

## บทที่ 2

### เอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

#### ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสาหร่ายขนาดเล็ก

สาหร่ายขนาดเล็กได้แก่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินหรือ Cyanobacteria หรือ blue-green algae จัดอยู่ใน Division Cyanophyta เป็นสิ่งมีชีวิตชั้นต่ำจำพวกโปรකาริโอต (prokaryote) และสาหร่ายสีเขียว จัดอยู่ใน Division Chlorophyta เป็นสิ่งมีชีวิตจำพวกกูอาริโอต (eukaryote) สามารถสังเคราะห์แสงได้ เช่นเดียวกับพืชชั้นสูง แหล่งที่อยู่อาศัยของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินพบได้ทั่วไปทุกสภาพ ทั้งในน้ำจืดและน้ำทะเล บนบก ในอากาศ สภาพภูมิอากาศทั้งเขต้อนและเขตหนาว สภาพที่อยู่ในน้ำอาจอยู่แบบอิสระหรือเกาะติดกับวัตถุอื่นๆ ในน้ำ บางชนิดอยู่ภายในพืชเป็นแบบเอนโดไฟต์ (endophyte) เช่นการเจริญในพืช *Blasia* และ *Antheceros* ซึ่งอยู่ในกลุ่ม Liverworts สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Anabaena* บางชนิดอาจอยู่ในเฟิร์นน้ำหรือในรากของ Cycads การอยู่ร่วมกันของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินกับสั่งมีชีวิตชนิดอื่น เช่น *Anabaena azollae* ในแทนแดง ช่วยในการตรึงไนโตรเจน ( $N_2$ -fixation) จากบรรยากาศ ให้เป็นปุ๋ยของพืช และทำให้ดินเกิดความอุดมสมบูรณ์

#### ลักษณะทั่วไปของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีลักษณะและคุณสมบัติหลายประการที่แตกต่างจากแบคทีเรีย และสาหร่ายนิดอื่นๆ ดังนี้

1. เป็นเซลล์โปรකาริโอต (prokaryote cell) พนังเซลล์มีองค์ประกอบคล้ายคลึงกับผนังเซลล์แบคทีเรียแกรมลบ มีชีทหุ้ม ลักษณะของชีทมีเมือกหุ้มบริเวณชีทอาจมีสี ดัดจากพนังเซลล์จะเป็นพลาสมาเมมเบรนซึ่งห่อหุ้นไฮโลพลาสซีม บริเวณไฮโลพลาสซีมนอกจากจะมีดีเอ็นเอแล้ว ยังพบรังควัตถุกระจายทั่วไป

2. รงควัตถุ (pigment) รงควัตถุของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินไม่อยู่ในพลาสติด แต่จะกระจายอยู่ในไฮโลพลาสซีม มีรงควัตถุประกอบด้วยคลอโรฟิลล์-อ แบค่าแครอทิน แซนโธฟิลล์ และไฟโโคบิลิน ได้แก่ ซี-ไฟโโคไซดานิน ซี-ไฟโโคอิริทริน

3. เอเทอโรซีสต์ (heterocyst) เป็นเซลล์พิเศษที่มีพนังเซลล์หนา พนในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่มีลักษณะเป็นเส้นสายบางชนิด เช่น สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินใน Order Nostocales และ Order Stigonematales เท่านั้น (ขวaid, 2538) เอเทอโรซีสต์สร้างเอนไซม์ในโตรอีนส์ (nitrogenase) ซึ่งเปลี่ยนในโตรเจนให้เป็นแอมโมเนียมได้ซึ่งให้ชื่อว่าเอเทอโรซีสต์เป็นเซลล์ที่ทำหน้าที่ตรึงไนโตรเจน

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

5. การสืบพันธุ์ (reproduction) ไม่พบรการสืบพันธุ์แบบมีเพศในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน พบทเฉพาะการสืบพันธุ์แบบ ไม่มีเพศ

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

#### ลักษณะทั่วไปของสาหร่ายสีเขียว

สาหร่ายสีเขียวจัดอยู่ใน Division Chlorophyta พบทั้งในน้ำจืด น้ำกร่อย น้ำเค็ม บนดิน ต้นไม้ และสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ สาหร่ายสีเขียวประกอบด้วยเซลล์เพียงเซลล์เดียวมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น ไปจนถึงขนาดใหญ่เป็นทัลลัส สาหร่ายสีเขียว มีรากวัตถุ ดังนี้

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

2. เซลล์มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส

3. การสืบพันธุ์ มีการสืบพันธุ์แบบไม่ออาศัยเพศและแบบออาศัยเพศ

4. ผนังเซลล์ โดยทั่วไปมีสองชั้นคือผนังชั้นในและผนังชั้นนอก ผนังชั้นในเป็นพวงเซลลูโลส ผนังชั้นนอกเป็นพวงเพกติน บริเวณภายนอกของสาหร่ายสีเขียวบางสกุลมีสารพักไกติน หินปูนหรือซิลิกาหุ้มอีกชั้นหนึ่ง ทำให้มีลักษณะแข็ง รูสีกากหรือกระด้างเมื่อจับด้วยมือ บางสกุลสามารถผลิตเมือกออกมากหุ้มผนังเซลล์ รูสีกลิ่นเมือ

5. อาหารสะสมในเซลล์ สาหร่ายสีเขียวส่วนใหญ่ สะสมอาหารไว้ในรูปของแป้ง แต่บางชนิดอาจสะสมไว้ในรูปของน้ำมัน

6. การเคลื่อนที่ สาหร่ายสีเขียวที่เคลื่อนที่ได้มักพบว่ามีอายุสปอร์ต (eye spot)

7. รูปร่างของสาหร่ายสีเขียวมีหลายแบบ มีทั้งที่เป็นเซลล์เดียว กลุ่มเซลล์หรือเป็นเส้นสาย เป็นหลอดหรือเป็นท่อ และเป็นทัลลัสที่ประกอบด้วยเซลล์พาร์เรน ไม่มา

#### แหล่งที่อยู่อาศัยของสาหร่าย

สาหร่ายมีการแพร่กระจายอย่างกว้างขวาง สามารถพบได้ทั่วไป โดยสาหร่ายแต่ละชนิดมีความสามารถในการแพร่กระจายในธรรมชาติได้ไม่เท่ากัน ทั้งนี้เนื่องจากสาหร่ายแต่ละชนิดมี特ภาวะสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมเฉพาะตัวและมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม ได้ไม่เท่ากัน บางชนิดสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดีจึงพบชนิดนั้นแทนทุกแห่ง แต่บางชนิดพบได้ในเฉพาะบางแหล่งและบางฤดู

## ความสำคัญของสาหร่าย

สาหร่ายมีความเกี่ยวข้องกับมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อมมีทั้งประโยชน์และโทษ ดังต่อไปนี้

### ประโยชน์ของสาหร่าย

1. อาหารของมนุษย์และสัตว์ เช่น สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและสาหร่ายสีเขียว ได้แก่ คลอกหิน (*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 สาหร่ายเป็นผู้ผลิตที่สำคัญของห่วงโซ่ออาหารในแหล่งน้ำ ซึ่งเป็นอาหารของปลา กุ้ง หอย ที่อยู่ในช่วงวัยอ่อน ดังนั้นมีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อการค้า จึงมีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเป็นอาหารสัตว์ด้วย สาหร่ายที่นิยมนำมาเลี้ยงเป็นอาหารสัตว์ เช่น *Spirulina*, *Scenedesmus*, *Chlamydomonas* และ *Chlorella* เป็นต้น

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

5. ผลิตสารที่มีมูลค่าสูง มีสารหลายชนิดที่ผลิตจากสาหร่ายเพื่อการค้าหรือนำมาใช้ในอุตสาหกรรม เช่น แอลตราเซนเซน วุ้น ควรร่าจีแนน กรดอัลจินิก เป็นต้น

6. ใช้เป็นดัชนีบ่งบอกคุณภาพของแหล่งน้ำและการบាบัดน้ำเสีย เช่น *Oscillatoria* และ *Lyngbya* นักพนในแหล่งน้ำเสีย การบាบัดน้ำเสียโดยมีการนำ *Oscillatoria pseudogeminata* var *unigranulata* มาใช้กำจัดในเกรต ฟอสฟอรัส แอมโมเนีย คลอไรด์และซัลเฟตในน้ำเสียจากโรงงานกระดาษ *Scenedesmus* และ *Chlorella* ช่วยในการบាบัดน้ำเสียโดยปล่อยก๊าซออกซิเจนออกมำทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้น

7. ผู้ผลิตก๊าซออกซิเจนสำหรับสั่งมีชีวิตอื่น โดยในกระบวนการสั่งเคราะห์ด้วยแสง สาหร่ายจะใช้คาร์บอนไดออกไซด์และปล่อยออกซิเจนออกมาน จึงช่วยให้บรรยายกาศเกิดความสมดุลของก๊าซทั้งสองชนิดนี้

8. ใช้ในการแพทย์และผลิตยาปฏิชีวนะ โดยสาหร่ายบางชนิดสามารถผลิตสารบางอย่างออกมายับยั่งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบได้ เช่น *Chlorella vulgaris* และ *Chlamydomonas pyrenoidosa*

9. การใช้สาหร่ายเพื่อการวิเคราะห์ด้วยชีววิธี เช่น การวิเคราะห์วิตามิน

## ໂຄນອງສາຫរ່າຍ

เมื่อมีสาหร่ายเจริญอย่างรวดเร็วในแหล่งน้ำ จะทำให้ปักกุณทั่วพื้นที่ ที่เรียกว่า water bloom มีผลทำให้น้ำในแหล่งน้ำนั้น มีสี กลืน รสเปลี่ยนไป นอกจากนี้ยังพบว่าสาหร่ายสีเขียวแกน นำเงินบางชนิดที่เจริญเติบโตในแหล่งน้ำสร้างสารพิษมีผลต่อระบบประสาทและตับ ดังนั้นมีสัตว์ กินน้ำในแหล่งน้ำนั้นที่ร้อนหรือในช่วงหน้าแล้ง ทำให้สัตว์มีอาการทางประสาท เดินไม่เชื่อและเจ็บ ในช่องท้องอย่างรุนแรง สารพิษดังกล่าวมีเป็นอันตรายต่อวัวควาย ม้า แกะ หมู ไก่ เป็ด นกพิราบ ห่าน นกกระสา สุนัข กระต่าย สัตว์ป่าขนาดเล็กและสัตว์เลี้ยง รวมทั้งคน ปลา ฯ และคนด้วย

