**ใบรับรองปัญหาพิเศษ**

**ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง**

**ผลของการใช้อาหารผสมสาหร่าย *Spirulina sp.* แห้งในการเลี้ยงปลาหมอสี**

Kenny Mbuna (*Pseudotropheus lombardoi*)

Effect of feeding diets containing dry *Spirulina sp.* to Kenny Mbuna

(*Pseudotropheus lombardoi*)

**นาย พิเชฐ เวศวงศ์ษาทิพย์**

**อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์**

**ได้พิจารณาเห็นชอบโดย**

**อาจารย์ที่ปรึกษา** ..........................................................................................

**(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์)**

**ภาควิชารับรองแล้ว**

..........................................................................

**(รองศาสตราจารย์ ศักดิ์ชัย ชูโชติ)**

**หัวหน้าภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง**

**วันที่** 17 **เดือน** พ.ค. **พ.ศ.** 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# ปัญหาพิเศษ

## เรื่อง

**ผลของการใช้อาหารผสมสาหร่าย *Spirulina sp.* แห้งในการเลี้ยงปลาหมอสี Kenny Mbuna (*Pseudotropheus lombardoi*)**

Effect of feeding diets containing dry *Spirulina sp.* to Kenny Mbuna (*Pseudotropheus lombardoi*)

T099426

โดย

นาย พิเชฐฐ เวศวงศ์ษาทิพย์

ปพ.
พ633ผ
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 99426
วัน.เดือน.ปี.....

.b 11883170
.i.....

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กรุงเทพมหานคร 10520

ภาคการศึกษาที่ 2/2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**บทคัดย่อปัญหาพิเศษ**

**เรื่อง**

**ผลของการใช้อาหารผสมสาหร่าย *Spirulina sp.* แห้งในการเลี้ยงปลาหมอสี**
Kenny Mbuna (*Pseudotropheus lombardoi*)

Effect of feeding diets containing dry *Spirulina sp.* to Kenny Mbuna
(*Pseudotropheus lombardoi*)


การทดลองการเลี้ยงปลาหมอสี (*Pseudotropheus lombardoi*) ด้วยอาหารผสมสาหร่าย *Spirulina sp.* แห้ง 4 ระดับ ได้แก่ 0% (control), 5%, 10% และ 15% เลี้ยงในสภาพที่เหมือนกันทุกประการเพื่อเปรียบเทียบสี, การเจริญเติบโต และการสร้างภูมิคุ้มกันของปลาหมอสี ผลการทดลองปรากฏว่า สีของปลาหมอสีในกลุ่มที่ให้อาหารผสมสาหร่าย 15% มีสีสันชัดเจนที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มการทดลองอื่น รองลงมาได้แก่ปลาหมอสีในกลุ่มที่ให้อาหารผสมสาหร่าย 10%, 5% และ 0% (control) ตามลำดับ แต่นอกจากนี้ผลของการเจริญเติบโตยังพบว่า ปลาหมอสีในกลุ่มที่ให้อาหารผสมสาหร่าย 5% มีการเจริญเติบโตมากที่สุดคือมีน้ำหนักในวันสุดท้ายของการทดลองเท่ากับ 3.83 $\pm$ 0.16 กรัม/ตัวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปลาหมอสีในกลุ่มที่ไม่ให้อาหารผสมสาหร่าย และไม่แตกต่างกับปริมาณอาหารที่ผสมสาหร่าย 10% และ 15%อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วย

ในด้านการสร้างภูมิต้านทานโรคนั้น เมื่อทดสอบกับเชื้อแบคทีเรีย *Aeromonas hydrophila* โดยการแช่ปลาในเชื้อความเข้มข้น $10^6$ CFU/ml เป็นเวลา 2 ชั่วโมงแล้วจึงนำไปเลี้ยงในสภาวะปกตินั้น มีการตายที่ค่อยข้างช้าและกระจัดกระจาย ส่วนการทดลองที่เชื้อความเข้มข้น $10^7$ CFU/ml พบการตายภายในวันที่ 4 อย่างชัดเจน โดยจะเกิดขึ้นกับทุกกลุ่มทดลองและจะเห็นลักษณะการติดเชื้อได้อย่างชัดเจน ยกเว้นกลุ่มที่ไม่ได้แช่ในเชื้อ แต่กลุ่มที่ได้รับอาหารผสมสาหร่าย 15% นี้จะเริ่มตายในวันที่ 6 ซึ่งช้ากว่าในกลุ่ม ควบคุม, 5% และ 10% จึงอาจเป็นไปได้ว่าอาหารผสมสาหร่าย *Spirulina sp.* แห้ง สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบภูมิคุ้มกันโรคได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำนิยม

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ อาจารย์สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและคำปรึกษา รวมทั้งตรวจสอบข้อบกพร่องในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ อาจารย์ปวีณา ทวีกิจการ ที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และอนุเคราะห์เชื้อสำหรับใช้ตรวจสอบภูมิคุ้มกันในการทดลอง

ขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรม สั่งสอนวิชาความรู้ต่าง ๆ แก่ข้าพเจ้า ตลอดระยะเวลา 4 ปี และทำให้ได้นำความรู้เหล่านี้มาใช้ให้เป็นประโยชน์ในระหว่างการทำปัญหาพิเศษ

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมงทุกท่าน โดยเฉพาะคุณนิพนธ์ จิตตำนาน และ คุณบุปผา จงพัฒน์ ที่ต้องเหน็ดเหนื่อยเสียสละเวลาคอยให้ความสนับสนุนช่วยเหลือข้าพเจ้าในระหว่างทำปัญหาพิเศษมาโดยตลอด

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ประมงทุกคนที่ร่วมทุกข์ร่วมสุขกันมาจนถึงปีสุดท้ายของการศึกษา

ท้ายสุดนี้ขอขอบพระคุณ พ่อและแม่ของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้า จนข้าพเจ้าสำเร็จการศึกษาได้

นายพิเชฐ เวศวงศ์ษาทิพย์
มีนาคม 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| สารบัญ | I |
| สารบัญตาราง | II |
| สารบัญภาพ | IV |
| คำนำ | 1 |
| การตรวจเอกสาร | 3 |
| อุปกรณ์ และวิธีการ | 31 |
| ผลการทดลอง และวิจารณ์ | 37 |
| สรุปผลการทดลอง | 46 |
| เอกสารอ้างอิง | 47 |


สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | คุณประโยชน์ของสารอาหารที่มีอยู่ในสาหร่ายสไปรูลิน่า | 8 |
| 2 | ส่วนประกอบทางเคมีของ *Spirulina* sp. (กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง) | 13 |
| 3 | เปรียบเทียบกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายระหว่างสาหร่ายสไปรูลิน่า และอาหารชนิดอื่นๆ | 14 |
| 4 | เกลือแร่ใน *Spirulina* sp. จากหลายแหล่งเลี้ยง (กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง) | 15 |
| 5 | วิตามินและสารรงควัตถุใน *Spirulina* sp. | 16 |
| 6 | เปรียบเทียบปริมาณโปรตีนในสาหร่ายเกลียวทอง (แห้ง) กับอาหารชนิดอื่น (%) | 16 |
| 7 | น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นและสุดท้ายของปลา trout (กรัม) โดยเกี่ยวข้องกับ weight gain | 23 |
| 8 | ระดับ mean adoniburin (ug/g) ในเนื้อปลา trout ในวันที่ 100 | 25 |
| 9 | ระดับ mean toyal carotenoid (ug/g)ในเนื้อปลา trout ในวันที่100 | 25 |
| 10 | ค่าเฉลี่ยของอัตราการรอดชีวิต, weight และ body astaxanthin ของกุ้ง kuruma prawn ที่กินอาหารผสม carotenoid ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันเป็นเวลา 9 สัปดาห์ | 26 |
| 11 | การเปรียบเทียบแบบ orthogonal contrast ใน body astaxanthin, weight และอัตราการรอดชีวิตของกุ้ง kuruma prawn | 26 |
| 12 | ค่าเฉลี่ยของ body astaxanthin ของกุ้ง kuruma prawn ที่กินอาหารผสม carotenoid | 27 |
| 13 | การเปรียบเทียบแบบ orthogonal contrast ใน body astaxanthin ที่กินอาหารผสม Carotenoid | 28 |
| 14 | ส่วนประกอบของกรดไขมันในน้ำมัน | 29 |
| 15 | น้ำหนัก(กรัม/ตัว) และความยาว(ซม./ตัว) ของปลาหมอสีที่เลี้ยงโดยอาหารที่มีระดับสาหร่าย ที่แตกต่างกัน | 39 |
| 16 | แสดงปริมาณโปรตีนในอาหารที่ผสมสาหร่ายสไปรูลิน่าแห้งที่ระดับต่าง ๆ | 39 |
| 17 | อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ของปลาหมอสีที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับ สาหร่ายแห้งแตกต่างกัน | 40 |
| 18 | อัตรารอดของปลาหมอสีในวันสุดท้ายของการทดลอง | 40 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|---|---|---|
| 19 | ระดับคะแนนของสีของปลาหมอสีที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับ สาหร่ายสไปรูลิน่า แห้งแตกต่างกัน | 41 |
| 20 | แสดงปริมาณรงควัตถุที่อยู่ในสาหร่ายสไปรูลิน่า | 42 |
| 21 | แสดงการตายของปลาหมอสีที่ให้อาหารผสมสาหร่ายสไปรูลิน่า แห้งในระดับที่แตกต่างกันหลังจากได้รับเชื้อ *Aeromonas hydrophila* ที่ความเข้มข้น $10^6$ cell/ml (N=10) | 43 |
| 22 | แสดงการตายของปลาหมอสีที่ให้อาหารผสมสาหร่ายสาหร่ายสไปรูลิน่า ในระดับที่แตกต่างกันหลังจากได้รับเชื้อ *Aeromonas hydrophila* ที่ความเข้มข้น $10^7$ cell/ml (N=5) | 44 |


สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

ตารางที่ หน้า


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | วงจรชีวิตของสาหร่ายสไปรูลิน่า | 17 |
| 2 | แสดงระดับของสี (hue) ในวันที่ 0 , 75 และ 105 ในบริเวณด้านข้างลำตัวส่วนหน้า | 20 |
| 3 | แสดงระดับของสีที่ไม่เจือสีขาว (chroma) ในวันที่ 0 , 75 และ 105 ในบริเวณด้านข้างลำตัวส่วนหน้า | 20 |
| 4 | แสดงระดับของความสว่าง (lightness) ในวันที่ 0 , 75 และ 105 ในบริเวณด้านข้าง | 20 |
| 5 | ระดับ mean total carotenoid ในเนื้อปลา trout ในแต่ละระดับของสารสีจากสาหร่าย | 23 |
| 6 | ระดับ mean astaxanthin ในเนื้อปลา trout ในแต่ละระดับของสารสีจากสาหร่าย | 24 |
| 7 | total carotenoid concentration (mg/kg) ของปลา trout C=ปลาที่กินอาหารควบคุม, A=ปลาที่กินอาหารควบคุมและสาหร่าย, M=ปลาที่กินอาหารควบคุมและ astaxanthin ผสม canthaxanthin, SA=ปลาที่กินอาหารควบคุมและ astaxanthin สังเคราห์และ SC=ปลาที่กินอาหารควบคุมและ canthaxanthin สังเคราะห์ | 28 |
| 8 | น้ำหนัก (กรัม) ของปลาหมอสี *Pseudotropheus lombardoi* ที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสาหร่ายในระดับที่แตกต่างกัน | 37 |
| 9 | ปลาหมอสี(*Pseudotropheus lombardoi*) ที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสาหร่ายสไปรูลิน่าในระดับที่แตกต่างกัน ก.ปลากลุ่มควบคุม , ข.ปลาที่ให้สาหร่าย 5%, ค. ปลาที่ให้สาหร่าย 10% และปลาที่ให้สาหร่าย 15% | 41 |
| 10 | ลักษณะปลาหมอสีที่ตายหลังได้รับเชื้อ *Aeromonas hydrophila* (ก-ข) | 44 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# คำนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงปลาสวยงาม นับได้ว่ามีความนิยมมากขึ้น เช่น ปลาทองรันชู ปลาคาร์ฟ และปลาหมอสีชนิดต่างๆ ต่อมาได้มีการนำเข้าปลาสวยงามจากต่างประเทศมากมายซึ่งค่อนข้างมีราคาแพง คนที่ซื้อปลาในกลุ่มนี้จะอยู่ในวงแคบ ๆ และกลุ่มผู้เพาะพันธุ์และขยายพันธุ์ปลาเพื่อพัฒนาสายพันธุ์และเพื่อการค้าซึ่งปลาจาต่างประเทศนี้ได้มีการเพาะพันธุ์และขยายพันธุ์ภายในประเทศทำให้มีราคาถูกลงปลาสวยงามจากต่างประเทศที่ปัจจุบันมีการเพาะพันธุ์และพัฒนาสายพันธุ์ภายในประเทศที่มีความนิยมสูงมากในขณะนี้ คือ ปลาหมอสีชนิดต่าง ๆ

ปัจจุบันผู้คนในบ้านเราหันมานิยมเลี้ยงปลาหมอสีไว้ดูเล่นเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ เหตุก็เพราะสีสันที่ดึงดูดใจซึ่งการที่ปลาจะมีสีสันที่สวยงามนั้นจะขึ้นอยู่กับพันธุกรรมสภาพแวดล้อมจะมีความเกี่ยวพันธ์กันคือ ถ้าสภาพแวดล้อมดี แต่พันธุกรรมไม่ดี ปลาที่ได้อาจจะมีสีสันที่ไม่ชัดเจนและไม่สวยงาม ถ้าพันธุกรรมดี สภาพแวดล้อมดี ปลาที่ได้ก็จะมีความสวยงาม แต่ถ้ามีสิ่งกระตุ้นเพื่อให้ปลาที่ดีนั้นมีการแสดงออกของสีที่ดียิ่งขึ้นซึ่งจะส่งผลให้ปลานั้นมีราคาที่สูงขึ้น ซึ่งในปัจจุบันได้มีการนำสาหร่าย *Spirulina sp.* เข้าผสมในอาหารปลาเพื่อเร่งสี, ช่วยให้มีอัตราการเจริญเติบโตที่เร็วขึ้นและทำให้ปลามีความสามารถในการต่อต้านเชื้อโรคได้มากขึ้น เนื่องจากว่าสาหร่าย *Spirulina sp.* นั้นมีปริมาณโปรตีน (60-70%) และคาโรทีนอยด์ (4,000 มก./กก.)โดยเฉพาะ astaxanthin มีความสามารถในการทำปฏิกิริยาทางเคมีกับ singlet oxygen และ free radicals ซึ่งในสัตว์สารนี้จะเป็นตัว antioxidants ตัวอย่างหนึ่งที่พบได้คือในปลาที่อยู่เขตหนาวจะสะสม astaxanthin จากอาหารที่กิน และเก็บไว้ที่เนื้อเพื่อป้องกันเนื้อเยื่อไขมันจากปฏิกิริยา peroxidation ซึ่งเป็นอันตรายต่อตัวปลา และ carotenoid ยังช่วยให้เนื้อของปลา salmon และ trout มีสีชมพูแดงอีกด้วย

จึงทำให้สไปรูลิน่าเป็นสาหร่ายที่ได้รับความนิยมอย่างมากในการผสมอาหารสำหรับเลี้ยงปลาสวยงามเพื่อให้ปลามีสีสันที่สวยงาม และมีมูลค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของสาหร่ายสไปรูลิน่า ที่มีต่อการเจริญเติบโตของปลาหมอสี
2. เพื่อศึกษาผลของ สาหร่ายสไปรูลิน่า ที่มีต่อการเร่งสีของปลาหมอสี
3. เพื่อศึกษาการผลสาหร่ายสไปรูลิน่า ที่มีต่อการสร้างถูมิคุ้มกันต่อเชื้อ *Aeromonas hydrophila* ในปลาหมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การตรวจเอกสาร

## ลักษณะทั่วไปของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน หรือ Cyanobacteria อยู่ในดิวิชัน Cyanophyta หรืออีกชื่อหนึ่งคือ ดิวิชัน Cyanochlorota จัดเป็นพืชชั้นต่ำที่เรียกว่า prokaryotic cell สามารถสังเคราะห์แสง ให้ออกซิเจน เปลี่ยนสีของเซลล์ได้ และตรึงไนโตรเจนได้ สาหร่ายในกลุ่มนี้ไม่มีการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ พบได้ทั่วไปทุกแห่งในโลก ทั้งในน้ำจืด ทะเล น้ำพุร้อน และอาจอยู่รวมกับสิ่งมีชีวิตอื่นได้ทั้งพืชและสัตว์

1. ลักษณะสำคัญของดิวิชัน

สารสีสำหรับการสังเคราะห์แสง (photosynthetic pigments) ประกอบด้วย

1.1 คลอโรฟิลล์ เอ (chlorophyll a)

1.2 แคโรทีนอยด์ (carotenoid)

1.2.1 แคโรทีน (carotene) ได้แก่ เบตา-แคโรทีน (β-carotene)

1.2.2 แซนโธฟิลล์ (xanthophyll) ได้แก่ มิกโซแซนธิน (myxoxanthin) มิโซแซนโธฟิลล์ (myxoxanthophyll) ออสซิลลาแซนธิน (oscillaxanthin) ซีอาแซนธิน (zeaxanthin) เป็นต้น

1.3 ไฟโคบิโลโปรตีน (phycobiloprotein) ได้แก่

1.3.1 ซี-ไฟโคไซยานิน (c-phycocyanin)

1.3.2 ซี-อัลโลไฟโคไซยานิน (c-allophycocyanin)

1.3.3 ซี-ไฟโคอีริธริน (c-phycoerythrin)

ผนังเซลล์ (cell wall) มี 2 ชั้น องค์ประกอบคล้าย bacteria gram negative รอบนอก เซลล์มีเมือกใสๆ หุ้มโดยรอบเรียกว่า sheath อาจมีหรือไม่มีสี และอาจ แบ่งเป็นชั้นๆ หนวด (flagella) ไม่มีหนวดทั้งเซลล์ปรกติและเซลล์สืบพันธุ์ เคลื่อนที่แบบเลื่อนไหล (gliding movement) ผลผลิตจาการสังเคราะห์แสง (photosinthetic product) ได้แก่แป้ง cayanophycean starch เป็นเม็ดเล็กๆ กระจายอยู่ เรียกว่า cyanophycin granule ลักษณะพิเศษประจำดิวิชัน คือ เป็นพืชชั้นต่ำ procaryote สารสีไม่อยู่ในพลาสติด กระจายอยู่ในไซโตพลาสซึม ไม่มีนิวเคลียสที่แท้จริงและสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. โครงสร้างของเซลล์

เซลล์สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีรูปร่างลักษณะ 2 แบบ ได้แก่

2.1 แบบไม่มีหนวด เรียกว่า coccoid form พบทั้งที่เป็นเซลล์เดี่ยว โคโลนี และเป็นแบบ พาเมลลา พวกที่เป็น coccoid มีรูปร่างหลายแบบเช่น กลม ทรงกระบอก กระสวย ฯลฯ เซลล์หุ้มด้วย sheath เช่น *Lyngbya sp.*

2.2 แบบเส้นสาย เรียกว่า filamentous form (filament คือ trichome+sheath) เช่น *Spirulina* และ *Oscillatoria* เซลล์เรียงกันเป็นแถว เรียกว่า trichome และเซลล์เรียงตัวกันตลอดเป็นแบบปรกติ (vegetative cell) บางสกุลมีเซลล์พิเศษ เรียกว่า heterocyst ซึ่งมีผนังหนาและมีสีเหลืองจางๆ ภายในเซลล์ (รูปที่ 1 A-B) เช่น *Anabaena sp.*

