทะ ดังนั้นอาหารจึงต้องมีลักษณะเป็นเม็ดเล็กยาว และไม่แตกตัวง่ายเมื่อจับถือ กุ้งกินอาหารได้ทุกชนิด แต่ชอบเนื้อสัตว์ที่มีกลิ่นคาวมาก เพราะกุ้งรับความรู้สึกที่หนวด บริเวณปากที่ขาเดิน ที่หัว เหงือก ลำตัว และแพนหาง ดังนั้นอาหารกุ้งจึงควรมีกลิ่นดึงดูดให้กุ้งเข้ามากิน กุ้งที่โตจนมีสภาพร่างกายเหมือนพ่อแม่แล้วจะกินอาหารบริเวณผิวหน้าดิน ดังนั้นอาหารต้องเป็นชนิดจมน้ำเร็ว ในธรรมชาติกุ้งเป็นสัตว์ที่กินอาหารเวลากลางคืน แต่กุ้งเลี้ยงฝึกให้กุ้งกินอาหารใน

เวลาอื่นได้ เช่น ฝึกให้กินอาหารวันละ 3 มื้อ คือ เช้า กลางวัน และเย็น เพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุด กุ้งไม่ใช่สัตว์สังคม จะอยู่แยกกัน และมีลักษณะยึดครอง การให้อาหารจึงต้องหว่านให้ทั่วบ่อ กุ้งมีลำไส้สั้นและตรง อาหาร ที่ใช้เลี้ยงจึงควรบดให้ละเอียด เพื่อให้ย่อยได้ง่าย และดูดซึมไปใช้ได้มาก กุ้งจะกินอาหารมากหลังลอกคราบเสร็จใหม่ ๆ และไม่กินอาหารขณะลอกคราบ ดังนั้นจึงต้องปรับปริมาณอาหารให้เหมาะสม (10)

2.4 อาหารที่ใช้เลี้ยงกุ้งกุลาดำ

ชนิดของอาหารกุ้ง แบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ

อาหารธรรมชาติ เป็นอาหารที่มีอยู่ในน้ำทะเล ได้แก่ แพลงค์ตอนพืชและสัตว์ รวมทั้งสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ ที่กุ้งจับกินได้ (3)

อาหารเสริมหรืออาหารสมทบ แบ่งเป็น 3 ชนิด (15) คือ

อาหารสด นิยมใช้หอยสองฝา เช่น หอยกระพง หอยลาย ปลาเป็ด เช่น ปลาช้างเหลือง ปลาหลังเขียว และเคย

อาหารผสมสด (moist feed) เป็นอาหารที่เตรียมจากการผสมปลาสด หอยสดที่บดแล้วผสมกับวัตถุดิบอาหารแห้งอื่น เช่น รำ ปลายข้าว กากถั่วเหลือง อาจมีการใช้สารเหนียวในการช่วยการยึดเกาะของอาหาร แล้วนำไปอัดเม็ด อาจนำมาตากแห้งลดความชื้นเพื่อให้เก็บได้นานขึ้น

อาหารอัดเม็ดสำเร็จรูป (dry feed pellet) เป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วน ผู้เลี้ยงกุ้งกุลาดำนิยมใช้กันมาก เนื่องจากมีข้อดีหลายประการ อาทิ ช่วยลดปัญหาด้านการเกิดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงเนื่องจากอาหารมีความคงตัวในน้ำสูง ใช้สะดวก เก็บได้นาน เพราะเม็ดอาหารมีความชื้นต่ำ ให้อัตราการแลกเนื้อค่อนข้างแน่นอน เนื่องจากเม็ดอาหารแต่ละเม็ดมีคุณค่าทางอาหารสม่ำเสมอผู้เลี้ยงจึงควบคุมผลผลิตกุ้งได้ง่าย สามารถตรวจวิเคราะห์อาหารเพื่อควบคุมคุณภาพให้สม่ำเสมอได้ และเมื่อต้องการผสมยาปฏิชีวนะหรือสารเคมีลงในอาหารก็ทำได้ นอกจากนี้อาหารมีโอกาสนำเชื้อโรคสู่บ่อเลี้ยงต่ำ ส่วนข้อเสียของอาหารอัดเม็ดสำเร็จรูป คือกลิ่นรสของอาหารเปลี่ยนแปลงเนื่องจากกระบวนการผลิต ทำให้กุ้งชอบกินน้อยลง และมีราคาแพง (10)

อาหารกุ้งที่ดีว่าควรมีกลิ่นรสดี ดึงดูดให้กุ้งเข้ากิน กินได้เร็วและมาก มีคุณค่า

ทางโภชนาการครบถ้วนตามที่กุ้งต้องการสำหรับการรักษาสภาพนการเจริญเติบโตและลอกคราบ กุ้งสามารถย่อยอาหารนั้นได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง อาหารไม่เหม็นหืนหรือขึ้นรา จมน้ำเร็ว ขนาดเม็ดอาหารพอเหมาะกับขนาดกุ้ง และคงทนในน้ำได้นาน 2 ชั่วโมงหรือมากกว่า (10)

2.5 วิธีการผลิตอาหารสัตว์น้ำ

เครื่องมือที่ใช้ในการอัดเม็ดแบ่งได้ 3 ชนิด คือเครื่องบดอาหารแบบ mincer เครื่อง pellet mill และ extruder

2.5.1 เครื่องบดอาหารแบบ mincer หรือเครื่องบดเนื้อ ใช้อัดเม็ดอาหารสัตว์น้ำได้หลายขนาด โดยเปลี่ยนขนาดตะแกรงอัดหรือแม่แบบ (die) เป็นเครื่องอัดเม็ดแบบง่าย ราคาถูกใช้กันมากในฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำที่ผลิตอาหารใช้เอง การผลิตอาหารกุ้งยังต้องใช้สารเชื่อมในการเพิ่มความคงตัวในน้ำของเม็ดอาหาร เครื่องมีความสามารถในการผลิตต่ำ (7)

