บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 อาหารปลา

อาหารปลาเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการเพาะเลี้ยงปลา .อาหารปลาที่ดีต้องทำให้ปลาเจริญเติบโตเร็ว แข็งแรงต้านทานต่อการเป็นโรค ราคาถูกและสามารถหาได้ง่าย ฉะนั้นในการผลิตอาหารปลาจึงควรคำนึงถึง สารอาหารที่ปลาต้องการ (13,14)

2.1.1 สารอาหารที่ปลาต้องการ (15,16)

2.1.1.1 โปรตีน เป็นสารอาหารที่สำคัญที่สุดที่ปลาต้องการ เนื่องจากเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของปลา อาหารโปรตีนที่ดีสำหรับปลานั้นควรมีโปรตีนจากสัตว์ประมาณ 1 ใน 3 และโปรตีนจากพืชประมาณ 3 ใน 4 ของส่วนผสมทั้งหมด โดยที่ความต้องการโปรตีนของปลาจะมากหรือน้อยขึ้นกับชนิดและวัยของปลาเป็นสำคัญ กล่าวคือปลากินเนื้อ ต้องการโปรตีนสูงกว่าปลาที่กินทั้งพืชและเนื้อ และปลาที่กินพืชและเนื้อก็ต้องการโปรตีนสูงกว่าปลาที่กินพืชเพียงอย่างเดียว ปลาในวัยอ่อนก็ต้องการโปรตีนปริมาณมากกว่าปลาวัยแก่ด้วย ปลาแต่ละชนิดมีความต้องการโปรตีนต่างกันคือ ปลากินพืช, ปลากินพืชและเนื้อ และปลากินเนื้อ มีความต้องการโปรตีนร้อยละ 18-25, 25-35, และมากกว่า 35 ตามลำดับ (7)

2.1.1.2 ไขมัน เป็นสารอาหารที่ให้พลังงานสูงที่สุดที่ปลาต้องการ คือสูงกว่าพลังงานที่ได้จากโปรตีน 1.5 เท่า และที่ได้จากคาร์โบไฮเดรท 2.5 เท่า ปลาใช้ไขมันเป็นองค์ประกอบของเซลล์ และเป็นแหล่งพลังงาน

2.1.1.3 คาร์โบไฮเดรท เป็นแหล่งพลังงานที่มีราคาถูกที่สุด ถ้าอยู่ในรูปกลูโคสปลาสามารถนำไปใช้ได้เลย แต่ถ้าปลาไม่ได้รับอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรทปลาจะใช้พลังงานจากแหล่งอื่นมาทดแทน เช่นจากโปรตีนหรือไขมัน ทำให้ปริมาณโปรตีนซึ่งเป็นสารอาหารที่สำคัญที่สุดด้านการเจริญเติบโตของปลาลดน้อยลง ซึ่งมีผลทำให้ปลามีการเจริญเติบโตช้าลง ในปัจจุบันยังไม่มีการกำหนดปริมาณคาร์โบไฮเดรทที่แน่นอนสำหรับปลาแต่ละชนิด แต่พบว่าปลากินพืช สามารถใช้ประโยชน์จากแป้งได้ดีกว่ากินเนื้อหรือปลากินเนื้อและพืชและปลาสามารถย่อยแป้ง

สุกได้ดีกว่าแป้งดิบ

2.1.1.4 วิตามิน ปลาต้องการวิตามิน เพื่อใช้เป็นสารเร่งหรือสารกระตุ้นปฏิกิริยาเคมี เกิดขึ้นในกระบวนการดำรงชีวิตของปลาเช่น การสร้างพลังงาน การสร้างโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโต หากขาดวิตามินซึ่งเป็นตัวเร่งกระบวนการ จะทำให้เกิดความผิดปกติต่าง ๆ เกิดขึ้นกับตัวปลาได้

2.1.1.5 แร่ธาตุ เป็นสารอาหารที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมีต่างๆในตัวปลาเป็นองค์ประกอบของโครงร่าง เป็นองค์ประกอบของวิตามินที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต รักษาความสมดุลของความเป็นกรดด่าง โดยชนิดและปริมาณเกลือแร่ที่ปลาต้องการจะแตกต่างกันไปตามชนิดของปลา

2.1.2 ประเภทของอาหารปลา

การทำอาหารปลาที่เหมาะสมมีความสำคัญต่อการเลี้ยงปลาเป็นอย่างมากโดยจะต้องคำนึงถึงสารอาหารที่ปลาต้องการ ลักษณะนิสัยการกินอาหารของปลา อาหารปลาแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ (16,17)

2.1.2.1 อาหารสด ได้แก่อาหารที่เหลือจากครัวเรือน นำมาต้มรวมกันกับผักหรือพันธุ์ไม้น้ำ หรือการใช้ปลาเป็ดบดรวมกับข้าวและรำ เป็นต้น

2.1.2.2 อาหารสำเร็จรูป ได้แก่การนำวัสดุอาหารที่มีลักษณะเป็นผงแห้งละเอียดผสมรวมกัน และเข้าเครื่องอัดเม็ด อาหารสำเร็จรูปแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

ก. เม็ดเปียก ทำโดยนำวัสดุอาหารที่เป็นผงแห้งละเอียดมาผสมให้เข้ากัน เติมน้ำแล้วผ่านเข้าเครื่องอัดเม็ด จะได้อาหารที่มีลักษณะเป็นแท่งยาว มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวที่ต้องการจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 25-30 อาหารจะเปียกอยู่แล้วนำมาใช้เลี้ยงปลาทันที อาหารปลาแบบนี้เน่าเสียได้เร็ว จะต้องเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ แต่มีข้อดีที่มีลักษณะใกล้เคียงกับอาหารตามธรรมชาติ ทำให้ปลากินดี

ข. ชนิดแห้ง เป็นอาหารที่ใช้เลี้ยงปลาที่สะดวกมากวิธีหนึ่ง อาหารแบบนี้สามารถเก็บรักษาได้เป็นเวลานานและสะดวกต่อการขนส่งไปยังที่ไกล ๆ แบ่งอาหาร

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชนิดนี้ตามลักษณะรูปร่างได้ 3 แบบ (17)