ตำแหน่งของ heterocyst ภายในเซลล์มี 3 แบบคือแบบแรก intercalary heterocyst เกิดอยู่ระหว่างเซลล์ปรกติในเส้นสาย เช่น *Anabaena sp.* แบบที่สอง terminal heterocyst เกิดอยู่ตรงปลายข้างใดข้างหนึ่งของเส้นสาย เช่น *Anabaenopsis sp.* และแบบที่สามคือ basal heterocyst เกิดอยู่ที่ฐานของเส้นสายซึ่งเป็นเซลล์ปรกติที่มีขนาดไม่เท่ากันทั้งสาย เช่น *Gloeotrichia sp.*

3. รูปแบบของเส้นสาย (filament)

มี 2 แบบคือ unbranched filament เส้นสายไม่แตกแขนงเช่น *Lyngbya sp.* , *Oscillatoria sp.* , *Anabaena sp.* , *Anabaenopsis sp.* แบบที่สอง branched filament เส้นสายแตกแขนง แบ่งย่อยได้ 2 ชนิดคือ การแตกแขนงแท้ (true branching) เป็นการแตกแขนงที่เกิดจากเซลล์ใดเซลล์หนึ่งในเส้นสาย ทำการแบ่งตัวในแนวตั้งฉากกับแนวการแบ่งเซลล์ปรกติและ การแตกแขนงเทียม (false branching) เกิดขึ้นเนื่องจากเซลล์ในเส้นสายแบ่งตัวตามปรกติให้เซลล์ใหม่ 2 เซลล์ ผนังเซลล์ส่วนที่ชนกันจะโค้งมน หลังจากนั้นเซลล์ใหม่ทั้ง 2 เซลล์ทำการแบ่งตัวเกิดเป็นแขนงใหม่ ดันออกทางด้านข้างของสายเดิม เกิดเป็นแขนงเทียม

4. ส่วนประกอบของเซลล์

ประกอบด้วย ผนังเซลล์ (cell wall) ซึ่งมี 2 ชั้นได้แก่ผนังเซลล์ชั้นนอกและผนังเซลล์ชั้นใน ด้านนอกมีชีท มีสารเมือกหุ้มอยู่ , plasma membrane , เยื่อหุ้มไซโตพลาสซึม อาจมีสารสีกระจายอยู่เรียกว่า chromoplasm, gas vacuole มีลักษณะเป็นเม็ดขนาดเล็กกระจายอยู่ในโครโมพลาสซึม , heterocyst มักพบในสาหร่ายพวกเส้นสาย ถ้าขาดท่อนเราจะเรียกแต่ละท่อนของเซลล์ว่า homogone หรือ homogonia และ akinete หรือ gonidia เป็นเซลล์ที่สร้างสปอร์ อยู่ติดกับเฮเทอโรซิสต์

5. คุณสมบัติพิเศษของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1 การเคลื่อนที่ (movement) สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีการเคลื่อนที่ 3 แบบคือ แบบเลื่อนไหล (gliding movement) แบบเป็นคลื่น (waving movement) และแบบหมุนเป็นเกลียวหรือควงสว่าน (spiral movement) สาเหตุของการเคลื่อนไหวของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีสาเหตุมาจาก การยืดหดตัวของเซลล์ , การผลิตสารเมือกแล้วถูกปล่อยออกไปในน้ำ , การแลกเปลี่ยนน้ำกับสารละลายภายในเซลล์ และเมื่อสภาวะแวดล้อมไม่เหมาะสม

5.2 การเปลี่ยนแปลงสี (chromatic adaptation) สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถเปลี่ยนสีได้โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้สัมพันธ์กับความยาวคลื่นแสง (wave length) เพื่อให้สัมพันธ์กับความเข้มของแสง (light intensity) เพื่อให้สัมพันธ์กับปริมาณธาตุอาหาร และเพื่อประโยชน์ในการตรึงไนโตรเจน (nitrogen fixation)

6. การอยู่ร่วมกันกับสิ่งมีชีวิตอื่นๆ (symbiosis)

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินอยู่ร่วมกับสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ประโยชน์ก็เพื่อสร้างสารบางอย่างจากการอยู่ร่วมกันซึ่งแต่ละชนิดจะไม่สามารถสร้างได้ถ้าแยกกันอยู่ ตัวอย่างได้แก่ *Richelia intracellularis* อยู่ในเซลล์ของไดอะตอม *Rhizosolenia sp.* หรืออยู่บนเส้นสายของ *Chaetoceros sp.* , *Anabaena sp.* อยู่ในแหนแดง (*Azolla sp.*) และ *Phormidium mucicula* อยู่ในโรติเฟอร์ชนิด *Floscularia mutabilis*

7. การบลูมของน้ำ (wather blowe)

7.1 Eutrophication เป็นปรากฏการณ์ที่แหล่งน้ำมีธาตุอาหารอุดมสมบูรณ์จนสาหร่ายหรือแพลงก์ตอนพืชชนิดเดียวหรือ 2-3 ชนิด มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว มักเกิดในช่วงฤดูร้อน (อุณหภูมิสูงขึ้น) และเกิดในช่วงลมสงบ ชนิดที่ก่อให้เกิดการบลูมของน้ำ ได้แก่ *Microcystis aeruginosa* , *Anabaenopsis elenkini* , *Anabaena catenula* , *A. macrospore* , *Gloeotrichia echinulata* , *Spirulina platensis* , *Oscillatoria erythraea* , *Lyngbya limnertica* เป็นต้น *Oscillatoria erythraea* และ *O. thiebautii* เป็นชนิดที่เกิดการบลูมในทะเลแถบร้อน ทำให้ปลาตาย เนื่องจากเซลล์เป็นเส้นสายจึงเข้าไปอุดตันเหงือก ทำให้ปลาขาดออกซิเจนในตอนกลางคืน

7.2 Nitrogen fixation เกิดจากการตรึงไนโตรเจนของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เช่น *Richelia intracellularis* และ *Anabaena azolla* ผลที่ได้คือ ปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นทำให้เซลล์เกิด heterocyst (สะสมอาหารและสร้างสปอร์) เพิ่มมากขึ้นแต่ถ้าแอมโมเนียซึ่งจะเปลี่ยนรูปเป็นกรดอะมิโนชนิดต่างๆ เช่น asparatic acids และ glutamic acids ทำให้เกิดสารพิษ (toxin)

ผลที่เกิดจากการบลูมของน้ำ

7.2.1 น้ำเปลี่ยนสี เช่น มีสีเขียวเข้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2.2 เกิดกลิ่นโคลนในตัวสัตว์น้ำและน้ำมีกลิ่นและรสเกิดจากการบลูมของ *Anabaena sp.*และ *Oscillatoria sp.* สร้างสารเคมี เช่น สารจีออสมิน และสารพวก 2-methyllisoborneol ปลาและกุ้งที่เลี้ยงในน้ำที่เกิดการบลูมของสาหร่าย เช่น *Anabaena sp.* และ *Oscillatiria sp.* ทำให้เกิดกลิ่นโคลนได้

7.2.3 เกิดสารพิษ (toxin) เช่น *Microcystis sp. Anabaena sp. Gloeotrichia sp.* เป็นพิษต่อระบบประสาท เรียกว่า neurotoxin เป็นพิษต่อตับ เรียกว่า hepatotoxins

7.2.4 เกิดความรำคาญ เช่นอาการคันตามผิวหนัง เป็นผื่นหรือบวม

8. การทำลายพิษที่เกิดจากการบลูมของน้ำ

ลัดดา (2544) แนะนำให้ใช้สารที่ทำให้สาหร่ายตกตะกอน เช่น สารส้ม , ยาฆ่าสาหร่าย (agicide) และ สารปฏิชีวนะบางชนิดได้แก่ copper sulphate (จุนสี) , BKC ซึ่งเป็นสารฆ่าสาหร่ายในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ปริมาณการใช้ 1-2 แกลลอนต่อบ่อขนาด 4 ไร่ ใช้ติดต่อกัน 3 วันและควรใช้ในตอนเช้า , 2-3 dichloronaphthoquinone ใช้ในอัตราส่วน 20 - 25 ppb. (ส่วนในล้านส่วน) และใช้ streptomycin 2 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร หรือ neomycin 4 หน่วย/มิลลิลิตร

9. การสืบพันธุ์ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

สืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (asexual reproduction) โดยการแบ่งเซลล์และสร้างสปอร์ได้แก่

9.1 การแบ่งเซลล์ (cell division) โดยการเพิ่มจำนวนเซลล์จาก 1 เป็น 2 จาก 2 เป็น 4 จาก 8 และ 16 ถ้าเซลล์ใดมีชีทหุ้ม เมื่อเซลล์ ทำการแบ่งเซลล์หลายๆ ครั้งจะเกิดเป็นกลุ่มเซลล์ (colony) มีขนาดใหญ่ขึ้น ต่อมาจะหลุดออกจากกันเป็นกลุ่มเซลล์ย่อยโดยวิธีการฉีกขาด (fragmentation) ส่วนพวกที่เป็นเส้นสาย การแบ่งเซลล์ทำให้ trichome ยืดยาวออกและจะขาดท่อน เมื่อมีการกระทบกระเทือน แต่ละท่อนจะเจริญเป็น trichome ใหม่ พวกที่มี heterocyst การขาดท่อนจะเกิดตรงรอยต่อของเซลล์ปรกติกับheterocyst

9.2 การสร้างสปอร์ (sporulation) สปอร์ที่สร้างขึ้นเป็นสปอร์ที่ไม่มีหนวด (non-motile spore) สำหรับการเคลื่อนไหวแบ่งเป็น 2 ชนิด ชนิดแรก เรียกว่า endospore คือสปอร์ที่เกิดภายในเซลล์ โดยการแบ่งโปรโตพลาสซึมออกเป็น 2 ส่วน หรือหลายส่วน แต่ละส่วนเมื่อหลุดออกจากผนังเซลล์จะงอกเป็นต้นใหม่ ชนิดที่สอง ได้แก่ exospore สปอร์ที่เกิดขึ้นโดยการแบ่งส่วนของเซลล์ออกมาเป็นสปอร์มีจำนวน 1 หรือหลายสปอร์เรียงต่อกัน พบเฉพาะสกุล *Chamaesiphon sp.*

10. แหล่งที่อยู่ (habitat)

แหล่งที่อยู่ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินได้ 2 แหล่งคือ ในน้ำจืดและในทะเล ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งน้ำจืดพบประมาณ 80% ของชนิดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินทั้งหมด โดยอาศัยอยู่ในแหล่งน้ำนิ่ง (lentic) ได้แก่พวกที่เป็นเซลล์เดี่ยว และพวกที่เป็นเส้นสายที่ไม่มีชีทหุ้ม และแหล่งน้ำไหล (lotic) ส่วนพวกที่อาศัยอยู่ในทะเลหรือน้ำกร่อยพบพวกที่เป็นเส้นสายมีชีทหุ้มมีประมาณ 20% ของชนิดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินทั้งหมด ซึ่งอยู่ภายในเขต intertidal zone และ supratidal zone

(ลัดดา , 2544)

**การเร่งสี**

สารสีของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินประกอบด้วย คลอโรฟิลล์ ( คลอโรฟิลล์ เอ ) , คาโรทีนอยด์ ( เบต้าแคโรทีนแซนโทรฟิลล์หลายชนิด ) และ ไฟโคบิลิน ( ซี – ไฟโคไซยานิน, อัลโลไฟโคไซยานิน, ซี – ไฟโคเออริทริน ) ซึ่งสารสีแต่ละชนิดก็จะแสดงสีที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งคุณสมบัตินี้จะส่งผลไปถึงสีของสิ่งมีชีวิตที่ได้รับด้วย

ปลาเมื่อรับรงควัตถุหรือสารสี ปลาจะมีการสะสมสีต่าง ๆ ที่บริเวณใต้ผิวหนังในชั้นเดอร์มิส ( dermis ) และเนื้อเยื่อบริเวณกล้ามเนื้อ ( Latscha, 1991 ) ซึ่งอยู่ในรูปต่าง ๆ เมื่อสัตว์น้ำกินสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ก็จะได้รับรงควัตถุชนิดต่าง ๆ เช่น เบต้า-คาโรทีน ซีเอแซนทิน ( zeaxanthin ) หลังจากนั้นสัตว์น้ำก็จะเปลี่ยนรูปโครงสร้างของรงควัตถุจนในที่สุดจะเก็บสะสมอยู่ในรูปแอสตาแซนทิน โดยสารสีเหล่านี้จะส่งผลให้คุณภาพสีของเนื้อดีขึ้น และทำให้ปลาสวยงามมีสีเข้มสวย

จากรายงานของกาญจนา ( 2547 ) ซึ่งได้ทดลองเลี้ยงลูกปลาทองสายพันธุ์รันชูด้วยอาหารผสมสาหร่ายสไปรูลิน่าในปริมาณ 0 , 8 , 10 , 12 และ 14% เป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่าปลารันชูที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีสาหร่ายสไปรูลิน่าเป็นส่วนผสมจะมีสีเข้มกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่มีสาหร่ายสไปรูลิน่าเป็นส่วนผสม โดยปลาที่ได้รับอาหารที่มีสาหร่ายสไปรูลิน่าเป็นส่วนผสมในปริมาณ 12 และ 14% จะมีความเข้มของสีมากที่สุด แต่อาหารทดลองที่มีปริมาณสาหร่ายสไปรูลิน่าเป็นส่วนผสมในปริมาณที่แตกต่างกันนี้ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และอัตราการแลกเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ

จากรายงานทดลองของ Supamattaya *et al.* (2005) ได้ทดลองเลี้ยงกุ้งกุลาดำขนาดเล็กโดยให้อาหารผสมสารสกัดเบต้า-คาโรทีน ที่ระดับต่างๆ คือ กลุ่มควบคุม , 125 มิลลิกรัมเบต้า-คาโรทีน , 200 มิลลิกรัมเบต้า-คาโรทีน , 300 มิลลิกรัมเบต้า-คาโรทีน และ 0.9 % NaCl พบว่า เมื่อผ่านไป 3 สัปดาห์ของการทดลอง สีตัวของกุ้งจากอาหารผสมแต่ละระดับนั้นเมื่อมองด้วยตาเปล่าจะแสดงความแตกต่างอย่างชัดเจนโดยอาหารในกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ให้อาหารผสม 0.9% NaCl จะเห็นเป็นสีฟ้าอ่อน และในกลุ่มที่ได้รับอาหารผสมเบต้า-คาโรทีนจะเห็นเป็นสีฟ้าเข้ม ซึ่งในกุ้งที่ได้รับอาหารผสมในระดับ 300 มิลลิกรัมเบต้า-คาโรทีน จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความเข้มของสีมากที่สุด เมื่อหลังจาก 8 สัปดาห์ของการทดลอง นำกุ้งในแต่ละการทดลองไปต้มและให้คะแนนจากสีที่ปรากฏ โดยในกุ้งที่ได้รับอาหารผสมระดับ 200 มิลลิกรัมเบต้า-คาโรทีน กับ 300 มิลลิกรัมเบต้า-คาโรทีน มีคะแนนสูงสุด ส่วนกุ้งในกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ได้รับอาหารผสม 0.9% NaCl มีคะแนนต่ำสุด ส่วนการทดลองในกุ้งใหญ่ผลที่ได้เป็นไปในทางเดียวกับกุ้งเล็กคือ ที่ 4 สัปดาห์หลังจากการทดลองกุ้งในกลุ่มที่ได้รับอาหารที่ผสมเบต้า-คาโรทีนจะมีสีน้ำตาลเข้ม เมื่อสิ้นสุดการทดลองคะแนนสีของตัวกุ้งต้มในกลุ่มที่ได้รับอาหารผสมระดับ 200 มิลลิกรัมเบต้า-คาโรทีน กับ 300 มิลลิกรัมเบต้า-คาโรทีน จะสูงกว่าในกุ้งที่ได้รับอาหารผสมระดับ 125 มิลลิกรัมเบต้า-คาโรทีน ส่วนกุ้งในกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ให้อาหารผสม 0.9% NaCl จะมีสีเหลือง คาโรทีนอยด์รวม ( total carotenoid ) ของกุ้งที่ได้รับอาหารเสริม 125 – 300 มิลลิกรัมเบต้า-คาโรทีน จะมีค่าสูงสุด ส่วนแอสตาแซนทินอิสระ จะมีค่าสูงสุดในกลุ่มที่ได้รับอาหารผสม 300 มิลลิกรัมเบต้า-คาโรทีน จากผลการทดลองแสดงว่าคาโรทีนอยด์มีส่วนทำให้สารสีในตัวกุ้งเพิ่มขึ้น

5. ใช้ประโยชน์เพื่อการบำบัดน้ำทิ้ง จากการศึกษาพบว่าสาหร่ายสไปรูลิน่าสามารถกำจัดน้ำเสียได้ เพราะขณะที่สาหร่ายสไปรูลิน่าสังเคราะห์ด้วยแสง ไม่เพียงแต่จะให้ออกซิเจนแก่แหล่งน้ำเท่านั้น แต่สาหร่ายยังต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากแหล่งน้ำเพื่อใช้ในการสร้างสารต่างๆ และส่วนประกอบของเซลล์เช่น กรดนิวคลีอิก กรดอะมิโน และสารประกอบเอมีน เป็นต้น

