สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัย

การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopeneaus vannamei*) ไซด์ใหญ่และสีเข้มด้วยการเสริมสาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*) ตามแนวทางเกษตรอินทรีย์

Increase Efficiency of Vannamei Shrimp (*Litopeneaus vannamei*) Production for Large-Size and Darkness Color Supplemented with *Spirulina platensis* as Organic Agricultural Concept

โดย

นายจักรพงษ์ ศรีพนมยม

นางสาวแขวลี วิบูลย์กิจ

นายธนากร เหมะสถล

และนายอภิชาต ครุฑสุวรรณ

RCH
SH
380.62
.T5
ก494

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 116955
วัน,เดือน,ปี 21 ธ.ค. 2554

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2549

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b.12330693
i.....

งานวิจัยเรื่อง การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopeneaus vannamei*) ไซด์ใหญ่และสีเข้มด้วยการเสริมสาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*) ตามแนวทางเกษตรอินทรีย์

ผู้วิจัย นายจักรพงษ์ ศรีพนมยม

เสนอต่อ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2549

บทคัดย่อ

การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกุ้งขาวแวนนาไมไซด์ใหญ่และสีเข้มด้วยการเสริมสาหร่ายสไปรูลินาตามแนวทางเกษตรอินทรีย์ แบ่งเป็น 2 ส่วน (6 การทดลอง) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ มี 5 สิ่งทดลอง 3 ซ้ำ โดยส่วนที่ 1 ศึกษาการผลิตสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว และส่วนที่ 2 ศึกษาการเลี้ยงกุ้งขาวด้วยอาหารสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสด พบว่าการเพาะเลี้ยงสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวความเข้มข้น 100% ที่เติม $NaHCO_3$ 6.5 ก./ล. และเติม N : P : K 0.3 ก./ล. ดีที่สุด (ทั้งความหนาแน่นที่สังเกตได้ (Optical density; OD) ผลผลิตของสไปรูลินา และการบำบัดน้ำ) กุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปสำหรับกุ้งขาวที่เสริมสไปรูลินาสด 100 ก./กก. มีอัตราการรอดตาย (85.33±2.30%) และวิตามิน-เอในเนื้อกุ้ง (1.24±0.12 ไมโครกรัม/ก.) สูงกว่า ($p<0.05$) ชุดทดลองอื่น และควรเคลือบสไปรูลินาลงบนอาหารสำเร็จรูปด้วยสารเลซิติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title Increasing Efficiency of Vannamei Shrimp (*Litopeneaus vannamei*) Production for Large-Size and Darkness Color Supplemented with *Spirulina platensis* as Organic Agricultural Concept

Author Mr. Jakkrapong Spipanomyom

Presented to National Research Council of Thailand Academic Year 2006

Abstract

The study of increasing efficiency of vannamei shrimp production for large-size and darkness color supplemented with *Spirulina platensis* as organic agricultural concept, suppurated into 2 sections (6 experiments). The experimental design was used completely random with 5 treatments, 3 replications. Section 1 was studied with production of spirulina in wastewater (or effluent) of white shrimp pond; Section 2 was studied with white shrimp at reared with practical diets supplemented with fresh *S. platensis*. The results showed that cultivation of *S. platensis* in wastewater from white shrimp pond at concentrated 100% added $NaHCO_3$ 6.5 g/l and added N : P : K 0.3 g/l was the best (Optical density; OD, product of spirulina and water treat). White shrimp was reared with practical diets supplemented with *S. platensis* 100 g/kg showed the survival rate (85.33±2.30%) and contained vitamin-A in shrimp flesh (1.24±0.12 μ/g) higher than ($p<0.05$) other treatments; and coated *S. platensis* on practical diets with lacitin material.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่สนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณผู้บริหารสถาบันและวิทยาเขตชุมพร ที่ช่วยผลักดันงบประมาณและสนับสนุนการทำวิจัยแก่บุคลากรทุกท่าน ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงรัตน์ มีแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัยที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ เป็นกำลังใจและให้ความห่วงใยทั้งในระหว่างการค้นคว้าวิจัยทำการทดลอง ตลอดจนการเขียนงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์ประจำห้องปฏิบัติการกลางทุกท่าน ที่ช่วยอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิจัย สุดท้ายขอบใจนักศึกษาสาขาวิทยาศาสตร์การประมง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร และอีกหลายท่านที่ไม่ได้กล่าวนาม จึงขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

จักรพงษ์ ศรีพนมยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ฌ
บทที่ 1 : บทนำ	1
บทที่ 2 : เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
กุ้งขาวแวนนาไม	5
สาหร่ายสไปรูลินา	8
คาโรทีนอยด์	15
การใช้สาหร่ายสไปรูลินาเป็นอาหารเสริมแก่ปลาและครัสตาเชียน	22
บทที่ 3 : วิธีดำเนินการวิจัยและผลการวิจัย	25
วิธีการดำเนินการวิจัย	25
ระเบียบวิธีการวิจัย	25
ส่วนที่ 1 : การผลิตสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว	25
ส่วนที่ 2 : การเลี้ยงกุ้งขาวด้วยอาหารที่เสริมสาหร่ายสไปรูลินา	28
ผลการวิจัย	33
ส่วนที่ 1 : การผลิตสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว	33
การทดลองที่ 1 : ความสามารถในการดำรงชีวิตและการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวด้วยสไปรูลินา	33
การทดลองที่ 2 : การเพิ่มขีดความสามารถในการเจริญและบำบัดน้ำของสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว	41
การทดลองที่ 3 : การเพิ่มขีดความสามารถในการเจริญของสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว	48
การทดลองที่ 4 : การเพิ่มขีดความสามารถในการเจริญของสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวในสภาพกลางแจ้ง	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ส่วนที่ 2 : การเลี้ยงกุ้งขาวด้วยอาหารที่เสริมสาหร่ายสไปรูลินา 58
การทดลองที่ 1 : การเลี้ยงกุ้งขาวด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริม
สไปรูลินาสดที่เคลือบด้วยสารเคลือบจากธรรมชาติที่ต่างกัน 58
การทดลองที่ 2 : การเลี้ยงกุ้งขาวด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริม
สไปรูลินาสดในปริมาณที่ต่างกัน 63
บทที่ 4 : อภิปรายผลการวิจัยและวิจารณ์ 71
ส่วนที่ 1 : การผลิตสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว 71
ส่วนที่ 2 : การเลี้ยงกุ้งขาวด้วยอาหารที่เสริมสาหร่ายสไปรูลินา 75
บทที่ 5 : สรุปและข้อเสนอแนะ 78
สรุป 78
ข้อเสนอแนะ 79
บรรณานุกรม 80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่าที่จะทำการตรวจวัดการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินา และวิธีการวัด/วิเคราะห์	27
2	ค่าที่จะทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำที่ทำการตรวจวัด และวิธีการวัด/วิเคราะห์	28
3	ค่าที่จะตรวจวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของอาหารทดลอง และวิธีการวัด/วิเคราะห์	28
4	ปริมาณธาตุอาหารที่ตรวจวัดได้จากน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวอายุ 3 เดือน	33
5	ค่า OD เฉลี่ยของสาหร่ายสไปรูลินาที่เจริญในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่ความเข้มข้นต่างกัน	34
6	ปริมาณไนเตรทเฉลี่ยในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่ความเข้มข้นต่างกันที่ได้จากการบำบัดด้วยสไปรูลินา	37
7	ปริมาณไนไตรท์เฉลี่ยในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่ความเข้มข้นต่างกันที่ได้จากการบำบัดด้วยสไปรูลินา	38
8	ปริมาณแอมโมเนียเฉลี่ยในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่ความเข้มข้นต่างกันที่ได้จากการบำบัดด้วยสไปรูลินา	39
9	ปริมาณฟอสเฟตอนินทรีย์เฉลี่ยในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่ความเข้มข้นต่างกันที่ได้จากการบำบัดด้วยสไปรูลินา	40
10	ค่า OD เฉลี่ยของสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่เติม $NaHCO_3$ ต่างกัน	42
11	ปริมาณไนเตรทเฉลี่ยในน้ำที่เพาะเลี้ยงสไปรูลินาด้วยน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่เติม $NaHCO_3$ ต่างกัน	44
12	ปริมาณไนไตรท์เฉลี่ยในน้ำที่เพาะเลี้ยงสไปรูลินาด้วยน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่เติม $NaHCO_3$ ต่างกัน	45
13	ปริมาณแอมโมเนียเฉลี่ยในน้ำที่เพาะเลี้ยงสไปรูลินาด้วยน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่เติม $NaHCO_3$ ต่างกัน	46
14	ปริมาณฟอสเฟตอนินทรีย์เฉลี่ยในน้ำที่เพาะเลี้ยงสไปรูลินาด้วยน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่เติม $NaHCO_3$ ต่างกัน	47
15	ค่า OD เฉลี่ยของสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่เติม $NaHCO_3$ 6.5 ก./ล. และเติม N:P:K ต่างกัน	49
16	ปริมาณไนเตรทเฉลี่ยในน้ำที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาด้วยน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่เติม $NaHCO_3$ 6.5 ก./ล. และเติม N:P:K ต่างกัน	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
17	ปริมาณไนไนไตรท์เฉลี่ยในน้ำที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาด้วยน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่เติม $NaHCO_3$ 6.5 ก./ล. และเติม N:P:K ต่างกัน	52
18	ปริมาณแอมโมเนียเฉลี่ยในน้ำที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาด้วยน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่เติม $NaHCO_3$ 6.5 ก./ล. และเติม N:P:K ต่างกัน	53
19	ปริมาณฟอสเฟตอนินทรีย์เฉลี่ยในน้ำที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาด้วยน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่เติม $NaHCO_3$ 6.5 ก./ล. และเติม N:P:K ต่างกัน	54
20	ค่า OD และน้ำหนักสดเฉลี่ยของสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่เติม $NaHCO_3$ 6.5 ก./ล. และเติม N:P:K 0.3 ก./ล. ในสภาพกลางแจ้ง	55
21	ปริมาณไนเตรท ไนไตรท์ แอมโมเนีย และฟอสเฟตอนินทรีย์เฉลี่ยในน้ำที่เพาะเลี้ยงสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่เติม $NaHCO_3$ 6.5 ก./ล. และเติม N:P:K 0.3 ก./ล. ในสภาพกลางแจ้ง	57
22	ค่าการเติบโตเฉลี่ยของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินสดที่เคลือบด้วยสารเคลือบต่างกัน	58
23	อัตราการรอดตายเฉลี่ย (%) ของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดที่เคลือบด้วยสารเคลือบต่างกัน	61
24	ค่าเฉลี่ยความเข้มสีของเนื้อกุ้งก่อนและหลังแกะเปลือกของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดที่เคลือบด้วยสารเคลือบต่างกัน	62
25	ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำที่ได้จากการเลี้ยงกุ้งขาวด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดที่เคลือบด้วยสารเคลือบต่างกัน	63
26	ค่าการเติบโตเฉลี่ยของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดในปริมาณที่ต่างกัน	64
27	อัตราการรอดตายเฉลี่ย (%) ของกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เสริมสไปรูลินาสดในปริมาณที่ต่างกัน	66
28	ปริมาณวิตามินเอในเนื้อกุ้งเฉลี่ย (ไมโครกรัม/เนื้อกุ้ง 100 ก.) ของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดในปริมาณที่ต่างกัน	67
29	ค่าเฉลี่ยความเข้มสีของเนื้อกุ้งก่อนและหลังแกะเปลือกของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดในปริมาณที่ต่างกัน	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
30	ค่าเฉลี่ยของคุณค่าทางโภชนาการ (%) ของอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดในปริมาณที่ต่างกันที่ใช้เลี้ยงกุ้งขาว	69
31	ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำที่ได้จากการเลี้ยงกุ้งขาวด้วยอาหารสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดในปริมาณที่ต่างกัน	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แถบเทียบสีมาตรฐานสำหรับสัตว์น้ำที่มีสารแอสตาแซนทิน (สีชมพูแดง) ตามลำดับความเข้มของสีระหว่าง 20-34 ที่ใช้เปรียบเทียบความเข้มสีของเนื้อกุ้งก่อนและหลังแกะเปลือกของกุ้งขาวแวนนาไม	31
2	ความยาวทั้งหมดเฉลี่ย (ซม.) ของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสด ที่เคลือบด้วยสารเคลือบต่างกัน	59
3	น้ำหนักเฉลี่ย (ก.) ของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดที่เคลือบด้วยสารเคลือบต่างกัน	59
4	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย (%) ของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดที่เคลือบด้วยสารเคลือบต่างกัน	60
5	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ เฉลี่ย (%) ของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดที่เคลือบด้วยสารเคลือบต่างกัน	60
6	อัตราการรอดตายเฉลี่ย (%) ของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดที่เคลือบด้วยสารเคลือบต่างกัน	61
7	ค่าเฉลี่ยความเข้มสีของเนื้อกุ้งก่อนและหลังแกะเปลือกของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดที่เคลือบด้วยสารเคลือบต่างกัน	62
8	ความยาวทั้งหมดเฉลี่ย (ซม.) ของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดในปริมาณที่ต่างกัน	64
9	น้ำหนักเฉลี่ย (ก.) ของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริม สไปรูลินาสดในปริมาณที่ต่างกัน	64
10	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย (%) ของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดในปริมาณที่ต่างกัน	65
11	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ย (%) ของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดในปริมาณที่ต่างกัน	65
12	อัตราการรอดตายเฉลี่ย (%) ของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดในปริมาณที่ต่างกัน	66
13	ปริมาณวิตามินเอในเนื้อกุ้งเฉลี่ย (ไมโครกรัม/เนื้อกุ้ง 100 ก.) ของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดในปริมาณที่ต่างกัน	
14	ค่าเฉลี่ยความเข้มสีของเนื้อกุ้งก่อนและหลังแกะเปลือกของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดในปริมาณที่ต่างกัน	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1 : บทนำ

นับตั้งแต่ปลายปี 2545 เป็นต้นมา ประเทศไทยมีการเพาะเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมทดแทนการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาด้ำกันเพิ่มมากขึ้นเพราะกุ้งกุลาดำประสบกับปัญหาผลผลิตและราคาที่ตกต่ำมาก รวมทั้งเลี้ยงยากขึ้นในพื้นที่เดิมที่สภาพแวดล้อมเสื่อมโทรมลง ในขณะที่กุ้งขาวแวนนาไมเป็นกุ้งที่เลี้ยงง่าย เจริญเติบโตเร็วและให้ผลผลิตต่อไร่สูงกว่าผลผลิตกุ้งกุลาดำอยู่หลายเท่าตัว สามารถเลี้ยงกุ้งขาวได้ในสภาพพื้นที่ความเค็มต่ำจนถึงน้ำจืดสนิทได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ผู้บริโภคยังต้องการบริโภคกุ้งขาวหลายขนาดด้วยกัน ต่างกับกุ้งกุลาดำที่ตลาดต่างประเทศต้องการเฉพาะไซด์ใหญ่เป็นหลัก ดังนั้นจึงทำให้การเลี้ยงกุ้งขาวแพร่หลายอย่างรวดเร็วจนเกือบทดแทนการเลี้ยงกุ้งกุลาดำของประเทศได้ทั้งหมดในช่วงกลางปี 2547 เป็นต้นมา แต่การเลี้ยงกุ้งขาวในปัจจุบันก็เริ่มพบปัญหาการเจริญเติบโตของกุ้งที่มีแนวโน้มลดลงและไม่แน่นอน อ่อนแอและเป็นโรคง่าย และไม่ตรงกับความต้องการของต่างประเทศที่ต้องการกุ้งขาวขนาดใหญ่และมีสีเข้มใกล้เคียงกับสีของกุ้งกุลาดำ จากกุ้งขาวที่เลี้ยงได้ที่มีสีขาวซีดกว่าปกติจากกุ้งที่จับได้จากธรรมชาติทำให้ขายได้ราคาที่ต่ำลง และเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงต้องใช้แร่ธาตุและสารเคมีต่างๆ เสริมในระหว่างการเลี้ยงเพิ่มมากขึ้นจนทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นเป็นเงาตามตัว (ภิญโญ, 2547) จากการจัดทำยุทธศาสตร์ของประเทศและยุทธศาสตร์ของจังหวัดชุมพรในด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำพบว่ามีการเร่งรัดให้มีการส่งเสริมการเลี้ยงกุ้งทะเลตามแนวเกษตรอินทรีย์และส่งเสริมการเลี้ยงกุ้งทะเลอย่างยั่งยืน (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดชุมพร, 2547) เพื่อผลิตกุ้งที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค ดังนั้นเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงกุ้งทะเลควรเปลี่ยนมาผลิตกุ้งขาวไซด์ใหญ่ที่มีคุณภาพสูง ต้นทุนต่ำ และปลอดจากสารตกค้างต่างๆ จึงจะสามารถแข่งขันกับต่างประเทศได้เป็นอย่างดี เกษตรกรจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนระบบการเลี้ยงโดยหันมาจัดการเรื่องอาหารที่ใช้เลี้ยงเป็นอันดับแรก เพราะในปัจจุบันต้นทุนการผลิตกุ้งขาวเฉลี่ยอยู่ที่ 87 บ./กก. (ชวนพิศ, 2547) ซึ่งต้นทุนการเลี้ยงส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับต้นทุนของอาหารเป็นสำคัญคือประมาณ 60-70% ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด โดยเน้นเลี้ยงกุ้งขาวด้วยอาหารที่มีคุณค่าทางอาหารสูงและมีสารอาหารครบถ้วนและหลากหลายมากยิ่งขึ้นจึงจะทำให้ได้กุ้งขาวขนาดใหญ่ขึ้นและใช้เวลาเลี้ยงที่สั้นลง รวมทั้งต้องทำให้ต้นทุนค่าอาหารและต้นทุนอื่นๆ ลดต่ำลงด้วย เพราะยิ่งลดต้นทุนการผลิตลงได้ต่ำมากเท่าไรจะส่งผลทำให้สามารถแข่งขันกับประเทศคู่แข่งที่สำคัญที่มีต้นทุนการผลิตค่อนข้างต่ำมากได้ อาทิเช่น ประเทศจีน เวียดนาม และอินโดนีเซีย ที่เป็นคู่แข่งทางการค้าที่สำคัญของประเทศไทยมาโดยตลอดเพราะมีต้นทุนแรงงานที่ต่ำมากนั่นเอง

อาหารเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้กุ้งเจริญเติบโตได้ดี มีอัตราการรอดตายมากขึ้น และทำให้กุ้งมีสีสันสวยงามน่ารับประทานมากยิ่งขึ้น แต่ในปัจจุบันพบว่าคุณภาพของอาหารสำเร็จรูปที่เกษตรกร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำมาเลี้ยงกุ้งมีคุณภาพลดลงอันเนื่องมาจากขั้นตอนการผลิตและการปลอมปนวัตถุดิบในอาหาร เช่น ใช้ปลาป่นเกรดที่ใช้เลี้ยงสุกรแทน จึงทำให้อาหารมีคุณค่าทางโภชนาการลดลง แต่กลับมีราคาที่เพิ่มสูงขึ้นมาก เพราะวัตถุดิบบางส่วนต้องนำเข้าจากต่างประเทศและราคาน้ำมันที่สูงขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ต้นทุนค่าขนส่งอาหารสูงขึ้นตามมา ดังนั้นจึงควรหันมาเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของอาหารและลดต้นทุนอาหารที่ใช้เลี้ยงกุ้งโดยด่วน แนวทางการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับอาหารที่ใช้เลี้ยงกุ้งขาวได้แนวทางหนึ่งก็คือ การเสริมด้วยสาหร่ายสไปรูลินา ทั้งนี้เนื่องจากสไปรูลินามีความเหมาะสมในการอนุบาลและเลี้ยงสัตว์น้ำมาก เพราะมีคุณค่าทางอาหารสูง มีขนาดเล็ก และย่อยง่าย (ถูกย่อยได้ถึง 85%) เพราะไม่มีเซลลูโลส จึงทำให้อัตราการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำสูงขึ้น อีกทั้งยังช่วยเสริมการพัฒนาของไข่และน้ำเชื้อและเพิ่มสีสันให้สัตว์น้ำเข้มขึ้นด้วย เช่น ในปี ค.ศ.1989 มีการใช้สไปรูลินาในอาหารสัตว์น้ำประมาณ 100-150 ตัน (นิรนาม, 2545; บุญเริ่ม, 2540) พบการใช้สาหร่ายสไปรูลินาเป็นอาหารอนุบาลลูกกุ้งทะเล (ธิดา, 2542) การเลี้ยงกุ้งระยะวัยรุ่น (juvenile) ด้วยอาหารที่มีส่วนผสมของสไปรูลินา 8% ทำให้กุ้งมีการเจริญเติบโตดี มีอัตรารอดตายสูงและมีสีเข้มขึ้น (Cuzon *et al.*, 1985) กุ้งที่ได้รับอาหารที่มีส่วนผสมของสไปรูลินาจะมีรงควัตถุกลุ่มคาร์โรทีนอยด์ที่ช่วยทำให้กุ้งมีสีเข้มขึ้น โดยเฉพาะแอสตาแซนทินในตัวกุ้งจะมากที่สุด (Katayama *et al.*, 1971) การเสริมแอสตาแซนทินในอาหารเลี้ยงกุ้งกุลาดำ 50 มก./กก. สามารถทำให้กุ้งมีสีเข้มตามมาตรฐานที่ตลาดต้องการได้ภายใน 4 สัปดาห์ (มะลิ และคณะ, 2537) กุ้งที่เลี้ยงด้วยสไปรูลินา 10% ในอาหารจะทำให้กุ้งมีสีเข้มมากขึ้นและมีปริมาณแอสตาแซนทินในตัวกุ้งมากขึ้นถึง 18.4 ไมโครกรัม/น้ำหนักกุ้ง 1 ก. ส่วนกุ้งที่ไม่ได้รับสไปรูลินามีเพียง 3.4 ไมโครกรัม/ก. เท่านั้น (Tanaka *et al.*, 1976) ดังนั้นสาหร่ายสไปรูลินาจึงมีความเหมาะสมต่ออุตสาหกรรมอาหารสัตว์ได้เป็นอย่างดี (Nakamura, 1982)

การเลี้ยงกุ้งขาวยังไม่พบรายงานการวิจัยเกี่ยวกับปริมาณการใช้สไปรูลินาเสริมในอาหารว่าจะมีผลต่อการเจริญเติบโต การรอดตาย และประสิทธิภาพการใช้อาหารมากน้อยเพียงไร จึงควรทำการศึกษาวิจัยในเรื่องนี้เป็นอย่างยิ่ง เพราะกุ้งขาวที่เลี้ยงทั่วไปมีขนาดไม่ใหญ่เหมือนกุ้งกุลาดำ และปกติก็มีสีสันไม่สวยงามและไม่น่ารับประทานเหมือนกุ้งกุลาดำอยู่แล้ว ยิ่งมีการปล่อยเลี้ยงที่หนาแน่นมากกว่ากุ้งกุลาดำ 3-4 เท่าด้วย ก็จะมีผลทำให้สีของกุ้งผิดปกติไปมากยิ่งขึ้นและไม่ตรงกับความต้องการของตลาดต่างประเทศ

ส่วนสีของกุ้งเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญมากที่ควรศึกษาวิจัยอย่างยิ่งเพราะผู้บริโภคกุ้งต้องการกุ้งที่มีสีเข้มตามธรรมชาติ ถ้าสีกุ้งซีดลงจะได้ราคาที่ต่ำลงด้วย ทำให้รายได้ลดลงตามมา ปัญหานี้พบมากกับผู้เลี้ยงกุ้งในระบบหนาแน่น เพราะกุ้งได้รับสารสีในอาหารไม่เพียงพอนั่นเอง ซึ่งสีที่เกิดขึ้นบนตัวกุ้งส่วนใหญ่มาจากสารพวกคาร์โรทีนอยด์ที่เป็นส่วนประกอบอยู่ในพืชและสัตว์แต่กุ้งไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถสังเคราะห์ได้เองต้องรับมาจากภายนอกโดยส่วนใหญ่จะผสมกับอาหารให้กุ้งกิน (Gilman, 1953; Fox, 1957)

การเลี้ยงกุ้งขาวและกุ้งกุลาดำของประเทศไทยส่วนใหญ่ผู้เลี้ยงจะซื้ออาหารสำเร็จรูปมาเลี้ยงกุ้งมากกว่าการผลิตอาหารใช้เอง เพราะจะสะดวกต่อการนำมาใช้และการเก็บรักษา แต่อาหารสำเร็จรูปดังกล่าวในปัจจุบันอาจมีสารอาหารบางชนิด เช่น วิตามิน เกลือแร่ กรดอะมิโน และกรดไขมันที่จำเป็นบางชนิดเสื่อมสลายลงไปในขั้นตอนของการผลิตอาหารที่ต้องมีความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้อง จำเป็นที่จะต้องมีการเสริมสารอาหารเหล่านี้ลงไปบนเม็ดอาหารสำเร็จรูปนี้เพื่อให้กุ้งที่เลี้ยงได้รับสารอาหารที่ครบถ้วนทั้งปริมาณและชนิด ซึ่งการนำเซลล์สไปรูลินาสดมาเสริมลงบนเม็ดอาหารสำเร็จรูปของกุ้งขาวจะช่วยทำให้อาหารมีคุณค่าทางโภชนาการที่สูงขึ้น แต่จำเป็นต้องมีการเคลือบเม็ดอาหารดังกล่าวด้วยสารเหนียวต่างๆ เช่น แป้งเปียก กล้วยน้ำว้าปั่น หรือสารเหนียว (bilder) ต่างๆ เพื่อไม่ให้เซลล์สไปรูลินาสดหลุดละลายในน้ำก่อนที่กุ้งจะกิน ดังนั้นการนำชนิดของสารเหนียวต่างๆ มาใช้เคลือบสไปรูลินาบนอาหารเม็ดสำเร็จรูปจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจควรแก่การศึกษาต่อไปเพื่อประโยชน์ที่กุ้งจะได้รับสารอาหารต่างๆ จากสไปรูลินาที่เสริมลงในอาหารอย่างครบถ้วน

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาเพื่อเป็นอาหารสัตว์น้ำ ปกติมักเพาะเลี้ยงด้วยมูลสัตว์หรือของเหลือใช้จากชุมชนหรือวัสดุเหลือใช้ภายในท้องถิ่น เช่น น้ำทิ้งจากแหล่งต่างๆ ซึ่งจะช่วยทำให้ต้นทุนการผลิตลดลงและช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมอันเกิดจากมูลสัตว์และของเหลือใช้ต่างๆ เหล่านี้ด้วย เช่น การผลิตสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาดุก (จารุวรรณ และ มุกดา, 2533) น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกระดาษสา (สมเกียรติ, 2542) น้ำทิ้งจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาล (ประสุดา, 2543) น้ำเสียจากบ่อหมักก๊าซ (เจียมจิตต์ และคณะ, 2528) ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนการผลิตสาหร่ายลงได้ เพราะของเหลือเหล่านี้มีองค์ประกอบในรูปของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ต่างๆ ที่สาหร่ายสไปรูลินาสามารถนำมาใช้เจริญได้ (เจียมจิตต์ และคณะ, 2528; ชื่นจิตร์ และคณะ, 2531; ไปรมา และคณะ, 2531; สุชาติ และ สมโภชน์, 2535; สุมาลี, 2535) อีกทั้งยังเป็นความพยายามที่จะนำเอาของเหลือจากชุมชนหรือของเสียจากการเลี้ยงสัตว์ต่างๆ มาใช้ให้เกิดประโยชน์และช่วยลดมลพิษจากของเหลือเหล่านี้ที่จะมีผลต่อสิ่งแวดล้อมลงได้อีกทางหนึ่ง

น้ำทิ้งจากกระบวนการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมักมีคุณภาพที่ไม่เหมาะสมและเกินมาตรฐานของน้ำทิ้งที่รัฐกำหนดไว้ หากไม่มีการบำบัดก่อนการปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติจะมีผลเสียโดยรวมตามมา แต่ถ้าเจ้าของฟาร์มทำการบำบัดน้ำทิ้งก่อนทิ้งจะทำให้น้ำมีคุณภาพที่ดีขึ้นแต่ต้นทุนการผลิตก็จะสูงขึ้น โดยเฉพาะถ้าใช้สารเคมี เครื่องมือ จุลินทรีย์ต่างๆ จำนวนมาก จะทำให้ฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีต้นทุนสูงขึ้นมาก ดังนั้นแนวทางการแก้ปัญหาแนวทางหนึ่งคือการใช้สไปรูลินามาบำบัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำทิ้งซึ่งเป็นการบำบัดทางชีวภาพเพื่อให้ได้น้ำทิ้งที่ดีขึ้นโดยใช้ต้นทุนการบำบัดน้อยมาก และได้ผลพลอย คือเซลล์สไปรูลินามาใช้เสริมในอาหารสัตว์น้ำที่เลี้ยงด้วย ทำให้ต้นทุนการผลิตสัตว์น้ำลดน้อยลง การบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำอาจต้องมีการศึกษาระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงในแต่ละช่วงของการปล่อยทิ้งเพื่อดูค่าเฉลี่ยว่ามีความเข้มข้นเท่าไรละเหมาะสมต่อการเจริญของสไปรูลินาหรือไม่ ต้องมีการเติมสารบางตัว เช่น $NaHCO_3$ ในปริมาณเท่าไรจึงจะเหมาะสมที่จะเป็นแหล่งของคาร์บอนไดออกไซด์และช่วยรักษาระดับ pH ให้คงที่ ซึ่งจะทำให้ได้ผลผลิตสไปรูลินาที่สูงกว่าไม่มีการเติมปุ๋ยลงไปและน่าจะมีผลทำให้การบำบัดน้ำดีขึ้นเพราะสาหร่ายที่เพิ่มขึ้นมากก็จะนำธาตุอาหารไปใช้มากขึ้นด้วย

ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงศึกษาวิจัยการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาเพื่อเป็นอาหารกุ้งขาวด้วยน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวด้วยการเติมธาตุอาหารบางตัวลงไป ซึ่งจะทำให้ได้ผลผลิตสไปรูลินาเพื่อนำมาใช้เสริมในอาหารกุ้งขาวสำเร็จรูปชนิดเม็ดได้ รวมทั้งสไปรูลินาเองยังช่วยบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่มีธาตุอาหารและก๊าซพิษต่างๆ ในปริมาณที่สูงให้มีค่าลดลงได้ด้วย *(แต่ต้องเลือกใช้สไปรูลินาสายพันธุ์สงขลาที่มีเซลล์ส่วนใหญ่เป็นเส้นตรง และสามารถเพาะเลี้ยงได้ในน้ำที่มีความเค็มสูง และก่อนเก็บเกี่ยวเซลล์สไปรูลินามาใช้ควรปรับให้มีความเค็มลดลงจนเกือบจืดสนิทจะดีที่สุด)*

ศึกษาชนิดของสารเคลือบเซลล์สไปรูลินาสดบนเม็ดอาหารกุ้งขาวสำเร็จรูปที่เหมาะสม ศึกษาปริมาณสไปรูลินาที่เหมาะสมต่อการเสริมในอาหารกุ้งขาวชนิดเม็ดสำเร็จรูป และศึกษารงควัตถุคาร์โรทีนอยด์หรือปริมาณวิตามินเอในอาหารและในตัวกุ้ง โดยคาดหวังว่าสไปรูลินาจะมีส่วนช่วยเสริมคุณค่าทางโภชนาการของอาหารให้สูงและหลากหลายขึ้นโดยคาดหวังว่าผู้บริโภคกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสไปรูลินาน่าจะได้รับสารอาหารที่ดีที่มีผลต่อสุขภาพที่แข็งแรงขึ้น เช่น การได้รับวิตามินเอมากขึ้นจากการกินกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสไปรูลินาที่จะมีผลต่อสายตา สไปรูลินายังให้ผลดีต่อกุ้งขาวทั้งในด้านการเจริญเติบโต การรอดตาย การสืบพันธุ์ การเพิ่มสีสันของตัวกุ้งและความต้านทานโรคที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรียได้ ปัจจุบันสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมงได้ทำการศึกษาทดลองเกี่ยวกับการผลิตสไปรูลินาทั้งเพื่อการกินสดและนำมาเลี้ยงปลาสวยงาม และปลาดุกบิ๊กอุยมาระดับหนึ่ง จึงควรส่งเสริมให้มีการวิจัยเกี่ยวกับการนำสไปรูลินามาใช้ในกุ้งขาวด้วย จะช่วยลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของกุ้งขาวที่เลี้ยงได้อีกแนวทางหนึ่ง ข้อมูลจากการศึกษาที่ได้จะนำไปสู่การเผยแพร่และถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตสไปรูลินาเพื่อเป็นอาหารสัตว์น้ำและการเลี้ยงกุ้งขาวด้วยอาหารสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาให้กับเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 : เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในประเทศไทยมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยทุกปีตั้งแต่ปี 2545 จนในปี 2547 มีประมาณการเลี้ยงถึง 80% ของพื้นที่เลี้ยงกุ้งทะเลทั้งหมด ทั้งนี้เพราะกุ้งขาวสามารถปรับตัวในสภาวะต่างๆ ได้เป็นอย่างดีไม่ว่าอุณหภูมิและความเค็มของน้ำ รวมทั้งความสามารถในการกินอาหาร ความสามารถในการเลี้ยงที่เลี้ยงได้ในแหล่งน้ำทั่วไปรวมทั้งในพื้นที่น้ำจืดยังสามารถปล่อยกุ้งขาวลงเลี้ยงในอัตราที่หนาแน่นมากๆ ได้เพราะมีนิสัยกระจายอยู่ทั่วระดับความลึกและกินอาหารธรรมชาติได้ดี จึงให้ผลผลิตต่อไร่สูงในระยะเวลา 3 เดือน อีกทั้งมีต้นทุนการผลิตค่อนข้างต่ำกว่ากุ้งกุลาดำมากเพราะสามารถใช้อาหารที่มีส่วนประกอบโปรตีนที่มีปริมาณน้อยๆ ได้เป็นอย่างดี (ชวนพิศ, 2547)

กุ้งขาวแวนนาไม

กุ้งขาวแวนนาไมมีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกาทางฝั่งแปซิฟิกบริเวณประเทศเม็กซิโก เนื่องจากเป็นกุ้งที่ทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดีและเลี้ยงง่ายทำให้การเลี้ยงแพร่หลายไปทั่ว ไม่แต่เฉพาะทวีปอเมริกาแต่ยังแพร่หลายเข้าไปในประเทศจีน ไต้หวัน มาเลเซีย อินโดนีเซีย รวมถึงประเทศไทยในปัจจุบัน (นิรนาม, 2545ข)

<u>ลักษณะที่สำคัญของกุ้งขาวแวนนาไม</u>

1. ทนต่อความเค็มได้ในช่วงกว้างตั้งแต่ 0.5 - 45 ส่วนในพัน ความเค็มที่เหมาะสมที่ทำให้กุ้งเจริญเติบโตได้ดีที่สุดอยู่ในช่วง 10 - 30 ส่วนในพัน
2. เจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิกว้างคือ 24 – 32 องศาเซลเซียส แต่จะเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในช่วง 28 – 30 องศาเซลเซียส
3. ทนต่อสภาพออกซิเจนต่ำได้ดี พบว่าแม้ออกซิเจนต่ำถึง 0.8 ส่วนในล้าน เป็นเวลาหลาย ชม. กุ้งก็ยังไม่ตายแต่การเจริญเติบโตจะดีถ้าออกซิเจนมีค่าตั้งแต่ 4 ส่วนในล้านขึ้นไป
4. pH ที่เหมาะสมคือ 7.0 – 8.5 ถ้าแม้ว่า pH บางครั้งขึ้นสูง 10 ก็ยังไม่ตาย
5. ใช้อาหารโปรตีนต่ำทำให้ต้นทุนการผลิตถูกลง นอกจากนี้ยังสามารถใช้อาหารธรรมชาติจากบ่อได้อย่างมีประสิทธิภาพทำให้อัตราการแลกเนื้อต่ำ โดยทั่วไปถ้าให้อาหารถูกต้องอัตราแลกเนื้อจะต่ำกว่า 1.5
6. ให้เปอร์เซ็นต์เนื้อสูงถึง 66 – 68 % ในขณะที่กุ้งกุลาดำให้เพียง 62 %
7. ตลาดมีความต้องการสูง และมีตลาดอยู่ทั่วโลก โดยเฉพาะตลาดอียูและอเมริกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปข้อดีของการเลี้ยงกุ้งขาว