- ผง ใช้สำหรับปลาเล็กและปลาที่กินอาหารบริเวณผิวน้ำ
- เม็ดจม ทำอาหารเช่นเดียวกับชนิดเม็ดเปียก แต่จะนำอาหารไปผ่านความร้อนเพื่อทำให้แห้ง อาหารแบบนี้มีข้อดีคือเก็บไว้ได้นาน
- เม็ดลอย อาหารแบบนี้ใช้วัสดุอาหารเช่นเดียวกับแบบเม็ดจม แต่มีกรรมวิธีผลิตที่ซับซ้อนกว่าคือ มีการอัดอากาศและใช้ความร้อนเข้าไปในอาหารขณะที่ทำการอัดเม็ดอาหาร วิธีนี้อาหารจะผ่านความร้อนสูงทำให้เสียวิตามินบางชนิดไป เช่น วิตามินเอ และสารบางชนิดที่สลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกความร้อน อาหารนี้เหมาะสมกับปลาที่กินอาหารที่ผิวน้ำ

2.1.3 คุณสมบัติทางกายภาพของอาหารปลา

อาหารปลาที่ดีนอกจากจะมีสารอาหารครบถ้วนเพียงพอแก่การเจริญเติบโตของปลาแล้ว จะต้องมีลักษณะทางกายภาพที่ดีด้วย เพื่อให้อาหารนั้นมีรูปร่างลักษณะที่เหมาะสมแก่การกินอาหารของปลาทั้งปลาที่กินอาหารระดับผิวน้ำ กลางน้ำหรือที่ผิวดิน นอกจากนี้ก็เพื่อให้อาหารมีความคงทนเก็บเอาไว้ได้นาน ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของอาหารปลา (16,18) ได้แก่

2.1.3.1 ความชื้น อาหารปลาที่มีความชื้นมากเกินไปเมื่อเวลาอัดเป็นเม็ดจะมีรูปร่างไม่เป็นไปตามที่ต้องการ จะอ่อนนิ่มและใช้เวลานานในการทำให้แห้ง เก็บรักษาไว้ได้ไม่นานก็จะเกิดการเน่าเสียแต่ปลาจะกินอาหารได้ดี และถ้ามีความชื้นในอาหารน้อยไปก็จะทำให้อาหารแตกได้ง่าย เกิดการสูญเสียเวลานำไปให้ปลากิน ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมที่จะทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของอาหารดี เมื่อมีความชื้นร้อยละ 15-18 อย่างไรก็ตามความชื้นในอาหารปลาจะขึ้นอยู่กับลักษณะของอาหารว่าเป็นอาหารชนิดเปียก แห้งหรือ semimoist ซึ่งจะมีความชื้นร้อยละ 25-30 และ 15-20 ตามลำดับ ทั้งนี้ก็ขึ้นกับประสิทธิภาพของเครื่องอัดเม็ดอาหารที่ใช้ด้วย

2.1.3.2 ความหนาแน่น ความหนาแน่นของอาหารปลาที่เกี่ยวกับลักษณะเนื้อ (texture) ของอาหารเม็ด เมื่อนำอาหารผสมซึ่งเป็นผงละเอียดมาผ่านเครื่องอัดเม็ด จะได้อาหารปลาอัดเม็ด ที่มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ซึ่งจะมีผลต่อการจมของอาหารอัดเม็ดคือ ถ้ามีความหนาแน่นสูงอาหารเม็ดจะจมเร็วกว่าที่มีความหนาแน่นต่ำ

2.1.3.3 ความคงทนของอาหารในน้ำ เป็นลักษณะทางกายภาพที่สำคัญในการเปรียบเทียบอาหารเม็ดชนิดต่างๆ มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้คือ (7)

ก. อุณหภูมิของน้ำ จะมีผลต่อการแตกสลายของอาหารเม็ด อุณหภูมิต่ำ (18 °C) จะมีอัตราการแตกสลายของอาหารเม็ดน้อยกว่าที่อุณหภูมิสูง (30 °C) เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำสารอาหารจะเกาะและอยู่ใกล้กันมากขึ้น

ข. การไหลเวียนของน้ำ จะเกิดขณะที่ให้อากาศในบ่อเลี้ยงปลา ทำให้เกิดการไหลเวียนของน้ำซึ่งมีผลให้อาหารเม็ดมีความคงทนน้อยลง เนื่องจากขณะที่น้ำไหลผ่านจะพาเอาอนุภาคที่ผิวของเม็ดอาหารไปด้วย มีรายงานว่าความคงทนของอาหารปลาในน้ำนิ่งมีค่าสูงกว่าในน้ำไหล และความคงทนของอาหารแบบเม็ดแห้งมีค่าสูงกว่าแบบเม็ดเปียก (16)

การใช้สารเหนียว (binding agent) เพื่อเพิ่มความคงทนของอาหารปลาในน้ำ สารเหนียวที่ใช้มีทั้งที่สกัดจากพืชน้ำ เช่น agar, alginate, carrageenan และจากพืชบก เช่น pectins, cereal gums, guar gum และ alpha starch (17,19) ซึ่งชนิดและปริมาณสำหรับสารเหนียวที่ใช้กับอาหารแต่ละประเภทนั้นจะต่างกัน โดยยังไม่มีการกำหนดปริมาณที่แน่นอนไว้สำหรับอาหารปลาแต่ละชนิด (20) แต่โดยทั่ว ๆ ไปสารเหนียวที่นิยมใช้กันมากที่สุดในการทำอาหารอัดเม็ดเพื่อให้อาหารมีความคงทนในน้ำคือ alpha starch เนื่องจากเป็นแป้งที่ผ่านกระบวนการ gelatinized มาแล้ว โดยได้จากการนำแป้งดิบที่มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำที่อุณหภูมิห้องมาให้ความร้อนเพื่อให้ละลายในน้ำ โมเลกุลของแป้งดิบจะพองตัวอุ้มน้ำไว้ทำให้เกิดความหนืดแล้วจึงมาทำให้แห้ง ทำให้มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อนำมาผสมในอาหารปลาที่มีความชื้นสูงเป็นอาหารปลาแบบเม็ดเปียก แป้งในส่วนผสมของอาหารจะยึดกันเป็นร่างแหและเมื่อนำมาทำให้แห้งด้วยความร้อนจะเกิดเป็นโครงสร้างแข็ง ทำให้อาหารมีความคงทนในน้ำสูงขึ้น (21,22) และยังเป็นสารเหนียวที่มีราคาถูกหาได้ง่ายภายในประเทศ รวมทั้งเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรทที่ดีสำหรับปลา โดยปลาสามารถดูดซึมนำไปใช้ได้เลยโดยไม่ผ่านการย่อยอีก (23)

