บทที่ 2
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสาหร่ายขนาดเล็ก

สาหร่ายขนาดเล็กได้แก่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินหรือ Cyanobacteria หรือ blue-green algae จัดอยู่ใน Division Cyanophyta เป็นสิ่งมีชีวิตชั้นต่ำจำพวกโปรคาริโอต (prokaryote) และสาหร่ายสีเขียว จัดอยู่ใน Division Chlorophyta เป็นสิ่งมีชีวิตจำพวกยูคาริโอต (eukaryote) สามารถสังเคราะห์แสงได้เช่นเดียวกับพืชชั้นสูง แหล่งที่อยู่อาศัยของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินพบได้ทั่วไปทุกสภาพ ทั้งในน้ำจืดและน้ำทะเล บนบก ในอากาศ สภาพภูมิอากาศทั้งเขตร้อนและเขตหนาว สภาพที่อยู่ในน้ำอาจอยู่แบบอิสระหรือเกาะติดกับวัตถุอื่นจมในน้ำ บางชนิดอยู่ภายในพืชเป็นแบบเอนโดไฟต์ (endophyte) เช่นการเจริญในพืช *Blasia* และ *Antheceros* ซึ่งอยู่ในกลุ่ม Liverworts สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Anabaena* บางชนิดอาจอยู่ในเฟิร์นน้ำหรือในรากของ *Cycads* การอยู่ร่วมกันของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินกับส่งมีชีวิตชนิดอื่น เช่น *Anabaena azollae* ในแหนแดง ช่วยในการตรึงไนโตรเจน (N_2-fixation) จากบรรยากาศ ให้เป็นปุ๋ยของพืช และทำให้ดินเกิดความอุดมสมบูรณ์

ลักษณะทั่วไปของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีลักษณะและคุณสมบัติหลายประการที่แตกต่างจากแบคทีเรียและสาหร่ายชนิดอื่นๆดังนี้

1. เป็นเซลล์โปรคาริโอต (prokaryote cell) ผนังเซลล์มีองค์ประกอบคล้ายคลึงกับผนังเซลล์แบคทีเรียแกรมลบ มีชีทหุ้ม ลักษณะของชีทมีเมือกหุ้มบริเวณชีทอาจมีสี ถัดจากผนังเซลล์จะเป็นพลาสมาเมมเบรนซึ่งห่อหุ้มไซโตพลาสซึม บริเวณไซโตพลาสซึมนอกจากจะมีดีเอ็นเอแล้ว ยังพบรงควัตถุกระจายทั่วไป

2. รงควัตถุ (pigment) รงควัตถุของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินไม่อยู่ในพลาสติด แต่จะกระจายอยู่ในไซโตพลาสซึม มีรงควัตถุประกอบด้วยคลอโรฟิลล์-เอ เบตาแคโรทีน แซนโธฟิลล์ และไฟโคบีลิน ได้แก่ ซี-ไฟโคไซยานิน ซี-ไฟโคอิริทริน

3. เฮเทอโรซีสต์ (heterocyst) เป็นเซลล์พิเศษที่มีผนังเซลล์หนา พบในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่มีลักษณะเป็นเส้นสายบางชนิด เช่น สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินใน Order Nostocales และ Order Stigonematales เท่านั้น (ยุวดี, 2538) เฮเทอโรซีสต์สร้างเอนไซม์ไนโตรจีเนส (nitroginase) ซึ่งเปลี่ยนไนโตรเจนให้เป็นแอมโมเนียได้จึงให้ชื่อว่าเฮเทอโรซีสต์เป็นเซลล์ที่ทำหน้าที่ตรึงไนโตรเจน

4. การแตกแขนง (branching) การแตกแขนงของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมี 2 แบบ คือ การแตกแขนงที่แท้จริง (true branching) และการแตกแขนงเทียม (false branching)

5. การสืบพันธุ์ (reproduction) ไม่พบการสืบพันธุ์แบบมีเพศในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน พบเฉพาะการสืบพันธุ์แบบไม่มีเพศ

6. การเคลื่อนที่ (motility) สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินบางชนิดที่เป็นเส้นสาย เช่น *Oscillatoria* สามารถเคลื่อนที่ได้โดยไม่มีแฟลกเจลลา

ลักษณะทั่วไปของสาหร่ายสีเขียว

สาหร่ายสีเขียวจัดอยู่ใน Division Chlorophyta พบทั้งในน้ำจืด น้ำกร่อย น้ำเค็ม บนดิน ต้นไม้ และสิ่งยึดเกาะต่าง ๆ สาหร่ายสีเขียวประกอบด้วยเซลล์เพียงเซลล์เดียวมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น ไปจนถึงขนาดใหญ่เป็นทัลลัส สาหร่ายสีเขียว มีรงควัตถุ ดังนี้

1. รงควัตถุอยู่ภายในคลอโรพลาสต์ มีส่วนประกอบเช่นเดียวกับที่พบในพืชชั้นสูงทั่วไป คือมีคลอโรฟิลล์-เอ คลอโรฟิลล์-บี แคโคทีน แซนโธฟิลล์ (xanthophyll) ให้สีเหลืองจนถึงสีน้ำตาล มีประมาณ 20 ชนิด เช่น ลูทีอิน (lutein) ซีแซนทิน (zeaxanthin) และแอสตาแซนทิน (astaxanthin) เป็นต้น

2. เซลล์มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส

3. การสืบพันธุ์ มีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศและแบบอาศัยเพศ

4. ผนังเซลล์ โดยทั่วไปมีสองชั้นคือผนังชั้นในและผนังชั้นนอก ผนังชั้นในเป็นพวกเซลลูโลส ผนังชั้นนอกเป็นพวกเพกติน บริเวณภายนอกของสาหร่ายสีเขียวบางสกุลมีสารพวกไคติน หินปูนหรือซิลิกาหุ้มอีกชั้นหนึ่ง ทำให้มีลักษณะแข็ง รู้สึกสากหรือกระด้างเมื่อจับด้วยมือ บางสกุลสามารถผลิตเมือกออกมาหุ้มผนังเซลล์ รู้สึกลื่นมือ

5. อาหารสะสมในเซลล์ สาหร่ายสีเขียวส่วนใหญ่ สะสมอาหารไว้ในรูปของแป้ง แต่บางชนิดอาจจะสะสมไว้ในรูปของน้ำมัน

6. การเคลื่อนที่ สาหร่ายสีเขียวที่เคลื่อนที่ได้มักพบว่ามีอายสปอต (eye spot)

7. รูปร่างของสาหร่ายสีเขียวมีหลายแบบ มีทั้งที่เป็นเซลล์เดียว กลุ่มเซลล์หรือเป็นเส้นสาย เป็นหลอดหรือเป็นท่อ และเป็นทัลลัสที่ประกอบด้วยเซลล์พาเรนไคมา

แหล่งที่อยู่อาศัยของสาหร่าย

สาหร่ายมีการแพร่กระจายอย่างกว้างขวาง สามารถพบได้ทั่วไป โดยสาหร่ายแต่ละชนิดมีความสามารถในการแพร่กระจายในธรรมชาติได้ไม่เท่ากัน ทั้งนี้เนื่องจากสาหร่ายแต่ละชนิดมีสภาวะสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมเฉพาะตัวและมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ไม่เท่ากัน บางชนิดสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดีจึงพบชนิดนั้นแทบทุกแหล่ง แต่บางชนิดพบได้ในเฉพาะบางแหล่งและบางฤดู

ความสำคัญของสาหร่าย

สาหร่ายมีความเกี่ยวข้องกับมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อมมีทั้งประโยชน์และโทษ ดังต่อไปนี้

ประโยชน์ของสาหร่าย

1. อาหารของมนุษย์และสัตว์ เช่น สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและสาหร่ายสีเขียว ได้แก่ ดอกหิน (*Nostoc*) และเทาน้ำ (*Spirogyra*)

2. อาหารเสริมสุขภาพ ทั้งนี้เนื่องจากสาหร่ายมีลักษณะคล้ายพืชคือต้องการวิตามินในการเจริญเติบโตและสามารถผลิตวิตามินได้ เช่น *Spirulina* สามารถผลิตวิตามินบี 12 และวิตามินอีได้สูง และบางชนิดสามารถผลิตโปรตีนได้สูง เช่น *Spirulina, Scenedesmus* และ *Chlorella* เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันมีการผลิตออกขายเป็นการค้าในรูปแบบต่างๆ เช่น ผง เม็ด แคปซูล เป็นต้น

3. อาหารสำหรับเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ สาหร่ายเป็นผู้ผลิตที่สำคัญของห่วงโซ่อาหารในแหล่งน้ำ ซึ่งเป็นอาหารของปลา กุ้ง หอย ที่อยู่ในช่วงวัยอ่อน ดังนั้นเมื่อมีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อการค้า จึงมีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเป็นอาหารสัตว์ด้วย สาหร่ายที่นิยมนำมาเลี้ยงเป็นอาหารสัตว์ เช่น *Spirulina, Scenedesmus, Chlamydomoonas* และ *Chlorella* เป็นต้น

4. ใช้ในการเกษตร โดยทำเป็นปุ๋ยชีวภาพ (biofertilizers) ปรับปรุงคุณภาพดิน และใช้เป็นแหล่งอาหารแก่พืชโดยเฉพาะข้าว นอกจากนี้ยังมีการใช้สารสกัดจากสาหร่ายในการกำจัดแมลงศัตรูพืชอีกด้วย (ดวงรัตน์, 2548)

5. ผลิตสารที่มีมูลค่าสูง มีสารหลายชนิดที่ผลิตจากสาหร่ายเพื่อการค้าหรือนำมาใช้ในอุตสาหกรรม เช่น แอสตาแซนธิน วุ้น คาร์ราจีแนน กรดอัลจินิค เป็นต้น

6. ใช้เป็นดัชนีบ่งบอกคุณภาพของแหล่งน้ำและการบำบัดน้ำเสีย เช่น *Oscillatoria* และ *Lyngbya* มักพบในแหล่งน้ำเสีย การบำบัดน้ำเสียโดยมีการนำ *Oscillatoria pseudogeminata* var *unigranulata* มาใช้กำจัดไนเตรต ฟอสฟอรัส แอมโมเนีย คลอไรด์และซัลเฟตในน้ำเสียจากโรงงานกระดาษ *Scenedesmus* และ *Chlorella* ช่วยในการบำบัดน้ำเสียโดยปล่อยก๊าซออกซิเจนออกมาทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้น

7. ผู้ผลิตก๊าซออกซิเจนสำหรับสิ่งมีชีวิตอื่น โดยในขบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง สาหร่ายจะใช้คาร์บอนไดออกไซด์และปล่อยออกซิเจนออกมา จึงช่วยให้บรรยากาศเกิดความสมดุลของก๊าซทั้งสองชนิดนี้

8. ใช้ในทางการแพทย์และผลิตยาปฏิชีวนะ โดยสาหร่ายบางชนิดสามารถผลิตสารบางอย่างออกมายับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบได้ เช่น *Chlorella vulgaris* และ *Chlamydomonas pyrenoidosa*

9. การใช้สาหร่ายเพื่อการวิเคราะห์ด้วยชีววิธี เช่น การวิเคราะห์วิตามิน

โทษของสาหร่าย

เมื่อมีสาหร่ายเจริญอย่างรวดเร็วในแหล่งน้ำ จะทำให้ปกคลุมทั่วผิวน้ำ ที่เรียกว่า water bloom มีผลทำให้น้ำในแหล่งน้ำนั้น มีสี กลิ่น รสเปลี่ยนไป นอกจากนี้ยังพบว่าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินบางชนิดที่เจริญเติบโตในแหล่งน้ำสร้างสารพิษมีผลต่อระบบประสาทและตับ ดังนั้นเมื่อสัตว์กินน้ำในแหล่งน้ำนิ่งที่ร้อนหรือในช่วงหน้าแล้ง ทำให้สัตว์มีอาการทางประสาท เดินโซเซและเจ็บในช่องท้องอย่างรุนแรง สารพิษดังกล่าวนี้เป็นอันตรายต่อวัวควาย ม้า แกะ หมู ไก่ เป็ด นกพิราบ ห่าน นกกระสา สุนัข กระต่าย สัตว์ป่าขนาดเล็กและสัตว์เลี้ยง รวมทั้งกบ ปลา งู และคนด้วย