2.5.2 เครื่อง pellet mill เป็นเครื่องอัดเม็ดอาหารสัตว์น้ำที่นิยมใช้กันมากในโรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำ หลักการทำงานของเครื่อง pellet mill คือ การใช้ความร้อน ความชื้น และความดัน ทำให้ส่วนผสมของอาหารแน่นขึ้น มีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น (16) เครื่อง pellet mill ที่ใช้ในการผลิตอาหารกุ้งมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้ (16)

feeder โดยทั่วไปเป็นชนิดสกรู สกรูที่ใช้มีหลายแบบ เช่น ชนิดเกลียวเดียว เกลียวคู่ pitch ครึ่ง และ pitch เต็ม เป็นต้น (16) อาหารที่ผสมแล้วหรือวัตถุดิบผสมจะเข้ามายัง feeder ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการไหลของอาหารเพื่อปรับสภาพ อัตราการไหลของวัตถุดิบผสมปรับได้ เพื่อให้สัมพันธ์กับไอน้ำที่เข้ามาในถังปรับสภาพ การให้ไอน้ำแก่ส่วนผสมมากหรือน้อยเกินไปมีผลเสียต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้

conditioning chamber เป็นเครื่องผสมที่มีใบพัดเคลื่อนที่ได้ ทำหน้าที่ปรับสภาพวัตถุดิบผสมที่เข้ามาด้วยไอน้ำ เพื่อทำให้การอัดเม็ดได้ผลดีเพราะวัตถุดิบผสมจะลื่น เนื่องจากปล่อยน้ำมันธรรมชาติออกมา และแป้งบางส่วนกลายเป็นเจล นอกจากนี้ยังทำให้อาหารย่อยได้ง่ายขึ้น และลด anti-nutritional effect ในวัตถุดิบอาหารกุ้งเกือบทั้งหมด เป็นผลให้แป้งในอาหารทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมได้ดี และอาหารมีความคงตัวในน้ำดี อาหารจึงมีคุณภาพสูงขึ้น

สูงขึ้น (17)

pelleting device ประกอบด้วย roller และ die (แม่แบบ) โดยมี roller 2 อัน ติดตั้งในแนวตั้ง วัตถุดิบผสมที่ผ่านการปรับสภาพแล้วจะเข้ามายัง roller แล้วผ่านไปยังแม่แบบ ซึ่งส่วนนี้มีความสำคัญมากเพราะการหมุนตัวของแม่แบบทำให้เกิดแรงดัน และความร้อน มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ แรงดันจำนวนมากจากการอัดตัวของ roller และการหมุนของแม่แบบดันวัตถุดิบผสมผ่านรูเปิดแม่แบบ ผลิตภัณฑ์ที่ออกมามีรูปร่างเหมือนแม่แบบ ซึ่งทำหน้าที่เป็นแม่พิมพ์สำหรับผลิตภัณฑ์ อาหารที่โผล่พ้นแม่แบบออกมามีลักษณะเป็นแท่งยาว จึงต้องตัดให้มีขนาดตามต้องการด้วยมีดที่ปรับความเร็วได้

speed reduction device เป็นอุปกรณ์สำหรับปรับความเร็วของ motor และแม่แบบ ให้เหมาะสมในการผลิต อุปกรณ์ที่ใช้เช่น gear shifts ร่วมกับ gear train

prime motors ที่นิยมใช้คือ electric motor เป็นส่วนที่ทำให้เกิดกำลังงานในการผลิต

base ใช้เพื่อทำให้เครื่อง pellet mill และ motor ตั้งอยู่ในแนวตรง และยังทำให้การติดตั้งเครื่องสะดวก รวดเร็ว ง่าย และมีประสิทธิภาพ

เครื่อง pellet mill มีประสิทธิภาพในการผลิตอาหารกุ้งได้สูงขึ้นเมื่อเทียบกับชนิดแรก เพราะควบคุมความร้อนและความชื้นของอาหารในการผลิตได้ และมีกำลังผลิตสูงขึ้น แต่ในการผลิตยังต้องใช้สารเชื่อมเพื่อเพิ่มความคงทนในน้ำให้กับเม็ดอาหาร และต้องใช้ผู้ที่มีความชำนาญในการผลิตด้วย นอกจากนี้ในการผลิตอาหารกุ้งด้วยเครื่อง pellet mill จำเป็นต้องใช้ปลาป่นซึ่งเป็นแหล่งโปรตีนราคาแพง เพื่อให้อาหารมีระดับโปรตีนสูงตามความต้องการของกุ้ง และผลิตภัณฑ์ที่ได้เมื่อกระทบกระแทกกันจะมีส่วนที่ป่นมาก

ขั้นตอนการผลิตอาหารกุ้งโดยใช้เครื่อง pellet mill เริ่มจากการบดวัตถุดิบ นิยมใช้ micropulverizers ในการลดขนาดวัตถุดิบให้มีขนาดอนุภาคประมาณ 60 mesh (18) เนื่องจาก วัตถุดิบที่มีอนุภาคขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวมาก เมื่อผ่านไปยัง roller จึงเกิดแรงดันจำนวนมากขึ้น มีผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความคงตัวในน้ำดีกว่าการใช้วัตถุดิบที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ จากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนการผสม นิยมใช้เครื่องผสมแบบนอน เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการผสมวัตถุดิบที่เป็นของเหลวและวัตถุดิบแห้งเข้าด้วยกันสูงกว่าเครื่องผสมแบบตั้ง (16) เมื่อได้วัตถุดิบผสมแล้วจึงนำมาอัดเม็ด การอัดเม็ดทำโดยใส่วัตถุดิบผสมลงใน feeder ซึ่งควบคุมการไหลของวัตถุดิบ-