### โครงสร้างทางเคมีและนิตรของแครอทีโนอิด

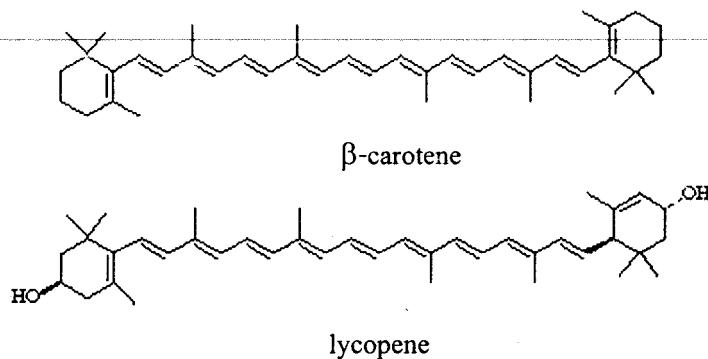
แครอทีนอยด์จัดอยู่ในกลุ่มสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและอนุพันธ์ของไฮโดรคาร์บอนที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ อาจอยู่ในรูปอะลิฟติก (aliphatic) หรืออะโรมาติก (aromatic) โดยแครอทีนอยด์จะประกอบไปด้วยหน่วยเบบของไอโซพรีน (isoprene) เชื่อมต่อกัน 8 หน่วย ด้วยพันธะโควาเลนต์ ทำให้เกิดคอนจูเกชันของพันธะคู่เป็นสาขยาว (extensive conjugated double bond) ซึ่งระบบคอนจูเกชันทำให้แครอทีนอยด์สามารถดูดกลืนพลังงานแสงอัลตราไวโอเลต และแสงสีขาว ทำให้แครอทีนอยด์เป็นสารมีสีและมีคุณสมบัติในการด้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Young, 1993) แครอทีนอยด์แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ

## 1. กลุ่มแครอทีน (carotein)

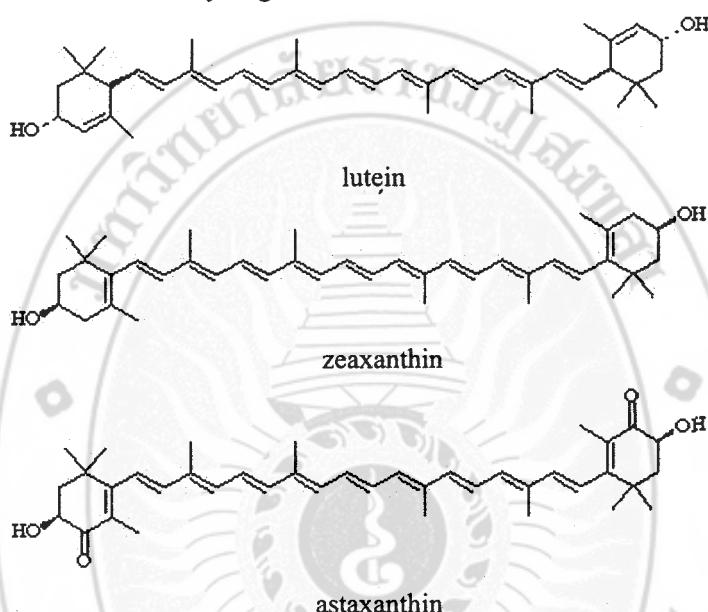
กลุ่มแครอทีน มีอยู่ 3 ชนิด ได้แก่ แอลฟ่า ( $\alpha$ ) เบต้า ( $\beta$ ) และเอกซิลอน ( $\epsilon$ ) ชนิดที่พบมากที่สุดคือ เบต้าแครอทีน ในกลุ่มนี้ไม่เกลุ่มของแครอทีนประกอบด้วยไฮdrocarbon ที่มีเพียงการบันดาลและไฮdrogen อาจเรียกกลุ่มนี้ว่า hydrogenated carotenoid derivatives มีคุณสมบัติเป็นสารไวમีข้าวและละลายได้ในไขมัน ตัวอย่างแครอทีโนยด์ในกลุ่มนี้ ได้แก่ เบต้าแครอทีน ( $\beta$ -carotene) และ ไลโคปีน สตร็อกโกรงสร้างดังกล่าว แสดงในภาพที่ 2.1

2. กลุ่มออกซิแคโรทีนอยด์ (oxycarotenoid) หรือกลุ่มแซนโทฟิลล์ (xanthophylls)

ในกลุ่มนี้นอกจากโครงสร้างจะประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนแล้ว ยังมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบร่วมอยู่ด้วย (Ben-Amotz and Avron, 1993) อาจเรียกกลุ่มนี้ว่า oxygenated carotenoid derivatives จึงมีคุณสมบัติมีขั้นมากกว่าและหลายในไขมันได้น้อยกว่าแครอทีนอยด์ในกลุ่มแรก ตัวอย่างแครอทีนอยด์ในกลุ่มนี้ได้แก่ แอสตาแซนทิน (astaxanthin) ลูทีน (lutein) และ ซีแซนทิน (zeaxanthin) สตรuktur โครงสร้างดังกล่าว แสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของ hydrogenated carotenoid derivatives



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของ oxygenated carotenoid derivatives

### บทบาทและหน้าที่ของแครอทีนอยด์ในสิ่งมีชีวิต

สิ่งมีชีวิตที่ใช้ออกซิเจนในการหายใจและกระบวนการเมแทบoliซึมเพื่อให้ได้พลังงานในการดำรงชีวิตและการทำงานของอวัยวะต่างๆ นั้น ในระหว่างกระบวนการสร้างพลังงาน จะเกิดอนุมูลอิสระขึ้นมาค่อนข้าง ซึ่งเป็นอนุภาคที่มีพลังงานสูง และสามารถกัดปูกิริยาเคมีได้ง่าย โดยเฉพาะสารเคมีในร่างกาย เช่น โปรตีน คาร์โนไไซเดต ไขมัน DNA ทำให้การทำหน้าที่ของอวัยวะต่างๆ ของสารเหล่านี้เปลี่ยนแปลงไป นอกจากอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในร่างกายแล้ว ยังมีอนุมูลอิสระจากภายนอก เช่น การสูบบุหรี่ รังสี แสงอุลตราไวโอเลต մลภาวะ สารเคมี ดังนั้น แครอทีนอยด์ น่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งในการต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูง โดยเฉพาะเบต้าแครอทีน ไลโคพีน และลูทีน มีรายงานว่า แครอทีนอยด์ช่วยป้องกันการเกิดโรคหัวใจ โรคมะเร็ง ช่วยลดความแก่ และป้องกันความผิวปกติของผิวนานอันเนื่องมาจากแสงแดด เพราะนอกจาก แครอทีนอยด์เป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันแล้ว ยังช่วยเพิ่มการสื่อสารระหว่างเซลล์ มีฤทธิ์ต้าน

การอักเสน เพิ่มการกำจัดสิ่งแปลกปลอมออกจากร่างกายและเพิ่มน้ำมันด้านท่าน สารกลุ่มนี้ แคโรทีนอยด์ ที่มีประสีทิธิกาพสูงและเสริมสร้างสุขภาพของมนุษย์ ได้แก่ เบต้าแคโรทีน ลูทิน ซี แซนทิน ไลโคพีน และ แอสต้าแซนทิน (Matos et al., 2000 ; Nesaretnam et al., 2000 ; Vainio, 2002)

## ปลาดุกบีกอุย

ปลาดุกบีกอุย (*Clarias macrocephalus x Clarias gariepinus*) มีผู้นิยมเลี้ยงกันมาก เนื่องจากเป็นที่นิยมบริโภค สามารถเลี้ยงได้ง่าย มีความทนทานต่อโรคสูง และมีอัตราการเจริญเติบโตดี ปลาดุกบีกอุย เกิดจากการผสมข้ามสายพันธุ์ ระหว่างแม่น้ำพันธุ์ปลาดุกอุย (*Clarias macrocephalus*) มาผสมกับพ่อพันธุ์ปลาดุกแอฟริกัน (*Clarias gariepinus*) ได้ลูกมีชื่อเรียกแตกต่างกัน เช่น ปลาดุกสูกผสม ปลาดุกอุยเทศ หรือปลาดุกบีกอุย ปลาดุกแอฟริกัน ที่เป็นพ่อพันธุ์อยู่ในตระกูลแอฟริกันแคชฟิช (African catfish) นอกจากจะใช้ชื่อวิทยาศาสตร์ที่กล่าวแล้วข้างต้น ยังใช้ชื่อ *Clarias lazera*, *C. sengalensis* และ *C. Mossambicus* ชื่อสามัญว่า African sharptooth catfish ถือกำเนิดดึงเดิมอยู่ในประเทศไทยและกัลชาติ สำหรับปลาดุกแอฟริกันพันธุ์แท้ที่นำเข้ามาเป็นพ่อพันธุ์ เพื่อผลิตปลาดุกสูกผสมในปัจจุบัน เป็นหนึ่งใน 32 สายพันธุ์ ซึ่งได้นำเข้ามาในประเทศไทย ราวปี พ.ศ. 2529-2530 โดยกรมทรัพยากรน้ำน้ำจากประเทศลาว ปลาดุกชนิดนี้เป็นปลาที่มีการเจริญเติบโตเร็วมาก มีขนาดใหญ่ เมื่อเจริญเติบโตเต็มที่สามารถกินอาหารได้แบบทุกชนิด มีความต้านทานโรค และสภาพแวดล้อมสูง แต่ปลาดุกชนิดนี้ มีเนื้อเหลว และซีดขาว ไม่น่ารับประทาน ส่วนปลาดุกอุยที่ใช้เป็นแม่น้ำพันธุ์ เป็นปลาพื้นบ้านของไทย มีชื่อสามัญว่า Walking catfish อาศัยอยู่ตามแม่น้ำ ลำคลอง หนอง บึง ทั่วทุกภาคของประเทศไทย เจริญเติบโตได้เร็ว ปกติแล้วอาศัยอยู่ในน้ำจืดสนิทและพื้นดินเป็นโคลนดม แต่สามารถทนทานอยู่ได้ในน้ำกร่อยเล็กน้อย หากอาหารตามหน้าดิน มีหนวดที่รับความรู้สึกได้ มีนิสัยชอบกินอาหารจำพวกเนื้อสัตว์ เมื่อนำปลาดุกสองสายพันธุ์นี้มาผสมเทียมข้ามพันธุ์กัน จึงทำให้เกิดปลาดุกสูกผสมพันธุ์ใหม่ที่มีลักษณะเหมือนสามส่วน เลี้ยงเป็นการค้า กรมประมงเรียก ปลาดุกเทศ หรือปลาดุกสูกผสม แต่เกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงและประชาชนทั่วไปนิยมเรียกว่า บีกอุย (อุทัยรัตน์, 2544)

## สารอาหารกับการเจริญเติบโตของปลา

ในการเลี้ยงปลาเชิงธุรกิจ ผู้ประกอบการเลี้ยงปลามักประกอบสูตรอาหารเพื่อใช้ในการเลี้ยงปลา โดยสูตรอาหารที่ประกอบขึ้นนี้มีความจำเพาะเฉพาะเจาะจงสำหรับปลาแต่ละชนิด ทั้งนี้ เนื่องจากว่า ปลาแต่ละชนิดมีความต้องการสารอาหารแตกต่างกัน ดังนั้น อาหารสำเร็จรูปที่สร้างขึ้น มักประกอบด้วยวัตถุดูดิบหรือสารอาหารที่หลากหลาย สำหรับวัตถุดูดิบที่นำมาใช้ในการผลิตอาหารปลาจำแนกเป็นประเภทต่าง ๆ ได้ 5 ประเภทดังนี้คือ ประเภทให้พลังงาน ได้แก่ รัฐพืชและผลพอลอยได้ พืชหัว น้ำมันพืช ไข่มันสัตว์ และกากน้ำตาล เป็นต้น ประเภทให้โปรตีน ทั้งโปรตีนจากพืชและจากสัตว์ ประเภทวิตามิน ทั้งวิตามินจากธรรมชาติและวิตามินสังเคราะห์ ประเภทแร่ธาตุ ทั้ง