โครงสร้างทางเคมีและชนิดของแคโรทีนอยด์

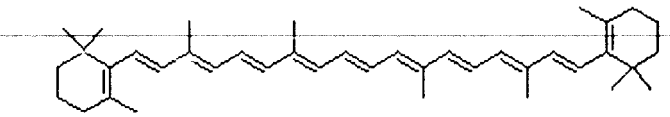
แคโรทีนอยด์จัดอยู่ในกลุ่มสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและอนุพันธ์ของไฮโดรคาร์บอนที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ อาจอยู่ในรูปอะลิฟาติค (aliphatic) หรืออะโรมาติก (aromatic) โดยแคโรทีนอยด์จะประกอบไปด้วยหน่วยย่อยของไอโซพรีน (isoprene) เชื่อมต่อกัน 8 หน่วย ด้วยพันธะโควาเลนต์ ทำให้เกิดคอนจูเกชันของพันธะคู่เป็นสายยาว (extensive conjugated double bond) ซึ่งระบบคอนจูเกชันทำให้แคโรทีนอยด์สามารถดูดกลืนพลังงานแสงอัลตราไวโอเลต และแสงสีขาว ทำให้แคโรทีนอยด์เป็นสารมีสีและมีคุณสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Young, 1993) แคโรทีนอยด์แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ

1. กลุ่มแคโรทีน (carotein)

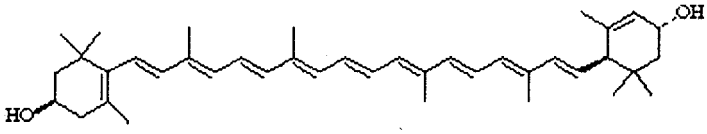
กลุ่มแคโรทีน มีอยู่ 3 ชนิด ได้แก่ แอลฟา (α) เบต้า (β) และเอปซีลอน (ε) ชนิดที่พบมากที่สุดคือ เบต้าแคโรทีน ในกลุ่มนี้โมเลกุลของแคโรทีนประกอบด้วยโฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) ที่มีเพียงคาร์บอนและไฮโดรเจน อาจเรียกกลุ่มนี้ว่า hydrogenated carotenoid derivatives มีคุณสมบัติเป็นสารไม่มีขั้วและละลายได้ในไขมัน ตัวอย่างแคโรทีนอยด์ในกลุ่มนี้ ได้แก่ เบต้าแคโรทีน (β-carotene) และ ไลโคปีน สูตรโครงสร้างดังกล่าว แสดงในภาพที่ 2.1

2. กลุ่มออกซีแคโรทีนอยด์ (oxycarotenoid) หรือกลุ่มแซนโทฟิลล์ (xanthophylls)

ในกลุ่มนี้นอกจากโครงสร้างจะประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนแล้ว ยังมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบร่วมอยู่ด้วย (Ben-Amotz and Avron, 1993) อาจเรียกกลุ่มนี้ว่า oxygenated carotenoid derivatives จึงมีคุณสมบัติมีขั้วมากกว่าและละลายในไขมันได้น้อยกว่าแคโรทีนอยด์ในกลุ่มแรก ตัวอย่างแคโรทีนอยด์ในกลุ่มนี้ได้แก่ แอสตาแซนทิน (astaxanthin) ลูทีน (lutein) และ ซีแซนทิน (zeaxanthin) สูตรโครงสร้างดังกล่าว แสดงในภาพที่ 2.2

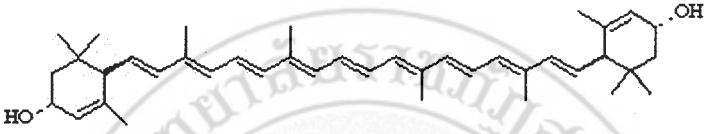


β-carotene

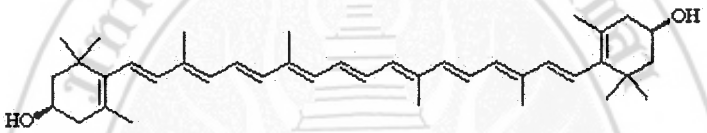


lycopene

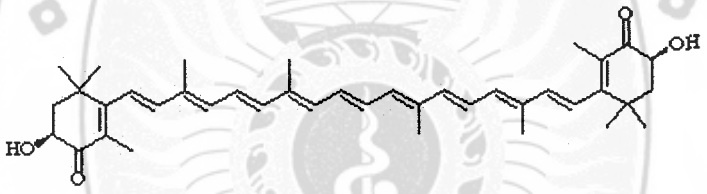
ภาพที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของ hydrogenated carotenoid derivatives



lutein



zeaxanthin



astaxanthin

ภาพที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของ oxygenated carotenoid derivatives

บทบาทและหน้าที่ของแคโรทีนอยด์ในสิ่งมีชีวิต

สิ่งมีชีวิตที่ใช้ออกซิเจนในการหายใจและกระบวนการเมแทบอลิซึมเพื่อให้ได้พลังงานในการดำรงชีวิตและการทำงานของอวัยวะต่างๆ นั้น ในระหว่างกระบวนการสร้างพลังงาน จะเกิดอนุมูลอิสระขึ้นมาด้วย ซึ่งเป็นอนุภาคที่มีพลังงานสูง และสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ง่าย โดยเฉพาะสารเคมีในร่างกาย เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน DNA ทำให้การทำหน้าที่ของอวัยวะต่างๆ ของสารเหล่านี้เปลี่ยนแปลงไป นอกจากอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในร่างกายแล้ว ยังมีอนุมูลอิสระจากภายนอก เช่น การสูบบุหรี่ รังสี แสงอุลตราไวโอเลต มลภาวะ สารเคมี ดังนั้น แคโรทีนอยด์ น่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งในการต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูง โดยเฉพาะเบต้าแคโรทีน ไลโคพีน และลูทีน มีรายงานว่า แคโรทีนอยด์ช่วยป้องกันการเกิดโรคหัวใจ โรคมะเร็ง ชะลอความแก่ และป้องกันความผิวปกติของผิวหนังอันเนื่องมาจากแสงแดด เพราะนอกจากแคโรทีนอยด์เป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันแล้ว ยังช่วยเพิ่มการสื่อสารระหว่างเซลล์ มีฤทธิ์ต้าน

การอักเสบ เพิ่มการกำจัดสิ่งแปลกปลอมออกจากร่างกายและเพิ่มภูมิต้านทาน สารกลุ่มแคโรทีนอยด์ ที่มีประสิทธิภาพสูงและเสริมสร้างสุขภาพของมนุษย์ ได้แก่ เบต้าแคโรทีน ลูทีน ซีแซนทิน ไลโคพีน และ แอสตาแซนทิน (Matos *et al.*, 2000 ; Nesaretnam *et al.*, 2000 ; Vainio, 2002)

ปลาดุกบิ๊กอุย

ปลาดุกบิ๊กอุย (*Clarias macrocephalus x Clarias gariepinus*) มีผู้นิยมเลี้ยงกันมาก เนื่องจากเป็นที่นิยมบริโภค สามารถเลี้ยงได้ง่าย มีความทนทานต่อโรคสูง และมีอัตราการเจริญเติบโตดี ปลาดุกบิ๊กอุย เกิดจากการผสมข้ามสายพันธุ์ ระหว่างแม่พันธุ์ปลาดุกอุย (*Clarias macrocephalus*) มาผสมกับพ่อพันธุ์ปลาดุกแอฟริกัน (*Clarias gariepinus*) ได้ลูกมีชื่อเรียกแตกต่างกัน เช่น ปลาดุกลูกผสม ปลาดุกอุยเทศ หรือปลาดุกบิ๊กอุย ปลาดุกแอฟริกัน ที่เป็นพ่อพันธุ์ อยู่ในตระกูลแอฟริกันแคชฟิช (African catfish) นอกจากจะใช้ชื่อวิทยาศาสตร์ที่กล่าวแล้วข้างต้น ยังใช้ชื่อ *Clarias lazera*, C. *sengalensis* และ C. *Mossambicus* ชื่อสามัญว่า African sharptooth catfish ถิ่นกำเนิดดั้งเดิมอยู่ในประเทศแอฟริกากลาง สำหรับปลาดุกแอฟริกันพันธุ์แท้ที่นำเข้ามาเป็นพ่อพันธุ์ เพื่อผลิตปลาดุกลูกผสมในปัจจุบัน เป็นหนึ่งใน 32 สายพันธุ์ ซึ่งได้นำเข้ามาในประเทศไทยราวปี พ.ศ. 2529-2530 โดยเกษตรกรนำมาจากประเทศลาว ปลาดุกชนิดนี้เป็นปลาที่มีการเจริญเติบโตเร็วมาก มีขนาดใหญ่ เมื่อเจริญเติบโตเต็มที่สามารถกินอาหารได้แทบทุกชนิด มีความต้านทานโรค และสภาพแวดล้อมสูง แต่ปลาดุกชนิดนี้ มีเนื้อเหลว และซีดขาว ไม่น่ารับประทาน ส่วนปลาดุกอุยที่ใช้เป็นแม่พันธุ์ เป็นปลาพื้นบ้านของไทย มีชื่อสามัญว่า Walking catfish อาศัยอยู่ตามแม่น้ำ ลำคลอง หนอง บึง ทั่วทุกภาคของประเทศไทย เจริญเติบโตได้เร็ว ปกติแล้วอาศัยอยู่ในน้ำจืดสนิทและพื้นดินเป็นโคลนตม แต่สามารถทนทานอยู่ได้ในน้ำกร่อยเล็กน้อย หาอาหารตามหน้าดิน มีหนวดที่รับความรู้สึกได้ดี มีนิสัยว่องไว กินอาหารจำพวกเนื้อสัตว์ เมื่อนำปลาดุกสองสายพันธุ์นี้มาผสมเทียมข้ามพันธุ์กัน จึงทำให้เกิดปลาดุกลูกผสมพันธุ์ใหม่ที่มีลักษณะเหมาะสมสำหรับเลี้ยงเป็นการค้า กรมประมงเรียก ปลาดุกเทศ หรือปลาดุกลูกผสม แต่เกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงและประชาชนทั่วไปนิยมเรียกว่า บิ๊กอุย (อุทัยรัตน์, 2544)

สารอาหารกับการเจริญเติบโตของปลา

ในการเลี้ยงปลาเชิงธุรกิจ ผู้ประกอบการเลี้ยงปลามักประกอบสูตรอาหารเพื่อใช้ในการเลี้ยงปลา โดยสูตรอาหารที่ประกอบขึ้นนี้มีความจำเพาะเจาะจงสำหรับปลาแต่ละชนิด ทั้งนี้เนื่องจากว่า ปลาแต่ละชนิดมีความต้องการสารอาหารแตกต่างกัน ดังนั้น อาหารสำเร็จรูปที่สร้างขึ้นมักประกอบด้วยวัตถุดิบหรือสารอาหารที่หลากหลาย สำหรับวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตอาหารปลาจำแนกเป็นประเภทต่าง ๆ ได้ 5 ประเภทดังนี้คือ ประเภทให้พลังงาน ได้แก่ ธัญพืชและผลพลอยได้ พืชหัว น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ และกากน้ำตาล เป็นต้น ประเภทให้โปรตีน ทั้งโปรตีนจากพืชและจากสัตว์ ประเภทวิตามิน ทั้งวิตามินจากธรรมชาติและวิตามินสังเคราะห์ ประเภทแร่ธาตุ ทั้ง

แร่ธาตุหลักและแร่ธาตุรอง ประเภทสารเสริม เช่น สารปฏิชีวนะ สารช่วยย่อย สารแต่งสี แต่งกลิ่น แต่งรสชาติ สารกันบูด สารกันหืน สารกันเชื้อรา สารช่วยอัดเม็ด ยาถ่ายพยาธิ รวมทั้งยาอื่น ๆ ฮอร์โมน สารเร่งการเจริญเติบโต สารเสริมสร้างภูมิต้านทาน และสารช่วยรักษาสภาพแวดล้อม เป็นต้น สารเสริมเหล่านี้มีมากมายและมีผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ เกิดขึ้นเรื่อย ๆ ขณะเดียวกันบางชนิดก็ถูกห้ามไม่ให้ใช้หรือได้รับความนิยมน้อยลง เช่น สารพวกไนโตรฟูราน คลอแรมฟินิคอล สารปฏิชีวนะและสารเร่งเนื้อแดง เป็นต้น (บุญล้อม, 2546)