019163

ผสมไปปรับสภาพด้วยไอน้ำในถังปรับสภาพ ในการผลิตอาหารกุ้งมักปรับสภาพวัตถุดิบให้มีอุณหภูมิสูงถึง 43 °C ความชื้น 16-17 % และใช้เวลานาน 2-5 นาที (17) จากนั้นวัตถุดิบผสมจะเข้าไปยัง rollers และแม่แบบ โดยแม่แบบที่ใช้ในการผลิตอาหารกุ้งต้องมีความเหมาะสมทั้งขนาดของรูเปิด ความหนา และรูปร่าง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามต้องการและเครื่องมีประสิทธิภาพในการอัดสูง (19) นอกจากนั้นยังต้องควบคุมความเร็วในการหมุนของแม่แบบให้เหมาะสมในการผลิตด้วย เมื่อผลิตภัณฑ์ผ่านพ้นแม่แบบออกมาจะตัดด้วยมีดให้ได้ขนาดที่ต้องการ เม็ดอาหารที่ได้นำมาทำให้เย็นและแห้ง ลดความชื้นลงเหลือ 10-12 % และอุณหภูมิสูงกว่าสิ่งแวดล้อมไม่เกิน 10 °C (16) โดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบลมเป่าผ่าน ซึ่งมีทั้งแบบตั้งและแบบนอน เครื่องทำความเย็นแบบตั้งราคาถูก เหมาะสำหรับโรงงานขนาดเล็ก แต่มีเพดานสูง ส่วนเครื่องทำความเย็นแบบนอนมีกำลังผลิตสูงกว่าและทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นได้คราวละมาก ๆ แต่มีข้อเสียที่มีความสามารถในการดูดฝุ่นอาหารกลับเพื่อนำไปผลิตใหม่น้อยกว่า จากนั้นจึงนำไปลดขนาด การลดขนาดทำโดยใช้ crumbler ซึ่งประกอบด้วย corrugated rolls 2 อัน ติดตั้งไว้ใกล้กันและหมุนในทิศทางเดียวกัน การลดขนาดมักทำสำหรับอาหารสัตว์ขนาดเล็กเช่น ลูกกุ้ง ลูกปลา เพื่อให้สัตว์กินอาหารได้ง่าย (16) อาหารเม็ดที่ผ่านการลดขนาดแล้วจะนำมาคัดขนาด เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ทั้งหมดมีขนาดใกล้เคียงกันมากที่สุด เครื่องคัดขนาดที่นิยมใช้คือ oscillating scalper (16) จากนั้นเติมไขมัน การเติมไขมันส่วนใหญ่ทำหลังอัดเม็ด เพราะการเติมไขมันลงในวัตถุดิบผสมจะทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่ำ และเพื่อป้องกันการเกิดสนิมที่แม่แบบ ซึ่งเกิดจากไขมันบางชนิด (16) เครื่องเติมไขมันมีส่วนประกอบคือ ถังใส่อาหาร เครื่องป้อน ระบบกระจายไขมัน และ tumbling drum จากนั้นจึงเข้าสู่ขั้นตอนสุดท้ายคือการบรรจุหรือเก็บ เม็ดอาหารที่ผลิตได้จะเก็บไว้ในไซโลหรือบรรจุถุง ซึ่งสถานที่เก็บควรมีอากาศถ่ายเทสะดวก ไม่อับชื้น อุณหภูมิไม่สูงเกินไป และแสงแดดส่องไม่ถึง เพื่อป้องกันการสลายตัวของสารอาหารบางอย่าง เช่น วิตามิน อาหารที่บรรจุถุงควรเก็บเรียงไว้บนแผ่นไม้ที่สูงจากพื้น 4-5 นิ้ว เพื่อป้องกันการเกิดราเนื่องจากความชื้นจากพื้น (7)

2.5.3 <u>เครื่อง extruder</u> การนำ extruder มาใช้ผลิตอาหารสัตว์และผลิตภัณฑ์ที่ทำให้แป้งเกิดเจลในระดับโรงงานเริ่มขึ้นระหว่างปี ค.ศ. 1955 ถึง 1960 ในประเทศสหรัฐอเมริกา (20) จากนั้นเทคโนโลยีใหม่นี้ได้ขยายตัวอย่างรวดเร็วไปยังวงการอุตสาหกรรม

อื่นมากมาย เช่น pasta product อาหารว่าง ลูกกวาด และอื่น ๆ ปัจจุบันมีการนำ extruder มาผลิตอาหารสัตว์น้ำเนื่องจากมีข้อดีหลายอย่าง

Oak Smith (อ้างถึงใน Kearns,21) อธิบาย extusion cooking ว่าเป็นกระบวนการที่มีความชื้น การขยายตัว ใช้วัตถุดิบพวกแป้ง และ/หรือโปรตีน มีลักษณะคล้ายพลาสติกอยู่ภายในท่อ เกิดจากการกระทำร่วมกันของความดัน ความร้อน และแรงเฉือนด้วยในบางครั้ง เป็นผลให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ในท่อสูงขึ้น ส่วนประกอบพวกแป้งจะเกิดเจล พวกโปรตีนเกิดการแปลงสภาพ แล้วเกิดการขยายตัว ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการขึ้นรูปและขยายตัวภายนอก

การให้ความร้อนในกระบวนการ extrusion มีทั้งแบบให้ความร้อนต่ำจนถึงสูงมาก ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์ (22) เช่นผลิตภัณฑ์ประเภทมักกะโรนีใช้อุณหภูมิต่ำประมาณ 35 °C ขณะที่พวกอาหารว่างซึ่งมีลักษณะกรอบพองใช้อุณหภูมิถึง 180 °C (23) เพื่อทำให้ผิวอาหารเกิดเจลและพองออก ส่วนผลิตภัณฑ์ประเภทอาหารสัตว์ซึ่งเม็ดอาหารพองตัว เช่น อาหารแมว สุนัข ใช้ความร้อนในการผลิตสูง เพื่อทำให้อาหารเกิดเจลได้มาก ภายในเครื่อง extruder ต้องมีแรงเฉือนปานกลางและมีความดันสูง และผลิตภัณฑ์ประเภท texturized vegetable protein ใช้อุณหภูมิสูงถึง 230 °C (24) การผลิตอาหารประเภทนี้เครื่อง extruder ต้องมีแรงอัดสูงด้วย การให้ความร้อนในการผลิต texturized vegetable protein และการผลิตอาหารสัตว์เป็นแบบ high temperature short time (HTST) คือใช้อุณหภูมิสูงและเวลาสั้น เช่น อุณหภูมิของอาหารเพิ่มขึ้นเป็น 115-177 °C ในระยะเวลา 10-20 วินาที (21)