2.1.4 การเก็บรักษาอาหารปลา อาหารปลาแบบเม็ดเปียกจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 25-30 อาหารประเภท semimoist หรือ intermediate moisture food อาหารประเภทนี้ความชื้นอยู่ปริมาณร้อยละ 15-20 หรือมีค่า water activity (a_w) ระหว่าง 0.65-0.85 (24) แต่ปัญหาของอาหารปลาแบบเม็ดเปียกอยู่ที่การเน่าเสีย เนื่องจากจุลินทรีย์เจริญได้รวดเร็วในระหว่างการเก็บ ซึ่งที่ระดับความชื้นนี้จุลินทรีย์หลายประเภทเจริญได้ดี ดังแสดงในตารางที่ 2-1 (10) โดยเฉพาะเชื้อราซึ่งเป็นตัวการสำคัญในการกำหนดอายุการเก็บ นอกจากนี้ในระหว่างการเก็บอาหารประเภท intermediate moisture food ยังเกิดการเปลี่ยนแปลงอื่น ๆ

0.65-0.85 (24) แต่ปัญหาของอาหารปลาแบบเม็ดเปียกอยู่ที่การเน่าเสีย เนื่องจากจุลินทรีย์เจริญได้รวดเร็วในระหว่างการเก็บ ซึ่งที่ระดับความชื้นนี้จุลินทรีย์หลายประเภทเจริญได้ดี ดังแสดงในตารางที่ 2-1 (10) โดยเฉพาะเชื้อราซึ่งเป็นตัวการสำคัญในการกำหนดอายุการเก็บ นอกจากนี้ในระหว่างการเก็บอาหารประเภท intermediate moisture food ยังเกิดการเปลี่ยนแปลงอื่น ๆ อีกด้วย เช่น การเกิดปฏิกิริยาลิปิดออกซิเดชั่น (lipid oxidation) ทำให้อาหารมีกลิ่นหืน และปฏิกิริยาเกิดสีน้ำตาลชนิดที่ไม่มีเอ็นไซม์เกี่ยวข้อง (non-enzymic browning) ทำให้กลิ่นและรสชาติอาหารเปลี่ยนไป (25)

ตารางที่ 2-1 ค่า water activity (a_w) ต่ำสุดที่จุลินทรีย์สามารถเจริญได้ (11)

ชนิดจุลินทรีย์	ค่า a_w ต่ำสุด
แบคทีเรีย	0.91
ยีสต์	0.88
รา	0.80
ราที่ทนสภาพแห้งได้ดี	0.65

การชลอการเน่าเสียของอาหารนี้โดยทั่วไป ใช้วิธีการเก็บที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก และยุ่งยากต่อการขนส่งไปที่ไกล ๆ อีกวิธีหนึ่งคือการใช้สารกันเสียยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (antimicrobial agent) ซึ่งวิธีนี้สามารถชลอการเน่าเสียได้ในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ เท่านั้น เนื่องจากยังมีความชื้นในอาหารสูงพอที่จุลินทรีย์จะเจริญได้ (24) วิธีการเก็บรักษาอาหารที่นิยมทำกันทั่วไปและได้ผลดีคือการลดปริมาณน้ำลง ให้ปริมาณความชื้นในอาหารลดลงจนถึงปริมาณความชื้นที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ (10) คือปริมาณความชื้นร้อยละ 10-12 ซึ่งที่ความชื้นนี้จะมีค่า a_w ประมาณ 0.60 เป็นค่า a_w ที่จุลินทรีย์ที่พบโดยทั่วไปไม่สามารถเจริญได้ ซึ่งการลดความชื้นในอาหารนั้นจะใช้การอบแห้ง แต่ในการอบแห้ง จะต้องไม่ทำให้สูญเสียคุณค่าทางอาหาร หรือทำลายสารอาหารที่จำเป็นและไม่ทนต่ออุณหภูมิสูง (26)

2.2 ปลาแฟนซีคาร์พ

2.2.1 ชีวประวัติและลักษณะทั่วไป ปลาคาร์พ (carp) เป็นปลาน้ำจืดที่นิยมเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายทั่วโลก (3) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Cyprinus carpio Linn. ชื่อสามัญว่า carp จัดอยู่ใน Subfamily Cyprinus family Cyprinidae เป็นปลาในตระกูลเดียวกับปลาไนที่มีสีสรรสวยงาม (27) ภาษาอังกฤษเรียกว่าแฟนซีคาร์พ (fancy carp) ภาษาไทยเรียกว่าปลาไนญี่ปุ่นหรือปลาไนสี กรมประมงเรียกว่าปลาไนทรงเครื่อง มีลักษณะสำคัญคือ มีหนวด 2 คู่ บริเวณปาก มีฟันที่คอหอย สามารถอยู่ในน้ำที่มีเกลือได้ร้อยละ 1 ช่วงอุณหภูมิที่อาศัยอยู่ได้คือ 8-30 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิลดต่ำลงกว่า 5 องศาเซลเซียสปลาจะขับเมือกออกมาคลุมตัว ปลาแฟนซีคาร์พเป็นปลาที่กินอาหารได้ทุกอย่างเป็นปลาที่กินทั้งพืชและเนื้อ (28)

มีหลักฐานการค้นพบปลาแฟนซีคาร์พครั้งแรกในประเทศญี่ปุ่น เมื่อประมาณพันกว่าปีมาแล้ว ที่จังหวัดนิกาต้า เมืองโอจิง่าในปัจจุบัน ซึ่งต่อมาญี่ปุ่นก็ได้กลายเป็นประเทศที่ผลิตปลาแฟนซีคาร์พเป็นสินค้าออกทำรายได้เข้าประเทศปีละจำนวนมาก (3) ปลาแฟนซีคาร์พกำลังได้รับความนิยมอย่างรวดเร็วทั้งในประเทศไทยและประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก เช่น สหรัฐอเมริกา อังกฤษ ฝรั่งเศส เนเธอร์แลนด์ อิสราเอล อินเดีย จีน สิงค์โปร์ ฯลฯ เนื่องจากปลาแฟนซีคาร์พทนต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้ดี สามารถอยู่ได้ในที่อุณหภูมิต่ำถึง 5 องศาเซลเซียส กินอาหารได้ทุกชนิดไม่เลือกอาหาร มีขนาดลำตัวใหญ่ อายุยืนยาวเฉลี่ยประมาณ 50-70 ปี เชื่องง่าย มีสีสรรลำตัวสวยงามและจัดเป็นปลาน้ำจืดที่มีราคาแพงที่สุด (3)