1. สามารถเลี้ยงขุนหรือกุ้งเนื้อที่เลี้ยงไว้ในบ่อดิน โดยเลือกกุ้งบางส่วนเลี้ยงจนอายุ 10-12 เดือนจะได้พ่อแม่พันธุ์ขนาด 40 ก. มีการตกไข่ประมาณ 100,000 ฟอง
2. กุ้งขาวสามารถปรับตัวได้ดีในสภาวะต่างๆ ทั้งอุณหภูมิ ความเค็มของน้ำ และการกินอาหาร สามารถเลี้ยงได้ทั้งทั่วไปรวมทั้งในพื้นที่น้ำจืด
3. สามารถปล่อยกุ้งขาวลงเลี้ยงในอัตราที่หนาแน่นมากๆ ได้ เพราะมีนิสัยกระจายอยู่ทั่วระดับ ความลึกและกินอาหารธรรมชาติได้ดี และให้ผลผลิตต่อไร่สูง ในระยะเวลา 3 เดือน
4. ต้นทุนการผลิตค่อนข้างต่ำ เพราะกุ้งขาวสามารถใช้อาหารที่มีส่วนประกอบโปรตีนน้อยได้ ซึ่งมีราคาต่ำ
5. เมื่อภาวการณ์ตลาดกุ้งกุลาดำประสบปัญหา สามารถสลับมาเลี้ยงกุ้งขาวได้โดยใช้อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้เลี้ยงกุ้งกุลาดำได้ เป็นการรักษาธุรกิจและตลาดส่งออกกุ้งทะเลที่ไม่มีข้อจำกัดว่าเป็นกุ้งทะเลชนิดอะไร (ชวนพิศ, 2547)

อนุกรมวิธานของกุ้งขาว

Phylum - Crustacea

Order - Decapoda

Family - Penaeidae

Genus – *Penaeus*

Subgenus – *Litopenaeus*

Species - *vannamei*

ชีววิทยาของกุ้งขาวแวนนาไม (นิรนาม, 2543)

กุ้งขาวแวนนาไมเป็นกุ้งทะเลขนาดใหญ่ อาจมีความยาวถึง 25 ซม. มีน้ำหนัก 80 -100 ก. พบแพร่กระจายอยู่ในเขตเวสต์อินโดแปซิฟิคตั้งแต่อ่าวเปอร์เซีย ปากีสถาน อินเดีย มาเลเซีย ไทย ตอนใต้ของประเทศจีน อินโดนีเซีย ปาปัวนิวกินี ฟิลิปปินส์ และออสเตรีย กุ้งขาวแวนนาไมกินอาหารโดยการกัดแทะอาหาร อาหารที่กินได้แก่ ตัวอ่อนของสัตว์น้ำ แมลงน้ำ ซากพืช ซากสัตว์ สาหร่ายชนิดต่างๆ หอย ปลา ลูกกุ้งและพืชน้ำชนิดต่างๆ การเลี้ยงที่มีความหนาแน่นต่ำ กุ้งจะหากินเองเพราะกุ้งขาวกินอาหารได้หลายอย่าง ถ้าช่วงแรกอาหารธรรมชาติสมบูรณ์ กุ้งจะโตดีแต่ถ้าเลี้ยงความหนาแน่นสูงๆ อย่างที่เคยทดลองเลี้ยงกุ้งในกระชังปล่อยกุ้ง 75 – 150 ตัว/ตร.ม. อัตราการรอดตายเฉลี่ย 70% ในช่วงลอกคราบหรืออาหารขาดกุ้งจะกินกันเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการสืบพันธุ์ ตัวผู้สร้างน้ำเชื้อปล่อยเข้าสู่ตัวเมีย ตัวเมียเก็บน้ำเชื้อไว้บริเวณหน้าอกในส่วนของ Thelyum เมื่อตัวเมียไข่แก่จะปล่อยไข่ออกมาผสมกับน้ำเชื้อตัวผู้เจริญเติบโตภายนอกตัวกุ้ง กุ้งขาวที่มีความยาวตั้งแต่ 14.2 ซม. ขึ้นไปจะสามารถสืบพันธุ์วางไข่ได้สมบูรณ์ ฤดูวางไข่ของกุ้งขาวนั้นพบว่ามีการวางไข่ได้ตลอดปี เดือนที่พบว่ามีระยะไข่แก่สูงได้แก่เดือนมกราคม, มิถุนายน - กันยายน และธันวาคม

กุ้งขาวแวนนาไมอาศัยอยู่ได้ตั้งแต่ชายฝั่งทะเลถึงทะเลลึกบริเวณพื้นทะเลที่เป็นโคลนปนทราย โดยปกติกุ้งขาวดังกล่าวอาศัยอยู่ในทะเลและเขตน้ำ (นิรนาม, 2545ก)

การเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม

การปล่อยกุ้งขาวในปัจจุบันจะมีการปล่อยกุ้งขาวขนาด PL_{10} เพื่อเลี้ยงและใช้น้ำที่ความเค็ม 10-45 ส่วนในพัน แต่ถ้าหากความเค็มต่ำกว่านี้คือ 2-9 ส่วนในพัน ควรปล่อยลูกกุ้งขนาด PL_{13} ขึ้นไป หรือหากความเค็มน้อยกว่า 2 ส่วนในพันควรปล่อยกุ้งขนาด PL_{15}ขึ้นไป (ควรมีการปรับความเค็มของน้ำตั้งแต่บ่อเพาะเลี้ยง) ส่วนอัตราการปล่อยที่เหมาะสม เช่น บ่อขนาด 2.0-3.5 ไร่ จะปล่อยกุ้ง 150,000-350,000 ตัว/บ่อ เลี้ยง 87-102 วัน จับกุ้งได้ขนาด 72-90 ตัว/กก. อัตรารอดตาย 82-94% อัตราแลกเนื้อ 1.17-1.34 ผลผลิตที่ได้ 1.6-3.7 ตัน/บ่อ (ชวนพิศ, 2547)

กุ้งขาวแวนนาไมเป็นกุ้งที่มีศักยภาพในการเพาะเลี้ยงสูง เจริญเติบโตได้เร็วจนถึงน้ำหนักประมาณ20 ก. ในการเลี้ยงอย่างหนาแน่น (100 ตัว/ตร.ม.) โดยน้ำหนักจะเพิ่มขึ้น 3 ก./ สัปดาห์ ในช่วงจนถึง 20 ก. นี้จะได้ดีเหมือนกุ้งกุลาดำ เมื่อน้ำหนักมากกว่า 20 ก. การเจริญเติบโตจะช้าลงเป็น 1 ก./สัปดาห์ และตัวเมียจะโตเร็วกว่าตัวผู้ ฟาร์มเพาะเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในเชิงธุรกิจแบ่งออกเป็น 3 ระบบ ได้แก่ ระบบพัฒนาพ่อแม่พันธุ์และผลิตนอเพลียส ระบบอนุบาลลูกกุ้งวัยอ่อน และระบบการเลี้ยงกุ้งใหญ่ในบ่อดิน ซึ่งแต่ละระบบจะประสบปัญหาในการเลี้ยงและปัญหาเรื่องโรคที่แตกต่างกันออกไป โดยเฉพาะในการเลี้ยงแบบพัฒนาซึ่งเลี้ยงที่อัตราความหนาแน่นสูงก็จะประสบปัญหาต่างๆ มากมายและรุนแรงขึ้นตามความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น (นิรนาม, 2546)

อาหารและการกินอาหาร

ตามประวัติแล้วกุ้งตระกูล Penaeid เป็นสัตว์ที่หากินตอนกลางคืนและกินซากพืชและซากสัตว์เป็นอาหาร แต่จากการศึกษาลักษณะอวัยวะบดอาหารของกุ้งพบว่า ตามธรรมชาติแล้วกุ้งเป็นสัตว์กินเนื้อซึ่งกินสัตว์ในกลุ่ม crustaceans ขนาดเล็ก amphipods และ polychaeyes เป็นอาหาร แต่ในระบบการเลี้ยงแบบพัฒนาอาหารธรรมชาติที่มีในบ่อไม่เพียงพอต่อปริมาณกุ้งที่หนาแน่น ดังนั้นจึงต้องมีการให้อาหารเพิ่มซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการกินอาหารของกุ้งให้กินอาหารสำเร็จรูปได้ และสามารถกระตุ้นให้กุ้งกินอาหารได้ทั้งในช่วงกลางวันและกลางคืนอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังพบว่าการให้อาหารวันละหลายมื้อทำให้กุ้งเจริญเติบโตได้ดีกว่าการให้อาหารวันละมื้อ (นิรนาม, 2546)

อย่างไรก็ตามอาหารธรรมชาติก็ยังมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของกุ้งอยู่ จากการศึกษาพบว่าอาหารธรรมชาติในบ่อ เช่น สาหร่ายและแบคทีเรียที่เกิดขึ้นในบ่อเป็นสารอาหารที่มีความสำคัญและเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของกุ้งขาว แวนนาไมที่เลี้ยงแบบพัฒนาได้ และแม้จะยังไม่ทราบว่าเป็นองค์ประกอบอะไรในน้ำธรรมชาติที่ช่วยให้การเจริญเติบโตของกุ้งได้ดี แต่พบว่ากุ้งที่เลี้ยงในบ่อที่ใช้น้ำธรรมชาติโตเร็วกว่ากุ้งที่เลี้ยงในบ่อที่ใช้น้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้ออย่างดีพิเศษถึง 50% แม้ว่าจะให้อาหารเหมือนกัน จึงยืนยันได้ว่าการเจริญเติบโตที่ดีของกุ้งมีความสัมพันธ์แบบพึ่งพากันกับจุลินทรีย์ในบ่อ กุ้งขาวแวนนาไมต้องการอาหารที่มีโปรตีนประมาณ 35% ซึ่งน้อยกว่ากุ้งสายพันธุ์จากเอเชียต้องการ เช่น กุ้งกุลาดำ และกุ้งกุลาลาย แม้ว่าจะมีการทดลองใช้อาหารโปรตีนสูง 45% มาใช้เลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม แต่อาหารโปรตีนต่ำที่ราคาถูกกว่าก็สามารถทำให้กุ้งโตเร็วและให้ผลผลิตสูงได้เช่นกัน (นิรนาม, 2546)

สาหร่ายสไปรูลินา

เป็นสาหร่ายที่มีรายงานการศึกษาวิจัยมากที่สุดในประเทศไทย เนื่องจากสาหร่ายชนิดนี้สามารถนำมาเพาะเลี้ยงจนเป็นอุตสาหกรรมได้ การผลิตในบ่อกลางแจ้งทำได้ง่ายกว่าสาหร่ายชนิดอื่น และมีรายงานวิจัยสนับสนุนจำนวนมากทั้งในและต่างประเทศ ผลผลิตของสาหร่ายที่ได้ก็มีคุณค่าทางอาหารสูงและมีสารที่เป็นประโยชน์ เช่น สารสีน้ำเงินไฟโคไซยานิน และกรดไขมันแกมมาไลโนเลนิค (δ- linolenic acid) สิ่งเหล่านี้ทำให้สไปรูลินาได้รับความนิยม สามารถพบสไปรูลินาได้ทั้งในประเทศไทยและประเทศในเขตร้อนอื่นๆ ทั้งน้ำจืด น้ำกร่อยและน้ำเค็มชอบอาศัยในน้ำที่มีค่าความเป็นด่าง (alkalinity) สูงและเจริญเติบโตได้ดีที่ pH 8 อุณหภูมิ 32-40 °ซ. (ลัดดา, 2542; ธิดา, 2545)

<u>อนุกรมวิธานของสไปรูลินา</u> (สถิตย์, 2533; วิเชียร, 2539; บุญเริ่ม, 2540; ลัดดา, 2542)

Phylum	Cyanophyta	Class	Cyanophyceae
Order	Oscillatoriales	Family	Oscillatoriaceae
Genus	*Spirulina*		

<u>รูปร่างและลักษณะทั่วไป</u>

สไปรูลินา เป็นสาหร่ายเซลล์เดียวที่มีผนังเซลล์บางๆ กั้นเซลล์ ซึ่งประกอบด้วยสารมิวโคโปรตีน (mucoprotein) เพคติน (pectin) และโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) ไม่มีเซลลูโลสเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบเหมือนพืชทั่วไป สะสมอาหารเป็นไกลโคเจนเช่นเดียวกับสัตว์ เซลล์มีลักษณะเป็นสายเกลียวคล้ายสปริงยืด ไม่มีชีทหุ้ม (sheath) ความกว้างและยาวของเกลียว (helix และ trichome) เท่ากับ 35–50 และ 300-500 ไมครอนตามลำดับ ระยะห่างระหว่างเกลียว (pitch) 60 ไมครอน มีเส้นผ่าศูนย์กลางของเกลียว 6-8 ไมครอน รูปร่างที่เป็นเกลียวเป็นลักษณะเฉพาะ ส่วนความกว้าง ระยะห่างระหว่างเกลียว และความยาวของเกลียวจะแตกต่างกันไปตามชนิด สไปรูลินาชนิดเดียวกันที่อยู่ในสภาพแวดล้อมต่างกันจะมีขนาดและรูปร่างต่างกันได้ ลักษณะเด่นที่สำคัญของสไปรูลินาคือไม่มีเมือกหุ้มซึ่งเป็นข้อดีที่ทำให้ไม่มีจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ มาเกาะ จึงต้านทานต่อ จุลินทรีย์อื่นได้ดีมากเนื่องจากในเซลล์สไปรูลินามีสารปฏิชีวนะ (antibiotics) บางชนิดที่ต่อต้านแบคทีเรียได้ โครงสร้างภายในไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียสแต่มีนิวเคลียร์ซับสแตนซ์ (nuclear substance) เช่น กรดนิวคลีอิคกระจายอยู่ทั่วไปมากมายในไซโตพลาสซึม ไม่มีคลอโรพลาสต์ แต่มีไทลาคอยด์ (thylakoids) เดี่ยวกระจายตามขอบเซลล์ที่ผิวของไทลาคอย์มีคลอโรฟิลล์เอ และคาโรทีนอยด์หลายชนิด เช่น β-carotene, zeanxanthin, echinenone, β-cryptoxanthin และยังมีรงควัตถุ (phycobiliprotein) หรือเม็ดสีอื่นๆ เช่น ไฟโคไซยานิน (phycocyanin) ซึ่งมีสีน้ำเงินในปริมาณที่สูง และไฟโคเออริทริน (phycoerythrin) ซึ่งมี สีแดง นอกจากนี้ยังมีแก๊ซแวคิวโอล (gasvacuol) จำนวนมากอยู่ภายในเซลล์ trichome จึงลอยตัวได้ดี (ธิดา, 2545; บุญเริ่ม, 2540; มนตรี และคณะ, 2543; ลัดดา, 2542; วิเชียร, 2539; สุรีย์วรรณ, 2536)

<u>การสืบพันธุ์ของสาหร่ายสไปรูลินา</u>

สไปรูลินาสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ ไม่มีการสร้างเฮเทอโรซิสต์ (heterocyst) แต่อาศัยการสร้าง ฮอร์โมโกนหรือฮอร์โมโกเนีย (hormogone/hormogonia) เริ่มจาก trichome ของสาหร่ายสร้างเซลล์พิเศษที่เรียกว่า necridia ซึ่งจะสลายตัวไปทำให้สาหร่ายมีการหักออกขาดเป็นท่อนๆ แยกจากกัน แต่ละท่อนประกอบด้วยเซลล์ 2-4 เซลล์ เรียกว่า ฮอร์โมโกเนีย (hormogonia) หลังจากนั้นเซลล์ที่ติดกับ necridia จะกลม โดยผนังเซลล์อาจหนาขึ้นเพียงเล็กน้อย ไซโตพลาสซึมภายในเซลล์มี granule ลดลงและสีของเซลล์จะซีดลง แล้วแบ่งตัวโดยการขาดท่อน (fission) ไปจนกระทั่งเจริญเป็น trichome ใหม่ที่มีลักษณะเหมือนเดิม การสืบพันธุ์โดยวิธีนี้บางครั้งเรียกว่า fragmentation (บุญเริ่ม, 2540; ลัดดา, 2542; วิเชียร, 2539; สุรีย์วรรณ, 2536)

<u>การเคลื่อนที่ของสไปรูลินา</u>

สไปรูลินาซึ่งไม่มี sheath หุ้มนั้น สามารถเคลื่อนไหวได้ทั้งแบบเลื่อนไหล (gliding) หรือแกว่งซ้ายขวา (oscillating) ซึ่งการเคลื่อนที่แบบนี้จะมีการหมุนบิดตัวเป็นเกลียว (rotation) รอบแกนตามยาวของ trichome อาจจะหมุนตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกา ทำให้ trichome สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคลื่อนที่ไปข้างหน้าหรือถอยหลังได้เพื่อไปยังสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม ซึ่งสาเหตุที่เป็นเช่นนั้นเข้าใจว่าเกิดจากกลไกการผลิตสารเมือกเหนียวแล้วปล่อยออกมาทางรูเล็กๆ ของผนังเซลล์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำที่อยู่รอบๆ จึงเคลื่อนที่ไปได้ หรืออาจเกิดจากการยืดหดตัวของเซลล์ภายในเส้นสาหร่ายที่มีไม่เท่ากันทุกเซลล์ตลอดทั้งเส้นสายจึงทำให้เกิดเป็นคลื่นขึ้น (บุญเริ่ม, 2540; วิเชียร, 2539; สถิตย์, 2533: Bold and Wynine, 1978; Fogg *et al.*, 1973)

<u>วงจรชีวิตและการเจริญเติบโตของสไปรูลินา</u>

Richmond (1986) กล่าวว่าสไปรูลินาประกอบด้วยเซลล์รูปทรงกระบอกเรียงต่อเป็นเส้นไม่แตกแขนง เส้นสายมีการบิดเป็นเกลียว ซึ่งมีการขดถี่หรือห่างแล้วแต่ชนิด เจริญเติบโตโดยการแบ่งเซลล์ ที่กึ่งกลางความยาวของเกลียว (trichome) จึงมีการเจริญแบบทวีคูณ (สุมาลี, 2536) สไปรูลินามีวงจรชีวิตสั้นคือ ประมาณ 1 วันภายใต้สภาวะที่เหมาะสมในห้องปฏิบัติการ และประมาณ 3-5 วันภายใต้สภาพธรรมชาติ ซึ่งขึ้นอยู่กับฤดูกาลและสภาพอุตุนิยมวิทยา (สุมาลี, 2535 อ้างถึง Santillan, 1982)

<u>ความสำคัญและประโยชน์ของสไปรูลินา</u>

มีการนำสไปรูลินามาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูงคือ ประกอบไปด้วยโปรตีนอยู่ระหว่าง 50-70% ไขมัน 2-6% คาร์โบไฮเดรต 10-15% เส้นใย 1-4% เถ้า 6-45% และความชื้น 5-10% ของน้ำหนักแห้ง (สุชาติ, 2529; Richmond, 1987, Venkataraman, 1983) นอกจากนี้ยังมีบทบาทในการปรับปรุงและอนุรักษ์ดิน ช่วยรักษาสภาพแวดล้อมและความสมดุลทางธรรมชาติ (บัญญัติ, 2533) ด้วยประโยชน์ที่หลากหลายจึงทำให้สไปรูลินาได้รับความสนใจอย่างมากจนมีการเพาะเลี้ยงในระดับอุตสาหกรรม ดังนั้นสามารถสรุปประโยชน์ และความสำคัญหลักๆ ของสไปรูลินาในด้านต่างๆ ได้คือ ใช้ทางด้านการแพทย์ การป้องกันและรักษาโรคสัตว์ เป็นอาหารมนุษย์โดยตรงหรือเป็นอาหารเสริม เป็นอาหารสัตว์และช่วยในการบำบัดน้ำทิ้ง เป็นต้น (สันติชัย และ ทวีป, 2537) ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวเฉพาะสำคัญในด้านการป้องกันและรักษาโรคสัตว์ การนำมาเป็นอาหารสัตว์น้ำ (พวกครัสตาเซียน) และการนำมาบำบัดน้ำเท่านั้น

1. <u>ด้านการป้องกันและรักษาโรคสัตว์</u>

สไปรูลินามีกรดอะมิโนครบทั้ง 18 ชนิดจึงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเม็ดเลือดกุ้งเพื่อทำลายสิ่งแปลกปลอมและช่วยเสริมสร้างอวัยวะในการสร้างเม็ดเลือดให้สมบูรณ์เนื่องจากมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบสูง มีทองแดงที่เป็นองค์ประกอบหลักของฮีโมไซยานินในเลือดกุ้ง มีคลอโรฟิลล์เข้ามาช่วยในกลไกลการกำจัดสารพิษและยาปฏิชีวนะต่างๆ ออกจากร่างกายกุ้งด้วย

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีเบต้าแคโรทีนหรือโปรวิตามิน-เอ ไฟโคไซยานิน วิตามินซี จึงช่วยลดความเครียดของกุ้งและทนต่อความเครียดได้มากขึ้น

2. ด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์ (เป็นอาหารสัตว์)

สไปรูลินาเหมาะสมในการอนุบาลลูกปลามาก เนื่องจากมีคุณค่าทางอาหารสูง มีขนาดเล็ก และย่อยง่าย (ถูกย่อยได้ถึง 85%) เพราะไม่มีเซลลูโลส ทำให้อัตราการเจริญเติบโตของปลาสูงขึ้น ช่วยเสริมการพัฒนาของไข่และน้ำเชื้อ และเพิ่มสีสันให้ปลาเข้มขึ้น เช่น ในปี ค.ศ.1989 มีการใช้สไปรูลินาในอาหารสัตว์น้ำประมาณ 100-150 ตัน (นิรนาม, 2545; บุญเริ่ม, 2540) ปลาที่กินอาหารผสมสไปรูลินาแห้งจะช่วยเร่งสีปลาเพราะมีคาโรทีนอยด์สูง (วุฒิพร, 2527) ใช้สไปรูลินาเป็นอาหารอนุบาลลูกกุ้งทะเลและใช้เป็นอาหารเสริมสำหรับเลี้ยงอาร์ทีเมียแรกฟักให้มีขนาดใหญ่ แล้วนำอาร์ทีเมียที่ได้เป็นอาหารของลูกกุ้งต่อไป (ธิดา, 2542) ดังนั้นสามารถดัดแปลงสไปรูลินาไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ได้ (Nakamura, 1982)

3. ด้านการบำบัดน้ำทิ้ง

ในประเทศอินเดียมีการเลี้ยงสไปรูลินาด้วยของเสียจากแหล่งชุมชนแล้วนำสไปรูลินาที่ได้ไปเป็นอาหารของปลาคาร์พ ส่วนองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติได้จัดตั้งโรงงานขึ้นในสิงคโปร์เพื่อใช้สาหร่ายบำบัดน้ำเสียและนำสาหร่ายชนิดนี้ไปเป็นอาหารสัตว์ (วิเชียร, 2539) สไปรูลินาช่วยทำให้น้ำเสียจากแหล่งชุมชนหรือมูลสัตว์มีคุณภาพดีขึ้น (Venkataraman, 1982) เพราะขณะที่สไปรูลินาจะให้ออกซิเจนแก่แหล่งน้ำพร้อมทั้งยังใช้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากแหล่งน้ำเพื่อใช้ในการสร้างสารต่างๆ และส่วนประกอบของเซลล์ เช่น phosphoprotein, phospholipid, phosphoglycocide กรดนิวคลีอิค กรดอะมิโน และสารประกอบอะมีน ด้วย

การเพาะเลี้ยงสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าไก่ทำให้ค่า BOD ลดลง 15-20% (วิเชียร , 2539 อ้างถึง สุขใจ และ นวลพรรณ, 2530) ส่วนการเลี้ยงสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากกองปลาสดของโรงงานผลิตปลาป่นสามารถลดค่า COD ในน้ำลง 81.5% ลดแอมโมเนียลง 96.42% (บุญเริ่ม, 2540 อ้างถึง สุชาติ และคณะ, 2531) การเพาะเลี้ยงสไปรูลินาในน้ำกากส่าเหล้าสามารถลดค่า BOD ได้ 44.0% และ 46.43% ในห้องปฏิบัติการและสภาพกลางแจ้งตามลำดับ (บุญเริ่ม, 2540 อ้างถึง วิสาสินี , 2532) เช่นเดียวกับการเลี้ยงสไปรูลินาในน้ำเวย์เต้าหู้สามารถลดค่า BOD ได้ 53.55% ในสภาพห้องปฏิบัติการและ 42.85% ในสภาพกลางแจ้งได้เช่นกัน (สถิต, 2533) การทดลองของ สุทธิพรรณ และ อนุพงษ์ (2536) รายงานว่าการเพาะเลี้ยงสไปรูลินาทำให้ค่า COD ของน้ำเสียจากโรงงานกระดาษสาลดลง 70-75% ส่วนการเพาะเลี้ยงสไปรูลินาในน้ำเสียจากโรงงานผักดอง ควรมีความหนาแน่นเซลล์เริ่มต้น 20 มก./ล. และระยะเวลาเก็บกัก 6 วัน จะมีประสิทธิภาพการลดค่า BOD ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้ 92.16, 76.18 และ 53.79% ตามลำดับ (วิไลรัตน์, 2541) การเพาะเลี้ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S. platensis จากด้วยน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกรที่ความเข้มข้น10% ให้ผลดีที่สุดคือทำให้มีการลดลงของ COD 90.9%, PO_4-P 58.38%, NH_3-N 99.9% และ NO_3-N 52.94% (จงกล, 2544)

การเพาะเลี้ยงสไปรูลินา

สามารถเพาะเลี้ยงสไปรูลินาได้ทั้งในห้องปฏิบัติการและกลางแจ้งเพื่อการกินสดซึ่งต้องอาศัยเทคนิคที่พิเศษ และการเพาะเลี้ยงด้วยของเสียจากมูลสัตว์หรือของเสียจากกระบวนการผลิตต่างๆ เพื่อนำผลผลิตสไปรูลินาที่ผลิตได้ไปใช้เลี้ยงสัตว์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้เป็นสำคัญ

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโต

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของสไปรูลินาในบ่อเลี้ยงกลางแจ้ง ได้แก่ ความเข้มแสง อุณหภูมิ ความเป็นกรดด่างของอาหาร ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายในขณะเริ่มต้นเลี้ยงและเมื่อเก็บเกี่ยว การหมุนเวียนของน้ำ และระดับความลึกของน้ำเลี้ยงสาหร่าย จุลินทรีย์อื่นๆ ที่เกิดปนเปื้อนในบ่อ แร่ธาตุอาหาร แหล่งคาร์บอน และน้ำฝน เป็นต้น (Venkataraman, 1983)

1. แสงสว่าง

แสงมีบทบาทสำคัญต่อการเจริญของสไปรูลินา การเพาะเลี้ยงสไปรูลินาในห้องปฏิบัติการควรมีความเข้มแสง 2,000-6,500 ลักซ์ แต่จะเจริญได้ดีที่สุดที่ 3,000-5,000 ลักซ์ ถ้าความเข้มแสงเกิน 8,000 ลักซ์ สีสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงจะจางลง และถ้าน้อยกว่า 1,000 ลักซ์สาหร่ายจะเจริญไม่ดีและไม่สืบพันธุ์ (ธิดา, 2546; Nakamura, 1982) สามารถเพาะเลี้ยง *S. platensis* ได้ที่ความเข้มแสง 2,500-10,000 ลักซ์ (Baldia *et al.*, 1991) การเพาะเลี้ยงสไปรูลินากลางแจ้งในประเทศอินเดียและไทยพบควรมีความเข้มแสง 30,000-35,000 ลักซ์ โดยเฉพาะการเพาะเลี้ยงระดับอุตสาหกรรม (บุญเริ่ม, 2540; อำนาจ และคณะ, 2531; Venkatamaran, 1983)

2. อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อสไปรูลินา เช่น เร่งการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ การเพาะเลี้ยงสไปรูลินาในห้องปฏิบัติการควรมีอุณหภูมิอยู่ที่ 35-37 °ซ. แม้ว่าอุณหภูมิจะสูงถึง 39 °ซ. เป็นเวลา 2-3 ชม. ก็ไม่พบว่าเป็นอันตราย (Richmond, 1986) ปกติสาหร่ายที่เลี้ยงกลางแจ้งเจริญดีที่อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีประมาณ 28-34 °ซ. อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 30-35 °ซ. โดยเฉพาะที่ 35 °ซ. สาหร่ายเจริญเติบโตได้ดีที่สุดและมีปริมาณโปรตีน 35-61% ของน้ำหนัก (บุญเริ่ม, 2540 อ้างถึง จีรพรรณ, 2525) *Spirulina* sp. สายพันธุ์จากการเพาะเลี้ยงที่สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง จ. สงขลา เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 30-35 °ซ. เช่นกัน และถ้าอุณหภูมิระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลางวันกับกลางคืนต่างกันเกิน 10 °ซ. จะเจริญเติบโตได้ไม่ดี ถ้าอากาศร้อนอุณหภูมิสูงแต่ไม่มีแสงแดดสาหร่ายจะอ่อนแอหรือตายได้ (ธิดา, 2546)

3. ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

สาหร่ายแต่ละชนิดมีความต้องการระดับ pH แตกต่างกัน สไปรูลินาเจริญในน้ำเลี้ยงที่มี pH 8-11 และเจริญดีที่สุดที่ pH 10-11 (Nakamura, 1982) การเลี้ยงสไปรูลินาในน้ำที่มี pH 10 แพลงก์ตอนกลุ่มอื่นรวมทั้งจุลินทรีย์ที่เป็นเชื้อโรคจะเจริญไม่ได้ในสูตรอาหาร ส่วนในแหล่งน้ำที่มีปุ๋ยอุดมสมบูรณ์แต่ pH 7-8 พบสไปรูลินาเจริญเติบโตร่วมกับแพลงก์ตอนชนิดอื่นๆ ดังนั้นเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสิ่งมีชีวิตอื่นควรปรับน้ำเลี้ยงให้มี pH 9.5-10 (ธิดา, 2546) *S. platensis* เจริญได้ที่ pH 6.5-9.0 (Baldia *et al.*, 1991) การควบคุม pH ให้เหมาะสมของบริษัท อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด (IHF) คือการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ต้องระวังเรื่องการลดลงของ pH ด้วย (นิรนาม, 2545) สไปรูลินาจะใช้ไบคาร์บอเนตจากน้ำที่เป็นด่างเป็นแหล่งคาร์บอนไดออกไซด์และยังช่วยรักษาระดับ pH ของน้ำเลี้ยงให้คงที่ด้วย (ไปรมา และคณะ, 2529)

4. หัวเชื้อตั้งต้น (inoculum size)

ควรใช้หัวเชื้อสไปรูลินาตั้งต้นเพื่อเพาะเลี้ยงที่ 225-250 มก. ของน้ำหนักแห้ง/อาหารที่เพาะเลี้ยง 1 ล. (หรือที่ค่า OD. เริ่มต้น 0.6) จะทำให้อัตราการเจริญที่เพิ่มขึ้นต่อวันมีค่าสูงที่สุด ถ้าใช้เชื้อตั้งต้นน้อยเกินไปความเข้มของแสงจะสูงเป็นเหตุทำให้อัตราการเจริญของสาหร่ายต่ำและเกิดการตายของสาหร่ายอันเนื่องมาจากขบวนการ Photooxidation นอกจากนี้ในฤดูร้อนควรจะมีความหนาแน่นเริ่มของสาหร่ายอยู่ที่ 13-15 ก. ของน้ำหนักแห้ง/ตร.ม. ส่วนในฤดูหนาว 20 ก. ของน้ำหนักแห้ง/ตร.ม. (Venkatamaran, 1983)

5. การหมุนเวียนของน้ำและระดับความลึกของน้ำสาหร่าย

การหมุนเวียนน้ำช่วยให้สาหร่ายที่อยู่ในระดับต่างๆ รับแสงและสัมผัสธาตุอาหารอย่างทั่วถึง ลดการตกตะกอนของสาหร่าย ช่วยเพิ่มอากาศทำให้เซลล์สาหร่ายกระจายตัวสม่ำเสมอ ทำให้สาหร่ายใช้ธาตุอาหารและมีกิจกรรมของเซลล์ดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ ป้องกันการเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิวน้ำและระดับที่ลึกลงไป การเคลื่อนที่ของมวลน้ำต้องไม่รุนแรงแต่ให้ทั่วถึงเพื่อไม่ให้เส้นสายของสาหร่ายบอบช้ำแตกหัก เนื่องจากเซลล์ของสาหร่ายจะบอบบางและแตกหักได้ง่าย ถ้าปล่อยให้น้ำนิ่งประมาณ 1 ชม. สาหร่ายจะลอยขึ้นมาที่ผิวน้ำอย่างหนาแน่นทำให้ไม่สามารถรับแสงและออกซิเจนได้อย่างเพียงพอเนื่องจากเมื่ออากาศร้อนออกซิเจนจากอากาศจะสามารถละลายในน้ำได้น้อยลงจึงทำให้สาหร่ายตายได้ หากอุณหภูมิต่ำและความหนาแน่นไม่มาก การหยุดให้น้ำหมุนเวียนเกิน 2 ชม. จะไม่เกิดปัญหาใด การเพาะเลี้ยงสไปรูลินาในประเทศอินเดียจะใช้แปรงด้ามยาวคนให้น้ำหมุนเวียนวันละ 2 ครั้งๆ ละ 15 น. ใช้ถังเพาะลึก 20-25 ซม. เพื่อให้เกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพในการใช้แสงสว่างของสาหร่าย หรือบ่อเพาะเลี้ยงที่มีพื้นที่ 10 ตร.ม. ควรมีปริมาณน้ำสูง 15 ซม. ในฤดูหนาว และเพิ่มเป็น 25 ซม. ในช่วงฤดูร้อน (นิรนาม, 2545; บุญเริ่ม, 2540; วิเชียร, 2539; สถิตย์, 2533) แต่การเพาะเลี้ยงสไปรูลินาในถังที่ให้น้ำหมุนเวียนตลอดเวลา สาหร่ายจะเจริญเติบโตดีมาก สีของสาหร่ายจะเข้มกว่า Trichome สั้นกว่า สีของน้ำเลี้ยง (medium) ใสกว่า แต่อาจจะพบ *Oscillatoria* เกาะข้างถังมากกว่าการเพาะเลี้ยงในถังที่มีน้ำหมุนเวียนชั่วครั้งคราวโดยใช้คนกวน (สุชาติ และคณะ, 2528)

6. ฝนและการระเหยของน้ำ

Venkataman (1983) กล่าวว่าการระเหยของน้ำก่อให้เกิดปัญหาในการเพาะเลี้ยง *Spirulina* spp. กลางแจ้ง ฤดูมรสุมในประเทศอินเดีย ความเข้มของแสงสว่างลดลงและน้ำฝนทำให้ความเข้มของอาหารเจือจางลงทำให้ผลผลิตของสาหร่ายต่ำลง สุมาลี (2535) กล่าวว่าควรเพาะเลี้ยงสไปรูลินากลางแจ้งในช่วงฤดูร้อนเพราะในฤดูฝนปริมาณน้ำฝนทำให้แร่ธาตุอาหารในบ่อเลี้ยงลดลงและ pH ของน้ำเลี้ยงเปลี่ยนแปลง ทำให้อัตราการเจริญของสาหร่ายลดลง สภาพที่มืดครึ้มยังทำให้สาหร่ายสังเคราะห์แสงได้น้อยลงเกิดสิ่งมีชีวิตอื่นปนเปื้อนได้ง่ายขึ้นและไม่ปลอดภัยต่อการบริโภค ส่วนในฤดูหนาวของประเทศอิสราเอล พบว่าความเข้มแสงและอุณหภูมิของอากาศลดลงมีผลให้สาหร่ายมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำและมักพบ *Chlorella* ปนเปื้อนหรือมีปริมาณมากขึ้นในบ่อเลี้ยงสไปรูลินา