แร่ธาตุหลักและแร่ธาตุรอง ประเภทสารเสริม เช่น สารปฏิชีวนะ สารช่วยย่อย สารแต่งสี แต่งกลิ่น แต่รรสชาติ สารกันบูด สารกันหืน สารกันเชื้อรา สารช่วยอัดเม็ด ยาถ่ายพยาธิ รวมทั้งยาอื่น ๆ ของโภชนา สารเร่งการเจริญเติบโต สารเสริมสร้างภูมิต้านทาน และสารช่วยรักษาน้ำ飴แล้วล้อม เป็นต้น สารเสริมเหล่านี้มีมากนัยและมีผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ เกิดขึ้นเรื่อย ๆ ขณะเดียวกันบางชนิดก็ถูกห้าม ไม่ให้ใช้หรือได้รับความนิยมน้อยลง เช่น สารพอกในโทรศัพท์ คลอร์เอนฟินิคล สารปฏิชีวนะ และสารเร่งเนื้อแดง เป็นต้น (บุญล้อม, 2546)

สิ่งนี้ชีวิตทุกชนิดมีความต้องการสารอาหาร 5 ประเภท คือ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต วิตามิน และแร่ธาตุ ซึ่งปริมาณความต้องการขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ ขนาด อายุ ระบบการเลี้ยง อุณหภูมิ และสิ่งแวดล้อม สารอาหารแต่ละชนิดมีความสำคัญและเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของ ปลาทั้งสิ้น แต่สารอาหารที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของปลามากที่สุด คือ โปรตีน นั่นเอง

โปรตีนเป็นสารประกอบที่สำคัญของสิ่งชีวิตทุกชนิด ทั้งเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ ในพืช โปรตีนมีมากในส่วนที่กำลังเจริญเติบโต เช่น ใบและเมล็ด พืชสามารถสังเคราะห์โปรตีนได้จาก สารประกอบในโทรศัพท์และชัลเฟอร์ในดิน ที่ดูดซึมโดยらくเข้ามาในรูปของไนเตรทและชัลเฟต ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ จุลินทรีย์ก็สามารถ สังเคราะห์โปรตีนจากสารประกอบในโทรศัพท์ที่ไม่ใช่โปรตีน ได้ เช่น กัน ดังนั้นทั้งพืชและจุลินทรีย์ จึงเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญสำหรับปลา สัตว์ชั้นสูงไม่สามารถสังเคราะห์โปรตีนจากสารประกอบ ในโทรศัพท์ที่ไม่ใช่โปรตีนได แต่สัตว์มีโปรตีนอยู่ทั่วไปในร่างกาย โดยเป็นองค์ประกอบของ เนื้อเยื่อต่าง ๆ เช่น กระดูก เอ็น ผม ขน หนัง กิน เล็บ เข้า กล้ามเนื้อ เลือด และอวัยวะต่าง ๆ ในสัตว์มีปริมาณโปรตีนสูงถึง 20 % แต่ในสัตว์ที่โตเต็มที่มีปริมาณ 17 % สำหรับสัตว์ที่อ้วนมาก ปริมาณโปรตีนอาจลดลงเหลือเพียง 10 % การพิจารณาคุณภาพของโปรตีน มักพิจารณาจากการย่อย ได้รวมทั้งปริมาณและสัดส่วนของกรดอะมิโนที่จำเป็น ถ้าใกล้เคียงกับความต้องการของปลาและ โปรตีนนั้นมีการย่อยได้ ก็จัดว่ามีคุณภาพดี ทั้งนี้ เพราะเมื่อโปรตีนดังกล่าวถูกย่อยและดูดซึมเข้าไป ในร่างกาย ปลาจะสามารถนำกรดอะมิโนไปใช้เพื่อการสร้าง โปรตีนในร่างกายได แต่ถ้าโปรตีนนั้น ย่อยยาก อีกทั้งมีปริมาณและสัดส่วนของกรดอะมิโนที่จำเป็นไม่เหมาะสมกับความต้องการของปลา เช่น หากกรดอะมิโนตัวใดตัวหนึ่งหรือหลายตัว ปลาจะไม่สามารถนำกรดอะมิโนตัวอื่น ๆ ไปใช้ สร้าง โปรตีนได เพราะในการสร้าง โปรตีนต้องมีกรดอะมิโนตัวที่ต้องการอยู่อย่างครบถ้วน โดยทั่วไปพบว่า โปรตีนจากพืชมักมีคุณภาพต่ำกว่า โปรตีนจากสัตว์ เพราะมีเมโซอนีนและไลซีน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อกันว่าความต้องการของสัตว์มาก อย่างไรก็ต้องการพิจารณาคุณภาพของ โปรตีนจากปริมาณและสัดส่วนของกรดอะมิโนนี้ เป็นเพียงวิธีการอย่างง่ายเท่านั้น การประเมิน คุณภาพที่ถูกต้องจำเป็นต้องใช้วิธีการอื่น ควบคู่ไปด้วย (บุญล้อม, 2546) กรดอะมิโนมีผลต่อ คุณภาพของโปรตีน หากขาดกรดอะมิโนชนิดที่จำเป็นตัวใดตัวหนึ่งมีผลทำให้การสร้างโปรตีนใน

ร่างกายหยุดลง โปรตีนบางส่วนเท่านั้นที่สามารถใช้เพื่อการเจริญเติบโต โปรตีนส่วนที่เหลือถูกนำไปใช้แพลัญเพื่อผลิตพลังงาน ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องทราบความต้องการของกรดอะมิโนของปลา เพื่อสามารถเตรียมอาหารที่มีส่วนผสมของโปรตีนกับกรดอะมิโนที่ขาดนั้น ให้มีเพียงพอ กับความต้องการของปลา (อมรรัตน์และบุญกร, 2543)

ปลาหรือสัตว์น้ำโดยทั่วไปต้องการโปรตีนในอาหารมากเป็นอันดับหนึ่ง คือประมาณ 30 – 50 % ในอาหาร เพื่อใช้สำหรับการสร้างเนื้อ หนัง อวัยวะ หรือสร้างชอร์โไมน ภูมิคุ้มกันทาง 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

ตารางที่ 2.2 ความต้องการโปรตีนในอาหารของสัตว์น้ำชนิดต่างๆ

ชนิดสัตว์น้ำ	ความต้องการโปรตีน (%)
ปลา尼ล	$34 \pm 8$
ปลาไน	$35 \pm 2$
ปลาสวาย	$27 \pm 2$
ปลาดุกค้อ	$30 \pm 2$
ปลาดุกถูกผสม	$35 \pm 5$
ปลาช่อน	$48 \pm 5$
ปลาจีน	$27 \pm 3$
ปลานวลดันทร์ทะเล	40
ปลากระพงขาว	$48 \pm 2$
กุ้งก้ามกราม	$34 \pm 5$
กุ้งกุลาดำ	$43 \pm 7$

ที่มา : วิมล, 2537

การประเมินคุณภาพของโปรตีนในอาหารมักนิยมประเมินจากชนิดของกรดอะมิโนในอาหาร ส่วนประกอบของอาหาร ชนิดของอาหาร โปรตีน นอกจากประเมินด้วยการพิจารณาองค์ประกอบเหล่านี้แล้ว ยังสามารถใช้วิธีการทดสอบ เช่น การหาสัดส่วนของโปรตีนที่มีอยู่ การวัดความสมดุลของไนโตรเจน การวิเคราะห์ซาก หรือวัดจากน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น โดยพิจารณาในน้ำหนักตัวของสัตว์ที่เพิ่มขึ้น โดยมีหลักการที่ว่า ถ้าอาหาร โปรตีนได้ที่สามารถทำให้ร่างกายเจริญเติบโตได้น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น ค่าประสิทธิภาพของโปรตีนสูง ก็แสดงว่าอาหาร โปรตีนนั้นมีคุณค่าสูง (สิริพันธุ์, 2547)

กรณีที่ปลาได้รับ โปรตีนไม่เพียงพอ อาจเนื่องจากอาหารมีพลังงานสูงเกินไป หรือ โปรตีนในอาหารต่ำเกินไป ปลาแสดงอาการขาด โปรตีน คือ เมื่ออาหาร อัตราการเจริญเติบโตลดลง ประสิทธิภาพของการใช้อาหารลดลง ความเข้มข้นของโปรตีนในชีร์รัมลดลง (พันธิพา, 2535)

ปลาต้องการโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโต สร้างน้ำย่อยฮอร์โมน สารภูมิคุ้มกัน และใช้ในการสร้างโปรตีนที่ทำหน้าที่ในการเคลื่อนไหว และช่วยในการขนส่ง นอกจากนี้ยังช่วยในการรักษาสมดุลของน้ำ กรดและด่าง ช่วยกำจัดสารพิษในร่างกาย และยังให้พลังงานแก่ร่างกายอีกด้วย โปรตีนที่ดีจะต้องเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพ นั่นคือจะต้องย่อยได้ดี และมีปริมาณของกรดอะมิโนที่จำเป็นสอดคล้องกับความต้องการของปลามากที่สุด การพิจารณาว่า โปรตีนชนิดใดมีคุณภาพดี หรือไม่นั้น นักมีการประเมินโดยการพิจารณานิขของกรดอะมิโนในโปรตีนนั้น ๆ นอกจากนี้ยังมีวิธีการประเมินโดยใช้วิธีการทดสอบทางเคมีและวิธีการทดสอบทางชีววิทยา

### ปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการโปรตีนของปลา

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

1. อุณหภูมิของน้ำ มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความต้องการโปรตีนของปลา ทั้งปลาเมืองหนาวและปลาเมืองร้อน ใช้ประโยชน์จากอาหารที่มีระดับโปรตีนสูงได้ดีในน้ำที่มีอุณหภูมิสูง แต่การที่ปลาได้รับโปรตีนสูงขึ้น พร้อม ๆ กับค่าที่อุณหภูมิสูงขึ้นนั้น นักจะทำให้เกิดการขับถ่ายของเสียพอกในตอเรเจนเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากผลของการย่อยสลายในตอเรเจนที่เพิ่มขึ้นด้วย

2. คุณภาพของโปรตีน ซึ่งโปรตีนจากพืชมีคุณค่าทางอาหารต่ำกว่าโปรตีนจากสัตว์ ดังนั้นปลาที่ได้รับโปรตีนจากพืชเพียงอย่างเดียว จะมีอัตราการเจริญเติบโตที่ต่ำกว่าปลาที่ได้รับโปรตีนจากพืชและโปรตีนจากสัตว์ ในอัตราที่เหมือนกัน

3. ความเค็ม ปลานิความต้องการโปรตีนเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของระดับความเค็ม

4. อายุ ปลาวัยอ่อนมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ทำให้ต้องการโปรตีนมากกว่าปลาที่ใหญ่และมีอายุมากกว่า ซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตช้ากว่า ทำให้ความต้องการโปรตีนจะลดลงเมื่อปลาโตขึ้น และปลาในช่วงก่อนการออกไข่หรือผสมพันธุ์ปลา จะมีความต้องการโปรตีนสูงมากกว่าปกติ เพื่อนำไปใช้ในการสร้างอสุจิและไข่