**ตารางที่** 1 คุณประโยชน์ของสารอาหารที่มีอยู่ในสาหร่ายสไปรูลิน่า

| | |
|---|---|
| โปรตีน และกรดอะมิโน | มีอยู่มากถึง 60-70% มากกว่าที่มีในถั่วเหลือง, เนื้อสัตว์, ไข่และนม สามารถถูกย่อยและดูดซึมได้ดีกว่าโปรตีนจากเนื้อสัตว์มาก มีกรดอะมิโนจำเป็น(ร่างกายสร้างเองไม่ได้) อยู่ครบในสัดส่วนที่เหมาะสม |
| เบต้าแคโรทีน | มีมากกว่าแครอทถึง 20 เท่า ช่วยเพิ่มภูมิต้านทานโรค ช่วยขจัดอนุมูลอิสระที่เป็นสาเหตุของโรคมะเร็ง ช่วยป้องกันการที่เซลล์ถูกทำลายโดยแสงแดดและการฉายรังสี นอกจากนั้นยังช่วยบำรุงสายตาได้อีกด้วย |
| คลอโรฟิลล์ | มีอยู่ในปริมาณที่สูงมาก ช่วยบำรุงผิวพรรณ ช่วยรักษาโรคผิวหนัง กระตุ้นให้แผลแห้งและหายเร็วขึ้น ช่วยร่างกายขับสารพิษต่างๆ ลดอาการท้องผูก ช่วยฟื้นฟูตับ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| | ที่เสื่อมสลาย ช่วยลดอาการอักเสบของแผลในกระเพาะอาหาร |
| วิตามินอี | มีมากกว่าวีท เจอร์ม ถึง 3 เท่า เป็นสารแอนตี้ออกซิแดนซ์ที่ช่วยป้องกันและลดการเกิดอนุมูลอิสระในร่างกาย ช่วยชะลอกระบวนการของความชรา ลดการเกิดริ้วรอยและการเสื่อมสลายของเซลล์ |
| วิตามินบี12 | มีมากที่สุดกว่าที่มีในอาหารอื่นใด มากกว่าอันดับรองลงไปคือตับ ถึง 250% เหมาะสำหรับผู้บริโภคมังสวิรัติ เพราะในพืชอื่นมีวิตามินบี 12 น้อยมากหรือไม่มีเลย |
| ธาตุเหล็ก | มีแร่ธาตุต่างๆ รวมทั้งธาตุเหล็ก เกาะตัวอยู่ในสไปรูลิน่าในสภาพสารชีวภาพ ซึ่งเนื้อเยื่อของร่างกายสามารถดูดซึมไปใช้ได้อย่างง่ายดาย สไปรูลิน่ามีธาตุเหล็กมากกว่าผักปวยเล้งถึง 58 เท่า ช่วยบำรุงเลือด ป้องกันโลหิตจางและรักษาโลหิตจางได้ผลดี |
| กรดโฟลิก | พบในสไปรูลิน่าในปริมาณที่มากกว่า ไข่ นม หรือตับหลายสิบเท่า ช่วยบำรุงเลือด ป้องกันโลหิตจางและความผิดปกติในลำไส้ |
| กรดไขมันจำเป็น | คือกรดไขมันที่ร่างกายสร้างขึ้นเองไม่ได้ มีมากกว่าที่พบในน้ำมันดอกคำฝอยหรือน้ำมันพริมโรส โดยกรดไขมัน GLA สามารถช่วยให้ผิวหนังเนียนนุ่ม ผมดำเป็นเงางาม ทำให้รากผมแข็งแรง และหยุดอาการผมร่วงได้ |
| สารแอนตี้ออกซิแดนซ์ | มีอยู่หลายชนิดในสาหร่ายสไปรูลิน่า อาทิเช่น วิตามินบี 1, บี 6, สังกะสี, แมงกานีส, ทองแดง, ซิเลเนียม, เมทไธโอนิน ฯลฯ เป็นสารที่ช่วยตัวต่อต้านมะเร็ง และเพิ่มภูมิคุ้มกันให้แก่ร่างกาย |
| ไฟโคไซยานิน | เป็นสารสีน้ำเงินที่มีอยู่มากในสไปรูลิน่า มีความสำคัญยิ่งต่อการทำงานของตับ และการย่อยสลายกรดอะมิโน ช่วยทำให้ภูมิต้านทานของร่างกายดีขึ้น และยังช่วยป้องกันการแพร่กระจายตัวของก้อนเนื้องอก |
| สารอาหารอื่นๆ อีกมากมาย | มีทั้งวิตามินต่างๆ เช่น บี 1, บี 2, บี 3, บี 5, บี 6, โฟลาซิน, ไบโอดิน, อิโนสิทอล มีแร่ธาตุเช่นแคลเซียม, |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| | แมกนีเซียม, โปแตสเซียม, ฟอสฟอรัส, สังกะสี, แมงกานีส, ทองแดง, โครเมียม และยังมีเอนไซม์ที่มีประโยชน์อีกหลายชนิด |

**ที่มา** : http://www.geocities.com

**ลักษณะทั่วไปของ *Spirulina* sp.**

การจัดหมวดหมู่ทางอนุกรมวิธานมีดังนี้ (http://www. gd-1.com/fag_english.html)

Division Cyanophyta

Class Cyanophyceae

Order Oscillatoriales

Family Oscillatoriaceae

Genus *Spirulina*

สาหร่าย *Spirulina* sp. ที่ค้นพบแล้วมีประมาณ 35 ชนิด (species) ชนิดที่มีรายงานการทดลองและใช้ประโยชน์มากที่สุดคือ *S. platensis* และ *S. maxima*

"สไปรูไลน่า" เป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า "*Spirulina plantensis*" เป็นพืชที่เกิดขึ้นเมื่อ 3,500 ล้านปีมาแล้ว สไปรูไลน่า เป็นสาหร่ายเซลล์เดียวขนาดเล็ก ที่มองด้วยตาเปล่าแทบไม่เห็น เป็นสิ่งมีชีวิตชั้นล่างสุดของห่วงโซ่อาหาร จัดอยู่ในจำพวกโพรคาริโอท (prokaryotes) ซึ่งยังไม่มีนิวเคลียสที่แท้จริง (http://www. gd-1.com/history_thai.html)

สาหร่าย *Spirulina* sp. ประกอบด้วยเซลล์รูปทรงกระบอกหลายเซลล์เรียงต่อกันเป็นเส้นสายที่ไม่แตกแขนงเรียกว่า trichome เส้นสายจะบิดเป็นเกลียว รูปร่างที่เป็นเกลียวเป็นลักษณะของสกุล (genus) ความกว้างของเกลียว (helix) ระยะระหว่างเกลียว (pitch) และความยาวของ trichome (length) จะแตกต่างไปตามชนิด (species) แต่อย่างไรก็ดีสาหร่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดเดียวกันนี้ เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมต่างกัน ขนาดและรูปร่างก็อาจจะแตกต่างกัน เช่น ลักษณะที่บิดเป็นเกลียวอาจเปลี่ยนแปลงไปเป็นเส้นตรง ชนิดที่พบโดยมากมีเม็ดอากาศ (gas vacuoles) เล็กๆ จำนวนมากอยู่ภายในเซลล์ ทำให้สาหร่ายลอยตัวได้ดี เม็ดอากาศแต่ละเม็ดอยู่ภายในถุง ซึ่งเป็นเยื่อบางๆ และเยื่อนี้เป็นสารจำพวกโปรตีน สาหร่าย *Spirulina* sp. เคลื่อนที่ได้แบบเลื่อนไถล (gliding) โดยมีการหมุนรอบ trichome (http://www. gd-1.com/history_thai.html)

สาหร่ายชนิดนี้ มีปริมาณโปรตีนสูงมากถึง 60-70% นอกจากนี้ ยังมีวิตามินคุณค่าสูงชนิดต่างๆ ได้แก่ วิตามินเอ วิตามินบี1 วิตามินบี2 วิตามินบี6 วิตามินบี12 วิตามินซี วิตามินอี และวิตามินเอช โฟลิกแอซิด และนิโคตินิคแอซิด พบว่าเป็นแหล่งวิตามินบี12 มากถึง 250% ของที่มีในตับ มีเบต้าแคโรทีน ซึ่งเป็นโปรวิตามินเอ ประมาณ 20-25 เท่าของที่มีอยู่ในแครอท และมีเกลือแร่อีกหลายสิบชนิด เช่น เหล็ก แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม โดยมี ธาตุเหล็กเป็น 3 เท่าของเนื้อสเต็ก 1 ก้อน ที่สำคัญในสาหร่ายประเภทนี้มีองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่เรียงตัวกันอย่างสมดุลได้สัดส่วนอีกมากถึง 18 ชนิด และยังเป็นแหล่งของกรดไขมันแกมมาไลโนเลนิก (GLA)

ความสำคัญเด่นชัดกว่าสาหร่ายอื่น ๆ ก็คือ สไปรูลิน่าเป็น "พืชนิวเคลียร์" (nuclear plant) ซึ่งหมายถึง การอยู่กึ่งกลางการปฏิรูปพัฒนาการแบ่งแยกระหว่างพืชกับสัตว์ เมื่อพิจารณาแล้ว เซลล์ของสไปรูลิน่าสูงกว่าพืช เพราะขอบเซลล์ไม่แข็งเหมือนเซลล์ของพืช และในนิวเคลียสของเซลล์สไปรูลิน่าก็ไม่ชัดเจนแน่นอนเหมือนของพืช แต่มันก็สามารถปรุงอาหารได้ โดยการสังเคราะห์แสงโดยใช้แสงแดดและคลอโรฟิลล์เช่นเดียวกับการปรุงอาหารของพืชอื่นๆ (http://www.spirulina. co.th/thai/scrnoz.html)

**ประโยชน์จากสาหร่าย *Spirulina sp.***

1. ใช้เป็นอาหารของสัตว์ พบว่ารงควัตถุในสาหร่ายช่วยเพิ่มสีดังนี้ คือ สีของไข่แดงในเป็ด ไก่ สีของเนื้อไก่ และสีของเกล็ดปลาพวกไซปรินิด (http://www.kanchanapisek.or.th) และโปรวิตามินเอในสาหร่ายนั้น เป็นสารเร่งสีเมื่อผสมในอาหารปลาจะทำให้ปลามีสีสวย และในประเทศญี่ปุ่นใช้สาหร่าย *Spirulina platensis* เลี้ยงปลาไหล ปลาเทร้า กุ้ง ปลาคาร์พสี ทำให้เศรษฐกิจของอุตสาหกรรมการเลี้ยงปลาสวยงามได้พัฒนาก้าวไกลออกไปมาก มีศึกษารายงานว่า การนำสาหร่าย *Spirulina* sp. แห้ง เลี้ยงปลาทองโดยใช้สูตรที่ 1 อาหารผสมที่มีปลาป่นเป็นองค์ประกอบ โปรตีน 30% สูตรที่ 2 ใช้อาหารผสมสาหร่าย 15% ทดแทนปลาป่นที่มีโปรตีน 30% สูตรที่ 3 ใช้สาหร่าย 100% มีโปรตีน 54.66% พบว่าอาหารเลี้ยงปลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทองสูตรที่ 2 และ 3 มีอัตราการรอดตายและสีของปลาสวยงามกว่าสูตรที่1 (http://www.matichon.co.th/techno/techno.php) และจากการศึกษาถึงการใช้ *Spirulina platensis* แห้งทดแทนปลาป่นซึ่งเป็นส่วนประกอบอาหารปลาที่มีราคาสูง *Spirulina platensis* นั้นมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบในร่างกายของปลา catla (*Catla catla*) และ rohu (*Labeo rohita*) โดยทำการทดลองในเวลา 90 วัน ให้อาหารทดลอง 4 กลุ่มที่มี *Spirulina platensis* 4 ระดับ คือ 25%,50%,75% และ100% แทนปลาป่น พบว่า ในปลา catla การเจริญเติบโตไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนปลา rohu พบว่าการให้อาหารที่มี *Spirulina platensis* สูงกว่า 25% จะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยจะทำให้ปลา rohu มีการเจริญเติบโตและมีประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนที่ดี ดังนั้นในการเลี้ยงปลา rohu (*Labeo rohita*) ควรใช้ *Spirulina platensis* ในระดับที่มากกว่า 25% ขึ้นไป จึงช่วยให้ปลามีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น (Nandeesha *et al.*, 2001)

2. กรดไขมันแกมมาไลโนเลนิก (GLA) จากสาหร่าย *Spirulina* sp. มีส่วนช่วยให้ คอเรสเตอรอลในเลือดลดลงได้ถึง 170 เท่าของไลโนเลอิกที่มีอยู่ในน้ำมันพืช

(http://www.gd-1.com/history_thai.html)

3. ใช้เป็นอาหารเสริมสร้างสุขภาพ สร้างภูมิคุ้มกันโรค ระบบขับถ่ายสารพิษ และป้องกันการเกิดโรคโลหิตจางในผู้ที่รับประทาน

4.ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น ขนมปังกรอบ เส้นสปาเก็ตตี้หลายชนิด ไอศครีม เครื่องดื่ม และพวกช๊อคโกแลตต่างๆ ( http://www.advisos. annamai.mopg.go.th)

5. ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง โดยทำพวกลิปสติก เครื่องสำอางสำหรับทาตาเป็นต้น ซึ่งพบว่า สีเหล่านี้มีคุณสมบัติที่ดี คือสามารถติดทนนาน แม้จะมีเหงื่อออก และมีการศึกษาในประเทศญี่ปุ่นพบว่า เครื่องสำอางที่ผสมสาหร่าย และสารสกัดจากสาหร่าย *Spirulina platensis* ช่วยให้ผิวพรรณดีขึ้นและลดริ้วรอย ส่วนในประเทศไทยก็ได้มีบริษัทหลายแห่งที่ใช้สาหร่ายเป็นเครื่องสำอางในรูปครีมบำรุงผิว

(http://www.ku.ac.th/e-magazine/july46/agri/seaweed.html)

6. ใช้ในการกำจัดน้ำเสีย การใช้สาหร่ายในการกำจัดน้ำเสียร่วมกับแบคทีเรีย โดยแบคทีเรียจะทำการย่อยสารประกอบอินทรีย์ต่าง ๆ ที่มีอยู่ ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน ให้เป็นสารประกอบอนินทรีย์ เช่น แอมโมเนียม ไนเตรต คาร์บอนไดออกไซด์ และเกลือแร่ต่าง ๆ ในสภาพการเกิดที่มีอากาศ (aerobic) หรือไม่มีอากาศ (anaerobic) จากนั้นสาหร่ายจะใช้สารประกอบเหล่านี้ในกระบวนการเมตาบอลิซึมต่าง ๆ สำหรับสาหร่ายที่ได้จากระบบกำจัดน้ำเสียนี้ อาจนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ ปุ๋ยพืชสด หรือใช้ในการทำแก๊สชีวภาพได้ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่ การศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เพาะเลี้ยงใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มูลหมูผสมมูลไก่ที่มีการหมุนเวียนของสารอาหารแตกต่างกัน การผลิตสาหร่ายเกลียวทองจากน้ำทิ้งโรงงานแป้งมันสำปะหลัง การเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทองจากน้ำทิ้งโรงงานน้ำอัดลม เป็นต้น (http://www.ku.ac.th/e-magazine/july46/agri/seaweed.html)

7. ใช้ในอุตสาหกรรมยา สาหร่าย *Spirulina platensis* สามารถป้องกันและรักษาโรคต่าง ๆ เช่น โรคเบาหวาน โรคกระเพาะ อีกทั้งยังช่วยลดความเครียดและความไม่สมดุลในร่างกาย ในประเทศฝรั่งเศส ได้ทดลองใช้ยาที่ผสมสาหร่าย *Spirulina platensis* ทาแผล ทำให้แผลแห้งเร็วขึ้น ธาตุแมกนีเซียมในคลอโรฟิลล์ยังมีบทบาทอย่างสำคัญในการรักษาบาดแผล มีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อป้องกันการเกิดของแบคทีเรียและช่วยสร้างเซลล์ขึ้นมาใหม่ด้วย คลอโรฟิลล์ในสาหร่ายมีโครงสร้างเหมือนสารสีแดงในเลือด (hemo-globin) นักวิทยาศาสตร์จึงแนะนำให้ใช้คลอโรฟิลล์รักษาโรคโลหิตจาง (http://www.ku.ac.th/e-magazine/july46/agri/seaweed.html)

**คุณค่าทางโภชนาการ**

**ตารางที่** 2 ส่วนประกอบทางเคมีของ *Spirulina* sp. (กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง)

| | ห้องปฏิบัติการ สหประชาชาติ | จีดี-1 บ.กรีนไดมอนด์ | ลินากรีน บ.สยามแอลจี | ภาควิชาชีววิทยา ม.เชียงใหม่ |
|---|---|---|---|---|
| โปรตีน | 71.0 | 63.4 | 55.7 | 68.6 |
| คาร์โบไฮเดรต | - | 23.0 | - | 13.0 |
| ไขมัน | - | 0.12 | 6-9 | 6.6 |
| เถ้า | 9.0 | 6.40 | - | 6.1 |
| เส้นใยอาหาร | 0.9 | 1.90 | 2-4 | 7.4 |
| พลังงาน (กิโลแคลอรี่/กรัม) | - | 3.66 | - | 5.31 |

เครื่องหมาย – แสดงว่าไม่ได้วิเคราะห์

ที่มา : ธิดา (2546)

ในสาหร่าย *Spirulina platensis* มีกรดอะมิโน ทั้ง 18 ชนิด ที่ร่างกายต้องการดังนี้คือ

1. ไอโซลิวซีน จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโต และพัฒนาการเรียนรู้ (IQ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ลิวซีน กระตุ้นการทำงานของสมอง เพิ่มกำลังให้กล้ามเนื้อ ช่วยให้เซลล์ประสาทแข็งแรงขึ้น

3. ไลซีน ทำให้ระบบเส้นเลือดแดงแข็งแรง ควบคุมการเจริญเติบโตของเซลล์

4. เมทไทโอนิน บำรุงรักษาตับ ต้านความเครียด ทำให้ประสาทผ่อนคลาย

5. เฟนนิลอะลานิน ใช้สร้างไทรอกซิน กระตุ้นอัตราการย่อย และสลายอาหารเพื่อเป็นพลังงาน

6. ทรีโอนิน ทำให้ลำไส้ทำงานดีขึ้นเพิ่มการดูดซึม

7. วาลี ช่วยกระตุ้นความจำ

8. อะลานิน ทำให้ผนังเซลล์แข็งแรง

9. แอสพาร์ติก ช่วยเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาล

10. อาร์จินิน เป็นส่วนประกอบของน้ำเชื้อเพศชาย และช่วยในการกำจัดสารพิษ

11. ทริปโตเฟน ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของวิตามินบี จิตใจเยือกเย็นสงบ

12. กลูตามิก นำกลูโคสเข้าสู่เซลล์สมอง ช่วยลดพิษอัลกอฮอล์ และช่วยทำให้มีสติ

13. อิสทิดีน ช่วยให้การส่งผ่านความรู้สึกของระบบประสาทดีขึ้น โดยเฉพาะในเรื่องหู

14. ซีลีน ช่วยในการสร้างเยื่อหุ้มรอบเส้นประสาท เพื่อป้องกันอันตรายในเส้นประสาท

15. ซีสทีน บำรุงตับอ่อน ช่วยรักษาระดับน้ำตาลในเลือด

16. โปรตีน เป็นสารต้นตอของกลูตามิกแอซิด

17. ไกลซีน เพิ่มพลังงานและการใช้ออกซิเจนของเซลล์

18. ไทโรซีน ชะลอความแก่ของเซลล์

**ตารางที่** 3 กรดอะมิโน *Spirulina* sp. จากหลายแหล่งเลี้ยง (กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง)

| กรดอะมิโน | จีดี-1<br>บ.กรีนไดมอนด์ | สาหร่ายยอดทอง<br>หจก.สงขลายอดทอง | ภาควิชาชีววิทยา<br>ม.เชียงใหม่ |
|---|---|---|---|
| ไอโซลิวซีน | 2.72 | 0.80 | 2.80 |
| ลิวซีน | 4.82 | 2.06 | 4.81 |
| ไลซีน | 2.59 | 1.06 | 2.07 |
| เมทไธโอนิน | 1.06 | 0.50 | 1.16 |
| ฟินินอะลานิน | 2.91 | 0.99 | 2.20 |
| ทรีโอนิน | 2.78 | 1.26 | 3.20 |
| ทริปโตเฟน | 0.74 | 0.17 | 0.81 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | | |
|---|---|---|---|
| วาลีน | 2.99 | 0.13 | 2.81 |
| อะลานิน | 4.20 | 2.17 | 3.63 |
| อาร์จินิน | 3.79 | 1.53 | 4.17 |
| แอสปาติกแอซิด | 5.18 | 2.59 | 5.77 |
| ซีสทีน | 0.54 | 0.04 | 0.08 |
| กลูตามิคแอซิด | 7.79 | 3.68 | 8.74 |
| ไกลซีน | 2.66 | 1.15 | 2.36 |
| ฮิสทิดีน | 0.82 | 0.67 | 0.81 |
| โพลลีน | 2.16 | 1.03 | 1.82 |
| ซีริน | 2.90 | 1.52 | 3.01 |
| ไทโรซีน | 2.35 | 0.62 | 2.16 |

ที่มา : ธิดา (2546)

**ตารางที่ 4** เกลือแร่ใน *Spirulina* sp. (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง)

| | จีดี-1<br>บ.กรีนไดมอนด์ | ภาควิชาชีววิทยา<br>ม.เชียงใหม่ | ยอดทอง<br>หจก.ยอดทองสงขลา |
|---|---|---|---|
| แคลเซียม | 75.9 | 1,230.12 | 187.00 |
| ฟอสฟอรัส | 436.70 | 700.06 | 54.50 |
| แมกนีเซียม | 216.97 | 390.04 | 247.67 |
| แมงกานีส | 1.94 | 2.74 | 69.00 |
| เหล็ก | 36.85 | 24.95 | 116.00 |
| สังกะสี | 1.37 | 3.87 | 11.00 |