2.2.2 รงควัตถุที่พบในปลา ปลาสามารถเปลี่ยนสีสรรเพื่อปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่อยู่อาศัย และยังสามารถแสดงสีต่าง ๆ ออกมา เพื่อตอบสนองสิ่งเร้าในระหว่างที่เกิดความตื่นเต้น หรือขณะที่มีการเกี้ยวพาราสีกัน การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดจากการทำงานของเซลล์ผิวหนังซึ่งมีเม็ดสีอยู่ภายใน เม็ดสีในชั้นของผิวหนังแบ่งออกเป็น 4 ประเภทคือ (29)

2.2.2.1 เมลานิน (melanin) เป็นเม็ดสีน้ำตาลหรือดำที่พบในปลา ได้จากไทโรซีน (tyrosine) ถูกออกซิไดซ์ด้วยเอ็นไซม์ไทโรซิเนส (tyrosinase) เป็น 3-4 ไดไฮดรอกซีฟีนิลอะลานิน (3,4 dihydroxyphenylalanine) หรือโดปา (dopa) จากนั้นเปลี่ยนเป็นโดปาควิโนน (dopa quinone) หลังรวมตัวกันเกิดเป็นเมลานินขึ้นเกาะติดกับโปรตีน

ในเมลาโนไซส์ (melanocytes) และเมลาโนฟอร์ (melanophore)

2.2.2.2 เทอริดีน (pteridine) เป็นสารประกอบที่ละลายน้ำมีทั้งชนิดที่มีสีและไม่มีสี เทอริดีนที่มีสีได้แก่ โดรซอพเทอริน (drosopterin), ไอโซโดรซอพเทอริน (isodrosopterin) และ นีโอโดรซอพเทอริน (neodrosopterin) มีสีแดง ซีเพียพ์เทอริน (sepiaterin) และไอโซซีเพียท์เทอริน (isosepiaterin) มีสีเหลือง ส่วนลิวคอพ์เทอริน (leucopterin) ซึ่งไม่มีสีแบ่งออกได้เป็น 2 พวกคือ บลู (blue) และไวโอเลตฟลูออเรสเซนท์ (violet fluorescent).

2.2.2.3 เพียวริน (purine) เป็นเม็ดสีที่ให้สีขาวหรือสีเงินบนผิวหนังของปลา ชนิดที่พบมากคือ กัวนิน (guanine) มักพบในไซโตพลาสซึมของเซลล์ลิวโคฟอร์ (leucophore) หรือเออริโดฟอร์ (erydospore) กัวนินจะอยู่ในสภาพที่เป็นผลึกขนาดเล็กหรือแผ่นบาง ๆ อาจเรียกเซลล์ 2 แบบนี้ว่า กัวโนเฟอร์ (guanophore) เพียวรินอีกชนิดหนึ่งคือ ไฮโปแซนทิน (hypoxanthin) ซึ่งพบบนผิวหนังของปลาตะเพียน และในตัวอ่อนของ coho salmon

2.2.2.4 คาโรทินอยด์ (carotenoid) พบได้ทั่วไปทั้งในพืชและสัตว์ ทำให้เกิดสีเหลือง ส้ม แดง โดยเม็ดสีเหล่านี้จะอยู่ในพลาสติด (plastids) ภายในไซโตพลาสซึมของเซลล์คาโรทินอยด์เป็นสารประกอบของไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว ประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนต่อกันเป็นสายยาวที่ปลายข้างใดข้างหนึ่งหรือสองปลาย มีอะตอมคาร์บอนต่อเป็นวง (ring structure) คาโรทินอยด์ ไม่ละลายในน้ำแต่ละลายในไขมัน ปลาไม่สามารถสังเคราะห์คาโรทินอยด์เองได้ ดังนั้นต้องได้รับจากพืชและสัตว์ที่เป็นอาหารโดยตรง ปลาจะเก็บเม็ดสีเหล่านี้เอาไว้ในตัวหรือเปลี่ยนเป็นสารให้สีรูปอื่นได้ (8)

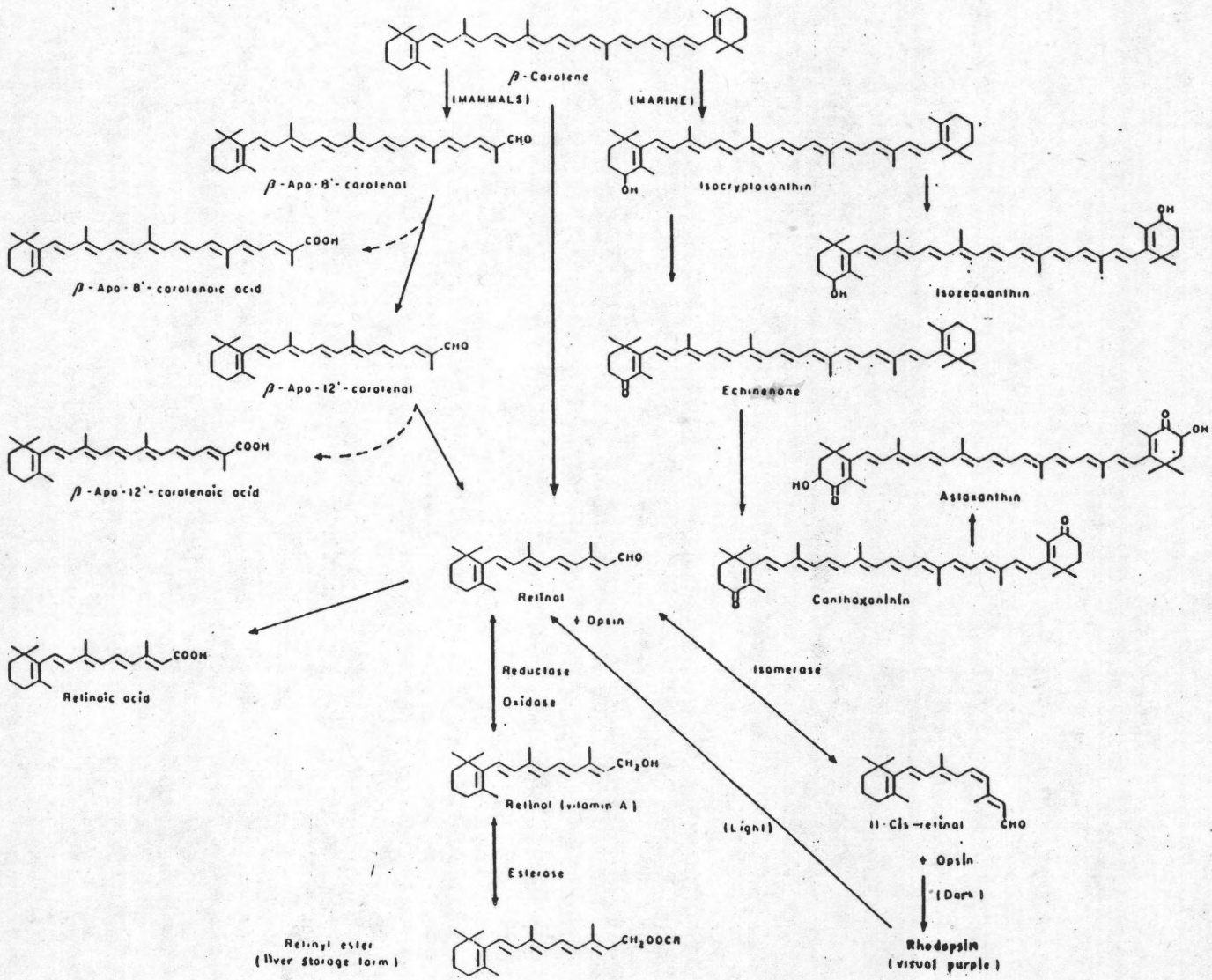
2.2.3 ชนิดและโครงสร้างของคาโรทินอยด์ คาโรทินอยด์ แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ตามโครงสร้างทางเคมีคือ คาโรทิน (arotene) และแซนโทฟิล (xanthophyll) (8)