5. ความแตกต่างของสายพันธุ์ การเจริญเติบโต ค่า condition factor องค์ประกอบของชากรและความสามารถในการย่อยโปรตีนของปลาต่างครอบครัว จะมีค่าแตกต่างกัน

6. ปริมาณอาหารที่ให้มีผลกระทบต่อความต้องการโปรตีน เนื่องจากการจำกัดปริมาณของอาหารที่ให้มีผลทำให้ปริมาณโปรตีนที่เหมาะสมมีค่าเพิ่มขึ้น

7. พลังงานในอาหาร โดยสัตว์นำหรือปลาโดยทั่วไป มีความต้องการอาหารเพื่อให้ได้พลังงานตามที่ต้องการ ซึ่งพลังงานส่วนใหญ่สัตว์นำใช้ในกระบวนการว่ายน้ำ การหายใจ เมื่อพลังงานส่วนนี้เหลือ ถึงจะนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต

## การสะสมแครอทินอยด์ในสัตว์น้ำ

เนื่องจากสัตว์น้ำไม่สามารถสังเคราะห์แครอทินอยด์ได้ด้วยตัวเอง ดังนั้น แครอทินอยด์ที่พบในสัตว์น้ำ จึงได้มานาจากอาหารที่กินเข้าไป โดยแครอทินอยด์ เมื่อผ่านกระบวนการย่อยแล้ว จะถูกดูดซึมเข้าสู่ผนังทางเดินอาหารร่วมกับไขมันอื่น ๆ ในรูปที่แตกต่างกัน ขึ้นกับสภาพทางเดินอาหารของสัตว์น้ำแต่ละชนิด เมื่อแครอทินอยด์เมื่อสะสมในร่างกายสัตว์น้ำ หากสะสมบริเวณใดก็จะทำให้บริเวณนั้นเกิดสีได้ แครอทินอยด์ปรากฏในสัตว์แบบทุกชนิด ตั้งแต่สัตว์ชั้นต่ำไปจนถึงสัตว์ชั้นสูง เช่น ในหมดไขมันของโคพิพอด และไระแಡง เพศผู้ (Fox, 1957) ในรังไข่ของหอยเชลล์, ไซคราบ่างชนิด โพธิสัตตา และแมลงเต่าทอง (Fox และ Vevers, 1960) พองน้ำทะเล (Goodwin, 1951) พวงօiko ในเครื่อง เช่น หอยเม่น ปลิงทะเล และปลาดาว หอยบางชนิด เช่น กุ้ง ปู นอกจากนี้ ในรังไข่ มีสารประกอบ lutein ซึ่งเป็นแครอทินอยด์ ชนิดหนึ่งและสามารถสักด้อมมาได้ (Bauernfeind, 1981) และพิพอด เพรียง (Bauernfeind, 1981 อ้างโดย Fox และ Vevers, 1960) นอกจากนี้ยังแยกแครอทินอยด์ ได้จากสาหร่ายสีเขียว โดยตรวจพบ beta carotene ในปริมาณมาก ที่สุด รองลงมาคือ epsilon - carotene ส่วน xanthophyll ตรวจพบ lutein, neoxanthin และ violaxanthin (Bauernfeind, 1981) ในแพลงก์ตอนทะเล 20 ชนิด พบรังควัตฤทธิ์ ดังนี้ alloxanthin, lutein, fucoxanthin และ pteridine

แครอทินอยด์ที่พบในปลา ส่วนใหญ่จะละลายในไขมัน โดยแครอทินอยด์เป็นสารที่ให้สีเหลือง ฟ้า หรือสีแดง อวัยวะที่พบแครอทินอยด์ได้แก่ ไข่ อวัยวะสีบลูพันธุ์ ตับและผิวน้ำ (Goodwin, 1951) ปلامีการสะสมแซนไทรฟิล์ด์ มากกว่า แครอทิน หรือไฮโคลคาร์บอนตัวอื่น ๆ ซึ่งมักพบในรูปของ taraxthin, lutein และ astaxanthin (Steven, 1948 ; Goodwin, 1951 ; Fox, 1957) จากการตรวจเนื้อเยื่อและผิวน้ำของปลา พบร่วมกับ beta carotene และ xanthophyll รวมอยู่ด้วย (Steven, 1948 ; Goodwin, 1951) ปลาในกลุ่ม Salmonid ได้แก่ *Salmon fario* และ *S. umbra* ที่ได้รับอาหารพาก amphipod จะมีการสะสมแครอทินอยด์ ที่ผิวน้ำและทำให้เกิดสีแดงที่บริเวณครีบ แต่ถ้าให้อาหารเป็นพากหนอน annelid ปรากฏว่าไม่ทำให้เกิดสีขึ้นมา Macwalter และ Drummond รายงานว่าปริมาณแครอทินอยด์ในรังไข่ของปลา brown trout และปลา rainbow trout จะจางหายไปในช่วงการเจริญของคัพภะ ในขณะเดียวกันวิตามินเอก็จะเพิ่มขึ้นด้วย (Bauernfeind, 1981)

การศึกษาการสะสมของแครอทินอยด์ ในปลา 5 ชนิด ได้แก่ *Fundulus parvipinnis*, *Girella nigricans*, *Gillichthys mirabilis*, *Cymatogaster aggregatus* และ *Hypsypops rubicunda* พบร่วมกับ ปลาเหล่านี้มีการสะสมแซนไทรฟิล์ด์ ในรูปของเอกสาร โดยจะสะสมในส่วนของผิวน้ำ เกล็ด ครีบ และกระดูกส่วนหน้า เมื่อถึงฤดูกาลสีบลูพันธุ์และวางไข่ แครอทินอยด์จะเคลื่อนไปสะสมที่อวัยวะสีบลูพันธุ์

## การเกิดสีในปลา

ปลาสามารถปรับสภาพของสีให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่มันอาศัยอยู่ได้ นอกจากนี้ปลาบางสายพันธุ์แสดงสีต่าง ๆ เมื่อตอบสนองต่อสิ่งเร้าที่มาระดับนี้ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้ เกิดจากการทำงานของเซลล์ผิวนังที่มีเม็ดสีอยู่ภายในเซลล์ร่างสี ในปลา มีอยู่ 2 พวาก คือ โครมาโตฟอร์ (chromatophores) และเออริโடีฟอร์ (iridophores) หรือเรียกว่า มิเรอร์เซล (mirror cell) ภายในโโคมาโตฟอร์ มีเซลล์ร่างสี 3 ประเภท คือ อริโตรฟอร์ (erythrophores) ซึ่งให้สีแดงและสีส้ม แซนโทฟอร์ (xanthophores) ให้สีเหลืองและเมลานินฟอร์ (melanophores) ให้สีดำ เออริโอดีฟอร์ (iridophores) หรือเรียกว่า มิเรอร์เซล (mirror cell) ซึ่งเป็นเซลล์ที่สะท้อนสีของวัตถุที่อยู่ภายนอกตัวปลา สารที่อยู่ในเออริโอดีฟอร์ เป็นพลาคิสตันไลน์ กัวนิน (crystalline guanine) ซึ่งเป็นสารที่มีลักษณะโปร่งแสง มีสีขาวหรือสีเงิน

อมรรัตน์และบุญกร (2543) รายงานว่า สีที่ปรากฏบนตัวปลา เกิดจากการทำงานของเซลล์ผิวนัง ซึ่งมีเม็ดสีอยู่ภายใน เม็ดสีในชั้นผิวนังปลา สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท คือ

1. เม็ดสีเมลานิน (mlanin) เป็นเม็ดสีน้ำตาลหรือดำ ซึ่งเมลานิน มักเกาะอยู่กับโปรตีน
2. เม็ดสีเทอเรดีน (pteridine) มีทั้งชนิดที่มีสีและไม่มีสี เป็นสารประกอบที่สามารถละลายน้ำได้
3. เม็ดสีเพียรีน (purine) เป็นเม็ดสีขาวหรือสีเงิน พบรากที่ผิวนังตัวปลา เพียรีนที่พบมากคือ กัวนิน

4. เม็ดสีแคโรทีนอยด์ (carotenoids) เป็นเม็ดสีเหลือง ส้มและแดง พบรากในไซโตพลาสซึมของเซลล์ ปลาไม่สามารถสร้าง แคโรทีนอยด์ขึ้นมาได้ ต้องได้รับจากอาหาร โดยตรง และปลาสามารถเก็บเม็ดสีเหล่านี้ไว้ในตัวปลาหรือเปลี่ยนแคโรทีนอยด์ให้อยู่ในรูปอื่นได้

ในการเพาะเลี้ยงปลาสวยงาม สารแคโรทีนอยด์นับว่ามีบทบาทมาก เพราะเป็นตัวทำให้ปลา มีสีสันสวยงามขึ้น คือ ถ้าเซลล์ผิวนัง มี แคโรทีนอยด์มากเท่าไร ย่อมทำให้ปลา มีสีสันสดชื่น (วันเพ็ญ และคณะ, 2543)

อมรรัตน์และบุญกร (2543) รายงานว่า เม็ดสีแคโรทีนอยด์ แบ่งออกได้เป็น 2 พวาก คือ

1. แคโรทีน (carotene) ซึ่งได้แก่ แอลfa-แคโรทีน (alfa-carotene) เบตา-แคโรทีน (beta-carotene), แคมมาแคโรทีน (gamma-carotene) และ ไลโคพีน (lycopene) (Fox and Vevers, 1960) แคโรทีนที่สำคัญในการเพาะเลี้ยงปลาสวยงามคือ เบตา-แคโรทีน ซึ่งพบในแครอท พริกแดง มะม่วง แคนตาลูป กล้วยลำปาง ผักชี สาหร่ายเซลล์เดียวพวาก *Dunaliella salina* และ นำมันปลากะหลาป

2. แซนโทฟิล (xanthophyll) ซึ่งได้แก่ ทาราแซนทิน (taraxanthin) ซีอีแซนทิน (zeaxanthin) ลูทีน (lutein) และแอสต้าแซนทิน (astaxanthin)

แครอทีนอยด์ ที่พบในสัตว์แทนทุกประเภทในปริมาณที่แตกต่างกันไป เช่น ในหอยใบมันของโคพิพอด (Copepod) และเดพเนียเพคผู้ (Daphnia) (Fox, 1957) ในรังไข่ของหอยเชลล์ (Scallop sp.), ฟองน้ำทะเล (Goodwin, 1951) พวกโพธิสตา เช่น Dinoflagellates, Euglenoids, Diatoms (Fox and Vever, 1960) พวก Echinoderm ซึ่งได้แก่ หอยเม่น ปลิงทะเล และดาวทะเล หอยนางนิcid กุ้ง ปู (Bauernfeind, 1981) แมลงเต่าทอง (Fox and Vever, 1960) สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว และสาหร่ายสีเขียว ซึ่งภายในเซลล์ประกอบด้วย beta-carotene, xanthophyll, phycobilin, chlorophyll A เป็นต้น