ที่มา : ธิดา (2546)

หมายเหตุ องค์ประกอบทางเคมี กรดอะมิโน และเกลือแร่ใน *Spirulina* sp. จะแตกต่างกันในแต่ละ

ครั้ง แต่ละตัวอย่างแต่ละแหล่ง เพราะองค์ประกอบต่างๆ เหล่านี้ ผันแปรตามชนิดสาย

พันธุ์ ฤดูกาล สภาพแวดล้อม ปุ๋ยหรือสารที่ใช้เป็นอาหาร และระยะการเจริญเติบโตของ *Spirulina* sp.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่** 5 วิตามินและสารรงควัตถุใน *Spirulina* sp.

| วิตามินและสารรงควัตถุ | ค่าเฉลี่ย (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) |
|---|---|
| ไบโอติน (เอช) | 0.40 |
| ไซยาโนโคบาลามิน (บี 12) | 2.00 |
| ดี แคลเซียม แพนโตธิเนต | 11.00 |
| กรดโฟลิก | 0.50 |
| อิโนซิทอล | 350.00 |
| กรดนิโคตินิก (พีพี) | 118.00 |
| ไพรีดอกซีน (บี 6) | 3.00 |
| ไรโบฟลาวิน (บี 2) | 40.00 |
| ไทอามิน (บี 1) | 55.00 |
| โทโคฟีรอล (อี) | 190.00 |
| คาโรทีนอยด์ | 4,000.00 |
| คาโรทีน | 1,700.00 |
| | |
| แซนโทฟิลีส | 1,000.00 |
| คริพโตแซนทิน | 556.00 |
| อีคินีโนน | 439.00 |
| ซีแซนทิน | 316.00 |

**ที่มา** : ธิดา (2546)

**ตารางที่** 6 เปรียบเทียบปริมาณโปรตีนในสาหร่ายเกลียวทอง (แห้ง) กับอาหารชนิดอื่น (%)

| ชนิด | %โปรตีน |
|---|---|
| *Spirulina platensis* | 60-71 |
| เนื้อวัว | 18-20 |
| ไข่ | 10-25 |
| ข้าวสาลี | 6-10 |
| ข้าวเจ้า | 7 |
| ถั่วเหลือง | 33-35 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร พระจอมเกล้าลาดกระบัง



| | |
|---|---|
| ปลาทู ปลาอินทรี | 20 |

ที่มา : http:// www. gd-1.com

**วงจรชีวิต**

ในวงจรชีวิตของสาหร่ายสไปรูลิน่า ไทรโคมที่เจริญเติบโตเต็มที่จะมีการสร้างเซลล์ที่มีลักษณะเฉพาะที่เรียกว่า เนคริเดีย ( necridia ) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่จะถูกย่อยทำให้ไทรโคมแตกหักออกเป็นท่อนสั้น ๆ ขนาดประมาณ 2-4 เซลล์ที่มีลักษณะเหมือนกันเป็นส่วนใหญ่ เรียกว่า โฮโมโกเนีย ( homogonia ) จากนั้นจึงมีการแบ่งตัวเพิ่มความยาวหรือจำนวนเซลล์ของแต่ละโฮโมโกเนียจนเป็นไทรโคมที่สมบรูณ์ ( ดังรูป )

ภาพที่ 1 วงจรชีวิตของสาหร่ายสไปรูลิน่า

ที่มา : http://digital.lib.kmutt.ac.th

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

**ผลของแคโรทีนอยด์ที่มีต่อสีปลา**

กิตติ และคณะ พบว่า วิธีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาแบบต่างๆ มีผลต่อปริมาณการสร้างแคโรทีนอยด์ โดยพบว่าวิธี เลี้ยงในอาหารเหลวในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร มีปริมาณการผลิตแคโรทีนอยด์สูงที่สุด คือ 2.0 มิลลิกรัม แคโรทีนอยด์กรัมเซลล์ รองลงมาคือวิธีเลี้ยงในอาหารเหลวในหลอดทดลอง, วิธีเลี้ยงในทรายบริสุทธิ์ , วิธีที่เลี้ยงในจานเลี้ยงเชื้อ และวิธีที่เลี้ยงในหลอดวุ้นเอียง ซึ่งมีปริมาณการผลิตแคโรทีนอยด์เท่ากับ 1.486, 1.31, 0.856 และ 0.79 มิลลิกรัมแคโรทีนอยด์/กรัมเซลล์ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
99421

สีผิวของปลา โดยทั่วไปเกิดจาก ปริมาณของ โครมาโตพอร์ (chromatophore) (melanophore , xanthophore , erythrophore , iridophore , leucophore และ cyanophoore) ที่บรรจุสารสี เช่น เมลานิน , คาโรทีนอยด์ (astaxanthin , canthaxanthin , lutean และ zeaxanthin ) , pteridine และ purine ปลาสามารถแสดงสีผิวที่แตกต่างกันได้ด้วยการกระจายตัวหรือรวมตัวกันของโครมาโตพอร์ที่อยู่บนผิวนั้นเอง รวมถึงสภาพแวดล้อม , เส้นประสาท , ต่อมไร้ท่อ และปัจจัยการจัดการอื่นๆ ก็มีผลต่อการเคลื่อนย้ายตัวของโครมาโตพอร์ และการตกตะกอนของสารสี โดยปัจจัยดังกล่าวยังเกี่ยวข้องกับสรีระวิทยาของสัตว์น้ำและการเพาะเลี้ยงด้วยอาหาร

ที่มีการผสมคาโรทีนอยด์มีความสำคัญอย่างยิ่งในการควบคุมสีผิวและกล้ามเนื้อของปลา คาโรทีนอยด์ ถูกสกัดมาจาก geranylgeranlyl diphosphate โดยอวัยวะที่ทำหน้าที่ในการสังเคราะห์แสง ในกระบวนการสังเคราะห์ทางชีววิทยา lycopene จะถูกเปลี่ยนเป็นเบตา - คาโรทีน ซึ่งเบตา - คาโรทีนจะถูกเปลี่ยนจากกระบวนการเมตาบอลิซึมให้เป็น astaxanthin ต่อไป พืชทุกชนิดที่สามารถสังเคราะห์แสงได้ สามารถสังเคราะห์ lycopene และ เบตา - คาโรทีนได้ เมื่อเปรียบเทียบกับสัตว์ชนิดอื่นแล้ว ปลาไม่สามารถสังเคราะห์สารสีได้เอง แต่ปลาสามารถเปลี่ยนคาโรทีนอยด์จากอาหารที่ให้มาสะสมไว้บนผิวหรือส่วนอื่นๆ ร่างกายได้ ในอาหารตามธรรมชาติของปลาไม่มีส่วนของคาโรทีนอยด์ผสมอยู่ เพราะฉะนั้นในการเพาะเลี้ยงจึงต้องมีการเพิ่มส่วนของคาโรทีนอยด์เข้าไปในอาหาร โดยทั่วไป ประสิทธิภาพของสารสีจากแหล่งต่างๆ ในการสะสมและปรับปรุงสีผิวของปลานั้น ขึ้นอยู่กับชนิดของปลา และก็ไม่ใช่ปลาทุกชนิดที่จะมีกระบวนการในการเปลี่ยนคาโรทีนอยด์ที่เหมือนกัน เพราะฉะนั้นจึงไม่มีรูปแบบพื้นฐานในการเปลี่ยนคาโรทีนอยด์ในปลา (Chatzifotis *et al.* ,2005)

ในขณะเดียวกัน มีความพยายามอย่างมากในการใช้ความรู้ที่ได้ข้างต้น นำมาปรับปรุงใช้กับการเพาะเลี้ยงเนื่องจาก ในการเพาะเลี้ยงสีผิวของปลาที่ได้กลับแตกต่างจากสีผิวของปลาที่ได้จากธรรมชาติ เพราะฉะนั้นจึงได้มีการพยายามนำคาโรทีนอยด์จากแหล่งต่างๆ เข้ามาเสริมในอาหารสัตว์น้ำหลายๆชนิด โดยนำมาจากหลายๆแหล่งของคาโรทีนอยด์ เช่น ได้มาจากธรรมชาติ หรือได้มาจากการสกัด Amar *et al.* (2004) ได้ทดลองให้อาหารปลา rainbow trout ด้วยอาหารผสมระหว่าง *Dunaliella salina* (ซึ่งเป็นแหล่ง เบต้า-คาโรทีน) กับอาหารผสม *Phaffia rhodozyma* (ซึ่งเป็นแหล่ง แอสตาแซนทิน) พบว่า ในปลาที่กินอาหารผสม *Phaffia* มีปริมาณความเข้มข้นของคาโรทีนอยด์ใน serum สูงกว่าเมื่อเทียบกับปลาที่ให้อาหารผสม *Dunaliella* และปริมาณของคาโรทีนอยด์ในเนื้อเยื่อจะพบไปในทางเดียวกันกับใน serum

1. คาโรทีนอยด์จากแหล่งธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาโรทีนอยด์ที่ได้จากธรรมชาติ มาจากหลายแหล่ง เช่น จากสาหร่ายขนาดเล็ก *Haematococcus pluvialis* ที่สามารถผลิต astaxanthin ได้ถึง 15,000-20,000 ppm , ยีสส์ *Pfaffia* ที่สามารถผลิต astaxanthin ได้ 800 ppm , crustacean ที่สามารถผลิต astaxanthin ได้มากกว่า 400 ppm (http://www.fcihealthscience.com/astaxanthin.html) , *Pleisonika sp.*
ซึ่งเป็นคาโรทีนอยด์จากธรรมชาติ ที่มี astaxanthin เป็นส่วนประกอบหลัก , krill meal ที่สามารถ
ผลิต astaxanthin ได้ 20 mg/kg $^{-1}$ หรือ จากเปลือกกุ้ง ที่สามารถผลิต astaxanthin ได้ 40 mg/kg $^{-1}$ (Chatzifotis *et al.* ,2005)

2. คาโรทีนอยด์จากการสังเคราะห์

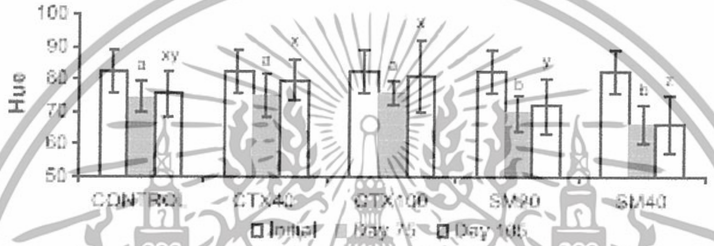
คาโรทีนอยด์ที่ได้จากการสังเคราะห์สามารถแบ่งได้ 2 กลุ่มใหญ่ คือ esterified และ unesterified เช่น Naturose™ ที่เป็นแหล่งของ esterified astaxanthin ที่ปลอดภัยที่ได้จากการสกัดจากสาหร่ายขนาดเล็ก *Haematococcus pluvialis* โดยมีคาโรทีนอยด์หลักเป็น astaxanthin อีก 15% เป็น canthaxanthin , lutein และ เบตา - คาโรทีน Naturose™ จะถูก spray-dried และอยู่ในรูปของสีแดงเข้ม โดยถูกใช้โดยทั่วไปในการปรับปรุงสีและเป็นแหล่งของสารอาหารในสิ่งมีชีวิตหลายๆชนิด ซึ่งประสบความสำเร็จในการใช้กับกุ้ง (*P. monodon* และ *P. japonica* ), ปลา rainbow trout , ปลาแซลมอนตัวเล็ก (coho) , Atlantic salmon , ไก่ไข่ และ sea bream (http://www.brineshrimpdirect.com) และ Chlophyll Pink ซึ่งเป็นประเภท unesterified

3. ผลการเปรียบเทียบการใช้คาโรทีนอยด์จากทั้งสองแหล่ง

จากการศึกษาผลของแหล่งคาโรทีนอยด์ที่แตกต่างกันและระดับที่แตกต่างกันต่อสีผิวและการเจริญเติบโตของปลา red porgy (*Porgrus pogrus*) (Kalinowski *et al.* 2005) โดยทำการทดสอบที่สองระดับของความเข้มข้นและสองแหล่งของคาโรทีนอยด์ คือ ที่ระดับ 20 และ 40 mg astaxanthin จากเปลือกกุ้ง /kg และ ที่ระดับ 40 และ 100 mg canthaxanthin สังเคราะห์ /kg โดยจะทำการตรวจสอบ 3 ครั้ง คือ ในตอนเริ่มต้นการทดลอง , ในวันที่ 75 และวันที่ 105 ของการทดลอง โดยตัวอย่างจะถูกทำการชั่งน้ำหนักและวัดสี โดยการวัดสีจะทำที่บริเวณที่แตกต่างกัน 3 บริเวณ คือ ด้านข้างลำตัว , ด้านท้อง และบริเวณหาง โดยไม่พบผลจากการเสริมคาโรทีนอยด์ที่มีต่อการเจริญเติบโต แต่พบว่า ที่ระดับ 40 mg astaxanthin จากเปลือกกุ้ง/kg ที่สามารถทำให้เกิดสีแดงเรื่อทั่วตัวของ red porgy อาหารที่มีการเสริมเปลือกกุ้งสามารถยกระดับของ hue และchroma ให้สูงขึ้นได้ แต่ระดับของ hue ในวันที่ 75 และ105 กลับไม่มีความแตกต่างกัน และระดับของ chroma หลังจากวันที่ 75 ก็มี

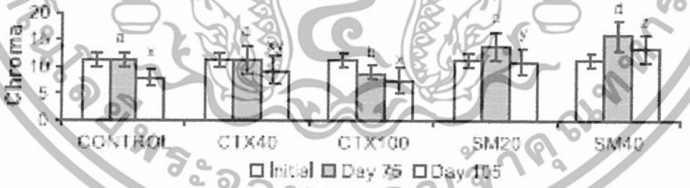
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวโน้มที่ลดลง แสดงให้เห็นความไม่แน่นอนของความเค็ม การเสริมแหล่งของคาโรทีนอยด์ในอาหารไม่มีผลต่อความสว่าง (lightness) ของ red porgy จากบริเวณทั้งสามที่ทำการทดสอบ ที่บริเวณด้านข้างลำตัว พบระดับของ hue , chroma และ lightness ที่ต่ำที่ 40 mg astaxanthin จากเปลือกกุ้ง/kg (ภาพที่1-3) จากผลที่ได้ดังกล่าว อาจสามารถนำบริเวณดังกล่าวนำมาใช้เป็นบริเวณควบคุมในการทดสอบต่อไป




**ภาพที่** 2 แสดงระดับของสี (hue) ในวันที่ 0 , 75 และ 105 ในบริเวณด้านข้างลำตัวส่วนหน้า

ที่มา : Kalinowski *et al.* (2005)




**ภาพที่** 3 แสดงระดับของสีที่ไม่เจือสีขาว (chroma) ในวันที่ 0 , 75 และ 105 ในบริเวณด้านข้างลำตัวส่วนหน้า

ที่มา : Kalinowski *et al.* (2005)

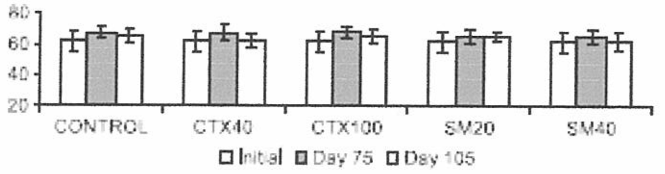



Fig. 3. Lightness values at days 0, 75 and 105 in zone I. Bars represent mean ± S.D. Means with no letters or with common letters denote no

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาพที่ 4** แสดงระดับของความสว่าง (lightness) ในวันที่ 0 , 75 และ 105 ในบริเวณด้านข้าง

ที่มา : Kalinowski *et al.* (2005)

การทดลองในปลา red porgy (*Porgrus pogrus*) เช่นกัน แต่แหล่งของคาโรทีนอยด์ต่างกัน โดยใช้อาหารที่มีการเสริม astaxanthin จาก Naturose™ เปรียบเทียบกับอาหารที่มีการเสริม เบตา - คาโรทีน และ lycopene ที่ระดับ 100 ppm และอาหารที่ไม่มีการเสริมสารสีใดๆ พบว่า astaxanthin จาก Naturose™ มีผลทำให้ระดับของ hue บนผิวบริเวณด้านหน้าเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ เบตา - คาโรทีน และ lycopene ใช้ไม่ได้ผล Naturose™ เป็นแหล่งของสารสีแหล่งเดียวที่มีผลต่อสีผิว โดยทำให้เกิดสีแดงเรื่อๆบริเวณผิวด้านหน้า และสีผิวบริเวณด้านท้องของปลา red porgy ที่ทำการเพาะเลี้ยง ซึ่งเหมือนกับปลาที่มาจากธรรมชาติ (Chatzifotis *et al.* , 2005)

จากการทดสอบการใช้สาหร่าย และ astaxanthin สังเคราะห์ เป็นสารเพิ่มเติมในอาหาร เพื่อเลี้ยง กุ้ง kuruma prawn , *Marsupenaeus japonica* Bate โดยเปรียบเทียบ astaxanthin จากแหล่งธรรมชาติ จากสาหร่าย *Haematococcus pluvialis* ที่เป็นแหล่ง astaxanthin และสาหร่าย *Spirulina pacifica* ที่เป็นแหล่ง non-astaxanthin กับ astaxanthin จากการสังเคราะห์ (Carophyll Pink) ที่สองระดับความเข้มข้น คือ ที่ 50 และ 100 mg kg $^{-1}$ และที่ 50 mg kg $^{-1}$ *Haematococcus pluvialis* ผสมกับ 50 mg kg $^{-1}$ *Spirulina pacifica* รวมเป็น 7 หน่วยทดลอง เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่มีการเสริมคาโรทีนอยด์ ทำการทดสอบใน กุ้ง kuruma prawn , *Marsupenaeus japonica* เป็นเวลา 9 สัปดาห์ โดยทำการเปรียบเทียบในแต่ละหน่วยทดลอง หลังจาก 9 สัปดาห์ของการทดลองกลุ่มควบคุมมีอัตรารอดที่มีนัยสำคัญต่ำกว่าในกลุ่มที่มีการให้คาโรทีนอยด์ ไม่มีความแตกต่างในน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นในทุกกลุ่ม ในกลุ่มควบคุม มีระดับของ astaxanthin ในเนื้อ 66.4% และ 75.5 % ในเปลือก ซึ่งน้อยกว่าในกลุ่มทดลองที่มีการให้คาโรทีนอยด์ ที่ระดับ 50 mg kg $^{-1}$ ในทุกกลุ่มคาโรทีนอยด์มีระดับของ astaxanthin ในเนื้อ 31.1% และ 29.6 % ในเปลือก ซึ่งน้อยกว่าในกลุ่มทดลองที่มีการให้คาโรทีนอยด์100 mg kg $^{-1}$ ในทุกกลุ่ม และในกลุ่มที่ผสมระหว่างสาหร่ายทั้งสองชนิด ไม่มีความแตกต่างเกิดขึ้นในกลุ่มอื่นๆ ในการเปรียบเทียบดังกล่าวได้พิจารณา การเปลี่ยนคาโรทีนอยด์ , การสะสม , ความสามารถในการย่อย และการดูดซึม (Chien and Shiau, 2005)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**แหล่งของสารสี**

