

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(4)
สารบัญภาพ	(6)
บทที่ 1 บทนำ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ขอบเขตของการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำวิจัย	3
บทที่ 2 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	4
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสาหร่ายขนาดเล็ก	4
ลักษณะทั่วไปของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน	4
ลักษณะทั่วไปของสาหร่ายสีเขียว	5
แหล่งที่อยู่อาศัยของสาหร่าย	5
ความสำคัญของสาหร่าย	6
โครงสร้างทางเคมีและชนิดของแคโรทีนอยด์	7
บทบาทและหน้าที่ของแคโรทีนอยด์ในสิ่งมีชีวิต	8
ปลาคุกกี้กอย	9
สารอาหารกับการเจริญเติบโตของปลา	9
ปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการโปรตีนของปลา	13
การสะสมแคโรทีนอยด์ในสัตว์น้ำ	14
การเกิดสีในปลา	15
การใช้สารเร่งสีจากธรรมชาติ	16
อาหารเร่งสีปลาสวยงาม	17
ปัจจัยที่ทำให้เกิดการมองเห็นสี	19
ระบบการวัดสี	20
ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและน้ำหนัก	22

สารบัญ

	หน้า
ดรรรชนีความอ้วนตัวของปลา	23
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	30
วัสดุและอุปกรณ์	30
ชุดที่ 1 ศึกษาความเข้มข้นของสูตรอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต การผลิต แคโรทีนอยด์ของสาหร่ายขนาดเล็ก	31
การเตรียมอาหารสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย	31
ศึกษาช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต การผลิตโปรตีน และแคโรทีนอยด์	31
การศึกษาสูตรอาหารที่เหมาะสมต่อการผลิตโปรตีนและแคโรทีนอยด์ โดยวิธี Two-level factorial design	32
การเพิ่มปริมาณเซลล์สาหร่าย	35
การวิเคราะห์องค์ประกอบภายในเซลล์สาหร่าย	35
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	35
ชุดที่ 2 ศึกษาชนิดของสาหร่ายขนาดเล็ก เพื่อทดแทนปลาป่น ในอาหารเลี้ยง ปลาตู้บักอูย	35
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย	40
ชุดที่ 1 ศึกษาความเข้มข้นของสูตรอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต การผลิต โปรตีนและการผลิตแคโรทีนอยด์ของสาหร่ายขนาดเล็ก	40
ผลการศึกษาช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตการผลิตโปรตีน และแคโรทีนอยด์	40
ผลการศึกษาสูตรอาหารที่เหมาะสมต่อการผลิตโปรตีนและแคโรทีนอยด์ โดยการออกแบบสูตรอาหารด้วยวิธี Two-level factorial design	47
ผลการศึกษาการตอบสนองต่อพื้นผิว (Response Surface Methodology) เพื่อทำนายสูตร อาหารที่เหมาะสมและปัจจัยของสารอาหารที่เกี่ยวข้องต่อการผลิตโปรตีน	52
ผลการศึกษาการเพิ่มปริมาณเซลล์สาหร่าย	54

สารบัญ

	หน้า
ผลการศึกษาองค์ประกอบภายในเซลล์สำหรับขนาดเล็ก	55
ชุดที่ 2 ผลการศึกษาการใช้สำหรับขนาดเล็กเพื่อทดแทนปลาป่นในอาหารเลี้ยง ปลาตู้บีกอูย	55
อิทธิพลของอาหารทดลองต่อการเจริญเติบโต	55
อิทธิพลของอาหารทดลองต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีผิว	63
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	65
เอกสารอ้างอิง	66
ภาคผนวก	72
ภาคผนวก ก	72
ภาคผนวก ข	75
ภาคผนวก ค	80
ภาคผนวก ง	83
ภาคผนวก จ	85