### การใช้สารเร่งสีจากธรรมชาติ

สารเร่งสีจากธรรมชาติ ที่นิยมใช้ในธุรกิจปัลส์สูบงาและสัตว์น้ำทั่วไป คือ แครอทีนและแซนโโทฟิลล์ ซึ่งมักพบในอาหารธรรมชาติ เช่น เคย สไปรุ่ไวน่า เปลือกกุ้ง ไรส์น้ำตาล แพลงก์ตอนพืชและสัตว์ น้ำมันปลา ข้าวโพด ฟักทอง ดอกความเรื่อง แครอท และเคย, สาหร่ายสไปรุ่ไวน่าและเปลือกกุ้งสด (อมรรัตน์ และบุษกร, 2543) ชนิดของวัตถุคุณที่เป็นแหล่งของแครอทีนอยด์แสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ชนิดของวัตถุคุณที่เป็นแหล่งของแครอทีนอยด์

วัตถุคุณ	รังควัตถุที่พบ
สาหร่ายสไปรุ่ไวน่า	เบต้า-แครอทีน
กลีบดอกความเรื่อง ( <i>Tagetes erecta</i> )	แครอทีน
คอร์น กลูเตน (Corn gluten)	แครอทีน, แซนโโทฟิลล์
หญ้าอัลฟ่าฟ้า	แครอทีน, แซนโโทฟิลล์
เปลือกกุ้งสุก	แօสท่าแซนทิล
เคย	แօสท่าแซนทิล
ชีสต์ ( <i>Phaffia sp.</i> )	แօสท่าแซนทิล
สาหร่าย <i>Haematococcus</i>	แօสท่าแซนทิล
น้ำมันปลาคาพิลิน (Capelin)	แօสท่าแซนทิล
น้ำมันปลาแมกเคอเรล (Mackerel)	แօสท่าแซนทิล
น้ำมันปลาโคด (Cod)	แօสท่าแซนทิล
เคย สาหร่ายสไปรุ่ไวน่าและเปลือกกุ้งสด	เบต้า-แครอทีน

ในการเลือกใช้แครอทินอยด์ ชนิดใดผสมลงในอาหารเพื่อเร่งสีปานันน์ ต้องพิจารณาถึงbeta-แอนด์ชนิดของสัตว์นำ้า อุณหภูมิ และสภาพแวดล้อมอื่น ๆ รวมถึงปริมาณไขมันในอาหารด้วย เนื่องจากสัตว์ต่างชนิดกัน จะมีความสามารถในการเปลี่ยนและสะสมแครอทินอยด์ได้แตกต่างกัน (Katayama *et al*, 1972) ปริมาณการใช้แครอทินอยด์ในสัตว์นำ้ากุ่มต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ปริมาณการใช้แครอทินอยด์ในสัตว์นำ้ากุ่มต่าง ๆ

ชนิดสัตว์นำ้า	ปริมาณของแครอทินอยด์ (%)
ปลาอสก้าและปลาкар์พสีแดง	1-4
ปลากุ้ง	1-3

ที่มา : Katayama *et al*, 1972

### อาหารเร่งสีปานันน์

เนื่องจากสีของปลาและสัตว์นำ้าอื่น ๆ มีความสำคัญต่อการตลาดสัตว์นำ้า โดยเฉพาะปลาประเภทปลาสวยงาม ปลาที่มีสีสันสวยงามหรือมีสีเข้มเป็นพิเศษ จะจำหน่ายได้ในราคาที่สูงกว่าปกติ ในปลาเศรษฐกิจสีของปลาจะมีผลต่อความจุใจในการเลือกซื้อและราคา การผสมรองคัวตุกที่เร่งสีปลา เช่นแครอทินอยด์ ในต่างประเทศนิยมเสริมทึ้งในปลาเศรษฐกิจที่ใช้เป็นอาหาร เพื่อให้มีสีสันน่ารับประทานและมีรสมชาติดีขึ้น เช่น ปลาแทร์ท และปลาแซลมอน เป็นต้น ส่วนปลาสวยงามนิยมเสริมในปลาแฟฟนซีคาร์ฟ ปลาทอง ปลาอสการ์ ปลาปอมปาดัวร์ และปลาเสือสุนัตรา เป็นต้น

สำหรับแหล่งของแครอทินอยด์ที่นิยมใช้ในการผสมอาหารเพื่อเร่งสีปานันน์มีด้วยกัน 2 แหล่ง ดังนี้ (โครงการเพื่อบรรเทาผลกระทบทางสังคมเนื่องจากวิกฤตการณ์เศรษฐกิจ, 2542)

#### 1. แครอทินอยด์จากธรรมชาติ

แครอทินอยด์จากธรรมชาติ พบรได้ทั้งในพืชและสัตว์ ได้แก่

1.1 แครอทินอยด์ที่ได้จากพืช ที่สำคัญคือ ชนิด zeaxanthin และ lutein ซึ่งให้สีเหลืองถึงสีแดง เช่น

(1) ข้าวโพด สารสีที่พบในข้าวโพด (corn gluten) มี xanthophyll 363 mg/Kg.) มีผลต่อการเกิดสีเข้มขึ้นของปลา ระดับการใช้ในอาหารสัตว์นำ้าคือ ปลาดุกน้ำ กอ 6.6-10 % ในสูตรอาหาร ปลาดุกหลวง น้อยกว่า 6 %

(2) ความเรื่องสารสีที่พนในความเรื่องมี xanthophyll 10.626 mg/Kg. โดยมี luthin เป็นหลัก ระดับการใช้กลีบดอกดาวเรืองแห้งในอาหารสัตว์น้ำ ในปลาแฟนซีкар์ฟ 5 % ในสูตรอาหาร อย่างน้อย 6 สัปดาห์

(3) สาหร่าย Spirulina สารสีที่พบมี xanthophyll 5.78 mg/Kg. โดยมี zeaxanthin เป็นหลัก ระดับการใช้ คือ ปลาแฟนซีкар์ฟ 15 % ในสูตรอาหาร อย่างน้อย 8 สัปดาห์ ปลาดุกอุบ 5 % ถุง 5-10 %

(4) สาหร่าย Dunaliella สารสีชนิดที่พบมากคือ  $\beta$ -carotene และ luthin ระดับการใช้เพื่อเพิ่มสีในสัตว์น้ำอยู่ระหว่าง 8-15 % ในสูตรอาหาร

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

1.2 แครอทินอยด์ที่ได้จากสัตว์ ที่สำคัญ คือ xanthophyll ชนิด astaxanthin แหล่งของแครอทินอยด์จากสัตว์ที่นิยม คือ

(1) แกลบกุ้ง สารสีที่พบมี xanthophyll 80 mg/Kg. ระดับการใช้แกลบกุ้งในอาหารสัตว์น้ำ ปลาแฟนซีкар์ฟ 15 % ในสูตรอาหารมีผลให้สีสดใสเวัววัว

(2) น้ำมันจากปลา Cod ปลา mackerel เป็นแหล่ง astaxanthin ที่สำคัญ

## 2 แครอทินอยด์สังเคราะห์

แครอทินอยด์สังเคราะห์ที่ประกอบด้วย apocarrenoic acid ethyl ester, canthaxanthin, astaxanthin มีชื่อทางการค้าว่า Carophyll ซึ่งมี 4 ชนิด คือ

2.1 Carophyll yellow

2.2 Carophyll red นิยมใช้ในการเพิ่มสีผิวของปลา และครั้สเตเชียน โดยเฉพาะ การเพิ่มสีในกุ้ง

2.3 Carophyll orange

2.4 Carophyll pink นิยมใช้เพิ่มสีในกุ้งและปลา

การใช้แครอทินอยด์ในกลุ่มปลาทอง และปลาคราฟสีแดง ควรใช้รูปบริสุทธิ์ ผสมอาหาร 1-4 % ชนิดที่นิยม คือ zeaxanthin, luthin, cantaxanthin และ astaxanthin หรือให้กลีบดอกดาวเรือง หรือสาหร่ายสาหร่ายสาหร่ายใบปูรุ่งไลนา สำหรับกลุ่มกุ้ง ปู ใช้แครอทินอยด์บริสุทธิ์ผสมในอาหาร 1-3 % ชนิดที่นิยมใช้คือ  $\beta$ -carotene, zeaxanthin, cantaxanthin หรือสาหร่ายใบปูรุ่งไลนา ระดับที่ใช้ในปลาเรนโบว์เทร้าท์ 80 mg/Kg.

### ปัจจัยที่ทำให้เกิดการมองเห็นสี

การมองเห็นสี สามารถกระทำได้โดยการใช้สายตาบนมุขย์ ภายใต้การสั่งการของสมอง แล้วมีการตัดสินใจ ซึ่งจะมีความแตกต่างกันในแต่ละบุคคล ดังนั้น ในการทดลองทางวิทยาศาสตร์ เพื่อให้เป็นที่เข้าใจในระดับสาขาวิชา และมีการยอมรับกันโดยทั่วไป จึงมีการวัดค่าของสีออกมานี้เป็นตัวเลข เรียกว่า objective ดังจะกล่าวต่อไป (เอกสารการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง ปฏิบัติการการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของอาหาร, 2542)

โดยทั่วไปความสามารถมองเห็นสี ก็ต่อเมื่อมีปัจจัย 3 อย่างคือ แหล่งกำเนิดแสง วัตถุมีสี และสายตาของมนุษย์ โดยแสงสว่างที่ส่องกระหบวัตถุมีสีจะสะท้อนเข้าตา และไปกระตุ้นให้เกิดการทำงานของเซลล์ บนเรตินา ซึ่งประกอบด้วย rods ที่มีความไวต่อแสง แต่ไม่ก่อให้เกิดสีสัน และ cones ที่มีความไวต่อแม่สี 3 สี คือ แดง เขียว และน้ำเงิน และสัมผัสถูป ไปยังสมองเพื่อแปลงหรือวิเคราะห์สีนั้นเอง ปัจจัยที่มีผลต่อการมองเห็นสี ได้แก่ แหล่งกำเนิดแสง วัตถุมีสี และผู้สังเกตการณ์

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

ตารางที่ 2.5 การเกิดสีในแต่ละความยาวคลื่นและ

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 ซึ่งทำให้ ไม่สามารถสื่อความหมายของสีให้เข้าใจได้ตรงกัน ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาการจัดลำดับสีหรือการวัดค่าสี ให้สามารถสื่อความหมายให้เข้าใจได้ตรงกัน ในระดับสากล โดยระบบการวัดสีเป็นที่นิยม ใช้กันอย่างกว้างขวาง ได้แก่

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

ระบบ munsell ระบุสีของวัตถุ โดยใช้ตัวเลขและตัวอักษรในลักษณะ 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 ตัวเลขต่ำออกถึงสีค่อนข้าง (dark) และจะต่ำลงไปจนถึงคำ (0/) ตัวเลขสูงบอกถึงสีอ่อน (lighter) ขึ้นไปจนถึงขาว (10/) สีที่มี value เหมือนกันจะมีการสะท้อนแสงเหมือนกัน สำหรับ chroma จะมีค่าตั้งแต่ 0-12 หรือ 0-14 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าแต่ละสีจะสดใสที่สุดได้เท่าใด ณ ค่า value คงที่ หนึ่ง ๆ