2.2.3.1 คาโรทิน โมเลกุลของคาโรทินเป็นไฮโดรคาร์บอนเชื่อมต่อกันเป็นสายยาวด้วยบอนด์เดียวสลับกับบอนด์คู่ ที่ปลายจะมีอะตอมคาร์บอนมาเกาะเป็นวงที่เรียกว่า

ไอโอโนนริง (ionone ring) คาโรทีนแยกออกเป็น อัลฟาคาโรทีน (alfa carotene) เบตาคาโรทีน (beta carotene) และแกมมาคาโรทีน (gamma carotene) ซึ่งคาโรทีนทั้งสามชนิดนี้ต่างกันที่ตำแหน่งของบอนด์คู่บน ไอโอโนนริงเท่านั้น และเบตาคาโรทีนจะสามารถเปลี่ยนรูปเป็นวิตามินเอ ได้ในสัตว์บางชนิด และเปลี่ยนเป็นสารชนิดอื่น ที่มีผลทางด้านการให้สีในสัตว์ได้หลายชนิด ดังแสดงในรูปที่ 2-1

2.2.3.2 แซนโทฟิล เป็นสารพวกออกซิคาโรทีนอยด์ (oxycarotenoid) เกิดจากการเพิ่มออกซิเจนเข้าไปในโมเลกุลของคาโรฟิน แซนโทฟิลที่พบในปลาส่วนมากได้แก่ ลูทีน (lutein) ซีเอแซนทีน (zeaxanthin) และแอสตาแซนทีน (astaxanthin) ซึ่งสองชนิดหลังเป็นพวกไดไฮดรอกซีคาโรทีนอยด์ (dihydroxycarotenoid) แซนโทฟิลเป็นกลุ่มของคาโรทีนอยด์ที่มีผลต่อการให้สีมาก จากการทดสอบพบว่าคาโรทีนอยด์พวกไดไฮดรอกซี (dihydroxy) และไดคีโต-คาโรทีนอยด์ (diketocarotenoid) จะมีผลทางการให้สีกับสัตว์ได้ดีกว่าโมโนไฮดรอกซี (mono-hydroxy) และโมโนคีโตคาโรทีนอยด์ (monoketo carotenoid) ดังแสดงโครงสร้างในรูปที่ 2-2

2.2.4 การสลายตัวของคาโรทีนอยด์ คาโรทีนอยด์เป็นสารที่สลายตัวได้ง่าย เมื่อได้รับแสงสว่าง ความร้อน กรด-ด่าง และเอ็นไซม์ (3ø) แสงสว่างจะทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปซีส-ทรานส์ของบอนด์คู่ (cis-trans double bonds) ทำให้คุณสมบัติในการให้สีเปลี่ยนไป โดยจะทำให้สีจางลงเมื่อถูกแสงจัด และจากการทำให้แห้งด้วยความร้อนเพื่อการเก็บรักษา ก็เป็นเหตุทำให้สีซีดจางลงได้ โดยเฉพาะถ้าเก็บในบรรยากาศที่มีออกซิเจนสูงจะทำให้เกิดการออกซิไดส์ของสารอะตอมคาร์บอนจะมีผลรบกวนการทำงานของโครมาโตฟอร์ จากการทดสอบพบว่าปริมาณแอสตาแซนทีนในอาหารกุ้ง 76 ไมโครกรัมต่อกรัมอาหาร ถูกทำลายไปหมดหลังจากการทำแห้งด้วยระบบสูญญากาศ (vacuum-dried) และพบว่าถ้าใช้วิธีอบแห้งแบบถาด (tray) ที่อุณหภูมิ 7ø องศาเซลเซียสนาน 12 ชั่วโมง ปริมาณแอสตาแซนทีนจะลดลงจาก 66.1 ไมโครกรัมต่อกรัมอาหารเหลือเพียง 1ø.3 ไมโครกรัมต่อกรัมอาหาร (31) ดังนั้นการทำอาหารที่มีคาโรทีนอยด์สำหรับเพิ่มสีให้กับสัตว์ จึงต้องคำนึงถึงปริมาณของคาโรทีนอยด์ที่จะสูญเสียไปในระหว่างการผลิตและการเก็บรักษา จึงควรหลีกเลี่ยงการให้ความร้อนสูงเกินความจำเป็นด้วย (8) ในสภาพที่เป็นกรดจะทำให้เกิดการ isomerization ของ epoxycarotenoid เกิด cis-trans isomerization ทำให้สูญเสียรงควัตถุไป นอกจากนั้นเอ็นไซม์ lipoxydase ยังสามารถย่อยสลายคาโรทีนอยด์ได้ด้วย จะพบได้จากการสูญเสียสีแดงในเนื้อปลาที่เก็บไว้ในตู้เย็น เป็นผลจากปริมาณของแอสตาแซนทีนลดน้อยลง



รูปที่ 2-1 วิถีการเปลี่ยนรูปของเบตาคาโรทีนไปเป็นสารอื่น (8)