7. แร่ธาตุหรือธาตุอาหาร สารอาหารที่เลี้ยงสาหร่ายมี 2 ประเภท คือ

7.1 ธาตุอาหารหลัก (Major elements) ใช้เป็นองค์ประกอบของเซลล์ในการเจริญเติบโตตลอดระยะเวลาการเลี้ยง (นิรนาม, 2545) แร่ธาตุหลักที่สาหร่ายใช้ในการสังเคราะห์แสง ได้แก่ คาร์บอน (CO_2) ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม โซเดียม กำมะถัน

7.2 ธาตุอาหารรอง (Minor elements) ต้องการในปริมาณน้อยแต่จะขาดไม่ได้ มักใช้ในกระบวนการเจริญเติบโต การสังเคราะห์แสง เป็นตัวกระตุ้นให้เอ็นไซม์ทำงานดีขึ้น ได้แก่ เหล็ก โบรอน แมงกานีส ทองแดง สังกะสี โมลิบดินัม วานาเดียม โคบอล์ล นิเกล ซิลิคอน และซิลิเนียม (นิรนาม, 2545)

แร่ธาตุที่สาหร่ายนำไปใช้สร้างผนังเซลล์และโปรโตพลาสซึม ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดเจน และออกซิเจน แร่ธาตุที่ทำหน้าที่ควบคุมแรงดันออสโมติคของเซลล์เป็นธาตุที่เข้าไปในรูปของไอออนจึงทำให้แรงดันออสโมติคของเซลล์เปลี่ยนแปลงไปตามความเข้มข้นของไอออน แร่ธาตุเหล่านั้นได้แก่ Br^-, Cl^-, K^+, Na^+, H^+ ธาตุอาหารที่สาหร่ายนำเข้าไปควบคุมการรักษาระดับ pH ไม่ให้เปลี่ยนแปลงรวดเร็วจะประกอบด้วย organic ion และ inorganic ion คือ PO_4^{3-}, HCO^{3-}, CO_3^{2-}, H^+,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Na^+, Ca^+ และ Mg^+ ส่วนทองแดงสาหร่ายจะนำไปใช้เป็นองค์ประกอบของ oxidizing-reducing enzyme (วิเชียร, 2539)

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาด้วยวัสดุเหลือใช้ (น้ำทิ้ง)

บุญเริ่ม (2540) อ้างถึง สมบัติ (2528) รายงานว่าการเลี้ยงสไปรูลินาโดยใช้น้ำทิ้งจากนาเกลือและเกลือทะเลแทนสารอาหารที่จำเป็นในสารละลาย A_5 และ B_6 ของ Zarrouk Medium ได้ และ บุญเริ่ม (2540) อ้างถึง นฤมล และคณะ (2529) เพาะเลี้ยงสไปรูลินาในบ่อน้ำทิ้งของโรงงานแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้สาหร่ายตั้งต้นที่ 2% ที่มี $NaHCO_3$ 8.5 ก./ล. และปุ๋ย NPK (16-16-16) 0.6 ก./ล. ส่วนปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) $NaNO_3$, K_2HPO_4 และ $NaNO_3$+K_2HPO_4 ไม่ช่วยเพิ่มผลผลิตของสไปรูลินาให้มากพอที่จะเก็บเกี่ยวได้

คาโรทีนอยด์

คาโรทีนอยด์ที่ใช้ผสมในอาหารจะมาจากธรรมชาติ และจากการสังเคราะห์ขึ้น ส่วนใหญ่คาโรทีนอยด์จากธรรมชาติที่นำมาผสมในอาหารสัตว์จะมีราคาที่ถูกกว่าและปลอดภัยมากกว่าชนิดที่ได้มากจากการสังเคราะห์ ซึ่งส่วนใหญ่ที่นิยมนำมาใช้ เช่น จากสไปรูลินา กลีบดอกดาวเรืองแห้ง หรือจากเปลือกกุ้งป่น (Nakayama, 1962; Quackenbush, 1972; Choubert, 1979; Bauernfeind, 1981)

Choubert (1979) รายงานว่าสาหร่ายสไปรูลินาเป็นแหล่งของรงควัตถุที่ดีในการเร่งสีปลา และได้ รายงานการแยกองค์ประกอบของคาร์โรทีนอยด์ในสาหร่ายชนิดนี้ พบว่าประกอบด้วย beta –carotenoi 26% beta –carotenoid-5-6 epoxide 5% echinonone 7% cryptoxanthin 23% zeaxanthin 9% และ mysoxantophyll 24% รวมปริมาณรงควัตถุเหล่านี้มีประมาณ 1.7 มก./ก. ของน้ำหนักแห้งสาหร่ายสไปรูลินา ซึ่งสอดคล้องกับผลงานของ Goodwin (1955) และ Tanaka *et al.* (1974)

ชนิดและโครงสร้างของ คาโรทีนอยด์

รงควัตถุของพวกคาโรทีนอยด์ จัดเป็นพวกเตทตร้าเทอร์ฟีน (Tetraterpenes) ซึ่งประกอบด้วย ไอโซพรีน (Isoprene) 4 หน่วยมาต่อกันจัดเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว ที่ปลายข้างใดข้างหนึ่งหรือทั้ง 2 ข้าง มีคาร์บอนที่ต่อกันเป็นวง (ring structure) มีตั้งแต่สีเหลือง สีส้ม และสีแดง คาโรทีนอยด์ปรากฏอยู่ในสัตว์ทุกประเภท (Fox, 1957)

คาโรทีนอยด์สามารถแบ่งเป็น 2 พวกใหญ่ๆ ตามโครงสร้างทางเคมีได้ดังนี้ (Greenberg, 1968)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. <u>คาโรทีน (Carotene)</u> โมเลกุลของคาโรทีนเป็นไฮโดรคาร์บอน ซึ่งประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนเชื่อมต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะเดี่ยว (Single bone) สลับกับพันธะคู่ (double bonds) และปลายข้างใดข้างหนึ่งหรือทั้ง 2 ปลาย จะมีอะตอมของคาร์บอนมาเกาะกันเป็นวงเรียกว่า ไอโอโนนริง (ionone ring) สามารถแบ่งย่อยได้เป็น แอลฟา-คาโรทีน (α-carotene) เบตา-คาโรตีน (β-carotene) และแกมมา-คาโรตีน (δ-carotene) ทั้ง 3 แบบจะแตกต่างกันที่ตำแหน่งของพันธะคู่ (Fox และ Vevers, 1960) ตัวที่มีบทบาทมากคือ เบตา-คาโรตีน คือ สามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ (Greenberg, 1968)

2. <u>แซนโทฟิล (Xanthophyll)</u> เกิดจากการเพิ่มออกซิเจนเข้าไปในโมเลกุลของคาโรทีน แซนโทฟิลที่พบในปลาส่วนมากได้แก่ ทาราแซนทิน (taraxanthin) ลูทีน (lutein) และแอสตาแซนทิน (astaxanthin) ส่วนในครัสตาเซียนตัวที่พบมากที่สุด ได้แก่ แอสตาแซนทิน ซึ่งมีอยู่ในครัสตาเซียนเกือบทุกชนิด แซนโทฟิลเป็นคาโรทีนอยด์ที่มีบทบาทในการให้สีในสิ่งมีชีวิต จากการทดลองในไก่ พบว่าแซนโทฟิลพวกไดโฮ-ดรอกซี (dihydroxy) และไดคีโต-คาโรทีนอยด์ (diketo-carotenoid) สามารถให้สีในไข่ไก่ได้ดีกว่าโมโนไฮ-ดรอกซี-โมโนคีโตโพลีออกซี (monohydroxy-monoketo-polyoxy) และอีพอกซี-คาโรทีนอยด์ (epoxy- carotenoid) ส่วนคาโรทีนไม่สามารถให้สีในไก่และไข่ (Braulich,1974)

<u>แหล่งของคาโรทีนอยด์</u>

คาโรทีนอยด์นี้สัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นเองได้ จำต้องรับเข้าสู่ร่างกายจากอาหารที่กินเข้าไปแล้วสะสมอยู่ในร่างกายทำให้เกิดสีขึ้นในส่วนต่างๆของร่างกาย คาโรทีนอยด์จะปรากฏในสัตว์เกือบทุกชนิดตั้งแต่ชั้นต่ำจนถึงสัตว์ชั้นสูง (Fox, 1957) คาโรทีนอยด์ที่มีอยู่ในปัจจุบันมีทั้งที่ได้จากสิ่งมีชีวิตตามธรรมชาติและสังเคราะห์ขึ้น

1. <u>คาโรทีนอยด์จากธรรมชาติ</u> คาโรทีนอยด์จะสามารถพบได้ในสัตว์ทะเลหลายชนิด เช่น ในหยอดไขมันของโคพิพอด และแดพเนียเพศผู้ (Fox, 1957) ในรังไข่ของหอยเชลล์ (scallop) ไฮดราบางชนิด ฟองน้ำทะเล และเอกไคโนเดิร์ม (Fox and Vevers, 1960) นอกจากนี้ยังแยกได้จากสาหร่ายสีเขียว (Nakayama, 1962) ตรวจสอบรงควัตถุจากแพลงก์ตอนทะเล 20 ชนิด พบว่าเป็นอัลลอแซนทิน ลูทิน ฟูโคแซนทิน และ เพอริดิน Philip (1970) รายงานว่ากลีบดอกดาวเรืองจากเม็กซิโกเป็นแหล่งของแซนโทฟิลที่ดีคือ มีคาโรทีนอยด์สูงกว่าในหญ้าขนแห้งถึง 30 เท่า Bauernfeind (1981) กล่าวว่าน้ำมันสีแดงจากปลาบางชนิดเป็นแหล่งของแอสตาแซนทิน ได้แก่ น้ำมันจากปลาคาพิลิน แมกเคอเรล และปลาค้อด นอกจากนี้น้ำมันที่สกัดจากหัวกุ้ง *Penaeus setiferus* ผสมอาหารเลี้ยงกุ้งก้ามกราม (*Macrobranchium rosenbergii*) จะทำให้มีปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาโรทีนอยด์สูงกว่ากุ้งปกติ Choubert (1979) กล่าวว่าสาหร่ายสไปรูลินาเป็นแหล่งของรงควัตถุที่ดีในการใช้เร่งสีปลา และยังรายงานถึงการแยกองค์ประกอบของคาโรทีนอยด์ในสาหร่ายชนิดนี้ และรวมปริมาณของรงควัตถุที่ได้ประมาณ 1.7 มก./ก. ของน้ำหนักแห้งของสไปรูลินา

2. <u>คาโรทีนอยด์สังเคราะห์</u> คือ สารสีซึ่งสกัดออกมาจากแหล่งธรรมชาติมีการจำหน่ายเป็นการค้า แหล่งให้สารสีที่ดีได้แก่สาหร่ายและกลีบดอกไม้บางชนิด (Philip, 1970) เอโปคาโรทีโนอิค เอสเทอร์ และแคนทาแซนทิน เป็นคาโรทีนอยด์ที่มีสะสมอยู่ในในไข่แดงในปริมาณมากว่าสารตัวอื่นๆ และทั้ง 2 ตัวยังให้สีเป็นที่น่าพอใจจึงได้มีการสังเคราะห์รงควัตถุทั้ง 2 ชนิดนี้ขึ้นและใช้ชื่อทางการค้าว่า แคโรฟิล (Carophyll) ธรรชัย (2524) กล่าวว่าแคโรฟิลมี 3 ชนิด

2.1 แคโรฟิล เยลโล (Carophyll yello) ประกอบด้วยเอโปคาโรทีโนอิค เอสเทอร์ 10 % สารตัวนี้สกัดจากหญ้าขน (alfalfa) และผลไม้รสเปรี้ยวบางชนิด (citrus fruits)

2.2 แคโรฟิล ออเรนจ์ (Carophyll orange) ประกอบด้วยแคนทาแซนทิน 10% ซึ่งสกัดได้จากเห็ดซันเทอเรลลี กุ้ง และขนนกฟลามิงโก

2.3 แคโรฟิล เรด (Carophyll red) ประกอบด้วย เอโปคาโรทีโนอิค เอสเทอร์ 5% และ แคนทาแซนทิน 5%

แคโรฟิลมีขนาดอนุภาคเล็กมากมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.15-0.4 มม. ทำให้สามารถผสมกับอาหารได้เป็นอย่างดีในแคโรฟิล เรด หนัก 1 ก. ประกอบด้วย 100,000 อนูของแคโรฟิล ความถ่วงจำเพาะประมาณ 0.7 และแคโรฟิลสังเคราะห์นี้จะคงตัวได้นานไม่เหมือนกับคาโรทีนอยด์ในธรรมชาติซึ่งไม่คงตัว

<u>การสะสมคาโรทีนอยด์ในครัสตาเซียน</u>

ครัสตาเซียนส่วนใหญ่จะมีการเก็บสะสมคาโรทีนอยด์ไว้ในส่วนต่างๆ ของร่างกาย เช่น ตา เลือด ไข่ เปลือกคลุมตัว (Carapace) เฮพาโตแพนเครียส (Hepatopancreas) และรังไข่ คาโรทีนอยด์ที่พบเป็นจำนวนมากในครัสตาเซียนส่วนใหญ่มีอยู่ด้วยกัน 3 ชนิด (Goodwin, 1960) ได้แก่

1. <u>แอสตาแซนทิน (Astaxanthin)</u> เป็นแบบที่พบในครัสตาเซียนเกือบทุกชนิดมีจำนวนมากที่สุดที่พบในครัสตาเซียนมี 3 รูป ได้แก่ Unesterified, Esterified และรวมตัวกับโปรตีน (Chromoprotein หรือ Carotenoprotein) โดยสองพวกแรกจะไม่ละลายน้ำ แต่ในพวกที่สามจะละลายได้ ส่วนใหญ่ที่พบในพวก ครัสตาเซียนจะเป็นพวกที่รวมตัวกับโปรตีม แอสตาแซนทีนที่เป็น Esterfied จะถูกเก็บสะสมไว้ที่ชั้น Epidermis ส่วนที่เป็น Unesterified จะอยู่ในโครมาโตฟอร์ แต่พวกที่เป็นคาโรทีโนโปรตีน จะพบอยู่ทั้งนอกและในโครมาโตฟอร์เท่าๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
116955

2. เบตา-คาโรตีน (β-carotene) เป็นคาโรทีนอยด์ตัวสำคัญอีกตัวหนึ่งรองจากแอสตาแซนทิน ซึ่งมักพบในจำนวนที่น้อยกว่าแอสตาแซนทินในครัสตาเซียนทั่วไป แต่ที่พบในจำนวนมากได้แก่ พวก Isopod (*Asellus aquaticus*) และ Parasitic cirripod (*Sacculina carcini*)

3. แซนโทฟิลชนิดอื่นๆ ที่ไม่ใช่แอสตาแซนทิน เช่น ดริพโตแซนทิน จะพบได้ใน *Asellus aquaticus* แซนโทฟิลธรรมชาติอื่นๆ อีกหลายชนิดจะพบได้ในสัตว์หลายชนิดแต่มีปริมาณเพียงเล็กน้อย

หน้าที่หลักของ astaxanthin ในสัตว์น้ำ

1. การเกิดสี

มะลิ และคณะ (2537) ศึกษาการเสริมรงควัตถุ canthaxanthin และ astaxanthin ที่ระดับต่างๆ ในอาหารต่อสีของกุ้งกุลาดำ ใช้กุ้งมีน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 3.7-4.0 ก. เลี้ยงด้วยอาหารทดสอบ 6 สูตร คือ สูตรควบคุมเป็นสูตรที่ไม่เสริมสารรงควัตถุใดๆ สูตร 1 และ 2 เสริม canthaxanthin ที่ระดับ 50 และ 100 มก./อาหาร 1 กก. ส่วนสูตร 3, 4 และ 5 เสริม astaxanthin ที่ระดับ 25, 50 และ 75 มก./อาหาร 1 กก. ตามลำดับ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ จากผลการทดลองพบว่าทั้ง canthaxanthin และ astaxanthin มีส่วนช่วยปรับปรุงสีของกุ้งกุลาดำและช่วยให้กุ้งสีฟ้าลดจำนวนลง astaxanthin มีประสิทธิภาพสูงกว่า canthaxanthin ประมาณ 2.8 เท่า กุ้งจะสะสม astaxanthin ในเนื้อเยื่อเป็นส่วนใหญ่ การเสริม astaxanthin 50 มก./อาหาร 1 กก. เลี้ยงกุ้งเป็นเวลา 4 สัปดาห์ เพียงพอที่จะช่วยให้กุ้งมีสีได้มาตรฐานตามที่ตลาดต้องการ

2. สรีรวิทยา

astaxanthin มีผลทางสรีรวิทยาของสัตว์น้ำหลายประการ ได้แก่ ช่วยป้องกันเซลล์ที่อาจถูกทำลายจากสารพิษต่างๆ ที่เกิดจากกระบวนการบางอย่างในร่างกายสัตว์เอง ทำให้เซลล์มีสภาพที่ดีและเป็นแหล่งของออกซิเจนที่สำคัญในเซลล์ นอกจากนี้ยังเป็นสาร Analogous ของวิตามินละลายในไขมันอีกด้วย

2.1 การป้องกันภายในเซลล์

โดยธรรมชาติแล้ว astaxanthin มีความสามารถในการจับและทำลายสารพิษต่างๆ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเป็นการป้องกันและรักษาสภาพของเซลล์ให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม การเจริญเติบโตและพัฒนาอย่างรวดเร็วของเซลล์นั้น ทำให้เกิดการผลิตสารพิษต่างๆ รวมทั้งการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารต่างๆ ที่ได้จากกระบวนการทางเคมีในร่างกาย ตัวอย่างเช่น free radicals, lipid perxides และสารพวก oxidative ต่างๆ นั้น ถ้าไม่ถูกจับ และทำลายโดย astaxanthin แล้วสารเหล่านี้จะเป็นอันตรายต่อเซลล์ (Miki,1991)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เป็นแหล่งเก็บออกซิเจนในเซลล์

ในสภาพที่ออกซิเจนต่ำมากๆ เช่น ในไข่ซึ่งมีการเจริญเติบโต และมีการแบ่งตัวอย่างรวดเร็วของเซลล์ พบว่า astaxanthin สามารถช่วยทำให้เซลล์และเนื้อเยื่อมีการเจริญเติบโตและพัฒนาได้เป็นปกติและเหมาะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น ในบ่อกุ้งที่มีออกซิเจนต่ำ (Chien and Jeng, 1992) โดย carotenoid ช่วยให้การทำงานของระบบแลกเปลี่ยนออกซิเจนในสภาพออกซิเจนจำกัดดีขึ้น โดยที่น่าสังเกตว่าลูกปลาที่ต้องการพัฒนาในสภาพที่มีออกซิเจนต่ำ เช่น ในปากแม่น้ำ ในดิน มักมีเม็ดสีมากกว่าไข่ที่พัฒนาในสภาพแวดล้อมที่มีออกซิเจนสูง (Tacon, 1981)

2.3 ภูมิคุ้มกันโรค

carotenoid มีบทบาทร่วมในระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย เช่น β-carotene สามารถป้องกัน Phagocytic cell จากอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นและกระตุ้นการทำงานของ T และ B Lymphocyte และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของ macrophage, cytotoxic T cell และ natural killer cell ซึ่งสอดคล้องกับ Bendich (1989) รายงานว่า carotenoid นั้นสามารถช่วยกระตุ้นภูมิคุ้มกันในสัตว์ได้ทั้งที่เป็น nonspecific immune และ specific immune ซึ่งเป็นการสร้างภูมิคุ้มกันขึ้นในสัตว์ การเสริม astaxanthin ในอาหารจะทำให้เม็ดเลือดกุ้งมีปริมาณมากขึ้น และทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียของตัวกุ้งเพิ่มขึ้น ความต้านทานต่อโรคติดเชื้อแบคทีเรียเพิ่มขึ้น (มะลิ และคณะ, 2543)

จินตนา และคณะ (2542) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลของ astaxanthin จากแหล่งธรรมชาติและแหล่งสังเคราะห์ ที่มีต่อความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มของกุ้งกุลาดำวัยอ่อน โดยการเลี้ยงกุ้งวัยอ่อนระยะต่างๆ ด้วยอาหาร 4 ชนิด คือ อาหารสังเคราะห์ที่เติม astaxanthin ที่ผลิตจากสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก *Haematococcus pluvialis* NIES144 อาหารสังเคราะห์ที่เติม astaxanthin สังเคราะห์ อาหารธรรมชาติ และอาหารสังเคราะห์ไม่เติม astaxanthin เมื่อลูกกุ้งเจริญจนถึงระยะ Postlarva 15 แล้ว นำมาทดสอบการเปลี่ยนแปลงความเค็มอย่างรวดเร็ว ผลปรากฏว่ากุ้งกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เติม astaxanthin จากสาหร่ายมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มได้ดีกว่ากลุ่มอื่นๆ ปริมาณ carotenoid ที่สะสมในกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารธรรมชาติ อาหารที่เติม astaxanthin จากสาหร่าย อาหารที่เติม astaxanthin สังเคราะห์ และกลุ่มควบคุม เท่ากับ 179.54± 0.65, 122.57±5.62, 109.67±0.47, และ 97.33±3.42 ส่วนในล้าน ตามลำดับ

Chien and Pan (2000) ได้ศึกษาความทนทานต่อความเครียดทั้งทางกายภาพ และทางเคมี และความต้านทานโรค โดยการให้อาหารผสม astaxanthin แก่กุ้งกุลาดำ ที่ระดับ 0, 80 และ 240 ส่วนในพัน นาน 8 สัปดาห์ จากนั้นนำกุ้งมาทำการทดสอบความเครียดทางกายภาพ โดยการลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิของน้ำจาก 27 °ซ. เป็น 5 °ซ. และลดความเค็มของน้ำจาก 32 ส่วนในพัน เป็น 0 ส่วนในพัน นาน 5 นาที การทดสอบความเครียดทางเคมี โดยการทดสอบความเป็นพิษของแอมโมเนีย ที่ระดับ 0, 0.02, 0.2, 2 และ 20 มก./ล. แอมโมเนียไนโตรเจนนาน 72 ชั่วโมง และการทดสอบความต้านทานต่อเชื้อ *Vibrio damsela* โดยการแช่นาน 5 วัน พบว่าการลดอุณหภูมิลง 22 °ซ. จะทำให้กุ้งมีความเครียดมากกว่าการลดความเค็มของน้ำลง 32 ส่วนในพัน การเสริม astaxanthin ที่ระดับ 80 ส่วนในล้าน จะช่วยเพิ่มอัตรารอดของกุ้งในการทดสอบความเป็นพิษของแอมโมเนีย ที่ระดับ 0.02, 0.2 และ 2 ส่วนในล้าน และช่วยเพิ่มความต้านทานโรคต่อเชื้อ *Vibrio damsela* ดังนั้นการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า astaxanthin เป็นสารอาหารที่ค่อนข้างจำเป็นสำหรับกุ้งกุลาดำที่อยู่ในสภาวะที่มีความเครียดทั้งทางกายภาพและทางเคมี รวมทั้งสภาวะที่มีเชื้อโรค

การใช้คาโรทีนอยด์ผสมในอาหารเพื่อเร่งสีของสัตว์น้ำ

Fox and Vevers (1960) ทดลองให้อาหารที่มีส่วนผสมของคาโรทีนอยด์จากกลีบดอกไม้ 2 ชนิด คือ *Aesculus hippocastanum* และ *A. parviflora* ในปลาเทราท์ พบว่ามีการสะสมของคาโรทีนอยด์ในเนื้อปลา Peterson *et al.*, (1966) พบว่าลูทีนที่ผสมอยู่ในอาหารสำหรับเลี้ยงปลาเทราท์นั้นจะสะสมอยู่ในเนื้อปลาโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงอวัยวะที่พบมีการสะสมของคาโรทีนอยด์ได้แก่ ที่บริเวณผิวหนัง ไข่ ตับ และเนื้อ (Saito and Regier, 1971) Hata and Hata (1975) ทดลองใช้เบตาคาโรทีน ลูทีน และซีแซนทิน ที่มีคาร์บอนกัมมันตรังสีผสมในอาหารของปลาเรนโบว์เทราท์ จากนั้น 48 ชม. สามารถตรวจพบคาโรทีนอยด์ทั้ง 3 ชนิด ที่ผิวหนัง เนื้อ ตับ และระบบทางเดินอาหาร Saito และ Regier (1971) ทดลองใช้อาหารที่มีส่วนผสมเปลือกกุ้ง 20% เปลือกปู 30% และอาหารที่มีส่วนผสมแคนทาแซนทิน 0.004% แก่ปลาบรุคเทราท์ เป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่าปลาที่ได้รับอาหารผสมแคนทาแซนทินมีการสะสมของคาโรทีนอยด์ที่เนื้อและผิวหนังมากที่สุด แต่ปลาที่ได้รับอาหารที่มีเปลือกกุ้งและและเปลือกปูให้สีเป็นที่ต้องการของตลาดมากที่สุด

Bauernfeind (1981) รายงานการใช้ลูทีนที่สกัดได้จากกลีบดอกดาวเรืองแห้งผสมในอาหารปลาบรุคเทราท์ในปริมาณ 200 มก./อาหาร 1 ปอนด์ พบว่าทำให้เกิดสีเหลืองตามธรรมชาติใน 2-4 สัปดาห์ ซึ่งคาโรทีนอยด์ชนิดนี้พบได้ในสาหร่ายและเป็นตัวทำให้เกิดสีเหลืองในปลา ส่วน Boonyaratpalin (1975) ทดลองใช้กลีบดาวเรืองและสารให้สีที่สกัดจาเมล็ดแอนนัตโตผสมในอาหารเพื่อเป็นแหล่งของคาโรทีนอยด์โดยทดลองกับปลา 3 ชนิด คือ ปลาเทวดา ปลาออสกาและปลาเสือสุมาตรา พบว่าปลาเสือสุมาตราที่ได้รับอาหารที่มีส่วนผสมของกลีบดอกดาวเรือง แถบสีแดงบนลำตัว ครีบหลัง ครีบก้น และครีบหาง จะมีสีแดงเข้ม และสดอย่างชัดเจน เมื่อเทียบกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหารส่วนผสมอื่นๆ Tanaka *et al.*, (1976) ทดลองใช้ alfalfa 10% corn gluten 10% สไปรูลินา 10% และแคนทาแซนทีน 3% ผสมอาหารกุ้ง 21 วัน พบว่าอาหารที่ผสมสไปรูลินาและแคนทาแซนทีนจะทำให้กุ้งมีสีเข้มมากขึ้น และมีปริมาณแอสตาแซนทินในตัวมากขึ้นคือ 18.4 ไมโครกรัม/น้ำหนักตัว 1 ก. และ 10.4 ไมโครกรัม/น้ำหนักตัว 1 ก. ตามลำดับ ขณะที่อาหารสูตรควบคุม มีเพียง 3.4 ไมโครกรัม/ก. และอาหารที่มีส่วนผสมของ alfalfa และ corn gluten มี 5.5 และ 5.1 ไมโครกรัม/กรัม ตามลำดับ วุฒิพร (2527) ทดลองใช้รงควัตถุคาโรทีนอยด์จากสไปรูลินา กุ้งป่น แคโรฟิลเรด หอยแมลงภู่ กลีบดอกดาวเรืองแห้ง และฟักทอง พบว่าสามารถเร่งสีของปลาแฟนซีคาร์พให้เข้มข้นขึ้นได้ โดยสาหร่ายสไปรูลินาและกลีบดอกดาวเรืองแห้ง สามารถเร่งสีให้กับปลาได้ดีที่สุดตามลำดับ

Katayama *et al.* (1972a) รายงานการเร่งสีในสัตว์น้ำ 3 กลุ่มคือ กลุ่มแรกเป็นกลุ่มปลาทอง ปลาคาร์พสีแดง และแฟนซีคาร์พ ควรใช้ซีแซนทีน ลูทีน แคนทาแซนทีน และแอสทาแซนทีน ซึ่งเป็นคาโรทีนอยด์บริสุทธิ์ผสมในอาหาร 1-4 % กลุ่มที่ 2 ได้แก่ กุ้ง ปู และสัตว์จำพวกกุ้งปูอื่นๆ ที่มีแอสตาแซนทีน และซีแซนทีน 1-3% ผสมในอาหาร ในกลุ่มที่ 1 และ 2 นี้สามารถใช้สไปรูลินาในปริมาณ เท่ากันก็จะให้ผลได้ดีเช่นกัน ส่วนกลุ่มที่ 3 ได้แก่ กลุ่มปลาซัลโมนิด และซีบรีม ใช้ทูนาแซนทีน: ลูทีน: แอสตาแซนทีน ในอัตราส่วน 2:1:1:6 ผสมในอาหารจะทำให้ปลาสีเข้มเท่ากับปลาในธรรมชาติ Bauernfeind (1981) เสนอว่าถ้าต้องการเร่งสีของปลาเทราท์และแซลมอนได้เข้มขึ้นควรใช้แอสตาแซนทีน 20 มก./อาหาร 100 ก. หรือใช้แคนทาแซนทีน 30 มก./อาหาร 100 ก. ในเวลา 2-4 เดือน

Allahpichay *et al.* (1984) ทดลองใช้ Antarctic Krill (*Euphausia superba*) และ Mysis (*Neomysis* sp.) เป็นแหล่งของแอสตาแซนทีนเพื่อผสมอาหารปลา Red sea bream พบว่าปริมาณของคาโรทีนอยด์ที่ผิวหน้าของปลามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น ขณะที่อาหารที่ไม่มีคาโรทีนอยด์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงคาโรทีนอยด์ที่ผิวหนัง ส่วน Foss *et al.* (1984) ได้ทดลองใช้แอสตาแซนทีน 3 ไอโซเมอร์ เปรียบเทียบกับแคนทาแซนทิน ผสมในอาหารปลาเรนโบว์เทราท์เลี้ยงในถังไฟเบอร์กลีเลียม พบว่าแอสตาแซนทีน 3ไอโซเมอร์ ให้ผลไม่แตกต่างกันและทั้ง 3 ไอโซเมอร์ ทำให้สีของปลาเข้มข้นได้ดีกว่าแคนทาแซนทิน ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงสีเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อ Storebakken *et al.* (1987) ทดลองวิธีเดียวกับ Foss แต่เปลี่ยนเป็นปลาแอตแลนติก แซลมอน เลี้ยงในกระชังในทะเล พบว่าไม่มีความแตกต่างกันระหว่างแต่ละไอโซเมอร์ และระหว่างแคนทาแซนทินและแอสตาแซนทินทั้ง 3 ไอโซเมอร์ ส่วน Arai *et al.* (1987) ทดลองใช้น้ำมันจาก Antarctic Krill ซึ่งมีแอสตาแซนทีนอยู่ในปริมาณมากเพื่อเป็นส่วนประกอบอาหารเลี้ยงปลาโคโฮเซลมอน วัยอ่อนหนัก 80 ก. ในน้ำจืด ปรากฏว่ามีการเปลี่ยนแปลงของสีของเนื้อปลาเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่เมื่อใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับปลาที่มีน้ำหนัก 180 ก. ปรากฏว่าสีของเนื้อปลาเข้มข้นขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของน้ำมันที่ผสม แต่เมื่อเลี้ยงด้วยอาหารที่ไม่มีส่วนผสมของคาโรทีนอยด์พบว่ามีปริมาณคาโรทีนอยด์ในเนื้อปลาก็จะลดลง

การใช้สาหร่ายสไปรูลินาเป็นอาหารเสริมแก่ปลาและครัสตาเชียน

ได้มีการทดลองใช้สไปรูลินาเป็นอาหารในสัตว์น้ำหลายชนิด โดยเฉพาะปลาชนิดต่างๆ พบว่าทำให้การเจริญเติบโตสูงขึ้นถึงระยะเจริญพันธุ์อย่างรวดเร็ว และช่วยเร่งสีได้ดีอีกด้วย เนื่องจากสไปรูลินามีขนาดเล็กและย่อยได้ง่ายทำให้สไปรูลินาทั้งในรูปแช่แข็งและผงมีคุณสมบัติเหมาะสมในการอนุบาลปลาวัยอ่อน นอกจากนี้ยังเป็นอาหารที่ดีของสัตว์น้ำอื่นๆ ด้วย เช่น หมึก กุ้ง ปู หอย เป็นต้น (Lovell, 1982; Nakamura, 1982) ในปัจจุบันมีการนำสไปรูลินามาเป็นอาหารเสริมสำหรับกุ้งกุลาดำมากขึ้นทำให้กุ้งมีสุขภาพดีสามารถช่วยในการทำงานของระบบทางเดินอาหารและช่วยส่งเสริมให้จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในทางเดินอาหารเจริญได้ดีขึ้น ดังนั้นการให้กุ้งกินสาหร่ายนี้ร่วมกับการใช้โปรไบโอติกจะช่วยให้เชื้อจุลินทรีย์โปรไบโอติกมีการเจริญเติบโตได้ดี ทำให้สมดุลย์ของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารเป็นไปในลักษณะที่มีเชื้อจุลินทรีย์เจ้าบ้านที่ดีอยู่ในปริมาณมากจนข่มไม่ให้เชื้อเรืองแสง (*Vibrio* spp.) ซึ่งเป็นเชื้อที่ก่อโรคเพิ่มจำนวนได้ และเสริมสร้างเซลล์ในตับและตับอ่อน เนื่องจากมีกรดไขมันที่จำเป็นอยู่มาก โดยเฉพาะกรดแกรมมาไลโนเลนิก (Gramma-linolenic acid) ซึ่งเป็นกรดไขมันนี้จะพบได้น้อยในวัตถุดิบที่นำมาใช้เป็นอาหารกุ้ง (ธิดา, 2546)

Choubert (1979) รายงานว่าเมื่อใช้สาหร่ายสไปรูลินาในอาหารปลาเรนโบว์จะทำให้ปลามีสีน้ำตาลแกมเหลือง

Stanley and Jones (1976) ได้รายงานการทดลองนำสไปรูลินามาเลี้ยงปลา Bigmouth buffalo โดยใช้ 29 ก. น้ำหนักแห้ง/น้ำหนักปลา 1 กก. โดยใช้เวลาเลี้ยงนาน 28 วัน พบว่าปลามีอัตราการเจริญเติบโต 14.4 ก./ วัน และอัตราแลกเนื้อ 2:1 ซึ่งให้ผลคล้ายกันเมื่อนำไปเลี้ยงปลา Blue tilapia และให้ผลคล้ายกันกับการทดลองของ Atack *et al.*, (1979) ซึ่งทดลองเลี้ยงในปลา Mirror carp โดยสไปรูลินาเป็นแหล่งโปรตีน ส่วน ปิยะพงศ์ (2527) ทดลองเลี้ยงลูกปลากะพงขนาด 2.5-3.0 ซม.ในบ่อคอนครีตเป็นเวลา 60 วัน ด้วยอาหารเนื้อปลาบดและเนื้อปลาบดผสม สไปรูลินา 15 และ 30% ปลาที่ให้เนื้อปลาบดผสมสไปรูลินาจะมีอัตราเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ 5.50:1 และมีอัตรารอดสูงกว่าปลาที่กินเนื้อปลาสด ซึ่งมีอัตราเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ 9.45:1

กัลยา (2529) ทดลองอนุบาลลูกปลากะพงด้วยอาหารผสม โดยอนุบาลลูกปลากะพงขาวขนาดความยาวเฉลี่ย 2.88 ซม. น้ำหนักเฉลี่ย 0.59 ก. ด้วยเนื้อปลาสด เนื้อปลาสดผสมสไปรูลินา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20% เนื้อปลาสดผสมไข่น้ำ 20% และเนื้อปลาสดผสมกากถั่วเหลืองป่น 20% เป็นเวลา 84 วัน ปรากฏผลว่าลูกปลาที่เลี้ยงด้วยเนื้อปลาสดผสมสไปรูลินาและเนื้อปลาสดผสมไข่น้ำมีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าอาหารชนิดอื่น โดยมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ 8.26 และ 8.83 ตามลำดับ และมีอัตรารอดตายเท่ากัน คือ 86.67% ซึ่งสูงกว่าอาหารชนิดอื่นๆ