2. ระบบ CIE เป็นระบบที่ได้พัฒนาขึ้นมาในปี ค.ศ.1931 เมื่อ Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) ได้เห็นความจำเป็นที่จะต้องมีระบบการวัดสีในรูปของ objective ที่ไม่ต้องอาศัยประสบการณ์หรือความคิดของมนุษย์ในการวัดสี โดยวัดสีออกมามีเป็น ตัวเลข ซึ่งมีข้อดีหลายประการคือ

เป็นระบบที่ไม่ขึ้นกับการมองเห็นของแต่ละบุคคล ทำให้ลดปัญหาการขัดแย้งลง

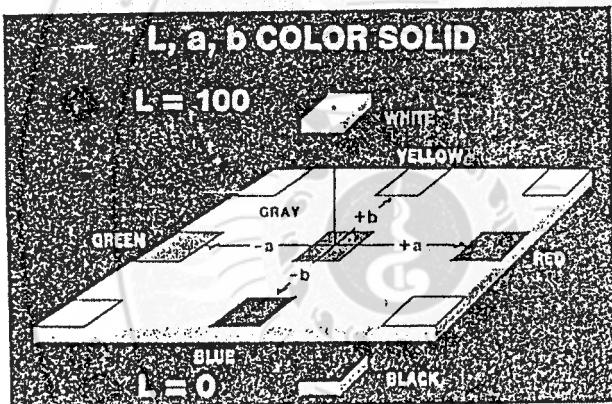
เป็นระบบการวัดสีอุปกรณ์เป็นตัวเลข ดังนั้นแม่ขันตัวอย่างจะซึ่งคงตัวตามกาลเวลา แต่ตัวเลขที่มีอยู่ก็ทำให้ทราบว่าสีเดิมเป็นอย่างไร

เป็นระบบที่สามารถนำไปคำนวณและคำนวณสูตรสีพิเศษได้ด้วย

ระบบ CIE มีแนวคิดว่า เนื่องจากปัจจัยในการมองเห็นสีของมนุษย์ประกอบด้วย แหล่งกำเนิดแสง วัตถุมีสี และสายตามนุษย์ ดังนั้นถ้าสามารถวัดปัจจัยทั้ง 3 อย่างของมาเป็นตัวเลข ได้แล้ว ก็สามารถวัดสีอุปกรณ์เป็นตัวเลขได้

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

$b^*$  ใช้กำหนดค่าเหลือง หรือสีน้ำเงิน

$b$  เป็น + วัตถุมีสีออกเหลือง

$b$  เป็น - วัตถุมีสีออกน้ำเงิน

ในการใช้เครื่องมือในการวัดสี ก่อให้ผลเป็นที่น่าเชื่อถือมากกว่าสายตามนุยย์ เนื่องจากสายตามนุยย์ ยังมีจุดอ่อนหลายประการคือ

1. ตามนุยย์แต่ละคนจะมีความสามารถในการมองเห็นสีได้ไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสบการณ์ การฝึกฝนของแต่ละคน ดังนั้นการบอกความแตกต่างของสี ตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐานจึงอาจมีความขัดแย้งด้านความคิดได้
2. ตามนุยย์จะบอกความแตกต่างของสี ณ จุดต่าง ๆ บน chromaticity diagram ไม่เท่ากัน
3. ตามนุยย์จะปรับตัวให้เข้ากับสีที่ใกล้เคียงกันได้่ายมากร
4. ความสามารถในการมองสีขึ้นกับแสงที่ส่องผิวน้ำ และขึ้นกับมุมที่สายตามองผิวน้ำของวัตถุมีสี
5. ตามนุยย์ไม่สามารถบันทึกค่าหรือบอกค่าที่แน่นอนว่า สีของตัวอย่างจะซึ่ดไปมากน้อยเพียงใด เมื่อเวลาผ่านไป และตีเดิมเป็นอย่างไร

ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและน้ำหนัก

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

$$W = a L^b$$

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

เมื่อ  $W$  คือ น้ำหนักปลาในหน่วยเป็นกรัม

$L$  คือ ความยาว มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

$A$  คือ Y intercept (ระยะจากแกน  $x$  ไปยังจุดตัดกันของเส้นกราฟกับแกน  $y$ )

$B$  คือ Regression coefficient (สัมประสิทธิ์การถดถอย, 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 จากการหมายในสมการ
5. แทนค่า  $a$  และ  $b$  ที่ได้จากการลงในสมการ

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

### การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและน้ำหนักในสัตว์น้ำชนิดต่าง ๆ

ได้มีผู้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและน้ำหนักของสัตว์น้ำชนิดต่าง ๆ และรายงานผลໄว่ดังนี้ (ตารางที่ 2.6)

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างความสัมพันธ์ของความยาว และน้ำหนักของปลาชนิดต่าง ๆ

ชนิดของสัตว์น้ำ	สมการความสัมพันธ์	อ้างอิง
ปลาแม้เพมีย	$W = 0.01482 L^{2.924767}$	กิจจา และคณะ (2534)
ปลาแม้เพผู้	$W = 0.036086935 L^{2.663461}$	กิจจา และคณะ (2534)
ปลาปากคมจุดเพผู้	$W = 5.4644 \times 10^{-3} L^{3.103}$	สุนิสาและคณะ (2534)
ปลาปากคมจุดเพมีย	$W = 5.5949 \times 10^{-3} L^{3.0711}$	สุนิสาและคณะ (2534)
ปลาบึก	$W = 0.047695 L^{1.95414}$	สนิทและเสน่ห์ (2533)
หมึกหอยแม่ผู้	$W = 0.00133468 L^{2.36361699}$	ทิวา (2522)
หมึกหอยแม่เมีย	$W = 0.00113633 L^{2.4048191}$	ทิวา (2522)

### ครรชนิความอ้วนทั่วนของปลา

ค่าครรชนิความอ้วนทั่วนของปลา (Condition Factor, K) เป็นตัวเลขที่แสดงค่าเฉลี่ยของน้ำหนักปลาที่ศึกษา ว่าหนักกี่กรัม ต่อหน่วยความยาว 1 มิลลิเมตร หรือ เซนติเมตร แล้วแต่กรณี ค่าครรชนิความอ้วนทั่วนของปลาจะใช้เป็นตัววัดสภาพร่างกายหรือเงื่อนไขของปลาในขณะนั้นว่า อ้วนหรือผอมหรือพอดี โดยต้องยุบรวมติดกันที่ว่า ปลาที่สมบูรณ์ดีนั้น ควรมีน้ำหนักดีกว่า ถ้าความยาวเท่ากัน

### วิธีการหาค่าครรชนิความอ้วนทั่วนของปลา

- นำปลาที่ต้องการศึกษา มาวัดความยาว (L) และชั่งน้ำหนัก (W) บันทึกผลໄว้
- คำนวณหาค่า K โดยใช้สมการ

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

โดยที่ W คือ น้ำหนัก มีหน่วยเป็นกรัม

L คือ ความยาวทั้งหมด มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

ค่า K มีประโยชน์ต่อนักเรียนไทยในหลาย ๆ ด้าน ข้อมูลที่ได้นำเสนอ นับว่ามีประโยชน์อย่างมาก เนื่องจากค่า K น่าจะเป็นตัวแทนน้ำหนักเฉลี่ยในแต่ละสายพันธุ์

## งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ฤทธิ์รัตน์ และคณะ (2548) ได้ศึกษาผลของความเข้มแสง 60, 240 และ 540 ไมโครโนลต่อตารางเมตรต่อวินาที และความเข้มข้นของก้าชคาร์บอน ได้ออกใช้ค่าในก้าชmysm 10 % และ 20% ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางชีวเคมีภายในเซลล์ของสาหร่าย *Chlorella sp.* ที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายในอาหารเลี้ยงสูตร NS III ภายในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพให้แสงขนาด 20 ลิตร ปริมาตรรวม 15 ลิตร โดยให้แสงสลับกันไม่ให้แสง อัตราส่วน 12:12 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของก้าชคาร์บอน ได้ออกใช้ค่าทั้งสองระดับ ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่าย แต่การเพิ่มความเข้มแสงจาก 60 เป็น 240 ไมโครโนลต่อตารางเมตรต่อวินาที ทำให้สาหร่ายมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด ( $\mu_{max}$ ) เพิ่มขึ้นจาก 1.6 เป็น 2.25 ต่อวัน เมื่อทำการเพิ่มระดับความเข้มแสงเป็น 540 ไมโครโนลต่อตารางเมตรต่อวินาที พบว่า อัตราการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางชีวเคมีไม่มีความแตกต่างกับการเดี่ยงที่ระดับความเข้มแสง 240 ไมโครโนลต่อตารางเมตรต่อวินาที

กิตติ และไพรินทร์ (2538) เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina sp.* ด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 5 วิธี เป็นเวลา 24 วัน ผลการทดลองพบว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina sp.* ด้วยวิธีต่างๆ มีผลต่อปริมาณการสร้างแครอทินอยด์ โดยพบว่าวิธีที่ 2 (เดี่ยงในอาหารเหลวในขวดชนผุ่งขนาด 125 มิลลิลิตร) มีปริมาณการผลิตแครอทินอยด์สูงสุด คือ 2.0 มิลลิกรัม รองลงมา คือ วิธีที่ 1 (เดี่ยงในอาหารเหลวในหลอดทดลอง) วิธีที่ 3 (เดี่ยงในทราบบริสุทธิ์) วิธีที่ 4 (เดี่ยงในงานเดี่ยงเชือ) และวิธีที่ 5 (เดี่ยงในหลอดดูดอีียง) ซึ่งมีปริมาณการผลิตแครอทินอยด์เท่ากับ 1.486, 1.310, 0.856 และ 0.790 มิลลิกรัม ตามลำดับ

บุปผา นวลพรรณ และ วีนา (2550) ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Haematococcus sp.* แบบ batch ในถังพaje ขนาด 2 ลิตร ด้วยอาหารสูตรโนบล็อก โดยให้อากาศ 0.8 vvm และ ขั้นตอนการกรอง 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  $16.33 \times 10^4$  เซลล์ต่อ มิลลิลิตร และยังไม่มีการสะสมแอสตาแซนthin ในขั้นตอนที่สอง เติมสารละลายเพอร์ซัลเฟต 450 ไมโครมาล์ ในวันที่ 10 ของการเพาะเลี้ยงพร้อมกับให้แสงอย่างต่อเนื่องที่ความสว่าง 3000 ลักซ์ เพื่อกระตุ้นการสร้างแอสตาแซนthin พบว่าสาหร่ายผลิตแอสตาแซนthin ได้ 1.70 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 28 ของการเพาะเลี้ยง

กาญจนรี สนธิพันธ์และอมรรัตน์ (2539) ทดลองใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นในอาหารสำหรับปลาarend จำนวน 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