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าเฉลี่ยของความต้องการกรดอะมิโนของสัตว์น้ำทั่วไป	11
2.2 ความต้องการโปรตีนในอาหารของสัตว์น้ำชนิดต่างๆ	12
2.3 ชนิดของวัตถุดิบที่เป็นแหล่งของแคโรทีนอยด์	16
2.4 ปริมาณการใช้แคโรทีนอยด์ในสัตว์น้ำกลุ่มต่างๆ	17
2.5 การเกิดสีในแต่ละความยาวคลื่นแสง	19
2.6 ตัวอย่างความสัมพันธ์ของความยาวและน้ำหนักของปลาชนิดต่างๆ	23
3.1 การออกแบบสูตรอาหารสำหรับเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กเพื่อผลิตโปรตีนและแคโรทีนอยด์ โดยวิธี two-level factorial design ที่ระดับความเข้มข้นต่ำสุดและสูงสุด	33
3.2 Factorial design matrix ของสูตรอาหารเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กเพื่อผลิตโปรตีน และแคโรทีนอยด์	34
3.3 วัตถุดิบอาหารสำหรับปลาคุกกี้กูดที่ได้รับโปรตีนจากสาหร่าย <i>Aphanothece saxicola</i> ในระดับต่างๆ	36
4.1 ความเข้มข้นของสูตรอาหารเลี้ยงสาหร่าย <i>Aphanothece saxicola</i> ต่อการผลิตโปรตีน	49
4.2 ปริมาณแคโรทีนอยด์ที่ OD _(430,450 480nm) ผลิตโดย <i>Aphanothece saxicola</i> ในสูตรอาหารต่างๆ	51
4.3 เปรียบเทียบน้ำหนักเฉลี่ย (กรัม) ของปลาคุกกี้กูดที่ได้รับอาหารทดลองแตกต่างกัน	56
4.4 เปรียบเทียบความยาวเฉลี่ย (ซม.) ของปลาคุกกี้กูดที่ได้รับอาหารทดลองแตกต่างกัน	57
4.5 เปรียบเทียบน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (WG) น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวัน (DWG) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่อวัน (SGR) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ประสิทธิภาพของอาหาร (FE) ประสิทธิภาพของโปรตีนในอาหาร (PER) อัตรารอด (Survival rate) ครรชนีความอ้วนท้วน (K) ของปลาคุกกี้กูดที่ได้รับอาหารทดลอง แตกต่างกัน	60
4.6 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ของปลาคุกกี้กูด ที่ได้รับอาหารทดลองต่างกัน	61
4.7 สมการความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและน้ำหนักของปลาคุกกี้กูดแต่ละทรีทเมนต์	62
4.8 ค่าการวัดสีผิวของปลาคุกกี้กูดที่ได้รับอาหารทดลองแตกต่างกัน	63

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	ค่าเฉลี่ยของความต้องการกรดอะมิโนของสัตว์น้ำทั่วไป	11
2.2	ความต้องการโปรตีนในอาหารของสัตว์น้ำชนิดต่าง ๆ	12
2.3	ชนิดของวัตถุดิบที่เป็นแหล่งของแกลโรทีนอยด์	16
2.4	ปริมาณการใช้แกลโรทีนอยด์ในสัตว์น้ำกลุ่มต่าง ๆ	17
2.5	การเกิดสีในแต่ละความยาวคลื่นแสง	19
2.6	ตัวอย่างความสัมพันธ์ของความยาวและน้ำหนักของปลาชนิดต่าง ๆ	23
3.1	การออกแบบสูตรอาหารสำหรับเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กเพื่อผลิตโปรตีนและแกลโรทีนอยด์ โดยวิธี two-level factorial design ที่ระดับความเข้มข้นต่ำสุดและสูงสุด	33
3.2	Factorial design matrix ของสูตรอาหารเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กเพื่อผลิตโปรตีน และแกลโรทีนอยด์	34
3.3	วัตถุดิบอาหารสำหรับปลาคุกกี้ที่ได้รับโปรตีนจากสาหร่าย <i>Aphanothece saxicola</i> ในระดับต่าง ๆ	36
4.1	ความเข้มข้นของสูตรอาหารเลี้ยงสาหร่าย <i>Aphanothece saxicola</i> ต่อการผลิตโปรตีน	49
4.2	ปริมาณแกลโรทีนอยด์ที่ OD _(430,450 480nm) ผลิตโดย <i>Aphanothece saxicola</i> ในสูตรอาหารต่าง ๆ	51
4.3	เปรียบเทียบน้ำหนักเฉลี่ย (กรัม) ของปลาคุกกี้ที่ได้รับอาหารทดลองแตกต่างกัน	56
4.4	เปรียบเทียบความยาวเฉลี่ย (ซม.) ของปลาคุกกี้ที่ได้รับอาหารทดลองแตกต่างกัน	57
4.5	เปรียบเทียบน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (WG) น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวัน (DWG) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่อวัน (SGR) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ประสิทธิภาพของอาหาร (FE) ประสิทธิภาพของโปรตีนในอาหาร (PER) อัตรารอด (Survival rate) ครรชนีความอ้วนท้วน (K) ของปลาคุกกี้ที่ได้รับอาหารทดลอง แตกต่างกัน	60
4.6	เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ของปลาคุกกี้ ที่ได้รับอาหารทดลองต่างกัน	61
4.7	สมการความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและน้ำหนักของปลาคุกกี้แต่ละทรีทเมนต์	62
4.8	ค่าการวัดสีผิวของปลาคุกกี้ที่ได้รับอาหารทดลองแตกต่างกัน	63