2.6 ชนิดของ extruder ที่ใช้ผลิตอาหารสัตว์น้ำ

เครื่อง extruder ที่ใช้ผลิตอาหารสัตว์น้ำแบ่งตามจำนวนสกรูที่ใช้เป็น 2 ชนิด (20) คือเครื่องชนิดสกรูเดี่ยว (single screw) และสกรูคู่ (twin screw) เครื่องทั้งสองชนิดมีส่วนประกอบโดยทั่วไปเหมือนกันจะแตกต่างกันเฉพาะจำนวนสกรู โดยชนิดสกรูเดียวมีสกรูเพียงอันเดียว มีความสามารถในการผลิตต่ำกว่าแบบสกรูคู่ ซึ่งมีสกรู 2 อัน เครื่องชนิดสกรูคู่สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นต่ำมากได้ขณะที่เครื่องชนิดสกรูเดี่ยวผลิตไม่ได้ และชนิดสกรูคู่ใช้พลังงานในการผลิตอาหาร 1 กิโลกรัมน้อยกว่าชนิดสกรูเดี่ยว จึงไม่ต้องใช้ตู้อบในการทำแห้ง แต่เครื่องชนิดสกรูเดี่ยวมีราคาต่ำกว่าและมีความยุ่งยากในการประกอบเครื่องเพื่อใช้งานน้อยกว่าชนิดสกรูคู่ ดังนั้นการนำเครื่อง extruder ชนิดสกรูคู่มาใช้ผลิตอาหารในอุตสาหกรรมจึงยังมีน้อย (20)

เครื่อง extruder ทั้งสองชนิดใช้ผลิตอาหารสัตว์น้ำได้ทั้งชนิดลอย (floating aquatic feeds) ชนิดจม (sinking aquatic feeds) และชนิดจมช้า (slow sinking aquatic feeds) (26) การผลิตอาหารแต่ละชนิดทำได้โดยใช้เครื่องมือชนิดเดียวกันเพียงแต่ปรับภาวะการผลิตและอุปกรณ์บางชิ้นให้เหมาะสม (21) เช่น การผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดลอยโดยใช้เครื่องชนิดสกรูเดี่ยว ซึ่งเป็นเครื่องของบริษัท Wanger International, Inc. (26) อาหารซึ่งอยู่ในช่วงทำให้สุกมีความชื้น 24-27 % ขณะที่การผลิตอาหารชนิดจมใช้อาหารมีความชื้นมากขึ้นคือ 30-32 % และใช้แม่แบบที่เส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าการผลิตอาหารชนิดลอย แต่เครื่องมีสมรรถนะในการผลิตอาหารชนิดลอยมากกว่าชนิดจม คือชนิดลอยผลิตได้ 4 ตัน/ชั่วโมง ขณะที่ชนิดจมทำได้ 1.2-1.8 ตัน/ชั่วโมง แต่เมื่อมีการปรับปรุงรูปแบบของ extruder barrel ให้เหมาะสมต่อการผลิตอาหารชนิดจมแล้ว ความสามารถในการผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 3.3 ตัน/ชั่วโมง และลดความชื้นของวัตถุดิบผสมที่ใช้เป็น 22-25 % ได้ (26)

เครื่อง extruder มีส่วนประกอบสำคัญ 5 ส่วน (22) คือ

main power เป็นส่วนที่ทำให้เครื่องเกิดการทำงานได้ ส่วนประกอบนี้ไม่เกี่ยวข้องกับตัวอาหารหรือวัตถุดิบอาหารโดยตรง

feed assembly ประกอบด้วย feeding, mixing หรือ blending และ preconditioning เพื่อให้ความร้อนหรือความชื้นแก่วัตถุดิบ ทำให้วัตถุอาหารไหลลื่นได้ดี ผสมผสานเป็นเนื้อเดียวกัน เพื่อให้เครื่องทำงานได้ราบรื่น ส่วนประกอบในส่วนนี้ ได้แก่ hopper หรือ bin, feeder มีสกรูป้อนเป็นตัวพาวัตถุดิบผสมเข้าเครื่อง, slurry tanks, และ preconditioner

extruder screw หรือสกรูอัดเป็นส่วนประกอบที่อยู่ตรงกลางเครื่อง ทำหน้าที่ลำเลียงอาหารผสมที่ป้อนเข้าทางส่วนป้อน แล้วพาไปข้างหน้าไปยังแม่แบบ สกรูแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ feed section ทำหน้าที่ลำเลียงอาหารไปข้างหน้า ส่วนถัดมาคือ compression section ทำหน้าที่นวดอัด บดผสมอาหารแล้วเกิดความร้อนขึ้น ทำให้อาหารเปลี่ยนเป็น dough ซึ่งมีลักษณะข้นหนืด และส่วนสุดท้าย metering section ทำหน้าที่นำอาหารจากสกรูอัดไปยังแม่แบบซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดแรงเฉือนสูงสุดในอาหาร และเกิดความร้อนจากการเสียดสี ซึ่งเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ความข้นหนืดลดลงหรือหมดไป

extruder barrel เป็นท่อทรงกระบอกสวมหรือครอบตามความยาวสกรู barrel

เป็นตัวกำหนดการเคลื่อนที่ของวัตถุอาหาร ด้านใน barrel จะเป็นร่องเพื่อป้องกันการไหลลื่นของวัตถุอาหาร ร่องช่วยเพิ่มการขับเคลื่อนให้มากยิ่งขึ้นและต้านการดันกลับ ร่องของ barrel มี 2 แบบ คือ straight และ spiral ลักษณะผลิตภัณฑ์มีผลต่อการเลือกแบบร่องของ barrel ที่ใช้ รวมทั้งการกำหนดอุณหภูมิ barrel ที่ต้องการด้วย

extruder discharge เป็นส่วนที่อยู่ต่อจากสกรูตัวสุดท้าย ส่วนนี้ประกอบด้วย แม่แบบ cutter และอุปกรณ์ลำเลียงอาหารไปยังหน่วยผลิตอื่น

2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตอาหารกุ้งโดยใช้ extruder

ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตอาหารกุ้งแบ่งออกเป็น 2 ปัจจัยใหญ่คือ (22)