สิ่งมีชีวิตทุกชนิดมีความต้องการสารอาหาร 5 ประเภท คือ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต วิตามิน และแร่ธาตุ ซึ่งปริมาณความต้องการขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ ขนาด อายุ ระบบการเลี้ยง อุณหภูมิ และสิ่งแวดล้อม สารอาหารแต่ละชนิดมีความสำคัญและเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของปลาทั้งสิ้น แต่สารอาหารที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของปลามากที่สุด คือ โปรตีน นั่นเอง

โปรตีนเป็นสารประกอบที่สำคัญของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ทั้งเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ ในพืชโปรตีนมีมากในส่วนที่กำลังเจริญเติบโต เช่น ใบและเมล็ด พืชสามารถสังเคราะห์โปรตีนได้จากสารประกอบไนโตรเจนและซัลเฟอร์ในดิน ที่ดูดซึมโดยรากขึ้นมาในรูปของไนเตรทและซัลเฟต ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ จุลินทรีย์ก็สามารถสังเคราะห์โปรตีนจากสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน ได้เช่นกัน ดังนั้นทั้งพืชและจุลินทรีย์จึงเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญสำหรับปลา สัตว์ชั้นสูงไม่สามารถสังเคราะห์โปรตีนจากสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนได้ แต่สัตว์มีโปรตีนอยู่ทั่วไปในร่างกาย โดยเป็นองค์ประกอบของเนื้อเยื่อต่าง ๆ เช่น กระดูก เอ็น ผม ขน หนัง กีบ เล็บ เขา กล้ามเนื้อ เลือด และอวัยวะต่าง ๆ ในลูกสัตว์มีปริมาณโปรตีนสูงถึง 20 % แต่ในสัตว์ที่โตเต็มที่มีประมาณ 17 % สำหรับสัตว์ที่อ้วนมากปริมาณโปรตีนอาจลดลงเหลือเพียง 10 % การพิจารณาคุณภาพของโปรตีน มักพิจารณาจากการย่อยได้ รวมทั้งปริมาณและสัดส่วนของกรดอะมิโนที่จำเป็น ถ้าใกล้เคียงกับความต้องการของปลาและโปรตีนนั้นมีการย่อยได้ดี ก็จัดว่ามีคุณภาพดี ทั้งนี้เพราะเมื่อโปรตีนดังกล่าวถูกย่อยและดูดซึมเข้าไปในร่างกาย ปลาจะสามารถนำกรดอะมิโนไปใช้เพื่อการสร้างโปรตีนในร่างกายได้ แต่ถ้าโปรตีนนั้นย่อยยาก อีกทั้งมีปริมาณและสัดส่วนของกรดอะมิโนที่จำเป็นไม่เหมาะสมกับความต้องการของปลา เช่น ขาดกรดอะมิโนตัวใดตัวหนึ่งหรือหลายตัว ปลาจะไม่สามารถนำกรดอะมิโนตัวอื่น ๆ ไปใช้สร้างโปรตีนได้ เพราะในการสร้างโปรตีนต้องมีกรดอะมิโนตัวที่ต้องการอยู่อย่างครบถ้วน โดยทั่วไปพบว่า โปรตีนจากพืชมักมีคุณภาพต่ำกว่าโปรตีนจากสัตว์ เพราะมีเมไธโอนีนและไลซีน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นต่ำกว่าความต้องการของสัตว์มาก อย่างไรก็ดีการพิจารณาคุณภาพของโปรตีนจากปริมาณและสัดส่วนของกรดอะมิโนนี้ เป็นเพียงวิธีการอย่างง่ายเท่านั้น การประเมินคุณภาพที่ถูกต้องจำเป็นต้องใช้วิธีการอื่น ควบคู่ไปด้วย (บุญล้อม, 2546) กรดอะมิโนมีผลต่อคุณภาพของโปรตีน หากขาดกรดอะมิโนชนิดที่จำเป็นตัวใดตัวหนึ่งมีผลทำให้การสร้างโปรตีนใน

ร่างกายหยุดลง โปรตีนบางส่วนเท่านั้นที่สามารถใช้เพื่อการเจริญเติบโต โปรตีนส่วนที่เหลือถูกนำไปใช้เผาผลาญเพื่อผลิตพลังงาน ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องทราบความต้องการของกรดอะมิโนของปลา เพื่อสามารถเตรียมอาหารที่มีส่วนผสมของโปรตีนกับกรดอะมิโนที่ขาดนั้น ให้มีเพียงพอกับความต้องการของปลา (อมรรัตน์และบุษกร, 2543)

ปลาหรือสัตว์น้ำโดยทั่วไปต้องการโปรตีนในอาหารมากเป็นอันดับหนึ่ง คือประมาณ 30 – 50 % ในอาหาร เพื่อใช้สำหรับการสร้างเนื้อ หนัง อวัยวะ หรือสร้างฮอร์โมน ภูมิต้านทาน และสารพันธุกรรม แต่ในความเป็นจริงแล้ว สัตว์น้ำไม่ได้ต้องการโปรตีน แต่มีความต้องการกรดอะมิโนที่อยู่ในโปรตีน เพื่อนำเอากรดอะมิโนเหล่านี้ไปสร้างเป็นโปรตีนในร่างกาย ค่าเฉลี่ยของความต้องการกรดอะมิโนของสัตว์น้ำทั่วไป แสดงในตารางที่ 2.1 สำหรับกรดอะมิโนที่สัตว์น้ำต้องการมีอยู่ประมาณ 20 ชนิด ได้แก่ กรดอะมิโนที่จำเป็น และกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น สำหรับปลาและสัตว์น้ำแต่ละประเภทมีความต้องการโปรตีนในปริมาณที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.1 ค่าเฉลี่ยของความต้องการกรดอะมิโนของสัตว์น้ำทั่วไป

กรดอะมิโนที่จำเป็น	ปริมาณที่สัตว์น้ำต้องการ (%โปรตีน)
Phenylalanine	6.3
Valine	3.5
Threonine	3.1
Tryptophan	0.7
Isoleucine	2.8
Methionine	3.6
Histidine	1.9
Arginine	4.5
Leucine	4.0
Lysine	5.3

ที่มา : วิมล, 2537

ตารางที่ 2.2 ความต้องการโปรตีนในอาหารของสัตว์น้ำชนิดต่าง ๆ

ชนิดสัตว์น้ำ	ความต้องการโปรตีน (%)
ปลานิล	34 ± 8
ปลาไน	35 ± 2
ปลาสวาย	27 ± 2
ปลาดุกด้าน	30 ± 2
ปลาดุกลูกผสม	35 ± 5
ปลาช่อน	48 ± 5
ปลาจีน	27 ± 3
ปลานวลจันทร์ทะเล	40
ปลากะพงขาว	48 ± 2
กุ้งก้ามกราม	34 ± 5
กุ้งกุลาดำ	43 ± 7

ที่มา : วิมล, 2537

การประเมินคุณภาพของโปรตีนในอาหารมักนิยมประเมินจากชนิดของกรดอะมิโนในอาหาร ส่วนประกอบของอาหาร ชนิดของอาหารโปรตีน นอกจากประเมินด้วยการพิจารณาองค์ประกอบเหล่านี้แล้ว ยังสามารถใช้วิธีการทดลอง เช่น การหาสัดส่วนของโปรตีนที่มีอยู่ การวัดความสมดุลของไนโตรเจน การวิเคราะห์ซาก หรือวัดจากน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น โดยพิจารณาน้ำหนักตัวของสัตว์ที่เพิ่มขึ้น โดยมีหลักการที่ว่า ถ้าอาหารโปรตีนใดที่สามารถทำให้ร่างกายเจริญเติบโตได้ดี น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น ค่าประสิทธิภาพของโปรตีนสูง ก็แสดงว่าอาหารโปรตีนนั้นมีคุณค่าสูง (สิริพันธุ์, 2547)

กรณีที่ปลาได้รับโปรตีนไม่เพียงพอ อาจเนื่องจากอาหารมีพลังงานสูงเกินไป หรือโปรตีนในอาหารต่ำเกินไป ปลาแสดงอาการขาดโปรตีน คือ เบื่ออาหาร อัตราการเจริญเติบโตลดลง ประสิทธิภาพของการใช้อาหารลดลง ความเข้มข้นของโปรตีนในซีรั่มลดลง (พันทิพา, 2535)

ปลาต้องการโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโต สร้างน้ำย่อย ฮอร์โมน สารภูมิคุ้มกัน และใช้ในการสร้างโปรตีนที่ทำหน้าที่ในการเคลื่อนไหว และช่วยในการขนส่ง นอกจากนี้ยังช่วยในการรักษาสมดุลของน้ำ กรดและด่าง ช่วยกำจัดสารพิษในร่างกาย และยังให้พลังงานแก่ร่างกายอีกด้วย โปรตีนที่ดีจะต้องเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพ นั่นคือจะต้องย่อยได้ดี และมีปริมาณของกรดอะมิโนที่จำเป็นสอดคล้องกับความต้องการของปลามากที่สุด การพิจารณาว่าโปรตีนชนิดใดมีคุณภาพดีหรือไม่นั้น มักมีการประเมินโดยการพิจารณาชนิดของกรดอะมิโนในโปรตีนนั้น ๆ นอกจากนี้ยังมีวิธีการประเมินโดยใช้วิธีการทดสอบทางเคมีและวิธีการทดสอบทางชีววิทยา

ปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการโปรตีนของปลา

อมรรัตน์และบุษกร (2543) ได้รายงานถึงปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการโปรตีนของปลา ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำ คุณภาพของโปรตีน ความเค็ม อายุ ความแตกต่างของสายพันธุ์ ปริมาณอาหารที่ให้ และพลังงานในอาหาร ซึ่งระบุรายละเอียดได้ดังนี้

1. อุณหภูมิของน้ำ มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความต้องการโปรตีนของปลา ทั้งปลาเมืองหนาวและปลาเมืองร้อนใช้ประโยชน์จากอาหารที่มีระดับโปรตีนสูงได้ดีในน้ำที่มีอุณหภูมิสูง แต่การที่ปลาได้รับโปรตีนสูงขึ้น พร้อม ๆ กับค่าที่อุณหภูมิสูงขึ้นนั้น มักจะทำให้เกิดการขับถ่ายของเสียพวกไนโตรเจนเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากผลของการย่อยสลายไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นด้วย

2. คุณภาพของโปรตีน ซึ่งโปรตีนจากพืชมีคุณค่าทางอาหารต่ำกว่าโปรตีนจากสัตว์ ดังนั้นปลาที่ได้รับโปรตีนจากพืชเพียงอย่างเดียว จะมีอัตราการเจริญเติบโตที่ต่ำกว่าปลาที่ได้รับโปรตีนจากพืชและโปรตีนจากสัตว์ ในอัตราที่เหมาะสม

3. ความเค็ม ปลามีความต้องการโปรตีนเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของระดับความเค็ม

4. อายุ ปลาวัยอ่อนมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ทำให้ต้องการโปรตีนมากกว่าปลาที่ใหญ่และมีอายุมากกว่า ซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตช้ากว่า ทำให้ความต้องการโปรตีนจะลดลงเมื่อปลาโตขึ้น และปลาในช่วงก่อนการออกไข่หรือผสมพันธุ์ปลา จะมีความต้องการโปรตีนสูงมากกว่าปกติ เพื่อนำไปใช้ในการสร้างอสุจิและไข่

5. ความแตกต่างของสายพันธุ์ การเจริญเติบโต ค่า condition factor องค์ประกอบของซากและความสามารถในการย่อยโปรตีนของปลาต่างครอบครัว จะมีค่าแตกต่างกัน

6. ปริมาณอาหารที่ให้ มีผลกระทบต่อความต้องการโปรตีน เนื่องจากการจำกัดปริมาณของอาหารที่ให้มีผลทำให้ปริมาณโปรตีนที่เหมาะสมมีค่าเพิ่มขึ้น

7. พลังงานในอาหาร โดยสัตว์น้ำหรือปลาโดยทั่วไป มีความต้องการอาหารเพื่อให้ได้พลังงานตามที่ต้องการ ซึ่งพลังงานส่วนใหญ่สัตว์น้ำใช้ในกระบวนการว่ายน้ำ การหายใจ เมื่อพลังงานส่วนนี้เหลือ ถึงจะนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต

การสะสมแคโรทีนอยด์ในสัตว์น้ำ

เนื่องจากสัตว์น้ำไม่สามารถสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ได้ด้วยตัวเอง ดังนั้น แคโรทีนอยด์ที่พบในสัตว์น้ำ จึงได้มาจากอาหารที่กินเข้าไป โดยแคโรทีนอยด์ เมื่อผ่านกระบวนการย่อยแล้ว จะถูกดูดซึมเข้าสู่ผนังทางเดินอาหารร่วมกับไขมันอื่น ๆ ในรูปที่แตกต่างกัน ขึ้นกับสภาพทางเดินอาหารของสัตว์น้ำแต่ละชนิด เมื่อแคโรทีนอยด์เมื่อสะสมในร่างกายสัตว์น้ำ หากสะสมบริเวณใดก็จะทำให้บริเวณนั้นเกิดสีได้ แคโรทีนอยด์ปรากฏในสัตว์แทบทุกชนิด ตั้งแต่สัตว์ชั้นต่ำไปจนถึงสัตว์ชั้นสูง เช่น ในหยดไขมันของโคพีพอด และไรแดง เพศผู้ (Fox, 1957) ในรังไข่ของหอยเชลล์, ไฮดราบางชนิด โพรทิสตา และแมลงเต่าทอง (Fox และ Vevers, 1960) ฟองน้ำทะเล (Goodwin, 1951) พวกเอไคโนเดอร์ม เช่น หอยเม่น ปลิงทะเล และปลาดาว หอยบางชนิด เช่น กุ้ง ปู นอกจากนี้ในรังไหม มีสารประกอบ lutein ซึ่งเป็นแคโรทีนอยด์ ชนิดหนึ่งและสามารถสกัดออกมาได้ (Bauernfeind, 1981) แอมฟิพอด เพรียง (Bauernfeind, 1981 อ้างโดย Fox และ Vevers, 1960) นอกจากนี้ยังแยกแคโรทีนอยด์ ได้จากสาหร่ายสีเขียว โดยตรวจพบ beta carotene ในปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือ epsilon – carotene ส่วน xanthophyll ตรวจพบ lutein, neoxanthin และ violaxanthin (Bauernfeind, 1981) ในแพลงก์ตอนทะเล 20 ชนิด พบรงควัตถุ ดังนี้ alloxanthin, lutein, fucoxanthin และ pteridine

แคโรทีนอยด์ที่พบในปลา ส่วนใหญ่จะละลายในไขมัน โดยแคโรทีนอยด์เป็นสารที่ให้สีเหลือง ส้ม หรือสีแดง อวัยวะที่พบแคโรทีนอยด์ได้แก่ ไข่ อวัยวะสืบพันธุ์ ตับและผิวหนัง (Goodwin, 1951) ปลามีการสะสมแซนโทรฟิลด์ มากกว่า แคโรทีน หรือไฮโดรคาร์บอนตัวอื่น ๆ ซึ่งมักพบในรูปของ taraxthin, lutein และ astaxanthin (Steven, 1948 ; Goodwin, 1951 ; Fox, 1957) จากการตรวจเนื้อเยื่อและผิวหนังของปลา พบว่า มีส่วนประกอบของ beta carotene และ xanthophyll รวมอยู่ด้วย (Steven, 1948 ; Goodwin, 1951) ปลาในกลุ่ม Salmonid ได้แก่ *Salmon fario* และ *S. umbla* ที่ได้รับอาหารพวก ampepod จะมีการสะสมแคโรทีนอยด์ ที่ผิวหนังและทำให้เกิดจุดสีแดงที่บริเวณครีบ แต่ถ้าให้อาหารเป็นพวกหนอน annelid ปรากฏว่าไม่ทำให้เกิดสีขึ้นมา Macwalter และ Drummond รายงานว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ในรังไข่ของปลา brown trout และปลา rainbow truot จะจางหายไปในช่วงการเจริญของคัพภะ ในขณะเดียวกันวิตามินเอก็จะเพิ่มขึ้นด้วย (Bauernfeind, 1981)

การศึกษาการสะสมของแคโรทีนอยด์ ในปลา 5 ชนิด ได้แก่ *Fundulus parvipinnis, Girella nigricans, Gillichthys mirabilis, Cymatogaster aggregatus* และ *Hypsypops rubicunda* พบว่า ปลาเหล่านี้มีการสะสมแซนโทรฟิลด์ ในรูปของเอสเทอร์ โดยจะสะสมในส่วนของผิวหนัง เกล็ด ครีบ และกระดูกส่วนหน้า เมื่อถึงฤดูกาลสืบพันธุ์และวางไข่ แคโรทีนอยด์จะเคลื่อนไปสะสมที่อวัยวะสืบพันธุ์

การเกิดสีในปลา

ปลาสามารถปรับสภาพของสีให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่มันอาศัยอยู่ได้ นอกจากนี้ปลายังสามารถแสดงสีต่าง ๆ เมื่อตอบสนองต่อสิ่งเร้าที่มากระตุ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้ เกิดจากการทำงานของเซลผิวหนังที่มีเม็ดสีอยู่ภายในเซลสร้างสี ในปลามีอยู่ 2 พวก คือ โครมาโตฟอร์ (chromatophores) และเออริโดฟอร์ (iridophores) หรือเรียกว่า มิเรอร์เซล (mirror cell) ภายในโคมาโตฟอร์ มีเซลสร้างสี 3 ประเภท คือ อิริโทรฟอร์ (erythrophores) ซึ่งให้สีแดงและสีส้ม แซนโทฟอร์ (xanthophores) ให้สีเหลืองและเมลาโนฟอร์ (melanophores) ให้สีดำ เออริโดฟอร์ (iridophores) หรือเรียกว่า มิเรอร์เซล (mirror cell) ซึ่งเป็นเซลที่สะท้อนสีของวัตถุที่อยู่ภายนอกตัวปลา สารที่อยู่ในเออริโดฟอร์ เป็นพวกคริสตันไลน์ กัวนิน (crystalline guanine) ซึ่งเป็นสารที่มีลักษณะโปร่งแสง มีสีขาวหรือสีเงิน

อมรรัตน์และบุษกร (2543) รายงานว่า สีที่ปรากฏบนตัวปลา เกิดจากการทำงานของเซลล์ผิวหนัง ซึ่งมีเม็ดสีอยู่ภายใน เม็ดสีในชั้นผิวหนังปลา สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท คือ

1. เม็ดสีเมลานิน (mlanin) เป็นเม็ดสีน้ำตาลหรือดำ ซึ่งเมลานิน มักเกาะอยู่กับโปรตีน
2. เม็ดสีเทอริดีน (pteridine) มีทั้งชนิดที่มีสีและไม่มีสี เป็นสารประกอบที่สามารถละลายน้ำได้
3. เม็ดสีเพียวรีน (purine) เป็นเม็ดสีขาวหรือสีเงิน พบมากที่ผิวหนังตัวปลา เพียวรีนที่พบมากคือ กัวนิน
4. เม็ดสีแคโรทีนอยด์ (carotenoids) เป็นเม็ดสีเหลือง ส้มและแดง พบในไซโตพลาสซึมของเซล ปลาไม่สามารถสร้าง แคโรทีนอยด์ขึ้นมาได้ ต้องได้รับจากอาหารโดยตรง และปลาสามารถเก็บเม็ดสีเหล่านี้ไว้ในตัวปลาหรือเปลี่ยนแคโรทีนอยด์ให้อยู่ในรูปอื่นได้

ในการเพาะเลี้ยงปลาสวยงาม สารแคโรทีนอยด์นับว่ามีบทบาทมาก เพราะเป็นตัวทำให้ปลามีสีสันสวยงามขึ้น คือ ถ้าเซลล์ผิวหนัง มี แคโรทีนอยด์มากเท่าไร ย่อมทำให้ปลามีสีสันสดขึ้น (วันเพ็ญ และคณะ, 2543)

อมรรัตน์และบุษกร (2543) รายงานว่าเม็ดสีแคโรทีนอยด์ แบ่งออกได้เป็น 2 พวก คือ

1. แคโรทีน (carotene) ซึ่งได้แก่ แอลฟาแคโรทีน (alfa-carotene) เบตา-แคโรทีน (beta-carotene), แกมมาแคโรทีน (gamma-carotene) และ ไลโคฟีน (lycopene) (Fox and Vevers, 1960) แคโรทีนที่สำคัญในวงการเพาะเลี้ยงปลาสวยงามคือ เบตา-แคโรทีน ซึ่งพบในแครอท พริกแดง มะม่วง แคนตาลูป กะหล่ำปลี ผักขม สาหร่ายเซลล์เดียวพวก *Dunaliella salina* และ น้ำมันปลา
2. แซนโทฟิล (xanthophyll) ซึ่งได้แก่ ทาราแซนทิล (taraxanthin) ซีเอแซนทีน (zeaxanthin) ลูทีน (lutein) และแอสตาแซนทีน (astaxanthin)

แคโรทีนอยด์ ที่พบในสัตว์แทบทุกประเภทในปริมาณที่แตกต่างกันไป เช่น ในหยดไขมันของโคพิพอด (Copepod) และเดฟเนียเพศผู้ (Daphnia) (Fox, 1957) ในรังไข่ของหอยเชลล์ (*Scallop* sp.), ฟองน้ำทะเล (Goodwin, 1951) พวกโพรทิสตา เช่น Dinoflagellates, Euglenoids, Diatoms (Fox and Vever, 1960) พวก Echinoderm ซึ่งได้แก่ หอยเม่น ปลิงทะเล และดาวทะเล หอยบางชนิด กุ้ง ปู (Bauernfeind, 1981) แมลงเต่าทอง (Fox and Vever, 1960) สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว และสาหร่ายสีเขียว ซึ่งภายในเซลล์ประกอบด้วย bata-carotene, xanthophyll, phycobilin, chlorophyll A เป็นต้น

การใช้สารเร่งสีจากธรรมชาติ

สารเร่งสีจากธรรมชาติ ที่นิยมใช้ในธุรกิจปลาสวยงามและสัตว์น้ำทั่วไป คือ แคโรทีนและแซนโทฟิลล์ ซึ่งมักพบในอาหารธรรมชาติ เช่น เคย สไปรูไลน่า เปลือกกุ้ง ไรสีน้ำตาล แพลงก์ตอนพืชและสัตว์ น้ำมันปลา ข้าวโพด ฟักทอง ดอกดาวเรือง แครอท และเคย,สาหร่ายสไปรูไลน่าและเปลือกกุ้งสด (อมรรัตน์ และบุษกร, 2543) ชนิดของวัตถุดิบที่เป็นแหล่งของแคโรทีนอยด์แสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ชนิดของวัตถุดิบที่เป็นแหล่งของแคโรทีนอยด์

วัตถุดิบ	รงควัตถุที่พบ
สาหร่ายสไปรูไลน่า	เบต้า-แคโรทีน
กลีบดอกดาวเรือง (*Tagetes crecta*)	แคโรทีน
คอร์น กลูเตน (Corn gluten)	แคโรทีน,แซนโทฟิล
หญ้าอัลฟาฟา	แคโรทีน,แซนโทฟิล
เปลือกกุ้งสุก	แอสทาแซนทิล
เคย	แอสทาแซนทิล
ยีสต์ (*Phaffia sp.*)	แอสทาแซนทิล
สาหร่าย *Haematococcus*	แอสทาแซนทิล
น้ำมันปลาคาพิลิน (Capelin)	แอสทาแซนทิล
น้ำมันปลาแมคเคอเรล (Mackerel)	แอสทาแซนทิล
น้ำมันปลาคอด (Cod)	แอสทาแซนทิล
เคย สาหร่ายสไปรูไลน่าและเปลือกกุ้งสด	เบต้า-แคโรทีน

ที่มา : อมรรัตน์และบุษกร, 2543

ในการเลือกใช้แคโรทีนอยด์ ชนิดใดผสมลงในอาหารเพื่อเร่งสีปลานั้น ต้องพิจารณาถึงอายุและชนิดของสัตว์น้ำ อุณหภูมิ และสภาพแวดล้อมอื่น ๆ รวมถึงปริมาณไขมันในอาหารด้วย เนื่องจากสัตว์ต่างชนิดกัน จะมีความสามารถในการเปลี่ยนและสะสมแคโรทีนอยด์ได้แตกต่างกัน (Katayama *et al*, 1972) ปริมาณการใช้แคโรทีนอยด์ในสัตว์น้ำกลุ่มต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ปริมาณการใช้แคโรทีนอยด์ในสัตว์น้ำกลุ่มต่าง ๆ