เนื่องจากเอ็นไซม์ (lipoxydase) ในเนื้อปลานั่นเอง (30)

2.2.5 การใช้คาโรทินอยด์ผสมในอาหารเพื่อใช้เร่งสีปลา การจะเลี้ยงปลาแฟนซีคาร์พ ให้ได้ลักษณะที่ดี มีสีสรรงามนั้นขึ้นกับปัจจัยหลายประการ ซึ่งปริมาณร้อยละ 70 ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของปลา ส่วนที่เหลือขึ้นกับสภาพแวดล้อมต่างๆ เช่น อุณหภูมิ แสงแดด น้ำ และที่สำคัญที่สุดคืออาหาร สีเหลือง ส้ม แดง ที่พบเห็นกันทั่วไปที่ผิวหนังหรือตามส่วนต่าง ๆ ของปลาเป็นผลมาจากปริมาณคาโรทินอยด์ที่มีอยู่ในตัวปลา แต่ปลาไม่สามารถสังเคราะห์คาโรทินอยด์ได้เอง ต้องได้รับจากอาหารที่กินเข้าไปโดยตรง (3) ซึ่งในปลาแต่ละชนิดก็มีความสามารถในการเปลี่ยนรูปคาโรทินอยด์เป็นสารให้สีชนิดอื่นต่าง กัน และมีความสามารถในการดูดซึม การนำสารให้สีไปใช้สะสม เพื่อเพิ่มสีในส่วนต่าง ๆ ต่างกัน เช่น ที่ผิวหนัง เนื้อปลา ตับและตาได้ต่างกัน ( ) Goodwin และ Fox ( ) พบว่าคาโรทินอยด์ที่พบมากในปลาน้ำจืดคือ คาโรทินอยด์ชนิดแอสตาแซนทิน (astaxanthin), ลูทิน (lutein) และทูนาแซนทิน (tunaxanthin) ตามลำดับ สำหรับในปลาทะเลจะพบชนิดทูนาแซนทินมาก ส่วนซีเอแซนทินจะพบทั้งในปลาน้ำจืดและปลาทะเลลูทินพบในปลาทะเลบางชนิดเช่น ปลาเทราน์ (trout)

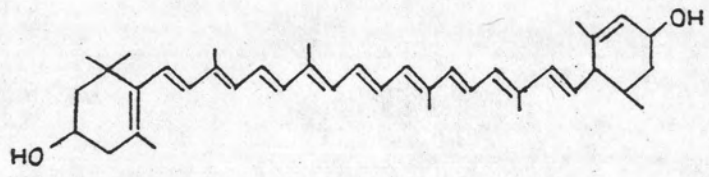
Katayama และคณะ (30) ได้รายงานการจัดแบ่งปลาออกตามความสามารถในการสังเคราะห์แอสตาแซนทินไว้ดังนี้คือ

กลุ่มที่ 1 เป็นปลาที่สามารถเปลี่ยนลูทิน ซีเอแซนทินไปเป็นแอสตาแซนทิน แต่ไม่สามารถเปลี่ยนเบตาคาโรทินอยด์เป็นแอสตาแซนทิน หรือเปลี่ยนได้น้อยมากและสามารถเก็บรักษาแอสตาแซนทินเอาไว้ได้โดยตรง ได้แก่ ปลาคาร์พแดง (red carp) แฟนซีคาร์พ (fancy carp) ซึ่งได้แสดงสูตรโครงสร้างไว้ในรูปที่ 2-2

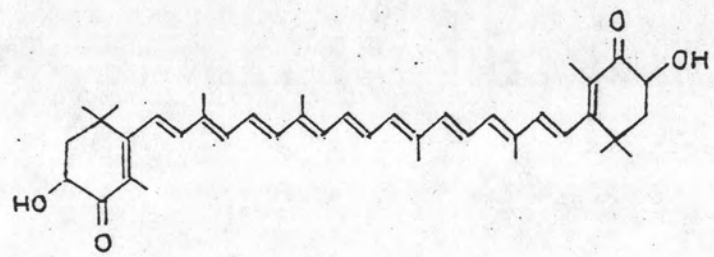
กลุ่มที่ 2 เป็นปลาที่ไม่สามารถเปลี่ยนเบตาคาโรทินอยด์ ลูทิน ซีเอแซนทิน เป็นแอสตาแซนทินไว้ แต่สามารถส่งผ่านสารสีพวกนี้ที่อยู่ในอาหารไปตามเนื้อเยื่อต่าง ๆ ได้แก่ พวกซีบรีม (sea bream)

กลุ่มที่ 3 เป็นปลาที่สามารถเปลี่ยนเบตาคาโรทินอยด์เป็นแอสตาแซนทิน ได้แก่ กุ้ง และครัสตาเซียน (crustaceans)

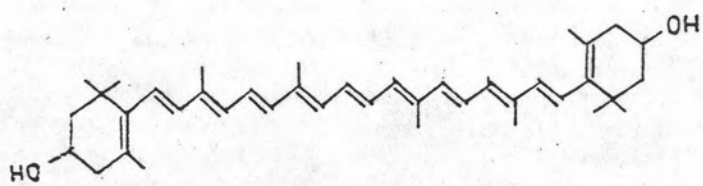
มีการทดลองผสมคาโรทินอยด์เพื่อใช้เร่งสีปลาโดย Peterson และคณะ (30) ผสมทูลิน ลงในอาหารเลี้ยงปลาเทราท์ (trout) พบว่ามีการสะสมลูทินในเนื้อปลาโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเลย



lutein



astaxanthin



zeaxanthin.