แหล่งของสารสีที่ใช้ในการเพิ่มคุณภาพของเม็ดสีหรือกล้ามเนื้อในสัตว์น้ำพบจากสาหร่ายชนิดต่างๆไม่ว่าจะเป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิด *Spirulina maxima* หรือสาหร่ายสีเขียวชนิด *Dunaliella salina* และ *Haematococcus pluvialis* (Chien and Shiau, 2005) ซึ่งสาหร่ายเหล่านี้เป็นแหล่งที่มาของสารสี carotenoid ที่มีหน่วยย่อยเป็น astaxanthin หรือ canthaxanthin และจะพบได้ตามธรรมชาติ เช่นในผักและผลไม้ (Gouveia and Empis, 2003) และนอกจากนี้ในแพลงก์ตอนสัตว์อย่าง copepod ก็สามารถสังเคราะห์เองได้เนื่องจากกินสาหร่ายที่มีแหล่งของสารสีเป็นอาหาร (Dominguez et al., 2005) และก็ยังมีแหล่งของสารสีที่นำมาเพิ่มคุณภาพกล้ามเนื้อและสีที่สังเคราะห์ขึ้นและมีประสิทธิภาพคล้ายคลึงกับสารสีที่ได้จากธรรมชาติ คือ synthetic astaxanthin แหล่งของสารสีทั้งจากธรรมชาติและจากการสังเคราะห์นี้สามารถนำมาผสมเป็นส่วนประกอบในอาหารสัตว์น้ำ และจะทำให้เกิดผลในด้านต่างๆ เช่น การเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ, อัตราการรอดของสัตว์, การใช้ oxygen consumption rate ต่ำลง และที่สำคัญคือช่วยในการสร้างเม็ดสีในกล้ามเนื้อของสัตว์น้ำ เช่น การเพิ่มสีในเนื้อของปลา rainbow trout เพื่อให้มีสีชมพู เป็นการเพิ่มมูลค่าต่อการค้า

**การเสริมสารสีในอาหารสัตว์**

1. ระดับสารสาหร่ายเสริมในอาหารสัตว์น้ำ ในการเลี้ยงสัตว์น้ำในปัจจุบัน จะมีการเสริมสารสีเพื่อเพิ่มมูลค่าหรือคุณภาพสัตว์น้ำ โดยจะมีการผสมสาร astaxanthin ในอาหารเพื่อนำไปเลี้ยงสัตว์น้ำ เพื่อเพิ่มเม็ดสี เช่นในการศึกษาก่อนได้ทำการทดสอบในปลา rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* ระยะ juvenile (Sommer et al., 1992) โดยการใช้สาหร่ายสีเขียว *Haematococcus pluvialis* ผสมในอาหารที่ใช้เลี้ยงปลา หลังจากนั้นก็ได้มีการศึกษาต่อในวิธีการเดียวกันนี้แต่เป็นปลา rainbow trout ในระยะ adult โดยผลที่ออกมาคือมีการตายของปลาเพียงเล็กน้อย แต่ผลทางด้านการเจริญเติบโตพบว่ามีความแตกต่างระหว่าง final mean weight ของปลา trout ในแต่ละกลุ่มที่ได้รับระดับของสารสีจากสาหร่ายต่างกัน โดยจะเห็นว่าปลาในกลุ่มที่ไม่ได้รับหรือรับอาหารเสริมสารสีในปริมาณน้อยจะมี final mean weight ต่ำดังตารางที่ 1ส่วนการสร้างเม็ดสีในเนื้อปลา trout นั้นเป็นผลมาจาก carotenoid คือระดับ total carotenoid จะเพิ่มขึ้นตลอดเวลาในการทำการทดลองในทุก treatment ซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารสีจากสาหร่ายที่ผสมในอาหารที่ใช้เลี้ยงปลาดังภาพที่ 1
อัตราการเพิ่มขึ้นของสารสีจากปลาในกลุ่มที่ได้รับ carophyll pink เป็นอาหารจะสูงขึ้นกว่าในกลุ่มที่ได้รับสารสีจากสาหร่าย โดยระดับ astaxanthin ที่เกิดขึ้นในเนื้อปลาในแต่ละ treatment ที่ได้รับจะมีความแตกต่างจากระดับ canthaxanthin ดังภาพที่ 2 และภาพที่ 3 ระดับ

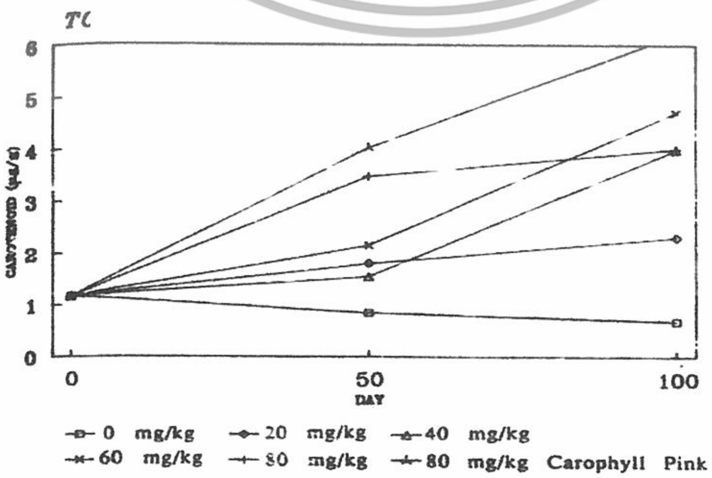
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

canthaxanthin จะลดลงในทุก treatment ตลอดระยะเวลาการทดลอง สำหรับการวิเคราะห์สารสีในวันที่ 100 แสดงให้เห็นว่า treatment ที่ได้รับสาหร่ายจะมีระดับ adoniburin สูงกว่าในกลุ่ม control หรือกลุ่มที่ได้รับ carophyll pink ดังตารางที่ 2 สำหรับการเกิดสีในเนื้อปลา (flesh color)พบว่าไม่มีความแตกต่างในแต่ละ treatment ตลอดระยะเวลาในการทำการทดลองดังภาพที่ 4 ส่วนการสร้างเม็ดสีในผิวหนังของปลา (pigmentation of trout skin) พบว่าระดับ total carotenoid ในผิวเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ carotenoid จากสาหร่ายที่ให้เป็นอาหารเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 3 แต่ก็ไม่มีความแตกต่างของระดับความเข้มข้นของ total carotenoid ที่ทำการวัดวันที่ 100 ในกลุ่มของปลาที่ให้อาหารผสมสาหร่ายกับ astaxanthin สังเคราะห์ จะเห็นว่าจากผลการทดลองการให้อาหารผสมสารสีทั้งจากธรรมชาติและจากการสังเคราะห์ มีแนวโน้มในด้านการเจริญเติบโตของปลาไปในทิศทางเดียวกัน และการเสริมสารสีจากสาหร่ายไม่มีผลต่อการรอดชีวิต และการให้ astaxanthin สังเคราะห์นั้นให้ระดับ total carotenoid กับ astaxanthin สูงกว่าจากการได้จากสาหร่าย (Sommer et al., 1992)

**ตารางที่** 7 น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นและสุดท้ายของปลา trout (กรัม) โดยเกี่ยวข้องกับ weight gain

| | Carotenoid source | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Algal (mg/kg) | | | | | Carophyll Pink |
| | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | (mg/kg) 80 |
| Day 0[1] | 118.90 | 191.60 | 195.60 | 196.10 | 191.40 | 200.40 |
| | (34.49) | (34.98) | (35.71) | (35.80) | (34.94) | (36.59) |
| Day 100[1,2] | 367.81[a] | 363.31[a] | 415.28[bc] | 426.25[bc] | 394.27[ab] | 445.40[c] |
| | (8.14) | (16.77) | (14.76) | (8.85) | (15.64) | (13.84) |
| Weight gain[3] | 94.7 | 89.60 | 112.30 | 117.40 | 106.00 | 122.30 |

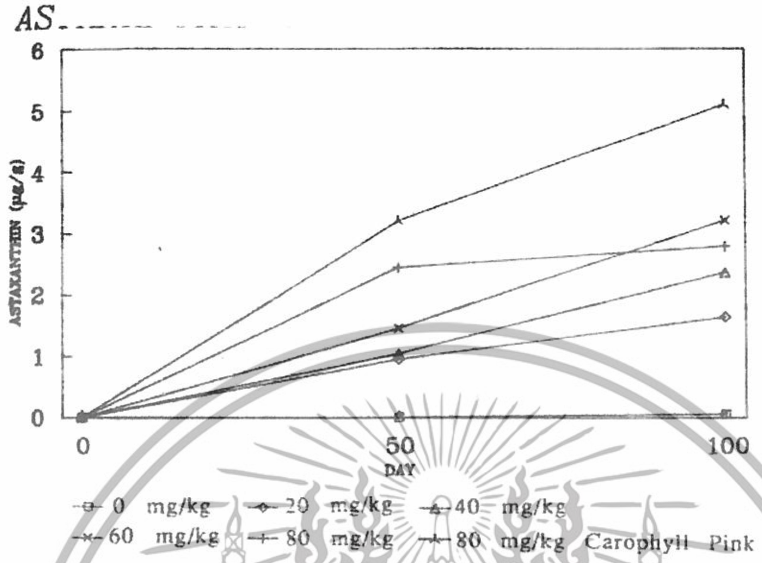
**ที่มา** : Sommer et al.(1992)




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

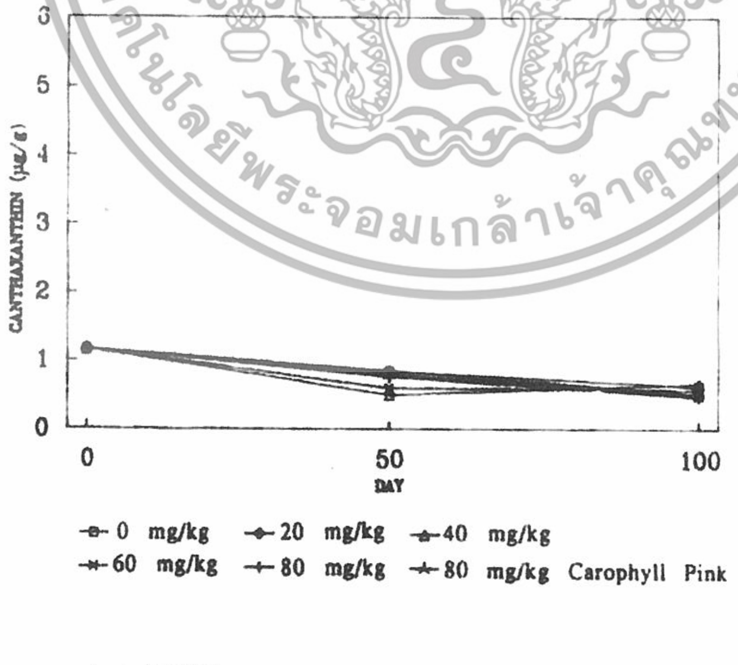
**ภาพที่** 5 ระดับ mean total carotenoid ในเนื้อปลา trout ในแต่ละระดับของสารสีจากสาหร่าย

**ที่มา** : Sommer et al.(1992)




**ภาพที่** 6 ระดับ mean astaxanthin ในเนื้อปลา trout ในแต่ละระดับของสารสีจากสาหร่าย

**ที่มา** : Sommer et al.(1992)




**ที่มา** : Sommer et al. (1992)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

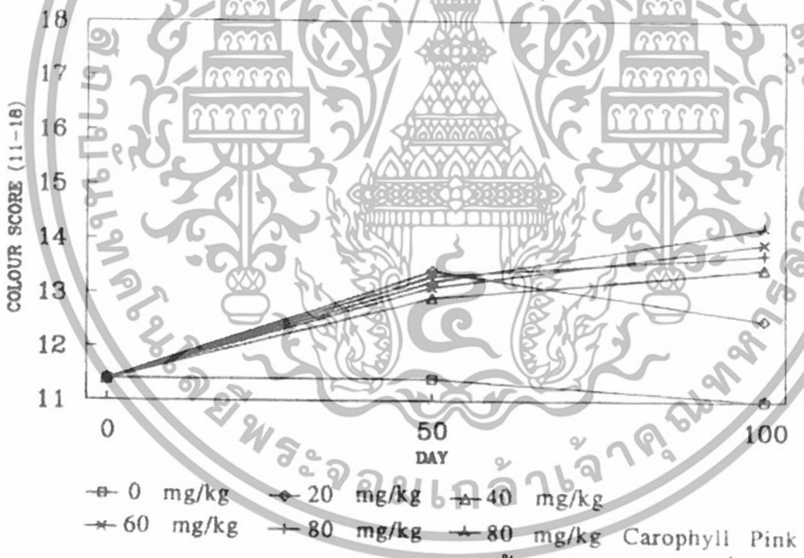
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 8** ระดับ mean adoniburin (ug/g) ในเนื้อปลา trout ในวันที่ 100

| | Carotenoid source | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Algal (mg/kg) | | | | Carophyll Pink |
| | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | (mg/kg) 80 |
| Adonirubin | 0.00[a] | 0.15[b] | 0.24[c] | 0.30[d] | 0.27[cd] | 0.03[a] |
| Level[1,2] | (0.00) | (0.02) | (0.03) | (0.02) | (0.03) | (0.01) |

**ที่มา** : Sommer et al.(1992)

**ภาพที่** 7 ระดับ mean canthaxanthin ในเนื้อปลา trout ในแต่ละระดับของสารสีจากสาหร่าย




**ตารางที่ 9** ระดับ mean toyal carotenoid (ug/g)ในเนื้อปลา trout ในวันที่ 100

| | Carotenoid source | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Algal (mg/kg) | | | | Carophyll Pink |
| | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | (mg/kg) 80 |
| Carotenoid | 2.09[a] | 9.67[b] | 10.08[b] | 11.72[bc] | 16.70[d] | 15.63[cd] |
| Level[1,2] | (0.25) | (0.57) | (2.04) | (1.17) | (1.92) | (1.67) |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ที่มา** : Sommer et al. (1992)

2. เปรียบเทียบแหล่งของสารสี มีการทำการทดลองในกุ้ง Kruma prawn, *Marsupenaeus japonicus* (Chien and Shiau., 2005) เพื่อเปรียบเทียบผลจากการให้อาหารเสริมสารสีจากธรรมชาติ คือ *H. pluvialis* (H) และ non-astaxanthin จาก *S. pacifica* (S) และสารสีจากการสังเคราะห์ คือ carophyll pink (A) เสริมในอาหารที่ระดับ 50 (I) และ 100 (II) mg $kg^{-1}$ และสารสี astaxanthin จาก *H. pluvialis* รวมกับ *S. pacifica* ในระดับ 50+50 mg $kg^{-1}$ เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมได้ผลดังตารางที่ 4 และเมื่อทำการเปรียบเทียบโดย orthogonal contrast ก็จะมีผลดังตารางที่ 5 แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบกันในด้าน weight พบว่าไม่มีความแตกต่าง สำหรับผลในด้าน body astaxanthin content พบว่า astaxanthin ในเนื้อกุ้งในกลุ่มควบคุมน้อยกว่าในกลุ่มอื่นยกเว้นกุ้งในกลุ่มที่ได้รับ SI เป็นอาหาร astaxanthin ในเนื้อกุ้ง ( flesh astaxanthin) กลุ่มที่กิน SI น้อยกว่ากลุ่มที่กิน HII, AII และHS โดยรวมแล้วastaxanthin ในเนื้อกุ้งและในเปลือกในกลุ่มที่ได้รับในระดับ 50 mg $kg^{-1}$ จะน้อยกว่าในกลุ่มที่ได้รับ 100 mg $kg^{-1}$ นอกจากนี้ในการทดสอบผลด้าน dissolve oxygen stress กุ้งในกลุ่มควบคุมมีการใช้ oxygen consumption (OCR) ที่สูงและมีเวลาในการรอดชีวิตน้อยกว่าในกลุ่มอื่นดังตารางที่ 6 และ 7 (Chien and Shiau., 2005)

และยังมีการทำการทดลองในปลา rainbow trout, Oncorhynchus mykiss เปรียบเทียบระหว่างสารสีจากสาหร่าย Haematococcus pluvialis กับ astaxanthin และ canthaxanthin สังเคราะห์ โดยพบว่าเมื่อวัดผลของ carotenoid concentration ในเนื้อปลา trout ปลาที่กินสาหร่ายจะมีปริมาณ carotenoid concentration 6.2 mg/kg, ปลาที่กิน carotenoid สองชนิดผสมกัน จะมี carotenoid concentration 12.7 mg/kg และปลาที่กิน astaxanthin กับ canthaxanthin สังเคราะห์จะมี carotenoid concentration 10.1 mg/kg ดังภาพที่ 5 (Choubert and Heinrich., 1993)

**ตารางที่** 10 ค่าเฉลี่ยของอัตราการรอดชีวิต, weight และ body astaxanthin ของกุ้ง kuruma prawn ที่กินอาหารผสม carotenoid ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันเป็นเวลา 9 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| Carotenoid source | None | *Haematococcus pluvialis* (H) | | *Spirulina pacifica* (S) | | Carophyll Pink | | 1/2(H+S) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Diet carotenoid (mg $kg^{-1}$) | 0 | 50 | 100 | 50 | 100 | 50 | 100 | 100 |
| Treatment notation | C | HI | HII | SI | SII | AI | AII | HS |
| Survival rate (%) | $37^{b}$ (1) | $51^{a}$ (7) | $51^{a}$ (7) | $57^{a}$ (8) | $51^{a}$ (14) | $55^{a}$ (5) | $53^{a}$ (4) | $58^{a}$ (1) |
| Initial weight (g) | 0.42 (0.02) | 0.42 (0.02) | 0.39 (0.01) | 0.41 (0.02) | 0.38 (0.01) | 0.38 (0.01) | 0.38 (0.01) | 0.42 (0.02) |
| Final weight (g) | 1.18 (0.14) | 1.32 (0.19) | 1.36 (0.12) | 1.24 (0.08) | 1.14 (0.08) | 1.19 (0.07) | 1.30 (0.18) | 1.31 (0.10) |
| Weight gain (%) | 281 (50) | 314 (86) | 348 (35) | 301 (69) | 300 (19) | 312 (14) | 342 (83) | 310 (27) |
| Body astaxanthin (mg $kg^{-1}$)$^{2}$ | | | | | | | | |
| Flesh | $55^{c}$ (20) | $128^{ab}$ (53) | $179^{a}$ (23) | $103^{bc}$ (12) | $174^{ab}$ (65) | $157^{ab}$ (24) | $199^{a}$ (17) | $199^{a}$ (55) |
| Shell | $122^{d}$ (27) | $400^{bc}$ (72) | $583^{a}$ (88) | $335^{c}$ (41) | $523^{ab}$ (37) | $472^{abc}$ (93) | $610^{a}$ (72) | $568^{a}$ (144) |