ชนิดสัตว์น้ำ	ปริมาณของแคโรทีนอยด์ (%)
ปลาออสก้าและปลาคาร์พสีแดง	1-4
ปูและกุ้ง	1-3

ที่มา : Katayama *et al*, 1972

อาหารเร่งสีปลาสวยงาม

เนื่องจากสีของปลาและสัตว์น้ำอื่น ๆ มีความสำคัญต่อการตลาดสัตว์น้ำ โดยเฉพาะปลาประเภทปลาสวยงาม ปลาที่มีสีสันสวยงามหรือมีสีเข้มเป็นพิเศษ จะจำหน่ายได้ในราคาที่สูงกว่าปกติ ในปลาเศรษฐกิจสีของปลาจะมีผลต่อความจูงใจในการเลือกซื้อและราคา การผสมรงควัตถุที่เร่งสีปลา เช่นแคโรทีนอยด์ ในต่างประเทศนิยมเสริมทั้งในปลาเศรษฐกิจที่ใช้เป็นอาหาร เพื่อให้มีสีสันน่ารับประทานและมีรสชาติดีขึ้น เช่น ปลาเทร้าท์ และปลาแซลมอน เป็นต้น ส่วนปลาสวยงามนิยมเสริมในปลาแฟนซีคาร์ฟ ปลาทอง ปลาออสการ์ ปลาปอมปาดัวร์ และปลาเสือสุมาตรา เป็นต้น

สำหรับแหล่งของแคโรทีนอยด์ที่นิยมใช้ในการผสมอาหารเพื่อเร่งสีปลาสวยงามมีด้วยกัน 2 แหล่ง ดังนี้ (โครงการเพื่อบรรเทาผลกระทบทางสังคมเนื่องจากวิกฤตการณ์เศรษฐกิจ, 2542)

1. แคโรทีนอยด์จากธรรมชาติ

แคโรทีนอยด์จากธรรมชาติ พบได้ทั้งในพืชและสัตว์ ได้แก่

1.1 แคโรทีนอยด์ที่ได้จากพืช ที่สำคัญคือ ชนิด zeaxanthin และ luthin ซึ่งให้สีเหลืองถึงสีแดง เช่น

(1) ข้าวโพด สารสีที่พบในข้าวโพด (corn gluten) มี xanthophyll 363 mg/Kg.) มีผลต่อการเกิดสีเข้มขึ้นของปลา ระดับการใช้ในอาหารสัตว์น้ำคือ ปลาดุกบิ๊กอุย 6.6-10 % ในสูตรอาหาร ปลากดหลวง น้อยกว่า 6 %

(2) ดาวเรือง สารสีที่พบในดาวเรืองมี xanthophyll 10.626 mg/Kg. โดยมี luthin เป็นหลัก ระดับการใช้กลีบดอกดาวเรืองแห้งในอาหารสัตว์น้ำ ในปลาแฟนซีคาร์ฟ 5 % ในสูตรอาหาร อย่างน้อย 6 สัปดาห์

(3) สาหร่าย *Spirulina* สารสีที่พบมี xanthophyll 5.78 mg/Kg. โดยมี zeaxanthin เป็นหลัก ระดับการใช้ คือ ปลาแฟนซีคาร์ฟ 15 % ในสูตรอาหาร อย่างน้อย 8 สัปดาห์ ปลาดุกอุย 5 % กุ้ง 5-10 %

(4) สาหร่าย *Dunaliella* สารสีชนิดที่พบมากคือ β –carotene และ luthin ระดับการใช้เพื่อเพิ่มสีในสัตว์น้ำอยู่ระหว่าง 8-15 % ในสูตรอาหาร

(5) สาหร่าย *Haematococcus* ระดับที่ใช้ในปลา เรนโบวเทร้าท์ 20-80 mg/Kg. ของ carotenoid ในสาหร่าย ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมในการเร่งสีที่ 100 วัน

1.2 แคโรทีนอยด์ที่ได้จากสัตว์ ที่สำคัญ คือ xanthophyll ชนิด astaxanthin แหล่งของแคโรทีนอยด์จากสัตว์ที่นิยม คือ

(1) แกลบกุ้ง สารสีที่พบมี xanthophyll 80 mg/Kg. ระดับการใช้แกลบกุ้งในอาหารสัตว์น้ำ ปลาแฟนซีคาร์ฟ 15 % ในสูตรอาหารมีผลให้สีสดใสแวววาว

(2) น้ำมันจากปลา Cod ปลา mackerel เป็นแหล่ง astaxanthin ที่สำคัญ

2 แคโรทีนอยด์สังเคราะห์

แคโรทีนอยด์สังเคราะห์ประกอบด้วย apocarotenoic acid ethyl ester, canthaxanthin, astaxanthin มีชื่อทางการค้าว่า Carophyll ซึ่งมี 4 ชนิด คือ

2.1 Carophyll yellow

2.2 Carophyll red นิยมใช้ในการเพิ่มสีผิวของปลา และครัสเตเชียน โดยเฉพาะการเพิ่มสีในกุ้ง

2.3 Carophyll orange

2.4 Carophyll pink นิยมใช้เพิ่มสีในกุ้งและปลา

การใช้แคโรทีนอยด์ในกลุ่มปลาทอง และปลาคาร์ฟสีแดง ควรใช้รูปบริสุทธิ์ ผสมอาหาร 1-4 % ชนิดที่นิยมคือ zeaxanthin, luthin, cantaxanthin และ astaxanthin หรือให้กลีบดอกดาวเรือง หรือสาหร่ายสไปรูไลนา สำหรับกลุ่มกุ้ง ปู ใช้แคโรทีนอยด์บริสุทธิ์ผสมในอาหาร 1-3 % ชนิดที่นิยมใช้คือ ß –carotene, zeaxanthin, cantaxanthin หรือสไปรูไลนา ระดับที่ใช้ในปลาเรนโบว์เทร้าท์ 80 mg/Kg.

ปัจจัยที่ทำให้เกิดการมองเห็นสี

การมองเห็นสี สามารถกระทำได้โดยการใช้สายตามนุษย์ ภายใต้การสั่งการของสมอง แล้วมีการตัดสินใจ ซึ่งจะมีความแตกต่างกันในแต่ละบุคคล ดังนั้น ในการทดลองทางวิทยาศาสตร์เพื่อให้เป็นที่เข้าใจในระดับสากล และมีการยอมรับกันโดยทั่วไป จึงมีการวัดค่าของสีออกมาเป็นตัวเลข เรียกว่า objective ดังจะกล่าวต่อไป (เอกสารการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง ปฏิบัติการการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของอาหาร, 2542)

โดยทั่วไปเราสามารถมองเห็นสี ก็ต่อเมื่อมีปัจจัย 3 อย่างคือ แหล่งกำเนิดแสง วัตถุมีสี และสายตาของมนุษย์ โดยแสงสว่างที่ส่องกระทบวัตถุมีสีจะสะท้อนเข้าตา และไปกระตุ้นให้เกิดการทำงานของเซลล์ บนเรตินา ซึ่งประกอบด้วย rods ที่มีความไวต่อแสง แต่ไม่ก่อให้เกิดสีสัน และ cones ที่มีความไวต่อแม่สี 3 สี คือ แดง เขียว และน้ำเงิน และส่งสัญญาณ ไปยังสมองเพื่อแปลหรือวิเคราะห์สีนั่นเอง ปัจจัยที่มีผลต่อการมองเห็นสี ได้แก่ แหล่งกำเนิดแสง วัตถุมีสี และผู้สังเกตการณ์

แหล่งกำเนิดแสงตามธรรมชาติ คือ แสงแดด ซึ่งเมื่อแสงแดดส่องมายังโลก เราจะเห็นเป็นแสงสีขาว เมื่อแยกผ่านปริซึม จะแยกออกเป็นแถบแสงที่มองเห็นได้ต่าง ๆ กัน โดยมีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 400-700 นาโนเมตร ซึ่งแต่ละความยาวคลื่น จะมีสีแตกต่างกันดังต่อไปนี้ (ตารางที่ 2.5)

ตารางที่ 2.5 การเกิดสีในแต่ละความยาวคลื่นแสง

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	การเกิดสี
400-430	ม่วง
430-460	น้ำเงิน
460-500	เขียวแกมน้ำเงิน
500-530	เขียว
530-570	เขียวแกมเหลือง
570-590	เหลือง
590-620	ส้ม
620-700	แดง

ที่มา : เอกสารการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง ปฏิบัติการการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของอาหาร, 2542

ระบบการวัดสี

โดยทั่วไปมนุษย์จะระบุลักษณะสีของวัตถุที่มองเห็นเป็น 3 ลักษณะ คือ Hue, Value และ Chroma

Hue หมายถึง สีที่ปรากฏให้เห็น เช่น สีแดง เขียว และน้ำเงิน เป็นต้น

Value (lightness) หมายถึง ความสว่างของสี โดยดูจากการสะท้อนแสงที่ต่างกัน

Chroma (saturation) หมายถึง ความสดใส ความเข้ม หรือความบริสุทธิ์ของสี

อย่างไรก็ตามพบว่า การระบุลักษณะสีของวัตถุชิ้นเดียวกันที่มนุษย์มองเห็นนั้น จะมีความหลากหลาย ขึ้นอยู่กับประสบการณ์ เพศ อายุ อารมณ์ และสิ่งแวดล้อม ในการมองเป็นต้น ซึ่งทำให้ไม่สามารถสื่อความหมายของสีให้เข้าใจได้ตรงกัน ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาการจัดลำดับสีหรือการวัดค่าสี ให้สามารถสื่อความหมายให้เข้าใจได้ตรงกัน ในระดับสากล โดยระบบการวัดสีเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง ได้แก่

1. ระบบ Munsell เป็นระบบที่ใช้พื้นฐานของการมองเห็นสีที่ง่าย โดยอาศัยคุณสมบัติการมองเห็นสี 3 ประการ คือ Hue, Value และ Chroma โดยการใช้แผ่นกระดาษสีที่ถูกจัดเรียงตาม hue ต่าง ๆ ของแถบสเปคตรัม ไปตามเส้นรอบวง 10 สี คือ สีแดง (R) สีแดงออกเหลือง (YR)สีเหลือง (Y) สีเหลืองออกเขียว (GY) สีเขียว (G) สีเขียวออกน้ำเงิน (BG) สีน้ำเงิน (B) สีน้ำเงินออกม่วง (PB) สีม่วง (P) และสีม่วงออกแดง (RP) แผ่นกระดาษสีกลุ่มที่มี hue เดียวกัน จะถูกจัดเรียงในแนวดิ่งตามลักษณะของสีที่มี value แตกต่างกัน จากสีที่มีความสว่างต่ำสุด จนถึงสูงสุด แผ่นกระดาษสีกลุ่มที่มี hue และ value เดียวกัน จะถูกจัดเรียงในแนวนอน ตามลักษณะของสีที่มี chroma แตกต่างกันจากสีที่มีความสดน้อยที่สุดจนถึงมากที่สุด

ระบบ munsell ระบุสีของวัตถุโดยใช้ตัวเลขและตัวอักษรในลักษณะ hue-value และ chroma โดย hue เดียวกัน จะมีค่าตั้งแต่ 1-10 และกำหนดให้เลข 5 เป็นจุดศูนย์กลาง สำหรับ hue ที่สำคัญ คือ R, YR, Y, GY, G, BG, B, PR, P, RP โดยถ้าตัวเลขนำหน้า R (red) มากกว่า 5 สีจะไปทาง YR คือ Yellow-red และถ้าตัวเลขนำหน้า R น้อยกว่า 5 สีจะไปทาง RP (red-purple) สำหรับ value จะมีค่าตั้งแต่ 0-10 ตัวเลขต่ำบอกถึงสีคล้ำ (dark) และจะต่ำลงไปจนถึงดำ (0/) ตัวเลขสูงบอกถึงสีอ่อน (lighter) ขึ้นไปจนถึงขาว (10/) สีที่มี value เหมือนกันจะมีการสะท้อนแสงเหมือนกัน ส่วน chroma จะมีค่าตั้งแต่ 0-12 หรือ 0-14 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าแต่ละสีจะสดที่สุดได้เท่าใด ณ ค่า value คงที่หนึ่ง ๆ

2. ระบบ CIE เป็นระบบที่ได้พัฒนาขึ้นมาในปี ค.ศ.1931 เมื่อ Commission Internationalede I'Eclairage (CIE) ได้เห็นความจำเป็นที่จะต้องมีระบบการวัดสีในรูปของ objective ที่ไม่ต้องอาศัยประสบการณ์หรือความคิดของมนุษย์ในการวัดสี โดยวัดสีออกมาเป็นตัวเลข ซึ่งมีข้อดีหลายประการคือ