สารบัญตาราง

ตารางผนวกที่	หน้า
1 ส่วนประกอบของวิตามินในอาหาร ปริมาณ 1 กิโลกรัม	80
2 ส่วนประกอบแร่ธาตุในอาหารปริมาณ 1 กิโลกรัม	80
3 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองสูตรต่าง ๆ	81
4 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารที่ใช้ในการทดลอง	81
5 องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย <i>Aphanotheca saxicola</i>	81
6 องค์ประกอบทางเคมี ในตัวปลาอุกบึกอยู่เมื่อเริ่มต้นการทดลอง (% นน.แห้ง)	82
7 องค์ประกอบทางเคมี ในตัวปลาอุกบึกอยู่เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (% นน.แห้ง)	82
8 แสดงช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโต การผลิต โปรตีนและแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย <i>Aphanotheca saxicola</i>	83
9 แสดงช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโต การผลิต โปรตีนและแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย <i>Chlerella</i> sp.	83
10 แสดงช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโต การผลิต โปรตีนและแคโรทีนอยด์ของสาหร่าย <i>Haematococcus</i> sp.	84

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างทางเคมีของ hydrogenated carotenoid derivatives	8
2.2 โครงสร้างทางเคมีของ oxygenated carotenoid derivatives	8
2.3 แสดงค่าสี L, a, b space	21
4.1 แสดงการเจริญเติบโตของสาหร่าย <i>Aphanothece saxicola</i> โดยการชั่งน้ำหนักแห้ง ในสูตรอาหาร ที่แตกต่างกัน 3 ชนิด	41
4.2 แสดงการเจริญเติบโตของสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. โดยการชั่งน้ำหนักแห้ง ในสูตรอาหาร ที่แตกต่างกัน 3 ชนิด	41
4.3 แสดงการเจริญเติบโตของสาหร่าย <i>Haematococcus</i> sp. โดยการชั่งน้ำหนักแห้ง ในสูตรอาหารที่แตกต่างกัน 3 ชนิด	42
4.4 แสดงปริมาณโปรตีนผลิตโดยสาหร่าย <i>Aphanothece saxicola</i> เจริญในสูตรอาหารที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ Allen , s , BG-11 และ NS III	43
4.5 แสดงปริมาณโปรตีนผลิตโดยสาหร่าย <i>Haematococcus</i> sp.เจริญในสูตรอาหาร ที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ Allen , s , BG-11 และ NS III	44
4.6 แสดงปริมาณโปรตีนผลิตโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. เจริญในสูตรอาหารที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ Allen , s ,BG-11 และ NS III	44
4.7 แสดงปริมาณแคโรทีนอยด์ผลิตโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. เจริญในสูตรอาหาร แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ Allen , s , BG-11 และ NS III วัดปริมาณแคโรทีนอยด์ ที่ความยาวคลื่น 430 นาโนเมตร	45
4.8 แสดงปริมาณแคโรทีนอยด์ผลิตโดยสาหร่าย <i>Aphanothece saxicola</i> เจริญใน สูตรอาหารที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ Allen , s , BG-11 และ NS III วัดปริมาณ แคโรทีนอยด์ ที่ความยาวคลื่น 430 นาโนเมตร	46
4.9 แสดงปริมาณแคโรทีนอยด์ผลิตโดยสาหร่าย <i>Haematococcus</i> sp. เจริญใน สูตรอาหารที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ Allen , s , BG-11 และ NS III วัดปริมาณ แคโรทีนอยด์ ที่ความยาวคลื่น 430 นาโนเมตร	46
4.10 แบบจำลองกราฟการออกแบบการทดลอง factorial design ในการผลิตโปรตีน	53

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
4.11 แบบจำลองกราฟการออกแบบการทดลอง factorial design ในการผลิตโปรตีน ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างปัจจัย	54
4.12 น้ำหนักเฉลี่ย (กรัมต่อตัว) ของปลาคุกกี้ตลอดการทดลอง	56
4.13 ความยาวเฉลี่ย (เซนติเมตรต่อตัว) ของปลาคุกกี้ตลอดการทดลอง	57
4.14 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น	58
4.15 เปอร์เซนต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ของปลาคุกกี้	61
4.16 ค่าสีผิวของปลาคุกกี้ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง	63
4.17 เปรียบเทียบสีผิวของปลาคุกกี้ ภายหลังจากที่ได้รับอาหารทดลอง ที่ปริมาณแตกต่างกัน	64
ภาพผนวกที่	หน้า
1 ชนิดของสาหร่ายขนาดเล็กที่ใช้ในงานวิจัย	85
2 กราฟมาตรฐานแสดงความเข้มข้นของซีรัมอัลบูมิน ที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร	86
3 แสดงการเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Aphanothece saxicola</i> ให้อากาศ บ่มภายใต้แสง ฟลูออเรสเซนต์ ในขวดรูปชมพู่	87
4 แสดงการเพิ่มปริมาณเซลล์สาหร่าย <i>Aphanothece saxicola</i> ในขวดโหลปราศจากเชื้อ	87