รูปที่ 2-2 สูตรโครงสร้างของ lutein , astaxanthin และ zeaxnthin (8)

Saito และ Regier (31) ทดลองให้อาหารที่มีเปลือกกุ้งและเปลือกปูร้อยละ 20 และ 30 ตามลำดับ เปรียบเทียบกับอาหารที่ผสมแคนตาแซนทินบริสุทธิ์ร้อยละ 0.004 แก่ปลาเทราท์เป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่าปลาที่ได้รับอาหารผสมแคนตาแซนทินบริสุทธิ์มีการสะสมคาโรทินอยด์ที่ผิวมากที่สุด ส่วนเปลือกของกุ้งสามารถใช้เป็นแหล่งคาโรทินอยด์ได้เช่นเดียวกัน แต่ต้องระวังในเรื่องอุณหภูมิและแสงสว่างในการผลิต พบว่าถ้าทำให้แห้งโดยระบบสูญญากาศและนำมาผสมอาหารเลี้ยงปลา จะทำให้สีและรสชาติของปลาเทราท์ดีขึ้น แต่ถ้าทำให้แห้งด้วยอุณหภูมิสูงจะใช้ในการเร่งสีปลาได้ไม่ดีเท่าที่ควร

Boonyartpalin (32) ทดลองใช้กลีบดอกดาวเรือง และสารให้สีที่สกัดจากเมล็ดแอนนัทโต (annatto) ผสมลงในอาหารสำหรับเป็นแหล่งคาโรทินอยด์ โดยทดลองเลี้ยงกับปลา 3 ชนิด คือ ปลาเทวดา (Pterophyllum scalave) ปลาออสการ์ (Astronotus ocellatus) และปลาเสือสุมาตรา (Barbus tetrazona) พบว่าปลาเสือสุมาตราที่ได้รับอาหารที่มีส่วนผสมของกลีบดอกดาวเรือง มีแถบสีบนลำตัว ครีบหลัง ครีบก้น และครีบหางมีสีแดงเข้มและสดอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเทียบกับปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ไม่มีสารเร่งสี

Katayama และคณะ (30) รายงานว่าปลาทอง ปลาคาร์พแดงและปลาแฟนซีคาร์พจะมีสีเข้มขึ้น เมื่อผสมคาโรทินอยด์บริสุทธิ์ลงในอาหารเลี้ยงปลาประมาณร้อยละ 1-4 คาโรทินอยด์ที่ใช้ทดลองได้แก่ ซีเอแซนทิน ลูทินและแอสตาแซนทิน

วุฒิพร (1) ได้ทดลองใช้สาหร่ายสไปรูไลนา กุ้งบ่น คาโรฟิลเรด (carophyll red) ซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ หอยแมลงภู่ กลีบดอกดาวเรืองพันธุ์ทอริดอร์ และพันธุ์โซเวอร์เวียน และฟักทองผสมลงในอาหารเลี้ยงปลาแฟนซีคาร์พอายุ 3 เดือน ในปริมาณต่าง ๆ กัน พบว่าสาหร่ายสไปรูไลนามีผลต่อความเข้มสีแดงมากที่สุด โดยต้องใช้ปริมาณร้อยละ 15 ผสมลงในอาหารและใช้เวลาในการเลี้ยงอย่างน้อย 8 สัปดาห์ รองลงมาคือกลีบดอกดาวเรืองทั้ง 2 พันธุ์ จะทำให้สีตัวปลาเข้มขึ้น โดยจะมีผลกับสีเหลืองและสีเหลืองทอง สำหรับกุ้งบ่นไม่มีผลในการเร่งสี แต่จะทำให้เกล็ดปลาแวววาวขึ้น หอยแมลงภู่ ฟักทอง และคาโรฟิลเรด ไม่มีผลต่อการเร่งสี รงควัตถุทั้งหมดที่นำมาใช้ในการทดลองไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลาแฟนซีคาร์พ

2.3 แบคทีเรียสังเคราะห์แสง

แบคทีเรียสังเคราะห์แสงเป็นแบคทีเรียที่มีอยู่ทั่วไปตามพื้นดินและแหล่งน้ำตามธรรมชาติ แบ่งออกเป็นกลุ่มได้หลายกลุ่มตามคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ที่แตกต่างกัน (33) แต่กลุ่มที่มีผู้นำมาศึกษาและใช้ประโยชน์มากคือกลุ่ม Purple nonsulfurซึ่งจัดอยู่ในแฟมิลี Rhodospirillaceae ยีนัส Rhodopseudomonas แบคทีเรียสังเคราะห์แสงในกลุ่มนี้มีลักษณะเด่นหลายประการคือ สามารถเจริญได้ดีทั้งในสภาวะมีอากาศไม่มีแสงและในสภาพไม่มีอากาศ มีแสง (34) Kobayashi & Kurata (35) กล่าวถึงข้อดีของการนำเอาแบคทีเรียสังเคราะห์แสงมาใช้เป็นโปรตีนเซลล์เดียวคือ สามารถใช้วัตถุดิบประเภทน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตสารเคมี อุตสาหกรรมเกษตร รวมทั้งของเสียพวกสารอินทรีย์อื่น ๆ และได้รายงานว่าผนังเซลล์ของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงอ่อนนุ่มและย่อยได้ง่าย ไม่เป็นโรคหรือมีพิษกับสัตว์เลี้ยง Noparatnaraporn และคณะ (5) รายงานการทดลองเลี้ยง Rhodopseudomonas sphaeroides P47 ในน้ำคั้นเปลือกและแกนสับปะรดที่มีน้ำตาลเริ่มต้น 100 กรัมต่อลิตรในสภาพมีอากาศไร้แสง พบว่ามีอัตราการเจริญสูงได้ผลผลิตเซลล์ 26.5 กรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร และเซลล์ที่ได้มีคุณค่าทางโภชนาการสูง

2.3.1 คุณค่าทางอาหารของเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสง การผลิตเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงเพื่อใช้เป็นแหล่งโปรตีนเซลล์เดียวนั้น จะต้องคำนึงถึงคุณค่าทางอาหารต่าง ๆ คือ ปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย และกรดอะมิโนที่มีอยู่ในเซลล์เป็นสำคัญ (36) มีรายงานที่แสดงให้เห็นว่าปริมาณ crude protein ในแบคทีเรียสูงกว่าในสาหร่าย ยีสต์ และราซึ่งเป็นโปรตีนเซลล์เดียวเช่นเดียวกัน ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยเฉพาะกรดอะมิโน ซึ่งพบว่าสาหร่ายที่มีปริมาณโปรตีนสูง มักจะขาดกรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ เช่นเดียวกับในยีสต์ที่มีค่าเมทไธโอนีนต่ำ ดังแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมทไธโอนีนในยีสต์ Saccharomyces anomalus มีค่า 0.51 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง และในสาหร่าย Chlorella มีเมทไธโอนีนเพียง 0.27 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง และยังมีรายงานถึงปริมาณวิตามินในเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่มีปริมาณสูงกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่น ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 2-2 เปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารของแบคทีเรียสังเคราะห์แสง R.Sphaeroides P47 กับ สาหร่าย ยีสต์ Saccharomyces anomalus และรา Chaetomium cellulolyticum (กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง) (37)