2.7.1 วัตถุดิบ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ปัจจัยคือ

ส่วนประกอบของวัตถุดิบ ที่เป็นส่วนประกอบหลักของวัตถุดิบในอาหารกุ้งคือโปรตีน เนื่องจากเป็นสารอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง โปรตีนในอาหารเมื่อผ่านกระบวนการ extrusion จะเกิดการแปลงสภาพ แล้วเกิดเจลขึ้นบางส่วน ส่วนประกอบที่มีความสำคัญถัดมาคือ แป้ง ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิต เพราะทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมให้อาหารเกาะตัวกัน มีความคงตัวในน้ำสูง การผลิตอาหารกุ้งโดยใช้ extruder ควรมีแป้งในสูตรอย่างน้อย 5-10 % (26) นอกจากนี้ควรมีส่วนประกอบไขมันในวัตถุดิบอย่างน้อย 5 % เพื่อช่วยหล่อลื่นให้วัตถุดิบไม่เกิดการติดขัดระหว่างการผลิต (27)

ความชื้นของวัตถุดิบ เป็นตัวกำหนดลักษณะของผลิตภัณฑ์ ถ้าวัตถุดิบที่มีความชื้นสูงเกินไปจะเกาะกันเป็นก้อนอยู่ในถังป้อน ทำให้ส่วนผสมป้อนเข้าสกรูอัดไม่สม่ำเสมอ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพต่ำ (22) กำลังผลิตของเครื่องต่ำลง เช่น การผลิต full-fat soy flour โดยใช้ extruder ถ้าความชื้นของวัตถุดิบผสมเท่ากับ 25-30 % เครื่องจะมีกำลังผลิตน้อยกว่าการผลิตที่ใช้ความชื้น 15-20 % (28) แต่ถ้าความชื้นวัตถุดิบผสมน้อยเกินไป เม็ดอาหารที่ได้จะได้จะมีคุณภาพต่ำ สูญเสียวิตามินและกรดอะมิโนมากขึ้น เพราะเกิดแรงเฉือนใน extruder barrel เพิ่มขึ้น (26)

ขนาดของอนุภาคของวัตถุดิบ ที่ใช้ทำอาหารกุ้งควรมีขนาดน้อยกว่า 1/3 ของเส้นผ่านศูนย์กลางแม่แบบ ส่วนมากจะใช้วัตถุดิบที่มีขนาดที่สามารถผ่านตะแกรงขนาด 50 mesh ได้

ทั้งหมด (21) เพราะการใช้วัตถุดิบที่มีขนาดใหญ่จะทำให้เกิดผลเสียเช่น เกิดการอุดตันในบางส่วนของแม่แบบ ทำให้ผลิตภัณฑ์บางส่วนลอยน้ำได้ ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่ต้องการสำหรับอาหารกุ้ง นอกจากนี้ขนาดอนุภาคของวัตถุดิบที่ใหญ่เกินไปยังผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันได้ยาก การใช้วัตถุดิบขนาดเล็กจะไม่ทำให้เกิดปัญหาดังกล่าวข้างต้นแล้วยังช่วยลดพลังงานและเวลาในการผลิตด้วย (22) วัตถุดิบทุกชนิดในสูตรอาหารควรมีขนาดใกล้เคียงกัน

2.7.2 <u>ตัวแปรของเครื่อง extruder</u> ตัวแปรที่สำคัญของเครื่องที่เกี่ยวข้องกับการผลิตมีดังนี้

ความเร็วสกรูป้อน สกรูป้อนทำหน้าที่ส่งวัตถุดิบผสมเข้าไปภายในเครื่อง ถ้าความเร็วของสกรูป้อนสูงจะทำให้เกิดแรงเสียดทานภายในเครื่องสูงขึ้น มีผลให้เกิดพลังงานความร้อนสูง แต่ถ้าความเร็วสกรูป้อนที่ใช้ต่ำทำให้กำลังผลิตของเครื่องลดลง และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ (22)

ความเร็วสกรูอัด เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญมาก อาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมากในส่วนนี้ ถ้าความเร็วสกรูอัดสูงจะทำให้เกิดความดันและแรงเฉือนภายในเครื่องสูง ซึ่งมีผลให้อุณหภูมิสูงขึ้นด้วย (22) และสิ่งเหล่านี้จะไปมีผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้ การผลิตอาหารกุ้งถ้าใช้ความเร็วสกรูอัดสูงเกินไปจะได้ผลิตภัณฑ์ที่หองตัว แต่ถ้าใช้ความเร็วสกรูอัดต่ำเกินไปจะทำให้การผลิตช้า และทำให้ได้ผลิตภัณฑ์คุณภาพต่ำ เนื่องจากเม็ดอาหารอัดตัวกันไม่แน่นพอ

อุณหภูมิภายในเครื่อง เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตมาก เพราะทำให้วัตถุดิบเกิดการสุก และผลิตภัณฑ์หองตัวได้ ในการผลิตอาหารกุ้งซึ่งไม่ต้องการเม็ดอาหารหองตัวจึงไม่ควรใช้อุณหภูมิภายในเครื่องสูงเกินไป แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไปผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเกาะตัวกันไม่ดี เนื่องจากแป้งในเม็ดอาหารไม่กลายเป็นเจล

อัตราส่วนการอัดของสกรู (compression ratio) เป็นตัวแปรที่สำคัญตัวหนึ่ง เพราะมีผลต่อการสุกและหองตัวของผลิตภัณฑ์ ถ้าใช้อัตราส่วนการอัดของสกรูสูงจะทำให้วัตถุดิบผสมเกิดการสุกและหองตัวมากกว่าการใช้อัตราส่วนการอัดสกรูต่ำกว่า (22) ดังนั้นการผลิตอาหารกุ้งซึ่งเป็นอาหารสัตว์น้ำชนิดจมจึงควรเลือกใช้สกรูที่มีอัตราส่วนการอัดต่ำเช่น 1:1

ขนาดแม่แบบ แม่แบบเป็นส่วนประกอบสุดท้ายที่ทำหน้าที่เป็นแม่พิมพ์ให้ผลิตภัณฑ์ที่

ออกมามีรูปร่างตามต้องการ ขนาดของแม่แบบที่ใช้จะใช้ตามขนาดของอาหารกุ้งที่ต้องการ เช่น อาหารเลี้ยงกุ้งกุลาดำวัยรุ่นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ต้องใช้แม่แบบที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตรด้วย รูปร่างของแม่แบบที่ใช้ในการผลิตอาหารกุ้งเป็นรูกลม เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ออกมาเป็นแท่งกลม