เป็นระบบที่ไม่ขึ้นกับการมองเห็นของแต่ละบุคคล ทำให้ลดปัญหาการขัดแย้งลง

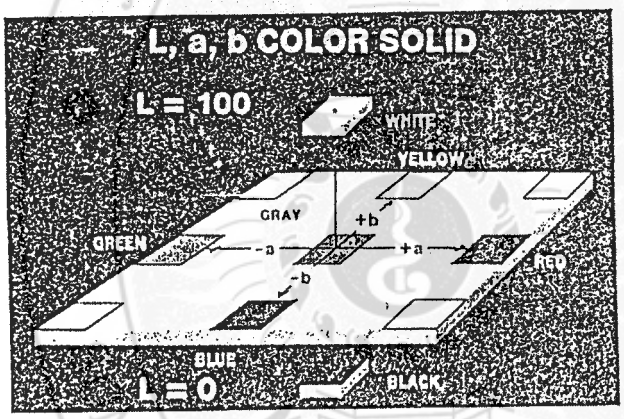
เป็นระบบการวัดสีออกมาเป็นตัวเลข ดังนั้นแม้ชิ้นตัวอย่างจะซีดจาง ตามกาลเวลา แต่ตัวเลขที่มีอยู่ก็ทำให้ทราบว่าสีเดิมเป็นอย่างไร

เป็นระบบที่สามารถนำไปคำนวณและทำนายสูตรสีผสมได้ด้วย

ระบบ CIE มีแนวคิดว่า เนื่องจากปัจจัยในการมองเห็นสีของมนุษย์ประกอบด้วย แหล่งกำเนิดแสง วัตถุมีสี และสายตามนุษย์ ดังนั้นถ้าสามารถวัดปัจจัยทั้ง 3 อย่างออกมาเป็นตัวเลขได้แล้ว ก็สามารถวัดสีออกมาเป็นตัวเลขได้

ปัจจุบันนิยมใช้สมการในการระบุสีที่เป็นที่นิยมกันอย่างกว้างขวางคือ การวัดค่าสีในรูปแบบของ L, a, b space (เอกสารการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่อง ปฏิบัติการการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของอาหาร, 2542) (ภาพที่ 2.3)

ภาพที่ 2.3 แสดงค่าสี L, a, b space



ที่มา : เอกสารการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง ปฏิบัติการการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของอาหาร, 2542

โดย L* ใช้กำหนดค่าความสว่าง

L = 0 = perfect black sample

L = 100 = perfect white sample

a* ใช้กำหนดค่าสีแดง หรือสีเขียว

a เป็น + วัตถุมีสีออกแดง

a เป็น – วัตถุมีสีออกเขียว

b* ใช้กำหนดสีเหลือง หรือสีน้ำเงิน

b เป็น + วัตถุมีสีออกเหลือง

b เป็น – วัตถุมีสีออกน้ำเงิน

ในการใช้เครื่องมือในการวัดสี ย่อมให้ผลเป็นที่น่าเชื่อถือมากกว่าสายตามนุษย์ เนื่องจากสายตามนุษย์ ยังมีจุดอ่อนหลายประการคือ

1. ตามนุษย์แต่ละคนจะมีความสามารถในการมองเห็นสีได้ไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสบการณ์ การฝึกฝนของแต่ละคน ดังนั้นการบอกความแตกต่างของสี ตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐานจึงอาจมีความขัดแย้งด้านความคิดได้

2. ตามนุษย์จะบอกความแตกต่างของสี ณ จุดต่าง ๆ บน chromaticity diagram ไม่เท่ากัน

3. ตามนุษย์จะปรับตัวให้เข้ากับสีที่ใกล้เคียงกันได้ง่ายมาก

4. ความสามารถในการมองสีขึ้นกับแสงที่ส่องผิวหน้า และขึ้นกับมุมที่สายตามองผิวหน้าของวัตถุมีสี

5. ตามนุษย์ไม่สามารถบันทึกค่าหรือบอกค่าที่แน่นอนว่า สีของตัวอย่างจะซีดไปมากน้อยเพียงใด เมื่อเวลาผ่านไป และสีเดิมเป็นอย่างไร

ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและน้ำหนัก

ความยาวและน้ำหนักของปลาแต่ละชนิดจะเป็นลักษณะเฉพาะตัวไม่ซ้ำแบบกัน ถ้าเราสามารถเก็บข้อมูลของน้ำหนักปลาที่มีความยาวแตกต่างกันไปหลาย ๆ ขนาด แล้วนำมาหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่มีหน่วยเป็นกรัม ความยาวเป็นมิลลิเมตร หรือเซ็นติเมตร แล้วแต่กรณี โดยแทนค่าในสมการ Length – Weight Relationship ดังนี้

$W = a L^{b}$

หรือ $\text{Log } W = \text{Log } a + b \text{ Log } L$

เมื่อ W คือ น้ำหนักปลามีหน่วยเป็นกรัม

L คือ ความยาว มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

A คือ Y intercept (ระยะจากแกน x ไปยังจุดตัดกันของเส้นกราฟกับแกน y)

B คือ Regression coefficitnt (สัมประสิทธิการถดถอย, slope ของกราฟ)

วิธีการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและน้ำหนัก

การหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและน้ำหนัก มีขั้นตอน ดังนี้

1. เก็บตัวอย่างปลามาวัดค่าความยาว (L) (เซ็นติเมตรหรือมิลลิเมตร) และชั่งน้ำหนัก (W) (กรัม) บันทึกน้ำหนักและความยาวไว้

2. คำนวณค่า Log L และ Log W บันทึกลงบนตาราง

3. นำค่า Log L และ Log W มา plot เป็นกราฟ บนแกน x และ แกน y

4. จากเส้นกราฟ ในข้อ 3 สามารถหาค่า a และ b ได้ จากความหมายในสมการ

5. แทนค่า a และ b ที่ได้จากกราฟ ลงในสมการ

$W = a L^{b}$ หรือ $\text{Log } W = \text{Log } a + b \text{ Log } L$

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและน้ำหนักในสัตว์น้ำชนิดต่าง ๆ

ได้มีผู้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและน้ำหนักของสัตว์น้ำชนิดต่าง ๆ และรายงานผลไว้ ดังนี้ (ตารางที่ 2.6)

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างความสัมพันธ์ของความยาว และน้ำหนักของปลาชนิดต่าง ๆ

ชนิดของสัตว์น้ำ	สมการความสัมพันธ์	อ้างอิง
ปลาม้าเพศเมีย	$W = 0.01482\ L^{2.924767}$	กิจจา และคณะ (2534)
ปลาม้าเพศผู้	$W = 0.036086935\ L^{2.663461}$	กิจจา และคณะ (2534)
ปลาปากคมจุดเพศผู้	$W = 5.4644 \times 10^{-3}\ L^{3.103}$	สุนิสาและคณะ (2534)
ปลาปากคมจุดเพศเมีย	$W = 5.5949 \times 10^{-3}\ L^{3.0711}$	สุนิสาและคณะ (2534)
ปลาบึก	$W = 0.047695\ L^{1.95414}$	สนิทและเสน่ห์ (2533)
หมึกหอมเพศผู้	$W = 0.00133468\ L^{2.36361699}$	ทิวา (2522)
หมึกหอมเพศเมีย	$W = 0.00113633\ L^{2.4048191}$	ทิวา (2522)

ดรรชนีความอ้วนท้วนของปลา

ค่าดรรชนีความอ้วนท้วนของปลา (Condition Factor, K) เป็นตัวเลขที่แสดงค่าเฉลี่ยของน้ำหนักปลาที่ศึกษา ว่าหนักกี่กรัม ต่อหน่วยความยาว 1 มิลลิเมตร หรือ เซนติเมตร แล้วแต่กรณี ค่าดรรชนีความอ้วนท้วนของปลานี้จะใช้เป็นตัวบัดสภาพร่างกายหรือเงื่อนไขของปลาในขณะนั้นว่าอ้วนหรือผอมหรือพอดี โดยตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่า ปลาที่สมบูรณ์ดีนั้น ควรมีน้ำหนักดีกว่า ถ้าความยาวเท่ากัน

วิธีการหาค่าดรรชนีความอ้วนท้วนของปลา

1. นำปลาที่ต้องการศึกษา มาวัดความยาว (L) และชั่งน้ำหนัก (W) บันทึกผลไว้
2. คำนวณหาค่า K โดยใช้สมการ

$$K = \frac{W\ 10^{5}}{L^{3}}$$

โดยที่ W คือ น้ำหนัก มีหน่วยเป็นกรัม

L คือ ความยาวทั้งหมด มีหน่วยเป็นเซ็นติเมตร

ค่า K มีประโยชน์ต่อนักชีววิทยาในหลาย ๆ ด้าน ข้อมูลที่ได้นำเสนอ นับว่ามีประโยชน์อย่างมาก เนื่องจากค่า K น่าจะเป็นตัวแทนน้ำหนักเฉลี่ยในแต่ละสายพันธุ์

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ฤทัยรัตน์ และคณะ (2548) ได้ศึกษาผลของความเข้มแสง 60, 240 และ 540 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที และความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซผสม 10 % และ 20% ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางชีวเคมีภายในเซลล์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. ที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายในอาหารเลี้ยงสูตร NS III ภายในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพให้แสงขนาด 20 ลิตร ปริมาตรรวม 15 ลิตร โดยให้แสงสลับกับไม่ให้แสง อัตราส่วน 12:12 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งสองระดับ ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่าย แต่การเพิ่มความเข้มแสงจาก 60 เป็น 240 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ทำให้สาหร่ายมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด (μ_{max}) เพิ่มขึ้นจาก 1.6 เป็น 2.25 ต่อวัน เมื่อทำการเพิ่มระดับความเข้มแสงเป็น 540 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที พบว่าอัตราการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางชีวเคมีไม่มีความแตกต่างกับการเลี้ยงที่ระดับความเข้มแสง 240 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที

กิตติ และไพรินทร์ (2538) เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 5 วิธี เป็นเวลา 24 วัน ผลการทดลองพบว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ด้วยวิธีต่างๆ มีผลต่อปริมาณการสร้างแคโรทีนอยด์ โดยพบว่าวิธีที่ 2 (เลี้ยงในอาหารเหลวในขวดชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร) มีปริมาณการผลิตแคโรทีนอยด์สูงสุด คือ 2.0 มิลลิกรัม รองลงมา คือ วิธีที่ 1 (เลี้ยงในอาหารเหลวในหลอดทดลอง) วิธีที่ 3 (เลี้ยงในทรายบริสุทธิ์) วิธีที่ 4 (เลี้ยงในจานเลี้ยงเชื้อ) และวิธีที่ 5 (เลี้ยงในหลอดวุ้นเอียง) ซึ่งมีปริมาณการผลิตแคโรทีนอยด์เท่ากับ 1.486, 1.310, 0.856 และ 0.790 มิลลิกรัม ตามลำดับ

บุปผา นวลพรรณ และ วีนา (2550) ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Haematococcus* sp. แบบ batch ในถังเพาะเลี้ยง ขนาด 2 ลิตร ด้วยอาหารสูตรโบลด์ โดยให้อากาศ 0.8 vvm และ และอัตราการกวน 100 รอบ ต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พีเอชเริ่มต้น 7.0 ในขั้นตอนแรกของการเพาะเลี้ยง จะให้แสง 12 ชั่วโมงสลับกับไม่ให้แสง 12 ชั่วโมง ที่ความสว่าง 3000 ลักซ์ เป็นเวลา 10 วัน พบว่าสาหร่ายมีอัตราการเจริญจำเพาะ 0.22 ต่อวัน โดยให้จำนวนเซลล์ 16.33 x 10^4 เซลล์ต่อมิลลิลิตร และยังไม่มีการสะสมแอสตาแซนทิน ในขั้นตอนที่สอง เติมสารละลายเฟอรัสซัลเฟต 450 ไมโครโมลาร์ ในวันที่ 10 ของการเพาะเลี้ยงพร้อมกับให้แสงอย่างต่อเนื่องที่ความสว่าง 3000 ลักซ์ เพื่อกระตุ้นการสร้างแอสตาแซนทิน พบว่าสาหร่ายผลิตแอสตาแซนทินได้ 1.70 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 28 ของการเพาะเลี้ยง