**ที่มา** : Chien and Shiau. (2005)

**ตารางที่ 11** การเปรียบเทียบแบบ orthogonal contrast ใน body astaxanthin, weight และอัตราการรอดชีวิตของกุ้ง kuruma prawn ที่กินอาหารผสม carotenoid ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน เป็นเวลา 9 สัปดาห์

| Contrast | Body astaxanthin (mg $kg^{-1}$) | | Weight gain (%) | Survival rate (%) |
|---|---|---|---|---|
| | Flesh | Shell | | |
| (1) Control (C) vs. pigmented (HI, SI, AI, HII, SII, AII, HS) | 55 vs.163** | 122 vs. 499** | 281 vs. 319 | 37 vs. 54* |
| (2) 50 mg $kg^{-1}$ (HI, SI, AI) vs. 100 mg $kg^{-1}$ (HII, SII, AII, HS) | 129 vs. 188** | 402 vs. 571 ** | 309 vs. 325 | 54 vs. 53 |
| (3) 50 mg $kg^{-1}$: natural (HI, SI) vs. synthetic (AI) | 116 vs. 157 | 367 vs. 472 | 308 vs. 312 | 54 vs. 55 |
| (4) Natural: *Haematococcus* (HI) vs. *Spirulina* (SI) | 128 vs. 103 | 400 vs. 335 | 314 vs. 301 | 51 vs. 57 |
| (5) 100 mg $kg^{-1}$: natural (HII, SII, HS) vs. synthetic (AII) | 184 vs. 199 | 558 vs. 610 | 319 vs. 342 | 53 vs. 53 |
| (6) Natural: single (HII, SII) vs. mixture (HS) | 177 vs. 199 | 553 vs. 568 | 324 vs. 342 | 51 vs.58 |
| (7) Single: *Haematococcus* (HII) vs. *Spirulina* (SII) | 179 vs. 174 | 583 vs. 523 | 348 vs. 300 | 51 vs. 51 |

**ที่มา**: Chien and Shiau. (2005)

**ตารางที่ 12** ค่าเฉลี่ยของ body astaxanthin ของกุ้ง kuruma prawn ที่กินอาหารผสม carotenoid

จากแหล่งต่างๆ ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน เป็นเวลา 11 สัปดาห์ และอัตราการใช้ ออกซิเจน และเวลาที่รอดชีวิตภายใต้ dissolved oxygen depletion stress

| Carotenoid source | None | *Haematococcus pluvialis* (H) | | *Spirulina pacifica* (S) | | Carophyll Pink | | 1/2 (H+S) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Diet carotenoid (mg $kg^{-1}$) | 0 | 50 | 100 | 50 | 100 | 50 | 100 | 100 |
| Treatment notation | C | HI | HII | SI | SII | AI | AII | HS |
| Weight (g) | 1.7 (0.2) | 1.7 (0.2) | 1.6 (0.3) | 1.6 (0.1) | 1.6 (0.2) | 1.6 (0.2) | 1.7 (0.2) | 1.7 (0.3) |
| Body astaxanthin (mg $kg^{-1}$)$^{2}$ | | | | | | | | |
| Flesh | $50^{b}$ (24) | $210^{a}$ (27) | $204^{a}$ (61) | $197^{a}$ (41) | $219^{a}$ (61) | $216^{a}$ (58) | $241^{a}$ (62) | $204^{a}$ (68) |
| Shell | $118^{d}$ (37) | $555^{bc}$ (120) | $834^{ab}$ (177) | $488^{c}$ (50) | $620^{bc}$ (93) | $610^{bc}$ (86) | $949^{a}$ (107) | $608^{bc}$ (155) |
| $O_2$ consumption ($10^{-4}$ mg $g^{-1}$ $min^{-1}$) | $18^{a}$ (6) | $6^{b}$ (3) | $8^{b}$ (2) | $9^{b}$ (5) | $8^{b}$ (3) | $9^{b}$ (4) | $7^{b}$ (2) | $7^{b}$ (2) |
| Survival time (min) | $62^{b}$ (11) | $99^{a}$ (12) | $85^{a}$ (20) | $85^{a}$ (14) | $88^{a}$ (13) | $90^{a}$ (9) | $93^{a}$ (15) | $83^{a}$ (11) |

**ที่มา**: Chien and Shiau. (2005)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 13** การเปรียบเทียบแบบ orthogonal contrast ใน body astaxanthin ที่กินอาหารผสม Carotenoid ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน เป็นเวลา 11 สัปดาห์ และอัตราการใช้ ออกซิเจน และเวลาที่รอดชีวิตภายใต้ dissolved oxygen depletion stress

| Contrast | Body astaxanthin (mg kg$^{-1}$) | | $O_2$ consumption rate ($10^{-4}$ mg g$^{-1}$ min$^{-1}$) | Survival time (min) |
|---|---|---|---|---|
| | Flesh | Shell | | |
| (1) Control (C) vs. Pigmented (HI, SI, AI, HII, SII, AII, HS) | 50 vs.213** | 118 vs. 666** | 18 vs. 8** | 62 vs. 91** |
| (2) 50 mg kg$^{-1}$ (HI, SI, AI) vs. 100 mg kg$^{-1}$ (HII, SII, AII, HS) | 208 vs. 217 | 551 vs. 753** | 8 vs. 8 | 92 vs. 90 |
| (3) 50 mg kg$^{-1}$: natural (HI, SI) vs. synthetic (AI) | 203 vs. 216 | 522 vs. 610 | 7 vs. 9 | 92 vs. 90 |
| (4) Natural: *Haematococcus* (HI) vs. *Spirulina* (SI) | 210 vs. 197 | 555 vs. 488 | 6 vs. 9 | 99 vs. 85 |
| (5) 100 mg kg$^{-1}$: natural (HII, SII, HS) vs. synthetic (AII) | 209 vs. 241 | 687 vs. 949** | 8 vs. 7 | 89 vs. 93 |
| (6) Natural: single (HII, SII) vs. mixture (HS) | 211 vs. 204 | 727 vs. 608 | 8 vs. 7 | 92 vs.83 |
| (7) Single: *Haematococcus* (HII) vs. *Spirulina* (SII) | 204 vs. 219 | 834 vs. 620 | 8 vs. 8 | 95 vs. 88 |

**ที่มา**: Chien and Shiau. (2005)

**ภาพที่** 7 total carotenoid concentration (mg/kg) ของปลา trout C=ปลาที่กินอาหารควบคุม, A=ปลาที่กินอาหารควบคุมและสาหร่าย, M=ปลาที่กินอาหารควบคุมและ astaxanthin ผสม canthaxanthin, SA=ปลาที่กินอาหารควบคุมและ astaxanthin สังเคราะห์ และ SC=ปลาที่กินอาหารควบคุมและ canthaxanthin สังเคราะห์

**ที่มา** : Choubert and heinrich. (1993)

3. ประสิทธิภาพของการสร้างเม็ดสีจาการให้ astaxanthin เป็นอาหาร มีการศึกษาผลของประเภทอาหารที่แตกต่างกัน 2 ประเภทคือ 1. น้ำมัน (fish oil (FI) และ olive oil (OL)) ต่อประสิทธิภาพของ astaxanthin ที่ได้จากสาหร่าย *H. pluvialis* (ALG) และ2. จาก astaxanthin สังเคราะห์ (AST) ในปลา rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* ทำการทดลอง 6 สัปดาห์ (Choubert et al., 2006) โดยผลที่ได้เป็นดังนี้ fish oil ส่วนประกอบดังตารางที่ 8 ปริมาณสารสีจาก carotenoid ของสาหร่าย *H. pluvialis* คือ 32 mg kg$^{-1}$ในน้ำหนักแห้ง โดยคิดเป็น astaxanthin ได้ 98.6 % ผลทางด้าน serum astaxanthin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

concentration ของปลา trout ที่กิน astaxanthin และแหล่งน้ำมันที่แตกต่างกันดังตารางที่ 9 โดยปลาที่กิน ASTมี astaxanthin serum concentration สูงกว่าปลาที่กิน ALG นอกจากนี้ปลาที่กินอาหารที่มี OL จะมี astaxanthin serum concentration สูงกว่าปลาที่กิน FI ในปลาที่กิน ASTOL จะมีระดับของ serum astaxanthin สูงที่สุดในขณะที่ปลาที่กิน ALGOL มีระดับของ serum astaxanthin ต่ำที่สุด พารามิเตอร์ทางด้านสีของกล้ามเนื้อปลาที่กินอาหารแตกต่างกันในการทดลองแสดงดังตารางที่ 10 ผลทางด้าน muscle astaxanthin concentration ดังภาพที่ 6 คือ muscle astaxanthin concentration ในปลาที่กิน astaxanthin สาหร่ายจะต่ำกว่าปลาที่กิน astaxanthin lสังเคราะห์ และผลทางด้าน astaxanthin retention ในกล้ามเนื้อของปลา rainbow trout ที่กินอาหารแตกต่างกันดังตารางที่ 11 พบว่าเมื่อจบสัปดาห์ที่สองที่ทำการทดลอง ปลาที่กิน ASTOL จะมี muscle astaxanthin retention สูงกว่าปลาที่กิน ASTFI และเมื่อคำนวณปริมาณ muscle astaxanthin retention หลังจากสี่สัปดาห์หรือหกสัปดาห์แล้วพบว่ามีปริมาณน้อยกว่าสองสัปดาห์แรก และในปลาที่กิน astaxanthin สังเคราะห์จะมี muscle astaxanthin retention สูงกว่าปลาที่กินสาหร่าย (Choubert et al., 2006)

**ตารางที่ 14** ส่วนประกอบของกรดไขมันในน้ำมัน (% by wt of total fatty acid)

| Fatty acid | Fish oil | Olive oil |
|---|---|---|
| 12:0 | 0.2 | 0 |
| 14:0 | 15.4 | 0 |
| 14:1 | 0.2 | 0 |
| 15:0 | 0.7 | 0 |
| 16:0 | 19.7 | 14.3 |
| 16:1 | 9.4 | 1.3 |
| 16:2n-7 | 0.4 | 0 |
| 16:2n-4 | 1.0 | 0 |
| 16:2n-1 | 0.3 | 0 |
| 17:0 | 0.2 | 0 |
| 17:1 | 0.3 | 0 |
| 18:0 | 1.3 | 0 |
| 18:1 | 16.1 | 75.2 |
| 18:2n-6 | 1.8 | 4.5 |
| 18:3 | 0.3 | 0 |
| 18:3n-3 | 1.1 | 0.6 |
| 18:4 | 3.1 | 0 |
| 20:0 | 0.1 | 3.4 |
| 20:1 | 8.1 | 0.2 |
| 20:2 | .1 | 0 |
| 20:4 | 0.2 | 0 |
| 20:5 | 4.7 | 0 |
| 22:1 | 7.4 | 0 |
| 22:5 | .2 | 0 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|---|---|---|
| 22:6n-3 | 3.5 | 0 |
| SFA(2) | 37.6 | 17.7 |
| MUFA(3) | 41.5 | 76.7 |
| PUFAn-6(4) | 4.1 | 4.5 |
| PUFAn-3 | 13.2 | 0.6 |
| SFA/Pufa | 2.2 | 3.5 |
| PUFAn-3/n-6 | 3.2 | 0.1 |

**ที่มา** : Choubert et al. (2006)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# อุปกรณ์ และวิธีการ

**1.การผสมอาหาร**

**วัสดุและอุปกรณ์**

1. สาหร่าย *Spirulina* sp. อบแห้งสำเร็จรูป
2. เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง
3. อาหารเลี้ยงกบเม็ดเล็ก ( High grade 9961 )
4. ฟลาสขนาด 150 มิลลิลิตร
5. กระบอกฉีดน้ำ

คำนวณปริมาณสาหร่ายแห้งและอาหารที่ต้องใช้ในแต่ละครั้ง จากนั้นนำอาหารมาใส่ลงในฟลาส พรมน้ำเล็กน้อยให้อาหารเปียกทั่วกัน เขย่าฟลาสเพื่อไม่ให้อาหารติดที่ก้นฟลาส จากนั้นเทสาหร่ายที่ชั่งไว้ผสมกับอาหารที่อยู่บนฟลาส เขย่าให้สาหร่ายติดบนผิวของอาหารจนทั่ว ผึ่งให้แห้งสักพักหนึ่ง แล้วจึงนำไปเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นก่อนนำไปใช้

1. **การเลี้ยงและการจัดการ**

   **วัสดุและอุปกรณ์**

   1. ลูกพันธุ์ปลาหมอสี *Pseudotropheus lombardoi* จากพ่อ-แม่พันธุ์เดียวกัน
   2. ตู้ปลาขนาด 12” x 24” x 18” (24”)
   3. เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง
   4. ไม้บรรทัด

**วิธีการ**

นำปลาหมอสี (*Pseudotropheus lombardoi*) จำนวน 120 ตัว เลี้ยงในตู้กระจกขนาด 12” x 24” x 18” น้ำสูง 15” 4 ตู้ ตู้ละ 30 ตัว ทำการชั่งน้ำหนักปลาในแต่ละตู้ก่อนเริ่มการทดลองและทุก ๆ 2 สัปดาห์ตลอดการทดลอง (11 สัปดาห์) ให้อาหาร 5% ของน้ำหนักตัวปลา โดยอาหารที่ให้เป็นอาหารผสมสาหร่าย 5%, 10%, 15% และกลุ่มควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ไม่ผสมสาหร่าย) แก่ปลาในตู้ 1 ,2, 3 และควบคุม ตามลำดับ ทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำ 90% ทุกๆ 7 วัน ในเดือนแรก หลังจากนั้นให้เปลี่ยนถ่ายน้ำทุกๆ 3 วัน

การชั่งน้ำหนักปลาในแต่ละครั้ง (ยกเว้นครั้งสุดท้าย) ให้ทำการชั่งปลาครั้งละ 6 ตัว แต่การชั่งน้ำหนักในสัปดาห์สุดท้ายให้ชั่งน้ำหนักปลาแต่ละตัวพร้อมวัดค่าความยาวทั้งหมด (TL) ของปลาด้วย โดยค่าการเจริญเติบโตทั้งหมดจะนำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่า

2.1 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวัน (Diary Weight Gain, DWG : กรัม/วัน)

$$DWG = \frac{\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)}}{\text{ระยะเวลาที่เลี้ยง (วัน)}}$$

2.2 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed Conversion Ratio, FCR)

$$FCR = \frac{\text{ปริมาณอาหารที่กิน}}{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น}}$$

2.3 ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (Protein Efficiency Ratio, PER)

$$PER = \frac{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น}}{\text{ปริมาณโปรตีนที่ปลากิน}}$$

2.4 อัตรารอด (Survival rate)

$$\text{อัตรารอด} = \frac{\text{จำนวนปลาที่เหลือรอด}}{\text{จำนวนปลาที่ปล่อยเลี้ยง}} \times 100$$

2.5 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific Growth Rate : SGR, %/วัน)

$$SGR = \frac{\text{ln น.น.ปลาเมื่อสิ้นสุด} - \text{ln น.น.ปลาเมื่อเริ่ม} \times 100}{\text{ระยะเวลา (วัน)}}$$

**3. การวัดค่าสีของปลา**

**วิธีการ**

สุ่มปลาหมอสี (*Pseudotropheus lombardoi*) ในแต่ละกลุ่มทดลอง คือ กลุ่มที่ให้กินอาหารผสมสาหร่าย *Nostoc commune* สด 0%,5%,10% และ15% มากลุ่มละ 5 ตัว ใส่ในตู้ขนาด 7 x 10 x 7 นิ้ว พักไว้ในบริเวณที่มีตัวแปรทางกายภาพที่เหมือนกันประมาณ 3 ชั่วโมง จากนั้นจึงทำแบบสอบถามการให้คะแนนสีของปลาจำนวน 30 คนโดยให้เทียบเคียงกันระหว่างแต่ละกลุ่ม แล้วจึงนำคะแนนเหล่านั้นมาวิเคราะห์ทางสถิติ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบให้คะแนนสีปลาจะมี 4 ระดับคะแนน โดย 1 คือ ความเด่นชัดของสีน้อย, 2 คือ ความเด่นชัดของสีปานกลาง, 3 คือ ความเด่นชัดของสีมาก และ 4 คือ ความเด่นชัดของสีมากที่สุด

**4. การทดสอบภูมิคุ้มกัน**

**วัสดุและอุปกรณ์**

1. เชื้อ *Aeromonas hydrophila* จากภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง
2. อาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient broth (NB)
3. วุ้น
4. น้ำเกลือ
5. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge)
6. เครื่องวัดแสง (Spectrophotometer)
7. Shaking incubator
8. Vortex Mixture
9. ตู้บ่มเชื้อ (incubator)
10. ตู้อบฆ่าเชื้อ (Hot Air Oven)
11. Laminar Flow
12. เครื่องนึ่งความดันไอ (Autoclave)
13. จานเขี่ยเชื้อ (Plate)
14. หลอดทดลอง (tube)
15. เข็มเขี่ยเชื้อ
16. แท่งแก้วสำหรับ Spread plate

**วิธีการ**

5.1 การทำกราฟมาตรฐาน (Standard curve) ของเชื้อ *Aeromonas hydrophila*

5.1.1 นำเชื้อแบคทีเรีย *Aeromonas hydrophila* เลี้ยงในอาหารเหลว (Nutrient broth) ในฟลาส 250 ml แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 32°C นาน 24 ชั่วโมง

5.1.2 นำสารละลายเชื้อแบคทีเรียไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3,000 รอบ นาน 15 นาที ที่อุณหภูมิ 4 °C

5.1.3 เทอาหารส่วนบนทิ้งแล้วล้างด้วยน้ำเกลือ 0.85% จำนวน 2 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.4 เติมน้ำเกลือ 0.85% ลงในหลอด แล้วเขย่าด้วย Vortex mixture จากนั้นนำไปวัดค่า Optical Density (OD) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นแสง 540 nm

5.1.5 นำเชื้อแบคทีเรียที่ทราบค่า OD แล้วทำการกำหนดค่า OD ที่ระดับต่าง ๆ ด้วยสูตร $N_1V_1 = N_2V_2$ โดยใช้น้ำเกลือ 0.85% เป็นตัวเจือจาง

5.1.6 นำแบคทีเรียที่กำหนดค่า OD มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นแสง 540 nm

5.1.7 นำเชื้อแบคทีเรียที่วัดค่า OD ทุกระดับมาทำการเจือจางด้วยน้ำเกลือ 0.85% โดยใช้เทคนิค Ten flod dilution นำ 3 dilution สุดท้าย ทุกความเข้มข้นมาทำการ spread plate ที่ความเข้มข้นละ 2 ซ้ำ

5.1.8 Plate ที่ทำการ spread แล้ว ให้นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 32°C นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นให้นับจำนวนโคโลนีที่เกิด

5.1.9 นำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเซลล์ของแบคทีเรีย และค่า OD ที่ระดับต่าง ๆ

5.2 การทดสอบภูมิต้านทาน

นำเชื้อ *Aeromonas Hydrophila* ที่ได้จากห้องปฏิบัติการบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient Agar (NA) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จึงทำการถ่ายเชื้อลงในฟลาส 250 ml ที่มีในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว (NB) บ่มในเครื่องเขย่า 112 รอบ / นาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จึงนำมาทำการปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกเชื้อออกจากอาหารเลี้ยงเชื้อ ที่ความเร็ว 3000 รอบ / นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที และล้างอาหารออกให้หมดด้วยน้ำเกลือ 0.85% 2-3 ครั้ง จึงนำเชื้อที่ได้มาวัดค่า Optical density (O.D.) ที่ 540 นาโนเมตร นำไปเทียบค่าจากกราฟมาตรฐานของเชื้อ *Aeromonas Hydrophila* จากนั้นให้เจือจางเชื้อให้มีจำนวนเซลล์เท่ากับ $10^6$ CFUl/ml และ $10^7$ CFU/ml จากนั้นจึงนำปลาหมอสีในแต่ละกลุ่มการทดลอง (กลุ่มที่ให้กินอาหารผสมสาหร่าย *Nostoc commune* สด 5%,10%,15% และอาหารธรรมดา) สุ่มมากลุ่มละ 10 ตัวที่ $10^6$ CFU/ml ส่วน $10^7$ CFU/ml สุ่มากลุ่มละ 5 ตัว ทำการดึงเกล็ดในตำแหน่งเดียวกันทุกตัวมาแช่ลงในเชื้อเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จึงนำออกมาเลี้ยงตามปกติเป็นเวลา 7 วัน โดยระหว่างนี้ยังให้อาหารผสมสาหร่ายในแต่ละกลุ่มตามปกติ และสังเกต และจดบันทึกอาการรวมทั้งอัตรารอดของปลาในแต่ละกลุ่มทดลอง โดยจะมีการถ่ายน้ำทุก 2 วัน