สูตร มีระดับโปรตีนและพลังงานที่ใกล้เคียงกันคือ โปรตีน 35 % และพลังงานที่ย่อยได้ 290 กิโล แคลอรี่/อาหาร 100 กรัม ทดลองกับปลาแพรคขนาดเฉลี่ย  $2.52 \pm 0.13$  กรัม ในตู้กระจกขนาด  $45 \times 45 \times 90$  เซนติเมตร ในอัตรา 40 ตัว/ตู้ ให้อาหารวันละ 2 ครั้ง โดยให้กินจนอิ่ม ทดลองเลี้ยงเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่า ปลาแพรนมีการเจริญเติบโตโดยนำหนักเฉลี่ย 9.33, 13.34, 13.66, 18.23 และ 18.87 กรัม ตามลำดับ และมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลาแพรคที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 และ 5 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ในขณะที่ปลาแพรคซึ่งได้รับอาหารทดลอง สูตรที่ 1, 2 และ 3 มีการเจริญเติบโตต่ำกว่าและอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อสูงกว่าปลาแพรคที่ได้รับอาหารสูตรที่ 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 ( $p<0.05$ ) จากการศึกษาครั้งนี้ทำให้ทราบว่าสามารถใช้ககல்ว່າเหลืองทดลองปลาป่นในอาหารสำหรับปลาแพรคได้ 50 % ของปลาป่น ซึ่งทำให้ลดต้นทุนค่าอาหารจากกิโลกรัมละ 17.24 บาท เหลือเพียง 15.85 บาท

มะลิ ประวิทย์ และ รำรงค์ (2539) ศึกษาผลการแทนที่ปลาป่นด้วยถั่วเหลืองชนิดต่าง ๆ ในอาหารปลากระพงขาว (*Lates calcarifer*) ต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน โดยการสร้างสูตรอาหาร 5 สูตร ให้มีโปรตีนและพลังงานเท่ากัน อาหารสูตรที่ 1 ประกอบด้วยปลาป่น 40 % อาหารสูตรที่ 2 3 4 และ 5 ใส่ถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน 21 % ถั่วเหลืองเอกซ์ทรูด 27 % ถั่วเหลืองนึ่ง 28.5 % และถั่วเหลืองแข่น้ำ 27.5 % ตามลำดับ เพื่อไปแทนที่ 37.5 % ของโปรตีนจากปลาป่น หรือ 15 % ปลาป่นในอาหารสูตรที่ 1 ปลาทดลองมีขนาดเริ่มต้น  $1.26 - 12.7$  กรัม เลี้ยงปลา 3 ชั้น ในตู้กระจกขนาดความจุ 45 ลิตร มีระบบบล็อกและน้ำไหลผ่าน ให้อาหารจนอิ่มวันละ 2 มื้อ เป็นเวลา 10 สัปดาห์ ผลปรากฏว่า ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 1 ไม่ใส่ถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตต่ำกว่าสูตรอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) ยกเว้นอาหารสูตรที่ 2 ที่ใส่ถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน ประสิทธิภาพอาหาร ประสิทธิภาพโปรตีนและอัตราอุดคงปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1, 2, 3 และ 4 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) แตกต่างกับสูตร 5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 5 ซึ่งใส่ถั่วเหลืองแข่น้ำไม่เพียงแต่มีอัตราการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพอาหาร ประสิทธิภาพโปรตีน และอัตราอุดคงต่ำ ยังมีความผิดปกติของเซลล์ ตับอ่อนและลำไส้ ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในอาหารสูตรที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 มีค่า  $92.77\%$ ,  $94.24\%$ ,  $92.26\%$ ,  $94.40\%$  และ  $73.70\%$  ตามลำดับ และแสดงว่าการเจริญเติบโตที่ด้อยกว่าของปลาที่เลี้ยงด้วยถั่วเหลืองเอกซ์ทรูดและถั่วเหลืองนึ่ง ไม่ได้เนื่องมาจากการย่อยโปรตีนในอาหาร แต่น่าจะเกิดจากการกินอาหารที่น้อยกว่าใน 2 สัปดาห์แรก โปรตีนในถั่วเหลืองที่ทดสอบมีประสิทธิภาพการย่อยได้สูง ( $90.4-93.5\%$ ) ยกเว้น ถั่วเหลืองแข่น้ำ ( $21.4\%$ ) จากผลการทดลองแสดงว่าประมาณ

๓

๖๙.๓๑

๗ ๑๒ ๗

158148

๑๘๑ ๑๒ ๗

๒๖ ๐ ๑๑ ๒

37.5 % โปรตีนจากปลานีนหรือ 15 % ปลาป่นในอาหารสามารถถูกแทนที่ได้ด้วยโปรตีนจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน ถั่วเหลืองเอกซ์ทรูด หรือถั่วเหลืองนึ่ง อย่างไรก็ตามถั่วเหลืองเอกซ์ทรูดหรือถั่วเหลืองนึ่ง ควรใช้เป็นส่วนผสมอาหารประกอบพ่างที่มีขนาดโดยเฉลี่ยน้อยกว่า 3.5 กรัม จึงไป ส่วนถั่วเหลืองแห้งน้ำเป็นแหล่งโปรตีนที่ไม่เหมาะสมจะนำมาใช้เป็นผสมอาหารประกอบพ่าง เนื่องจากมีคุณค่าทางอาหารต่ำและยังมีสารบั้งทริปชินทำให้ตับอ่อนและลำไส้ส่วนลำต้นผิดปกติ

จุฬาดีและมะลิ (2530) ศึกษาการใช้โปรตีนพืชเพื่อแทนที่ปลาป่น โดยใช้ถั่วเหลืองและโปรตีนข้าวโพด ในอัตราส่วน 5 ต่อ 3 แทนที่ปลาป่นในอาหารสูตรควบคุมที่ระดับ 25 % 50 % 75 % และ 87.5 % อาหารทดสอบทั้ง 5 สูตร มีระดับโปรตีนประมาณ 37 % ใช้เลี้ยงปลาประกอบขาวขนาด 0.9 กรัม เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ พนว่า อัตราการเจริญเติบโตและอัตราการแผลเนื้อของปลาที่ได้รับอาหารซึ่งถั่วเหลืองและโปรตีนข้าวโพดแทนที่ปลาป่นที่ระดับ 25 % ดีเทียบเท่าอาหารสูตรควบคุม และการแทนที่ที่ระดับ 50 % มีอัตราการแผลเนื้อ ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนไม่แตกต่างจากอาหารสูตรควบคุม แต่อัตราการเจริญเติบโตต่ำกว่า ทั้งนี้เนื่องจากการกินอาหารลดลง อย่างไรก็ตาม เมื่อใช้ถั่วเหลืองและโปรตีนข้าวโพด แทนที่ปลาป่นที่ระดับ 75 % และ 87.5 % ทำให้การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพอาหาร ประสิทธิภาพโปรตีน และปริมาณการกินอาหารลดลงออย่างเห็นได้ชัด จากการศึกษาระบบนี้ ทำให้ทราบว่าถั่วเหลืองและโปรตีนข้าวโพดสามารถใช้ในอาหารสำหรับปลาประกอบขาวได้ไม่เกิน 17 % และ 10 % ตามลำดับ (โดยแทนที่ปลาป่น 50 %) เมื่ออาหารนั้นมีปลาป่น 20 % เป็นองค์ประกอบในสูตรอาหาร

ไอนีและนุ่มล (2547) ทดลองใช้ถั่วเหลืองแทนที่ปลาป่นในอาหารสูตรควบคุมที่ระดับ 14 % 28 % และ 42 % ตามลำดับ โดยอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรมีระดับโปรตีนประมาณ 33 – 34 % เพื่อเลี้ยงปลาขนาด 2 – 3 กรัม เป็นระยะเวลา 56 วัน ผลการศึกษา พนว่า ปลาขนาดที่ได้รับอาหารทดลองที่มีส่วนผสมของถั่วเหลือง 14 % มีน้ำหนักเฉลี่ย อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่อวันอยู่ในระดับสูงกว่าปลาขนาดที่ได้รับอาหารทดลองที่มีส่วนผสมของถั่วเหลืองในระดับอื่น ๆ แต่มีอัตราที่ปริมาณโปรตีนที่เพิ่มน้ำหนักในตัวปลา พนว่า ปลาขนาดที่ได้รับอาหารทดลองผสมถั่วเหลือง 42 % มีโปรตีนเพิ่มน้ำหนักที่สุด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าปลาสามารถใช้ประโยชน์จากถั่วเหลือง 42 % ได้ดีกว่าในระดับอื่น ๆ สำหรับอัตราการแผลเนื้อและอัตราการลดลงในปลาที่ได้รับอาหารทดลองทุกสูตรอยู่ในเกณฑ์ดี เมื่อพิจารณาการวัดอัตราพอกของอาหาร โดยภาพรวมแล้ว จึงสามารถใช้ถั่วเหลืองแทนที่ปลาป่นในการเลี้ยงปลาขนาดที่ได้ถึง 42 %

วิมล ทวีและพิคมัย (2539) ทดลองใช้โปรตีนข้าวโพดทดแทนปลาป่นเพื่อเร่งการเจริญเติบโตและปรับสีผิวและเนื้อของปลาคุณภาพสม 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) ไปเลี้ยงปลาดุกถุงผสมเพื่อศึกษาผลของอาหารต่อการเจริญเติบโตและการปรับสีผิวและเนื้องปลา โดยการให้อาหารอย่างเดิมที่วันละ 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 อัตราการแยกเนื้อ ประสิทธิภาพของโปรตีน โปรตีนที่เพิ่มขึ้นในตัวปลา อัตราการดัดแปลงค่าประกอบของปลา ในแต่ละกลุ่มทดลอง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ปลาทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 3 และ 4 มีผิวและเนื้อสีเหลืองคล้ายกับสีของปลาดุกอุยและอาหารที่มีโปรตีนข้าวโพด ไม่มีผลทำให้สีของอวัยวะภายในของปลาผิดปกติแต่อย่างใด การศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่า การใช้โปรตีนข้าวโพดแทนปลาป่นในอาหารปลาดุกถุงผสมในปริมาณ 3.33 – 10 % ช่วยเร่งการเจริญเติบโตของปลา แต่ปริมาณเหมาะสมที่ทำให้ปลา มีผิวและเนื้อสีเหลืองคล้ายปลาดุกอุย เท่ากับ 6.66-10 %

บุญราและณณุณ (2547) ศึกษาการใช้กากถั่วเขียวทดแทนปลาป่นในสูตรอาหารที่ระดับต่างกัน โดยใช้อาหารทดลอง 4 สูตร มีโปรตีน 26 – 30 % อาหารสูตรที่ 1 เป็นสูตรควบคุม ซึ่งไม่ใช้กากถั่วเขียว อาหารสูตรที่ 2 – 4 ใช้กากถั่วเขียวผสมในอาหารปริมาณ 10 % 20 % และ 30 % ตามลำดับ นำอาหารทดลองไปเลี้ยงปลาน้ำหนักเฉลี่ย 3.78 กรัม ในตู้กระจกขนาด  $30 \times 30 \times 30$  เซนติเมตร บรรจุน้ำประมาณ 25 ลิตร ติดตั้งระบบให้อาหารตลอดเวลา และมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำทุกวันก่อนการให้อาหาร โดยให้ปลากินอาหารอย่างเดิมที่วันละ 2 ครั้ง คือ เวลา 06.30 น. และ 17.30 น. เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ผลการทดลองปรากฏว่า การใช้กากถั่วเขียวเพื่อทดแทนปลาป่นมีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตของปลาลดลง แต่การใช้กากถั่วเขียวสามารถทดแทนรำในสูตรอาหารสำหรับเลี้ยงปลา nilได้