กาญจนรี สนธิพันธ์และอมรรัตน์ (2539) ทดลองใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นในอาหารสำหรับปลาแรดจำนวน 5 สูตร ได้แก่ สูตรที่ 1 ใช้กากถั่วเหลืองทดแทนปลาป่น 100 % สูตรที่ 2 ปลาป่น 5 % และกากถั่วเหลือง 87.5 % สูตรที่ 3 ปลาป่น 10 % และกากถั่วเหลือง 75 % สูตรที่ 4 ปลาป่น 20 % และกากถั่วเหลือง 50 % สูตรที่ 5 ปลาป่น 40 % อาหารทดลองทั้ง 5

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

สูตร มีระดับโปรตีนและพลังงานที่ใกล้เคียงกันคือ โปรตีน 35 % และพลังงานที่ย่อยได้ 290 กิโลแคลอรี/อาหาร 100 กรัม ทดลองกับปลาแรดขนาดเฉลี่ย 2.52 ± 0.13 กรัม ในตู้กระจกขนาด 45 x 45 x 90 เซนติเมตร ในอัตรา 40 ตัว/ตู้ ให้อาหารวันละ 2 ครั้ง โดยให้กินจนอิ่ม ทดลองเลี้ยงเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่า ปลาแรดมีการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักเฉลี่ย 9.33, 13.34,13.66, 18.23 และ 18.87 กรัม ตามลำดับ และมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเฉลี่ย 3.89, 3.01, 2.94,2.05 และ 2.04 ตามลำดับ การเจริญเติบโตและอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลาแรดที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 และ 5 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ในขณะที่ปลาแรดซึ่งได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 1, 2 และ 3 มีการเจริญเติบโตต่ำกว่าและอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อสูงกว่าปลาแรดที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 และ 5 อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) อาหารทดลองมีประสิทธิภาพของโปรตีนในอาหารเฉลี่ย 0.74, 0.96, 0.98, 1.40 และ 1.41 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยอาหารสูตรที่ 4 และ 5 มีประสิทธิภาพของโปรตีนในอาหารไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) และประสิทธิภาพสูงกว่าอาหารสูตรที่ 1, 2 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) จากการศึกษาครั้งนี้ทำให้ทราบว่าสามารถใช้กากถั่วเหลืองทดแทนปลาป่นในอาหารสำหรับปลาแรดได้ 50 % ของปลาป่น ซึ่งทำให้ลดต้นทุนค่าอาหารจากกิโลกรัมละ 17.24 บาท เหลือเพียง 15.85 บาท

มะลิ ประวิทย์ และ ธำมรงค์ (2539) ศึกษาผลการแทนที่ปลาป่นด้วยถั่วเหลืองชนิดต่าง ๆ ในอาหารปลากะพงขาว (*Lates calcarifer*) ต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน โดยการสร้างสูตรอาหาร 5 สูตร ให้มีโปรตีนและพลังงานเท่ากัน อาหารสูตรที่ 1 ประกอบด้วยปลาป่น 40 % อาหารสูตรที่ 2 3 4 และ 5 ใส่ถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน 21 % ถั่วเหลืองเอกซ์ทรูด 27 % ถั่วเหลืองนึ่ง 28.5 % และถั่วเหลืองแช่น้ำ 27.5 % ตามลำดับ เพื่อไปแทนที่ 37.5 % ของโปรตีนจากปลาป่น หรือ 15 % ปลาป่นในอาหารสูตรที่ 1 ปลาทดลองมีขนาดเริ่มต้น 1.26 –12.7 กรัม เลี้ยงปลา 3 ซ้ำในตู้กระจกขนาดความจุ 45 ลิตร มีระบบลมและน้ำไหลผ่าน ให้อาหารจนอิ่มวันละ 2 มื้อ เป็นเวลา 10 สัปดาห์ ผลปรากฏว่า ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1 ไม่ใส่ถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตดีกว่าสูตรอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ยกเว้นอาหารสูตรที่ 2 ที่ใส่ถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน ประสิทธิภาพอาหาร ประสิทธิภาพโปรตีนและอัตรารอดของปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1, 2,3 และ 4 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แตกต่างกับสูตร 5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 5 ซึ่งใส่ถั่วเหลืองแช่น้ำไม่เพียงแต่มีอัตราการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพอาหาร ประสิทธิภาพโปรตีน และอัตรารอดต่ำ ยังมีความผิดปกติของเซลล์ ตับอ่อนและลำไส้ ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในอาหารสูตรที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 มีค่า 92.77 % 94.24 % 92.26 % 94.40 % และ 73.70 % ตามลำดับ แสดงว่าการเจริญเติบโตที่ด้อยกว่าของปลาที่เลี้ยงด้วยถั่วเหลืองเอกซ์ทรูดและถั่วเหลืองนึ่ง มิได้เนื่องมาจากประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในอาหาร แต่น่าจะเกิดจากการกินอาหารที่น้อยกว่าใน 2 สัปดาห์แรก โปรตีนในถั่วเหลืองที่ทดสอบมีประสิทธิภาพการย่อยได้สูง (90.4-93.5 %) ยกเว้น ถั่วเหลืองแช่น้ำ (21.4 %) จากผลการทดลองแสดงว่าประมาณ

3
639.31
พ 112 ก
158148

37.5 % โปรตีนจากปลาป่นหรือ 15 % ปลาป่นในอาหารสามารถถูกแทนที่ได้ด้วยโปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน ถั่วเหลืองเอกซ์ทรูด หรือถั่วเหลืองนึ่ง อย่างไรก็ตามถั่วเหลืองเอกซ์ทรูดหรือถั่วเหลืองนึ่ง ควรใช้เป็นส่วนผสมอาหารปลากะพงที่มีขนาดโตขึ้นเล็กน้อยคือ 3.5 กรัม ขึ้นไป ส่วนถั่วเหลืองแช่น้ำเป็นแหล่งโปรตีนที่ไม่เหมาะสมจะนำมาใช้เป็นผสมอาหารปลากะพง เนื่องจากมีคุณค่าทางอาหารต่ำและยังมีสารยับยั้งทริปซินทำให้ตับอ่อนและลำไส้ส่วนลำต้นผิดปกติ

จูอะดีและมะลิ (2530) ศึกษาการใช้โปรตีนพืชเพื่อแทนที่ปลาป่น โดยใช้กากถั่วเหลืองและโปรตีนข้าวโพด ในอัตราส่วน 5 ต่อ 3 แทนที่ปลาป่นในอาหารสูตรควบคุมที่ระดับ 25 % 50 % 75 % และ 87.5 % อาหารทดสอบทั้ง 5 สูตร มีระดับโปรตีนประมาณ 37 % ใช้เลี้ยงปลากะพงขาวขนาด 0.9 กรัม เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ พบว่า อัตราการเจริญเติบโตและอัตราการแลกเนื้อของปลาที่ได้รับอาหารซึ่งกากถั่วเหลืองและโปรตีนข้าวโพดแทนที่ปลาป่นที่ระดับ 25 % ดีเทียบเท่าอาหารสูตรควบคุม และการแทนที่ที่ระดับ 50 % มีอัตราการแลกเนื้อ ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนไม่แตกต่างจากอาหารสูตรควบคุม แต่อัตราการเจริญเติบโตต่ำกว่า ทั้งนี้เนื่องจากการกินอาหารลดลง อย่างไรก็ตาม เมื่อใช้กากถั่วเหลืองและโปรตีนข้าวโพด แทนที่ปลาป่นที่ระดับ 75 % และ 87.5 % ทำให้การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพอาหาร ประสิทธิภาพโปรตีน และปริมาณการกินอาหารลดลงอย่างเห็นได้ชัด จากการศึกษาครั้งนี้ ทำให้ทราบว่ากากถั่วเหลืองและโปรตีนข้าวโพดสามารถใช้ในอาหารสำหรับปลากะพงขาวได้ไม่เกิน 17 % และ 10 % ตามลำดับ (โดยแทนที่ปลาป่น 50 %) เมื่ออาหารนั้นมีปลาป่น 20 % เป็นองค์ประกอบในสูตรอาหาร

ไอนีและนฤมล (2547) ทดลองใช้กากถั่วเหลืองแทนที่ปลาป่นในอาหารสูตรควบคุมที่ระดับ 14 % 28 % และ 42 % ตามลำดับ โดยอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรมีระดับโปรตีนประมาณ 33 – 34 % เพื่อเลี้ยงปลานิลขนาด 2 – 3 กรัม เป็นระยะเวลา 56 วัน ผลการศึกษา พบว่า ปลานิลที่ได้รับอาหารทดลองที่มีส่วนผสมของกากถั่วเหลือง 14 % มีน้ำหนักเฉลี่ย อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่อวันอยู่ในระดับสูงกว่าปลานิลที่ได้รับอาหารทดลองที่มีส่วนผสมของกากถั่วเหลืองในระดับอื่น ๆ แต่เมื่อวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้นในตัวปลา พบว่า ปลานิลที่ได้รับอาหารทดลองผสมกากถั่วเหลือง 42 % มีโปรตีนเพิ่มขึ้นมากที่สุด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าปลานิลสามารถใช้ประโยชน์จากถั่วเหลือง 42 %ได้ดีกว่าในระดับอื่น ๆ สำหรับอัตราการแลกเนื้อและอัตรารอดในปลานิลที่ได้รับอาหารทดลองทุกสูตรอยู่ในเกณฑ์ดี เมื่อพิจารณาการวัดอิทธิพลของอาหาร โดยภาพรวมแล้วจึงสามารถใช้กากถั่วเหลืองแทนที่ปลาป่นในการเลี้ยงปลานิลได้ถึง 42 %

วิมล ทวีและพิศมัย (2539) ทดลองใช้โปรตีนข้าวโพดทดแทนปลาป่นเพื่อเร่งการเจริญเติบโตและปรับสีผิวและเนื้อของปลาคุกลูกผสม ด้วยการนำอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร ที่มีโปรตีน 35 % และพลังงานที่ย่อยได้ 310 กิโลแคลอรี/100 กรัม. และใช้โปรตีนข้าวโพด (corn gluten meal) ทดแทนปลาป่นในสูตรในปริมาณ 0 % 3.33 % 6.66 % และ 10 % (สูตรที่ 1-4

ตามลำดับ) ไปเลี้ยงปลาดุกลูกผสมเพื่อศึกษาผลของอาหารต่อการเจริญเติบโตและการปรับสีผิวและเนื้อของปลา โดยการให้อาหารอย่างเต็มที่วันละ 2 ครั้ง แก่ปลาขนาดน้ำหนักเฉลี่ยตัวละ 1.56 กรัม ซึ่งเลี้ยงไว้ในตู้กระจกขนาด 120 ลิตร จำนวน 12 ตู้ ๆ ละ 15 ตัว เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ผลปรากฏว่า ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 2, 3 และ 4 เจริญเติบโตดีกว่า ($p<0.05$) ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1 อย่างไรก็ตาม อัตราการกินอาหาร อัตราการแลกเนื้อ ประสิทธิภาพของโปรตีน โปรตีนที่เพิ่มขึ้นในตัวปลา อัตรารอดและองค์ประกอบของปลา ในแต่ละกลุ่มทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ปลาทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 3 และ 4 มีผิวและเนื้อสีเหลืองคล้ายกับสีของปลาดุกอุยและอาหารที่มีโปรตีนข้าวโพดไม่มีผลทำให้สีของอวัยวะภายในของปลาผิดปกติแต่อย่างใด การศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่า การใช้โปรตีนข้าวโพดทดแทนปลาป่นในอาหารปลาดุกลูกผสมในปริมาณ 3.33 – 10 % ช่วยเร่งการเจริญเติบโตของปลา แต่ปริมาณเหมาะสมที่ทำให้ปลามีผิวและเนื้อสีเหลืองคล้ายปลาดุกอุย เท่ากับ 6.66-10 %