## 6. การวิเคราะห์โปรตีนในอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**วัสดุและอุปกรณ์**

1. Conc. $H_2SO_4$
2. Catalyst mixture
3. NaOH 32%
4. สารละลายกรดบอริค 4%
5. Mix indicator
6. 0.1 N $H_2SO_4$
7. เครื่องย่อยหลายหน่วย (Kjeldatherm) พร้อมเครื่องดูดควัน
8. เครื่องกลั่น Vapodest 2
9. ฟลาสขนาด 250 มล.
10. หลอดย่อยขนาด 250 มล.
11. บิวเรต

**วิธีการ**

1. ชั่งตัวอย่างอาหารประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในหลอดย่อยขนาด 250 มล.
2. ใส่ Catalyst mixture 7 กรัม
3. ใส่กรดซัลฟุริคเข้มข้น 20 มล.นำไปย่อยบนเตาย่อย (โดยครั้งแรกใช้ไปอ่อน 250°C เป็นเวลา 15 นาที) แล้วจึงเร่งไฟให้มีความร้อนสูงขึ้นถึง 380-400°C จนได้สารละลายในหลอดเป็ฯสีฟ้าใส
4. ปิดสวิทซ์ไฟแล้วยกชุดหลอดย่อยวางไว้เหนือเตาย่อย ทิ้งไว้ให้เย็นในตู้ดูดควัน
5. เมื่อสารละลายเย็นดีแล้ว เติมน้ำกลั่น 40 มล. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำไปใส่ในที่สำหรับกลั่น
6. นำสารละลายกรดบอริค 4% ที่เตรียมไว้ใส่ในฟลาส 250 มล. ประมาณ 75 มล.
7. ใส่ Mix indicator 2-3 หยด นำไปวางต่อเข้ากับเครื่องกลั่น Vopodest 2 ให้ปลาย Condenser จุ่มลงในสารละลายกรดบอริคในฟลาส
8. ดำเนินการกลั่น ดังขั้นตอนต่อไปนี้
   8.1 เสียบปลั๊กเครื่องกลั่น Vopodest 2, เปิด Power Switch ไฟสีเขียวจะสว่างขึ้น
   8.2 เปิดน้ำเพื่อให้ไหลหล่อ Condenser ไฟตำแหน่ง Cooling สีเหลืองจะติด
   8.3 เลือกไอน้ำที่ใช้กลั่นโดยกดปุ่ม stream ไปที่ตำแหน่ง high

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.4 กดปุ่ม add NaOH จะเป็นการเติมด่างลงในหลอดย่อยที่ต้องการกลั่น เติมจนได้สารละลายเป็ฯสีน้ำเงินเข้ม

8.5 ดูไฟตำแหน่ง start ถ้าไฟติดแล้วให้กดปุ่ม start เพื่อเริ่มทำการกลั่น ไฟตำแหน่ง distillation สีเหลืองจะติด ให้ทำการกลั่นประมาณ 3 นาที (โดยดูให้สารละลายในฟลาสที่ใส่กรดบอริคไว้มีปริมาณเพิ่มขึ้น 175 มล. หรือทดสอบด้วย listmus สีแดง ถ้าไม่เปลี่ยนสี แสดงเก็บก๊าซหมดแล้ว

8.6 กดปุ่ม Stop เพื่อหยุดการกลั่น ลดฟลาสลง ชะปลายที่จุ่มอยู่ด้วยน้ำกลั่น

8.7 นำสารละลายในฟลาสไปไตเตรต ด้วยกรด $H_2SO_4$ 0.1 N จนเป็นกลาง (จุดยุติเป็นสีชมพู)

9. ทำ blank วิธีการเดียวกับที่กล่าวมาข้างต้น โดยไม่ต้องใส่ตัวอย่างอาหาร

10. คำนวณหาปริมาณโปรตีน

$$\% \text{ Crude protein} = \frac{1.4(V)N \times 6.25}{W}$$

V = ปริมาตรของ $H_2SO_4$ 0.1 N ที่ใช้ไตเตรต

N = ความเข้มข้นเป็น Normal ของ $H_2SO_4$

W = ตัวอย่างน้ำหนักอาหาร

**การวิเคราะห์ข้อมูล**

เปรียบเทียบทางสถิติโดยวิธี Duacan โดยใช้โปรแกรม SPSS v.10.0

**สถานที่ทำการทดลอง**

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

**ระยะเวลาในการทดลอง**

เริ่มการทดลองเดือน สิงหาคม 2548 – กุมภาพันธ์ 2549

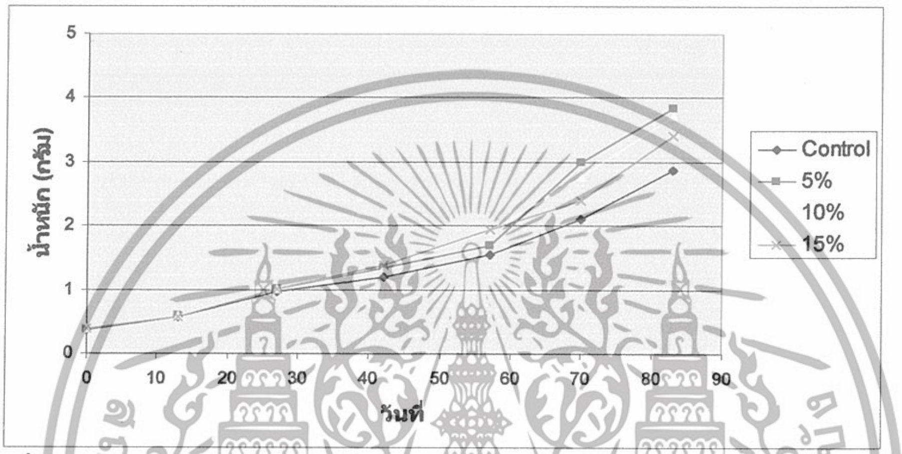
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ผลการทดลองและวิจารณ์

## การเจริญเติบโต

ตลอดการทดลอง 84 วัน ได้มีการทำการชั่งน้ำหนักของปลาหมอสี *Pseudotropheus lombardoi* ในทุกๆ 2 สัปดาห์ (14 วัน) เพื่อวัดการเจริญเติบโต พบว่าในกลุ่มควบคุมมีการเจริญเติบโตน้อยที่สุด และในกลุ่มที่มีการให้สาหร่าย *Spirulina* แห้ง 5%ของอาหาร พบการเจริญเติบโตมากที่สุด (ภาพที่ 8)




ภาพที่ 8 น้ำหนัก (กรัม) ของปลาหมอสี *Pseudotropheus lombardoi* ที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสาหร่ายในระดับที่แตกต่างกัน

หลังจาก 83 วันของการทดลอง ปลาหมอสี *Pseudotropheus lombardoi* จะถูกชั่งน้ำหนักเพื่อวัดการเจริญเติบโต (ตารางที่ 14) และถูกชั่งน้ำหนักในทุกๆ 2 สัปดาห์ ตลอด 83 วันของการทดลองปลาหมอสีที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสาหร่าย 5% มีน้ำหนักเฉลี่ย (กรัมต่อตัว)ในวันสุดท้ายมากที่สุด เฉลี่ย 3.83 ± 0.16 ส่วนในกลุ่มควบคุม, สาหร่าย 5% และสาหร่าย 15% มีน้ำหนักเฉลี่ย 2.86 ± 0.14 , 3.83 ± 0.16 และ3.41 ± 0.17 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าปลาหมอสีที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสาหร่าย 5% มีน้ำหนักเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มควบคุมและสาหร่าย15%แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มสาหร่าย 10% และกลุ่มควบคุมความยาวที่ทำการวัดในวันที่ 83 ของการทดลอง ก็ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (*$p<0.05$*) ระหว่างหน่วยทดลองที่มีการให้สาหร่ายเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยกลุ่มที่มีการให้สาหร่าย 5% พบความยาว ท้ายน้อยที่สุด (5.68 ± 0.12) และในกลุ่มส่าหร่าย10% มีความยาวมากที่สุด (6.38 ± 0.20) เช่นเดียวกันในความยาวครั้งสุดท้ายคล้ายกัน 15%มีความยาว 6.00 ± 0.14และกลุ่มควบคุมมีความยาว 6.04 ± 0.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า การเจริญเติบโตที่ไม่แตกต่างกันของกลุ่มควบคุมที่ไม่มีการให้สาหร่ายกับกลุ่มที่มีการให้สาหร่าย *Spirulina plantensis* เป็นผลเนื่องจากปริมาณของสารอาหารที่มีอยู่ในอาหารที่ใช้เลี้ยงนั้น เพียงพอกับการใช้ในการเติบโตของปลาหมอสี สารอาหารที่ได้เพิ่มมาจากสาหร่าย *S. plantensis* นั้น มีส่วนช่วยในการเจริญเติบโตของปลาหมอสี *Pseudotropheus lombardoi* น้อยมาก อีกทั้งปริมาณของโปรตีนที่ได้จาอาหารที่ให้ มีเพียงพอกับความต้องการของปลาหมอสีที่เป็นปลากินทั้งพืชและสัตว์ (Omnivorous) แล้ว ในอาหารที่มีการเพิ่มสาหร่าย *S. plantensis* เข้าไปนั้นมีการเพิ่มขึ้นของโปรตีนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

เช่นเดียวกับในการทดลองใน กุ้ง kuruma prawn , *Marsupenaeus japonica* Bateที่มีการใช้สาหร่าย *Haematococcus pluvialis* สด และสาหร่าย *Spirulina pacifica* สด กับ Carophyll Pink (สารสีสังเคราะห์) ที่สองระดับความเข้มข้น คือ ที่ 50 และ 100 mg $kg^{-1}$ และที่ 50 mg $kg^{-1}$ *Haematococcus pluvialis* ผสมกับ 50 mg $kg^{-1}$ *Spirulina pacifica* รวมเป็น 7 หน่วยทดลอง เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่มีการเสริมคาโรทีนอยด์ ทำการทดสอบเป็นเวลา 9 สัปดาห์ ก็ไม่พบความแตกต่างของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นระหว่างกลุ่มที่มีการให้สาหร่ายกับกลุ่มควบคุมที่ไม่มีการให้สาหร่าย (Chien and Shiau, 2005)

และในการทดลองของ Kalinowski *et al.* (2005) ที่กระทำในปลา red porgy (*Porgrus pogrus*) โดยใช้อาหารที่มีการเสริม astaxanthin จาก Naturose™ (สารสีจากสาหร่าย *Haematococcus pluvialis*) เปรียบเทียบกับอาหารที่มีการเสริม เบตา - คาโรทีน และ lycopene ที่ระดับ 100 ppm และอาหารที่ไม่มีการเสริมสารสีใดๆ เป็นเวลา 10 สัปดาห์ ก็ไม่พบความแตกต่างกันในการเจริญเติบโตในทุกกลุ่มการทดลอง

จากการศึกษาของ Nandeesha *et al.* (2001) พบว่าเมื่อเลี้ยงปลา catla และ rohu ด้วยสูตรอาหารที่ต่างกันคือ ผสมสาหร่าย *Spirulina platensis* แห้ง 25%, 50%, 75% และ 100% ได้ผลว่า ในปลา catla เมื่อได้รับอาหารผสมในระดับต่าง ๆ กันนั้น การเจริญเติบโตไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งแตกต่างกับใน rohu ที่ได้รับอาหารผสม 50%, 75% และ 100% มีการเจริญเติบโตที่ดีกว่า อาหารผสม 25% และอาหารที่ไม่ได้ผสม *S. platensis* ค่าประสิทธภาพในการนำโปรตีนไปใช้ (PER) ของ catla ไม่แตกต่างกันในแต่ละกลุ่มทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ใน rohu จะมีค่าที่ต่ำเมื่อมีการผสมในระดับที่สูง อัตราการเจริญเติบโตของ catla และ rohu นั้นไม่ได้มีผลในทางลดตรงข้ามที่ทุกระดับของ *Spirilna* แสดงให้เห็นว่าสามารถที่จะใช้ *Spirulina platensis* เพื่อที่จะทดแทนการผสมอาหารด้วย fishmeal ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 15** แสดง น้ำหนัก(กรัม/ตัว) และความยาว(ซม./ตัว) ของปลาหมอสีที่เลี้ยงโดยอาหารที่มีระดับสาหร่าย ที่แตกต่างกัน

| | กลุ่มการทดลอง | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ควบคุม | สาหร่าย 5% | สาหร่าย 10% | สาหร่าย 15% |
| น้ำหนัก (กรัม) | 2.86 ± 0.14[a] | 3.83 ± 0.16[a] | 3.71± 0.25[ab] | 3.41± 0.17[b] |
| ความยาว (ซม.) | 6.04 ± 0.14[a] | 5.68 ± 0.12[a] | 6.38 ± 0.20[a] | 6.00 ± 0.14[a] |

**ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน** (Protein Efficiency Ratio, PER)

จากการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนจากอาหารผสมสาหร่ายสไปรูลิน่าแห้งที่ระดับต่างนั้นจะพบว่ากลุ่มควบคุมมีปริมาณโปรตีนต่ำสุดคือ 38.75 ± 0.07 ส่วนอาหารผสมสาหร่าย 5% มีปริมาณโปรตีน 44.60 ± 0.35 , อาหารผสมสาหร่าย 10% มีปริมาณโปรตีน 46.41 ± 0.08 และอาหารสาหร่าย 15% มีปริมาณโปรตีนสูงสุด 47.10 ± 0.04 ซึ่งอาหารผสมสาหร่าย 10% มีปริมาณโปรตีนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับอาหารผสมสาหร่าย 15% และจะเห็นได้ว่าปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นตามปริมาณสาหร่ายที่ผสมลงไปในอาหาร ดังตารางที่ 15

**ตารางที่ 16** แสดงปริมาณโปรตีนในอาหารที่ผสมสาหร่ายสไปรูลิน่าแห้งที่ระดับต่าง ๆ

| กลุ่มการทดลอง | Crude protein(%) |
|---|---|
| control | 38.75±0.07[a] |
| สาหร่าย 5% | 44.60±0.35[b] |
| สาหร่าย 10% | 46.41±0.08[c] |
| สาหร่าย 15% | 47.10±0.04[c] |

**หมายเหตุ** ตัวอักษร (a,b,c) ในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

**อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ** (Feed Conversion Ratio, FCR)

ปลาหมอสีในกลุ่มที่ให้สาหร่าย 15% (T3) มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) น้อยที่สุด คือ 2.03 ส่วนในกลุ่มที่ให้สาหร่าย 5% (T2) มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(FCR) มากที่สุด คือ 3.42 และในกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ให้สาหร่าย 10% มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) เท่ากับ 2.70 และ 2.14 ตามลำดับ ดังตารางที่ 16

**ตารางที่ 17** อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ของปลาหมอสีที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับสาหร่ายแห้งแตกต่างกัน

| กลุ่มการทดลอง | อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) |
|---|---|
| กลุ่มควบคุม (T1) | 2.70 |
| สาหร่าย 5% (T2) | 3.42 |
| สาหร่าย 10% (T3) | 2.14 |
| สาหร่าย 15% (T4) | 2.03 |

**อัตรารอด** (Survival rate)

**ตารางที่ 18** อัตรารอดของปลาหมอสีในวันสุดท้ายของการทดลอง

| กลุ่มการทดลอง | อัตรารอด (%) |
|---|---|
| กลุ่มควบคุม(T1) | 100 |
| สาหร่าย 5%(T2) | 93.33 |
| สาหร่าย 10%(T3) | 90 |
| สาหร่าย 15%(T4) | 100 |

มีรายงานการทดลองในปลา catla (*Catla catla*) และปลา rohu (*Labeo rohita*) (Nandeesha *et al.*, 2001) โดยได้ทำการทดลองผสมอาหารด้วยสไปรูไลนาแห้งเพื่อแทนที่ fishmeal ในอัตราต่าง ๆ กัน คือ 0, 25, 50, 75, 100% ซึ่งค่าโปรตีนในอาหารจะมีค่าไม่ต่างกันมากนัก ( 28.86, 28.18, 28.95, 28.35 และ 28.97 ตามลำดับ) เมื่อเลี้ยงปลาทั้ง 2 ชนิดเป็นเวลา 90 วันผลปรากฏว่า ปลา catla ที่ได้รับอาหารผสม สไปรูไลนาในแต่ละระดับนั้นมีการเจริญเติบโตจำเพาะ, อัตราการแลกเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน ที่ไม่มีความแตกต่างกันทางนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่ในปลา rohu นั้นอาหารกลุ่มที่แทนที่ด้วยสไปรูไลนา 50, 75 และ 100% นั้นจะมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่า 0 และ 25%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

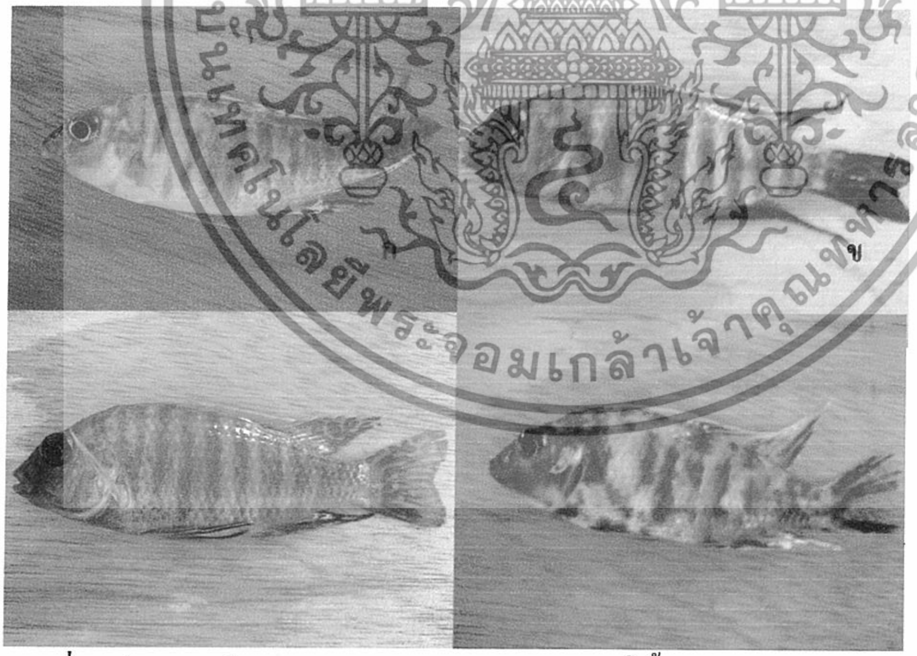
**ผลต่อสีของปลาหมอสี**

ปลาหมอสีในกลุ่มทดลองที่ให้อาหารผสมสาหร่าย 15% มีสีสันของผิวตัวชัดเจนมากที่สุด เฉลี่ย 3.80 ± 0.07 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปลาทดลองในอื่นๆ ส่วนปลาหมอสีในกลุ่มควบคุม มีสีสันชัดเจนน้อยที่สุด เฉลี่ย 1.30 ± 0.08 ส่วนในกลุ่มทดลองที่ให้อาหารสาหร่าย 5% และให้อาหารสาหร่าย 10% มีสีสันชัดเจนเฉลี่ย 2.0 ± 0.12 และ3.0 ± 0.13