	R.sphaeroides	Algae	S.anomalus	C.cellulolyticum
โปรตีน	66.57	40.50	50.5	45.0
ไขมัน	0.92	2.15	1.1	10.0
คาร์โบไฮเดรท	25.94	10-15	39.3	35.0
ไฟเบอร์	2.95	1-12	2.1	-
เถ้า	3.62	5-12	7.0	5.0

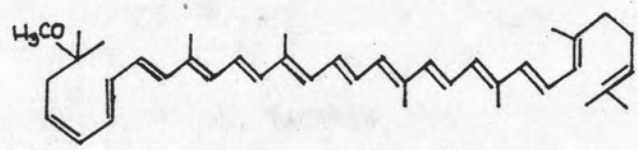
ตารางที่ 2-3 เปรียบเทียบกรมอะมิโนในเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสง R.Sphaeroides P47 กับสาหร่าย Chlorella vulgaris และยีสต์ Saccharomyces anomalus (กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง) (37)

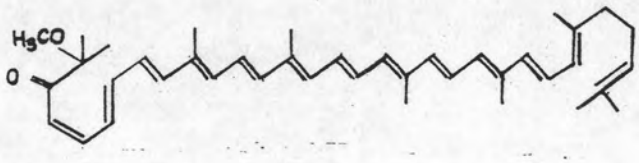
	R.sphaeroides	C.vulgaris	S.anomalus
Lysine	2.57	2.71	3.76
Histidine	0.96	1.06	0.90
Arginine	3.55	3.24	2.50
Aspartic acid	5.18	4.47	3.11
Threonine	2.87	2.28	2.65
Serine	2.33	2.12	2.75
Glutamic acid	6.22	4.62	6.21
Proline	2.02	2.12	1.77
Glycine	3.18	2.28	2.18
Alanine	5.06	2.98	2.86
Valine	2.68	3.02	3.20
Methionine	1.47	0.27	0.51
Isoleucine	1.78	2.44	2.63
Leucine	3.90	4.46	3.54
Tyrosine	1.70	0.96	1.30
Phenylalanine	2.36	2.65	2.20

ตารางที่ 2-4 องค์ประกอบของวิตามินในเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสง (5)

วิตามิน	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง
B 2	13.0
B 6	6.3
B 12	72.7
E	210.7
Niacin	5.8
Folic acid	1.0

2.3.2 รงควัตถุในเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสง ภายในเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงมีรงควัตถุเป็นสารในกลุ่มคาโรทินอยด์ ซึ่งมีผู้นำไปใช้เป็น natural coloring agent แล้วให้ผลดีในสัตว์ได้ (4) คาโรทินอยด์ที่พบในเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงเป็นพวก acyclic monomethoxyl carotenoids ที่มี keto group เกาะอยู่ จะให้รงควัตถุที่เป็นสีแดง Clayton และ Sistrom (38) ได้รายงานว่า Rhodopseudomonas sphaeroides สามารถสังเคราะห์สารคาโรทินอยด์พวก sphaeroidene และ sphaeroidenone ได้มากที่สุด ดังแสดงสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 3 คือ





รูปที่ 2-3 สูตรโครงสร้างของ spheroidenone และ spheroidene (38)

2.3.3 การใช้เซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงในอาหารสัตว์ เนื่องจากเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงมีคุณค่าทางอาหารสูง และยังประกอบด้วยกรดอะมิโนและวิตามินหลายชนิด รวมทั้งรงควัตถุภายในเซลล์จึงได้รับความสนใจในการนำมาใช้เป็นแหล่งอาหารเสริมของสัตว์ Kobayashi และ Ichan (39) ได้ทดลองใช้เซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่ได้จากการกำจัดน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมปลากระป๋อง ปริมาณร้อยละ 0.2 ผสมในอาหารเลี้ยงลูกปลาน้ำจืด พบว่าอัตราการรอดชีวิตของลูกปลาสูงถึงร้อยละ 96.3 ในขณะที่กลุ่มเปรียบเทียบรอดชีวิตเพียงร้อยละ 69.3 เท่านั้น

Kobayashi และ Kurata (35) ยังได้ทดลองผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงในอาหารสำหรับเลี้ยงไก่ 2,000 ตัว ในปริมาณร้อยละ 0.01-0.04 ในรูปเซลล์สด พบว่าไก่ที่ได้รับอาหารผสมเซลล์จะเริ่มต้นให้ไข่เร็วขึ้น ระยะเวลาในการให้ไข่นานขึ้น คุณภาพของไข่ดีขึ้นโดยเทียบจากค่า yolk index สีของไข่แดงแดงขึ้น น้ำหนักไข่และน้ำหนักตัวมากขึ้นด้วย

สำหรับในประเทศไทย นภาวรรณ (4) ได้รายงานว่าถ้าผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงในอาหารไก่กระทงปริมาณเล็กน้อยปริมาณ 800-1,000 ppm. ก็จะสามารถเพิ่มสีเนื้อให้แก่ไก่ภายหลังจากเลี้ยงเป็นเวลา 7 สัปดาห์ โดยไก่มีสุขภาพแข็งแรงมีสีเนื้อสวยงามเมื่อเทียบกับไก่ที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรปกติ

Noparatnaraporn และคณะ (5) ได้ทดลองนำเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่ได้จากการเลี้ยงเชื้อในน้ำคั้นเปลือกและแกนสับปะรด มาใช้ในรูปอาหารเสริมโปรตีน สำหรับเลี้ยงลูกปลานิลสีแดงที่มีอายุ 7 วัน ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 พบว่าลูกปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเซลล์ มีการเจริญดีกว่าลูกปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารปกติ มีอัตราการอยู่รอด 100 เปอร์เซนต์ และเมื่อเลี้ยงต่อจนถึงวัยวางไข่พบว่า ให้ไข่จำนวนมากกว่า รวมทั้งเร่งการวางไข่ให้เร็วกว่าอาหารปกติด้วย

Noparatnaraporn และคณะ (6) ทดลองนำเซลล์สดของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงผสมแทนปลาป่นปริมาณร้อยละ 50 ในอาหารเลี้ยงปลาทอง พบว่าอัตราการเจริญของปลาดีกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ใช้เลี้ยงอยู่เดิม ทั้งในด้านน้ำหนักและความยาว อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซนต์ โดยมีอัตราการอยู่รอดร้อยละ 96.3 และยังมีผลต่อขนาดของไข่ โดยทำให้ปริมาณไข่มากขึ้นและไข่สุกเร็วขึ้นด้วย ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปลาทอง สามารถย่อยผนังเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสง และนำไปใช้ประโยชน์โดยไม่เกิดอันตราย