2.8 ขั้นตอนการผลิต

การผลิตอาหารกุ้งโดยใช้เครื่อง extruder มีขั้นตอนการผลิตคล้ายการผลิตโดยใช้เครื่อง pellet mill โดยเริ่มจากการบดวัตถุดิบซึ่งมีวัตถุประสงค์ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.7.1 เครื่องมือที่ใช้ลดขนาดของวัตถุดิบที่นิยมใช้ได้แก่ hammer mill จากนั้นนำวัตถุดิบอาหารแต่ละชนิดตามสัดส่วนในสูตรมาผสมกัน การผสมมีวัตถุประสงค์และอุปกรณ์เหมือนกับการผลิตโดยใช้เครื่อง pellet mill หลังผสมปรับสภาพด้วยไอน้ำใน preconditioner เพื่อปรับความชื้นและอุณหภูมิของวัตถุดิบให้เหมาะสมต่อการอัดเม็ด จากนั้นนำวัตถุดิบผสมที่ได้มาอัดเม็ด โดยวัตถุดิบผสมจะเข้ามาที่ส่วนป้อนของเครื่อง สกรูจะลำเลียงอาหารไปทางด้านหน้าเครื่อง แล้วอัดอาหารออกมาเป็นแท่ง ในช่วงของการอัดเม็ดนี้อาหารจะได้รับความร้อนและความชื้นด้วย สำหรับอาหารกุ้งกุลาดำความชื้นของวัตถุดิบผสมระหว่างผ่านสกรูควรเท่ากับ 30-32 % (26) ภายใน barrel ของ extruder ในขั้นตอนการอัดเม็ดนี้สามารถแบ่งเป็น 3 ช่วง (17) คือ ช่วงแรก feed zone ทำให้วัตถุดิบอาหารเกิดการบดผสมจนเป็นเนื้อเดียวกันแล้วเข้าสู่ช่วงสอง kneading zone อาหารเกิดการคลุกเคล้าและมีแรงเฉือนเกิดขึ้นบ้าง ทำให้เกิดความร้อน อาหารจะเปลี่ยนเป็น dough เข้าสู่ช่วงสุดท้าย cooking zone ช่วงนี้มีแรงเฉือนเกิดมากที่สุด และเกิดความร้อนเพิ่มมากขึ้นด้วย จากนั้นอาหารจะผ่านออกไปยังแม่แบบ ซึ่งทำหน้าที่ให้ผลิตภัณฑ์มีรูปร่างตามต้องการ แล้วเข้าสู่ส่วนตัดให้มีขนาดเหมาะสมกับขนาดการใช้งาน ผลิตภัณฑ์ที่มีการพองตัว เช่น อาหารปลา จะเกิดการขยายตัวทันทีหลังออกจากแม่แบบ อาหารเม็ดที่ได้จะนำไปทำให้แห้ง เพราะผลิตภัณฑ์ที่ออกจากเครื่องมักมีอุณหภูมิและความชื้นสูง อาหารสัตว์น้ำโดยทั่วไปจะมีความชื้น 20-30 % (21) จึงต้องลดความชื้นและอุณหภูมิลงเพื่อให้เก็บได้นาน การทำแห้งนิยมใช้เครื่องอบแห้งแบบมีลมร้อนเป่าผ่าน (hot air dryer) ในช่วงของการทำแห้งนี้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จะลดลงด้วย (20) จากนั้นนำอาหารเม็ดไปคัดขนาดด้วยเครื่องคัดขนาดเพื่อแยกเม็ดอาหารที่มีขนาดใหญ่และเล็กเกินไปออก โดยใช้เครื่องคัดขนาดแบบ vibrating

shaker (29) จากนั้นนำอาหารเม็ดที่มีขนาดตามต้องการไปเติมไขมันหรือของเหลวอื่น ๆ ขั้นตอนนี้ทำโดยฉีดพ่นไขมันไปบนผิวของเม็ดอาหาร การเติมไขมันอาจเติมหลังทำแห้งหรือหลังทำให้เย็นก็ได้ (29) แต่อาหารกุ้งจะเติมหลังจากทำแห้งเท่านั้น เพราะคุณชีบของเหลวยากจึงต้องใช้ความร้อนเข้าช่วย นอกจากนี้ยังสามารถเติมสารแต่งกลิ่นรส วิตามิน และ อื่น ๆ ด้วย อาหารเม็ดที่ผ่านการเติมไขมันจะต้องนำมาทำให้เย็นก่อนเก็บใส่ไซโลหรือบรรจุ เพื่อป้องกันการเน่าเสีย (29) การทำให้เย็นนิยมใช้เครื่องทำความเย็นระบบลมเย็นเป่าผ่าน จากนั้นนำมาคัดขนาดด้วยเครื่องคัดขนาด ซึ่งจะกำจัดเม็ดอาหารที่ใหญ่และเล็กเกินไปออก เม็ดอาหารที่มีขนาดเล็กเกินไปจะบดเป็นผงแล้วใช้เป็นส่วนผสมในสูตรอาหาร ปกติจะใช้ได้ไม่เกิน 5 % ของวัตถุอาหารผสมในสูตร (21) แล้วจึงเข้าสู่ขั้นตอนสุดท้ายของการผลิตคือการบรรจุและเก็บ ซึ่งทำเหมือนกับการผลิตอาหารกุ้งโดยใช้เครื่อง pellet mill

2.9 คุณค่าทางโภชนาการของอาหารที่ผ่านกระบวนการ extrusion

อาหารที่ผ่านกระบวนการ extrusion แล้วจะเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางโภชนาการดังนี้

2.9.1 โปรตีน

โดยทั่วไปอาหารที่ได้รับความร้อนต่ำ (อุณหภูมิประมาณ 70 °C) โปรตีนจากพืชจะย่อยสลายได้ง่ายขึ้น (30,31) ส่วน protease inhibitor และ antiphysiological substances อื่นจะเกิดปฏิกิริยาได้น้อยลง แต่ถ้าให้ความร้อนสูงถึง 121 °C โปรตีนจะใช้ประโยชน์ได้น้อยลง (32) เนื่องจาก biological availability ของกรดอะมิโนถูกกระทบจากปฏิกิริยาต่าง ๆ เช่น กรดอะมิโนที่มีหมู่ก้ามะถันเป็นส่วนประกอบจะเกิดปฏิกิริยา oxidation และ desulpherization ได้ง่าย อาหารที่มี reducing sugar เมื่อให้ความร้อนจะมีผลให้ available lysine ลดลง เนื่องจากเกิด Maillard reaction (33) อาหารที่ผลิตโดยใช้ extrusion cooker สูญเสียโปรตีนทั้งทางด้านปริมาณและคุณภาพน้อย แม้จะใช้ความร้อนสูงเมื่อเทียบกับกระบวนการอื่น ทั้งนี้เพราะกระบวนการ extrusion ใช้ความร้อนสูงและระยะเวลาสั้นในการผลิต ความร้อนของกระบวนการนี้สามารถทำลายสารยับยั้งการเจริญเติบโตในถั่วบางชนิด เช่น trypsin inhibitor (TI), hemaglutinin (29) Mustakas และคณะ (28) ทดลองผลิต full-fat soy flour (FFSF) โดยใช้ pilot-plant extruder ความชื้น