**ตารางที่ 19** ระดับคะแนนของสีของปลาหมอสีที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับสาหร่ายสไปรูลิน่าแห้งแตกต่างกัน

| กลุ่มการทดลอง | คะแนนสี |
|---|---|
| กลุ่มควบคุม (T1) | 1.30±0.08[a] |
| สาหร่าย 5%(T2) | 2.00±0.12[b] |
| สาหร่าย 10%(T3) | 3.00±0.13[c] |
| สาหร่าย 15%(T4) | 3.80±0.07[d] |

**หมายเหตุ** ตัวอักษร (a,b,c) ในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (n=30)




**ภาพที่ 9** ปลาหมอสี(*Pseudotropheus lombardoi*) ที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสาหร่ายสไปรูลิน่าในระดับที่แตกต่างกัน ก.ปลากลุ่มควบคุม , ข.ปลาที่ให้สาหร่าย 5%, ค. ปลาที่ให้สาหร่าย 10% และปลาที่ให้สาหร่าย 15%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 20** แสดงปริมาณรงควัตถุที่อยู่ในสาหร่ายสไปรูลิน่า

| รงควัตถุ | ปริมาณ |
|---|---|
| Chlorophyll (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง) | 250.35 |
| Carotenoid (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง) | 0.009 |
| Phycocyanin (มิลลิกรัม/กรัม) | 1.74 |

การที่ปลาที่ให้สาหร่าย 15% มีสีสันชัดเจนที่สุด เนื่องจากมีการผสมสาหร่ายมากกว่าในกลุ่มการทดลองอื่น ทั้งนี้เพราะสาหร่ายมีรงค์วัตถุหรือสารสี เมื่อปลาได้รับในปริมาณที่มากจะทำให้ปลามีสีสันที่สวยงามมากขึ้น ปลาเมื่อได้รับสารสี (คาโรทีนอยด์) เข้าไป พบว่ามีการสะสมไว้บริเวณผิวหนัง เนื้อ ไข่ และตับ (Saito and Regier, 1971) ซึ่งการเกิดสีนี้ภายในเนื้อและผิวหนังของสัตว์น้ำนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณและระยะเวลา

เช่นเดียวกับการทดลองของ Lorens (1998) ได้ทำการทดลองผสมสาหร่าย *Spirulina* แห้งในอาหารกุ้ง *Penaeus monodon* ที่ระดับ 1%, 3% และ 5% ให้กุ้งกินเป็นเวลา 1 เดือนก่อนจับ พบว่า สาหร่าย 3%ทำให้กุ้งมี carotenoid ใน carapace กว่า 46% ซึ่งมีมากกว่าอาหาร *Spirulina* 1% ส่วนอาหาร *Spirulina* 5% ไม่ทำให้ผลเพิ่มขึ้น ดังนั้นอาหาร *Spirulina* 3% จึงดีที่สุดและเพียงพอแล้ว และนอกจาก *Spirulina* 3% จะทำให้กุ้งมีสีเพิ่มขึ้นแล้วยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของอาหารและช่วยให้กุ้งแข็งแรงด้วย

Supamattaya *et al.* (2005) ได้ทดลองให้อาหารผสมสารสกัดเบต้า-คาโรทีนที่ระดับต่างๆ ในกุ้งกุลาดำขนาดเล็กพบว่า เมื่อผ่านไป 3 สัปดาห์ของการให้อาหาร สีตัวของกุ้งจากอาหารผสมเบต้า-คาโรทีนแต่ละระดับนั้น จะแสดงความแตกต่างอย่างชัดเจนเมื่อมองด้วยตาเปล่า ปริมาณ คาโรทีนอยด์รวม และแอสตาแซนทินอิสระในเนื้อเยื่อก็จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณเบตา-คาโรทีนที่ผสมอยู่ด้วย ยังมีรายงานในปลา salmon โดยมีการผสม carotenoid ลงในอาหารที่ใช้เลี้ยงปลา salmon โดยส่วนใหญ่จะเป็น astaxanthin (Simpson *et al.*,1981) ซึ่งจะส่งผลให้เนื้อของปลา salmon นั้นมีสีชมพู เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค

**การสร้างความต้านโรค**

จากการทดสอบภูมิคุ้มกันของปลาหมอสีที่ให้อาหารผสมสาหร่ายสไปรูลิน่า ในระดับที่แตกต่างกัน โดยทดสอบกับเชื้อ *Aeromonas hydrophila* ที่ความเข้มข้น $10^6$ cell/ml พบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลาทดลองทุกกลุ่มการทดลองจะเริ่มมีการตายในวันที่ 10 หลังจากได้รับเชื้อและตายหมดในวันที่ 13 หลังได้รับเชื้อ (ตารางที่ 17)

**ตารางที่ 21** แสดงการตายของปลาหมอสีที่ให้อาหารผสมสาหร่ายสไปรูลิน่า แห้งในระดับที่แตกต่างกันหลังจากได้รับเชื้อ *Aeromonas hydrophila* ที่ความเข้มข้น $10^6$ cell/ml (N=10)

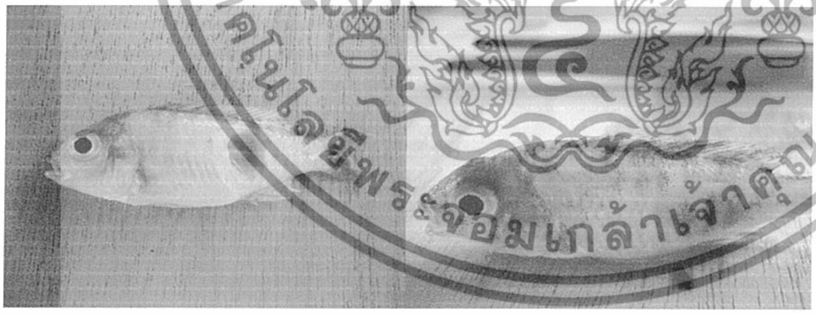
| วันที่ | จำนวนปลาตาย (ตัว) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | กลุ่มควบคุม ไม่ติดเชื้อ | ควบคุม (ติดเชื้อ) | สาหร่าย 5% (ติดเชื้อ) | สาหร่าย 10% (ติดเชื้อ) | สาหร่าย 15% (ติดเชื้อ) |
| 1 | - | - | - | - | - |
| 2 | - | - | - | - | - |
| 3 | - | - | - | - | - |
| 4 | - | - | - | - | - |
| 5 | - | - | - | - | - |
| 6 | - | - | - | - | - |
| 7 | - | - | - | - | - |
| 8 | - | - | - | - | - |
| 9 | - | - | - | - | - |
| 10 | - | 9 | 6 | 3 | 9 |
| 11 | - | - | 4 | 6 | 1 |
| 12 | - | - | - | 1 | - |
| 13 | - | 1 | - | - | - |
| รวม | 0 | 10 | 10 | 10 | 10 |

จึงทำการทดสอบภูมิคุ้มกันของปลาหมอสีที่ให้อาหารผสมสาหร่ายในระดับที่แตกต่างกัน โดยเพิ่มความเข้มข้น เชื้อ *Aeromonas hydrophila* เป็น $10^7$ cell/ml เพื่อที่จะดูว่าถ้าความเข้มข้นของเชื้อเพิ่มขึ้นอีก 10 เท่าแล้ว ปลาจะมีการตายก่อน 10 วันหรือไม่ โดยใช้ปลาทดลองกลุ่มละ 5 ตัว พบว่าปลาทดลองเริ่มตายในวันที่ 3 หลังได้รับเชื้อ และมีการตายลงเรื่อยๆ และตายหมดทุกกลุ่มการทดลองในวันที่ 10 หลังได้รับเชื้อ (ตารางที่ 18)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 22** แสดงการตายของปลาหมอสีที่ให้อาหารผสมสาหร่ายสาหร่ายสไปรูลิน่าในระดับที่แตกต่างกันหลังจากได้รับเชื้อ *Aeromonas hydrophila* ที่ความเข้มข้น $10^7$ cell/ml (N=5)

| วันที่ | จำนวนปลาตาย (ตัว) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | กลุ่มควบคุม ไม่ติดเชื้อ | ควบคุม (ติดเชื้อ) | สาหร่าย 5%(ติดเชื้อ) | สาหร่าย 10%(ติดเชื้อ) | สาหร่าย 15%(ติดเชื้อ) |
| 1 | - | - | - | - | - |
| 2 | - | - | - | - | - |
| 3 | - | - | - | - | - |
| 4 | - | 4 | 1 | 2 | - |
| 5 | - | - | - | - | - |
| 6 | - | - | 2 | - | 1 |
| 7 | - | - | - | - | - |
| 8 | - | - | 1 | - | - |
| 9 | - | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 10 | - | - | - | 1 | 2 |
| รวม | 0 | 5 | 5 | 5 | 5 |



ก. ข.

**ภาพที่ 10** ลักษณะปลาหมอสีที่ตายหลังได้รับเชื้อ *Aeromonas hydrophila* (ก-ข)

ปลาหมอสีที่ตายหลังได้รับเชื้อ *Aeromonas hydrophila* มีลักษณะที่มองเห็นได้ก็คือจะมีลักษณะตกเลือด มีเลือดคั่งบริเวณด้านหลังตัวปลาบริเวณโคนครีบหลัง มีลักษณะตาโปน และมีการกัดกินเนื้อปลาของเชื้อ *Aeromonas hydrophila* เป็นแผลลึกบริเวณบาดแผลที่ได้รับเชื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบภูมิคุ้มกันต่อเชื้อ *Aeromonas hydrophila* ของปลาหมอสีที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสาหร่าย *Nostoc commune* แห้งในระดับที่แตกต่างกัน จะเห็นได้ว่าปลาตายหมดในทุกกลุ่มการทดลองในเวลาที่ไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากปลาอาจจะไม่มีภูมิคุ้มกันต่อเชื้อ *Aeromonas hydrophila* เพราะระยะเวลาในการเลี้ยงสั้นเกินไปทำให้ได้รับสารสีที่มีผลต่อการกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกันมีไม่เพียงพอ เมื่อปลาได้รับเชื้อปลาจึงไม่สามารถสร้างภูมิคุ้มกันได้ แต่ก็มีแนวโน้มว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสาหร่ายจะมีความทนทานต่อเชื้อ *Aeromonas hydrophila* มากกว่าอาหารที่ไม่ผสมสาหร่าย

จากรายงานการวิจัยของ อัญชลี (2547) เกี่ยวกับการใช้สาหร่ายสไปรูไลนาแห้งต่อการเจริญเติบโตและระดับแอนติบอดีในปลาดุกพันธุ์ผสม โดยจะให้สาหร่ายสไปรูไลนาแห้งผสมลงในอาหาร 7 สูตร ที่ระดับ 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30% และปรับอาหารแต่ละสูตรให้มีระดับของโปรตีน ไขมัน และพลังงานใกล้เคียงกัน และเลี้ยงเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าสาหร่ายชนิดนี้จะมีผลทำให้การสร้างแอนติบอดีต่อเชื้อ *Aeromonas hydrophila* เพิ่มขึ้น โดยเมื่อฉีดวัคซีนของเชื้อ *Aeromonas hydrophila* เข้าไปในปลาทดลองจะทำให้ค่าไตเตอร์ แอคทิวิตีของปลาดุกพันธุ์ผสมที่ได้รับอาหารผสมสาหร่ายสไปรูไลนาแห้งสูงกว่าในกลุ่มที่ไม่ได้รับอาหารผสมสาหร่ายสไปรูไลนา ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากสารสีภายในสาหร่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สรุป

จากการทดลองเลี้ยงปลาหมอสี (*Pseudotropheus lombardoi*) ด้วยอาหารผสมสาหร่าย *Nostoc commune* สด ที่ระดับ 0%, 5%, 10% และ 15% เป็นระยะเวลา 83 วัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า อาหารผสมสาหร่าย *Spirulina plantensis* ที่ระดับต่าง ๆ นั้นไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลาหมอสีในทุก ๆ กลุ่มทดลอง ซึ่งอาจจะเป็นเพราะปริมาณโปรตีนในอาหารซึ่งมีความแตกต่างกันไม่มากนัก จึงทำให้ปลาในแต่ละกลุ่มทดลองนั้นได้รับปริมาณโปรตีนที่ไม่แตกต่างกันไม่มากนัก การเจริญเติบโตจึงไม่แตกต่างกัน ทั้งน้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ความยาวเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง และการเจริญเติบโตจำเพาะ ไม่มีความแตกต่างกันทางนัยสำคัญทางสถิติ

ความเด่นชัดของสีนั้นในปลากลุ่มที่ได้รับอาหารผสมสาหร่าย 15% จะพบว่ามีคะแนนสีสูงที่สุด ซึ่งคะแนนในแต่ละกลุ่มทดลองนั้นมีค่าที่แตกต่างกันทางนัยสำคัญทางสถิติ ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะสาหร่ายมีสารสีซึ่งเมื่อปลากินเข้าไปแล้วจะเปลี่ยนเข้าไปสะสมไว้ที่บริเวณ ผิวหนัง เนื้อ ไข่ และตับ ซึ่งการเกิดสีนี้ภายในเนื้อและผิวหนังของสัตว์น้ำนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณและระยะเวลา เพราะฉะนั้นเมื่อปลาในกลุ่มที่ได้รับอาหารผสมสาหร่าย 15% จึงมีสีสันที่ชัดเจนกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารผสมสาหร่ายในอัตราที่น้อยกว่า

ในด้านการสร้างภูมิต้านทานโรคนั้น เมื่อทดสอบกับเชื้อแบคทีเรีย *Aeromonas hydrophila* โดยการแช่ปลาในเชื้อความเข้มข้น $10^6$ CFU/ml เป็นเวลา 2 ชั่วโมงแล้วจึงนำไปเลี้ยงในสภาวะปกตินั้น มีการตายที่ค่อยข้างช้าและกระจัดกระจาย ส่วนการทดลองที่เชื้อความเข้มข้น $10^7$ CFU/ml พบการตายภายในวันที่ 3 อย่างชัดเจนโดยจะเกิดขึ้นกับทุกกลุ่มทดลองและจะเห็นลักษณะการติดเชื้อได้อย่างชัดเจน ยกเว้นกลุ่มที่ไม่ได้แช่ในเชื้อ และกลุ่มที่ได้รับอาหารผสมสาหร่าย 15% แต่กลุ่มที่ได้รับอาหารผสมสาหร่าย 15% นี้จะเริ่มตายในวันที่ 6 ซึ่งช้ากว่าในกลุ่ม ควบคุม, 5% และ 10% จึงอาจเป็นไปได้ว่าอาหารผสมสาหร่าย *Spirulina plantensis* สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบภูมิคุ้มกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เอกสารอ้างอิง


กาญจนา จิรพันธ์พิพัฒน์ และ วันเพ็ญ มีนกาญจน์. 2547. การปรับปรุงคุณภาพปลารันชู โดยใช้รงควัตถุคาโรทีนอยด์จากสาหร่ายสไปรูไลนา. วารสารการประมง 57 ( 2 ) : 107 – 115.

กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์. 2527. สาหร่าย. คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. **อ้างโดย**. ยุวดี พีรพรพิศาล. 2546. สาหร่ายวิทยา. ภาควิชาชีววิทยา , คณะวิทยาศาสตร์ , มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ , เชียงใหม่. 497 น.

ณรงศักดิ์. 2533. **อ้างโดย** อัญชลี พิพัฒนวัฒนากุล. 2547. ผลของสไปรูไลนาต่อการเจริญเติบโตและระดับแอนติบอดีในปลาดุกพันธ์ผสม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวาริชศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.

ธิดา เพชรมณี. การเพาะเลี้ยงสไปรูลิน่าแบบเศรษฐกิจพอเพียง. เอกสารประกอบการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ ระหว่างวันที่ 18 – 19 เมษายน 2546. 25 น.

ธิดา เพชรมณี. การเพาะเลี้ยงสไปรูลินาแบบเศรษฐกิจพอเพียง. เอกสารประกอบการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ ระหว่างวันที่ 18-19 เมษายน 2546. 25 น.

ลัดดา วงศ์รัตน์. 2544. แพลงก์ตอนพืช. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร

อัญชลี พิพัฒนวัฒนากุล. 2547. ผลของสไปรูไลนาต่อการเจริญเติบโตและระดับแอนติบอดีในปลาดุกพันธ์ผสม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวาริชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา

Chien, Y. H. and W. C. Shiau. 2005. The effects of dietary supplementation of algae and synthetic astaxanthin on body astaxanthin, survival, growth, and low dissolved oxygen stress resistance of kuruma prawn, *Marsupenaeus japonicus* Bate. Journal of experimental marine biology and ecology. 318:201-211.

Choubert, G. and O. Heinrich. 1993. Carotenoid pigments of the green alga *Haematococcus pluvialis*: assay on rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, pigmentation in comparison with synthetic astaxanthin and canthaxanyhin. Aquaeculture. 112:217-226.


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Choubert, G., M. M. mendes-pinto,and R. Morais. 2006. Pigmenting efficacy of astaxanthin fed to rainbow trout *Oncorhychus mykiss*: Effect of dietary astaxanthin and lipid sources. Aquaculture. 257:429-436.

Dominguez, A., M. Ferreira, P. Coutinho, J. Fabregas and A.Otero. 2005. Delivery of astaxanthin from *Haematococcus pluvialis* to the aquaculture food chain. 250:424-430.

Gouveia, L. and J. Empis. 2003. Relative stabilities of microalgal carotenoids in microalgal extracts, biomass and fish feed : effect of storage conditions. Innovative food science and emerging technologies. 4:227-233.

Ip, P. F. and F. Chen. 2005. Production of astaxanthin by the green microalga *Chlorella zofingiensis* in the dark. Process biochemistry.40:733-738.

Chatzifotis, S., M. Pavlidis, C.D. Jimedo, G. Vardanis, A. Sterioti and P. Divanach. 2005. The effect of different carotenoid sources on skin coloration of cultured red porgy (*Pagrus pagrus*). Aquaculture Research. 36 : 1517-1525.

Chien, Y-H and W-C Shian. 2005. The effects of dietary supplementation of algae and synthetic astaxanthin on body astaxanthin, survival, growth, and low dissolved oxygen stress resistance of kuruma prawn, *Marsupenaeus japonicus* Bate. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 318 : 201-211.

Kalinoski, C.T., L.E. Robaina, H. Fernandez-Palacios, D. Schuchardt and M.S. Izqzquierdo. 2005. Effect of different carotenoid sources and their dietary levels on red porgy (*Pagrus pagrus*) growth and skin colour. Aquaculture. 244 : 223 -231.

Lorenz, T.R. 1998. A review of Spirulina as a Carotenoid and Vitamin Source for Cultured Shrimp. Spirulina Pacifica Technical Bulletin. Cyanotech Corporation.

Supamattaya, K., S. Kiriratnikom, M. Boonyaratpalin and L. Borowitzka. 2005. Effect of a *Dunaliella* extract on growth performance, helth condition, immune response and disease resistance in black tiger shrimp (*Penaeus monodon*). Aquaculture. Article in press.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Nandeesha, M.C., B. Gangadhara, J.K. Manissery and L.V. Venkataraman. 2001. Growth performance of two Indian major carps, catla (*Catla catla*) and rohu (*Labeo rohita*) fed diets containing different levels of *Spirulina platensis*. Bioresource Technology. 80 : 117 – 120

http://www.aquaticcommunity.com

http://digital.lib.kmutt.ac.th

http://www.elib-online.com

http://fishbase.com

http://www.geocities.com

http://www.rakbankerd.com

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้