สุนิตรा (2544) ศึกษาการใช้โปรตีนจากถั่วเหลืองเพื่อทดแทนโปรตีนจากปลาป่น ในการอนุบาลถุงปลาดุกบีกอุย โดยการวางแผนการทดลองแบบ CRD แบ่งสิ่งทดลองออกเป็น 4 สิ่งทดลอง สิ่งทดลองละ 3 ตู้ โดยการสร้างสูตรอาหาร 4 สูตร เลี้ยงด้วยอาหารที่มีโปรตีน 30 % ใช้โปรตีนจากถั่วเหลืองผสมในอาหารทดลอง 0 % 10 % 20 % และ 30 % (สูตรที่ 1-4 ตามลำดับ) เลี้ยงปลาดุกบีกอุยเพื่อศึกษาอัตราการเจริญเติบโต อัตราการดัดตาย อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อประสิทธิภาพ โปรตีนในอาหาร น้ำหนักตัวและความยาวลำไส้ โดยการให้อาหารอย่างเดิมที่ วันละ 2 ครั้ง แก่ปลาขนาดน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 3 กรัม ซึ่งเลี้ยงไว้ในตู้กระจกขนาด  $30 \times 30 \times 30$  เซนติเมตร จำนวน 12 ตู้ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ จากการศึกษาอิทธิพลของอาหารที่มีต่อถุงปลาดุกบีกอุย พบว่าอาหารทดลองสูตรที่ 2 มีถั่วเหลืองเป็นส่วนผสม 10 % มีผลทำให้ถุงปลาดุกบีกอุยมีการเจริญเติบโตที่ดีที่สุด เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า น้ำหนักตัว ความยาวลำไส้ น้ำหนักและความยาวเพิ่มขึ้นเมื่อสิ่งสุดการทดลอง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p<0.05$ ) ส่วนอัตราการ

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพของโปรตีนในอาหาร ในมีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) จึงเป็นไปได้ว่าในการใช้ถั่วเหลืองผสมอาหารเพื่อนุบาลลูกปลาคุกบีกอุยก์ใช้ในระดับ 10 %

ทง (2544) ได้ใช้ถั่วหรังนุบาลลูกปลาคุกบีกอุยน้ำหนัก 3 กรัม เพื่อศึกษาความเป็นไปได้จากการใช้โปรตีนจากพืชมาทดแทนโปรตีนจากสัตว์ วางแผนการทดลองแบบ CRD มี 4 ทรีทเมนต์ ๆ ละ 3 ชุด ในตู้กระจกขนาด  $30 \times 30 \times 30$  เซนติเมตร โดยให้อาหารทดลองที่มีส่วนผสมของถั่วหรังระดับต่าง ๆ กัน คือ 0 % 5 % 10 % และ 15 % ในสูตรอาหาร ตามลำดับ โดยให้อาหารทดลองในเวลาเช้าและเย็น เป็นเวลา 8 สัปดาห์ แล้วศึกษาอิทธิพลของถั่วหรังต่อการเจริญเติบโต อัตราการดูดซึมน้ำหนักเฉลี่ย อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพของโปรตีนในอาหาร น้ำหนักตับ และความยาวลำไส้ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าการใช้ถั่วหรังในสูตรอาหารทดลองที่ระดับ 15 % มีผลทำให้การเจริญเติบโตทางค้านน้ำหนักเฉลี่ยของตับ น้ำหนักตัว ความยาวลำตัว และประสิทธิภาพของโปรตีนในอาหารที่สูงที่สุด แต่ต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p<0.05$ ) ส่วน การใช้ถั่วหรัง 5 % 10 % และ 15 % มีผลทำให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) สำหรับอัตราการดูดซึมน้ำหนักไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) จึงควรใช้ถั่วหรังเป็นส่วนผสมในอาหารเพื่อนุบาลลูกปลาคุกบีกอุยน้ำหนัก 3 กรัม ได้ถึง 15 % เนื่องจากระดับดังกล่าวส่งผลให้ลูกปลาคุกบีกอุยมีการเจริญเติบโตที่ดี

เจ็งชาานะและนุนล (2547) ศึกษาการใช้ถั่วหรังเลี้ยงปลาจะละเม็ดน้ำจืด ขนาด 2 นิ้ว โดยใช้อาหารทดลองที่ผสมถั่วหรังในระดับ 10 % 20 % และ 30 % โดยอาหารทดลองทุกสูตรมีโปรตีน 27 % เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ปลาจะละเม็ดน้ำจืดไม่สามารถใช้ประโยชน์จากโปรตีนในถั่วหรังได้ จะเห็นว่า ปลาทดลองมีน้ำหนักเพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่อวัน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และอัตราการดูดซึมของปลาที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมให้ผลดีกว่าปลาทดลองที่ได้รับอาหารสูตรอื่น ๆ

อรพินธ์ ทัศนีย์ และประทักษ์ (2546) ศึกษาการใช้ถั่วหรังในอาหารปลาปันในอาหารปลาคุกลูกผสม โดยใช้อาหารทดลองที่มีโปรตีน 32 % และ 28 % โปรตีน สำหรับปลาคระยะเล็กขนาด 20-80 กรัม และระยะการเติบโต (80-300 กรัม) ตามลำดับ และอาหารมีพลังงานที่ย่อยได้ 2,800 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม ซึ่งเท่ากันทั้งสองระยะเวลา วางแผนการทดลองแบบ CRD แบ่งเป็น 5 ชุดการทดลอง โดยให้อาหารทั้งสองระยะมีระดับการใช้ถั่วหรังในอาหารบ้านที่ 0 % 25 % 50 % 75 % และ 100 % ของโปรตีนจากปลาปัน แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 การทดลอง การทดลองที่ 1 ศึกษาประสิทธิภาพการย่อยได้ของโภชนาะในอาหาร โดยใช้อ่อนไข่มีเปปซิน พบว่า ประสิทธิภาพการย่อยได้ของวัตถุแห้งมีค่าใกล้เคียงกัน การทดลองที่ 2 ศึกษาผลการใช้ถั่วหรังในอาหารปลาปันในอาหารปลาคุกลูกผสมต่อสมรรถภาพการเติบโตและคุณภาพผลิต

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

ทง (2544) ได้ใช้ถั่วหรังอนุบาลลูกปลาคุกบีกอยุน้ำหนัก 3 กรัม เพื่อศึกษาความเป็นไปได้จากการใช้โปรตีนจากพืชมาทดแทนโปรตีนจากสัตว์ วางแผนการทดลองแบบ CRD มี 4 ทรีทเมนต์ ๆ ละ 3 ชุด ในตู้กระจกขนาด  $30 \times 30 \times 30$  เซนติเมตร โดยให้อาหารทดลองที่มีส่วนผสมของถั่วหรังระดับต่าง ๆ กัน คือ 0 % 5 % 10 % และ 15 % ในสูตรอาหาร ตามลำดับ โดยให้อาหารทดลองในเวลาเช้าและเย็น เป็นเวลา 8 สัปดาห์ แล้วศึกษาอิทธิพลของถั่วหรังต่อการเจริญเติบโตขั้ตรารอด น้ำหนักเฉลี่ย อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพของโปรตีนในอาหาร น้ำหนักตับ และความยาวลำไส้ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พนวจการใช้ถั่วหรังในสูตรอาหารทดลองที่ระดับ 15 % มีผลทำให้การเจริญเติบโตทางด้านน้ำหนักเฉลี่ยของตับ น้ำหนักตัว ความยาวลำไส้ และประสิทธิภาพของโปรตีนในอาหารที่สูงที่สุด แต่ต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p<0.05$ ) ส่วนการใช้ถั่วหรัง 5 % 10 % และ 15 % มีผลทำให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) สำหรับอัตราการลดตากลางทุกสูตรมีโปรตีน 27 % เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พนวจว่า ปลาทดลองมีน้ำหนักเพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่อวัน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และอัตราการลดของปลาที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมให้ผลดีกว่าปลาทดลองที่ได้รับอาหารสูตรอื่น ๆ

เจ็งชาานะและนุนด (2547) ศึกษาการใช้ถั่วหรังเดี่ยงปลาจะละเอเม็ดน้ำจิ๊ด ขนาด 2 นิ้ว โดยใช้อาหารทดลองที่ผสมถั่วหรังในระดับ 10 % 20 % และ 30 % โดยอาหารทดลองทุกสูตรมีโปรตีน 27 % เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พนวจว่า ปลาจะละเอเม็ดน้ำจิ๊ดไม่สามารถใช้ประโยชน์จากโปรตีนในถั่วหรังได้ จะเห็นว่า ปลาทดลองมีน้ำหนักเพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่อวัน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และอัตราการลดของปลาที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมให้ผลดีกว่าปลาทดลองที่ได้รับอาหารสูตรอื่น ๆ

อรพินธ์ ทัศนีย์ และประทักษ์ (2546) ศึกษาการใช้ถั่วเหลืองทดแทนปลาป่าในอาหารปลาคุกสูกรผสม โดยใช้อาหารทดลองที่มีโปรตีน 32 % และ 28 % โปรตีน สำหรับปลาคุกระยะเล็กขนาด 20-80 กรัม และระยะการเติบโต (80-300 กรัม) ตามลำดับ และอาหารมีพลังงานที่ย่อยได้ 2,800 กิโลแคลอรี่ต่อ กิโลกรัม ซึ่งเท่ากันทั้งสองระยะเวลา วางแผนการทดลองแบบ CRD แบ่งเป็น 5 ชุดการทดลอง โดยให้อาหารทั้งสองระยะมีระดับการใช้ถั่วเหลืองทดแทนปลาป่า จำนวน 5 ระดับ คือ 0 % 25 % 50 % 75 % และ 100 % ของโปรตีนจากปลาป่า แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 การทดลอง การทดลองที่ 1 ศึกษาประสิทธิภาพการย่อยได้ของโภชนาะในอาหาร โดยใช้อ่อนไขมน้ำปีบชิน พนวจว่า ประสิทธิภาพการย่อยได้ของวัตถุแห้งมีค่าใกล้เคียงกัน การทดลองที่ 2 ศึกษาผลการใช้ถั่วเหลืองทดแทนปลาป่าในอาหารปลาคุกสูกรผสมต่อสมรรถภาพการเติบโตและคุณภาพผลผลิต

ผลของในปานานาคน้ำหนักเฉลี่ย  $19.50 \pm 5.0$  กรัม เป็นระยะเวลา 3 เดือน พบว่า น้ำหนักเพิ่มต่อตัวต่อวัน ปริมาณอาหารที่กิน การใช้ประโยชน์โปรตีนสูงชิ และต้นทุนการผลิตปลาต่อ กิโลกรัม มีค่าต่ำลง อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อมีค่าสูงขึ้น อัตราการรอดตายและประสิทธิภาพ โปรดตีนในอาหารมีค่าใกล้เคียงกัน เม็ดเลือดแดง (%) เนื้อส่วนที่บริโภคได้ (%) โปรดตีนในเนื้อและการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค มีค่าต่ำลง ตามระดับการใช้ดักแด้ใหม่บ้านที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นการใช้ดักแด้ใหม่ทดแทนปลาป่นที่ระดับ 25 % ของโปรดตีนจากปลาป่น เป็นระดับที่เหมาะสมในอาหารปลาดุกสูกผสม