ของวัตถุดิบผสม 20 % retention time 2 นาที อุณหภูมิก่อนออกจากเครื่อง 135 °C พบว่าสามารถยับยั้ง TI ได้สูงถึง 89 % มี available lysine เหลืออยู่ 6.3 % ของโปรตีน และให้ค่า PER สูงสุด 2.15 Harpper (27) รายงานว่ากระบวนการ extrusion ทำลาย gossypol ซึ่งเป็นสารยับยั้งการเจริญเติบโตในเมล็ดฝ้ายได้ Cabrera และคณะ (34) ทดลองผลิต texturized vegetable protein ด้วยแป้งจากเมล็ดฝ้าย โดยใช้ Wanger X-5 extruder ใช้ภาวะการผลิตคือ ความเร็วสกรู 300-350 รอบ/นาที ความชื้นของผลิตภัณฑ์ก่อนออกจากเครื่อง 12.0-16.0 % และอุณหภูมิก่อนออกจากเครื่อง 103-135 °C พบว่าแป้งจากเมล็ดฝ้ายดิบมี free gossypol 0.077 % แต่เมื่อทำเป็น texturized protein แล้วมี free gossypol เพียง 0.012 % ซึ่งเป็นระดับที่ปลอดภัยต่อการบริโภคของคน ภาวะการผลิตอาหารโดยใช้ extrusion cooker ส่วนมากใช้ความร้อนสูงและความชื้นของอาหารต่ำ ภาวะเช่นนี้จะเกิด Maillard reaction ได้ดี ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง reducing sugar และ free amino group ในโปรตีน ในระหว่างกระบวนการ extrusion แป้งบางส่วนในอาหารถูกย่อยกลายเป็นน้ำตาล sucrose และน้ำตาลนี้แตกออกเป็น reducing sugar แล้วทำปฏิกิริยากับ lysine ทำให้ปริมาณ lysine ที่เหลืออยู่น้อยลง (33) Jeunink และ Cheftel (35) ทดลองผลิต texturized vegetable protein จาก field bean โดยใช้ extrusion cooker ชนิด Creusot-Loire BC45 ใช้ภาวะการผลิตคืออุณหภูมิของ barrel 245-265 °C อัตราป้อน 400 กรัม/นาที อัตราเร็วสกรู 50-100 รอบ/นาที พบว่าผลิตภัณฑ์มี unavailable lysine เพิ่มขึ้น 55 % และสูญเสีย lysine เพียง 1.47 % ขณะที่ Rosenberg และ Rohdenburg (36) ศึกษาการสูญเสีย lysine ในระหว่างอบขนมปังโดยใช้เตาอบ พบว่าสูญเสีย lysine สูงถึง 11.0 % นอกจากนี้ Jeunink และ Cheftel (35) ยังพบว่าปริมาณกรดอะมิโนอื่น เช่น aspartic acid, threonine, serine, glutinine, proline, glycine, alanine, isoleucine, phenylalanine, histidine และ arginine ไม่เกิดการสูญเสีย ส่วน leucine สูญเสียไป 2.47 % tryptophan 6.25 % และ cysteine + cystine 8.5 %

2.9.2 <u>ไขมัน</u>

Cheigh, Kim และ Kim (37) ทดลองผลิตน้ำมันจากรำข้าวโดยใช้ extruder

ชนิด Low-cost KIST extruder (KIST-E03030-100) เพื่อทำให้รำข้าวคงตัว ภาวะการผลิตที่ใช้คืออุณหภูมิเครื่อง 131-146 °C ความเร็วสกรู 600-1100 รอบ/นาที รำข้าวที่ผ่าน extrusion มีลักษณะเป็นแผ่นหรือเม็ด จากนั้นนำไปสกัดน้ำมัน พบว่า penetration rate ของ n-hexane ระหว่างการสกัดของรำที่ผ่านกระบวนการ extrusion สูงถึง 27.02 เซนติเมตร/นาที ขณะที่รำสดและรำที่ผ่านการให้ไอน้ำมี penetration rate 1.56 และ 2.96 เซนติเมตร/นาที ตามลำดับ รำที่มีค่า penetration rate สูงจะใช้เวลาในการสกัดน้อยลง น้ำมันที่ได้เมื่อนำไปเก็บไว้ที่ 32 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % เป็นเวลานาน 5 สัปดาห์ พบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันซึ่งได้จากรำที่ผ่านกระบวนการ extrusion เพิ่มขึ้นจาก 9 % เป็น 14 % ขณะที่น้ำมันจากรำสดมีกรดอะมิโนอิสระถึง 43 % เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาเก็บ การมีกรดอะมิโนอิสระในน้ำมันมากจะทำให้จุดเป็นควันของน้ำมันต่ำลง ทำให้อาหารดูดกลืนน้ำมันได้มากกว่าปกติ