บุษราและนฤมล (2547) ศึกษาการใช้กากถั่วเขียวทดแทนปลาป่นในสูตรอาหารที่ระดับต่างกัน โดยใช้อาหารทดลอง 4 สูตร มีโปรตีน 26 – 30 % อาหารสูตรที่ 1 เป็นสูตรควบคุม ซึ่งไม่ใช้กากถั่วเขียว อาหารสูตรที่ 2 – 4 ใช้กากถั่วเขียวผสมในอาหารปริมาณ 10 % 20 % และ 30 % ตามลำดับ นำอาหารทดลองไปเลี้ยงปลานิลน้ำหนักเฉลี่ย 3.78 กรัม ในตู้กระจก ขนาด 30 x 30 x 30 เซนติเมตร บรรจุน้ำประมาณ 25 ลิตร ติดตั้งระบบให้อากาศตลอดเวลา และมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำทุกวันก่อนการให้อาหาร โดยให้ปลากินอาหารอย่างเต็มที่วันละ 2 ครั้ง คือ เวลา 06.30 น.และ 17.30 น. เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ผลการทดลองปรากฏว่า การใช้กากถั่วเขียวเพื่อทดแทนปลาป่นมีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตของปลาลดลง แต่การใช้กากถั่วเขียวสามารถทดแทนรำในสูตรอาหารสำหรับเลี้ยงปลานิลได้

สุมิตรา (2544) ศึกษาการใช้โปรตีนจากถั่วเหลืองเพื่อทดแทนโปรตีนจากปลาป่น ในการอนุบาลลูกปลาดุกบิ๊กอุย โดยการวางแผนการทดลองแบบ CRD แบ่งสิ่งทดลองออกเป็น 4 สิ่งทดลอง สิ่งทดลองละ 3 ซ้ำ โดยการสร้างสูตรอาหาร 4 สูตร เลี้ยงด้วยอาหารที่มีโปรตีน 30 % ใช้โปรตีนจากถั่วเหลืองผสมในอาหารทดลอง 0 % 10 % 20 % และ 30 % (สูตรที่ 1-4 ตามลำดับ) เลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุยเพื่อศึกษาอัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพโปรตีนในอาหาร น้ำหนักตับและความยาวลำไส้ โดยการให้อาหารอย่างเต็มที่ วันละ 2 ครั้ง แก่ปลาขนาดน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 3 กรัม ซึ่งเลี้ยงไว้ในตู้กระจกขนาด 30 x 30 x 30 เซนติเมตร จำนวน 12 ตู้ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ จากการศึกษาอิทธิพลของอาหารที่มีต่อลูกปลาดุกบิ๊กอุย พบว่าอาหารทดลองสูตรที่ 2 มีถั่วเหลืองเป็นส่วนผสม 10 % มีผลทำให้ลูกปลาดุกบิ๊กอุยมีการเจริญเติบโตที่ดีที่สุด เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า น้ำหนักตับ ความยาวลำไส้ น้ำหนักและความยาวเพิ่มขึ้นเมื่อสิ้นสุดการทดลอง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ส่วนอัตรารอด

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพของโปรตีนในอาหาร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) จึงเป็นไปได้ว่าในการใช้ถั่วเหลืองผสมอาหารเพื่ออนุบาลลูกปลาดุกบิ๊กอุยควรใช้ในระดับ 10 %

ทนง (2544) ได้ใช้ถั่วหรั่งอนุบาลลูกปลาดุกบิ๊กอุยน้ำหนัก 3 กรัม เพื่อศึกษาความเป็นไปได้จากการใช้โปรตีนจากพืชมาทดแทนโปรตีนจากสัตว์ วางแผนการทดลองแบบ CRD มี 4 ทรีทเมนต์ ๆ ละ 3 ซ้ำ ในตู้กระจกขนาด 30 x 30 x 30 เซนติเมตร โดยให้อาหารทดลองที่มีส่วนผสมของถั่วหรั่งระดับต่าง ๆ กัน คือ 0 % 5 % 10 % และ 15 % ในสูตรอาหาร ตามลำดับ โดยให้อาหารทดลองในเวลาเช้าและเย็น เป็นเวลา 8 สัปดาห์ แล้วศึกษาอิทธิพลของถั่วหรั่งต่อการเจริญเติบโต อัตรารอด น้ำหนักเฉลี่ย อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพของโปรตีนในอาหาร น้ำหนักตับ และความยาวลำไส้ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าการใช้ถั่วหรั่งในสูตรอาหารทดลองที่ระดับ 15 % มีผลทำให้การเจริญเติบโตทางด้านน้ำหนักเฉลี่ยของตับ น้ำหนักตัว ความยาวลำตัว และประสิทธิภาพของโปรตีนในอาหารที่สูงที่สุด แต่ต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ส่วนการใช้ถั่วหรั่ง 5 % 10 % และ 15 % มีผลทำให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) สำหรับอัตรารอดตาย ทุกสิ่งการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) จึงควรใช้ถั่วหรั่งเป็นส่วนผสมในอาหารเพื่ออนุบาลลูกปลาดุกบิ๊กอุยน้ำหนัก 3 กรัม ได้ถึง 15 % เนื่องจากระดับดังกล่าวส่งผลให้ลูกปลาดุกบิ๊กอุยมีการเจริญเติบโตที่ดี

เจ๊ะฮาซานะและนฤมล (2547) ศึกษาการใช้ถั่วหรั่งเลี้ยงปลาจะละเม็ดน้ำจืด ขนาด 2 นิ้ว โดยใช้อาหารทดลองที่ผสมถั่วหรั่งในระดับ 10 % 20 % และ 30 % โดยอาหารทดลองทุกสูตรมีโปรตีน 27 % เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ปลาจะละเม็ดน้ำจืดไม่สามารถใช้ประโยชน์จากโปรตีนในถั่วหรั่งได้ จะเห็นว่า ปลาทดลองมีน้ำหนักเพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่อวัน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และอัตรารอดของปลาที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมให้ผลดีกว่าปลาทดลองที่ได้รับอาหารสูตรอื่น ๆ

อรพินธ์ ทัศนีย์ และประทักษ์ (2546) ศึกษาการใช้ดักแด้ไหมบ้านทดแทนปลาป่นในอาหารปลาดุกลูกผสม โดยใช้อาหารทดลองที่มีโปรตีน 32 % และ 28 % โปรตีน สำหรับปลาดุกระยะเล็กขนาด 20-80 กรัม และระยะการเติบโต (80-300 กรัม) ตามลำดับ และอาหารมีพลังงานที่ย่อยได้ 2,800 กิโลแคลลอรี่ต่อกิโลกรัม ซึ่งเท่ากันทั้งสองระยะเวลา วางแผนการทดลองแบบ CRD แบ่งเป็น 5 ชุดการทดลอง โดยให้อาหารทั้งสองระยะมีระดับการใช้ดักแด้ไหมบ้านทดแทนปลาป่น จำนวน 5 ระดับ คือ 0 % 25 % 50 % 75 % และ 100 % ของโปรตีนจากปลาป่น แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 การทดลอง การทดลองที่ 1 ศึกษาประสิทธิภาพการย่อยได้ของโภชนะในอาหารโดยใช้เอนไซม์เปปซิน พบว่า ประสิทธิภาพการย่อยได้ของวัตถุแห้งมีค่าใกล้เคียงกัน การทดลองที่ 2 ศึกษาผลการใช้ดักแด้ไหมบ้านทดแทนปลาป่นในอาหารปลาดุกลูกผสมต่อสมรรถภาพการเติบโตและคุณภาพผลผลิต

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพของโปรตีนในอาหาร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) จึงเป็นไปได้ว่าในการใช้ถั่วเหลืองผสมอาหารเพื่ออนุบาลลูกปลาดุกบิ๊กอุยควรใช้ในระดับ 10 %

ทนง (2544) ได้ใช้ถั่วหรั่งอนุบาลลูกปลาดุกบิ๊กอุยน้ำหนัก 3 กรัม เพื่อศึกษาความเป็นไปได้จากการใช้โปรตีนจากพืชมาทดแทนโปรตีนจากสัตว์ วางแผนการทดลองแบบ CRD มี 4 ทรีทเมนต์ ๆ ละ 3 ซ้ำ ในตู้กระจกขนาด 30 x 30 x 30 เซนติเมตร โดยให้อาหารทดลองที่มีส่วนผสมของถั่วหรั่งระดับต่าง ๆ กัน คือ 0 % 5 % 10 % และ 15 % ในสูตรอาหาร ตามลำดับ โดยให้อาหารทดลองในเวลาเช้าและเย็น เป็นเวลา 8 สัปดาห์ แล้วศึกษาอิทธิพลของถั่วหรั่งต่อการเจริญเติบโต อัตรารอด น้ำหนักเฉลี่ย อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพของโปรตีนในอาหาร น้ำหนักตับ และความยาวลำไส้ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าการใช้ถั่วหรั่งในสูตรอาหารทดลองที่ระดับ 15 % มีผลทำให้การเจริญเติบโตทางด้านน้ำหนักเฉลี่ยของตับ น้ำหนักตัว ความยาวลำตัว และประสิทธิภาพของโปรตีนในอาหารที่สูงที่สุด แต่ต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ส่วนการใช้ถั่วหรั่ง 5 % 10 % และ 15 % มีผลทำให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) สำหรับอัตรารอดตาย ทุกสิ่งการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) จึงควรใช้ถั่วหรั่งเป็นส่วนผสมในอาหารเพื่ออนุบาลลูกปลาดุกบิ๊กอุยน้ำหนัก 3 กรัม ได้ถึง 15 % เนื่องจากระดับดังกล่าวส่งผลให้ลูกปลาดุกบิ๊กอุยมีการเจริญเติบโตที่ดี

เจ๊ะฮาซานะและนฤมล (2547) ศึกษาการใช้ถั่วหรั่งเลี้ยงปลาจะละเม็ดน้ำจืด ขนาด 2 นิ้ว โดยใช้อาหารทดลองที่ผสมถั่วหรั่งในระดับ 10 % 20 % และ 30 % โดยอาหารทดลองทุกสูตรมีโปรตีน 27 % เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ปลาจะละเม็ดน้ำจืดไม่สามารถใช้ประโยชน์จากโปรตีนในถั่วหรั่งได้ จะเห็นว่า ปลาทดลองมีน้ำหนักเพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่อวัน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และอัตรารอดของปลาที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมให้ผลดีกว่าปลาทดลองที่ได้รับอาหารสูตรอื่น ๆ

อรพินธ์ ทัศนีย์ และประทักษ์ (2546) ศึกษาการใช้ดักแด้ไหมบ้านทดแทนปลาป่นในอาหารปลาดุกลูกผสม โดยใช้อาหารทดลองที่มีโปรตีน 32 % และ 28 % โปรตีน สำหรับปลาดุกระยะเล็กขนาด 20-80 กรัม และระยะการเติบโต (80-300 กรัม) ตามลำดับ และอาหารมีพลังงานที่ย่อยได้ 2,800 กิโลแคลลอรี่ต่อกิโลกรัม ซึ่งเท่ากันทั้งสองระยะเวลา วางแผนการทดลองแบบ CRD แบ่งเป็น 5 ชุดการทดลอง โดยให้อาหารทั้งสองระยะมีระดับการใช้ดักแด้ไหมบ้านทดแทนปลาป่น จำนวน 5 ระดับ คือ 0 % 25 % 50 % 75 % และ 100 % ของโปรตีนจากปลาป่น แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 การทดลอง การทดลองที่ 1 ศึกษาประสิทธิภาพการย่อยได้ของโภชนะในอาหารโดยใช้เอนไซม์เปปซิน พบว่า ประสิทธิภาพการย่อยได้ของวัตถุแห้งมีค่าใกล้เคียงกัน การทดลองที่ 2 ศึกษาผลการใช้ดักแด้ไหมบ้านทดแทนปลาป่นในอาหารปลาดุกลูกผสมต่อสมรรถภาพการเติบโตและคุณภาพผลผลิต

ทดลองในปลาขนาดน้ำหนักเฉลี่ย 19.50±5.0 กรัม เป็นระยะเวลา 3 เดือน พบว่า น้ำหนักเพิ่มต่อตัวต่อวัน ปริมาณอาหารที่กิน การใช้ประโยชน์โปรตีนสุทธิ และต้นทุนการผลิตปลาต่อกิโลกรัม มีค่าต่ำลง อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อมีค่าสูงขึ้น อัตราการรอดตายและประสิทธิภาพโปรตีนในอาหารมีค่าใกล้เคียงกัน เม็ดเลือดแดง (%) เนื้อส่วนที่บริโภคได้ (%) โปรตีนในเนื้อและการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคมีค่าต่ำลง ตามระดับการใช้ดักแด้ไหมบ้านที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นการใช้ดักแด้ไหมทดแทนปลาป่นที่ระดับ 25 % ของโปรตีนจากปลาป่น เป็นระดับที่เหมาะสมในอาหารปลาดุกลูกผสม