Hirano and Suyama (1986) ทดลองใช้สไปรูลินาเลี้ยงปลา Ayu พบว่าอาหารที่มีสไปรูลินา 50% จะทำให้ปลาเจริญเติบโตดี และยังช่วยทำให้กลิ่นรสและความละเอียดอ่อนของเนื้อปลาดีขึ้น และ Mori *et al,* (1987) ใช้ *S. maxima* ผสมในอาหารสำหรับเลี้ยงปลา Ayu ในบ่อเลี้ยงโดยใช้สไปรูลินาในอาหาร 3-6% เลี้ยงนาน 10 สัปดาห์ พบว่าจะทำให้ปลาที่เลี้ยงในบ่อซึ่งมักมีสีผิวเป็นสีน้ำเงินอ่อนเปลี่ยนเป็นสีเหลืองส้มเหมือนปลาในแหล่งน้ำธรรมชาติได้

บานชื่น (2532) ใช้สไปรูลินาสดเป็นส่วนประกอบของอาหารผสมสำหรับเลี้ยงปลาตะเพียนขาว และปลาดุกอุย พบว่าอาหารที่มีส่วนผสมของสไปรูลินาตั้งแต่ 5%ขึ้นไป จะทำให้สีของเนื้อปลาดุกอุยเข้มขึ้นตามปริมาณของสาหร่ายที่เพิ่มขึ้นและระยะเวลาที่เลี้ยง ส่วนการเจริญเติบโตในปลาตะเพียนขาวจะไม่มีความแตกต่าง แต่ในปลาดุกอุยอาหารที่มีสไปรูลินาจะทำให้เติบโตดีกว่า

ในประเทศจีน กุ้ง *Penaeus penicillatus* และ *Metapenaeus* sp. ที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เสริมด้วยสไปรูลินา พบว่า *P. penicillatus* ในระยะซูเอียมีอัตราการรอดตายเพิ่มจาก 57.3% เป็น 70% ส่วนใน *Metapenaeus* sp. มีอัตราการรอดตายที่สูงขึ้นเช่นกันแต่เป็นระยะไมซีส และการเสริมสไปรูลินาในอาหารกุ้งกุลาดำ (*P. monodon*) จะไม่เกิดโรคกุ้งสีฟ้า (นิรนาม, 2545; สุกิจ และ พูนสิน , 2538) มีการใช้สไปรูลินา 8% เป็นส่วนผสมของอาหารเม็ดเลี้ยงกุ้ง *P. japonicus* ระยะวัยรุ่น (juvenile) จะช่วยทำให้การเจริญเติบโตดีอัตราการรอดตายสูง และมีสีเข้มที่สุด แต่ถ้าใช้สาหร่ายเซลล์เดียวชนิดอื่นมาทดแทนสไปรูลินา สีของกุ้งจะจางลง (บุญเริ่ม, 2540 อ้างถึง Cuzon *et al.* 1985) กุ้งกุลาดำขนาดน้ำหนักเฉลี่ย 0.05 ก. ที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารที่มีสไปรูลินาผสมอยู่ 10% มีการเจริญดีมากสุด และจะมีปริมาณคาโรทีนอยด์เพิ่มขึ้นตามปริมาณ สไปรูลินาที่ผสมในอาหารวันและเวลาในการเลี้ยง สามารถใช้เป็นส่วนผสมในอาหารโดยใช้ สไปรูลินาสด 10-20 ก. ปั้นโดยไม่ต้องเติมน้ำให้ละเอียดคลุกอาหารสำเร็จ 1 กก. ให้ปลากินอย่างน้อยวันละ 2 มื้อ จะทำให้กุ้งมีสีสวย โตดี ไม่เป็นโรคง่าย (ธิดา, 2546)

ในเรื่องของการเร่งสี พบว่าการใช้สไปรูลินา 3% ผสมในอาหารกุ้งกุลาดำเป็นเวลา 14-28 วัน สามารถเร่งสีในกุ้งได้ โดยทำให้ปริมาณแคโรทีนอย (Carotenoid) ในเปลือกส่วนหัวและอก (Carapace) สูงขึ้น (นิรนาม, 2545) อาหารกุ้ง *P. japonicus* ที่มีส่วนผสมของสไปรูลินาช่วยทำให้กุ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีสีเข้มขึ้นและมีปริมาณของแอสตาแซนทีนในตัวกุ้งสูงด้วย (วิเชียร, 2539 อ้างถึง Katayama *et al.* 1971)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 : วิธีดำเนินการวิจัยและผลการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัย

ระเบียบวิธีการวิจัย

การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopeneaus vannamei*) ไซต์ใหญ่และสีเข้มด้วยการเสริมสาหร่ายสไปรูลินาตามแนวเกษตรอินทรีย์ แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน จำนวน 6 การทดลอง วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design; CRD) เหมือนกันทั้ง 6 การทดลอง โดยแต่ละการทดลองมี 5 สิ่งทดลอง (treatments) ๆ ละ 3 ซ้ำ (replications) รวมเป็น 15 หน่วยการทดลอง (experimental units) ดังนี้

ส่วนที่ 1 : การผลิตสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว

การศึกษาเบื้องต้น : คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว

นำน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวอายุอยู่ระหว่าง 2.5-3.0 เดือนของเอกชนมาตรวจวิเคราะห์ธาตุอาหารต่างๆ อันได้แก่ ปริมาณไนเตรท ไนไตรท์ แอมโมเนีย และฟอสเฟตอนินทรีย์ ฯลฯ นำผลที่ได้ไปวางแผนการทดลองที่ 1 ต่อไป

การทดลองที่ 1 : ความสามารถในการดำรงชีวิตและการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวด้วยสไปรูลินา

<u>สิ่งทดลอง (treatments)</u> กำหนดให้

สิ่งทดลองที่ 1 (T_1) : ความเข้มข้นของน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว 20%

"_____" 2 (T_2) : "_____" 40%

"_____" 3 (T_3) : "_____" 60%

"_____" 4 (T_4) : "_____" 80%

"_____" 5 (T_5) : "_____" 100% (ชุดควบคุม)

ในกรณีที่ผลการทดลองที่ 1 ได้ความเข้มข้นของน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่เหมาะสมต่อการเจริญของสไปรูลินาอยู่ในชุดทอลงที่ 1-4 ให้ศึกษาระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งที่ละเอียดกว่านี้ ก่อนนำค่าความเข้มข้นของน้ำทิ้งที่เหมาะสมไปใช้ในการทดลองที่ 2

<u>วิธีการ</u> เพาะเลี้ยงสไปรูลินาในน้ำทิ้งที่เจือจางจางความเข้มข้น 5 ระดับ ในขวดน้ำเกลือขนาด 1 ล. เพาะเลี้ยงที่ปริมาตรน้ำ 1 ล. ใช้หัวเชื้อ 2 ก./น้ำทิ้งที่เจือจางแล้ว 1 ล. เพาะเลี้ยงที่ pH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 9.5±0.3 ที่ความเข้มแสง 50,000 ลักซ์ อุณหภูมิ 32±0.2 °ซ. เพาะเลี้ยงจนความหนาแน่นเซลล์ลดลงเป็นวันที่ 2 ติดต่อกันจึงสิ้นสุดการทดลอง

การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ค่าต่างๆ ตรวจวัดการเจริญของสไปรูลินา (ตารางที่ 1) และคุณภาพน้ำค่าต่างๆ (ตารางที่ 2) ทุกวัน

การทดลองที่ 2 : การเพิ่มขีดความสามารถในการเจริญและบำบัดน้ำของสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว

สิ่งทดลอง กำหนดให้

สิ่งทดลองที่ 1 (T_1) : ไม่เติม Na_2HCO_3 ในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว (ชุดควบคุม)

"_____" 2 (T_2) : เติม Na_2HCO_3 ในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว 4.5 ก./ล.

"_____" 3 (T_3) : "_____" 6.5 ก./ล.

"_____" 4 (T_4) : "_____" 8.5 ก./ล.

"_____" 5 (T_5) : "_____" 10.5 ก./ล.

**ใช้ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งที่สไปรูลินาเจริญได้ดีที่สุดจากการทดลองที่ 1 ทั้ง 5 สิ่งทดลอง และมีการเติม Na_2HCO_3 เฉพาะในชุดทดลองที่ 2-4 ตามปริมาณที่กำหนดในสิ่งทดลองข้างต้น

วิธีการ สภาพการเพาะเลี้ยงเช่นเดียวกับการทลองที่ 1

การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ค่าต่างๆ เช่นเดียวกับการทลองที่ 1

การทดลองที่ 3 : การเพิ่มขีดความสามารถในการเจริญของสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว

สิ่งทดลอง กำหนดให้

สิ่งทดลองที่ 1 (T_1) : ไม่เติม N:P:K (15-15-15) ในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว (ชุดควบคุม)

"_____" 2 (T_2) : เติม N:P:K (15-15-15) ในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว 0.3 ก./ล.

"_____" 3 (T_3) : "_____" 0.6 ก./ล.

"_____" 4 (T_4) : "_____" 0.9 ก./ล.

"_____" 5 (T_5) : "_____" 1.2 ก./ล.

**ใช้ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งที่สไปรูลินาเจริญได้ดีที่สุดจากการทดลองที่ 1 และระดับ Na_2HCO_3 ที่ทำให้สไปรูลินาเจริญได้ดีที่สุดจากการทดลองที่ 2 เหมือนกันทั้ง 5 สิ่งทดลอง และเติม N:P:K (15-15-15) เฉพาะในชุดทดลองที่ 2-4 ตามปริมาณที่กำหนดในสิ่งทดลองข้างต้น

วิธีการ สภาพการเพาะเลี้ยงเช่นเดียวกับการทลองที่ 1

การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ค่าต่างๆ เช่นเดียวกับการทลองที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4 : การเพิ่มขีดความสามารถในการเจริญของสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวในสภาพกลางแจ้ง

สิ่งทดลอง เลือกระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งระดับที่ดีที่สุด ปริมาณการเติม Na_2HCO_3 ในน้ำทิ้งที่ดีที่สุด ปริมาณการเติม N:P:K (15-15-15) ในน้ำทิ้งที่ดีที่สุด มาใช้ในการทดลองนี้ ส่วนสภาพการเพาะเลี้ยงเช่นเดียวกับสภาพในห้องปฏิบัติการเหมือนในการทดลองที่ 1-3 แต่ไม่ควบคุมเรื่องของแสงเพราะแสงที่ใช้คือแสงจากดวงอาทิตย์

วิธีการ เพาะเลี้ยงสไปรูลินาในน้ำทิ้งที่เจือจางความเข้มข้นที่ดีที่สุด เติมปริมาณ Na_2HCO_3 และ N:P:K (15-15-15) ในระดับที่ดีที่สุดลงในถังพลาสติกโปร่งแสงขนาด 80 ล. ที่ปริมาตรน้ำที่เพาะเลี้ยง 50 ล. ใช้หัวเชื้อ 2 ก./น้ำทิ้งที่เจือจางแล้ว 1 ล. เพาะเลี้ยงที่ pH ประมาณ 9.5±0.3 เพาะเลี้ยงจนความหนาแน่นเซลล์ลดลงเป็นวันที่ 2 ติดต่อกันจึงสิ้นสุดการทดลอง

การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ค่าต่างๆ เช่นเดียวกับการทลองที่ 1 และเพิ่มการตรวจวัดน้ำหนักสดของเซลล์สไปรูลินาทุกวันด้วย

การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

วิเคราะห์ทางสถิติ โดยการนำข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดทั้งหมดเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test; DMRT ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

ตารางที่ 1 ค่าที่จะทำการตรวจวัดการเจริญของสไปรูลินา และวิธีการวัด/วิเคราะห์

พารามิเตอร์ที่วัด	วิธีการวัด/วิเคราะห์	หมายเหตุ
1. ความสมบูรณ์ของเซลล์สาหร่าย	Compound microscope	-
2. การเจริญของสไปรูลินา	ค่า OD.(Optical Density) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer	ลัดดา (2543)
3. น้ำหนักสด	สวิงกรองขนาด 60 ไมครอน	ธิดา (2545)
4. โปรโตซัว	Compound microscope	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ค่าที่จะทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำที่ทำการตรวจวัด และวิธีการวัด/วิเคราะห์

ค่าคุณภาพน้ำ	วิธีการวัด/วิเคราะห์	หมายเหตุ
1. ความเป็นกรด-ด่าง	เครื่อง pH Meter	-
2. สภาพด่าง	Potentiometric titration	APHA, AWWA and WPCP(1980)
3. อุณหภูมิ	เทอร์โมมิเตอร์	-
4. ความเค็ม	Reflecto salinometer	-
5. ออกซิเจนละลายน้ำ	เครื่องวัดออกซิเจน	YSI 57
6. ความกระด้าง	Titration	-
7. ไนเตรท-ไนโตรเจน	แคดเมี่ยม-คอปเปอร์ คอลัมน์	-
8. ไนไตรท์-ไนโตรเจน	ซัลฟานิลาไมด์ และเอ็นอีดี	Grasshoff (1976)
9. แอมโมเนีย-ไนโตรเจน	ฟีนอล-ไฮโปรคลอไรด์	Strickland and Parsons (1972)
10. ออร์โธฟอสเฟต	Reactive Phosphorus	APHA, AWWA and WPCP (1980)

ตารางที่ 3 ค่าที่จะตรวจวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของอาหารทดลอง และวิธีการวัด/วิเคราะห์

คุณค่าทางโภชนาการ	วิธีการวัด/วิเคราะห์	หมายเหตุ
1. ความชื้น	Hot Air Oven	AOAC (1998)
2. เถ้า	Muffle furnace	AOAC (1998)
3. โปรตีน	Kjeldahl Method	AOAC (1998)
4. ไขมัน	เครื่องวิเคราะห์ไขมัน	AOAC (1998)
5. เยื่อใย	เครื่องวิเคราะห์เยื่อใย	AOAC (1998)
6. คาร์โบไฮเดรต	-	AOAC (1998)
7. ฟอสฟอรัส	Spectrophotometer	เยาวมาลย์, 2523
8. แคลเซียม	ไทเทรตด้วย $KMnO_4$	เยาวมาลย์, 2523

ส่วนที่ 2 : การเลี้ยงกุ้งขาวด้วยอาหารที่เสริมสาหร่ายสไปรูลินา

การทดลองที่ 5 : การเลี้ยงกุ้งขาวด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดที่เคลือบด้วยสารเคลือบจากธรรมชาติที่ต่างกัน

<u>สิ่งทดลอง</u> กำหนดให้

สิ่งทดลองที่ 1 (T_1) : อาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสด ไม่มีสารเคลือบ (ชุดควบคุม)

"_____" 2 (T_2) : อาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดที่เคลือบด้วยเลซิติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

"_____" 3 (T_3) : "_____" กล้วย

"_____" 4 (T_4) : "_____" น้ำมันปลาหมึก

"_____" 5 (T_5) : "_____" ไคโตซาน

**อาหารกุ้งขาวที่ใช้ยี่ห้อ บลังก้า (Blanca) ของบริษัทเครือเจริญโภคภัณฑ์อาหารจำกัด มหาชน มีอาหาร 3 ระยะคือ 1. เบอร์ 3 อายุ 1 – 2 เดือน (โปรตีน>34% ไขมัน>5% ความชื้น<11% เยื่อใย<4%)

2. เบอร์ 3p อายุ 2 – 3 เดือน (โปรตีน>34% ไขมัน>5% ความชื้น<12% เยื่อใย<4%)

3. เบอร์ 4s อายุ 3 – 4 เดือน (โปรตีน>32% ไขมัน>5% ความชื้น<12% เยื่อใย<4%)

วิธีการ

1. การเตรียมอาหารทดลอง เก็บเกี่ยวสาหร่ายสไปรูลินาสดด้วยการกรองด้วยสวิงกรองขนาด 60 ไมครอน ล้างเซลล์ให้สะอาด ทิ้งไว้ให้เซลล์สาหร่ายสไปรูลินาสะเด็ดน้ำ (ควรสุ่มเซลล์สไปรูลินาเพื่อวัดค่าความชื้นของเซลล์สาหร่ายและควบคุมให้ค่าความชื้นของเซลล์สไปรูลินามีค่าคงที่ทุกครั้งที่เก็บเกี่ยวเซลล์สไปรูลินาไปใช้) ผสมสไปรูลินาสดที่ได้ลงในอาหารกุ้งขาวที่ 100 ก./กก. คลุกเคล้าให้เข้ากันผึ่งอาหารในที่ร่มให้หมาดๆ ประมาณ 15 นาที นำมาเคลือบด้วยสารเคลือบต่างกันตามชุดทดลอง ยกเว้นชุดควบคุมไม่ต้องเคลือบด้วยสารเคลือบ ผึ่งอาหารที่ได้ในที่ร่มจนแห้ง (ประมาณ 3-6 ชม.) จากนั้นนำอาหารทดลองส่วนหนึ่งไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ (ตารางที่ 3) ส่วนอาหารที่เหลือซึ่งจะใช้ในการทดลองควรใส่ถุงพลาสติกแล้วนำไปเก็บไว้ในตู้เย็นที่ 4 °ซ. ในที่มืด ก่อนนำอาหารทดลองมาใช้ต้องตั้งทิ้งไว้ให้อุณหภูมิอาหารเท่ากับอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมก่อน จากนั้นจึงนำไปให้กุ้งกิน (ควรเตรียมอาหารใหม่ทุก 7 วัน)

2. การเตรียมสัตว์ทดลอง นำกุ้งขาวอายุ 20 วันมาเลี้ยงในถังไฟเบอร์ขนาด 1 ตัน เลี้ยงที่ความเค็ม 25 ส่วนในพัน ให้อาหารที่ไม่เสริมสไปรูลินา (ชุดควบคุม) วันละ 4 ครั้งคือ 07.00, 12.00, 17.00 และ 22.00 น. ดูดตะกอนและเปลี่ยนถ่ายน้ำทุกๆ 2 วัน ให้อากาศอย่างเพียงพอ (เลี้ยงเพื่อปรับสภาพก่อนเริ่มการทดลองเป็นเวลา 10 วัน)

3. การเตรียมภาชนะทดลองและน้ำ ล้างทำความสะอาดถังพลาสติกกลมขนาด 300 ล. จำนวน 15 ถังและฆ่าเชื้อให้เรียบร้อย ใส่น้ำทะเลความเค็ม 25 ส่วนในพัน ที่ปริมาตร 250 ล. ให้อากาศผ่านหัวทราย ทำการคัดเลือกกุ้งที่มีขนาดใกล้เคียงกันจำนวน 50 ตัว/ถัง จากนั้นนำตระแกรงมุ้งสีฟ้าคลุมปากถังทุกถังเพื่อป้องกันกุ้งกระโดดและควบคุมแสงสว่างให้พอเหมาะ

4. การให้อาหารกุ้งทดลอง ให้อาหารทดลองทั้ง 5 ชุดที่เตรียมไว้แล้วตามชุดทดลองต่างๆ ในปริมาณ 3% ของน้ำหนักตัว วันละ 4 ครั้งคือ 07.00 , 12.00 , 17.00 และ 22.00 น. ค่อยๆ ปรับอาหารไม่ให้เหลือมากเกินไปในแต่ละมื้อ วันที่สุ่มชั่งน้ำหนักและวัดความยาวทุก 15 วันจะไม่มีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้อาหาร เปลี่ยนเบอร์อาหารกุ้งตามขนาดของกุ้งที่โตขึ้น จดบันทึกอาหารที่กุ้งใช้เพื่อนำไปคำนวณหาอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่อไป เลี้ยงเป็นเวลา 10 สัปดาห์

5. การทำความสะอาดถังทดลอง ดูดตะกอนที่พื้นถัง (ทุกวัน) และทำความสะอาดถังหลังให้อาหารมื้อที่ 3 ประมาณ 2 ชม. แล้วเติมน้ำใหม่ประมาณ 50% ของปริมาตรน้ำที่เลี้ยงทั้งหมด ทุกๆ 4 วัน

6. ตรวจวัดคุณภาพน้ำในระหว่างการทดลอง ค่าที่ตรวจวัด ได้แก่ ออกซิเจนละลายน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิ ทุกวัน (07.00 และ15.00 น.) และตรวจวัดสภาพด่าง ความกระด้าง ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน ไนไตรท์-ไนโตรเจน และแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ทุก 4 วัน

7. การตรวจวัดการเจริญเติบโต

- ความยาวทั้งหมด (total length) ด้วยไม้บรรทัดขนาด 1 ฟุต วัดทุกตัว/ถัง (ก่อนและหลังทดลอง)
- น้ำหนักกุ้ง ด้วยตาชั่งขนาด 500 ก. ชั่งกุ้งทุกตัว (ก่อนและหลังทดลอง และทุก 15 วัน)
- ตรวจนับจำนวนกุ้งที่เหลืออยู่ในถังทุกถังเมื่อครบ 10 สัปดาห์

การรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

1. การเติบโต

1.1 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (Weight Gain)

$$\text{เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (\%)} = \frac{\text{(น้ำหนักสุดท้าย – น้ำหนักเริ่มต้น)}}{\text{น้ำหนักสุดท้าย}} \times 100$$

1.2 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific Growth Rate)

$$\text{อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (\%)} = \frac{\text{(น้ำหนักสุดท้าย – น้ำหนักเริ่มต้น)}}{\text{จำนวนวันทดลอง}} \times 100$$

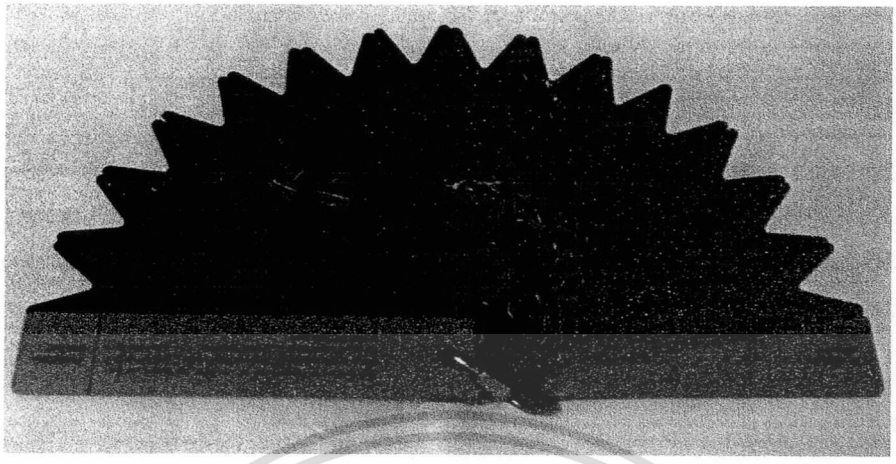
1.3 อัตราการรอดตาย

$$\text{อัตราการรอดตาย (\%)} = \frac{\text{จำนวนกุ้งเมื่อสิ้นสุดการทดลอง}}{\text{จำนวนกุ้งเริ่มต้น}} \times 100$$

2. เปรียบเทียบความเข้มสีของเนื้อกุ้งก่อนและหลังแกะเปลือก

หลังจากทดลองเป็นเวลา 75 วัน ทำการสุ่มวัดจำนวน 5 ตัว ทุกชุดทดลอง นำไปต้มในน้ำเดือดประมาณ 5 นาที เพื่อเปรียบเทียบความเข้มสีของเนื้อกุ้งก่อน (สีเปลือก) และหลังแกะเปลือก (สีเนื้อที่เปลี่ยนไป) เปรียบเทียบกับแผ่นเทียบสีมาตรฐานซึ่งมีระดับของสีระหว่าง 20-34 (ภาพที่ 1) พร้อมทั้งถ่ายภาพตัวอย่างกุ้งประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 1 แถบเทียบสีมาตรฐานสำหรับสัตว์น้ำที่มีสารแอสตาแซนทิน (สีชมพูแดง) ตามลำดับความเข้มของสีระหว่าง 20-34 ที่ใช้เปรียบเทียบความเข้มสีของเนื้อกุ้งก่อนและหลังแกะเปลือกของกุ้งขาว

<u>การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ</u> เช่นเดียวกับการทดลองที่ 4

การทดลองที่ 6 : การเลี้ยงกุ้งขาวด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดในปริมาณที่ต่างกัน

<u>สิ่งทดลอง</u> กำหนดให้

สิ่งทดลองที่ 1 (T_1) : อาหารเม็ดสำเร็จรูปที่ไม่เสริมสไปรูลินาสด (ชุดควบคุม)

"_____" 2 (T_2) : อาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสด 50 ก./กก.

"_____" 3 (T_3) : "_____" 100 ก./กก.

"_____" 4 (T_4) : "_____" 150 ก./กก.

"_____" 5 (T_5) : "_____" 200 ก./กก.

<u>วิธีการ</u>

1. <u>การเตรียมอาหารทดลอง</u> เตรียมอาหารและเก็บรักษาอาหารทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 5 แต่เตรียมอาหารทดลองตามสิ่งทดลองที่ 6 คือชุดที่ไม่เสริมสไปรูลินา (ชุดควบคุม) ชุดที่เสริมสไปรูลินาสด 50, 100, 150 และ 200 ก./กก. โดยเคลือบด้วยน้ำมันปลาหมึก

2. <u>การเตรียมสัตว์ทดลอง</u> ทำเช่นเดียวกับการทดลองที่ 5

3. <u>การเตรียมภาชนะทดลองและน้ำ</u> ทำเช่นเดียวกับการทดลองที่ 5

4. <u>การให้อาหารกุ้งทดลอง</u> ทำเช่นเดียวกับการทดลองที่ 5

5. <u>การทำความสะอาดถังทดลอง</u> ทำเช่นเดียวกับการทดลองที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ตรวจวัดคุณภาพน้ำในระหว่างการทดลอง ทำเช่นเดียวกับการทดลองที่ 5

7. การตรวจวัดการเจริญเติบโต ทำเช่นเดียวกับการทดลองที่ 5

การรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

1. การเติบโต เช่นเดียวกับการทดลองที่ 5

2. เปรียบเทียบความเข้มสีของเนื้อกุ้งก่อนและหลังแกะเปลือก เช่นเดียวกับการทดลองที่ 5

3. วิตามินเอ (Retinol) ในเนื้อกุ้ง

วิเคราะห์วิตามินเอ (Retinol) ในเนื้อกุ้งด้วยวิธี In house method, HPLC โดยสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ

การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิจัย

จากการนำน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในบ่อดินมาเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา และการนำเซลล์สาหร่ายสไปรูลินาสดที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งดังกล่าวมาใช้เสริมในอาหารสำเร็จรูปกุ้งขาวในปริมาณการเสริมที่ต่างกัน รวมถึงการศึกษาสารเคลือบจากธรรมชาติที่เหมาะสมต่อการเคลือบเซลล์สไปรูลินาสดกับเม็ดอาหารสำเร็จรูป ผลการศึกษาได้ผลดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 : การผลิตสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว

การศึกษาเบื้องต้น : คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว

คุณภาพน้ำทิ้งที่ได้จากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวอายุประมาณ 3 เดือน พบว่ามีปริมาณของธาตุอาหารอันได้แก่ ปริมาณไนเตรท ไนไตรท์ แอมโมเนีย และฟอสเฟตอนินทรีย์เท่ากับ 0.32±0.01, 0.10±0.03, 0.70±0.02 และ 0.42±0.05 มก./ล.ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ปริมาณธาตุอาหารที่ตรวจวัดได้จากน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวอายุ 3 เดือน

ธาตุอาหาร	ปริมาณ (มก./ล.)
ไนเตรท-ไนโตรเจน	0.32±0.01
ไนไตรท์-ไนโตรเจน	0.10±0.03
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน	0.70±0.02
ฟอสเฟตอนินทรีย์	0.42±0.05

การทดลองที่ 1 : ความสามารถในการดำรงชีวิตและการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวด้วยสไปรูลินา

1. การเจริญของสไปรูลินา

สไปรูลินาเจริญด้วยการเพิ่มจำนวนเซลล์ในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่ความเข้มข้นต่างกัน 5 ระดับได้แตกต่างกันทั้งระยะเวลาที่ใช้ในการเจริญและความหนาแน่นเซลล์ที่สังเกตได้ (OD) กล่าวคือใช้ระยะเวลาในการเจริญจนมีค่า OD สูงสุด (วัน D_{max}) แตกต่างกันคือในวันที่ 7, 7, 8, 8 และ 8 ในชุดที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำทิ้งที่ 20, 40, 60, 80 และ 100% ตามลำดับ ส่วนค่า OD ของทั้ง 5 ชุดทดลองในวันเริ่มต้นมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ในขณะที่ในวัน D_{max} ค่า OD ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สไปรูลินามีค่าสูงสุดคือ 0.51±0.02 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับชุดควบคุมที่ใช้น้ำทิ้ง 100% ที่มีค่า 0.50±0.03 สูงกว่า ($p<0.01$) อีก 3 ชุดทดลองที่เหลือ ชุดทดลองที่ใช้น้ำทิ้ง 20% มีค่า OD ต่ำสุดคือ 0.32±0.03 ต่ำกว่า ($p<0.01$) อีก 4 ชุดทดลองที่เหลือ (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ค่า OD เฉลี่ยของสาหร่ายสไปรูลินาที่เจริญในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่ความเข้มข้นต่างกัน

วันที่	ค่า OD				
	ความเข้มข้น 20%	ความเข้มข้น 40%	ความเข้มข้น 60%	ความเข้มข้น 80%	ความเข้มข้น 100% (ชุดควบคุม)
0[ns]	0.14±0.01	0.15±0.02	0.16±0.03	0.14±0.03	0.14±0.02
1	0.15±0.02	0.17±0.11	0.20±0.03	0.21±0.02	0.26±0.06
2	0.18±0.04	0.19±0.15	0.22±0.04	0.25±0.08	0.28±0.07
3	0.20±0.01	0.22±0.06	0.26±0.07	0.30±0.14	0.33±0.10
4	0.22±0.03	0.27±0.02	0.28±0.13	0.35±0.16	0.38±0.05
5	0.27±0.10	0.31±0.07	0.33±0.08	0.37±0.19	0.41±0.17
6	0.28±0.10	0.35±0.08	0.40±0.14	0.40±0.14	0.43±0.10
7	0.32±0.03	0.39±0.03	0.440.17	0.45±0.05	0.46±0.09
8	0.27±0.02	0.35±0.04	0.46±0.04	0.51±0.02	0.50±0.03
9	0.22±0.16	0.30±0.08	0.40±0.02	0.50±0.10	0.43±0.20
10	-	-	0.31±0.06	0.44±0.12	0.36±0.08
ค่า OD ในวัน D_{max}	0.32±0.03[d]	0.39±0.03[c]	0.46±0.04[b]	0.51±0.02[a]	0.50±0.03[ab]

หมายเหตุ 1. ns คือ non significant แสดงความไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกัน ($p>0.05$)

2. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันกำกับ แสดงความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกัน ($p<0.01$)

3. ส่วนที่มีเงาเข้มแสดงวันที่สไปรูลินาเจริญสูงสุดในแต่ละชุดการทดลอง

4. – แสดงการสิ้นสุดการทดลอง

5. D_{max} หมายถึง วันที่สไปรูลินาเจริญสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. คุณภาพน้ำทิ้งที่บำบัดด้วยสไปรูลินา

2.1 ปริมาณไนเตรท ไนเตรทในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่บำบัดด้วสไปรูลินาทั้ง 5 ชุดทดลองในวัน D_{max} มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับวันเริ่มต้น ปริมาณไนเตรทในวันเริ่มต้นมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.01$) ในระหว่างชุดทดลองทั้ง 5 ชุดเป็นลำดับกล่าวคือชุดที่มีความเข้มข้นของน้ำทิ้งมากจะมีปริมาณไนเตรทสูงและลดลงเป็นลำดับตามความเข้มข้นซึ่งของน้ำทิ้งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.14-0.36 มก./ล. ส่วนในวัน D_{max} เหลือปริมาณไนเตรทในน้ำทิ้งในชุดทดลองต่างๆ แตกต่างกัน ชุดทดลองที่ใช้น้ำทิ้ง 100% เหลือปริมาณไนเตรทในน้ำสูงสุดคือ 0.51±0.03 มก./ล. สูงกว่า ($p<0.01$) อีก 4 ชุดทดลองที่เหลือ ชุดที่มีปริมาณไนเตรทในน้ำรองลงมาคือชุดที่ใช้น้ำทิ้ง 80% ที่มีค่า 0.08±0.02 มก./ล. สูงกว่า ($p<0.01$) อีก 3 ชุดทดลองที่เหลือที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) มีปริมาณไนเตรท 0.02-0.04 มก./ล. (ตารางที่ 6)

2.2 ปริมาณไนไตรท์ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนไตรท์ในน้ำทิ้งที่บำบัดด้วยสไปรูลินาทั้ง 5 ชุดทดลองในวัน D_{max} มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับวันเริ่มต้น ในวันเริ่มต้นปริมาณไนไตรท์มีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.01$) ในระหว่างชุดทดลองบางชุด กล่าวคือชุดที่มีความเข้มข้นของน้ำทิ้งมากจะมีปริมาณไนไตรท์สูงและลดลงเป็นลำดับตามความเข้มข้นของน้ำทิ้งคือมีค่า 0.03±0.02, 0.06±0.03, 0.07±0.02, 0.09±0.01 และ 0.15±0.03 มก./ล.ในชุดที่ใช้น้ำทิ้ง 20, 40, 60, 80 และ 100% ตามลำดับ ส่วนในวัน D_{maxg} เหลือปริมาณไนไตรท์ในน้ำน้อยมากจนเครื่องไม่สามารถตรวจวัดได้เหมือนกันทุกชุดทดลอง (ตารางที่ 7)

2.3 ปริมาณแอมโมเนีย ปริมาณแอมโมเนียในน้ำทิ้งที่บำบัดด้วยสไปรูลินาทั้ง 5 ชุดทดลองมีปริมาณลดลงจากวันเริ่มต้นจนถึงวัน D_{max} ปริมาณแอมโมเนียในวันเริ่มต้นมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.01$) ในระหว่างชุดทดลองบางชุด กล่าวคือชุดที่มีความเข้มข้นของน้ำทิ้งมากจะมีปริมาณแอมโมเนียสูงและลดลงเป็นลำดับตามความเข้มข้นของน้ำทิ้งโดยมีค่า 0.44±0.04, 0.47±0.36, 0.55±0.05, 0.58±0.02 และ 0.67±0.04 มก./ล.ในชุดที่ใช้น้ำทิ้ง 20, 40, 60, 80 และ 100% ตามลำดับ เหลือปริมาณแอมโมเนียในน้ำในวัน D_{maxg} น้อยมากจนเครื่องไม่สามารถตรวจวัดได้เหมือนกันทุกชุดทดลอง (ตารางที่ 8)

2.4 ปริมาณฟอสเฟตอนินทรีย์ น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่บำบัดด้วสไปรูลินาทั้ง 5 ชุดทดลองมีปริมาณฟอสเฟตอนินทรีย์ ลดลงในวัน D_{max} เมื่อเปรียบเทียบกับวันเริ่มต้น ปริมาณฟอสเฟตอนินทรีย์ในวันเริ่มต้นมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ในระหว่างชุดทดลองทั้ง 5 ชุด ส่วนในวัน D_{max} เหลือปริมาณฟอสเฟตอนินทรีย์ในน้ำทิ้งสูงสุดในชุดทดลองที่ใช้น้ำทิ้ง 40% คือ 0.19±0.03 มก./ล. ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับชุดที่ใช้น้ำทิ้ง 20 และ 60% ที่มีค่า 0.14±0.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 0.17±0.03 มก./ล.ตามลำดับ แต่สูงกว่า $p<0.05$) อีก 2 ชุดทดลองที่เหลือที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) คือ 0.11-0.13 มก./ล. (ตารางที่ 9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 ปริมาณไนเตรทเฉลี่ยในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่ความเข้มข้นต่างกันที่ได้จากการบำบัดด้วยสไปรูลินา

วันที่	ปริมาณไนเตรท (มก./ล.)				
	ความเข้มข้น 20%	ความเข้มข้น 40%	ความเข้มข้น 60%	ความเข้มข้น 80%	ความเข้มข้น 100% (ชุดควบคุม)
0	0.14 ± 0.02^{e}	0.19 ± 0.02^{d}	0.25 ± 0.02^{c}	0.31 ± 0.03^{b}	0.36 ± 0.04^{a}
1	0.12±0.02	0.15±0.03	0.22±0.05	0.30±0.03	0.35±0.10
2	0.11±0.04	0.14±0.04	0.20±0.07	0.27±0.01	0.300±.02
3	0.09±0.08	0.12±0.10	0.19±0.10	0.25±0.08	0.29±0.05
4	0.07±0.10	0.10±0.05	0.17±0.12	0.23±0.02	0.25±0.06
5	0.07±0.11	0.09±0.06	0.15±0.05	0.17±0.04	0.22±0.08
6	0.05±0.02	0.07±0.10	0.11±0.08	0.12±0.09	0.20±0.10
7	0.02±0.01	0.02±0.01	0.06±0.04	0.10±0.05	0.16±0.04
8	0.02±0.02	0.01±0.01	0.04±0.02	0.08±0.02	0.15±0.03
9	0.03±0.02	0.01±0.02	0.02±0.02	0.03±0.01	0.10±0.05
10	-	-	0.01±0.02	0.01±0.01	0.07±0.10
ไนเตรทในวัน D_{max}	0.02 ± 0.01^{c}	0.02 ± 0.01^{c}	0.04 ± 0.02^{c}	0.08 ± 0.02^{b}	0.15 ± 0.03^{a}

หมายเหตุ 1. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันกำกับ แสดงความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกัน ($p<0.01$)

2. ส่วนที่มีเงาเข้มแสดงวันที่สไปรูลินาเจริญสูงสุดในแต่ละชุดการทดลอง

3. – แสดงการสิ้นสุดการทดลอง

4. D_{max} หมายถึง วันที่สไปรูลินาเจริญสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 ปริมาณไนไตรท์เฉลี่ยในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่ความเข้มข้นต่างกันที่ได้จากการบำบัดด้วยสไปรูลินา

วันที่	ปริมาณไนไตรท์ (มก./ล.)				
	ความเข้มข้น 20%	ความเข้มข้น 40%	ความเข้มข้น 60%	ความเข้มข้น 80%	ความเข้มข้น 100% (ชุดควบคุม)
0	0.03 ± 0.02^{c}	0.06 ± 0.03^{bc}	0.07 ± 0.02^{bc}	0.09 ± 0.01^{b}	0.15 ± 0.03^{a}
1	0.04±0.02	0.05±0.05	0.06±0.11	0.07±0.01	0.14±0.09
2	0.03±0.01	0.04±0.01	0.07±0.04	0.05±0.03	0.12±0.10
3	0.01±0.02	0.02±0.05	0.04±0.06	0.02±0.04	0.11±0.12
4	ND	ND	0.02±0.01	0.01±0.08	0.07±0.05
5	ND	ND	ND	ND	0.05±0.02
6	ND	ND	ND	ND	ND
6	ND	ND	ND	ND	ND
7	ND	ND	ND	ND	ND
8	ND	ND	ND	ND	ND
9	ND	ND	ND	ND	ND
10	-	-	ND	ND	ND
ค่าในวัน D_{max}	ND^{ns}	ND^{ns}	ND^{ns}	ND^{ns}	ND^{ns}

หมายเหตุ 1. ns คือ non significant แสดงความไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกัน ($p>0.05$)

2. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันกำกับ แสดงความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกัน ($p<0.01$)

3. ส่วนที่มีเงาเข้มแสดงวันที่สไปรูลินาเจริญสูงสุดในแต่ละชุดการทดลอง

4. -- แสดงการสิ้นสุดการทดลอง

5. D_{max} หมายถึง วันที่สไปรูลินาเจริญสูงสุด

6. ND = Non Detect หมายถึง มีค่าน้อยมากจนเครื่องไม่สามารถตรวจวัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 ปริมาณแอมโมเนียเฉลี่ยในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่ความเข้มข้นต่างกันที่ได้จากการบำบัดด้วยสไปรูลินา

วันที่	ปริมาณแอมโมเนีย (มก./ล)				
	ความเข้มข้น 20%	ความเข้มข้น 40%	ความเข้มข้น 60%	ความเข้มข้น 80%	ความเข้มข้น 100% (ชุดควบคุม)
0	0.44 ± 0.04^{c}	0.47 ± 0.36^{c}	0.55 ± 0.05^{b}	0.58 ± 0.02^{b}	0.67 ± 0.04^{a}
1	0.38±0.05	0.40±0.05	0.45±0.08	0.50±0.02	0.63±0.06
2	0.30±0.01	0.37±0.03	0.30±0.10	0.48±0.04	0.60±0.10
3	0.27±0.16	0.33±0.05	0.26±0.12	0.40±0.06	0.51±0.12
4	0.29±0.05	0.23±0.07	0.22±0.18	0.31±0.05	0.42±0.05
5	0.15±0.03	0.18±0.10	0.20±0.02	0.26±0.10	0.40±0.08
6	0.08±0.02	0.07±0.10	0.12±0.05	0.19±0.15	0.26±0.12
7	ND	ND	0.08±0.05	0.09±0.10	0.11±0.05
8	ND	ND	ND	ND	ND
9	ND	ND	ND	ND	ND
10	-	-	ND	ND	ND
แอมโมเนียในวัน D_{max}	ND^{ns}	ND^{ns}	ND^{ns}	ND^{ns}	ND^{ns}

หมายเหตุ 1. ns คือ non significant แสดงความไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกัน ($p>0.05$)

2. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันกำกับ แสดงความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกัน ($p<0.01$)

3. ส่วนที่มีเงาเข้มแสดงวันที่สไปรูลินาเจริญสูงสุดในแต่ละชุดการทดลอง

4. – แสดงการสิ้นสุดการทดลอง

5. D_{max} หมายถึง วันที่สไปรูลินาเจริญสูงสุด

6. ND = Non Detect หมายถึง มีค่าน้อยมากจนเครื่องไม่สามารถตรวจวัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9 ปริมาณฟอสเฟตอนินทรีย์เฉลี่ยในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่ความเข้มข้นต่างกันที่ได้จากการบำบัดด้วยสไปรูลินา

วันที่	ปริมาณฟอสเฟตอนินทรีย์ (มก./ล.)				
	ความเข้มข้น 20%	ความเข้มข้น 40%	ความเข้มข้น 60%	ความเข้มข้น 80%	ความเข้มข้น 100% (ชุดควบคุม)
0^{ns}	0.30±0.03	0.33±0.03	0.34±0.03	0.35±0.04	0.37±0.04
1	0.27±0.02	0.30±0.11	0.330.02	0.36±0.15	0.34±0.04
2	0.25±0.01	0.28±0.10	0.29±0.01	0.33±0.11	0.31±0.08
3	0.21±0.04	0.25±0.02	0.28±0.04	0.30±0.02	0.28±0.10
4	0.18±0.03	0.27±0.05	0.30±0.05	0.26±0.05	0.22±0.04
5	0.15±0.05	0.24±0.08	0.25±0.08	0.20±0.03	0.18±0.03
6	0.13±0.11	0.21±0.02	0.20±0.01	0.18±0.06	0.19±0.02
7	0.14±0.02	0.19±0.03	0.18±0.04	0.15±0.06	0.15±0.04
8	0.11±0.07	0.18±0.02	0.17±0.03	0.11±0.04	0.13±0.03
9	0.09±0.09	0.17±0.01	0.15±0.06	0.13±0.02	0.16±0.20
10	-	-	0.16±0.03	0.15±0.10	0.10±0.10
ฟอสเฟตอนินทรีย์ในวัน D_{max}	0.14 ± 0.02^{abc}	0.19 ± 0.03^{a}	0.17 ± 0.03^{ab}	0.11 ± 0.04^{c}	0.13 ± 0.03^{bc}

หมายเหตุ 1. ns คือ non significant แสดงความไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกัน ($p>0.05$)

2. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันกำกับ แสดงความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกัน ($p<0.05$)

3. ส่วนที่มีเงาเข้มแสดงวันที่สไปรูลินาเจริญสูงสุดในแต่ละชุดการทดลอง

4. – แสดงการสิ้นสุดการทดลอง

5. D_{max} หมายถึง วันที่สไปรูลินาเจริญสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 2 : การเพิ่มขีดความสามารถในการเจริญและบำบัดน้ำของสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว

จากผลการทดลองที่ 1 ที่พบมาเซลล์สไปรูลินาสามารถเจริญจนมีค่า OD สูงสุดในชุดทดลองที่ใช้น้ำทิ้งที่ความเข้มข้น 80% รองลงมาคือชุดที่ใช้น้ำทิ้งที่ความเข้มข้น 100% (ชุดควบคุม) เมื่อนำค่า OD ทั้ง 2 ชุดทดลองไปวิเคราะห์ค่าสถิติพบว่ามีค่า OD ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ดังนั้นจึงเลือกชุดทดลองที่ใช้น้ำทิ้ง 100% เพื่อใช้ในการทดลองที่ 2 ต่อไป

1. การเจริญของสไปรูลินา

สไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่ความเข้มข้น 100% ที่เติมปริมาณ $NaHCO_3$ ต่างกัน 4 ระดับเปรียบเทียบกับชุดที่ไม่มีการเติม พบว่าสไปรูลินาใช้ระยะเวลาในการเพิ่มจำนวนเซลล์จนมีค่า OD สูงสุด (วัน D_{max}) ที่แตกต่างกันคือในวันที่ 8, 8, 9, 9 และ 9 ในชุดทอลองที่ไม่เติมและเติม $NaHCO_3$ 4.5, 6.5, 8.5 และ 10.5 ก./ล. ตามลำดับ และมีค่า OD ในวัน D_{max} ของแต่ละชุดทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) ในบางชุดทดลอง ค่า OD ในวันเริ่มต้นของทุกชุดทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนวัน D_{max} สไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งที่เติม $NaHCO_3$ 6.5 ก./ล. มีค่า OD สูงสุดคือ 0.82±0.03 สูงกว่า ($p<0.01$) อีก 4 ชุดทดลองที่เหลือ รองลงมาคือชุดทดลองที่เติม $NaHCO_3$ 10.5 ก./ล. ที่มีค่า OD 0.74±0.04 ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับชุดที่เติม $NaHCO_3$ 4.5 ก./ล. ที่มีค่า OD 0.66±0.07 แต่สูงกว่า ($p<0.01$) ชุดควบคุมที่มีค่า 0.45±0.03 (ตารางที่ 10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 10 ค่า OD เฉลี่ยของสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่เติม $NaHCO_3$ ต่างกัน

วันที่	ค่า OD				
	ชุดควบคุม	$NaHCO_3$ 4.5 ก./ล.	$NaHCO_3$ 6.5 ก./ล.	$NaHCO_3$ 8.5 ก./ล.	$NaHCO_3$ 10.5 ก./ล.
0^{ns}	0.08±0.02	0.08±0.02	0.09±0.02	0.09±0.02	0.01±0.02
1	0.01±0.01	0.11±0.05	0.14±0.02	0.13±0.01	0.12±0.06
2	0.20±0.02	0.18±0.06	0.23±0.03	0.19±0.02	0.18±0.02
3	0.23±0.05	0.25±0.01	0.33±0.01	0.26±0.05	0.26±0.01
4	0.30±0.01	0.29±0.03	0.42±0.02	0.40±0.03	0.39±0.02
5	0.34±0.04	0.36±0.01	0.58±0.05	0.43±0.02	0.47±0.04
6	0.37±0.10	0.46±0.02	0.62±0.03	0.49±0.01	0.55±0.05
7	0.40±0.02	0.51±0.08	0.70±0.08	0.50±0.04	0.62±0.01
8	0.45±0.03	0.66±0.07	0.74±0.02	0.56±0.04	0.69±0.02
9	0.41±0.02	0.58±0.02	0.82±0.03	0.63±0.05	0.74±0.04
10	0.36±0.06	0.50±0.03	0.80±0.11	0.60±0.03	0.60±0.08
11	-	-	0.77±0.12	0.51±0.01	0.55±0.02
ค่า OD ในวัน D_{max}	$0.45±0.03^{d}$	$0.66±0.07^{bc}$	$0.82±0.03^{a}$	$0.63±0.05^{c}$	$0.74±0.04^{b}$

หมายเหตุ 1. ns คือ non significant แสดงความไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกัน ($p>0.05$)

2. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันกำกับ แสดงความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกัน ($p<0.01$)

3. ส่วนที่มีเงาเข้มแสดงวันที่สไปรูลินาเจริญสูงสุดในแต่ละชุดการทดลอง

4. – แสดงการสิ้นสุดการทดลอง

5. D_{max} หมายถึง วันที่สไปรูลินาเจริญสูงสุด

2. คุณภาพน้ำที่เพาะเลี้ยงสไปรูลินา

2.1 ปริมาณไนเตรท น้ำทิ้งที่นำมาเพาะเลี้ยงสไปรูลินาทั้งที่เติมและไม่เติม $NaHCO_3$ มีปริมาณไนเตรทในน้ำในวัน D_{max} ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับวันเริ่มต้นเหมือนกันทั้ง 5 ชุดทดลอง ปริมาณไนเตรทในวันเริ่มต้นมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ในระหว่างชุดทดลองคือมีค่า 0.24-0.29 มก./ล. ในวัน D_{max} สไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งที่ไม่เติม $NaHCO_3$ เหลือไนเตรทในน้ำสูงสุดคือ 0.12±0.03 มก./ล. ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับชุดทดลองที่เติม $NaHCO_3$ 10.5 ก./

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ล. ที่มีค่า 0.10±0.02 มก./ล. แต่สูงกว่า ($p<0.01$) อีก 3 ชุดทดลองที่เหลือ ชุดทดลองที่เหลือปริมาณไนเตรทในน้ำต่ำสุดคือชุดที่เติม $NaHCO_3$ 8.5 ก./ล. ที่มีค่า 0.02±0.01 มก./ล. ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับชุดทดลองที่เติม $NaHCO_3$ 6.5 ก./ล. ที่มีค่า 0.04±0.02 มก./ล. แต่ต่ำกว่า ($p<0.01$) อีก 4 ชุดทดลองที่เหลือ (ตารางที่ 11)

2.2 ปริมาณไนไตรท์ การเปลี่ยนแปลงของไนไตรท์ในน้ำที่เพาะเลี้ยงสไปรูลินาในวัน D_{max} มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไนไตรท์วันเริ่มต้นเหมือนกันทั้ง 5 ชุดทดลองคือมีค่าอยู่ระหว่าง 0.09-0.12 มก./ล. ปริมาณไนไตรท์ในวันเริ่มต้นมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ในระหว่างชุดทดลอง ส่วนในวัน D_{maxg} เหลือปริมาณไนไตรท์ในน้ำน้อยมากจนเครื่องไม่สามารถตรวจวัดได้เหมือนกันทุกชุดทดลอง (ตารางที่ 12)

2.3 ปริมาณแอมโมเนีย ปริมาณแอมโมเนียในน้ำที่เพาะเลี้ยงสไปรูลินาจากวันเริ่มต้นจนถึงวัน D_{max} มีปริมาณลดลง แอมโมเนียในวันเริ่มต้นมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ในระหว่างชุดทดลองคือมีค่า 0.63-0.67 12 มก./ล. ส่วนในวัน D_{maxg} เหลือปริมาณแอมโมเนียในน้ำน้อยมากจนเครื่องไม่สามารถตรวจวัดได้เหมือนกันทุกชุดทดลอง (ตารางที่ 13)

2.4 ปริมาณฟอสเฟตอนินทรีย์ น้ำทิ้งที่นำมาเพาะเลี้ยงสไปรูลินาทั้ง 5 ชุดทดลองมีปริมาณฟอสเฟตอนินทรีย์ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับวันเริ่มต้น ปริมาณฟอสเฟตอนินทรีย์ในวันเริ่มต้นมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ในระหว่างชุดทดลองคือ 0.38-0.45 มก./ล. ส่วนในวัน D_{max} เหลือปริมาณฟอสเฟตอนินทรีย์ในน้ำสูงสุดในชุดควบคุมคือ 0.17±0.03 มก./ล.ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับชุดทดลองที่เติม $NaHCO_3$ 4.5 ก./ล. ที่มีค่า 0.14±0.05 มก./ล. แต่ต่ำกว่า ($p<0.01$) อีก 3 ชุดทดลองที่เหลือ ชุดทดลองที่เหลือฟอสเฟตอนินทรีย์ในน้ำต่ำสุดคือชุดที่เติม $NaHCO_3$ 8.5 ก./ล. ที่มีค่า 0.05±0.02 มก./ล. ต่ำกว่า ($p<0.01$) อีก 4 ชุดทดลองที่เหลือ ในขณะที่ชุดทดลองที่เติม $NaHCO_3$ 6.5 และ 10.5 ก./ล. มีฟอสเฟตอนินทรีย์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) คือมีค่า 0.09±0.04 และ 0.10±0.02 มก./ล.ตามลำดับ (ตารางที่ 14)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 11 ปริมาณไนเตรทเฉลี่ยในน้ำที่เพาะเลี้ยงสไปรูลินาด้วยน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่เติม $NaHCO_3$ ต่างกัน

วันที่	ปริมาณไนเตรท (มก./ล.)				
	ชุดควบคุม	$NaHCO_3$ 4.5 ก./ล.	$NaHCO_3$ 6.5 ก./ล.	$NaHCO_3$ 8.5 ก./ล.	$NaHCO_3$ 10.5 ก./ล.
0^{ns}	0.28±0.02	0.24±0.04	0.28±0.03	0.27±0.02	0.29±0.04
1	0.25±0.02	0.24±0.05	0.24±0.04	0.25±0.01	0.27±0.02
2	0.22±0.02	0.20±0.03	0.20±0.02	0.23±0.03	0.25±0.04
3	0.20±0.04	0.19±0.02	0.18±0.10	0.20±0.05	0.22±0.05
4	0.18±0.01	0.15±0.01	0.15±0.08	0.17±0.02	0.17±0.03
5	0.17±0.02	0.12±0.10	0.13±0.12	0.14±0.02	0.15±0.01
6	0.15±0.02	0.10±0.12	0.09±0.02	0.11±0.01	0.11±0.03
7	0.15±0.01	0.08±0.05	0.06±0.02	0.10±0.05	0.07±0.05
8	0.12±0.03	0.07±0.02	0.05±0.02	0.07±0.08	0.09±0.03
9	0.10±0.02	0.05±0.01	0.04±0.10	0.02±0.01	0.10±0.02
10	ND	ND	ND	ND	ND
11	-	-	ND	ND	ND
ไนเตรทในวัน D_{max}	0.12 ± 0.03^{a}	0.07 ± 0.02^{bc}	0.04 ± 0.02^{cd}	0.02 ± 0.01^{d}	0.10 ± 0.02^{ab}

หมายเหตุ 1. ns คือ non significant แสดงความไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกัน ($p>0.05$)

2. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันกำกับ แสดงความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกัน ($p<0.01$)

3. ส่วนที่มีเงาเข้มแสดงวันที่สไปรูลินาเจริญสูงสุดในแต่ละชุดการทดลอง

4. – แสดงการสิ้นสุดการทดลอง

5. D_{max} หมายถึง วันที่สไปรูลินาเจริญสูงสุด

6. ND = Non Detect หมายถึง มีค่าน้อยมากจนเครื่องไม่สามารถตรวจวัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 12 ปริมาณไนไตรท์เฉลี่ยในน้ำที่เพาะเลี้ยงสไปรูลินาด้วยน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่เติม $NaHCO_3$ ต่างกัน

วันที่	ปริมาณไนไตรท์ (มก./ล.)				
	ชุดควบคุม	$NaHCO_3$ 4.5 ก./ล.	$NaHCO_3$ 6.5 ก./ล.	$NaHCO_3$ 8.5 ก./ล.	$NaHCO_3$ 10.5 ก./ล.
0^{ns}	0.12±0.03	0.09±0.03	0.11±0.02	0.09±0.03	0.12±0.02
1	0.10±0.02	0.11±0.02	0.09±0.02	0.10±0.02	0.08±0.02
2	0.08±0.03	0.09±0.04	0.09±0.04	0.08±0.02	0.06±0.01
3	0.06±0.04	0.05±0.03	0.08±0.06	0.06±0.04	0.04±0.05
4	0.03±0.05	0.03±0.10	0.05±0.01	0.04±0.01	0.05±0.10
5	0.01±0.01	0.01±0.08	0.01±0.01	0.01±0.01	0.02±0.05
6	ND	ND	ND	ND	ND
7	ND	ND	ND	ND	ND
8	ND	ND	ND	ND	ND
9	ND	ND	ND	ND	ND
10	ND	ND	ND	ND	ND
11	-	-	ND	ND	ND
ไนไตรท์ในวัน D_{max}	ND^{ns}	ND^{ns}	ND^{ns}	ND^{ns}	ND^{ns}

หมายเหตุ 1. ns คือ non significant แสดงความไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกัน ($p>0.05$)

2. ส่วนที่มีเงาเข้มแสดงวันที่สไปรูลินาเจริญสูงสุดในแต่ละชุดการทดลอง

3. – แสดงการสิ้นสุดการทดลอง

4. D_{max} หมายถึง วันที่สไปรูลินาเจริญสูงสุด

5. ND = Non Detect หมายถึง มีค่าน้อยมากจนเครื่องไม่สามารถตรวจวัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 13 ปริมาณแอมโมเนียเฉลี่ยในน้ำที่เพาะเลี้ยงสไปรูลินาด้วยน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่เติม $NaHCO_3$ ต่างกัน

วันที่	ปริมาณแอมโมเนีย (มก./ล.)				
	ชุดควบคุม	$NaHCO_3$ 4.5 ก./ล.	$NaHCO_3$ 6.5 ก./ล.	$NaHCO_3$ 8.5 ก./ล.	$NaHCO_3$ 10.5 ก./ล.
0^{ns}	0.63±0.03	0.64±0.03	0.64±0.02	0.64±0.05	0.67±0.04
1	0.60±0.01	0.59±0.20	0.62±0.03	0.60±0.04	0.60±.0.3
2	0.48±0.02	0.52±0.12	0.53±0.05	0.53±0.02	0.57±0.10
3	0.33±0.16	0.44±0.10	0.47±0.06	0.42±0.01	0.50±0.10
4	0.21±0.08	0.33±0.08	0.40±0.09	0.38±0.10	0.46±0.10
5	0.18±0.02	0.26±0.15	0.35±0.02	0.31±0.05	0.32±0.02
6	0.11±0.04	0.12±0.11	0.26±0.01	0.22±0.05	0.24±0.01
7	0.05±0.02	0.08±0.02	0.12±0.03	0.22±0.02	0.18±0.02
8	ND	ND	ND	0.13±0.04	0.10±0.05
9	ND	ND	ND	ND	ND
10	ND	ND	ND	ND	ND
11	-	-	ND	ND	ND
แอมโมเนียในวัน D_{max}	ND^{ns}	ND^{ns}	ND^{ns}	ND^{ns}	ND^{ns}

หมายเหตุ 1. ns คือ non significant แสดงความไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกัน ($p>0.05$)

2. ส่วนที่มีเงาเข้มแสดงวันที่สไปรูลินาเจริญสูงสุดในแต่ละชุดการทดลอง

3. – แสดงการสิ้นสุดการทดลอง

4. D_{max} หมายถึง วันที่สไปรูลินาเจริญสูงสุด

5. ND = Non Detect หมายถึง มีค่าน้อยมากจนเครื่องไม่สามารถตรวจวัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 14 ปริมาณฟอสเฟตอนินทรีย์เฉลี่ยในน้ำที่เพาะเลี้ยงสไปรูลินาด้วยน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่เติม $NaHCO_3$ ต่างกัน

วันที่	ปริมาณฟอสเฟตอนินทรีย์ (มก./ล.)				
	ชุดควบคุม	$NaHCO_3$ 4.5 ก./ล.	$NaHCO_3$ 6.5 ก./ล.	$NaHCO_3$ 8.5 ก./ล.	$NaHCO_3$ 10.5 ก./ล.
0^{ns}	0.41±0.04	0.40±0.04	0.38±0.02	0.45±0.04	0.39±0.03
1	0.03±0.05	0.35±0.02	0.40±0.04	0.34±0.08	0.36±0.05
2	0.28±0.03	0.31±0.04	0.31±0.01	0.30±0.01	0.30±0.04
3	0.24±0.06	0.27±0.06	0.25±0.20	0.24±0.02	0.26±0.10
4	0.20±0.11	0.25±0.02	0.22±0.10	0.20±0.05	0.22±0.07
5	0.25±0.12	0.21±0.08	0.26±0.08	0.16±0.10	0.20±0.05
6	0.21±0.08	0.16±0.10	0.18±0.02	0.18±0.16	0.16±0.16
7	0.19±0.03	0.14±0.02	0.12±0.10	0.17±0.02	0.12±0.10
8	0.17±0.03	0.14±0.05	0.10±0.02	0.12±0.03	0.11±0.06
9	0.16±0.02	0.10±0.01	0.09±0.04	0.05±0.02	0.10±0.02
10	0.14±0.05	0.07±0.03	ND	ND	ND
11	-	-	ND	ND	ND
ฟอสเฟตอนินทรีย์ในวัน D_{max}	$0.17±0.03^{a}$	$0.14±0.05^{ab}$	$0.09±0.04^{c}$	$0.05±0.02^{d}$	$0.10±0.02^{bc}$

หมายเหตุ 1. ns คือ non significant แสดงความไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกัน ($p>0.05$)

2. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันกำกับ แสดงความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกัน ($p<0.01$)

3. ส่วนที่มีเงาเข้มแสดงวันที่สไปรูลินาเจริญสูงสุดในแต่ละชุดการทดลอง

4. – แสดงการสิ้นสุดการทดลอง

5. D_{max} หมายถึง วันที่สไปรูลินาเจริญสูงสุด

6. ND = Non Detect หมายถึง มีค่าน้อยมากจนเครื่องไม่สามารถตรวจวัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 3 : การเพิ่มขีดความสามารถในการเจริญของสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว

จากผลการทดลองที่ 1 ที่เลือกชุดทดลองที่ใช้น้ำทิ้ง 100% เพื่อนำมาใช้ทดลองต่อในการทดลองที่ 2 ที่เติม $NaHCO_3$ ในปริมาณที่ต่างกัน 4 ระดับเปรียบเทียบกับชุดที่ไม่เติม $NaHCO_3$ ซึ่งผลการทดลองที่ 2 พบว่าชุดการทดลองที่เติม $NaHCO_3$ 6.5 ก./ล. ให้การเจริญของสไปรูลินาสูงสุด จึงนำชุดทดลองที่ใช้น้ำทิ้ง 100% และเติม $NaHCO_3$ 6.5 ก./ล. นี้มาใช้ในการทดลองที่ 3 ต่อไปเพื่อศึกษาการเติม N:P:K ในปริมาณที่ต่างกัน โดยหวังว่าจะช่วยเพิ่มผลผลิตของสไปรูลินาและการช่วยให้คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวมีคุณภาพดีขึ้น ผลการทดลองเป็นดังนี้

1. การเจริญของสไปรูลินา

การเพาะเลี้ยงสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่ความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 100% เติม $NaHCO_3$ 6.5 ก./ล. และเติม N:P:K ในปริมาณที่ต่างกัน พบว่าสไปรูลินาใช้ระยะเวลาในการเพิ่มจำนวนเซลล์จนมีค่า OD สูงสุด (วัน D_{max}) แตกต่างกันคือวันที่ 8, 9, 9, 8 และ 8 ในชุดทดลองที่ไม่เติม N:P:K และชุดที่เติม N:P:K 0.3, 0.6, 0.9 และ 1.2 ก./ล. ตามลำดับ และให้ค่า OD สูงสุดในแต่ละชุดทดลองแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.01$) ในบางชุดทดลอง ค่า OD ในวันเริ่มต้นของทุกชุดทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนวัน D_{max} สไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งที่เติม N:P:K 0.3 ก./ล. มีค่า OD สูงสุดคือ 0.89±0.05 สูงกว่า ($p<0.01$) อีก 4 ชุดทดลองที่เหลือ รองลงมาคือชุดควบคุมที่มีค่า OD เท่ากับ 0.75±0.05 สูงกว่า ($p<0.01$) ชุดที่เติม N:P:K 0.6, 0.9 และ 1.2 ก./ล. ที่มีค่า 0.48±0.03, 0.39±0.02 และ 0.38±0.03 ตามลำดับ (ตารางที่ 15)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 15 ค่า OD เฉลี่ยของสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่เติม $NaHCO_3$ 6.5 ก./ล. และเติม N:P:K ต่างกัน

วันที่	ค่า OD				
	ชุดควบคุม	N:P:K 0.3 ก./ล.	N:P:K 0.6 ก./ล.	N:P:K 0.9 ก./ล.	N:P:K 1.2 ก./ล.
0^{ns}	0.14±0.02	0.15±0.03	0.16±0.01	0.13±0.02	0.16±0.03
1	0.12±0.03	0.14±0.04	0.13±0.05	0.16±0.06	0.15±0.04
2	0.16±0.10	0.22±0.05	0.19±0.10	0.19±0.02	0.19±0.05
3	0.25±0.05	0.33±0.02	0.20±0.11	0.22±0.04	0.23±0.06
4	0.36±0.08	0.46±0.04	0.24±0.18	0.28±0.03	0.29±0.01
5	0.44±0.02	0.53±0.02	0.31±0.02	0.26±0.05	0.33±0.02
6	0.53±0.10	0.67±0.10	0.37±0.07	0.30±0.01	0.32±0.16
7	0.60±0.07	0.71±0.03	0.40±0.08	0.36±0.08	0.35±0.07
8	0.75±0.05	0.77±0.04	0.44±0.12	0.39±0.02	0.38±0.03
9	0.70±0.04	0.82±0.03	0.48±0.03	0.35±0.07	0.33±0.01
10	0.66±0.02	0.80±0.03	0.45±0.06	0.31±0.09	0.26±00.05
11	-	0.70±0.05	0.43±0.10	-	-
ค่า OD ในวัน D_{max}	$0.75±0.05^{b}$	$0.82±0.03^{a}$	$0.48±0.03^{c}$	$0.39±0.02^{d}$	$0.38±0.03^{d}$

หมายเหตุ 1. ns คือ non significant แสดงความไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกัน ($p>0.05$)

2. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันกำกับ แสดงความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกัน ($p<0.01$)

3. ส่วนที่มีเงาเข้มแสดงวันที่สไปรูลินาเจริญสูงสุดในแต่ละชุดการทดลอง

4. – แสดงการสิ้นสุดการทดลอง

5. D_{max} หมายถึง วันที่สไปรูลินาเจริญสูงสุด

2. คุณภาพน้ำที่เพาะเลี้ยงสไปรูลินา

2.1 ปริมาณไนเตรท น้ำทิ้งที่นำมาเพาะเลี้ยงสไปรูลินาด้วยการเติม N:P:K ในปริมาณที่ต่างกัน พบว่าปริมาณไนเตรทในน้ำในวัน D_{max} ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับวันเริ่มต้นเหมือนกันทั้ง 5 ชุดทดลอง ในวันเริ่มต้นปริมาณไนเตรทในน้ำมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.01$) ในระหว่างชุดทดลองบางชุด มีค่าสูงในชุดที่เติม N:P:K 1.2 ก./ล. คือ 0.66±0.04 มก./ล. ต่ำสุดในชุดที่ไม่เติม N:P:K คือ 0.32±0.03 มก./ล. ส่วนในวัน D_{max} สไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งที่เติม N:P:K 1.2 ก./ล. เหลือไนเตรทในน้ำสูงสุดคือ 0.49±0.04 มก./ล. ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับชุดที่เติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N:P:K 0.9 ก./ล. ที่มีค่า 0.44±0.03 มก./ล. แต่สูงกว่า ($p<0.01$) อีก 3 ชุดทดลองที่เหลือ ส่วนชุดทดลองที่เหลือไนเตรทในน้ำต่ำสุดคือชุดที่เติม N:P:K 0.3 ก./ล. และชุดควบคุมที่มีค่า 0.17 มก./ล. เท่ากัน (ตารางที่ 16)

2.2 ปริมาณไนไตรท์ การเปลี่ยนแปลงของไนไตรท์ในน้ำที่เพาะเลี้ยงสไปรูลินาด้วยน้ำทิ้งที่เติม N:P:K ในปริมาณที่ต่างกัน พบว่าปริมาณไนไตรท์ในน้ำทั้ง 5 ชุดทดลองในวัน D_{max} ลดลงจากวันเริ่มต้นเหมือนกัน ปริมาณไนไตรท์ในวันเริ่มต้นมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ในระหว่างชุดทดลองบางชุด ชุดทดลองที่มีค่าไนไตรท์สูงสุดในชุดที่เติม N:P:K 0.6 ก./ล. คือ 0.31±0.06 มก./ล. ต่ำสุดในชุดที่ไม่เติม N:P:K คือ 0.20±0.10 มก./ล. ในขณะที่วัน D_{max} สไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งที่เติม N:P:K 0.9 ก./ล. เหลือไนไตรท์ในน้ำสูงสุดคือ 0.15±0.03 มก./ล. ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับชุดที่เติม N:P:K 0.6 และ 1.2 ก./ล. ที่มีค่า 0.13±0.03 มก./ล.เท่ากัน แต่สูงกว่า ($p<0.01$) อีก 2 ชุดทดลองที่เหลือคือชุดที่เติม N:P:K 0.3 ก./ล. และชุดควบคุมที่มีค่า 0.08 ±0.02 และ 0.06±0.03 มก./ล.ตามลำดับ (ตารางที่ 17)

2.3 ปริมาณแอมโมเนีย ปริมาณแอมโมเนียในน้ำที่นำมาเพาะเลี้ยงสไปรูลินาด้วยการเติม N:P:K ในปริมาณที่ต่างกันมีค่าในวัน D_{max} ลดลงจากวันเริ่มต้นเหมือนกันทั้ง 5 ชุดทดลอง โดยในวันเริ่มต้นปริมาณแอมโมเนียในน้ำมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.01$) ในระหว่างชุดทดลองบางชุด โดยชุดที่เติม N:P:K 1.2 ก./ล. มีค่าสูงสุดคือ 0.81±0.07 มก./ล. และต่ำสุดในชุดที่ไม่เติม N:P:K คือ 0.58±0.05 มก./ล. ส่วนในวัน D_{max} น้ำที่เพาะเลี้ยงสไปรูลินาด้วยการเติม N:P:K 1.2 ก./ล. เหลือแอมโมเนียในน้ำสูงสุดคือ 0.62±0.05 มก./ล. สูงกว่า ($p<0.01$) อีก 4 ชุดทดลองที่เหลือ ส่วนชุดทดลองที่เหลือแอมโมเนียในน้ำต่ำสุดคือชุดควบคุมที่มีค่า0.05±0.03 มก./ล. ชุดทดลองที่เติม N:P:K 0.3 และ 0.6 ก./ล. มีค่าแอมโมเนียในน้ำไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) คือ 0.18±0.02 และ 0.21±0.02 มก./ล.ตามลำดับ (ตารางที่ 18)

2.4 ปริมาณฟอสเฟตอนินทรีย์ ปริมาณฟอสเฟตอนินทรีย์ในน้ำจากการเพาะเลี้ยงสไปรูลินาด้วยน้ำทิ้งที่เติม N:P:K ในปริมาณที่ต่างกันในวัน D_{max} ลดลงจากวันเริ่มต้นเหมือนกันทั้ง 5 ชุดทดลอง ปริมาณฟอสเฟตอนินทรีย์ในน้ำในวันเริ่มต้นมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.01$) ในระหว่างชุดทดลองบางชุด ชุดทดลองที่มีฟอสเฟตอนินทรีย์ในน้ำสูงสุดคือชุดที่เติม N:P:K 1.2 ก./ล. คือ 3.83±0.04 มก./ล. ต่ำสุดในชุดที่ไม่เติม N:P:K คือ 0.34±0.04 มก./ล. ส่วนในวัน D_{max} สไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งที่เติม N:P:K 1.2 ก./ล. เหลือฟอสเฟตอนินทรีย์ในน้ำสูงสุด 3.12±0.03 มก./ล. สูงกว่า ($p<0.01$) อีก 4 ชุดทดลองที่เหลือ ชุดควบคุมเหลือฟอสเฟตอนินทรีย์ในน้ำต่ำสุดคือ 0.13±0.02 มก./ล. ต่ำกว่า ($p<0.01$) อีก 4 ชุดทดลองที่เหลือ (ตารางที่ 19)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 16 ปริมาณไนเตรทเฉลี่ยในน้ำที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาด้วยน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว ที่เติม $NaHCO_3$ 6.5 ก./ล. และเติม N:P:K ต่างกัน

วันที่	ปริมาณไนเตรท (มก./ล.)				
	ชุดควบคุม	N:P:K 0.3 ก./ล.	N:P:K 0.6 ก./ล.	N:P:K 0.9 ก./ล.	N:P:K 1.2 ก./ล.
0	0.32 ± 0.03^{d}	0.48 ± 0.04^{c}	0.51 ± 0.03^{c}	0.59 ± 0.04^{b}	0.66 ± 0.04^{a}
1	0.31 ± 0.01	0.44 ± 0.16	0.52 ± 0.05	0.55 ± 0.04	0.66 ± 0.10
2	0.33 ± 0.10	0.40 ± 0.06	0.46 ± 0.06	0.52 ± 0.02	0.60 ± 0.08
3	0.26 ± 0.20	0.38 ± 0.05	0.44 ± 0.10	0.48 ± 0.08	0.58 ± 0.02
4	0.20 ± 0.05	0.37 ± 0.03	0.40 ± 0.06	0.49 ± 0.10	0.50 ± 0.05
5	0.18 ± 0.08	0.35 ± 0.02	0.37 ± 0.07	0.47 ± 0.26	0.56 ± 0.04
6	0.21 ± 0.02	0.30 ± 0.02	0.32 ± 0.08	0.46 ± 0.18	0.49 ± 0.08
7	0.17 ± 0.05	0.32 ± 0.10	0.30 ± 0.02	0.47 ± 0.03	0.52 ± 0.02
8	0.17 ± 0.03	0.27 ± 0.08	0.27 ± 0.06	0.44 ± 0.03	0.49 ± 0.04
9	0.13 ± 0.02	0.17 ± 0.03	0.28 ± 0.02	0.40 ± 0.01	0.45 ± 0.08
10	0.15 ± 0.08	0.17 ± 0.02	0.24 ± 0.10	0.33 ± 0.10	0.40 ± 0.07
11	-	0.10 ± 0.04	0.26 ± 0.02	-	-
ไนเตรทในวัน D_{max}	0.17 ± 0.03^{c}	0.17 ± 0.03^{c}	0.28 ± 0.02^{b}	0.44 ± 0.03^{a}	0.49 ± 0.04^{a}

หมายเหตุ 1. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันกำกับ แสดงความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกัน ($p<0.01$)

2. ส่วนที่มีเงาเข้มแสดงวันที่สไปรูลินาเจริญสูงสุดในแต่ละชุดการทดลอง

3. – แสดงการสิ้นสุดการทดลอง

4. D_{max} หมายถึง วันที่สไปรูลินาเจริญสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 17 ปริมาณไนไนไตรท์เฉลี่ยในน้ำที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาด้วยน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่เติม $NaHCO_3$ 6.5 ก./ล. และเติม N:P:K ต่างกัน

วันที่	ปริมาณไนไตรท์ (มก./ล.)				
	ชุดควบคุม	N:P:K 0.3 ก./ล.	N:P:K 0.6 ก./ล.	N:P:K 0.9 ก./ล.	N:P:K 1.2 ก./ล.
0*	0.02 ± 0.04^{b}	0.30 ± 0.04^{a}	0.30 ± 0.04^{a}	0.24 ± 0.04^{ab}	0.23 ± 0.03^{ab}
1	0.18±0.05	0.32±0.10	0.26±0.09	0.20±0.10	0.25±0.06
2	0.14±0.03	0.30±0.02	0.29±0.10	0.21±0.02	0.20±0.05
3	0.14±0.07	0.26±0.08	0.25±0.12	0.18±0.04	0.24±0.02
4	0. 11±0.02	0.19±0.02	0.22±0.06	0.17±0.05	0.20±0.05
5	0.09±0.01	0.18±0.01	0.20±0.04	0.19±0.10	0.18±0.10
6	0.12±0.02	0.15±0.03	0.18±0.05	0.16±0.12	0.16±0.02
7	0.07±0.06	0.13±0.04	0.22±0.09	0.17±0.16	0.13±0.02
8	0.06±0.03	0.10±0.05	0.16±0.10	0.15±0.03	0.13±0.03
9	0.01±0.02	0.08±0.02	0.13±0.03	0.08±0.04	0.07±0.02
10	ND	ND	ND	ND	ND
11	-	ND	ND	-	-
ไนไตรท์ในวัน D_{max}	0.06 ± 0.03^{c}	0.08 ± 0.02^{bc}	0.13 ± 0.03^{a}	0.15 ± 0.03^{a}	0.13 ± 0.03^{ab}

หมายเหตุ 1. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันกำกับ แสดงความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกัน ($p<0.05$* และ $p<0.01$)

2. ส่วนที่มีเงาเข้มแสดงวันที่สไปรูลินาเจริญสูงสุดในแต่ละชุดการทดลอง

3. – แสดงการสิ้นสุดการทดลอง

4. D_{max} หมายถึง วันที่สไปรูลินาเจริญสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 18 ปริมาณแอมโมเนียเฉลี่ยในน้ำที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาด้วยน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่เติม $NaHCO_3$ 6.5 ก./ล. และเติม N:P:K ต่างกัน

วันที่	ปริมาณแอมโมเนีย (มก./ล.)				
	ชุดควบคุม	N:P:K 0.3 ก./ล.	N:P:K 0.6 ก./ล.	N:P:K 0.9 ก./ล.	N:P:K 1.2 ก./ล.
0	0.58±0.05[c]	0.69±0.04[b]	0.70±0.01[b]	0.80±0.03[a]	0.81±0.07[a]
1	0.55±0.03	0.60±0.04	0.63±0.02	0.77±0.04	0.80±0.15
2	0.50±0.04	0.57±0.06	0.66±0.02	0.75±0.06	0.79±0.02
3	0.42±0.10	0.55±0.08	0.55±0.05	0.71±0.08	0.75±0.03
4	0.31±0.16	0.40±0.02	0.42±0.08	0.68±0.10	0.73±0.05
5	0.22±0.08	0.32±0.04	0.33±0.02	0.66±0.02	0.70±0.03
6	0.17±0.02	0.28±0.10	0.30±0.10	0.58±0.04	0.68±0.06
7	0.10±0.03	0.16±0.12	0.27±0.09	0.55±0.07	0.66±0.10
8	0.05±0.03	0.26±0.05	0.25±0.02	0.52±0.04	0.62±0.05
9	0.02±0.01	0.18±0.02	0.21±0.02	0.50±0.02	0.65±0.08
10	0.02±0.02	0.16±0.08	0.20±0.08	0.48±0.09	0.60±0.09
11	-	0.15±0.01	0.17±0.06	-	-
แอมโมเนียในวัน D_{max}	0.05±0.03[d]	0.18±0.02[c]	0.21±0.02c	0.52±0.04[b]	0.62±0.05[a]

หมายเหตุ 1. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันกำกับ แสดงความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกัน ($p<0.01$)

2. ส่วนที่มีเงาเข้มแสดงวันที่สไปรูลินาเจริญสูงสุดในแต่ละชุดการทดลอง

3. – แสดงการสิ้นสุดการทดลอง

4. D_{max} หมายถึง วันที่สไปรูลินาเจริญสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 19 ปริมาณฟอสเฟตอนินทรีย์เฉลี่ยในน้ำที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาด้วยน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่เติม $NaHCO_3$ 6.5 ก./ล. และเติม N:P:K ต่างกัน

วันที่	ปริมาณฟอสเฟตอนินทรีย์ (มก./ล.)				
	ชุดควบคุม	N:P:K 0.3 ก./ล.	N:P:K 0.6 ก./ล.	N:P:K 0.9 ก./ล.	N:P:K 1.2 ก./ล.
0	0.34±0.04^{e}	3.16±0.04^{d}	3.34±0.05^{c}	3.54±0.03^{b}	3.83±0.04^{a}
1	0.33±0.08	3.06±0.15	3.26±0.08	3.50±0.16	3.81±0.02
2	0.31±0.03	3.54±0.10	3.20±0.05	3.46±0.10	3.70±0.04
3	0.26±0.07	3.50±0.06	3.11±0.06	3.28±0.08	3.50±0.06
4	0.22±0.02	3.26±0.04	3.06±0.02	3.10±0.02	3.42±0.08
5	0.19±0.01	3.10±0.06	2.86±0.10	3.02±0.03	3.31±0.02
6	0.17±0.10	2.86±0.02	2.67±0.06	3.15±0.03	3.26±0.05
7	0.14±0.02	2.57±0.08	2.48±0.02	2.91±0.05	3.20±0.04
8	0.13±0.02	2.36±0.02	2.30±0.04	2.82±0.07	3.12±0.03
9	0.11±0.06	2.21±0.03	2.20±0.02	2.75±0.01	3.16±0.04
10	0.08±0.10	2.16±0.02	2.26±0.06	2.76±0.05	3.12±0.06
11	-	2.19±0.01	2.23±0.08	-	-
ฟอสเฟตอนินทรีย์ในวัน D_{max}	0.13±0.02^{d}	2.21±0.03^{c}	2.20±0.02^{c}	2.82±0.07^{b}	3.12±0.03^{a}

หมายเหตุ 1. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันกำกับ แสดงความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกัน ($p<0.01$)

2. ส่วนที่มีเงาเข้มแสดงวันที่สไปรูลินาเจริญสูงสุดในแต่ละชุดการทดลอง

3. – แสดงการสิ้นสุดการทดลอง

4. D_{max} หมายถึง วันที่สไปรูลินาเจริญสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4 : การเพิ่มขีดความสามารถในการเจริญของสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวในสภาพกลางแจ้ง

จากผลการทดลองที่ 1, 2 และ 3 การเพาะเลี้ยงสไปรูลินาด้วยน้ำทิ้งที่ความเข้มข้น 100% เติม $NaHCO_3$ 6.5 ก./ล. N:P:K 0.3 ก./ล. ในสภาพห้องปฏิบัติการจะได้ผลดีที่สุด จึงนำมาขยายในสภาพกลางแจ้ง ผลการทดลองเป็นดังนี้

1. การเจริญของสไปรูลินา (ตารางที่ 20)

1.1 ความหนาแน่นที่สังเกตได้ (OD) เซลล์สไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่ความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 100% เติม $NaHCO_3$ 6.5 ก./ล. และเติม N:P:K 0.3 ก./ล. มีค่า OD เริ่มต้นที่ 0.13±0.01 และมีค่า OD เพิ่มขึ้นตามจำนวนวันที่เพิ่มขึ้นและใช้ระยะเวลาในการเพิ่มจำนวนเซลล์จนมีค่า OD สูงสุด (วัน D_{max}) ในวันที่ 6 มีค่า 0.96±0.16 และมีค่า OD ลดลงหลังจากนั้น

1.2 น้ำหนักสด สไปรูลินาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในสภาพดังกล่าวมีน้ำหนักสดเริ่มต้นที่ 0.51±0.03 และมีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นตามจำนวนวันที่เพิ่มขึ้น และใช้ระยะเวลาในการเพิ่มจำนวนเซลล์จนมีน้ำหนักสดสูงสุด (วัน D_{max}) ในวันที่ 6 คือมีค่า 1.59±0.08 และมีค่า OD ลดลงหลังจากนั้น

ตารางที่ 20 ค่า OD และน้ำหนักสดเฉลี่ยของสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่เติม $NaHCO_3$ 6.5 ก./ล. และเติม N:P:K 0.3 ก./ล. ในสภาพกลางแจ้ง

วันที่	ค่า OD	น้ำหนักสด (ก./ล.)
0	0.13 ± 0.01^{a}	0.51 ± 0.03^{g}
1	0.19 ± 0.02^{f}	0.58 ± 0.02^{g}
2	0.30 ± 0.04^{f}	0.78 ± 0.04^{f}
3	0.53 ± 0.05^{d}	0.92 ± 0.03^{e}
4	0.64 ± 0.10^{c}	1.15 ± 0.14^{d}
5	0.79 ± 0.06^{b}	1.37 ± 0.06^{c}
6	0.96 ± 0.16^{a}	1.59 ± 0.08^{a}
7	0.83 ± 0.04^{a}	1.50 ± 0.06^{b}
8	0.62 ± 0.05^{b}	1.35 ± 0.05^{c}

หมายเหตุ 1. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันกำกับ แสดงความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างค่าเฉลี่ยในแนวตั้งเดียวกัน ($p<0.05$)

2. ส่วนที่มีเงาเข้มแสดงวันที่สไปรูลินาเจริญสูงสุด (D_{max})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. คุณภาพน้ำที่เพาะเลี้ยงสไปรูลินา (ตารางที่ 21)

2.1 ปริมาณไนเตรท สไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งที่ความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 100% เติม $NaHCO_3$ 6.5 ก./ล. และเติม N:P:K 0.3 ก./ล. ในสภาพกลางแจ้ง พบว่ามีปริมาณไนเตรทในน้ำในวัน D_{max} ลดลงตามจำนวนวันเพาะเลี้ยงที่เพิ่มขึ้น ในวันเริ่มต้นมีปริมาณ ไนเตรทในน้ำ 0.57±0.04 มก./ล. เหลือปริมาณไนเตรทในน้ำในวัน D_{max} คือ 0.08±0.04 มก./ล.

2.2 ปริมาณไนไตรท์ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนไตรท์ในน้ำที่เพาะเลี้ยงสไปรูลินามีค่าลดลงตามจำนวนวันที่เพิ่มขึ้น ในวันเริ่มต้นมีปริมาณไนไตรท์ในน้ำ 0.37±0.05 มก./ล. ส่วนในวัน D_{max} เหลือไนไตรท์ในน้ำน้อยมากจนเครื่องไม่สามารถตรวจวัดได้

2.3 ปริมาณแอมโมเนีย ปริมาณแอมโมเนียในน้ำที่เพาะเลี้ยงสไปรูลินาในน้ำทิ้งมีปริมาณลดลงตามจำนวนวันเพาะเลี้ยงที่เพิ่มขึ้น ปริมาณแอมโมเนียในน้ำในวันเริ่มต้นมีค่า 0.77±0.03 มก./ล. เหลือปริมาณแอมโมเนียในน้ำในวัน D_{max} คือ 0.12±0.02 มก./ล.

2.4 ปริมาณฟอสเฟตอนินทรีย์ ปริมาณฟอสเฟตอนินทรีย์ในน้ำที่เพาะเลี้ยงสไปรูลินาในน้ำทิ้งมีปริมาณลดลงตามจำนวนวันเพาะเลี้ยงที่เพิ่มขึ้น ปริมาณฟอสเฟตอนินทรีย์ในน้ำในวันเริ่มต้นมีค่า 3.24±0.04 มก./ล. ส่วนในวัน D_{max} เหลือปริมาณฟอสเฟตอนินทรีย์ในน้ำ 0.15±0.04 มก./ล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 21 ปริมาณไนเตรท ไนไตรท์ แอมโมเนีย และฟอสเฟตอนินทรีย์เฉลี่ยในน้ำที่เพาะเลี้ยงสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่เติม $NaHCO_3$ 6.5 ก./ล. และเติม N:P:K 0.3 ก./ล. ในสภาพกลางแจ้ง

วันที่	ค่าคุณภาพน้ำ (มก./ล.)			
	ไนเตรท	ไนไตรท์	แอมโมเนีย	ฟอสเฟตอนินทรีย์
0	0.57 ± 0.04^{a}	0.37 ± 0.05^{a}	0.77 ± 0.03^{a}	3.24 ± 0.04^{a}
1	0.55 ± 0.03^{a}	0.30 ± 0.04^{b}	0.70 ± 0.04^{b}	3.10 ± 0.02^{b}
2	0.48 ± 0.02^{b}	0.27 ± 0.05^{bc}	0.63 ± 0.04^{c}	2.89 ± 0.07^{c}
3	0.44 ± 0.04^{b}	0.23 ± 0.06^{c}	0.54 ± 0.04^{d}	2.67 ± 0.03^{d}
4	0.31 ± 0.04^{c}	0.16 ± 0.04^{d}	0.35 ± 0.05^{e}	2.47 ± 0.04^{e}
5	0.19 ± 0.03^{d}	0.04 ± 0.02^{e}	0.25 ± 0.02^{f}	2.23 ± 0.03^{f}
6	0.08 ± 0.04^{e}	ND^{e}	0.12 ± 0.02^{g}	2.15 ± 0.04^{g}
7	ND^{f}	ND^{e}	0.13 ± 0.01^{g}	2.13 ± 0.03^{g}
8	ND^{f}	ND^{e}	0.10 ± 0.02^{g}	2.15 ± 0.03^{g}

หมายเหตุ 1. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันกำกับ แสดงความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างค่าเฉลี่ยในแนวตั้งเดียวกัน ($p<0.05$)

2. ส่วนที่มีเงาเข้มแสดงวันที่สไปรูลินาเจริญสูงสุด (D_{max})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 2 : การเลี้ยงกุ้งขาวด้วยอาหารที่เสริมสาหร่ายสไปรูลินา

การทดลองที่ 1 : การเลี้ยงกุ้งขาวด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดที่เคลือบด้วยสารเคลือบจากธรรมชาติที่ต่างกัน

การศึกษาชนิดของสารเคลือบจากธรรมชาติที่เหมาะสมต่อการเคลือบเซลล์สไปรูลินาสดที่เสริมลงบนอาหารชนิดเม็ดสำเร็จรูป ผลการศึกษาเป็นดังนี้

1. การเติบโต

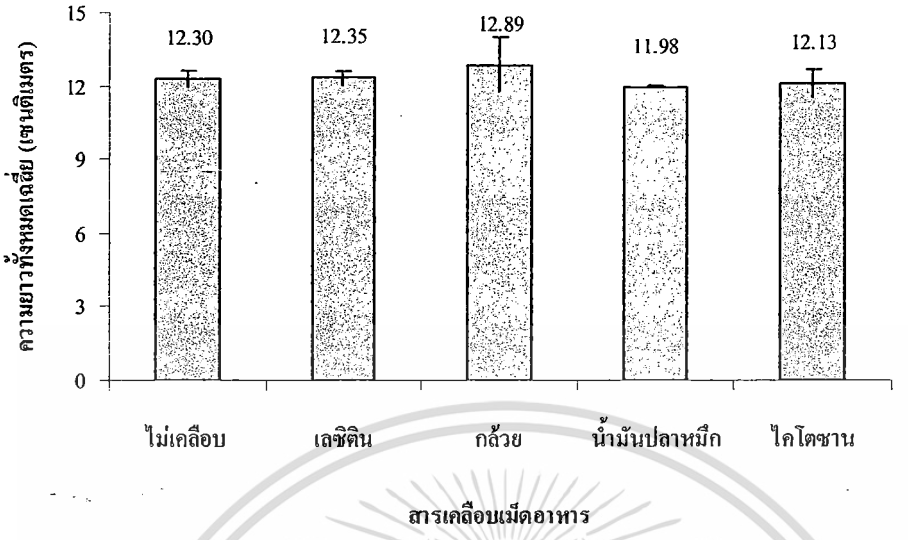
จากการเลี้ยงกุ้งขาวที่มีความยาวทั้งหมดเฉลี่ย 5.40±0.18 ซม. และน้ำหนักเฉลี่ย 1.40±0.08 ก. ด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดที่เคลือบด้วยสารเคลือบจากธรรมชาติที่ต่างกันคือ เลซิติน กล้วย น้ำมันหมึก และไคโตซาน เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เคลือบด้วยสารเคลือบ เป็นเวลา 75 วัน พบว่ากุ้งขาวมีความยาวทั้งหมดเฉลี่ย น้ำหนักเฉลี่ย เปอร์เซนต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ในระหว่างชุดทดลองทั้ง 5 ชุดเหมือนกันทั้ง 4 ค่า โดยมีค่า 11.98-12.89 ซม. 10.19-11.67 ก. 88.09-89.69% และ 14.96-15.86% ตามลำดับ (ตารางที่ 22 และ ภาพที่ 2-5)

ตารางที่ 22 ค่าการเติบโตเฉลี่ยของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดที่เคลือบด้วยสารเคลือบต่างกัน

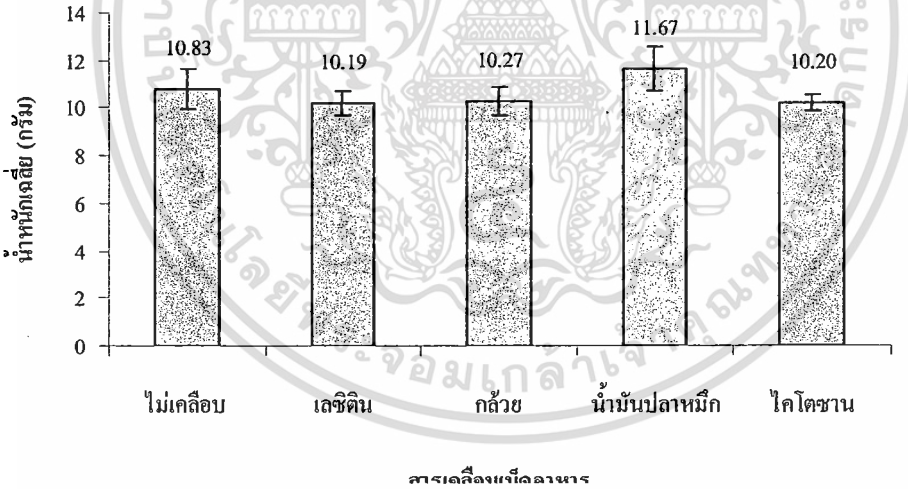
การเติบโต	ไม่เคลือบ	สารเคลือบเม็ดอาหาร			
		เลซิติน	กล้วย	น้ำมันหมึก	ไคโตซาน
ความยาวเฉลี่ย (ซม.)^{ns}	12.30±0.34	12.35±0.28	12.89±1.12	11.98±0.03	12.13±0.54
น้ำหนักเฉลี่ย (ก.)^{ns}	10.83±0.85	10.19±0.52	10.27±0.58	11.67±0.92	10.20±0.34
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (%)^{ns}	88.47±0.28	88.09±0.98	88.30±0.33	89.69±1.03	88.19±0.46
การเจริญเติบโตจำเพาะ (%)^{ns}	15.48±0.48	14.96±0.92	15.32±0.38	15.86±1.58	14.99±0.57

หมายเหตุ ns คือ non significant แสดงความไม่แตกต่างกันทางสถิติในแนวนอนเดียวกัน ($p>0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

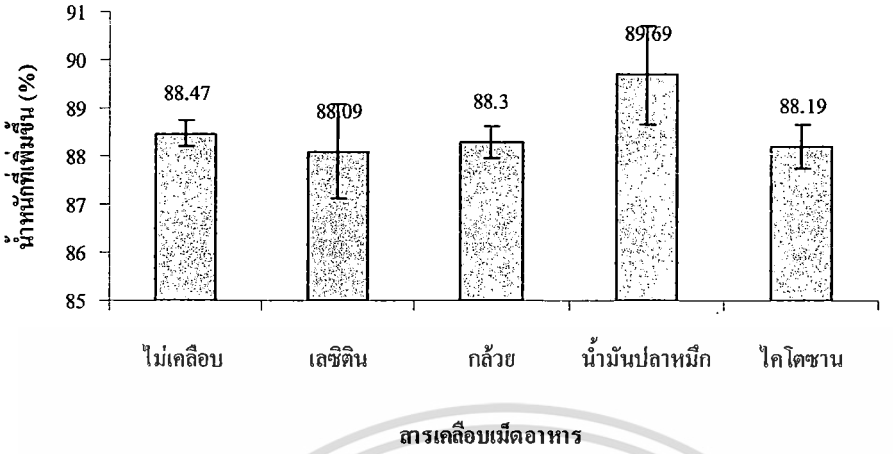


ภาพที่ 2 ความยาวทั้งหมดเฉลี่ย (ซม.) ของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดที่เคลือบด้วยสารเคลือบต่างกัน

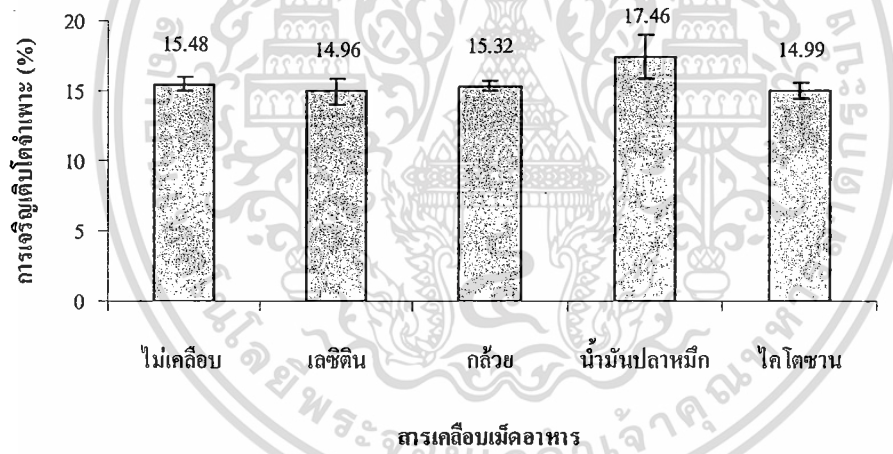


ภาพที่ 3 น้ำหนักเฉลี่ย (ก.) ของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดที่เคลือบด้วยสารเคลือบต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย (%) ของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดที่เคลือบด้วยสารเคลือบต่างกัน



ภาพที่ 5 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ เฉลี่ย (%) ของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดที่เคลือบด้วยสารเคลือบต่างกัน

2. อัตราการรอดตาย

กุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดที่เคลือบด้วยสารเคลือบต่างกันมีอัตราการรอดตายเฉลี่ยแตกต่างกันคือ กุ้งในชุดทดลองที่ใช้เลซิตินเป็นสารเคลือบมีอัตราการรอดตายเฉลี่ยสูงสุดคือ 86.00±3.46% สูงกว่า ($p<0.05$) อีก 4 ชุดทดลองที่เหลือ ชุดทดลองที่ให้อัตราการรอดตายเฉลี่ยต่ำสุดคือที่ใช้กล้วยเป็นสารเคลือบที่มีค่า 76.33±7.02% ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติกับ

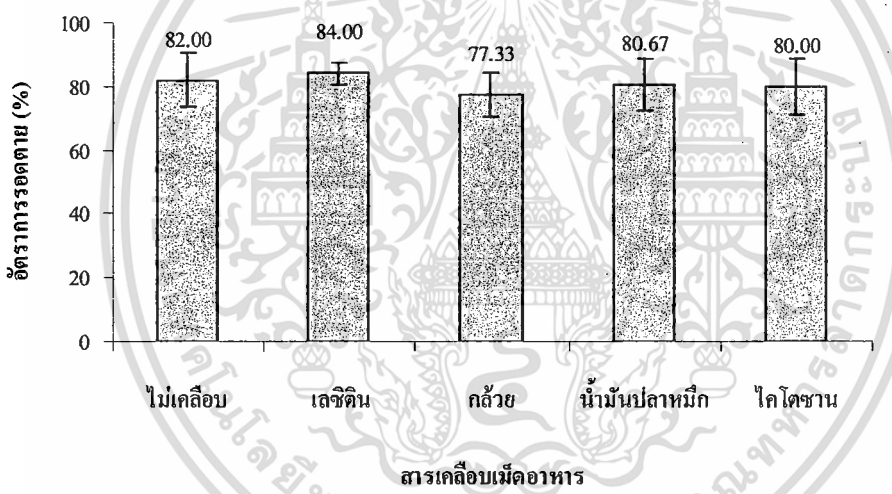
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดควบคุมที่ไม่ใช้สารเคลือบที่มีค่า 80.93±7.70% แต่ต่ำกว่า ($p<0.05$) ชุดที่ใช้น้ำมันหมึกและไคโตซานเป็นสารเคลือบที่มีค่า 82.67±8.08 และ 82.05±8.72% (ตารางที่ 23 และ ภาพที่ 6)

ตารางที่ 23 อัตราการรอดตายเฉลี่ย (%) ของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดที่เคลือบด้วยสารเคลือบต่างกัน

อัตราการรอดตาย (%)	ไม่เคลือบ	สารเคลือบเม็ดอาหาร			
		เลซิติน	กล้วย	น้ำมันหมึก	ไคโตซาน
	80.93±7.70 ^{bc}	86.00±3.46 ^{a}	76.33±7.02 ^{c}	82.67±8.08 ^{b}	82.05±8.72 ^{b}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่ต่างกัน แสดงความแตกต่างกันทางสถิติในแนวนอนเดียวกัน ($p<0.05$)



ภาพที่ 6 อัตราการรอดตายเฉลี่ย (%) ของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดที่เคลือบด้วยสารเคลือบต่างกัน

3. ความเข้มของสีกุ้งก่อนและหลังแกะเปลือก

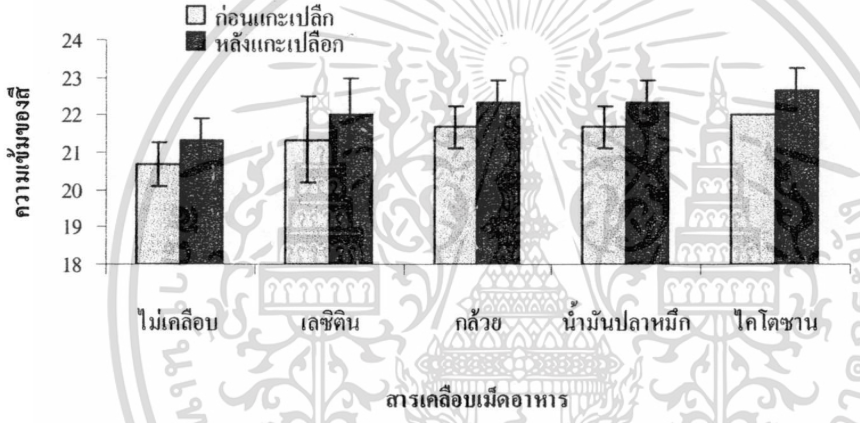
ความเข้มสีของเนื้อกุ้งก่อนและหลังแกะเปลือกมีค่าความเข้มสีที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ในระหว่างชุดทดลองทั้ง 5 ชุดเหมือนกันทั้งสองค่า (ตารางที่ 24 และ ภาพที่ 7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 24 ค่าเฉลี่ยความเข้มสีของเนื้อกุ้งก่อนและหลังแกะเปลือกของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดที่เคลือบด้วยสารเคลือบต่างกัน

ความเข้มของสี	ไม่เคลือบ	สารเคลือบเม็ดอาหาร			
		เลซิติน	กล้วย	น้ำมันหมึก	ไคโตซาน
ก่อนแกะเปลือก^{ns}	20.67±0.58	21.33±1.15	21.67±0.58	21.67±0.58	22.00±0.00
หลักแกะเปลือก^{ns}	21.33±0.58	22.00±.00	22.33±0.58	22.33±0.58	22.67±0.58

หมายเหตุ ns คือ non significant แสดงความไม่แตกต่างกันทางสถิติในแนวนอนเดียวกัน ($p>0.05$)



ภาพที่ 7 ค่าเฉลี่ยความเข้มสีของเนื้อกุ้งก่อนและหลังแกะเปลือกของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดที่เคลือบด้วยสารเคลือบต่างกัน

4. คุณภาพน้ำ

ค่าคุณภาพน้ำที่ตรวจวัดได้ทั้ง 8 ค่าในระหว่างชุดทดลองทั้ง 5 ชุดมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) เหมือนกันทั้ง 8 ค่า ความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยมีค่า 7.95-8.09 อุณหภูมิเฉลี่ย 27.8-28.8 ความเค็มเฉลี่ย 24.4-25.5 ส่วนในพัน ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่า 6.33-6.48 มก./ล. สภาพด่างเฉลี่ย 135.5-140.0 มก./ล. ความกระด้างเฉลี่ยมีค่า 4230-4251 มก./ล. ส่วนปริมาณไนไตรท์เฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.49 – 0.68 มก./ล. และปริมาณแอมโมเนียในน้ำเฉลี่ย 0.06-0.10 มก./ล. (ตารางที่ 25)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 25 ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำที่ได้จากการเลี้ยงกุ้งขาวด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดที่เคลือบด้วยสารเคลือบต่างกัน

คุณภาพน้ำ	ไม่เคลือบ	สารเคลือบเม็ดอาหาร			
		เลซิติน	กล้วย	น้ำมันหมึก	ไคโตซาน
ความเป็นกรด-ด่าง ns	8.03±0.24	7.95±0.31	8.06±0.10	8.09±0.12	7.98±0.28
อุณหภูมิ (°ซ.) ns	28.8±0.21	28.3±0.15	27.8±0.14	28.4±0.20	28.0±0.11
ความเค็ม (ส่วนในพัน) ns	24.8±0.40	24.4±0.18	25.5±0.16	25.0±0.10	24.9±0.08
ออกซิเจนละลายน้ำ (มก./ล.) ns	6.43±1.20	6.38±1.13	6.33±1.17	6.48±1.22	6.35±1.15
สภาพด่าง (มก./ล.) ns	135.5±1.50	137.6±1.04	140.0±0.83	136.0±0.91	139.0±1.30
ความกระด้าง (มก./ล.) ns	4251±84	4239±65	4240±73	4230±87	4245±54
ไนไตรท์ (มก./ล.) ns	0.49±0.22	0.57±0.10	0.68±0.40	0.51±0.36	0.61±0.24
แอมโมเนีย (มก./ล.) ns	0.08±0.02	0.05±0.01	0.10±0.03	0.06±0.04	0.09±0.07

หมายเหตุ ns คือ non significant แสดงความไม่แตกต่างกันทางสถิติในแนวนอนเดียวกัน ($p>0.05$)

การทดลองที่ 2 : การเลี้ยงกุ้งขาวด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดในปริมาณที่ต่างกัน

การเลี้ยงกุ้งขาวด้วยอาหารสำเร็จรูปที่ไม่เสริมสไปรูลินา(ชุดควบคุม) และที่เสริมสไปรูลินาสดในปริมาณ 50, 100, 150 และ 200 ก./กก. เป็นเวลา 75 วัน ผลการศึกษามีดังต่อไปนี้

1. การเติบโต

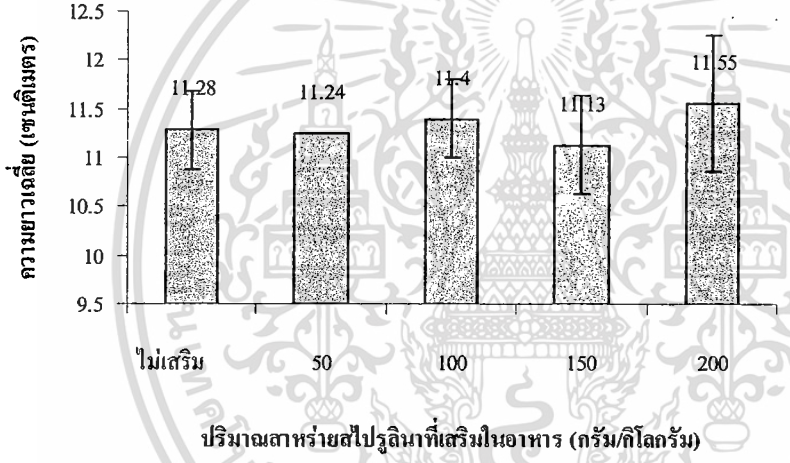
จากการเลี้ยงกุ้งขาวที่มีความยาวทั้งหมดเฉลี่ย 5.54±0.13 ซม. และน้ำหนักเฉลี่ย 1.22±0.03 ก. ด้วยอาหารสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดในปริมาณต่างกัน เปรียบเทียบกับอาหารสำเร็จรูปที่ไม่เสริมสไปรูลินา (ชุดควบคุม) เป็นเวลา 75 วัน พบว่ากุ้งขาวมีความยาวทั้งหมดเฉลี่ย น้ำหนักเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ในระหว่างชุดทดลองทั้ง 5 ชุดเหมือนกันทั้ง 4 ค่า โดยมีค่า 11.13-11.55 ซม. 7.06-7.71 ก. 439.60-527.10% และ 7.14-8.54% ตามลำดับ (ตารางที่ 26 และ ภาพที่ 8-11)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

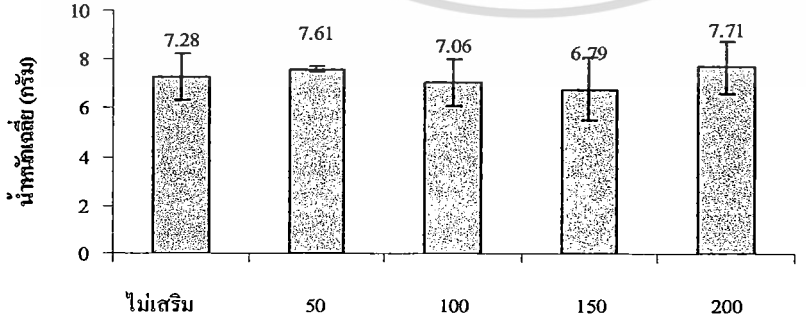
ตารางที่ 26 ค่าการเติบโตเฉลี่ยของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดในปริมาณที่ต่างกัน

การเติบโต	ไม่เสริมสไปรูลินา	ปริมาณสไปรูลินาที่เสริมในอาหาร (ก./กก.)			
		50	100	150	200
ความยาวเฉลี่ย (ซม.)[ns]	11.28±0.40	11.24±0.60	11.40±0.40	11.13±0.50	11.55±0.70
น้ำหนักเฉลี่ย (ก.)[ns]	7.28±0.93	7.61±.0.10	7.06±0.94	6.79±1.29	7.71±1.07
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (%)[ns]	484.10 ±75.0	514.10±10.0	439.60±58.0	441.05±81.0	527.10±32.0
การเจริญเติบโตจำเพาะ (%)[ns]	7.75±1.21	8.54±0.23	7.28±1.13	7.14±1.34	8.52±0.44

หมายเหตุ ns คือ non significant แสดงความไม่แตกต่างกันทางสถิติในแนวนอนเดียวกัน ($p>0.05$)

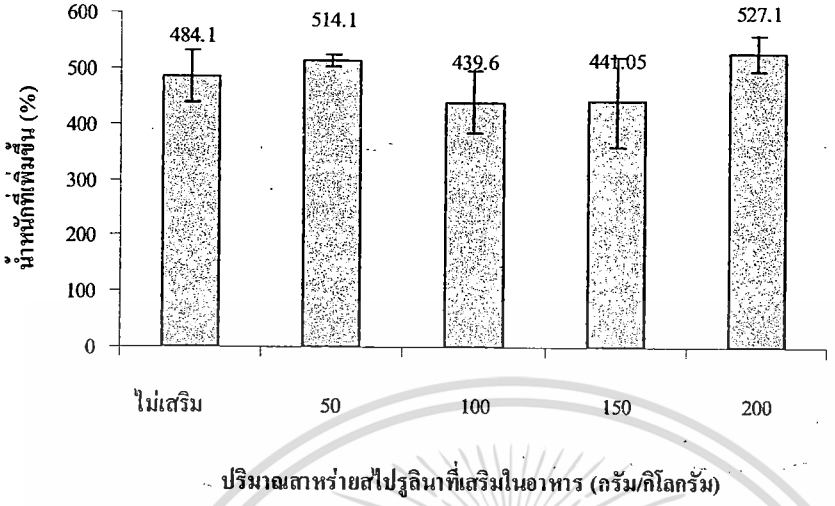


ภาพที่ 8 ความยาวทั้งหมดเฉลี่ย (ซม.) ของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดในปริมาณที่ต่างกัน

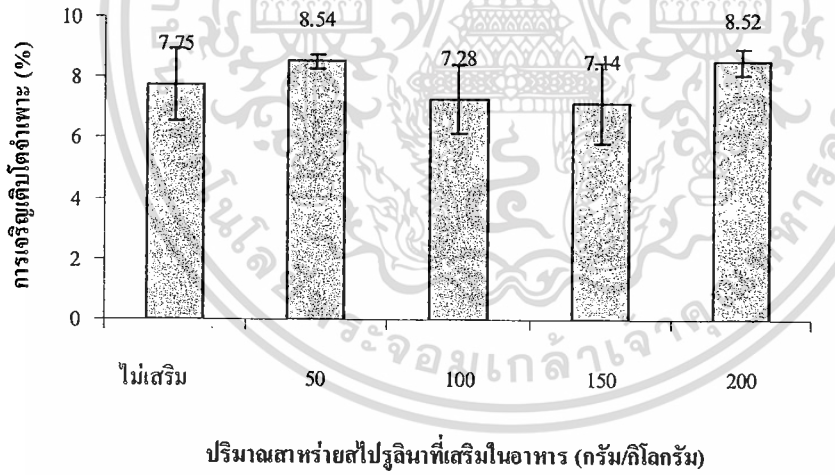


ภาพที่ 9 น้ำหนักเฉลี่ย (ก.) ของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดในปริมาณที่ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 10 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย (%) ของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดในปริมาณที่ต่างกัน



ภาพที่ 11 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ย (%) ของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดในปริมาณที่ต่างกัน

2. อัตราการรอดตาย

อัตราการรอดตายเฉลี่ยของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาในปริมาณที่ต่างกันมีค่าแตกต่างกัน กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เสริมสไปรูลินา 100 ก./กก. มีอัตราการรอดตายเฉลี่ยสูงสุดคือ 85.33$\pm$2.30% ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับชุดควบคุมและชุดที่เสริม

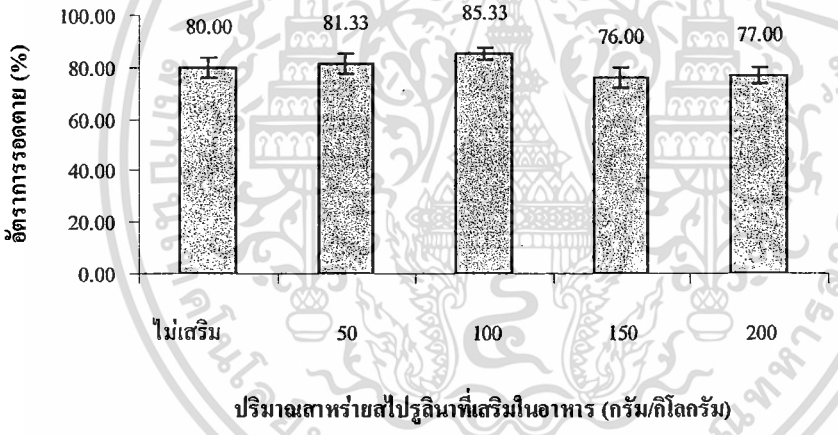
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สไปรูลินา 50 ก. ที่มีค่า 80.00±4.00 และ 81.33±4.10% ตามลำดับ แต่สูงกว่า ($p<0.05$) อีก 2 ชุดทดลองที่เหลือที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) คือ 76.00-77.00 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 27 และ ภาพที่ 12)

ตารางที่ 27 อัตราการรอดตายเฉลี่ย (%) ของกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เสริมสไปรูลินาสดในปริมาณที่ต่างกัน

อัตราการรอดตาย (%)	ไม่เสริมสไปรูลินา	ปริมาณสไปรูลินาที่เสริมในอาหาร (ก./กก.)			
		50	100	150	200
	80.00±4.00^{ab}	81.33±4.10^{ab}	85.33±2.30^{a}	76.00±4.00^{b}	77.00±3.00^{b}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่ต่างกัน แสดงความแตกต่างกันทางสถิติในแนวนอนเดียวกัน ($p<0.05$)



ภาพที่ 12 อัตราการรอดตายเฉลี่ย (%) ของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดในปริมาณที่ต่างกัน

3. ปริมาณวิตามินเอในเนื้อกุ้ง

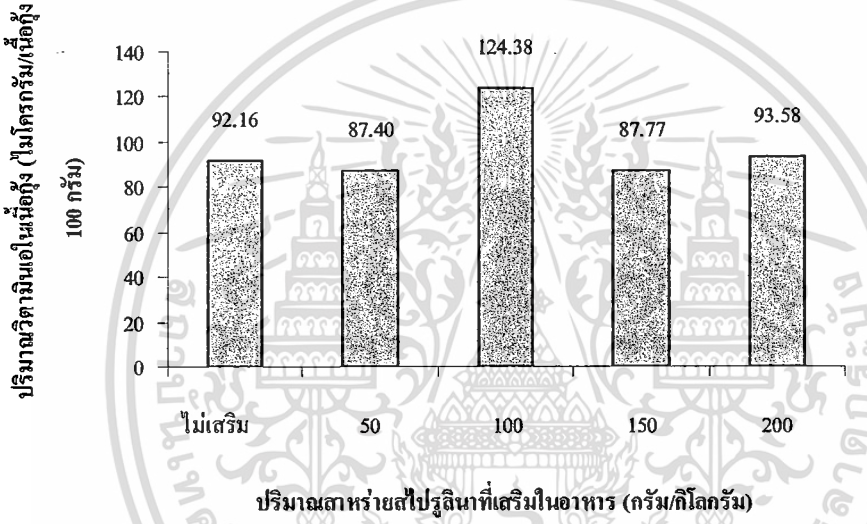
กุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เสริมสไปรูลินา 100 ก./กก. มีปริมาณวิตามินเอในเนื้อกุ้งเฉลี่ยสูงสุดคือ 124.38 ไมโครกรัม/เนื้อกุ้ง 100 ก. สูงกว่า ($p<0.05$) อีก 4 ชุดทดลองที่เหลือ รองลงมาคือชุดที่เสริมสไปรูลินา 200 ก./กก.และชุดควบคุมที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ($p>0.05$) คือ 92.16-93.58 ไมโครกรัม/เนื้อกุ้ง 100 ก. แต่สูงกว่า ($p<0.05$) ชุดที่เลี้ยงกุ้งขาวด้วยอาหารที่เสริมสไปรูลินา 50 และ 150 ก./กก. ที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) คือ 87.40-87.70 ไมโครกรัม/เนื้อกุ้ง 100 ก. ตามลำดับ (ตารางที่ 28 และ ภาพที่ 13)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 28 ปริมาณวิตามินเอในเนื้อกุ้งเฉลี่ย (ไมโครกรัม/เนื้อกุ้ง 100 ก.) ของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดในปริมาณที่ต่างกัน

ปริมาณวิตามินเอในเนื้อกุ้ง (ไมโครกรัม/เนื้อกุ้ง 100 ก.)	ไม่เสริมสไปรูลินา	ปริมาณสไปรูลินาที่เสริมในอาหาร (ก./กก.)			
		50	100	150	200
	92.16[b]	87.40[c]	124.38[a]	87.77[c]	93.58[b]

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่ต่างกัน แสดงความแตกต่างกันทางสถิติในแนวนอนเดียวกัน ($p<0.05$)



ภาพที่ 13 ปริมาณวิตามินเอในเนื้อกุ้งเฉลี่ย (ไมโครกรัม/เนื้อกุ้ง 100 ก.) ของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดในปริมาณที่ต่างกัน

4. ความเข้มของสีก่อนและหลังแกะเปลือก

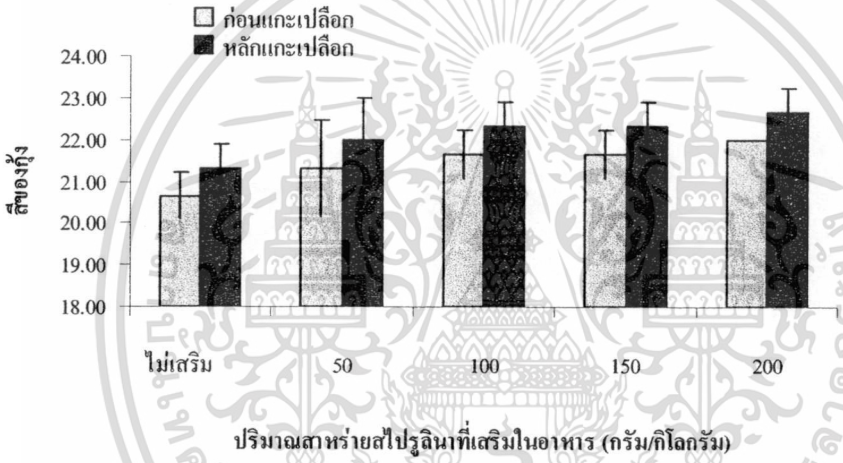
ความเข้มสีของเนื้อกุ้งที่เลี้ยงจนครบ 75 วันก่อนและหลังแกะเปลือกมีความเข้มสีในระหว่าง 5 ชุดทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) เหมือนกันทั้งเนื้อกุ้งก่อนและหลังแกะเปลือก (ตารางที่ 29 และ ภาพที่ 14)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 29 ค่าเฉลี่ยความเข้มสีของเนื้อกุ้งก่อนและหลังแกะเปลือกของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดในปริมาณที่ต่างกัน

ความเข้มของสีเนื้อกุ้ง	ไม่เสริมสไปรูลินา	ปริมาณสไปรูลินาที่เสริมในอาหาร (ก./กก.)			
		50	100	150	200
ก่อนแกะเปลือก^{ns}	20.66±0.55	21.33±1.15	21.66±0.57	21.66±0.57	22.00±0.00
หลักแกะเปลือก^{ns}	21.33+0.57	22.00+1.00	22.33+0.47	22.33+0.50	22.66+0.55

หมายเหตุ ns คือ non significant แสดงความไม่แตกต่างกันทางสถิติในแนวนอนเดียวกัน ($p>0.05$)



ภาพที่ 14 ค่าเฉลี่ยความเข้มสีของเนื้อกุ้งก่อนและหลังแกะเปลือกของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดในปริมาณที่ต่างกัน

5. โภชนาการของอาหารทดลอง

ปริมาณโปรตีนในอาหารทดลองทั้ง 5 ชุดมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ชุดทดลองที่เสริมสไปรูลินา 150 ก./กก. มีค่าสูงสุดคือ 35.59±0.19% ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับชุดทดลองที่เสริมสไปรูลินา 200 ก./กก. ที่มีค่า 35.58±0.20% ส่วนชุดควบคุมมีปริมาณโปรตีนต่ำสุดคือ 34.50±0.35% ต่ำกว่า ($p<0.05$) อีก 4 ชุดทดลองที่เหลือ ปริมาณไขมันในอาหารมีค่าสูงสุดในชุดทดลองที่เสริมสไปรูลินา 50 ก./กก. ที่มีค่า 6.56±0.02% สูงกว่า ($p<0.05$) อีก 4 ชุดทดลองที่เหลือ รองลงมาคือชุดควบคุมที่มีค่า 6.52±0.05% ชุดทดลองที่เสริมสไปรูลินา 200 ก./กก. มีไขมันในอาหารต่ำสุดคือ 6.13±0.08% ซึ่งต่ำกว่า ($p<0.05$) อีก 4 ชุดทดลองที่เหลือ ส่วนปริมาณความชื้นในอาหารพบสูงสุดในชุดทดลองที่เสริมสไปรูลินา 200 ก./กก. ที่มีค่า 13.98±0.11% สูงกว่า ($p<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีก 4 ชุดทดลองที่เหลือ รองลงมาคือชุดควบคุมที่มีค่า 12.32±0.08% และต่ำสุดในชุดทดลองที่เสริมสไปรูลินา 50 ก./กก. ที่มีค่า 10.42±0.08% ซึ่งต่ำกว่า ($p<0.05$) อีก 4 ชุดทดลองที่เหลือ ส่วนปริมาณเถ้าในอาหารพบว่าชุดควบคุมที่มีค่าสูงสุดคือ 10.75±0.03% ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับชุดทดลองที่เสริมสไปรูลินา 150 ก./กก. ที่มีค่า 10.74±0.02% ส่วนชุดทดลองที่เสริมสไปรูลินา 100 ก./กก. มีปริมาณเถ้าต่ำสุดคือ 10.43±0.02% ต่ำกว่า ($p<0.05$) อีก 4 ชุดทดลองที่เหลือ ในขณะที่ปริมาณเยื่อใยในอาหารมีค่าสูงสุดในชุดทดลองที่เสริมสไปรูลินา 200 ก./กก. ที่มีค่า 2.83±0.03% สูงกว่า ($p<0.05$) อีก 4 ชุดทดลองที่เหลือ รองลงมาคือชุดทดลองที่เสริมสไปรูลินา 100 ก./กก. ที่มีค่า 2.73±0.09% ที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับชุดทดลองที่เสริมสไปรูลินา 150 ก./กก. ที่มีค่า 2.66±0.02% แต่สูงกว่า ($p<0.05$) ชุดทดลองที่เสริมสไปรูลินา 50 ก./กก. และชุดควบคุมที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) คือ 2.53±0.05 และ 2.50±0.03% ตามลำดับ (ตารางที่ 30)

ตารางที่ 30 ค่าเฉลี่ยของคุณค่าทางโภชนาการ (%) ของอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดในปริมาณที่ต่างกันที่ใช้เลี้ยงกุ้งขาว

คุณค่าทางโภชนาการ	ไม่เสริมสไปรูลินา	ปริมาณสไปรูลินาที่เสริมในอาหาร (ก./กก.)			
		50	100	150	200
โปรตีน	34.50±0.35^{d}	34.52±0.30^{c}	35.27±0.15^{b}	35.59±0.19^{a}	35.58±0.20^{a}
ไขมัน	6.52±0.05^{b}	6.56±0.02^{a}	6.32±0.02^{c}	6.17±0.03^{d}	6.13±0.08^{e}
ความชื้น	12.32±0.08^{b}	10.42±0.08^{d}	11.76±0.02^{c}	11.76±0.18^{c}	13.98±0.11^{a}
เถ้า	10.75±0.03^{a}	10.64±0.09^{c}	10.43±0.02^{d}	10.74±0.02^{ab}	10.73±0.03^{b}
เยื่อใย	2.50±0.03^{c}	2.53±0.05^{c}	2.73±0.09^{b}	2.66±0.02^{b}	2.83±0.03^{a}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่ต่างกัน แสดงความแตกต่างกันทางสถิติในแนวนอนเดียวกัน ($p<0.05$)

6. คุณภาพน้ำ

ค่าคุณภาพน้ำที่ตรวจวัดได้ทั้ง 8 ค่าในระหว่างชุดทดลองทั้ง 5 ชุดมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) เหมือนกันทั้ง 8 ค่า ความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยมีค่า 7.83-8.01 อุณหภูมิเฉลี่ย 27.9-28.7 ความเค็มเฉลี่ย 24.6-25.5 ส่วนในพัน ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่า 6.58-6.81 มก./ล. สภาพด่างเฉลี่ย 134.45-136.75 มก./ล. ความกระด้างเฉลี่ยมีค่า 4,022-4151 มก./ล. ส่วนปริมาณไนไตรท์เฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.52 - 0.76 มก./ล. และปริมาณแอมโมเนียในน้ำเฉลี่ย 0.51-0.75 มก./ล (ตารางที่ 31)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 31 ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำที่ได้จากการเลี้ยงกุ้งขาวด้วยอาหารสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดในปริมาณที่ต่างกัน

คุณภาพน้ำ	ไม่เสริมสไปรูลินา	ปริมาณสไปรูลินาที่เสริมในอาหาร (ก./กก.)			
		50	100	150	200
ความเป็นกรด-ด่าง [ns]	7.98±0.15	7.83±0.12	7.94±0.08	8.01±0.09	7.92±0.14
อุณหภูมิ (°ซ.) [ns]	28.5±0.10	28.1±0.16	27.9±0.12	28.7±0.06	28.3±0.09
ความเค็ม (ส่วนในพัน) [ns]	25.5±0.07	24.6±0.05	25.0±0.08	24.8±0.11	25.2±0.07
ออกซิเจนละลายน้ำ(มก./ล.) [ns]	6.58±1.15	6.81±1.10	6.73±1.05	6.64±1.14	6.69±1.13
สภาพด่าง (มก./ล.) [ns]	134.45±1.58	135.95±1.05	136.75±1.06	135.89±1.31	135.75±0.63
ความกระด้าง (มก./ล.) [ns]	4134±74.00	4114±91.00	4022±62.00	4129±81.00	4151±88.00
ไนไตรท์ (มก./ล.) [ns]	0.68±0.03	0.63±0.32	0.69±0.48	0.76±0.10	0.52±0.42
แอมโมเนีย (มก./ล.) [ns]	0.67±0.03	0.63±0.32	0.68±0.48	0.75±0.10	0.51±0.42

หมายเหตุ ns คือ non significant แสดงความไม่แตกต่างกันทางสถิติในแนวนอนเดียวกัน ($p>0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 : อภิปรายผลการวิจัยและวิจารณ์

ส่วนที่ 1 : การผลิตสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว

การศึกษาเบื้องต้น : คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว

น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่อายุประมาณ 3 เดือนที่นำมาวิเคราะห์มีปริมาณไนเตรท ไนไตรท์ แอมโมเนีย และฟอสเฟตอนินทรีย์ในน้ำสูง จึงเหมาะสมต่อการเจริญของสไปรูลินาที่ต้องการธาตุอาหารเหล่านี้ (เพ็ญรัตน์ และ โฉมยง, 2545) มีปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน 0.32±0.01 มก./ล. เป็นค่าคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำเพราะไม่เกิน 5 มก./ล. (มงคล และ สุทธิพงศ์, 2546) และไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำและพืชน้ำเพราะมีค่าต่ำกว่า 10 มก./ล. และ 20 มก./ล.ตามลำดับ (คณิต และคณะ, 2537) ปริมาณไนไตรท์ในน้ำทิ้งที่มีค่า 0.10±0.03 มก./ล. อยู่ในเกณฑ์ปกติ ไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำเพราะไม่เกิน 1.0 มก./ล. (Parker, 1995) สาหร่ายจะหยุดการเจริญเมื่อในน้ำมีไนไตรท์เกิน 1.0 มก./ล. เช่นกัน (Richmond, 1986) ปริมาณแอมโมเนียในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวมีค่า 0.70±0.02 มก./ล. สูงกว่าปริมาณแอมโมเนียอิออนที่จะเป็นพิษต่อสัตว์น้ำหลายชนิดเพราะมีค่าเกิน 0.1 มก./ล. (วิรัช, 2544; Boyd and Tucker, 1992) แต่ยังไม่ถึงระดับที่จะเป็นต่อเซลล์ของสาหร่าย เพราะแอมโมเนียที่มีอยู่ในน้ำจะเป็นพิษอย่างเฉียบพลันต่อสาหร่ายบางชนิดได้ หรือการเจริญของสาหร่ายจะหยุดหรือถูกยับยั้งเมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียเท่ากับ 1.0 มก./ล. ซึ่งยังไม่ทราบสาเหตุที่แน่ชัด แต่คาดว่าจะเกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของความเป็นกรด-ด่างภายในเซลล์ของสาหร่ายซึ่งเกิดจากการซึมผ่านของโมเลกุลแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์จนเป็นเนื้อเดียวกัน (Richmond, 1986) ปริมาณฟอสเฟตอนินทรีย์ในน้ำทิ้งมีค่า 0.42±0.05 มก./ล. เป็นค่าที่สูงกว่า 0.1 มก./ล. ที่เป็นระดับที่เริ่มเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ (Boyd and Tucker, 1992) แสดงให้เห็นว่าคุณภาพน้ำทิ้งของน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวดังกล่าวมาตุอาหารสูงและเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ หรืออาจก่อให้เกิดภาวะยูโทรฟิเคชั่น (eutrophication) จนก่อให้เกิดปรากฏการณ์ขี้ปลาวาฬ (red tide) และจะส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำในแหล่งน้ำนั้นๆ ได้ ดังนั้นการนำน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวมาใช้เพาะเลี้ยงสไปรูลินา (ที่อยู่ในน้ำจืดและปรับให้อยู่ได้ในน้ำเค็ม) จึงมีความเหมาะสมเพราะมีธาตุอาหารสูง จะเป็นการลดมลภาวะทางน้ำลงได้ทางหนึ่ง อีกทั้งยังได้เซลล์ของสไปรูลินาเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้วย สอดคล้องกับรายงานการวิจัยหลายๆ เรื่องที่มีการนำน้ำทิ้งจากแหล่งต่างๆ มาทดแทนสารเคมีบางตัวที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสไปรูลินา เช่น การนำน้ำทิ้งจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง (บุญเริ่ม, 2540; จงกล และ นิวุฒิ, 2546) น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ (จงกล, 2546; ยุวดี, 2546) น้ำทิ้งจากโรงงานปลาแล่ของบริษัทโชคมารีนสมุทร จำกัด จังหวัดสมุทรสาคร (จักรพงษ์ และคณะ, 2550) ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 1 : ความสามารถในการดำรงชีวิตและการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวด้วยสไปรูลินา

สาหร่ายสไปรูลินาสามารถเพิ่มจำนวนเซลล์ในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวได้ทั้ง 5 ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง โดยใช้เวลาในการเจริญจนมีค่า OD สูงสุด (วัน D_{max}) ใกล้เคียงกันคือ 7-8 วัน ชุดที่ใช้น้ำทิ้ง 20, 40 และ 60% สไปรูลินาเพิ่มจำนวนได้น้อยทั้งนี้เพราะในน้ำมีปริมาณไนเตรทและฟอสเฟตอนินทรีย์ต่ำ ทำให้สไปรูลินาที่ได้รับไนเตรทในปริมาณที่ต่ำจะทำให้เกิดสภาวะขาดไนโตรเจนได้ง่าย เนื่องจากรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงที่มีลดลง สไปรูลินาจึงสังเคราะห์แสงลดลง (Russell-Hunter, 1970; Raymond, 1980) แพลงก์ตอนพืชจะนำฟอสเฟตไปใช้ได้ดีถ้าในน้ำมีปริมาณไนเตรทมากเพียงพอ (สุวรรณา, 2540) ชุดทดลองที่ใช้น้ำทิ้ง 80 และ 100% มีการเจริญโดยมีค่า OD ในวัน D_{max} ไม่แตกต่างกันทางสถิติกัน แต่สูงกว่าอีก 3 ชุดทดลองที่เหลือทั้งนี้เพราะทั้ง 2 ชุดทดลองดังกล่าวปริมาณไนเตรทและฟอสเฟตอนินทรีย์ลดลง (ถูกนำไปใช้) อย่างเห็นได้ชัดในวัน D_{max} เมื่อเทียบกับวันเริ่มต้น ในขณะที่ปริมาณไนไตรท์และแอมโมเนียในน้ำของทุกชุดทดลองลดลงและเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้เหมือนกัน เพราะถูกสไปรูลินานำไปใช้เพื่อการเพิ่มจำนวนเซลล์ ชี้ให้เห็นว่าน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวมีธาตุอาหารไม่มากจนถึงระดับที่จะเป็นพิษต่อสไปรูลินา แต่มีปริมาณเพียงพอที่จะทำให้สไปรูลินาเจริญได้ดี และสามารถใช้น้ำทิ้งได้ทั้ง 100% โดยไม่ต้องเจือจาง สอดคล้องกับการศึกษาการเพาะเลี้ยงสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากโรงงานปลาแล่ที่สามารถใช้น้ำทิ้งจากบ่อ EQ (บ่อที่รับน้ำทิ้งจากโรงงานโดยตรง) บ่อ AF (บ่อที่ทำให้ตกตะกอน) และบ่อ Effluent (บ่อที่บำบัดน้ำแล้ว รอปล่อยทิ้งลงแหล่งน้ำ) ที่ความเข้มข้นสูงถึง 80, 100 และ 100% ตามลำดับ ได้ผลดีที่สุด (จักรพงษ์ และคณะ, 2550) และการเพาะเลี้ยงสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากโรงงานปลาป่นที่ใช้น้ำทิ้งได้สูงถึง 100% ในขณะที่น้ำทิ้งจากโรงงานขนมจีนที่สามารถใช้น้ำทิ้งได้ 40% เท่านั้น (บุญเริ่ม, 2540 อ้างถึง เสกสรร, 2537) และโรงงานผลิตสุราสามารถใช้น้ำกากส่าเหล้ามาเพาะเลี้ยงสไปรูลินาได้สูงสุดเพียง 0.5-10% เท่านั้น (จรูญ, 2531; สุพัตรา, 2533; ยุวดี และคณะ, 2535) แสดงให้เห็นว่าสไปรูลินาสามารถดำรงชีวิต เพิ่มจำนวนเซลล์ และสามารถบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวได้ทั้ง 5 ระดับ โดยสามารถใช้น้ำทิ้งที่ 100% (ชุดควบคุม) ได้เพราะสไปรูลินาเจริญได้ดีเท่ากับชุดที่ใช้น้ำทิ้ง 80% แต่ไม่ต้องเจือจางด้วยน้ำสะอาดจึงประหยัดและคุ้มทุนมากกว่า

การทดลองที่ 2 : การเพิ่มขีดความสามารถในการเจริญและบำบัดน้ำของสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาปริมาณของ $NaHCO_3$ ที่ต่างกันที่เติมลงในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่ความเข้มข้น 100% พบว่าสามารถเพิ่มจำนวนเซลล์ (ผลผลิต) ของสไปรูลินาให้มากขึ้นได้ โดยเฉพาะในชุดที่เติม $NaHCO_3$ 6.5 ก./ล. มีค่า OD ในวัน D_{max} สูงสุดคือ 0.82 และสูงกว่าชุดควบคุมเกือบเท่าตัว คือมีค่า OD เพียง 0.45 เท่านั้น ทั้งนี้เป็นเพราะสไปรูลินาสามารถเจริญได้ดีในน้ำที่เป็นด่าง ซึ่งการเติม $NaHCO_3$ จะทำให้น้ำเป็นด่างและ $NaHCO_3$ ยังให้ไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนตซึ่งจะช่วยในการรักษาระดับความเป็นกรด-ด่างของน้ำให้คงที่ไม่เปลี่ยนแปลงได้ง่าย (ไปรมา และคณะ, 2531) $NaHCO_3$ ยังทำหน้าที่เป็นแหล่งคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์แสงของสไปรูลินา (บุญเริ่ม, 2540) ทำให้สไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในน้ำที่เติม $NaHCO_3$ เจริญได้ดีกว่าที่ไม่ได้มีการเติม $NaHCO_3$ ชุดทดลองที่มีการเติม $NaHCO_3$ ในน้ำทิ้งที่ 6.5 ก./ล. เป็นปริมาณที่ต่ำกว่าการเพาะเลี้ยงสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากแหล่งอื่นๆ เช่น ในน้ำทิ้งกากส่าเหล้า (สุพัตรา, 2533) น้ำทิ้งจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง (บุญเริ่ม, 2540; จงกล และ นิวุฒิ, 2546) น้ำทิ้งจากโรงงานปลาแล่ (จักรพงษ์ และคณะ, 2550) ใช้ $NaHCO_3$ 8.5 ก./ล. ให้การเจริญสูงสุด ทั้งนี้เพราะน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งมีสภาพเป็นด่างอ่อนๆ อยู่แล้ว ทำให้ไม่ต้องการ $NaHCO_3$ ในปริมาณที่มากนัก ซึ่งต่างจากแหล่งน้ำทิ้งอื่นๆ ที่กล่าวมาข้างต้นที่เป็นน้ำจืดที่น้ำทิ้งมีความเป็นกรดอ่อนหรือเป็นกลางเพราะเป็นน้ำจืดทำให้ปริมาณการใช้ $NaHCO_3$ สูงกว่านั่นเอง นอกจากนี้การเติม $NaHCO_3$ ในน้ำทิ้งไม่มีผลต่อจำนวนวันที่สไปรูลินาใช้ในการเจริญเพราะทุกชุดทดลองใช้เวลาในการเจริญอยู่ในช่วง 8-9 วัน จะเห็นได้ว่าแม้จะมีเติม $NaHCO_3$ ที่มากคือ 8.5 และ 10.5 ก./ล. ก็ไม่ช่วยทำให้สไปรูลินาเพิ่มจำนวนมากขึ้น ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับสัดส่วนของอัตราส่วนของ C : N : P ในน้ำทิ้งที่เปลี่ยนแปลงไปจากการเติม $NaHCO_3$ ลงไปนั่นเอง จะเห็นได้ว่าชุดที่เติม $NaHCO_3$ 6.5 และ 8.5 ก./ล. เป็นปริมาณที่เหมาะสมเพราะเหลือปริมาณไนเตรทและฟอสเฟตในน้ำเมื่อจบการทดลองต่ำกว่าชุดทดลองอื่นทั้งที่มีปริมาณเริ่มต้นสูงกว่าด้วย (เนื่องจากสไปรูลินามีการดูดซึมไปใช้สูงมากนั่นเอง) ส่วนปริมาณไนไตรท์และแอมโมเนียเมื่อสิ้นสุดการทดลองของทุกชุดทดลองมีค่าน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้เหมือนกันเพราะถูกนำไปใช้จนหมด

<u>การทดลองที่ 3</u> : การเพิ่มขีดความสามารถในการเจริญของสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว

สไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่ความเข้มข้น 100% เติม $NaHCO_3$ 6.5 ก./ล. และเติม N:P:K ในปริมาณที่ต่างกัน พบว่าสไปรูลินาสามารถใช้ N:P:K ที่เติมลงไปได้ในปริมาณที่น้อยมากคือใช้ได้เพียง 0.3 ก./ล. ซึ่งจะให้ค่า OD ในวัน D_{max} สูงสุดคือ 0.89 สูงกว่าชุดที่เติม N:P:K 0.6, 0.9 และ 1.2 ก./ล. มาก แต่สูงกว่าชุดควบคุมไม่มากนัก ชี้ให้เห็นว่าในน้ำทิ้งจากบ่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลี้ยงกุ้งมีปริมาณ N:P:K ที่มากเพียงพอแล้ว เห็นได้จากเหลือปริมาณไนเตรทและฟอสเฟตในน้ำทิ้งที่เพาะเลี้ยงในวันสุดท้ายของการทดลองมาก การเพิ่ม N:P:K ที่สูงกว่า 0.3 ก./ล. ทำให้สไปรูลินาเจริญได้น้อยลงซึ่งเป็นผลมาจากอัตราส่วนของ C : N : P ในน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปและไม่เหมาะสมต่อการเจริญของ สไปรูลินาหรือมีปริมาณมากจนยับยั้งการเจริญได้ หากสภาพแวดล้อมในน้ำทิ้งที่ใช้เพาะเลี้ยงไม่เหมาะสมต่อการดูดซึมสารอาหารไปใช้ (Smith, 1993) ปริมาณ N:P:K ที่เติมในน้ำได้ผลดีที่สุดคือใช้เพียง 0.3 ก./ล. เท่านั้น ซึ่งจะน้อยกว่าการใช้ N:P:K ในน้ำทิ้งกากส่าเหล้า (สุพัตรา, 2533; ยุวดี และคณะ, 2535) น้ำทิ้งจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง (บุญเริ่ม, 2540; จงกล และ นิวุฒิ, 2546) ที่ใช้ในปริมาณสูงกว่าคือ 0.6 ก./ล. ในขณะที่การเพาะเลี้ยงสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากโรงงานปลาแล่ การเติม N:P:K ตั้งแต่ 0.3 ก./ล.ขึ้นไปในน้ำทิ้ง กลับทำให้สไปรูลินาเจริญได้น้อยลง (จักรพงษ์ และคณะ, 2550) ชี้ให้เห็นว่าการเติม N:P:K ลงในน้ำทิ้งใดๆ ก็ตามจะเกี่ยวข้องกับปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียมที่มีเดิมอยู่ในน้ำทิ้งนั้นๆ เป็นสำคัญ การเติม N:P:K ในน้ำทิ้งไม่มีผลต่อจำนวนวันที่สไปรูลินาใช้ในการเจริญเพราะทุกชุดทดองใช้เวลาอยู่ในช่วง 8-9 วัน เช่นเดียวกับการทดลองที่เติม $NaHCO_3$ ในน้ำทิ้งของการทดลองที่ 2

<u>การทดลองที่ 4</u> : การเพิ่มขีดความสามารถในการเจริญของสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวในสภาพกลางแจ้ง

การเพาะเลี้ยงสไปรูลินาด้วยน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่ความเข้มข้น 100% เติม $NaHCO_3$ 6.5 ก./ล. N:P:K 0.3 ก./ล. ในสภาพกลางแจ้ง สามารถเจริญได้สูงสุดคือมีค่า OD 0.96 และมีน้ำหนักสด 1.59 ก./ล. ใช้ระยะเวลาในการเพิ่มจำนวนเซลล์จนมีค่า OD สูงสุดในวัน D_{max} สั้นกว่าที่เพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการถึง 2 วันคือในวันที่ 6 โดยมีค่า OD สูงกว่าเล็กน้อย จำนวนวันเพาะเลี้ยงที่สั้นกว่าเป็นเพราะในสภาพการเพาะเลี้ยงกลางแจ้งสไปรูลินาจะได้รับแสงจากดวงอาทิตย์ซึ่งจะมีความเข้มแสงที่สูงมากคือประมาณ 35-45 กิโลลักซ์ และเหมาะสมที่สุดในการผลิตสไปรูลินาในระดับอุตสาหกรรม (จักรพงษ์, 2548) ประกอบกับอุณหภูมิของน้ำทิ้งที่เพาะเลี้ยงจะสูงกว่าในห้องปฏิบัติการคืออยู่ที่ 30-32 ^{o}ซ. ทำให้เจริญได้ดีกว่าเพราะสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงกลางแจ้งจะเจริญได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 30-35 ^{o}ซ. (ยุวดี, 2546) โดยจะมีการดูดซึมไนเตรทและฟอสเฟตในน้ำไปใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสหลักและเป็นแหล่งแรกในการเพิ่มจำนวนเซลล์ (ทำให้ปริมาณไนเตรทและฟอสเฟตอนินทรีย์ในน้ำในวัน D_{max} และเมื่อสิ้นสุดการทดลองเหลือน้อยมาก) แต่เมื่อน้ำมีไนเตรทลดลงมากจนถึงระดับไม่เพียงพอกับความต้องการ สไปรูลินาจะใช้แอมโมเนียและไนไตรท์เป็นแหล่งไนโตรเจนแทน/เพิ่มเติม โดยเปลี่ยนมาเป็นไนเตรทผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชั่น (nitrification) (Russell-Hunter, 1970; Raymont, 1980)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าจากการเพาะเลี้ยงสไปรูลินาทั้ง 4 การทดลอง สไปรูลินามีการนำธาตุอาหารจากน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวไปใช้ สอดคล้องกับคำกล่าวของ ลัดดา (2543) ที่ว่าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถที่จะดึงธาตุอาหารจากแหล่งน้ำเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตโดยธาตุอาหารในแหล่งน้ำที่สำคัญ ได้แก่ ไนโตรเจน (ในรูปของสารอนินทรีย์ได้แก่ ไนเตรท ไนไตรท์ และ แอมโมเนีย) และฟอสฟอรัส (ในรูปสารอนินทรีย์ได้แก่ ฟอตเฟตอนินทรีย์) แต่ต้องอยู่ในปริมาณที่เหมาะสมด้วย ถ้ามีมากเกินไปจะเป็นพิษและยับยั้งการเจริญของสไปรูลินาได้เช่นกัน โดยเฉพาะปริมาณไนไตรท์และแอมโมเนีย (Richmond, 1986) ปริมาณไนเตรท ไนไตรท์ แอมโมเนีย และฟอสเฟตอนินทรีย์ในวัน D_{max} ของทุกชุดทดลองทั้ง 4 การทดลองอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ (Boyd, 1990; Boyd and Tucker, 1992) และจะไม่อยู่ในในสภาพที่จะเป็นตัวเพิ่มสภาวะที่เป็นพิษให้แก่แหล้งน้ำเมื่อปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติต่อไป (Richmond, 1986; Borowitzka and Borowitzka, 1988)

ส่วนที่ 2 : การเลี้ยงกุ้งขาวด้วยอาหารที่เสริมสาหร่ายสไปรูลินา

การทดลองที่ 1 : การเลี้ยงกุ้งขาวด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดที่เคลือบด้วยสารเคลือบจากธรรมชาติที่ต่างกัน

กุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่ต่างกัน คือ เลซิติน กล้วย น้ำมันปลาหมึก และไคโตซาน เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เคลือบด้วยสารเคลือบ พบว่ากุ้งขาวมีการเจริญในด้านต่างๆ และมีความเข้มสีของเนื้อกุ้งก่อนและหลังแกะเปลือกไม่แตกต่างกันทั้ง 5 ชุด แต่ชนิดของสารเคลือบมีผลต่ออัตราการรอดตายของกุ้งที่เลี้ยงโดยกุ้งขาวในชุดที่ใช้เลซิตินเป็นสารเคลือบมีอัตราการรอดตายสูงสุดคือ 86.00% และต่ำสุดในชุดที่ใช้กล้วยเป็นสารเคลือบที่มีค่า 76.33% ทั้งนี้เพราะกล้วยเป็นสารเหนียวจำพวกแป้งหรือคาร์โบไฮเดรต ซึ่งค่อนข้างจะย่อยยาก และเมื่อใช้ในปริมาณที่ค่อนข้างมากจะทำให้ไม่เหมาะต่อการย่อยของกุ้งในวัยดังกล่าวได้ (ปริมาณที่ควรใช้คือ 5-15% ของอาหาร) อีกทั้งยังมีความคงทนในน้ำได้เพียง 1-2 ชั่วโมงเท่านั้น (อมรรัตน์ และคณะ, 2548) แต่กุ้งขาวอาจจะกินอาหารโดยใช้เวลาที่ยาวนานกว่านั้น ทำให้สไปรูลินาที่เสริมลงไปหลุดจากเม็ดอาหารไปก่อนกุ้งกิน ในขณะที่เลซิตินเป็นสารเหนียวหรือสารเคลือบที่มีฟิล์มเคลือบเม็ดอาหารได้ดีและบางกว่าชนิดอื่นๆ จึงเหมาะสมกว่า ดังนั้นเลซิตินจึงเป็นสารที่เหมาะสมในการเคลือบเม็ดอาหารที่เสริมสไปรูลินาแก่กุ้งที่เลี้ยง แม้จะมีราคาสูงพอสมควรก็ตามเพราะกุ้งเป็นสัตว์น้ำที่มีราคาสูงจึงมีความคุ้มทุนมากกว่าการใช้สารเคลือบชนิดอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 2 : การเลี้ยงกุ้งขาวด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินาสดในปริมาณที่ต่างกัน

การเสริมสไปรูลินาสดในอาหารสำเร็จรูปสำหรับกุ้งขาว ให้ผลด้านการเติบโตไม่แตกต่างกับการไม่เสริมสไปรูลินา (ชุดควบคุม) เพราะกุ้งขาวที่เลี้ยงได้มีความยาวทั้งหมด น้ำหนัก เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะไม่แตกต่างกันในระหว่างชุดทดลองทั้ง 5 ชุด ทั้งนี้เป็นเพราะอาหารทดลองทั้ง 5 ชุดมีคุณค่าทางอาหารค่อนข้างใกล้เคียงกัน (มีปริมาณโปรตีนอยู่ระหว่าง 34.50-35.59%) จะเห็นได้ว่าการเสริมสไปรูลินาลงในอาหารกุ้งขาวแม้จะทำให้ปริมาณโปรตีนของอาหารทดลองสูงขึ้นตามปริมาณการเสริมสไปรูลินาที่เพิ่มขึ้นก็ตาม แต่เป็นปริมาณที่น้อยมาก จึงให้ผลการเติบโตที่ไม่ต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่ากุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เสริมสไปรูลินา 200 ก./กก. (คิดเป็น 19.0% ของอาหารผสม) มีการเติบโตดีกว่าชุดทดลองอื่นๆ ส่วนกุ้งขาวในชุดที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เสริมสไปรูลินา 100 ก./กก. (คิดเป็น 9.5% ของอาหารผสม) มีอัตราการรอดตายสูงสุดไม่ต่างกับชุดควบคุม ซึ่งเป็นอัตราการรอดตายที่สูงกว่าชุดที่เสริมสไปรูลินา 150 ก./กก. (คิดเป็น 14.2% ของอาหารผสม) และ 200 ก./กก. ทั้งนี้เพราะการสไปรูลินาที่มากเกินไปจะมีผลตอบสนองต่อการกินอาหารของกุ้งขาว เพราะกุ้งขาวที่กินอาหารที่มีโปรตีนจากพืชในปริมาณที่มากเกินควร จะมีผลไปลดความอยากกินอาหารของกุ้งขาวลง เพราะสไปรูลินามีไลซีนสูง (มะลิ, 2531) ยังไปลดความคาวของอาหารลงด้วย การใช้วัตถุดิบจากพืชเป็นส่วนประกอบหรือเสริมลงในอาหารเลี้ยงสัตว์น้ำ มีผลให้การเจริญ การรอดตายที่ต่ำกว่าการใช้วัตถุดิบจากสัตว์ แต่หากมีการเสริมด้วยสารอาหารบางชนิดและปริมาณที่เหมาะสมก็สามารถทดแทนได้ (Viola *et al*., 1988)

ซึ่งสังเกตได้จากการกินอาหารของกุ้งคือกุ้งใช้เวลาเข้ากินอาหารช้าและกินเสร็จเร็วกว่าชุดทดลองอื่นๆ การใช้สไปรูลินา 100 ก./กก. (หรือ9.5%) ให้อัตรารอดตายที่สูงสุดในการเลี้ยงกุ้งขาว สอดคล้องกับ Cuzen (1985) ที่รายงานว่าการใช้ สไปรูลินา 8% เป็นส่วนผสมของอาหารเม็ดเพื่อเลี้ยงกุ้งคุรูมา (*Pennaeus japonicus*) ระยะวัยรุ่น (juvenile) มีผลให้อัตราการรอดตายสูงสุด นอกจากนี้กุ้งขาวที่เลี้ยงอาหารที่เสริมสไปรูลินา 100 ก./กก. ยังมีปริมาณวิตามินเอในเนื้อกุ้งสูงสุด เพราะสไปรูลินาเป็นแหล่งรงควัตถุคาโรทีนอยด์ มีบทบาทเป็น fertilization hormones ช่วยในการเร่งการเจริญเติบโตในระยะวัยอ่อนของสัตว์น้ำ ช่วยลดอัตราการตายในระยะตัวอ่อน ช่วยให้สัตว์น้ำวัยอ่อนสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น ปริมาณออกซิเจนต่ำ อุณหภูมิสูง แอมโมเนียสูงได้ดี ยังช่วยในกระบวนการหายใจโดยเป็นแหล่งออกซิเจนสำรองให้กับเซลล์ (Tacon, 1981) การเสริมสไปรูลินาที่ 150 และ 200 ก./กก. มีปริมาณวิตามินเอในเนื้อกุ้งลดลง ทั้งนี้น่าจะเป็นเพราะกุ้งขาวกินอาหารทดลองไม่มากนักด้วยเหตุผลที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มสีของเนื้อกุ้งก่อนและหลังแกะเปลือกของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ไม่เสริมและอาหารที่เสริมสไปรูลินามีความเข้มสีที่ไม่แตกต่างกัน แต่มีแนวโน้มว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เสริมสไปรูลินา 200 ก./กก. มีความเข้มสีสูงสุด ทั้งนี้เพราะกุ้งขาวมีเนื้อที่ขาวและไม่มีเอนไซม์ที่จะเปลี่ยนสารคาโรทีนอยด์ให้เป็นแอสตาแซนทีนที่จะทำให้เกิดสีขึ้นได้ ซึ่งต่างกับกุ้งกุลาดำ และกุ้งคุรูมาที่จะมีสีเข้มขึ้นเมื่อรับการเสริมสไปรูลินาในอาหาร เช่น ที่ Cuzen (1985) รายงานไว้ว่ากุ้ง *Penaeus japonicus* ระยะวัยรุ่นที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีส่วนผสมของสไปรูลินา จะมีความเข้มของสีเนื้อกุ้งเพิ่มขึ้น และมีความเข้มสีสูงสุดเมื่อเสริมในอาหารที่ 8% เพราะกุ้งสามารถเปลี่ยนเบตาแคโรทีนเป็นแอสตาแซนทีนและสะสมไว้ในร่างกายได้ (Tanaka et al., 1976) และแอสตาแซนทีนมีประสิทธิภาพการนำไปใช้สร้างเป็นสารสีในร่างกายกุ้งได้ดีที่สุด แต่ต้องมีกระบวนการหลายขั้นตอนในการเปลี่ยนเปลี่ยนเบตาแคโรทีนเป็นแอสตาแซนทีน ซึ่งขั้นตอนการเมตาโบลิซึมจะเป็นเหตุให้เกิดการเปลี่ยนรูปของแคโรทีนอยด์เป็นไปอย่างช้าๆ (Chein and Jeng, 1992)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 : สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวอายุ 3 เดือน สามารถนำมาใช้เพาะเลี้ยงสไปรูลินา (ที่ปรับจากน้ำจืดเป็นน้ำเค็ม) ได้เป็นอย่างดี

2. สไปรูลินาสามารถเพิ่มจำนวนเซลล์ได้ดีที่สุดเมื่อเพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่ความเข้มข้นน้ำทิ้ง 100% เติม $NaHCO_3$ 6.5 ก./ล. และเติม N : P : K 0.3 ก./ล.

3. น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งที่นำมาเพาะเลี้ยงสไปรูลินามีคุณสมบัติในวันที่สไปรูลินาเจริญสูงสุด (วัน Dmax) ดีขึ้นจากวันเริ่มต้นและอยู่ในเกณฑ์ปกติ ปลอดภัยต่อสิ่งมีชีวิตหากปล่อยลงสู่ธรรมชาติ

4. ได้ผลผลิตสไปรูลินาที่มากพอควรที่จะนำไปใช้ประโยชน์

5. เลซิติน เป็นสารเคลือบที่เหมาะสมที่สุดในการเคลือบสไปรูลินาสดให้ติดในเม็ดอาหารสำเร็จรูปสำหรับกุ้งขาว

6. ปริมาณการเสริมสไปรูลินาสดที่ 100 ก./กก. ในอาหารเม็ดสำเร็จรูปสำหรับกุ้งขาว ช่วยทำให้กุ้งขาวมีอัตราการรอดตายสูงและมีปริมาณวิตามินเอในเนื้อกุ้งสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงได้จากบ่อเลี้ยงกุ้ง และเนื้อกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปที่เสริมสไปรูลินา

2. ควรศึกษาความต้านทานต่อความเครียดของกุ้งขาว ในด้านองค์ประกอบเลือดและความต่อต้านเชื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กัลยา ยงพฤกษา. 2529. การอนุบาลลูกปลากะพงขาว *Lates calcarifer* ด้วยอาหารผสม. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางเสน, ชลบุรี.

จักรพงษ์ ศรีพนมยม. 2548. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาเพื่อการกินสดของมนุษย์และเสริมในอาหารสัตว์. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร. 88 หน้า.

จักรพงษ์ ศรีพนมยม อรทัย คงสระ และ วราพร ดีชุม. 2550. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*) ในน้ำทิ้งจากโรงงานปลาแล่. *ใน* รวมบทคัดย่อการประชุมวิชาการสาหร่ายและแพลงก์ตอนแห่งชาติ ครั้งที่ 3, 21-23 มีนาคม 2550. ณ อาคารมหามกุฎ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. หน้า 106.

จงกล พรมยะ. 2544. การบำบัดน้ำเสียจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร โดยการเพาะเลี้ยง *Spirulina platensis*. บทคัดย่อการประชุมวิชาการและทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทางน้ำ เรื่องการจัดการและการใช้ประโยชน์อย่างบูรณาการ. หน้า 42.

จารุวรรณ สมศิริ และ มุกดา อุตรพงศ์. 2533. การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงสัตว์มาใช้เลี้ยงสาหร่ายเกลียวทอง. รายงานการสัมนาวิชาการประจำปี 2533 ระหว่างวันที่ 17-19 กันยายน 2533 ณ สถาบันวิจัยประมงน้ำจืดแห่งชาติ บางเขน. หน้า 253-256.

จินตนา ดาราฉาย สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล และ เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต. 2542. ผลของแอสตา-แซนทินต่อความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มของกุ้งกุลาดำวัยอ่อน. ในรายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 37. หน้า 240-245.

เจียมจิตต์ บุญสม (ผู้แปล). 2535 . ความลับของสาหร่ายเกลียวทอง. สาขาเกษตรศาสตร์และชีววิทยา กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

เจียมจิตต์ บุญสม แก้ว กังสดาลอำไพ ประภาศรี ภูวเสถียร จิตติมา สิงหวานิช ผ่องศรี จิตรนูนท์ และ วิภาภรณ์ ณ ถลาง. 2532. คุณสมบัติทางโภชนาการของสาหร่ายเกลียวทองสายพันธุ์ไทย. เอกสารชุดที่ 1 สาขาการประมาณน้ำจืด ฝ่ายติดตามและประเมินผลกองนโยบายและแผนงานประมง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า 33-36.

เจียมจิตต์ บุญสม สุชาติ อิงธรรมจิตร์ และ สุมาลี ดุลยอนุกิจ. 2528. การศึกษาการเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* ในน้ำเสียจากบ่อหมักก๊าซ. บทคัดย่อการสัมมนาวิชาการประจำปี 2528 สถาบันวิจัยประมงน้ำจืดแห่งชาติ บางเขน. หน้า 111-114.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่นจิตร์ ชื่นกระมล ทวี หอมชง และพรรณี เพชรยศ. 2531. การเปรียบเทียบผลผลิตของสาหร่ายสไปรูไล-นา (*Spirulina platensis*) . เอกสารงานวิจัยสถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ วิทยาเขตบางแสน. หน้า 3.

ธรรชัย คงอินทร์. 2524. วัตถุดิบที่เป็นแหล่งให้สารสีในอาหารไก่. ในเอกสารข่าวกองควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์. กรมปศุสัตว์, กรุงเทพฯ. หน้า 9-16

ธิดา เพชรมณี. 2545. สไปรูลินาอาหารที่ดีมีฤทธิ์เป็นยา. เอกสารเผยแพร่ สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง จังหวัดสงขลา กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2 หน้า.

ธิดา เพชรมณี. 2546. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาแบบเศรษฐกิจพอเพียง. ว. สัตว์น้ำ. 14(166) : 21-27.

นิรนาม. 2545. สาหร่ายสไปรูไลน่า สาหร่ายมหัศจรรย์. ว. สัตว์น้ำ. 13(151) : 79-86.

บานชื่น ชลสวัสดิ์. 2532. การใช้สาหร่ายเกลียวทองสดเป็นส่วนประกอบของอาหารผสมสำหรับการเลี้ยงปลาตะเพียนขาวและปลาดุกอุย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ , กรุงเทพฯ.

บัญญัติ มณเฑียรอาสน์. 2533. แพลงก์ตอนวิทยาเบื้องต้น. เชียงใหม่ : ภาควิชาเทคโนโลยีการประมง คณะผลิตกรรมการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้. 316 หน้า.

บุญเริ่ม บุญวร. 2540. อิทธิพลของชนิดอาหารและวิธีการให้อาหารที่มีต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย-เกลียวทอง (*Spirulina plantensis*) ที่เพาะเลี้ยงในสภาพกลางแจ้ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหา-บัณฑิต มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม. หน้า 7-35.

ปิยะพงศ์ โชติพันธิ์. 2527. การทดลองเลี้ยงปลากะพงขาว *Lates calcarifer*_ ด้วยเนื้อปลาบดผสมสาหร่ายสไปรูไลนา. ในรายงานประจำปี 2525-2526. สถานีประมงศรีราชา, ชลบุรี. หน้า 1-14.

ประสุดา สกุลเอี่ยม. 2543. การเจริญเติบโตของ *Spirulina* sp. ในน้ำทิ้งจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลสงขลานครินทร์. ปัญหาพิเศษ ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่. หน้า 1 – 37

ไปรมา ยงมานิตชัย สมบูรณ์ ผู้พัฒน์ และ หยกแก้ว ยามาลี. 2531 การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีโซเดียมไบคาร์บอเนตระดับต่างๆกัน. ว. เกษตรศาสตร์ (วิทย.). 22 : 303 – 310

มนตรี จุฬาวัฒนทล ชิษณุสรร สวัสดิวัตน์ ยงยุทธ ยุทธวงศ์ ภิญโญ พานิชพันธ์ ประหยัด โกมารทัต พิณทิพ รื่นวงษา ธีรยศ วิทิตสุวรรณกุล บุรชัย สนธยานนท์ สุมาลี ตั้งประดับกุล และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มธุรส พงษ์ลิขิตมงคล. 2543. ชีวเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 2 ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพ ฯ. หน้า 86.

มะลิ บุณยรัตผลิน จารุรัตน์ วรรณโกวัฒน์ ชูศักดิ์ บริสุทธิ์ และ สุจินต์ บุญช่วย . 2537. ผลของแคนตาแซนทินและแอสตาแซนทินที่ระดับต่างๆ ต่อสีของกุ้งกุลาดำ. เอกสารวิชาการฉบับที่ 18. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง. 11 หน้า.

มะลิ บุณยรัตผลิน กิจการ ศุภมาตย์ และชูศักดิ์ บริสุทธิ์. 2543. ระบบภูมิคุ้มกันโรคในกุ้งกุลาดำ: VIII. ผลของสารสี (astaxanthin) ต่อการเจริญเติบโต องค์ประกอบเลือด ระบบภูมิคุ้มกันโรค และความต้านทานโรคในกุ้งกุลาดำ. วารสารสงขลานครินทร์ 22:7.

ลัดดา วงศ์รัตน์. 2542. แพลงก์ตอนพืช. พิมพ์ครั้งที่ 2 ภาควิชาชีววิทยาประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพ ฯ. หน้า 22-41.

ลัดดา วงศ์รัตน์. 2543. คู่มือการเลี้ยงแพลงก์ตอน. พิมพ์ครั้งที่ 3 ภาควิชาชีววิทยาประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพ ฯ. หน้า 100-101.

วิเชียร จารย์วัตน์. 2539. การเจริญเติบโตของสาหร่ายเกลียวทอง (*Spirulina plantensis*) ที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวและเส้นขนมจีนผสมสารอินทรีย์บางชนิด. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร-มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม. หน้า 9-37.

วิไลรัตน์ เจริญใหม่รุ่งเรือง. 2541. ประสิทธิภาพของสาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina* spp.) ในการลดค่าบี-โอดี ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของน้ำเสียจากโรงงานผักดอง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหา-บัณฑิต มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพฯ. หน้า 1-40.

วุฒิพร พรหมขุนทอง. 2527. ผลของรงควัตถุคาโรตินอยด์ที่ได้จากแหล่งต่างๆ ต่อการเปลี่ยนสีของปลาแฟนซีคาร์พ *Cyprinu scarpio* Linn. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์กรุงเทพฯ.

สมเกียรติ สุวรรณดีรี. 2542 . การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทอง (*Spirulina platensis*) ในระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อมด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกระดาษสา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาชีว-วิทยา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 73 หน้า

สถิตย์ วงศ์สว่าง. 2533. การเพาะเลี้ยงและปริมาณโปรตีนของสาหร่าย *Spirulina plantensis* ที่เลี้ยงในน้ำ-เต้าหู้. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่. หน้า 8-49.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สันติชัย รังสิยาภิรมย์ และ ทวีป แก้วเกลี้ยง. 2537. การใช้ *Chlorella* sp. บำบัดน้ำทิ้งของโรงงานแปรรูปอาหารทะเล. เอกสารวิชาการฉบับที่ 29/2537. สถานีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดสุราษฎร์ธานี กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 29 หน้า.

สุกิจ รัตนวินิจกุล และ พูนสิน พานิชสุข. 2538. ผลการเสริมสไปรูลินาและดอกดาวเรืองในอาหารต่อสีของกุ้งกุลาดำ. เอกสารวิชาการฉบับที่ 3/2538 สถานีเพาะเลี้ยงชายฝั่งจังหวัดนครศรีธรรมราช กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 9 หน้า.

สุชาติ อิงธรรมจิตร์ สุมาลี ดุลยอนุกิจ และ วราวุธ จอกเงิน. 2528. การทดลองเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายเกลียวทองในถังที่มีน้ำหมุนเวียนตลอดเวลาและหมุนเวียนเป็นครั้งคราว. รายงานการสัมมนาวิชาการประจำปี 2528 สถาบันวิจัยประมงน้ำจืดแห่งชาติ บางเขน. หน้า 71-73.

สุชาติ อิงธรรมจิตร์. 2529. สาหร่ายเกลียวทอง (สไปรูลินา). ว. การประมง. 39(6) : 615-622.

สุพัตรา จันทร์ศิริโพธา. 2533. คุณค่าทางโภชนาการบางประการของสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เลี้ยงในน้ำกากส่าเหล้า. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่. หน้า 15-23.

สุมาลี ดุลยอนุกิจ. 2535. ผลของระดับความเข้มข้นต่างๆ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในสูตรอาหาร ZARROUK ต่อการเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทอง (*Spirulina* sp.). วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพ ฯ. หน้า 30-32.

สุมาลี ดุลยอนุกิจ. 2536. ผลของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่อการเจริญของสาหร่ายเกลียวทอง. เอกสารวิชาการฉบับที่ 145. สถาบันวิจัยประมงน้ำจืดแห่งชาติ บางเขน กรมประมง กระทรวงเกษตรและ สหกรณ์. หน้า 1-32.

สุทธิพรรณ อายะวรรณา และ อนุพงษ์ จันทรสาขา. 2536. การศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตกระดาษสาในบ่อสาหร่าย. ปัญหาพิเศษวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัย เชียงใหม่. หน้า 5-15.

สุรีย์วรรณ เบญจรงค์. 2536. การใช้สาหร่ายเกลียวทองเป็นอาหารแกะ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ. หน้า 9-37.

สุวรรณา ภาณุตระกูล. 2540. ผลของสารละลายฟอสฟอรัสและไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตของ *Chlorella* sp. ในน้ำทะเลชายฝั่ง. เอกสารวิชาการฉบับที่ 10/2540 สถาบันวิจัยชีววิทยาและประมงทะเล ภูเก็ต กรมประมง. 16 หน้า.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดชุมพร. 2547. ยุทธศาสตร์เกษตรแบบบูรณาการจังหวัดชุพร ระยะ 5 ปี (พ.ศ. 2547-2551). เอกสารประกอบการประชุมสัมมนา 4 สิงหาคม 2547 ณ ห้องประชุมสัมมนา โรงแรมภราดรอินน์. หน้า 135-141.

อมรรัตน์ เสริวัฒนากุล พิสมัย สมสืบ นุชนรี ทองศรี และ สาวิตรี วงศ์สุวรรณ. 2548. อาหารและการผลิตอาหารสัตว์น้ำ. เอกสารเผยแพร่ กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 69 หน้า.

Allahpichay, I., C. Shimizu, and M. Kono. 1984. Pigmentation of cultured red sea bream. *Chrysophrys major*, using astaxanthin from Antaretic krill, *Euphausia superba*. and a mysid, *Neomysis* sp. Aquaculture. 38:45-57.

AOAC. 1998. Official Methods of Analysis of AOAC International. 16 th ed. USA. (Chapter 9).

APHA AWWA and WPCP. 1980. Standard method for the examination of water and wastwater. 15th ed. American Public Health Publisher, New York. 1134 p.

Arai, S., T. Mori, W. Miki, K. Yamaguchi, S. Konosu, M. Statake and T., Fujita. 1987. Pigmentation of Juvenile coho salmom with carotenoid oil extracted from Antarctic krill. Aquaculture 66: 255-264.

Atact, T.H., K. Jauncey and A.J. Metly. 1979. The utilization of some single cell proteins by finger ling mirror carp (Cyprinus carpio). Aquaculture 18:337-348.

Baldia, S.F., T. Nishijima, Y. Hata.1991. Effects of physico- chemical factors and nutrients on the growth of *Spirulina plantensis* isolated lake kojima, japan. Nippon Suisan Gakkaishi. 57(3) : 481 - 489.

Baldia, S.., K. Fulami, T. Nishijima and Y. Hata. 19940. Growth responses of *Spirulina plantensis* to some physico- chemical factors and the kenetics of phosphorus utilization. Fisheries Science. 61 (2) : 331 – 335.

Bauernfeind, J.C. 1981. Carotenoids as Colorants and Vitamin A Precursers. Academic Press, New York. 938 p.

Bendich, A. 1989. Carotenoids and the immune response. J. Nutr. 119:112-115.

Bold, H.C. and M.J. W ynine. 1978. Introduction to the algae. Prentice – Hall Inc., New Jersey, U.S.A. 706 p

Boonaratpalin, M. 1975. Development of flaked feeds for aquarium fish. M.S. thesis, Auburn University, Alabama.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Borowizka, M. A. and L. J. Borowitzka. 1988. Micro-Algal Biotecnology. New York : Cambridge University Press. 476 p.

Boyd, C. E. 1990. Water Quality in Pond for Aquaculture. Alabama Agricultural Experiment University, Auburn University, Alabama : Brimingham Publishing Co., Ltd. 482 p.

Boyd, C. E. and C. S. Tucker. 1992. Water Quality and Pond Soil Analyses for Aquaculture. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Auburn, Alabama. p. 5-10.

Braulich, K. 1974. Carotenoids in poultry production : The chemistry and action of pigmentation in avian diets Animal. Nutrition Evens 5:7-17.

Chien,Yew-Hu and Shu-Ching Jeng. 1992. Pigmentation of Kuruma prawn, Penaeus japonicus Bate, by various pigment sources and levels and feeding regimes. Aquacuture 102: 333-346.

Chien,Yew-Hu and Chih-Hung Pan 2000. The resistance to physical and chemical stresses and pathogen challenge by *Penaeus monodon* juvenile fed diets supplemented with astaxanthin, pp. 47-49. *In* the 6th Roche Aquuaculture Conference Asia Pacific. Bangkok, Thailand.

Choubert,G., Jr. 1979. Tentative utilization of spirulin algae as a source of carotenoid pigments for rainbow trout. Aquaculture 18: 135-143.

Cuzon, G., R. Dos Samtos, M Hwq and G. Poullaouce. 1985. Use of spirulina in shrimp (*Penaeus japonicus*) diet. ASFA 1. 15(2): 345.

Fogg, G.E., W.D.P. Stewart, P. Fay and A.E. Walsby. 1973. The blue green algae. Acadamic Press, London. 65 p.

Foss, P., T. Storebakken, K. Schieadt, S. Liaaen- Jeasen, E. Austreng and K. Streiff. 1984. Carotenoids in diets for Salmonids I: Pigmentation of rainbow trout with the individual optical isomers of astaxanthin in comparison with canthaxanthin Aquaculture 41:213-226.

Fox, H.M. The pigment of fishes. *In* M.E. Brown (ed.). Physiology of Fish. Academic Press, New York. pp 35-385.

Fox, H.M. and G. Vevers. 1960. The Nature of Animal Colours. Sidgwick and Jackson Limited, London. 270 p.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Goodwin, T.W. 1960 Biochemistry of Pigments. In T. H. Waterman (ed.). The Physiology of Crustacea Metabolism and Growth. Vol. 1 Academic Press, New York. pp 101-140.

Grasshoff, K. 1976. Methods of Seawater analysis. Verlag Chemic. Germany. 314 p.

Greenberg, D.M. 1986. Metabolic Pathways. Academic Press, New York. 580 p.

Hata, M. and M. Hata. 1975. Carotenoid pigments in rainbow trout. *Salmo gairdnerii irdeus* J. Agric. Res. 26: 25-40.

Hirano, T. and M. Suyama. 1986. Effect of dietary micro- algae on the quality of culture ayu' ASFA 1 16(6): 214.

Katayama, Y., K. Hirata and C.O. Chicester. 1971. The Biosynthesis of Astaxznthin- IV. The Carotenoids in the Prawn, Penaeus japenicus Bate (Part I). Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 37:614-620.

Katayama, T., T. Miyahara, M. Shimaya and C.O. Chicester. 1972a. The biosynthesis of astaxznthin x. The interconversion in the red carp, *cyprinus carpio* L, and the interconversion of beta (15,15-3H_2) carotene into their body astaxznthin. Int. J. Biochem. 3:569-752.

Lovell, T. 1982. Status of peneaid Shrimp nutrition and feed practices. Aquaculture magazine 4:1-44.

Miki, W. 1991. Biological functions and activities of animal carotenoids. Pure & Appl. Chem. 63:141-146.

Mori, T.,T. Muranaka, W. Miki, K. Yamaguchi, s. Konosu and T. Watanabe. 1987. Pigmentation of cultured sweet smett fed diets supplemented with a blue- green alga *Spirulina maxima*. Nippon Suisan Gakkaishi 53(3) :433-438.

Nakamura, H. 1982. *Spirulina* : Food for hungry world. University of the Tree Press, Boulder Creek, California. 413 p.

Nakayama, T.O.M. 1962. Carotenoids, pp.409-920. In R.A. Lewin (ed.). Physiology and Biochemistry of Algae. Academic Press, New York.

Peterson, D.H., HG.K. Jager and G.M. Savage. 1966. Natural Coloration of trout using xanthophylls. Trans . Am. Fish. Soc.95: 408-415.

Philip, J.S. 1970' Pouty: Feeds and Natrition. Connecticut: The AvI Publishing company, Inc., Connectioncut. 329 p.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Raymont, J. E. G. 1980. Plankton and Productivity in the Oceans. (2nd ed.) vol. 1 : Phytoplankton. London : Pergamon Press Ltd. 477 p.

Richmond, A .1986. Handbook of microalgal mass culture. CRC Press, Inc.,Boca Raton, Florida. 528 p.

Richmond, A .1987. *Spirulina*, In : Microalgal biotechnology. p. 21 – 85.

Riley, J.P. and D. A. Segar. 1969. Pigment of Some Further marine phytoplankton species. J. Mar. Bid. Ass. 49(4): 1047-1056.

Ruangpan, L. and T. Kitao. 1992. Minimal inhibitory concentration of 19 chemotherapeutants against Vibrio bacteria of shrimp, *Penaeus monodon*. In Diseases in Asian Aquaculture (Shariff, M., R. Subasinghe and J. R. Arthur eds.) Asian Fisheries Soceity, Philippines. p. 132-142.

Russell-Hunter, W. D. 1970. Aquatic Productivity : An Introduction to Some Basic Aspects of Biological Oceanography and Limnology. New York : Collier – Macmillan Ltd., p. 153-182.

Saito, A. and L.W. Regier. 1971. Pigmentation of brook Trout (*Savelinus fonliwafis*) by feeding dried crustacean waste. J. Fish. Res. Board. Can. 28:509-512.

Stanley, J. G. and J. B. Janes. 1976. Feeding algae to fish. Aquaculture. 7:219-229.

Storebakken, T., P. Foos, K. Schiedt, E. Austreng, S.Liaaen-Jensen and U. Manz. 1987. Carotenoid in dried for salmonids IV: Pigmentation of atlantic salmon with astaxanthin, astaxanthin dipalmitate and canthaxanthin. Aquaculture 65:279-292.

Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons. 1972. A practical handbook of sea-water analysis. 2nd ed. Fisheries Research Board of Canada Bulletin No. 167, Ottawa. 310 p.

Tacon, A.G. J. 1981. Speculative review of possible carotenoid function in fish. Prog Fish-Cult 43:205-208.

Tanaka, Y.,H Matsuguchi, T. Katayama, K.L. Simpon and C.O.Chicester. 1976. The Biosynthesis of Astaxanthin-XVIII. The Metabolicsm of the Carotenoids in the Prawn, *Penaeus japonicus* Bate. Bull.Jap. Soc. Sci. Fish. 4(2): 197-202.

Venkataraman, L.V. 1982. Bluegreen alga Spirulina. Central Food Technological Research Institute, Mysore, India. 97 - 113 p.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Venkataraman, L.V. 1983. A Monograph on *Spirulina plantensis*. Department of Science and Technology, Mysore, India. 354 p.

Viola, S., Arieli, Y. and Zohar, G. 1988. Animal protein free feeds for hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* X *O. aureus*) in intensive culture. Aquaculture 75 : 115-125.

www.foryou.thailion.com(2545).

www.203.157.19.196/new/brain/food05.htm. (2545).

www.Kungthai.com.update เข้าถึงเมื่อ 5 กันยายน 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้