2.9.3 <u>คาร์โบไฮเดรต</u>

Mercier และ Feillet (38) ศึกษาปริมาณน้ำตาลของ corn grit ที่ผ่านการให้ความร้อนแบบ extrusion ผลิตโดยใช้ extrusion cooker ขนาดเล็กที่พัฒนามาจากเครื่อง extrusion cooker ชนิด Creusot-Loire ภาวะการผลิตที่ใช้คือ อุณหภูมิของ barrel 70-247 °C ความเร็วสกรู 20-120 รอบ/นาที ความชื้นของวัตถุดิบผสม 10.5-28.5 % พบว่าปริมาณ fructose, glucose และ raffinose ลดลง เขาอธิบายว่าการสูญเสียน้ำตาลเหล่านี้อาจเกิดจาก Maillard reaction นอกจากนี้กระบวนการให้ความร้อนแบบ extrusion ยังมีผลให้แป้งเกิดเจล มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยลง เช่น dextrins และอาจเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง amylose-lysolecithin complex แต่จากการศึกษาผลกระทบของสารประกอบเชิงซ้อนตัวนี้ต่อการเจริญเติบโตของหนู พบว่าหนูสามารถย่อยสารนี้ได้เกือบสมบูรณ์ จึงเห็นได้ว่าสารประกอบเชิงซ้อนนี้ร่างกายสามารถนำไปใช้ได้ (33)

2.9.4 <u>วิตามิน</u>

โดยทั่วไปวิตามินที่ศึกษาในอาหารที่ผลิตโดยใช้ extrusion cooker ได้แก่ วิตามินบี ซี เอ และอี โดยวิตามินบีจะศึกษาเฉพาะ thiamine และ riboflavin มากที่

สุด เพราะวิตามินทั้ง 2 ชนิดนี้มีเกี่ยวข้องกับภาวะการผลิตที่ใช้ Beetner และคณะ (39) ทดลองผลิตผลิตภัณฑ์จาก corn grits โดยใช้ extrusion cooker ชนิด Brabender plasticorder และใช้ภาวะการผลิตคือ อุณหภูมิของ barrel 148.9-193.3 °C ความเร็วสกรู 75-125 รอบ/นาที ความชื้นของวัตถุดิบผสม 13-16 % พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 148.9 เป็น 193.3 °C มีผลให้ปริมาณ thiamin ลดลงจาก 54 เป็น 23 % แต่ไม่มีผลต่อปริมาณ riboflavin การเพิ่มความเร็วสกรูมีผลให้ปริมาณ thiamin และ riboflavin ลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยเมื่อเพิ่มความเร็วสกรูจาก 75 เป็น 100 รอบ/นาที ปริมาณ thiamin ลดลงจาก 54 เป็น 29 % ส่วนปริมาณ riboflavin ลดลงจาก 92 เป็น 77 % และการเพิ่มความชื้นมีผลให้ปริมาณ riboflavin ลดลงด้วย Mustakas (28) ศึกษาการผลิต FFSF โดยใช้ pilot-plant extruder ความชื้นของวัตถุดิบผสม 20 % retention time 2 นาที อุณหภูมิก่อนออกจากเครื่อง 135 °C พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มี thiamin 76.6 % ขณะที่ถั่วเหลืองต้มสุกมี thiamin เหลืออยู่เพียง 19 %

Robinson และคณะ (40) ศึกษาการใช้โปรตีนผสมที่ผ่านการทำแห้งแบบ extrusion แทนโปรตีนในสูตรอาหารที่ใช้เลี้ยงปลา fingerling channel catfish โดยใช้ถั่วเหลืองผสมซึ่งประกอบด้วยถั่วเหลืองสกัดไขมัน 70 % และถั่วเหลืองปอกเปลือกทั้งเม็ด 30 % และถั่วเหลืองผสมกับหนังปลา catfish ซึ่งประกอบด้วยถั่วเหลืองสกัดไขมัน 42 % ถั่วเหลืองปอกเปลือกทั้งเมล็ด 28 % และหนังปลา 30 % มาแทนโปรตีนจากถั่วเหลืองผสมปลาป่น การทำแห้งแบบ extrusion ใช้ Insta Pro model 2000R ภาวะที่ใช้ในการผลิตคือ อุณหภูมิของ barrel 149 °C resident time 30 วินาที อาหารทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณไนโตรเจนและให้พลังงานเท่ากัน พบว่า feed conversion ของอาหารที่ใช้ถั่วเหลืองผสมมีค่า 1.24 ส่วนอาหารที่ใช้ถั่วเหลืองผสมหนังปลามีค่า 1.22 อาหารทั้งสองสูตรนี้มีค่า feed conversion ต่ำกว่าการใช้ถั่วเหลืองผสมปลาป่น ซึ่งมีค่า 1.47 จะเห็นได้ว่าการใช้โปรตีนผสมที่ผ่านกระบวนการ extrusion มีผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณค่าทางอาหารสูงขึ้น

2.10 ข้อดีของการใช้ extruder (21,26)

การนำ extruder มาใช้ผลิตอาหารมีข้อดีหลายอย่าง อาทิ ระบบ extrusion ผลิตได้ทั้งอาหารสัตว์น้ำ อาหารคนและอาหารสัตว์บก โดยใช้เครื่องเดิมหรือปรับปรุงภายในเครื่อง

แบบเดิมเพียงเล็กน้อย อาหารกุ้งที่ผลิตโดยใช้เครื่อง extrusion cooker มีความคงตัวในน้ำสูง จึงทำให้กุ้งมีโอกาสกินอาหารได้มาก และลดอัตราการเกิดน้ำเสียด้วย อาหารที่ได้จะมีจุลินทรีย์ปนเปื้อนน้อยกว่าพวกที่ผลิตโดยใช้ pellet mill เนื่องจากกระบวนการ extrusion ใช้ความร้อนในการผลิตสูงกว่า นอกจากนั้นยังใช้วัตถุดิบรวมทั้งของเสียต่าง ๆ เช่น เครื่องในไก่ หัวกุ้งบด ไส้ปลาหมึก เป็นต้น (18) ได้หลายชนิดมากกว่าวิธีผลิตอาหารกุ้งวิธีอื่น จึงเป็นผลดีต่อการลดต้นทุนการผลิต ควบคุมภาวะระหว่างผลิตให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นตามต้องการได้ จึงผลิตอาหารได้ทั้งชนิดจมและลอย ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณฝุ่นหรือผงน้อย มีความแข็งมากกว่าเม็ดอาหารที่ผลิตโดยใช้ pellet mill จึงเสียหายระหว่างการขนส่งน้อยกว่า นอกจากนี้อาหารที่ผลิตโดย extrusion cooker ยังเก็บได้นาน เนื่องจากมีจำนวนจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนต่ำ และกำลังผลิตของ extrusion cooker สูงกว่าเครื่องชนิดอื่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย