รายงานการวิจัย

การประยุกต์ใช้สาหร่าย *Nostoc commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างเป็นวัตถุดิบในอาหารปลาทับทิม

The application of cyanobacteria, *Nostoc commune* structural modified for material in *Oreochromis* sp. pellet diets

วัฒนา วัฒนกุล Wattana Wattanakul

อุไรวรรณ วัฒนกุล Uraiwan Wattanakul

เจษฎา อิสเหาะ Jesada Ishaak

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

งบประมาณแผ่นดิน พ.ศ. 2558

รายงานการวิจัย

การประยุกต์ใช้สาหร่าย *Nostoc commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างเป็นวัตถุดิบในอาหารปลาทับทิม

The application of cyanobacteria, *Nostoc commune* structural modified for material in *Oreochromis* sp. pellet diets

วัฒนา วัฒนกุล Wattana Wattanakul

อุไรวรรณ วัฒนกุล Uraiwan Wattanakul

เจษฎา อิสเหาะ Jesada Ishaak

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

งบประมาณแผ่นดิน พ.ศ. 2558

การประยุกต์ใช้สาหร่าย *Nostoc commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างเป็นวัตถุดิบในอาหารปลาทับทิม

วัฒนา วัฒนกุล[1] อุไรวรรณ วัฒนกุล[1] และเจษฎา อิสเหาะ[2]

บทคัดย่อ

การทดลองใช้สาหร่าย *Nostoc commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างเป็นวัตถุดิบในอาหารเลี้ยงปลาทับทิม (*Oreochromis* sp.) เพื่อศึกษาการเจริญเติบโต อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน ลักษณะทางเนื้อเยื่อของตับ ค่าองค์ประกอบเลือด องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลา ระดับสีของปลา และอัตราการรอดตาย โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 ศึกษาผลของของการเสริมสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยวิธีการต่างกัน 4 วิธี ได้แก่ การใช้คลื่นความถี่สูง คลื่นไมโครเวฟ รังสีแกมมา และลำแสงอิเล็กตรอน ในอาหารเลี้ยงปลาทับทิมน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 6.28±1.40 กรัม ในตู้กระจกขนาด 45 X 90 X 45 ซม. ใส่น้ำ 140 ลิตร ใช้ปลา 15 ตัว/ตู้ ให้อาหารวันละ 2 ครั้ง ทำการเลี้ยงเป็นเวลา 10 สัปดาห์ พบว่า การเสริมสาหร่ายที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยคลื่นไมโครเวฟ มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด ทั้งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ สูงกว่าชุดควบคุม ที่ไม่มีการเสริม สาหร่ายในอาหาร และชุดการทดลองที่ใช้คลื่นความถี่สูง แตกต่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่มีการเจริญเติบโตสูงกว่า ชุดการทดลองที่ใช้รังสีแกมมา และลำแสงอิเล็กตรอน แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อปลา พบว่า ค่าความชื้น และ ปริมาณเถ้า ในทุกระดับของการเสริมสาหร่ายในอาหารเม็ดสำเร็จรูป ไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เสริมสาหร่าย ดัดแปลงโครงสร้าง มีปริมาณ โปรตีน และไขมันน้อยกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารควบคุม และทุกระดับของการเสริมสาหร่ายในอาหารไม่มีผลต่อ ลักษณะทางเนื้อเยื่อของตับ ค่าของระดับสี และ อัตราการรอดตาย ($p>0.05$)

การทดลองในส่วนที่ 2 ศึกษาระดับที่เหมาะสมของการเสริมสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้าง ในอาหารเม็ดปลาทับทิมสำเร็จรูปที่มีระดับโปรตีน 32 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับ 5, 10, 15 และ 20 กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม และชุดควบคุมที่ไม่มีการใช้สาหร่าย นำไปเลี้ยงปลาทับทิม น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 5.58±1.25 กรัม เป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า ที่ระดับของการเสริมสาหร่าย ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยคลื่นไมโครเวฟ 10 กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด ทั้งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ สูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่มีการเสริมสาหร่ายในอาหาร

---

[1]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อ.สิเกา จ.ตรัง

[2]มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ตำบลหันตรา อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่มีการเจริญเติบโตสูงกว่าที่ระดับ 5, 15, และ 20 กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อปลา พบว่า ค่า ความชื้น และปริมาณเถ้า ในทุกระดับของการเสริมสาหร่ายในอาหารเม็ดสำเร็จรูป ไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เสริมสาหร่ายมีปริมาณ โปรตีน และไขมันน้อยกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารควบคุม และทุกระดับของการเสริมสาหร่ายในอาหารส่งผลให้ปลามีระดับสี เข้มมากขึ้น ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลต่ออัตราการรอดตาย ($p>0.05$)

คำสำคัญ : สาหร่าย *Nostoc commune* การดัดแปลงโครงสร้างสาหร่าย อาหารปลา ปลาทับทิม

The application of cyanobacteria, *Nostoc commune* structural modified for material in *Oreochromis* sp. pellet diets

Wattana Wattanakul[1] Uraiwan Wattanakul[1] and Jesada Ishaak[2]

Abstract

The experiment were designed to study on supplementation of structural modification algal (*Nostoc commune*) in diet on growth performance, feed conversion rate (FCR), protein efficiency ratio (PER), liver histology, hematology, chemical composition, color level and survival rate of Red Tilapia (*Oreochromis* sp.). The study is divided into two parts, the first study on effects of supplementation of structural modification algal with 4 different physical modification including using of ultrasonic wave, microwave irradiation, gamma irradiation and electron beams in diets. The diets were given to fishes with an initial average weight of 6.28$\pm$1.40 g. The fish were released into 45 X 90 X 45 cm. glass aquaria, containing 140 liters of water with a stocking density of 15 fish per tank. Trial feeds were given twice daily for 12 weeks period. The results showed that growth performance at microwave irradiation structural modification of *N. commune* supplementation in diet was highest in term of weight gain and specific growth rate. These values were higher than gamma irradiation and electron beams group but was not significantly different (p>0.05), but significantly different with control group and ultrasonic wave group (p<0.05). The nutritional values of fish meat were found that the moisture and ash content at all structural modification groups were not significant differences (p>0.05). Fishes fed with structural modification algae supplementation had protein and fat less than control diet group (p<0.05). All groups of structural modification algae supplementation in the diets had no effect on liver histology, hematology, color level and survival rate (p>0.05). The second experiment were designed to study on optimum level of microwave irradiation structural modification algae supplementation in Red Tilapia commercial diet contained 32% protein at the ration of 0, 5, 10, 15, and 20 g/1 kg feed. The diets

.....

[1]Faculty of Science and Fisheries Technology, Rajamangala University of Techonology Srivijaya, Sikao, Trang

[2]Rajamangala University of Techonology Suvarnabhumi, Huntra, Phranakhonsiayutthaya, Ayutthaya

were given to fishes with an initial average weight of 5.58±1.25 g. The fish were released into 45 X 90 X 45 cm. glass aquaria, containing 140 liters of water with a stocking density of 15 fish per tank. Trial feeds were given twice daily for 12 weeks period. The results showed that growth performance at 10 g/1 kg feed of microwave irradiation structural modification *N. commune* supplementation level was highest in term of weight gain and specific growth rate but was not significantly different with control group ($p>0.05$). These values were higher than levels at 5, 15 and 20 g/1 kg feed respectively ($P<0.05$). The nutritional values of fish meat were found that the moisture and ash content at all levels were not significant differences ($p>0.05$). Fishes fed with algae supplementation had protein and fat less than control diet group ($P<0.05$). All level of supplementation in the diets had no effect on liver histology, hematology and survival rate. Therefore, microwave irradiation structural modification *N. commune* supplementation can use 10 g/1 kg feed in Red Tilapia diet.

Keywords : *Nostoc commune* Voucher, structural modification Algal, Fish Diet, *Oreochromis sp*.

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้โดยได้รับความช่วยเหลือเกื้อกูลจากบุคคลหลายฝ่าย บุคคลเหล่านั้นล้วนเป็นกัลยาณมิตรที่ควรค่าแก่การกล่าวถึง ด้วยความรู้สึกขอบคุณ และยกย่องไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ เจษฎา อิสเหาะ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทาง แนะนำในระหว่างการทดลองวิจัย และแก้ไขข้อบกพร่องในการทำงานวิจัยตลอดมา ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์อุไรวรรณ วัฒนกุล ผู้ร่วมโครงการวิจัยที่ได้คอยเป็นกำลังใจ ร่วมทำการวิจัย และปรับปรุงแก้ไขรายงานการวิจัยจนรายงานการวิจัยฉบับนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ นายนาวา แขมภูเขียว และ นางสาวอารียา หนูแหลม ผู้ช่วยวิจัยที่ได้ช่วยเหลือในการทำการวิจัย รวมถึง เจ้าหน้าที่ และ นักศึกษาสาขาวิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และอีกหลายท่านที่ไม่ได้กล่าวนาม จึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ สถาบันครอบครัวที่คอยให้กำลังใจ สนับสนุนในการทำการวิจัยมาโดยตลอด

ท้ายที่สุดขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโ นโลยีการประมง ที่อนุญาตให้ใช้เครื่องมืออุปกรณ์ในการทำการวิจัย และขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนวิจัย งบประมาณแผ่นดิน ประจำปี พ.ศ. 2558 ในการทำวิจัยเรื่องดังกล่าวนี้

คณะผู้วิจัย

กันยายน 2559

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
บทนำ	1
วิธีดำเนินการวิจัย	3
ผลการวิจัย	11
วิจารณ์	30
สรุป	34
เอกสารอ้างอิง	35
ภาคผนวก	38
ภาคผนวก ก	39
ภาคผนวก ข	45

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *Nostoc commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยวิธีการทางกายภาพ 4 วิธี ที่จะเสริมในอาหารเม็ดสำเร็จรูปเลี้ยงปลาทับทิม	4
2	องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองที่เสริมด้วยสาหร่าย *Nostoc commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยวิธีการทางกายภาพ	5
3	องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองที่เสริมด้วยสาหร่าย *Nostoc commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยวิธีการใช้คลื่นไมโครเวฟ	8
4	การเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก (น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว หน่วยเป็นกรัม) ของปลาทับทิมที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่าย *N. commune* (20 mg/kg) ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยวิธีการต่าง ๆ กัน ในอาหารเม็ดสำเร็จรูป เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์	12
5	น้ำหนักเริ่มต้น น้ำหนักสุดท้าย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการรอดตาย อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลาทับทิมที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้าง ในอาหารเม็ดสำเร็จรูป เป็นเวลา 12 สัปดาห์	15
6	ค่าองค์ประกอบเลือดของปลาทับทิม ที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้าง ในอาหารเม็ดสำเร็จรูป เป็นเวลา 12 สัปดาห์	17
7	องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลาทับทิม ที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้าง ในอาหารเม็ดสำเร็จรูป เป็นเวลา 12 สัปดาห์	17
8	ระดับสีที่ผิวลำตัว และสีเนื้อปลาทับทิมที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้าง ในอาหารเม็ดสำเร็จรูป เป็นเวลา 12 สัปดาห์	19
9	คุณภาพน้ำเฉลี่ยตลอดการทดลองเลี้ยงปลาทับทิมที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่าย *N. commune* (20 mg/kg) ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้าง ด้วยวิธีการต่าง ๆ กัน ในอาหารเม็ดสำเร็จรูป เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์	20

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
10	การเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก (น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว หน่วยเป็นกรัม) ของปลาทับทิมที่ได้รับอาหารเม็ดสำเร็จรูปผสมสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยคลื่นไมโครเวฟ ระดับต่าง ๆ กัน เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์	22
11	น้ำหนักเริ่มต้น น้ำหนักสุดท้าย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการรอดตาย อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลาทับทิม ที่ได้รับอาหารเม็ดสำเร็จรูปผสมสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยคลื่นไมโครเวฟ ระดับต่าง ๆ กัน เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์	24
12	ค่าองค์ประกอบเลือดของปลาทับทิม ที่ได้รับอาหารเม็ดสำเร็จรูปผสมสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยคลื่นไมโครเวฟ ระดับต่าง ๆ กัน เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์	26
13	องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลาทับทิม ที่ได้รับอาหารเม็ดสำเร็จรูปผสมสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยคลื่นไมโครเวฟ ระดับต่าง ๆ กัน เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์	26
14	ระดับสีที่ผิวลำตัว และสีเนื้อปลาทับทิมที่ได้รับอาหารเม็ดสำเร็จรูปผสมสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยคลื่นไมโครเวฟ ระดับต่าง ๆ กัน เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์	28
15	คุณภาพน้ำเฉลี่ยตลอดการทดลองเลี้ยงปลาทับทิมที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้าง ด้วยวิธีการต่าง ๆ กัน ในอาหารเม็ดสำเร็จรูป เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์	29

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การเจริญเติบโตของปลาทับทิมที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมสาหร่าย *Nostoc commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยวิธีการต่าง ๆ ในอาหารเม็ดสำเร็จรูป เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์	13
2	การเจริญเติบโตของปลาทับทิมที่ได้รับอาหารผสมสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยคลื่นไมโครเวฟ ระดับต่าง ๆ กัน เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์	23
ภาพผนวกที่		
1	ขวดเลี้ยงสาหร่ายทดลอง	40
2	สาหร่ายที่ใช้ทดลอง	40
3	อบสาหร่ายให้แห้งในตู้อบ	40
4	สาหร่ายที่อบแห้งบด	40
5	อัดเม็ดอาหารที่ใช้ทดลอง	40
6	อบอาหารที่ผ่านการอัดเม็ด	40
7	ตู้กระจกที่ใช้เลี้ยงปลา	40
8	ปลาทับทิมทดลอง	40
9	ตับปลาทับทิมจากสูตร 1 (1)	41
10	ตับปลาทับทิมจากสูตร 2 (1)	41
11	ตับปลาทับทิมจากสูตร 3 (1)	41
12	ตับปลาทับทิมจากสูตร 4 (1)	41
13	ตับปลาทับทิมจากสูตร 5 (1)	41
14	ตับปลาทับทิมจากสูตร 1 (0g)	42
15	ตับปลาทับทิมจากสูตร 2 (5g)	42
16	ตับปลาทับทิมจากสูตร 3 (10g)	42
17	ตับปลาทับทิมจากสูตร 4 (15g)	42
18	ตับปลาทับทิมจากสูตร 5 (20g)	42

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
19	สีปลาทับทิมจากสูตร 1 (1)	43
20	สีปลาทับทิมจากสูตร 2 (1)	43
21	สีปลาทับทิมจากสูตร 3 (1)	43
22	สีปลาทับทิมจากสูตร 4 (1)	43
23	สีปลาทับทิมจากสูตร 5 (1)	43
24	สีปลาทับทิมจากสูตร 1 (0g)	44
25	สีปลาทับทิมจากสูตร 2 (5g)	44
26	สีปลาทับทิมจากสูตร 3 (10g)	44
27	สีปลาทับทิมจากสูตร 4 (15g)	44
28	สีปลาทับทิมจากสูตร 5 (20g)	44

บทนำ

ในการเลี้ยงสัตว์น้ำนั้น อาหารนับได้ว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดปัจจัยหนึ่ง เนื่องจากต้นทุนในการเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยเฉพาะในเรื่องอาหารจะตกอยู่ประมาณ 50-70 % ของต้นทุนทั้งหมด (Blyth and Dodd, 2002; Kongkeo and Phillips, 2002) ฉะนั้นหากผู้เลี้ยงไม่ให้ ความสำคัญต่อการให้อาหารสัตว์น้ำ โอกาสที่จะเกิดความล้มเหลวในการเลี้ยงก็จะสูงตามไปด้วย ซึ่งในปัจจุบันการผลิตอาหารสัตว์น้ำนิยมใช้ปลาป่นเป็นวัตถุดิบที่เป็นเป็นแหล่งโปรตีนจากสัตว์เป็นหลัก ร่วมกับกากถั่วเหลือง ซึ่งเป็นวัตถุดิบแหล่งโปรตีนจากพืช แต่ปริมาณปลาป่นที่ผลิตได้ทั่วโลกมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการลดลงของปลาในแหล่งธรรมชาติ ส่งผลให้ปลาป่นมีแนวโน้มหาได้ยาก และมีราคาสูงขึ้น ตลอดจน คุณภาพไม่คงที่และหาได้ยากในบางฤดูกาล ส่วนกากถั่วเหลืองก็เป็นวัตถุดิบชนิดหนึ่งที่มีราคาค่อนข้างสูง และมีปริมาณการนำเข้าจากต่างประเทศสูงขึ้นทุกปี จึงส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสัตว์น้ำสูงตามไปด้วย ด้วยเหตุดังกล่าวนี้ จึงเป็นเหตุให้นักวิจัยอาหารสัตว์น้ำหันมาศึกษา และพยายามที่จะนำวัตถุดิบจากแหล่งโปรตีนอื่นที่หาได้ง่าย และราคาถูกกว่ามาใช้ ทดแทน โดยเฉพาะวัตถุดิบเหลือใช้จากกิจการต่าง ๆ หรือวัสดุเศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำในท้องถิ่นที่มีผลผลิตจำนวนมาก หาได้ง่าย ราคาถูก และมีคุณค่าทางโภชนาการ นำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนผสมในอาหาร ทดแทนโปรตีนจากปลาป่นและกากถั่วเหลือง ลดการใช้วัตถุดิบอาหารที่มีราคาแพง จะช่วยลดต้นทุนค่าอาหารในการเลี้ยงสัตว์น้ำลงได้

ปัจจุบันสาหร่ายถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยเฉพาะการนำสาหร่ายมาผสมในอาหารสัตว์น้ำทั้งการเสริมแบบทดแทนสัดส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอาหาร (เทพรัตน์และคณะ, 2554) หรือการเสริมเพื่อปรับปรุงสีและกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกัน (ธัชศึก และคณะ, 2554) ทั้งนี้หวังผลว่าจะสามารถช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอด เพิ่มประสิทธิภาพอัตราการแลกเนื้อ (feed conversion ratio; FCR.) เพิ่มภูมิคุ้มกัน (Peiiaflorida and Golez, 1996) และการเพิ่มสีแก่สัตว์น้ำ (จงกล และคณะ, 2554) โดยกลุ่มสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว *Nostoc commune* Voucher เป็นอีกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับการประยุกต์ใช้ในอาหารสำหรับสัตว์น้ำ เพราะ อาภารัตน์ (2546) รายงานถึงคุณค่าทางอาหารของสาหร่าย *N. commune* ว่ามีโปรตีนที่จำเป็นต่อร่างกายมนุษย์ครบทั้งหมด มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตและมีปริมาณเยื่อ ใยค่อนข้างสูง สอดคล้องกับการศึกษาของ Chu และ Tsang (1988) ที่วิเคราะห์หาสารอาหารในสาหร่าย *N. commune* ที่ปักกิ่ง และเจียงสู พบว่าให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน ค่อนข้างสูงเช่นเดียวกัน ด้วยเหตุนี้ปริมาณโปรตีนที่สูงใน สาหร่าย *N. commune* อาจจะนำไปทดแทนวัตถุดิบที่ ให้โปรตีน โดยเฉพาะ ปลาป่น หรือ กากถั่วเหลืองในสูตรอาหารสัตว์น้ำได้

การศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้น เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำสาหร่าย *N. commune* มาเสริมในอาหารเม็ดสำเร็จรูปสำหรับการเลี้ยง ปลาทับทิม (*Oreochromis* sp.) ซึ่งจัดได้ว่าเป็นปลาน้ำจืด

เศรษฐกิจมีความ สำคัญมากชนิดหนึ่งปัจจุบัน เพราะมีรสชาติดี ตลอดจนสีสันสวยงามเป็นที่น่ารับประทาน และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง เช่น ปลาทับทิมที่เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปคุณภาพสูงจะมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว ชนิดโอเมก้า- 3 สูงกว่าปลาน้ำจืดปลาน้ำกร่อยทั่วไปถึง 4 เท่า จึงเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งใน และต่างประเทศ โดยทำการปรับปรุงข้อด้อยของสาหร่ายที่อาจส่งผลต่อความสามารถในการย่อย และการดูดซึม ทำให้การใช้ประโยชน์จากอาหารเกิดได้ดีขึ้น (Alajaji and El-Adawy, 2006) ด้วยการดัดแปลงโครงสร้างสาหร่ายโดยวิธีการทางกายภาพ 4 วิธี ได้แก่การใช้คลื่นเสียงความถี่สูง (ultrasonic wave) คลื่นไมโครเวฟ (microwave irradiation) รังสีแกมมา (gamma irradiation) และลำแสงอิเล็กตรอน (electron beam) เพื่อเปลี่ยนแปลงโครงสร้างวัตถุดิบให้เหมาะสมต่อการย่อยของเอนไซม์ในสัตว์น้ำ จากนั้นจึงนำมาใช้ในการทดลองโดยมีพารามิเตอร์ ที่ทำการศึกษาได้แก่ คุณค่าทางโภชนาการในอาหารเม็ดที่เสริมสาหร่าย และปลาทดลอง การเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย ประสิทธิภาพการใช้อาหาร การเกิดสีในตัวและเนื้อปลา การเปลี่ยนแปลงทางเนื้อเยื่อวิทยาและองค์ประกอบในเลือดในปลาทับทิม ทั้งนี้หวังว่าหากผลการทดลองเป็นไ ปในเชิงบวก ก็จะสามารถใช้ประโยชน์จากสาหร่ายเพื่อพัฒนาในสูตรอาหารสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำเชิงพาณิชย์ต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

การทดลองเสริมสาหร่าย *Nostoc commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างในอาหารเม็ดสำเร็จรูปเลี้ยงปลาทับทิม เพื่อการพัฒนาเป็น นอาหารปลาทับทิมที่ดีนั้น มี ขั้นตอนการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ที่มีความสำคัญต่อเนื่องกันไป ดังนี้

การวิจัยส่วนที่ 1

ศึกษาเปรียบเทียบผลของการเสริมสาหร่าย *Nostoc commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยวิธีการทางกายภาพ 4 วิธี ในอาหารเม็ดสำเร็จรูปเลี้ยง ปลาทับทิมเป็นเวลา 3 เดือน แบ่งออกเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

1.1 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design; CRD) โดยศึกษาสาหร่าย *Nostoc commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยวิธีการทางกายภาพ ที่แตกต่างกัน 4 วิธี (ชุดการทดลอง) คือ ใช้คลื่นเสียงความถี่สูง คลื่นไมโครเวฟ รังสีแกมมา และลำแสงอิเล็กตรอน (Somrak *et al*., 2016) ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายที่ ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยวิธีการทางกายภาพทั้ง 4 วิธี (ดังแสดงในตารางที่ 1) แล้วนำสาหร่ายไปเสริมในอาหารเม็ดสำเร็จรูปปลาทับทิมที่ระดับ 20 กรัม/กิโลกรัม เท่ากันทุกชุดการทดลอง และมีชุดการทดลองที่ใช้อาหารเม็ดสำเร็จรูปปลาทับทิมไม่เสริมสาหร่ายเป็นชุดควบคุม ดังนั้น มีชุดการทดลองทั้งสิ้น 5 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 4 ซ้ำ ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 อาหารสำเร็จรูปที่ไม่มีการเสริมสาหร่าย (สูตรควบคุม)
ชุดการทดลองที่ 2 อาหารที่เสริมสาหร่ายดัดแปลงโครงสร้างด้วยวิธีการใช้คลื่นเสียงความถี่สูง
ชุดการทดลองที่ 3 อาหารที่เสริมสาหร่ายดัดแปลงโครงสร้างด้วยวิธีการใช้คลื่นไมโครเวฟ
ชุดการทดลองที่ 4 อาหารที่เสริมสาหร่ายดัดแปลงโครงสร้างด้วยวิธีการใช้รังสีแกมมา
ชุดการทดลองที่ 5 อาหารที่เสริมสาหร่ายดัดแปลงโครงสร้างด้วยวิธีการใช้ลำแสงอิเล็กตรอน

1.2 การเตรียมอุปกรณ์การทดลอง

ใช้ตู้กระจกขนาด 40 x 90 x 45 เซนติเมตร ในการเลี้ยง ทำความสะอาด เติมน้ำจืดที่สะอาดสูง 30 เซนติเมตร ดังนั้น จะมีปริมาตรน้ำ ในตู้กระจกเท่ากับ 100 ลิตร มีการให้อากาศใน ตู้ทดลองตลอดเวลาโดยใช้สายยาง และหัวทราย (ภาพผนวกที่ 7)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *Nostoc commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยวิธีการทางกายภาพ 4 วิธี ที่จะเสริมในอาหารเม็ดสำเร็จรูปเลี้ยงปลาทับทิม

วิธีการ	องค์ประกอบทางเคมี					
	โปรตีน (%)	ไขมัน (%)	เยื่อใย (%)	ความชื้น (%)	เถ้า (%)	NFE (%)
ไม่ดัดแปลงโครงสร้าง	41.59	1.48	0.3	0.09	2.19	54.35
ใช้คลื่นเสียงความถี่สูง	41.34	1.77	0.98	0.04	2.27	53.6
ใช้คลื่นคลื่นไมโครเวฟ	42.21	1.78	0.53	0.15	2.41	53.22
ใช้รังสีแกมมา	42.98	0.67	0.90	0.02	2.50	52.95
ใช้ลำแสงอิเล็กตรอน	42.72	1.83	0.18	0.02	2.51	52.76

1.3 การเตรียมสัตว์ทดลอง

ทำการทดลองในปลาทับทิมขนาดประมาณ 2-3 นิ้ว โดยก่อนเริ่มทำการทดลองจะนำลูกปลามาอนุบาลในบ่อซีเมนต์ขนาด 1 x 4 x 1 เมตร ใส่น้ำสูง 0.20 เมตร ให้อาหารสมทบ (สูตรควบคุม) ที่จะใช้เลี้ยงวันละ 2 ครั้ง จนกระทั้งลูกปลาเคยชินกับอาหารเม็ด เป็นระยะเวลา 10 วัน หลังจากนั้นสุ่มลูกปลาลงเลี้ยงในตู้ทดลอง จำนวน 20 ตัว/ตู้ ทำการชั่งหาน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นของปลาในทุกชุดการทดลอง

1.4 การเตรียมอาหารทดลอง

อาหารที่ใช้ทดลองเป็นอาหารเม็ดสำเร็จรูปปลาทับทิมขนาดเล็ก มีระดับโปรตีนไม่ต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ ไขมันไม่ต่ำกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเป็นค่าเริ่มต้น ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (1990) ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้ า ความชื้น และคาร์โบไฮเดรต ทำการเสริมด้วยสาหร่าย *Nostoc commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยวิธีการทางกายภาพ ตามชุดการทดลองแล้วนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงทางเคมีหลังจากการเสริมสาหร่ายดังกล่าว (ดังแสดงในตารางที่ 2 และ ภาพผนวกที่ 1, 2, 3 และ 4)

ขั้นตอนในการเตรียมอาหารทดลอง

นำอาหารเม็ดสำเร็จรูปปลาทับทิมมาบดละเอียด และผสมสาหร่ายตามชุดการทดลอง และใช้อัลฟาสตาร์ชเป็นสารเหนียว (Binder) เมื่อวัตถุดิบอาหารผสมเข้ากันเป็นอย่างดี จึงนำเข้าเครื่องอัดเม็ดอาหาร ผ่านหน้าแว่นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร และ 4 มิลลิเมตร เพื่อเหมาะสมกับขนาดปากปลาตลอดระยะเวลาการทดลอง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในตู้อบอาหารที่มีระบบการควบคุมอุณหภูมิ เป็นเวลา 24 – 48 ชั่วโมง นำอาหารที่อบแห้งแล้ววางให้เย็น อาหารที่ผลิตแล้วบรรจุลงในถุงโพลีเอทธีลีน และเก็บในถุงสีดำเพื่อป้องกันแสง เก็บรักษาในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการใช้งาน (ภาพผนวกที่ 5 และ 6)

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองที่เสริมด้วยสาหร่าย *Nostoc commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยวิธีการทางกายภาพ

องค์ประกอบทางเคมี	อาหารทดลอง (เสริม *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้าง)				
	1 (ชุดควบคุม)	2 (คลื่นเสียงความถี่สูง)	3 (คลื่นไมโครเวฟ)	4 (รังสีแกมมา)	5 (ลำแสงอิเล็กตรอน)
โปรตีน	32.12±0.17	32.20±0.17	33.02±0.29	33.21±0.14	33.27±0.30
ไขมัน	5.82±0.41	5.78±0.23	5.71±0.17	5.70±0.21	5.75±0.24
ความชื้น	12.12±0.35	12.02±0.52	11.56±0.25	11.83±0.34	11.26±0.29
เถ้า	7.95±0.14	7.86±0.17	8.02±0.14	8.35±0.12	8.26±0.18
เยื่อใย	10.14±0.31	10.19±0.12	10.22±0.22	10.28±0.14	10.30±0.46
NFE	31.85±1.09	31.95±1.64	31.47±0.98	30.63±1.01	31.16±0.92

1.5 การทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล

อาหารและการให้อาหาร

ให้อาหารทั้ง 5 ชุดการทดลองทุกวัน วันละ 2 มื้อ (เช้า – เย็น) ตลอดการทดลอง ให้จนอิ่ม โดยในครั้งแรกจะให้อาหารประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว และปรับปริมาณตามการกินอ าหารของปลา บันทึกข้อมูลน้ำหนักอาหารที่ให้ เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ต่อไป

การศึกษาการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และประสิทธิภาพการใช้อาหาร

ทำการสุ่มตัวอย่างปลาทับทิมจากทุกชุดการทดลอง จำนวน 10 ตัว/ตู้ เพื่อชั่งน้ำหนัก ทุก 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 3 เดือน และนำมาศึกษาการเจริญเติบโต (ในรูปค่าเฉลี่ยของข้อมูล) นำมาคำนวณค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion rate: FCR) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate: SGR, % ต่อวัน) เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (weight gain, %) อัตรารอดตาย (survival rate, %) และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) โดยใช้สูตรในการคำนวณดังนี้

$$\text{อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR)} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่ปลากินทั้งหมด (กรัม)}}{\text{น้ำหนักปลาทั้งหมดที่เพิ่มขึ้น (กรัม)}}$$

$$\text{น้ำหนักปลาทั้งหมดที่เพิ่มขึ้น} = \text{น้ำหนักปลาทั้งหมดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \text{น้ำหนักเริ่มต้น}$$

$$\text{อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR, \% ต่อวัน)} = \left(\frac{\ln \text{น.น. ปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \ln \text{น.น. ปลาเมื่อเริ่มต้นการทดลอง}}{\text{ระยะเวลา (วัน)}}\right) \times 100$$

เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (weight gain, %)

$$= \frac{\text{น.น. ปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \text{น.น. ปลาเมื่อเริ่มการทดลอง}}{\text{น้ำหนักปลาเมื่อเริ่มการทดลอง}} \times 100$$

$$\text{อัตรารอดตาย (survival rate, \%)} = \frac{\text{จำนวนปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง}}{\text{จำนวนปลาเมื่อเริ่มการทดลอง}} \times 100$$

$$\text{ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน} = \frac{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม)}}{\text{น้ำหนักโปรตีนที่ปลากิน (กรัม)}}$$

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเนื้อเยื่อวิทยา

เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการเก็บตัวอย่างโดยการสุ่มเ ก็บเนื้อเยื่อตับ จากตัวอย่างปลาของทุกชุดการทดลอง ๆ ละ 3 ตัว (ภาพผนวกที่ 8) มาแช่ในสารละลายฟอร์มาลิน 10 เปอร์เซ็นต์ ก่อนนำไปผ่านกรรมวิธีเตรียมเนื้อเยื่อของ Humason (1972) เนื้อเยื่อตับถูกตัดให้มีความหนา 3-4 ไมโครเมตร แล้วย้อมด้วยสี Hematoxylin Eosin (HE) (Bancroft, 1967) จากนั้นนำตัวอย่างไปศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ เพื่อเปรียบกันในแต่ละชุดการทดลอง

การศึกษาองค์ประกอบเลือด

สุ่มปลาจากทุกชุดการทดลองๆ ละ 3 ตัว สลบด้วยน้ำยา 2-phenoxyethanol เจาะเลือดจากบริเวณโคนหาง โดยใช้เอทีลีนไดอะมีนเตตราอะซีติก (EDTA) 1.0% เคลือบหลอดทดลองเพื่อป้องกันการแข็งตัวของเลือด เพื่อศึกษาองค์ประกอบของเลือดคือ

- Haemoglobinโดยใช้วิธี Cyanmet-haemoglobin ของ Larsen and Snieszko (1961)
- Haematocrit โดยวิธีดัดแปลงจาก Blaxhall and Daisley (1973)
- Plasma protein โดยวิธีดัดแปลงจาก Lowry *et.al*. (1951)
- Blood cell count โดยวิธีการของ กิจการ และสิทธิ (2538)

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา

เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการเก็บตัวอย่างโดยการสุ่มตัวอย่างปลาทับทิมของทุกชุดการทดลอง ๆ ละ 5 ตัว มาทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า ความชื้น และคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีการ AOAC (1990)

การศึกษาการเกิดสีผิวลำตัวและสีของเนื้อปลา

หลังสิ้นสุดการทดลอง ทำการประเมินสีลำตัว และสีของเนื้อปลาทับทิม โดยทำการสุ่มปลา ในแต่ละชุดการทดลองจำนวนซ้ำละ 5 ตัว สำหรับสีตัวภายนอกเปรียบเทียบสีด้วยสายตากับแผ่นสีที่เตรียมไว้ โดยการทดลองครั้งนี้ใช้แผ่นสีส้มระดับต่าง ๆ จากเครื่องพิมพ์ Cannon (Cannon Printer Inkjet

รุ่น MP 287) พร้อมทั้งถ่ายรูปในทุกชุดการทดลองเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของสีลำตัว และสีของเนื้อปลาทับทิม ใช้การวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสีมาตรฐานทางวิทยาศาสตร์ (Hunter lab Colorimeter) รุ่น Ultra scan Vis, Hunter Assoc, Lab, Inc., USA สอบเทียบเครื่องวัดสีตามคู่มือแนะนำก่อนการใช้งานทุกครั้ง ตั้งหมวดการวัดค่าสีเป็นระบบ CIE LAB; *L*a*b** โดยวัดค่าสีทั้งหมด 3 ครั้งต่อตัวอย่าง คือ บริเวณส่วนบน 3 ตำแหน่ง และส่วนล่าง 3 ตำแหน่ง

การศึกษาคุณภาพน้ำ

ทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำ ในระหว่างการทดลอง ทุก 2 สัปดาห์ ตลอดการทดลองโดยดัชนีที่จะใช้วิเคราะห์คุณภาพน้ำประกอบด้วย อุณหภูมิน้ำวัดด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท , ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ (pH) ด้วย pH meter, ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (วัดด้วยเครื่องวัดคุณภาพน้ำแบบดิจิตอล YSI Model 650 MDS), ความเป็นด่างของน้ำ (ด้วยวิธีการ Titration)

1.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ทำการหาค่า การเจริญเติบโต อัตราการเจริญเติ บโต อัตราการรอดตาย อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน องค์ประกอบเลือด องค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา และการศึกษาการเกิดสีผิวลำตัวและสีของเนื้อปลา ทำการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (One-way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างขอ งค่าเฉลี่ย ระหว่างชุดการทดลอง ด้วยวิธี Duncan's New multiple range test : DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

การวิจัยส่วนที่ 2

ศึกษาระดับที่เหมาะสมของการเสริมสาหร่าย *Nostoc commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยวิธีการทางกายภาพที่เหมาะสมจากการทด ลองส่วนที่ 1 ในอาหารเม็ดสำเร็จรูปเลี้ยงปลาทับทิมเป็นเวลา 3 เดือน แบ่งออกเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design; CRD) โดยศึกษาระดับของการเสริมสาหร่าย *Nostoc commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้ วยวิธีการทางกายภาพที่เหมาะสมจากการทดลองส่วนที่ 1 คือ ด้วยวิธีการใช้คลื่นไมโครเวฟ ที่ต่างกัน 5 ระดับคือ 0, 5, 10, 15 และ 20 กรัม/กิโลกรัมอาหาร ดังนั้น มีชุดการทดลองทั้งสิ้น 5 ชุดการทดลอง ๆ ละ 4 ซ้ำ ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 อาหารสำเร็จรูปที่ไม่มีการเสริมสาหร่าย (สูตรควบคุม)
ชุดการทดลองที่ 2 อาหารที่เสริมสาหร่ายดัดแปลงโครงสร้าง ระดับ 5 กรัม/กิโลกรัมอาหาร
ชุดการทดลองที่ 3 อาหารที่เสริมสาหร่ายดัดแปลงโครงสร้าง ระดับ 10 กรัม/กิโลกรัมอาหาร

ชุดการทดลองที่ 4 อาหารที่เสริมสาหร่ายดัดแปลงโครงสร้าง ระดับ 15 กรัม/กิโลกรัมอาหาร
ชุดการทดลองที่ 5 อาหารที่เสริมสาหร่ายดัดแปลงโครงสร้าง ระดับ 20 กรัม/กิโลกรัมอาหาร

2.2 การเตรียมอุปกรณ์การทดลอง

ใช้ตู้กระจกในการเลี้ยง ขนาด 40x90x45 ซม. ทำความสะอาด เติมน้ำจืดที่สะอาด สูง 30 ซม. ซึ่งจะมีปริมาตรน้ำในตู้กระจกเท่ากับ 100 ลิตร มีการให้อากาศตลอดเวลาโดยใช้สายยาง และหัวทราย

2.3 การเตรียมสัตว์ทดลอง

ในการศึกษาครั้งนี้ ทำการทดลองในปลาทับทิมขนาดประมาณ 2 - 3 นิ้ว โดยก่อนเริ่มทำการทดลองจะนำลูกปลามาอนุบาลในบ่อซีเมนต์ขนาด 1 x 4 x 1 เมตร ใส่น้ำ 0.8 ตัน (1 x 4 x 0.2 เมตร) ให้อาหารสมทบ (สูตรควบคุม) ที่จะใช้เลี้ยงวันละ 2 ครั้ง จนกระทั่งลูกปลาเคยชินกับอาหารเม็ด เป็นระยะเวลา 10 วัน หลังจากนั้นสุ่มลูกปลาลงเลี้ยงใน ตู้ทดลอง จำนวน 20 ตัว/ตู้ ทำการชั่งหาน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นของปลาในทุกชุดการทดลอง

2.4 การเตรียมอาหารทดลอง

อาหารที่ใช้ท ดลองเป็นอาหารเม็ดสำเร็จรูปปลาทับทิมขนาดเล็ก มีระดับโปรตีนไม่ต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ ไขมันไม่ต่ำกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเป็นค่าเริ่มต้น ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (1990) ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า ความชื้น และคาร์โบไฮเดรต ทำการเสริ มด้วยสาหร่าย *Nostoc commune* ที่ทำการเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ (ภาพผนวกที่) และนำไปทำการการดัดแปลงโครงสร้าง ด้วยวิธีการใช้คลื่นไมโครเวฟ แล้วนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงทางเคมีหลังจากการเสริมสาหร่ายดังกล่าว (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองที่เสริมด้วยสาหร่าย *Nostoc commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยวิธีการใช้คลื่นไมโครเวฟ

องค์ประกอบทางเคมี	อาหารทดลอง (ระดับของการเสริม *Nostoc commune*)				
	1 (0 g/kg)	2 (5 g/kg)	3 (10 g/kg)	4 (15 g/kg)	5 (20 g/kg)
โปรตีน	32.12±0.17	32.16±0.14	32.18±0.31	32.21±0.16	32.25±0.34
ไขมัน	5.82±0.41	5.87±0.36	5.71±0.27	5.79±0.24	5.81±0.29
ความชื้น	12.12±0.35	11.26±0.41	12.01±0.21	12.83±0.14	12.24±0.20
เถ้า	7.95±0.14	7.98±0.12	8.02±0.15	7.95±0.17	8.00±0.12
เยื่อใย	10.14±0.31	10.17±0.25	10.22±0.12	10.20±0.15	10.24±0.35
NFE	31.85±1.09	32.56±1.78	31.03±0.98	31.02±1.38	31.46±1.42

ขั้นตอนในการเตรียมอาหารทดลอง

นำอาหารเม็ดสำเร็จรูปปลาทับทิมมาบดละเอียด และผสมสาหร่ายตามชุดการทดลอง และใช้อัลฟาสตาร์ชเป็น Binder เมื่อวัตถุดิบอาหารผสมเข้ากันเป็นอย่างดี จึงนำเข้าเครื่องอัดเม็ดอาหาร ผ่านหน้าแว่นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2, 4 และ 6 มิลลิเมตร เพื่อเหมาะสมกับขนาดปากปลาตลอดระยะเวลาการทดลอง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในตู้อบอาหารที่มีระบบการควบคุมอุณหภูมิ เป็นเวลา 24 – 48 ชั่วโมง นำอาหารที่อบแห้งแล้ววางให้เย็น อาหารที่ผลิตแล้วบรรจุลงในถุงโพลีเอทธีลีน และเก็บในถุงสีดำเพื่อป้องกันแสง เก็บรักษาในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการใช้งาน (ภาพผนวกที่)

2.5 การทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล

อาหารและการให้อาหาร

ให้อาหารทั้ง 5 ชุดการทดลองทุกวัน วันละ 2 มื้อ (เช้า – เย็น) ตลอดการทดลอง ให้จนอิ่ม โดยในครั้งแรกจะให้อาหารประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว และปรับปริมาณตามการกินอาหารของปลา บันทึกข้อมูลน้ำหนักอาหารที่ให้ เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ

การศึกษาการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และประสิทธิภาพการใช้อาหาร

ทำการสุ่มตัวอย่างปลาทับทิมจากทุกชุดการทดลอง จำนวน 10 ตัว/ตู้ เพื่อชั่งน้ำหนักทุก 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 3 เดือน และนำมาศึกษาการเจริญเติ บโต (ในรูปค่าเฉลี่ยของข้อมูล) นำมาคำนวณค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion rate: FCR) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate: SGR, % ต่อวัน) เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (weight gain, %) อัตรารอดตาย (survival rate, %) และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER)

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเนื้อเยื่อวิทยา

เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการเก็บตัวอย่างโดยการสุ่มเก็บเนื้อเยื่อตับ จากตัวอย่างปลาของทุกชุดการทดลอง ๆ ละ 3 ตัว มาแช่ในสารละลายฟอร์มาลิน 10 เปอร์เซ็นต์ ก่อนนำไปผ่านกรรมวิธีเตรียมเนื้อเยื่อของ Humason (1972) เนื้อเยื่อตับถูกตัดให้มีความหนา 3-4 ไมโครเมตร แล้วย้อมด้วยสี Hematoxylin Eosin (HE) (Bancroft, 1967) จากนั้นนำตัวอย่างไปศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์

การศึกษาองค์ประกอบเลือด

สุ่มปลาจากทุกชุดการทดลองๆ ละ 3 ตัวมาสลบด้วยน้ำยา 2-phenoxyethanol เจาะเลือดจากบริเวณโคนหาง โดยใช้ เอทีลีนไดอะมีนเตตราอะซีติก (EDTA) 1.0% เคลือบหลอดทดลองเพื่อป้องกันการแข็งตัวของเลือด เพื่อศึกษาองค์ประกอบของเลือดคือ

- Haemoglobinโดยใช้วิธี Cyanmet-haemoglobin ของ Larsen and Snieszko (1961)
- Haematocrit โดยวิธีดัดแปลงจาก Blaxhall and Daisley (1973)
- Plasma protein โดยวิธีดัดแปลงจาก Lowry *et.al*. (1951)
- Blood cell count โดยวิธีการของ กิจการ และสิทธิ (2538)

การศึกษาการเกิดสีผิวลำตัวและสีของเนื้อปลา

หลังสิ้นสุดการทดลอง ทำการประเมินสีลำตัว และสีของเนื้อปลาทับทิม โดยทำการสุ่มปลา ในแต่ละชุดการทดลองจำนวนซ้ำละ 5 ตัว สำหรับสีตัวภายนอกเปรียบเทียบสีด้วยสายตากับแผ่นสีที่เตรียมไว้ โดยการทดลองครั้งนี้ใช้แผ่นสีส้มระดับต่าง ๆ จากเครื่องพิมพ์ Cannon (Cannon Printer Inkjet รุ่น MP 287) พร้อมทั้งถ่ายรูปในทุกชุดการทดลองเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของสีลำตัว และสีของเนื้อปลาทับทิม ใช้การวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสีมาตรฐานทางวิทยาศาสตร์ (Hunter lab Colorimeter) รุ่น Ultra scan Vis, Hunter Assoc, Lab, Inc., USA สอบเทียบเครื่องวัดสีตามคู่มือแนะนำก่อนการใช้งานทุกครั้ง ตั้งหมวดการวัดค่าสีเป็นระบบ CIE LAB; *L*a*b** โดยวัดค่าสีทั้งหมด 3 ครั้งต่อตัวอย่าง คือ บริเวณส่วนบน 3 ตำแหน่ง และส่วนล่าง 3 ตำแหน่ง

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา

เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการเก็บตัวอย่างโดยการสุ่มตัวอย่างปลาทับทิมของทุกชุดการทดลอง ๆ ละ 5 ตัว มาทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า ความชื้น และคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีการ AOAC (1990)

การศึกษาคุณภาพน้ำ

ทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำ ในระหว่างการทดลอง ทุก 2 สัปดาห์ ตลอดการทดลอง โดยดัชนีที่จะใช้วิเคราะห์คุณภาพน้ำประกอบด้วย อุณหภูมิน้ำวัดด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท, ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ (pH) ด้วย pH meter, ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) วัดด้วยเครื่องวัดคุณภาพน้ำแบบดิจิตอล YSI Model 650 MDS), ความเป็นด่างของน้ำ (ด้วยวิธีการ Titration)

2.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ทำการหาค่า การเจริญเติบโต อัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน องค์ประกอบเลือด องค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา และการศึกษาการเกิดสีผิวลำตัวและสีของเนื้อปลา ทำการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (One-way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ระหว่างชุดการทดลอง ด้วยวิธี Duncan's New multiple range test : DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

2.7 สถานที่ และระยะเวลาทำการทดลอง

ทำการทดลอง ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง ระยะเวลาที่ทำการวิจัย 1 ปี ในปีงบประมาณ 2558 ตั้งแต่ ต.ค. 2557 – ก.ย. 2558

ผลการวิจัย

การทดลองเสริมสาหร่าย *Nostoc commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างในอาหารเม็ดสำเร็จรูปเลี้ยงปลาทับทิม เพื่อการพัฒนาเป็นอาหารปลาทับทิมที่ดีนั้น ทั้งในการทดลองในส่วนที่ 1 และส่วนที่ 2 ให้ผลการทดลอง ดังนี้

การวิจัยส่วนที่ 1

ศึกษาเปรียบเทียบผลของการเสริมสาหร่าย *Nostoc commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยวิธีการทางกายภาพ 4 วิธี คือ ใช้คลื่นเสียงความถี่สูง คลื่นไมโครเวฟ รังสีแกมมา และลำ แสงอิเล็กตรอน แล้วเสริมในอาหารเม็ดสำเร็จรูปปลาทับทิมที่ระดับ 20 กรัม/กิโลกรัม เท่ากันทุกชุดการทดลอง และมีชุดควบคุมที่ไม่เสริมสาหร่าย ให้ผลการทดลอง ดังนี้

การเจริญเติบโต

น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว

น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลาทับทิม ที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 5 ชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลาการทดลอง 12 สัปดาห์ พบว่า ปลาทับทิมมีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาของการทดลองเลี้ยง ดังแสดงในตารางที่ 4 และ ภาพที่ 1 ซึ่งเมื่อเริ่มการทดลอง ปลาที่ใช้ทดลองทั้งหมด มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว เท่ากับ 6.28$\pm$1.40 กรัม ไม่มีความแตก ต่างกันทางสถิติ (p>0.05) โดยน้ำหนักปลา เริ่มมีความแตกต่างกันตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4 จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง (p<0.05) เมื่อพิจารณา อาหารเสริมสาหร่ายที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยวิธีการต่าง ๆ กัน ในอาหารเม็ดสำเร็จรูป ที่ใช้เลี้ยงปลาทับทิม ในเดือนที่ 6 ซึ่งสามารถเห็นความแตกต่างของปลาทับทิมในแต่ละชุดการทดลองอย่างชัดเจน พบว่า ปลาที่ได้รับอาหาร เสริมสาหร่าย ที่ผ่าน การดัดแปลงโครงสร้าง ด้วย คลื่นไมโครเวฟ มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวสูงที่สุด (32.38$\pm$8.64 กรัม) สูงกว่าปลาในชุดการทดลอง ที่ได้รับอาหาร เสริมสาหร่าย ที่ผ่าน การดัดแปลงโครงส ร้าง ด้วย รังสีแกมมา ลำแสงอิเล็กตรอน สูตรควบคุม และ คลื่นเสียงความถี่สูง ตามลำดับ แตกต่างอย่าง มีนัยสำคัญ ทางสถิติ (p<0.05) ซึ่ง มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว เท่ากับ 30.73±10.75, 28.97±10.41, 28.24±9.10 และ 26.51±7.84 กรัม ตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดการทดลองใน สัปดาห์ที่ 12 ปลาที่ได้รับอาหาร เสริมสาหร่าย ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้าง ด้วยคลื่นไมโครเวฟ ยังคงมีมีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวสูงที่สุด (57.71±17.57 กรัม) สูงกว่าปลาในชุดการทดลอง ที่ได้รับอาหาร เสริมสาหร่าย ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้าง ด้วยรังสีแกมมา ลำแสงอิเล็กตรอน และสูตรควบ คุม ตามลำดับ (p>0.05) ซึ่งปลาทดลองที่ได้รับอาหารดังกล่าว มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว เท่ากับ 54.84±14.91, 49.83±17.55 และ 48.66±17.38 กรัม ตามลำดับ แต่สูงกว่าปลาทับทิมในสูตร ที่ได้รับอาหาร เสริมสาหร่าย ที่ผ่าน การดัดแปลงโครงสร้างด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ซึ่งปลาที่ได้รับ

อาหารเสริมสาหร่ายที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว ต่ำที่สุด (47.23±16.22 กรัม) (ตารางที่ 4 และภาพที่ 1)

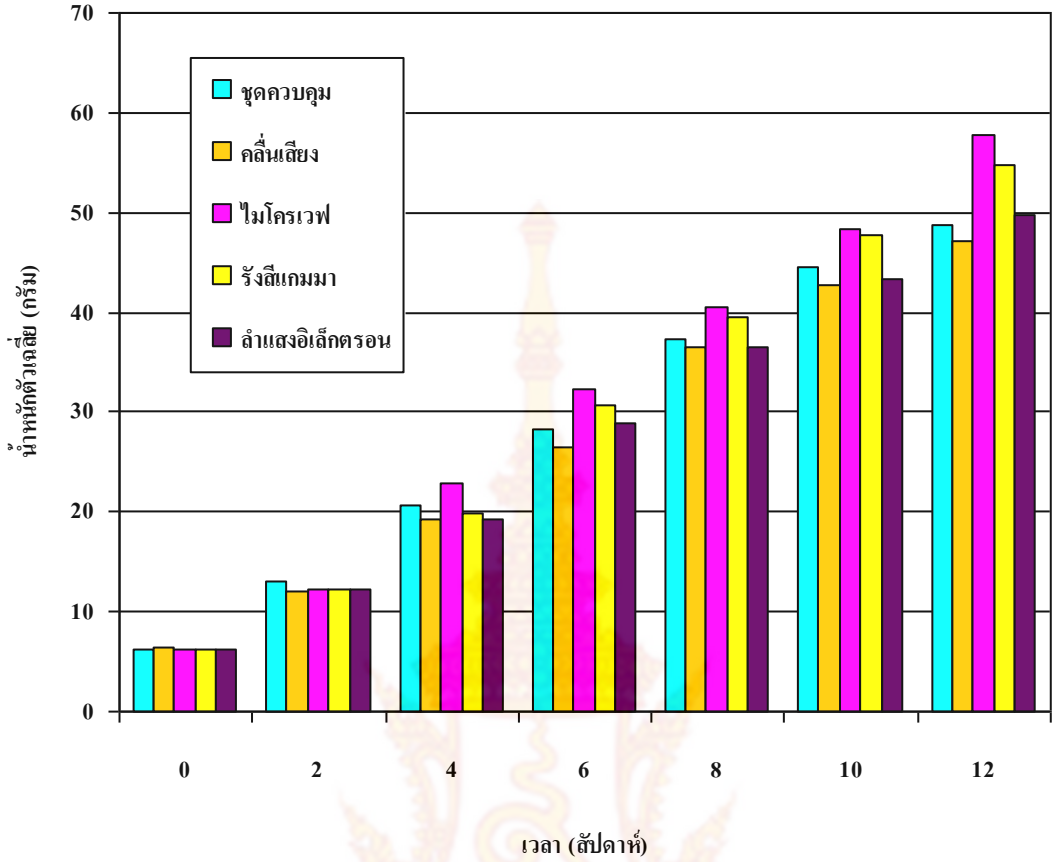
ตารางที่ 4 การเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก (น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว หน่วยเป็นกรัม) ของปลาทับทิม ที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่าย *N. commune* (20 mg/kg) ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยวิธีการต่าง ๆ กัน ในอาหารเม็ดสำเร็จรูป เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์

ระยะเวลา (สัปดาห์)	อาหารที่มีการเสริมสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้าง				
	สูตรควบคุม	คลื่นเสียงความถี่สูง	คลื่นไมโครเวฟ	รังสีแกมมา	ลำแสงอิเล็กตรอน
เริ่มทดลอง	6.29±1.56^{a}	6.32±1.66^{a}	6.30±1.80^{a}	6.27±1.52^{a}	6.25±1.75^{a}
2	12.95±2.84^{a}	12.13±3.61^{a}	12.14±3.62^{a}	12.18±2.34^{a}	12.25±3.71^{a}
4	20.75±5.92^{a}	19.16±5.95^{b}	22.82±5.78^{a}	19.91±6.46^{ab}	19.26±5.86^{b}
6	28.24±9.10^{a}	26.51±7.84^{b}	32.38±8.64^{a}	30.73±10.75^{ab}	28.97±10.41^{ab}
8	37.38±10.54^{a}	36.57±10.06^{a}	40.47±11.01^{a}	39.55±8.41^{a}	36.58±10.96^{a}
10	44.58±15.86^{ab}	42.66±14.60^{b}	48.32±14.42^{a}	47.83±15.66^{a}	43.41±16.51^{ab}
12	48.66±17.38^{ab}	47.23±16.22^{b}	57.71±17.57^{a}	54.84±14.91^{a}	49.83±17.55^{ab}

หมายเหตุ : เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแนวนอนโดยใช้อักษร ถ้าอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการรอดตาย อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อและประสิทธิภาพการใช้โปรตีน

น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเริ่มต้น และสิ้นสุดการทดลอง เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโต (%SGR : %/วัน) อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน ของปลาทับทิมที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 5 ชุดการทดลอง ที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่าย *N. commune* (20 mg/kg) ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยวิธีการต่าง ๆ กัน ในอาหารเม็ดสำเร็จรูป เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ แสดงดังตารางที่ 5 พบว่า น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลาทับทิม ชุดการทดลองที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยคลื่นไมโครเวฟ มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นสูงที่สุด (834.45±122.81 เปอร์เซ็นต์) สูงกว่าปลาทับทิมในชุดการทดลองที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยรังสีแกมมา ซึ่งมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น เท่ากับ 772.28±23.01 เปอร์เซ็นต์ และปลาทับทิมชุดการทดลองที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่าย ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วย



ภาพที่ 1 การเจริญเติบโตของปลาทับทิมที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมสาหร่าย *Nostoc commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยวิธีการต่าง ๆ ในอาหารเม็ดสำเร็จรูป เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์

ลำแสงอิเล็กตรอน ซึ่งมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น เท่ากับ 700.80±40.43 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในขณะที่ปลาทับทิมชุดการทดลองที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้าง ด้วยคลื่นเสียง มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นน้อยที่สุดเท่ากับ 607.99±70.92 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่แตกต่างกับปลาทับทิมชุดการทดลอง ที่ได้รับอาหาร เสริมสาหร่าย ที่ไม่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้าง (ชุดควบคุม) แตกต่างกันอย่างไม่ มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ซึ่งมี น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น เท่ากับ 668.59±107.85 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 5)

ผลการวิเคราะห์อัตราการเจริญเติบโต จำเพาะ (SGR : %/วัน) ให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 5) โดยปลาทับทิม ชุดการทดลองที่ได้รับอาหาร เสริมสาหร่าย ที่ผ่าน การดัดแปลงโครงสร้างด้วยคลื่นไมโครเวฟ มีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุด (2.65±0.16 %/วัน) สูงกว่าปลาทับทิมชุดการทดลองที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยรังสีแกมมา ซึ่งมี อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ เท่ากับ 2.58±0.03 %/วัน และปลาทับทิมในชุดการทดลองที่ได้รับอาหารเสริม

สาหร่าย ที่ผ่าน การดัดแปลงโครงสร้าง ด้วยลำแสงอิเล็กตรอน ซึ่งมีซึ่งมี อัตราการเจริญเติบโต จำเพาะ เท่ากับ 2.48±0.06 %/วัน ตามลำดับ แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) ในขณะที่ปลาทับทิมชุดการทดลองที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยคลื่นเสียง มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ น้อยที่สุด เท่ากับ 2.33±0.12 %/วัน แต่ไม่แตกต่างกับปลาทับทิมชุดการทดลอง ที่ได้รับอาหาร เสริมสาหร่าย ที่ไม่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้าง (ชุดควบคุม) แตกต่างกันอย่างไม่ มีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) ซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ เท่ากับ 2.42±0.17 %/วัน (ตารางที่ 5)

สำหรับอัตราการรอดตายของปลาทับทิมทั้ง 5 ชุดการทดลองที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่าย *N. commune* (20 mg/kg) ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยวิธีการต่าง ๆ กัน ในอาหารเม็ดสำเร็จรูป เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) โดยอัตราการรอดตายของปลาทับทิมที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายที่ไม่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้าง (ชุดควบคุม) มีอัตราการรอดตายสูงที่สุด (90.00±5.00 เปอร์เซ็นต์) ส่วนชุดการทดลองที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยรังสีแกมมา มีอัตรารอดตายต่ำที่สุด เท่ากับ 81.67±5.77 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 5)

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลาทับทิมที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่าย *N. commune* (20 mg/kg) ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้าง ด้วยวิธีการต่าง ๆ กัน ทั้ง 5 ชุดการทดลอง แสดงในตารางที่ 5 พบว่า ปลาทับทิมชุดการทดลองที่ได้รับอาหาร เสริมสาหร่าย ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้าง ด้วยคลื่นไมโครเวฟ มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำ ที่สุด (1.30±0.08) ต่ำกว่าปลาทับทิมชุดการทดลองที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยรังสีแกมมา ซึ่งมีอัตราการเปลี่ย นอาหารเป็นเนื้อ เท่ากับ 1.31±0.12 และปลาทับทิมในชุดการทดลองที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่าย ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้าง ด้วยลำแสงอิเล็กตรอน ซึ่งมีซึ่งมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ เท่ากับ 1.41±0.11 ตามลำดับ แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) ในขณะที่ปลาทับทิมชุดการทดลอง ที่ได้รับอาหาร เสริมสาหร่าย ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้าง ด้วยคลื่นเสียง มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อสูงที่สุด เท่ากับ 1.58±0.41 แต่ไม่แตกต่างกับปลาทับทิมชุดการทดลอง ที่ได้รับอาหาร เสริมสาหร่าย ที่ไม่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้าง (ชุดควบคุม) แตกต่างกัน อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) ซึ่งมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ เท่ากับ 1.53±0.15

ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลาทับทิมที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 5 ชุดการทดลอง พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) โดยปลาทับทิมชุดการทดลองที่ได้รับอาหาร เสริมสาหร่ายที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยคลื่นไมโครเวฟ มีประสิทธิภาพการใช้โปรตีนสูงที่สุด (2.12±0.21) รองลงมาได้แก่ปลาทับทิมชุดการทดลองที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่าย ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้าง ด้วยรังสีแกมมา ลำแสงอิเล็กตรอน ชุดควบคุม และชุดการทดลอง ที่ได้รับอาหาร เสริมสาหร่ ายที่ผ่าน การดัดแปลงโครงสร้าง ด้วย คลื่น เสียง ตามลำดับ ซึ่งมีค่า ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน เท่ากับ 2.03 ±0.14, 1.98±0.30, 1.95±0.24 และ 1.75±0.45 ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 น้ำหนักเริ่มต้น น้ำหนักสุดท้าย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการรอดตาย อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลาทับทิมที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้าง ในอาหารเม็ดสำเร็จรูป เป็นเวลา 12 สัปดาห์

อาหารทดลอง	น้ำหนักเริ่มต้น (กรัมต่อตัว)	น้ำหนักสุดท้าย (กรัมต่อตัว)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (%)	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (% ต่อวัน)	อัตราการรอดตาย (%)	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน
1 (ชุดควบคุม)	6.29±1.56^{a}	48.66±17.38^{ab}	668.59±107.85^{bc}	2.42±0.17^{bc}	90.00±5.00^{a}	1.53±0.15^{b}	1.94±0.24^{a}
2 (คลื่นเสียง)	6.32±1.66^{a}	47.23±16.22^{b}	607.99±70.92^{c}	2.33±0.12^{c}	85.00±5.00^{a}	1.58±0.41^{b}	1.75±0.45^{a}
3 (คลื่นไมโครเวฟ)	6.30±1.80^{a}	57.71±17.57^{a}	834.45±122.81^{a}	2.65±0.16^{a}	85.00±8.66^{a}	1.30±0.08^{a}	2.12±0.21^{a}
4 (รังสีแกมมา)	6.27±1.52^{a}	54.84±14.91^{a}	772.28±23.01^{ab}	2.58±0.03^{ab}	81.67±5.77^{a}	1.31±0.12^{a}	2.03±0.14^{a}
5 (ลำแสงอิเล็กตรอน)	6.25±1.75^{a}	49.83±17.55^{ab}	700.80±40.43^{abc}	2.48±0.06^{abc}	86.67±5.77^{a}	1.41±0.11^{ab}	1.98±0.30^{a}

หมายเหตุ : - ในวงเล็บ คือวิธีดัดแปลงโครงสร้างสาหร่าย *N. commune* (20 mg/kg) ที่เสริมในอาหาร

- เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแนวนอนโดยใช้อักษร ถ้าอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

ลักษณะทางเนื้อเยื่อวิทยา

จากผลการศึกษา ลักษณะ ของเนื้อเยื่อ ตามแนวยาว ตับของ ปลาทับทิม ที่ได้รับ อาหารเม็ดสำเร็จรูปเสริมสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยวิธีการต่าง ๆ กัน เป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า ตรวจไม่พบความผิดปกติของพยาธิสภาพในเซลล์ตับ ปลาทับทิม ทุก ๆ ชุดการทดลอง โดยพบเซลล์ตับ (hepatocyte) เรียงตัวเป็นระเบียบ มีโครงสร้างปกติ และมีการสะสมอาหารปกติ และพบว่า มีช่องว่าง (V = hydropic vacuoles) ในเนื้อเยื่อตับ ทั้งขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ (ศรชี้) กระจายอยู่ภายในเนื้อเยื่อของตับปลาทับทิม แสดงว่ามีการสะสมเม็ดไขมัน (lipid droplets) ในตับเป็นปกติ (ภาพผนวกที่ 9-13)

องค์ประกอบเลือดของปลาทดลอง

จากการวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบเลือด ของปลาทดลอง คือ องค์ประกอบของเม็ดเลือด ได้แก่ ฮีโมโกลบิน ฮีมาโตคริต ปริมาณเม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว และองค์ประกอบทางเคมีของเลือด ได้แก่ พลาสมาโปรตีน ของปลา ทับทิมที่ได้รับอาหารเม็ดสำเร็จรูป เสริมสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยวิธีการต่าง ๆ กัน เป็นเวลา 12 สัปดาห์ แสดงในตารางที่ 6 พบว่า ค่าฮีโมโกลบิน ฮีมาโตคริต ปริมาณเม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว และพลาสมาโปรตีน ไม่ มีความแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าฮีโมโกลบิน ระหว่าง 4.64±0.87-4.92±0.56 กรัมต่อเดซิลิตร ค่าฮีมาโตคริต อยู่ในช่วง 19.21±1.50-21.67±0.98 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเม็ดเลือดแดง อยู่ในช่วง 1.30±0.29-1.82±0.13 $\times 10^6$ เซลล์ต่อไมโครลิตร ปริมาณเม็ดเลือดขาว อยู่ในช่วง 9.98±2.08 - 12.83±3.11 $\times$ 10^3 เซลล์ต่อไมโครลิตร และค่า พลาสมาโปร ตีนอยู่ในช่วง 5.55±3.12-7.03±0.98 กรัมเปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 6

องค์ประกอบทางเคมีของปลาทดลอง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ ปลาทับทิม ที่ได้รับอาหารเม็ดสำเร็จรูป เสริมสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยวิธีการต่าง ๆ กัน เป็นเวลา 12 สัปดาห์ แสดงในตารางที่ 7 พบว่า ความชื้น และเถ้าของ ปลาทับทิมทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ในทุกชุดการทดลอง (ชุดการทดลอง 1-5) โดยค่าความชื้น มีค่าอยู่ในช่วง 79.89±0.08-81.54±1.14 เปอร์เซ็นต์ และ ค่าของปริมาณเถ้ามีค่าอยู่ในช่วง 1.08±0.06-1.15±0.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ระดับโปรตีนใน เนื้อปลาทับทิม ที่ได้รับอาหารทั้ง 5 ชุดการทดลอง พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) โดยปลาชุดการทดลองที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่าย ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้าง ด้วยคลื่นไมโครเวฟ มีระดับโปรตีนในเนื้อ สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 22.27±0.81 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือปลาทับทิมชุดการทดลอง ที่ได้รับอาหาร เสริมสาหร่าย ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้าง ด้วยรังสีแกมมา ลำแสงอิเล็กตรอน ชุดควบคุม และ ชุดการทดลองที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้าง

ตารางที่ 6 ค่าองค์ประกอบเลือดของปลาทับทิม ที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้าง ในอาหารเม็ดสำเร็จรูป เป็นเวลา 12 สัปดาห์

อาหารทดลอง	Hemoglobin (g/dl)	Hematocrit (g/dl)	RBC ($x10^6$ cell/µl)	WBC ($x10^3$ cell/µl)	Plasma protein (g%)
1 (ชุดควบคุม)	4.68±1.06[a]	19.21±1.50[a]	1.30±0.29[a]	12.83±3.11[a]	5.55±3.12[a]
2 (คลื่นเสียง)	4.80±1.61[a]	20.10±1.32[a]	1.52±0.34[a]	10.10±2.33[a]	6.04±2.62[a]
3 (คลื่นไมโครเวฟ)	4.92±0.56[a]	21.67±0.98[a]	1.61±0.54[a]	10.50±2.39[a]	6.70±1.39[a]
4 (รังสีแกมมา)	4.64±0.87[a]	20.25±1.23[a]	1.82±0.13[a]	11.57±1.81[a]	7.03±0.98[a]
5 (ลำแสงอิเล็กตรอน)	4.83±1.04[a]	21.08±1.34[a]	1.56±0.38[a]	9.98±2.08[a]	6.51±1.23[a]

หมายเหตุ : - ในวงเล็บ คือวิธีดัดแปลงโครงสร้างสาหร่าย *N. commune* (20 mg/kg) ที่เสริมในอาหาร
- เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแนวตั้งโดยใช้ตัวอักษร ถ้าตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

ตารางที่ 7 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลาทับทิม ที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้าง ในอาหารเม็ดสำเร็จรูป เป็นเวลา 12 สัปดาห์

อาหารทดลอง	องค์ประกอบทางเคมี (% น้ำหนักสด)			
	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า
1 (ชุดควบคุม)	79.89±0.08[a]	19.77±0.05[b]	0.68±0.05[a]	1.15±0.02[a]
2 (คลื่นเสียง)	81.54±1.14[a]	19.12±1.32[b]	0.37±0.06[b]	1.13±0.02[a]
3 (คลื่นไมโครเวฟ)	80.24±0.12[a]	22.27±0.81[a]	0.51±0.03[b]	1.09±0.01[a]
4 (รังสีแกมมา)	80.38±0.54[a]	20.21±0.31[ab]	0.40±0.05[b]	1.10±0.03[a]
5 (ลำแสงอิเล็กตรอน)	80.19±0.32[a]	20.04±0.50[ab]	0.42±0.16[b]	1.08±0.06[a]

หมายเหตุ : - ในวงเล็บ คือวิธีดัดแปลงโครงสร้างสาหร่าย *N. commune* (20 mg/kg) ที่เสริมในอาหาร
- เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแนวตั้งโดยใช้ตัวอักษร ถ้าตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

ด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง ตามลำดับ โดยมี ระดับโปรตีนในเนื้อ เท่ากับ 20.21±0.31, 20.04±0.50, 19.77±0.05 และ 19.12±1.32 เปอร์เซ็นต์ สำหรับไขมัน พบว่า ระดับไขมันในเนื้อ ปลาทับทิมในทุกชุดการทดลอง มีค่าแตกต่างกันทางสถิติ (p<0.05) โดยชุดการทดลองควบคุม มีระดับไขมันสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.68±0.05 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ปลาทับทิมในชุดการทดลองที่ได้รับอาหาร เสริมสาหร่าย ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้า งด้วยคลื่นไมโครเวฟ ลำแสงอิเล็กตรอน รังสีแกมมา และชุดการทดลอง ที่ได้รับอาหาร เสริมสาหร่าย ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้าง ด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง ตามลำดับ ซึ่งมีระดับไขมันในเนื้ออยู่ในช่วง 0.37±0.06-0.51±0.03 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 7)

ระดับสีที่ผิวลำตัว และสีเนื้อปลา

ผลการวิเคราะห์ ค่าสีที่ผิวลำตัว และสีที่เนื้อของปลาทับทิม ที่ได้รับอาหารเม็ดสำเร็จรูป เสริมสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยวิธีการต่าง ๆ กัน เป็นเวลา 12 สัปดาห์ โดยค่าสีที่ผิวลำตัว ซึ่งใช้การวัดด้วยสายตาเปรียบเทียบกับแถบสีที่ทำขึ้นจากเครื่องพิมพ์ Cannon (Cannon Printer Inkjet รุ่น MP 287) พร้อมทั้งถ่ายรูปในทุกชุดการทดลองเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของสีลำตัว ซึ่งแทนค่าความเข้มของสีเป็นตัวเลขจากน้อยไปหามากตามระดับของความเข้มสีที่เพิ่มขึ้น (1–16) พบว่า ความเข้มของสีผิวปลาทับทิมที่ทดลองในแต่ ละชุดการทดลอง ไม่ มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) ซึ่งมีค่าระดับสีอยู่ระหว่าง 4.11±1.15-4.29±1.26 (แสดงในตารางที่ 8 และ ภาพผนวกที่ 19-23)

ส่วนค่าสีที่เนื้อปลาทับทิมจะใช้เครื่องมือในการวัดค่าสีมาตรฐานทางวิทยาศาสตร์ (Hunter lab Colorimeter) รุ่น Ultra scan Vis, Hunter Assoc, Lab, Inc., USA ตั้งหมวดการวัดค่าสีเป็นระบบ CIE LAB; *L*a*b** พบว่า ค่า *L** ของปลาทับทิมที่เลี้ยงด้วยอาหารทั้ง 5 ชุดการทดลอง นาน 12 สัปดาห์ แสดงไว้ในตารางที่ 8 ความเข้มของสีเนื้อปลาทับทิมที่ทดลองในแต่ละชุดการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) มีค่าอยู่ในช่วง 43.36±0.26 ถึง 47.70±0.67

ค่า *a** ของปลาทับทิมที่เลี้ยงด้วยอาหารทั้ง 5 ชุดการทดลอง นาน 12 สัปดาห์ พบว่า ความเข้มของสีเนื้อปลาทับทิมที่ทดลองในแต่ละชุดการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) มีค่าอยู่ในช่วง 4.54±0.12 ถึง 4.82±0.21 (ตารางที่ 8)

ส่วนค่า *b** ของปลา ทับทิมที่เลี้ยงด้วยอาหารทั้ง 5 ชุดการทดลอง นาน 12 สัปดาห์ พบว่า ความเข้มของสีเนื้อปลาทับทิมที่ทดลองในแต่ละชุดการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) มีค่าอยู่ในช่วง 15.58±0.10 ถึง 16.24±0.40 (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 ระดับสีที่ผิวลำตัว และสีเนื้อปลาทับทิมที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้าง ในอาหารเม็ดสำเร็จรูป เป็นเวลา 12 สัปดาห์

อาหารทดลอง	ระดับค่าสี			
	ระดับสีที่ผิวลำตัว	*L**	*a**	*b**
1 (ชุดควบคุม)	4.11±1.15[a]	43.36±0.26[a]	4.54±0.12[a]	15.58±0.10[a]
2 (คลื่นเสียง)	4.14±1.29[a]	47.70±0.67[a]	4.59±0.18[a]	16.23±0.21[a]
3 (คลื่นไมโครเวฟ)	4.22±1.52[a]	47.35±0.72[a]	4.73±0.11[a]	15.83±0.29[a]
4 (รังสีแกมมา)	4.28±1.08[a]	45.96±0.57[a]	4.82±0.21[a]	16.24±0.40[a]
5 (ลำแสงอิเล็กตรอน)	4.29±1.26[a]	44.65±0.85[a]	4.64±0.06[a]	16.19±0.33[a]

หมายเหตุ : - ในวงเล็บ คือวิธีดัดแปลงโครงสร้างสาหร่าย *N. commune* (20 mg/kg) ที่เสริมในอาหาร
- เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแนวตั้งโดยใช้ตัวอักษร ถ้าตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p>0.05$)

คุณภาพน้ำ

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเฉลี่ยตลอดการทดลองเลี้ยง ปลาทับทิม ด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปเสริมสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยวิธีต่าง ๆ กัน เป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า อุณหภูมิมีค่าอยู่ระหว่าง 28.06-29.88 ($^{\circ}$C) ความเป็นกรดเป็นด่าง 7.92-8.29 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ 6.08-7.35 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นด่าง 89.63-102.25 มิลลิกรัมต่อลิตร แอมโมเนียรวม 0.22-0.76 มิลลิกรัมต่อลิตร และไนไตรท์ 0.20-0.69 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงที่ปลาทับทิมสามารถดำรงชีวิตได้อย่างปกติ (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 คุณภาพน้ำเฉลี่ยตลอดการทดลองเลี้ยงปลาทับทิมที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่าย *N. commune* (20 mg/kg) ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยวิธีการต่าง ๆ กัน ในอาหารเม็ดสำเร็จรูป เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์

อาหารทดลอง	อุณหภูมิ ($^{\circ}$C)	ความเป็นกรดเป็นด่าง	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (mg/l)	ความเป็นด่าง (mg/l)	แอมโมเนีย (mg/l)	ไนไตรท์ (mg/l)
1 (ชุดควบคุม)	28.06-29.00	8.13-8.27	6.56-7.20	89.63-103.78	0.30-0.57	0.20-0.57
2 (คลื่นเสียง)	29.03- 29.50	8.15-8.26	6.08-7.30	90.56-108.40	0.32-0.62	0.37-0.69
3 (คลื่นไมโครเวฟ)	28.64-29.72	8.06-8.28	6.25-7.15	90.78-105.73	0.22-0.50	0.35-0.50
4 (รังสีแกมมา)	28.36-29.75	7.92-8.25	6.33-7.20	92.17-102.25	0.36-0.76	0.43-0.69
5 (ลำแสงอิเล็กตรอน)	29.04-29.88	7.98-8.29	6.10-7.35	90.60-105.39	0.31-0.72	0.24-0.65

หมายเหตุ : - ในวงเล็บ คือวิธีดัดแปลงโครงสร้างสาหร่าย *N. commune* (20 mg/kg) ที่เสริมในอาหาร

การวิจัยส่วนที่ 2

ศึกษาระดับที่เหมาะสมของการเสริมสาหร่าย *Nostoc commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยวิธีการทางกายภาพที่เ หมาะสมจากการทดลอง ในส่วนที่ 1 ซึ่งได้แก่ สาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยคลื่นไมโครเวฟ ในอาหารเม็ดสำเร็จรูป ต่างกัน 5 ระดับคือ 0, 5, 10, 15 และ 20 กรัม/กิโลกรัมอาหาร เลี้ยงปลาทับทิมเป็นเวลา 12 สัปดาห์ (3 เดือน) ให้ผลการทดลอง ดังนี้

การเจริญเติบโต

น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว

การผลิตอาหารเพื่อเลี้ยงปลาทับทิม โดยการนำสาหร่าย *Nostoc commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยคลื่นไมโครเวฟอบแห้งป่น มาเสริมในอาหารอาหารเม็ดปลาทับทิมสำเร็จรูปที่ระดับ 0, 5, 10, 15, และ 20 กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม พบว่า มีปริมาณโปรตีนในอาหารเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยตามระดับของการเสริมปริมาณสาหร่ายในอาหาร (ตารางที่ 3) แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p<0.05) อาหารทดลองที่ได้นำมาใช้เลี้ยงปลาทับทิมที่มีน้ำหนักเริ่มต้น 5.58±1.25 กรัม เป็นเวลา 12 สัปดาห์ ผลการทดลอง พบว่า ปลาทับทิมมีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาของการทดลองเลี้ยง ดังแสดงในตารางที่ 10 และ ภาพที่ 2 ซึ่งเมื่อเริ่มการทดลอง ปลาที่ใช้ทดลองทั้งหมด มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว เท่ากับ 5.58±1.25 กรัม ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) โดยน้ำหนักปลาเริ่มมีความแตกต่างกั นตั้งแต่สัปดาห์ 10 จนกระทั้งสิ้นสุดการทดลอง (p<0.05) เมื่อพิจารณาแต่ละระดับของการใช้สาหร่ายดังกล่าวเสริมในอาหารที่ใช้เลี้ยงปลาทับทิมในสัปดาห์ 10 ซึ่งสามารถเห็นความแตกต่างของปลาทับทิมในแต่ละชุดการทดลองอย่างชัดเจน พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 (10 กรัม/กิโลกรัม) มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวสูงที่สุด (58.01±8.23 กรัม) สูงกว่าปลาในชุดการทดลองที่ 4 (15 กรัม/กิโลกรัม) 1 (0 กรัม/กิโลกรัม) และ 5 (20 กรัม/กิโลกรัม) ตามลำดับ แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) ซึ่งมีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว เท่ากับ 47.83±15.66, 44.58±15.86, และ 43.41±16.51 กรัม ตามลำดับ แต่แตกต่างทางสถิติ (p<0.05) กับปลาทับทิมในสูตรที่ 2 (5 กรัม/กิโลกรัม) และเมื่อสิ้นสุดการทดลองใน สัปดาห์ที่ 12 ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 (10 กรัม/กิโลกรัม) ยังคงมีมีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวสูงที่สุด (58.01±8.23) สูงกว่าปลาในชุดการทดลองที่ 1 (0 กรัม/กิโลกรัม) 2 (5 กรัม/กิโลกรัม) และ 5 (20 กรัม/กิโลกรัม) ตามลำดับ แต่ไม่ แตกต่างอย่าง มีนัยสำคัญ ทางสถิติ (p>0.05) ซึ่งปลาทดลองที่ได้รับอาหารสูตรดังกล่าว มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว เท่ากับ 55.43±12.32, 54.36±8.55 และ 54.02±7.28 กรัม ตามลำดับ แต่สูงกว่าปลาทับทิมในสูตรที่ 4 (15 กรัม/กิโลกรัม) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ซึ่งปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว ต่ำที่สุด (52.88±7.42 กรัม) แต่ไม่แตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) กับสูตรที่ 2 และ 5 ตามลำดับ (ตารางที่ 10 และภาพที่ 2)

ตารางที่ 10 การเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก (น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว หน่วยเป็นกรัม) ของปลาทับทิมที่ได้รับอาหารเม็ดสำเร็จรูปผสมสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยคลื่นไมโครเวฟ ระดับต่าง ๆ กัน เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์

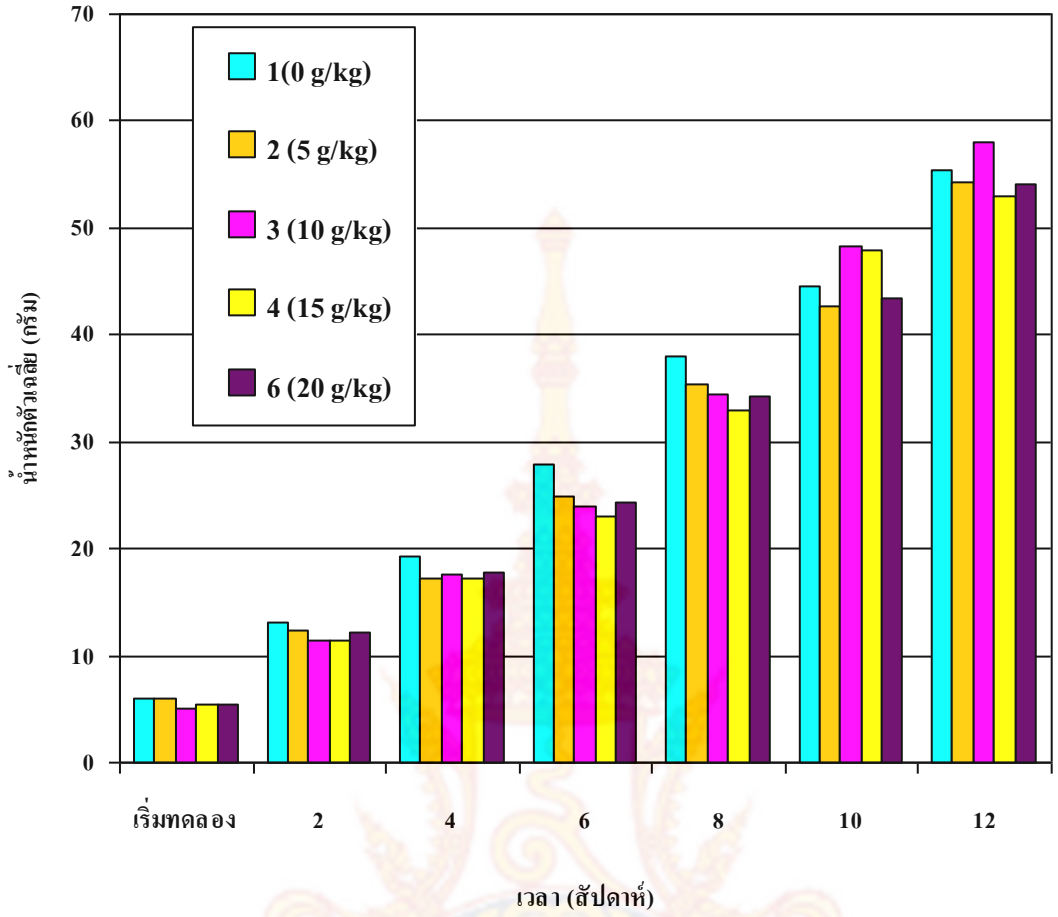
ระยะเวลา (สัปดาห์)	สูตรอาหาร (ผสมสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้าง)				
	1 (0 g/kg)	2 (5 g/kg)	3 (10 g/kg)	4 (15 g/kg)	5 (20 g/kg)
เริ่มทดลอง	6.01±0.87[a]	5.96±1.58[a]	5.09±1.13[a]	5.39±1.37[a]	5.43±1.05[a]
2	13.13±5.98[a]	12.37±3.61[a]	11.43±4.12[a]	11.37±3.75[a]	12.14±3.99[a]
4	19.21±8.77[a]	17.29±6.39[a]	17.58±7.60[a]	17.21±5.20[a]	17.80±6.65[a]
6	27.91±14.24[a]	24.94±8.82[a]	23.90±11.03[a]	23.02±7.30[a]	24.40±8.51[a]
8	38.00±18.43[a]	35.43±11.31[a]	34.36±14.55[a]	32.88±8.98[a]	34.19±11.26[a]
10	44.58±15.86[ab]	42.66±14.60[b]	48.32±14.42[a]	47.83±15.66[a]	43.41±16.51[ab]
12	55.43±12.32[a]	54.36±8.55[ab]	58.01±8.23[a]	52.88±7.42[b]	54.02±7.28[ab]

หมายเหตุ : เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแนวนอนโดยใช้อักษร ถ้าอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p>0.05$)

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการรอดตาย อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อและประสิทธิภาพการใช้โปรตีน

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลาทับทิมที่ได้รับอาหารทั้ง 5 สูตร มีความแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลอ ง ($p<0.05$) โดย ปลาทับทิมที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 (10 กรัม/กิโลกรัม) มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ ปลาทับทิมที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมสูตรที่ 1 (0 กรัม/กิโลกรัม) และสูตรที่ 2 (5 กรัม/กิโลกรัม) แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ทั้ง 3 ชุดการทดลองมีการเจริญเติบโตสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่เสริมสาหร่าย *Nostoc commune* ที่ระดับ 15 และ 20 กรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (20 กรัม/กิโลกรัม) มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะน้อยที่สุด แตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1, 2 และ 3 ($p<0.05$) แต่ไม่แตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 ($p>0.05$) (ตารางที่ 11)

อัตรารอดตายของปลาทับทิมที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 5 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันทา งสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 84.11±10.00 ถึง 93.22±6.67 เปอร์เซ็นต์ โดยปลาทดลองที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (20 กรัม/กิโลกรัม) มีอัตรารอดตายสูงที่สุด เท่ากับ 93.22 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 11)



ภาพที่ 2 การเจริญเติบโตของปลาทับทิมที่ได้รับอาหารผสมสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยคลื่นไมโครเวฟ ระดับต่าง ๆ กัน เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์

อัตราการแลกเนื้อ (FCR) ของปลาที่ได้รับอาหารสูตรต่าง ๆ พบว่า ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารไม่เสริมสาหร่ายจากชุดการทดลองที่ 1 (0 กรัม/กิโลกรัม) มีอัตราการแลกเนื้อดีที่สุด (2.10) แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (p>0.05) กับปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เสริมสาหร่าย *Nostoc commune* ในอาหารสูตรที่ 1, 2 และ 4 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบอัตราการแลกเนื้อของปลาจากชุดการทดลองที่เสริมสาหร่าย พบว่า ปลาจากชุดการทดลองที่ 3 (10 กรัม/กิโลกรัม) มีอัตราการแลกเนื้อต่ำที่สุด (2.10) ส่วนปลาทับทิมที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 มีอัตราการแลกเนื้อสูงสุด (2.46) (ตารางที่ 11)

ประสิทธิภาพในการใช้โปรตีน (PER) ในอาหารของปลาทับทิม พบว่า ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารชุดการทดลองที่ 3 (10 กรัม/กิโลกรัม) มีประสิทธิภาพการใช้โปรตีนได้สูงสุด (1.50) ไม่แตกต่างกับปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ใช้สาหร่ายเสริมในอาหาร 0 กรัม/กิโลกรัม (สูตรที่ 1) และ 5 กรัม/กิโลกรัม (สูตรที่ 1) แต่ทั้ง 3 สูตรอาหารมีประสิทธิภาพการใช้โปรตีนสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหาร สูตรที่ 5 (p<0.05) ในขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 มีประสิทธิภาพการใช้โปรตีนต่ำสุด (1.28) (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 11 น้ำหนักเริ่มต้น น้ำหนักสุดท้าย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการรอดตาย อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลาทับทิม ที่ได้รับอาหารเม็ดสำเร็จรูปผสมสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยคลื่นไมโครเวฟ ระดับต่าง ๆ กัน เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์

สูตรอาหาร	น้ำหนักเริ่มต้น (กรัมต่อตัว)	น้ำหนักสุดท้าย (กรัมต่อตัว)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (%)	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (%/วัน)	อัตราการรอดตาย (%)	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน
1 (0 g/kg)	6.01±0.87^{a}	55.43±12.32^{a}	822.30±134.12^{a}	2.63±0.29^{a}	84.11±10.00^{a}	2.05±0.43^{a}	1.44±0.16^{a}
2 (5 g/kg)	5.96±1.58^{a}	54.36±8.55^{ab}	816.61±95.22^{ab}	2.57±0.12^{ab}	85.45±16.77^{a}	2.19±0.25^{a}	1.41±0.37^{a}
3 (10 g/kg)	5.09±1.13^{a}	58.01±8.23^{a}	903.68±123.98^{a}	2.70±0.18^{a}	86.67±11.55^{a}	2.10±0.23^{a}	1.50±0.16^{a}
4 (15 g/kg)	5.39±1.37^{a}	52.88±7.42^{b}	794.84±53.17^{b}	2.55±0.13^{b}	88.67±7.51^{a}	2.20±0.20^{ab}	1.35±0.22^{ab}
5 (20 g/kg)	5.43±1.05^{a}	54.02±7.28^{ab}	781.08±71.33^{b}	2.52±0.15^{b}	93.22±6.67^{a}	2.46±0.31^{b}	1.28±0.15^{b}

หมายเหตุ : - ในวงเล็บ คือระดับของการใช้สาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยคลื่นไมโครเวฟ (g/kg) ในสูตรอาหาร

- เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแนวตั้งโดยใช้อักษร ถ้าอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

ลักษณะทางเนื้อเยื่อวิทยา

จากผลการศึกษา ลักษณะ ของเนื้อเยื่อ ตามแนวยาว ตับของ ปลาทับทิม ที่ได้รับอาหาร เม็ดสำเร็จรูปผสมสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยคลื่นไมโครเวฟระดับต่าง ๆ กัน เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า ตรวจไม่พบความผิดปกติของพยาธิสภาพในเซลล์ตับ ปลาทับทิมทุก ๆ ระดับของการใช้สาหร่าย *N. commune* ในอาหารเม็ดสำเร็จรูป (สูตรอาหารที่ 1-5) โดยพบเซลล์ตับ (hepatocyte) เรียงตัวเป็นระเบียบ มีโครงสร้างปกติ และมีการสะสมอาหารปกติ และพบว่า มีช่องว่าง (V = hydropic vacuoles) ในเนื้อเยื่อตับ ทั้งขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ (ศรชี้) กระจายอยู่ภายในเนื้อเยื่อของตับปลาทับทิม แสดงว่ามีการสะสมเม็ดไขมัน (lipid droplets) ในตับเป็นปกติ (ภาพผนวกที่ 14-18)

องค์ประกอบเลือดของปลาทดลอง

จากการวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบเลือด ของปลาทดลอง คือ องค์ประกอบของเม็ดเลือด ได้แก่ ฮีโมโกลบิน ฮีมาโตคริต ปริมาณเม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว และองค์ประกอบทางเคมีของเลือด ได้แก่ พลาสมาโปรตีน ของปล าทับทิมที่เลี้ยงด้วย อาหารทดลอง ผสมสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยคลื่นไมโครเวฟระดับต่าง ๆ กัน เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า ค่าฮีโมโกลบิน ฮีมาโตคริต ปริมาณเม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว และพลาสมาโปรตีน มีความแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลองอย่างมีนั ยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่า ค่าองค์ประกอบเลือดของปลา ทับทิม ที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3, 2 และ 1 มีค่าสูงกว่า ปลาทับทิมที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 และ 5 ตามลำดับ โดยปลาทับทิมทดลองมีค่าฮีโมโกลบิน ระหว่าง 5.63-7.70 กรัมต่อเดซิลิตร ค่าฮีมาโตคริตอยู่ในช่วง 23.66 – 32.33 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเม็ดเลือดแดงอยู่ในช่วง 1.06-2.01×10^6 เซลล์ต่อไมโครลิตร ปริมาณเม็ดเลือดขาวอยู่ในช่วง 17.00–26.67 × 10^3 เซลล์ต่อไมโครลิตร และค่าพลาสมาโปรตีนอยู่ในช่วง 3.18 – 3.79 กรัมเปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 12)

องค์ประกอบทางเคมีของปลาทดลอง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลาทับทิมที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลอง ผสมสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วย คลื่นไมโครเวฟระดับต่าง ๆ กัน เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ แสดงในตารางที่ 13 พบว่า ความชื้น และเถ้าของ ปลาทับทิมทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ในทุกระดับของการใช้ สาหร่าย *N. commune* ในสูตรอาหาร (สูตรที่ 1-5) โดยค่าความชื้น มีค่าอยู่ในช่วง 78.12±0.34–79.26±0.10 เปอร์เซ็นต์ และ ค่าของปริมาณเถ้า มีค่าอยู่ในช่วง 1.09±0.09-1.25±0.09 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่พบว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เสริมสาหร่ ายในทุกสูตรอาหารมีปริมาณ โปรตีน และไขมันในเนื้อน้อยกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรควบคุม ($p<0.05$) ซึ่งปลาทับทิมที่ได้รับอาหารสูตร 3 (10 g/kg) มีปริมาณโปรตีนในเนื้อ เท่ากับ 21.04±0.43 เปอร์เซ็นต์ ต่ำ

กว่าปลาทับทิมที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรควบคุม แต่ไม่แตกต่างกัน ทางสถิติ (p>0.05) โดยปลาทดลองที่ได้รับอาหารทั้ง 5 สูตร มีค่าโปรตีน และไขมันในเนื้อปลาอยู่ในช่วงระหว่าง 20.46±0.38 ถึง 21.07±0.43 เปอร์เซ็นต์ และ 0.05±0.00 ถึง 0.19±0.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 13)

ตารางที่ 12 ค่าองค์ประกอบเลือดของปลาทับทิม ที่ได้รับอาหารเม็ดสำเร็จรูปผสมสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยคลื่นไมโครเวฟ ระดับต่าง ๆ กัน เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์

สูตรอาหาร	Hemoglobin (g/dl)	Hematocrit (%)	RCB ($x10^6$ cell/ µl)	WBC ($x10^3$ cell/ µl)	Plasma protein (g%)
1 (0 g/kg)	6.82±0.36^{b}	28.67±1.53^{b}	1.54±0.25^{ab}	18.00±1.00^{a}	3.79±0.03^{a}
2 (5 g/kg)	6.98±0.49^{ab}	29.33±2.08^{ab}	1.99±0.39^{a}	24.00±3.00^{a}	3.26±0.13^{b}
3 (10 g/kg)	7.70±0.50^{a}	32.33±2.06^{a}	2.01±0.30^{a}	22.00±9.64^{a}	3.79±0.01^{a}
4 (15 g/kg)	6.59±0.49^{b}	27.66±2.03^{b}	1.06±0.56^{b}	17.00±5.29^{a}	3.25±0.13^{b}
5 (20 g/kg)	5.63±0.36^{c}	23.66±1.53^{c}	1.75±0.56^{a}	26.67±1.53^{a}	3.18±0.16^{b}

หมายเหตุ : - ในวงเล็บ คือระดับของการใช้สาหร่าย *N. commune* เสริมในสูตรอาหาร
- เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแนวตั้งโดยใช้ตัวอักษร ถ้าตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

ตารางที่ 13 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลาทับทิม ที่ได้รับอาหารเม็ดสำเร็จรูปผสมสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยคลื่นไมโครเวฟ ระดับต่าง ๆ กัน เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์

องค์ประกอบทางเคมี (%)	สูตรอาหาร (กรัม/กิโลกรัมอาหาร)				
	1 (0 g/kg)	2 (5 g/kg)	3 (10 g/kg)	4 (15 g/kg)	5 (20 g/kg)
ความชื้น	79.07±0.57^{a}	78.98±0.61^{a}	78.12±0.34^{a}	79.26±0.10^{a}	79.12±0.42^{a}
โปรตีน	21.07±0.39^{a}	21.07±0.33^{a}	21.04±0.43^{a}	20.46±0.38^{b}	20.63±0.56^{b}
ไขมัน	0.19±0.00^{a}	0.05±0.00^{d}	0.03±0.00^{e}	0.14±0.00^{b}	0.13±0.00^{c}
เถ้า	1.10±0.05^{a}	1.24±0.16^{a}	1.25±0.09^{a}	1.25±0.05^{a}	1.09±0.09^{a}

หมายเหตุ : - ในวงเล็บ คือระดับของการใช้สาหร่าย *N. commune* เสริมในสูตรอาหาร
- เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแนวนอนโดยใช้ตัวอักษร ถ้าตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

ระดับสีที่ผิวลำตัว และสีเนื้อปลา

ผลการวิเคราะห์ ค่าสีที่ผิวลำตัว และสีที่เนื้อของปลาทับทิม ที่ได้รับอาหารเม็ดสำเร็จรูป เสริมสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้าง ด้วยไมโครเวฟระดับต่าง ๆ กัน เป็นเวลา 12 สัปดาห์ โดยค่าสีที่ผิวลำตัว ซึ่งใช้การวัดด้วยสายตาเปรียบเทียบกับแถบสีที่ทำขึ้นจากเครื่องพิมพ์ Cannon (Cannon Printer Inkjet รุ่น MP 287) พร้อมทั้งถ่ายรูปในทุกชุดการทดลองเพื่ อเปรียบเทียบความแตกต่างของสีลำตัว ซึ่งแทนค่าความเข้มของสีเป็นตัวเลขจากน้อยไปหามากตามระดับของความเข้มสีที่เพิ่มขึ้น (1–10) พบว่า ความเข้มของสีผิวปลาทับทิมที่ทดลองในแต่ละชุดการทดลอง มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p<0.05) ซึ่งมีค่าระดับสีอยู่ระหว่าง 4.10±1.13 - 4.89±1.85 โดยกลุ่มที่เสริมสาหร่าย (สูตรอาหารที่ 2-5) มีค่าระดับสีที่ผิวลำตัวสูงกว่ากลุ่มควบคุม (สูตรที่ 1) ที่ไม่เสริมสาหร่ายในอาหาร (แสดงในตารางที่ 14 และ ภาพผนวกที่ 24-28)

ส่วนค่าสีที่เนื้อปลาทับทิมจะใช้เครื่องมือในการวัดค่าสีมาตรฐานทางวิทยาศาสตร์ (Hunter lab Colorimeter) รุ่น Ultra scan Vis, Hunter Assoc, Lab, Inc., USA ตั้งหมวดการวัดค่าสีเป็นระบบ CIE LAB; *L*a*b** พบว่า ค่า *L** ของปลาทับทิมที่เลี้ยงด้วยอาหารทั้ง 5 ชุดการทดลอง นาน 12 สัปดาห์ แสดงไว้ในตารางที่ 14 มีค่าอยู่ในช่วง 43.36±0.26 ถึง 48.77±0.67 ความเข้มของสีเนื้อปลาทั บทิมที่ทดลองในแต่ละชุดการทดลอง มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) โดยกลุ่มที่เสริมสาหร่าย (สูตรอาหารที่ 2-5) มีค่าระดับสีสูงกว่ากลุ่มควบคุม (สูตรที่ 1) ที่ไม่เสริมสาหร่ายในอาหาร

ค่า *a** ของปลาทับทิมที่เลี้ยงด้วยอาหารทั้ง 5 ชุดการทดลอง นาน 12 สัปดาห์ พบว่า ความเข้มของสีเนื้อปลาทับทิ มที่ทดลองในแต่ละชุดการทดลอง มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) มีค่าอยู่ในช่วง 4.34±0.06 ถึง 4.82±0.21 โดยกลุ่มที่เสริมสาหร่าย (สูตรอาหารที่ 2-5) มีค่าระดับสีที่ผิวลำตัวสูงกว่ากลุ่มควบคุม (สูตรที่ 1) ที่ไม่เสริมสาหร่ายในอาหาร (ตารางที่ 14)

ส่วนค่า *b** ของปลา ทับทิมที่เลี้ยงด้วยอาหารทั้ง 5 ชุดการทดลอง นาน 12 สัปดาห์ พบว่า ความเข้มของสีเนื้อปลาทับทิ มที่ทดลองในแต่ละชุดการทดลอง มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) มีค่าอยู่ในช่วง 15.58±0.10 ถึง 16.24±0.40 โดยกลุ่มที่เสริมสาหร่าย (สูตรอาหารที่ 2-5) มีค่าระดับสีที่ผิวลำตัวสูงกว่ากลุ่มควบคุม (สูตรที่ 1) ที่ไม่เสริมสาหร่ายในอาหาร (ตารางที่ 14)

คุณภาพน้ำ

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเฉลี่ยตลอดการทดลองเลี้ยง ปลาทับทิม ด้วยอาหารที่มีการใช้น้ำนึ่งปลาทดแทนโปรตีนจากปลาป่นใน สูตรอาหาร ระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 6 เดือน พบว่า อุณหภูมิมีค่าอยู่ระหว่าง 26.36 - 29.98 ($^{\circ}$C) ความเป็นกรดเป็นด่าง 7.58 - 8.30 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ 6.15 - 7.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นด่าง 89.60 - 108.40 มิลลิกรัมต่อลิตร แอมโมเนียรวม 0.25 - 0.76 มิลลิกรัมต่อลิตร และไนไตรท์ 0.22 - 0.69 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงที่ ปลาทับทิมสามารถดำรงชีวิตได้อย่างปกติ (ตารางที่ 15)

ตารางที่ 14 ระดับสีที่ผิวลำตัว และสีเนื้อปลาทับทิมที่ได้รับอาหารเม็ดสำเร็จรูปผสมสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยคลื่นไมโครเวฟ ระดับต่าง ๆ กัน เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์

สูตรอาหารทดลอง	ระดับค่าสี			
	ระดับสีที่ผิวลำตัว	*L**	*a**	*b**
1 (0 g/kg)	4.10±1.13[a]	43.36±0.26[a]	4.30±0.72[d]	12.07±0.39[c]
2 (5 g/kg)	4.25±1.28[a]	48.77±0.67[a]	4.68±0.23[d]	15.08±0.47[b]
3 (10 g/kg)	4.89±1.85[a]	47.40±0.72[a]	5.77±0.82[c]	15.53±0.52[b]
4 (15 g/kg)	4.53±1.14[a]	45.96±0.57[a]	9.88±0.29[a]	17.82±0.23[a]
5 (20 g/kg)	4.30±1.63[a]	44.33±0.85[a]	7.86±0.58[b]	12.41±0.24[c]

หมายเหตุ : - ในวงเล็บ คือระดับของการใช้สาหร่าย *N. commune* เสริมในสูตรอาหาร

- เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแนวตั้งโดยใช้ตัวอักษร ถ้าตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p>0.05$)

ตารางที่ 15 คุณภาพน้ำเฉลี่ยตลอดการทดลองเลี้ยงปลาทับทิมที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยวิธีการต่าง ๆ กัน ในอาหารเม็ดสำเร็จรูป เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์

อาหารทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	ความเป็นกรดเป็นด่าง	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (mg/l)	ความเป็นด่าง (mg/l)	แอมโมเนีย (mg/l)	ไนไตรท์ (mg/l)
1 (ชุดควบคุม)	28.12-29.50	7.58-8.30	6.50-7.10	89.60-103.78	0.29-0.51	0.22-0.57
2 (คลื่นเสียง)	27.54-29.50	8.05-8.26	6.32-7.09	90.56-108.40	0.30-0.62	0.35-0.69
3 (คลื่นไมโครเวฟ)	28.10-29.47	8.16-8.18	6.15-7.08	90.78-105.73	0.25-0.50	0.35-0.50
4 (รังสีแกมมา)	26.36-29.80	7.90-8.25	6.30-7.15	92.17-102.00	0.32-0.76	0.43-0.67
5 (ลำแสงอิเล็กตรอน)	27.20-29.98	7.80-8.29	6.47-7.20	90.60-105.39	0.31-0.72	0.25-0.65

หมายเหตุ : - ในวงเล็บ คือวิธีดัดแปลงโครงสร้างสาหร่าย *N. commune* (20 mg/kg) ที่เสริมในอาหาร

วิจารณ์

การนำสาหร่ายมา ประยุกต์ใช้เป็นอาหารสัตว์น้ำของการวิจัยครั้งนี้ เป็นการนำเอาสาหร่าย *Nostoc commune* มาใช้ประโยชน์โดยการเสริมในอาหารปลาทับทิม เพื่อที่จะทราบถึงผลจากการใช้ดังกล่าว เนื่องจากงานวิจัยหลาย ๆ งานที่ผ่านมาทำให้ทราบได้ว่า การนำสาหร่ายมาใช้ เป็นส่วนผสมในอาหารจะส่งผลดีหลาย ๆ ประการต่อสัตว์น้ำ ดังนั้น การทดลองครั้งนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยในส่วนที่ 1 เป็นการทดลองเพื่อต้องการทราบว่าสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างโดยวิธีการทางกายภาพวิธีการไหนที่จะส่งผลดีต่อ การเจริญเติบโตของ ปลาทับทิม หลังจากนั้นจึงนำสาหร่ายที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างจากผลการทดลองส่วนที่ 1 ไปทำการศึกษาต่อในส่วนที่ 2 เพื่อหาระดับที่เหมาะสมของการใช้สาหร่ายที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างเป็นส่วนผสมเสริมในอาหารต่อการเจริญเติบโตของปลาทับทิมต่อไป ซึ่งจากการทดลองในส่วนที่ 1 เป็นการทดลองเลี้ยงปลาทับทิมขนาดเริ่มต้นเฉลี่ย 6.29±0.03 กรัม ด้วยอาหารที่เสริมสาหร่าย *N. commune* อบแห้งที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยวิธีการทางกายภาพ 4 วิธี ได้แก่ ใช้คลื่นเสียงความถี่สูง คลื่นไมโครเวฟ รังสีแกมมา และลำแสงอิเล็กตรอน เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ (3 เดือน) พบว่า ปลาทับทิมที่ได้รับอาหาร เสริมสาหร่าย ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยคลื่นไมโครเวฟในอาหาร (ชุดการทดลองที่ 3) ให้การเจริญเติบโตสูงที่สุดสูงกว่าปลาทับทิมที่ได้รับอาหาร ในชุดควบคุม (ไม่เสริมสาหร่าย) โดยสามารถพิจารณาได้น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริ ญเติบโตจำเพาะ และ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ซึ่งมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และมีการเจริญเติบโตสูงกว่าชุดการทดลองที่มีการเสริมสาหร่ายที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยรังสีแกมมา ลำแสงอิเล็กตรอน ($p>0.05$) และคลื่นเสียงความถี่สูง ($p<0.05$) และการเสริมสาหร่ายที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างในอาหารทำให้ปลามีการเจริญเติบโต มากกว่าปลาในชุดควบคุม แสดงให้เห็นว่า การใช้สาหร่ายที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างเสริม ในอาหารจะส่งผลให้มีการเจริญเติบโตเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าชุดควบคุม ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับการศึกษาของ Hiskia *et. al*. (2011) ในปลา yellow croaker และ อานูวี (2555) ในปลานิลแดง รายงานว่า การใช้สาหร่ายผสมในอาหารเลี้ยงปลาทำให้ปลามีการเจริญเติบโตเพิ่ มสูงขึ้น และ ยังช่วยในการเพิ่มความเข้มของสีปลา เช่นเดียวกับรายงานของ สุนีรัตน์ และคณะ (2555) ที่ทำการทดลองใช้สาหร่ าย *N. commune* ผสมในอาหารเลี้ยงปลาหมอสี ซึ่งได้รายงานว่า การใช้สาหร่ายผสมในอาหาร ทำให้ปลามีการเจริญเติบโตสูงกว่าปลาที่ไม่ได้รับอาหารผสมสาหร่าย ตลอดจนสามารถเร่งสี และทำให้อัตราการแลกเนื้อดีกว่า และเมื่อพิจารณาถึงวิธีการทางกายภาพในการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสา หร่าย *N. commune* ต่อการเจริญเติบโต พบว่า การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสาหร่าย *N. commune* ด้วยคลื่นไมโครเวฟส่งผลให้ปลาทับทิมมีการเจริญเติบโตสูงกว่าการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสาหร่าย *N. commune* ด้วยวิธีการทางกายภาพแบบอื่น ๆ แสดงว่าคลื่นไมโครเวฟทำให้โครงสร้างของส าหร่าย *N. commune* มีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่เหมาะสมต่อการใช้เป็นอาหารของปลาทับทิม โดยทำการปรับปรุงข้อด้อย

ของสาหร่ายที่อาจส่งผลต่อความสามารถในการย่อย และการดูดซึม ทำให้การใช้ประโยชน์จากอาหารเกิดได้ดีขึ้น (Alajaji and El-Adawy, 2006) ทำให้ปลาทับทิมสามารถ นำอาหารที่ผสมสาหร่ายไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตได้ เป็นอย่างดี และดีกว่าวิธีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างการทางกายภาพแบบอื่น ๆ สอดคล้องกับ การุณ และอุทัยวรรณ (2555) รายงานเกี่ยวกับการดัดแปรวัตถุดิบด้วยวิธีทางฟิสิกส์เพื่อการผลิตอาหารสัตว์ โดยรายงานว่า วัตถุดิบ อาหารและผลพลอยได้ทางการเกษตรโดยเฉพาะจากพืชหลายชนิด มีสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ไม่เหมาะสมต่อการย่อยของเอนไซม์ในสัตว์ การใช้วัตถุดิบดังกล่าวเพื่อเป็นส่วนผสมของอาหารจึงใช้ได้ในปริมาณจำกัด เนื่องจากสัตว์ย่อยได้ยาก และนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อย ส่งผลให้ สัตว์มีการเจริญเติ บโตช้าและการรอดชีวิตต่ำ การดัดแปรโครงสร้างของวัตถุดิบอาหารหรือผลพลอยได้ทางการเกษตร ด้วยวิธีทางฟิสิกส์ได้แก่ การต้ม การนึ่ง ด้วยความดันไอน้ำ การใช้คบลื่นไมโครเวฟ การฉายรังสีแกมมา การใช้คลื่นเสียงความถี่สูง และการฉายลำแสงอิเล็ กตรอนหรือ หลายวิธีร่วมกันมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ เคมีและฟิสิกส์บางประการของวัตถุดิบอาหารให้มีความเหมาะสมต่อการย่อยของสัตว์ได้ดีขึ้น ลดปริมาณสารต้านโภชนาการโดยไม่ทำให้องค์ประกอบเชิงปริมาณของวัตถุ ดิบเกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้สามารถใช้ประโยชน์จาก วัตถุดิบอาหารได้เต็มประสิทธิภาพ นอกจากนี้ Somrak *et al*. (2016) ได้ทำการทดลองดัดแปรโครงสร้าง ของไซยาโนแบคทีเรีย (*Nostoc commune*) โดยเน้นดัดแปรโครงสร้างผนังเซลล์ที่เป็นโครงสร้างทางกายภาพที่ขัดขวางการใช้ประโยชน์จากโภชนะในอาหารสัตว์ เพื่อปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ คลื่นเสียงความถี่สูง รังสีแกมมา และลำแสงอิเล็กตรอน ผลการศึกษาพบว่า การดัดแปรโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ ส่งผลให้ปริมาณโปรตีนในสาหร่ายมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น มากกว่าการใช้รังสีแกมมาและลำแสงอิเล็กตรอน ตามลำดับ และทำให้ประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตในหลอดทดลองมีค่าสูงที่สุด และรายงานว่า การดัดแปรด้วยวิธีนี้ช่วยส่งเสริมให้มีการนำสารอาหารไปใช้ได้มากขึ้น เนื่องจากผนังเซลล์ถูกทำลายและมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายใน การดัดแปรโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ ใช้เวลาสั้นเนื่องจากมีอัตราการเพิ่มความร้อน นอกจากนี้คลื่นไมโครเวฟยังได้รับการยอมรับ แ ละสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กว้างขวาง ตลอดจนสะดวก และปลอดภัยกว่าการใช้รังสี ดังนั้น จากผลการทดลองในส่วนที่ 1 และข้อดีที่กล่าวมา ทำให้คณะผู้วิจัยเลือกใช้สาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยคลื่นไมโครเวฟไปใช้ทำการทดลองในส่วนที่ 2 ต่อไป

การทดลองในส่วนที่ 2 เพื่อศึกษาระดับที่เหมาะสมของการเสริมสาหร่าย *Nostoc commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยวิธีการทางกายภาพที่เหมาะสม ซึ่งได้แก่ การดัดแปลงโครงสร้างด้วยคลื่นไมโครเวฟ จากการทดลองในส่วนที่ 1 ในอาหารเม็ดสำเร็จรูป ต่างกัน 5 ระดับคือ 0, 5, 10, 15 และ 20 กรัม/กิโลกรัมอาหาร เลี้ยงปลาทับทิมน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย เท่ากับ 5.58$\pm$1.25 กรัม เป็นเวลา 12 สัปดาห์ (3 เดือน) พบว่า เมื่อพิจารณาค่าการเจริญเติบโต จะเห็นได้ว่า ปลาทับทิมที่ได้รับอาหารที่มีการใช้สาหร่าย *N. commune* เสริมในสูตรอาหาร ที่ระดับ 10 กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม ให้การเจริญเติบโตสูงที่สุดสูงกว่าปลาทับทิมที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม (0 กรัม/กิโลกรัม) โดยสามารถพิจารณา

ได้น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน ซึ่งมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) สูงกว่าชุดการทดลองที่มีการใช้สาหร่ายเสริมในสูตรอาหาร 5, 15 และ 20 กรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่าระดับของการใช้สาหร่าย *Nostoc commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้ วยคลื่นไมโครเวฟ ในอาหารมีผลต่อการเจริญเติบโตของปลาทับทิม โ ดยจะส่งผลให้มีการเจริญเติบโตเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าชุดควบคุมเมื่อเพิ่มปริมาณสาหร่ายในอาหารจนถึงระดับ 10 กรัม/กิโลกรัม แต่ถ้ามากกว่า 10 กรัม/กิโลกรัม การเจริญเติบโตของปลาจะลดต่ำลง ซึ่งจากการทดลองครั้งนี้สรุปได้ว่า สามารถเสริมสาหร่าย *N. commune* ได้สูงสุดไม่ควรเกิ น 10 กรัม/กิโลกรัม ในอาหารที่จะช่วยเสริมการเจริญเติบโตของปลาทับทิม ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับการศึกษาของ Hiskia *et. al*. (2011) ในปลา yellow croaker และ อานูวี (2555) ในปลานิลแดง รายงานว่า การใช้สาหร่ายผสมในอาหารเลี้ยงปลาทำให้ปลามีการเจริญเติบโตเพิ่มสูงขึ้ น โดยการทดลองใช้สาหร่ายไส้ไก่ป่นแทนที่ปลาป่นในสูตรอาหาร ตั้งแต่ระดับ 0, 15, 30, 45, 60, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากผลการทดลองดังกล่าวนี้สามารทดแทนปลาป่นด้วยสาหร่ายไส้ไก่ป่นได้สูงสุดไม่ควรเกิน 60 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณสาหร่ายที่สามารถเสริมลงไป เพราะเห็นได้ชัดเจนว่าเมื่อเสริมลงไปในอาหารตั้งแต่ 75 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไป แนวโน้มการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารเริ่มลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการใช้วัตถุดิบพืชในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ขาดสารอาหารบางชนิดที่มีปริมาณน้อยในพืช เช่น เมทไธโอนีน ทำให้สัตว์น้ำ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อย (NRC, 1993) ส่วนคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อปลาทับทิม (บนฐานของน้ำหนักเปียก) ที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 5 สูตร โดยเฉพาะ ค่าความชื้น และปริมาณเถ้า ในทุกระดับของการใช้สาหร่ายในอาหาร ไม่มีความแตกต่างกัน แสดงว่า ทุกระดับของการ เสริมส าหร่ายดังกล่าว ไม่ได้ส่งผลต่อค่าความชื้น และปริมาณเถ้า ในเนื้อปลา แต่ส่งผลให้ปริมาณ โปรตีน และไขมันในเนื้อน้อยกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรควบคุมที่ไม่ได้ใช้สาหร่าย เสริม และเป็นไปในทิศทางเดียวกับการศึกษาของ Hiskia *et. al*. (2011) ในปลา yellow croaker และ อานูวี (2555) ในปลานิลแดง พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมด้วยสาหร่ายในระดับที่เพิ่มขึ้น มีแนวโน้มทำให้ปริมาณโปรตีน และไขมันในตัวปลาลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการใช้วัตถุดิบพืชในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ขาดสารอาหารบางชนิดที่มีปริมาณน้อยในพืช เช่น เมทไธโอ นีน ทำให้สัตว์น้ำสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการสร้างโปรตีนได้น้อย (NRC, 1993) นอกจากนี้ Guillaume and Choubert (2001) ได้อธิบายว่า ไซโฟนิน ที่พบในสาหร่ายจะไปรบกวนและขัดขวางการดูดซึมของไขมันในอาหารและขัดขวางการแตกตัวของไขมันในถุงน้ำดีอีกด้วย ส่งผลทำให้ปลาไม่สาม ารถใช้ไขมันจากอาหารได้เต็มที่ ด้วยเหตุนี้ทำให้พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีการทดแทนสาหร่ายในระดับที่เพิ่มขึ้นทำให้การสะสมไขมันในตัวลดลง และจากผลการทดลองครั้งนี้ กล่าวได้ว่าสามารถใช้สาหร่ายเสริมในอาหารเม็ดสำเร็จรูป สำหรับเลี้ยงปลาทับทิมได้ถึง 10 กรัม/กิโลกรัม ทำให้การเจริญเติบโต และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีที่สุด

สำหรับลักษณะของเนื้อเยื่อตับของปลาทับทิมที่ได้รับอาหาร ผสมสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้าง ด้วยคลื่นไมโครเวฟ เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า เซลล์ตับเรียงตัวเป็นระเบียบ มีโครงสร้างปกติ และมีการสะสมอาหารปกติ แสดงให้เห็นว่าระดับต่าง ๆ ของการใช้สาหร่ายขนนกผสมในอาหารจากการทดลองในครั้งนี้ (0–20 กรัม/กิโลกรัม) ไม่ส่งผลให้เกิดความผิดปกติในพยาธิสภาพของเนื้อเยื่อตับของปลาทับทิม และไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของระบบตับ

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเลือดข องปลาทับทิม ได้แก่ ค่าฮีมาโตคริต ฮีโมโกลบิน พลาสมาโปรตีน ปริมาณเม็ดเลือดแดง และเม็ดเลือดขาวของปลาทับทิมที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ใช้สาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้าง ด้วยคลื่นไมโครเวฟ เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า ปลาทับทิมที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองทั้ง 5 สูตร มีค่าองค์ประกอบของเลือด ได้แก่ ค่าฮีมาโตคริต ฮีโมโกลบิน ปริมาณพลาสมาโปรตีน จำนวนเม็ดเลือดแดง และเม็ดเลือดขาว ไม่มีความแตกต่างกัน (p>0.05) ดังนั้นการใช้สาหร่ายขนนกทุกระดับ (0–20 กรัม/กิโลกรัม) ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบเลือดในตัวปลา และเมื่ อพิจารณาค่าองค์ประกอบเลือดของปลาที่ทดลอง พบว่า ค่าที่ได้มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของปลาปกติ (Wedemeyer and Yasutake, 1977)

ระดับความเข้มของสีผิวปลาทับทิม ทดลองที่ได้รับอาหารผสม สาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้าง ด้วยคลื่นไมโครเวฟ จากทุกสูตรอาหาร ที่มีการใช้สาหร่าย (ที่ระดับ 5-20 กรัม/กิโลกรัม) ผสมในอาหาร ให้ค่าสีของ *L*a*b** สูงกว่าปลาทับทิมที่ไม่ได้ใช้สาหร่าย ผสมในอาหาร ทั้งนี้เนื่องจากสาหร่าย *N. commune* มีสารสีที่เป็นรงควัตถุจำพวกคาโรทีนอยด์ (carotenoid) เช่นเดียวกับในพืชชั้นสูงทั่วไป สอดคล้องกับรายงานของ Lewmanomont and Ogawa (1995) จึงส่งผลให้ปลาที่ได้รับอาหารผสมสาหร่ายขนนกดังกล่าวมีระดับของสีเข้มขึ้นมากกว่าปลาที่ไม่ได้รับสารสีจากสาหร่าย สอดคล้องกับรายงานของธัชศึก และคณะ (2554) รายงานผลการใช้สาหร่ายบางชนิดเร่งสีในสัตว์น้ำและปรับปรุงสีของปลาสวยงาม พบว่า สาหร่ายไก *Spirulina platensis* กับสาหร่าย *Cladophora* sp. สามารถช่วยในการกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกัน และปรับปรุงสีทำให้สีบนตัวปลาทองมีสีแดง และสีเหลืองเพิ่มสูงขึ้น

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเฉลี่ยตลอดการทดลองเลี้ยง ปลาทับทิม ด้วยอาหารที่มี การใช้น้ำนึ่งปลาทดแทนโปรตีนจากปลาป่นใน สูตรอาหาร ระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 6 เดือน พบว่า อุณหภูมิมีค่าอยู่ระหว่าง 26.36 - 29.98 ($^{\circ}$C) ความเป็นกรดเป็นด่าง 7.58 - 8.30 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ 6.15 - 7.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นด่าง 89.60 - 108.40 มิลลิกรัมต่อลิตร แอมโมเนียรวม 0.25 - 0.76 มิลลิกรัมต่อลิตร และไนไตรท์ 0.22 - 0.69 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงที่ ปลาทับทิมสามารถดำรงชีวิตได้อย่างปกติ และมีค่าที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลาในบ่อ (กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง และกองส่งเสริมการประมง, 2550)

สรุป

การประยุกต์ใช้สาหร่าย *Nostoc commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างเป็นวัตถุดิบในอาหารปลาทับทิม โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน สรุปได้ว่า

1. สาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยวิธีการทางกายภาพ 4 วิธี ได้แก่ คลื่นไมโครเวฟ รังสีแกมมา ลำแสงอิเล็กตรอน และคลื่นเสียงความถี่สูง มีคุณสมบัติทางเคมีเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันไปตามวิธีของการดัดแปลงโครงสร้างเมื่อเทียบกับสาหร่ายที่ไม่ผ่านการดัดแปลง ($p<0.05$)

2. การเสริมสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วย คลื่นไมโครเวฟ (20 g/kg) ในอาหารเม็ดสำเร็จรูปเลี้ยงปลาทับทิม ส่งผลให้ปลามี การเจริญเติบโต และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ดีที่สุด ($p<0.05$) เมื่อเทียบกับสูตรควบคุม (ไม่ผ่านการดัดแปลง) รังสีแกมมา ลำแสงอิเล็กตรอน และคลื่นเสียงความถี่สูง แต่ทุกชุดการทดลอง ไม่ส่งผลต่ออัตราการรอดตาย ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน คุณสมบัติทางเ คมี การเปลี่ยนแปลงทางเนื้อเยื่อวิทยา องค์ประกอบเลือด และสีผิวลำตัว ($p>0.05$)

3. การเสริมสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยคลื่นไมโครเวฟ ที่ระดับ 5-20 g/kg ในอาหารเลี้ยงปลาทับทิมที่มีน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 5.58$\pm$1.25 กรัม ไม่ได้ส่งผลให้ปลามีการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีว่าสูตรควบคุม แต่มีแนวโน้มว่าในระดับ 10 กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม ส่งผลให้ปลามีการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีที่สุดเมื่อเทียบกับสูตรอาหารที่ระดับ 5, 15 และ 20 กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม และทุกสูตรอาหารไม่ส่งผลต่ออัตราการรอดตาย

4. การเสริมสาหร่าย *N. commune* ที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วย คลื่นไมโครเวฟ ในอาหารเลี้ยงปลาทับทิม ที่ระดับ 5–20 g/kg ไม่ได้ส่งผลต่อองค์ประกอบเลือด ค่าความชื้น และปริมาณเถ้า ในเนื้อปลา แต่ส่งผลให้ปริมาณ โปรตีน และไขมันในเนื้อน้อยกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรควบคุมที่ไม่ได้เสริมสาหร่าย

5. การเสริมสาหร่ายในสูตรอาหารจากการทดลองครั้งนี้นั้น ไม่ได้ผลชัดเจน และเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิต ซึ่งไม่คุ้มค่าสำหรับการเลี้ยงปลาทับทิมในเชิงพาณิชย์

เอกสารอ้างอิง

กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง และกองส่งเสริมการประมง. 2550. การเลี้ยงกุ้งก้ามกราม. โครงการพัฒนาพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนัง อันเนื่องมาจากพระราชดำริ, กรมประมง. 16 น.

การุณ ทองประจุแก้ว และ อุทัยวรรณ โกวิทวที. 2555. การดัดแปรวัตถุดิบด้วยวิธีทางฟิสิกส์เพื่อการผลิตอาหารสัตว์. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 22 (2) : 470-478.

กิจการ ศุภมาตย์ และสิทธิ บุญยรัตผลิน. 2538. การศึกษาภูมิคุ้มกันโรคและแนวทางการใช้วัคซีนป้องกันโรคติดเชื้อแบคทีเรียและไวรัสในกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*). รายงานการวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ หน้า 1-17.

จงกล พรหมยะ, ขจรเกียรติ ศรีนวลสม และศิริเพ็ญ ตรัยไชยาพร. 2554. ผลของสาหร่ายสไปรูลิน่าต่อการเติบโต ดัชนีการเจริญพันธุ์ สารสีแคโรทีนอยด์ และการกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกันในการเลี้ยงปลาแฟนซีคาร์ฟ. การประชุมวิชาการสาหร่ายและแพลงก์ตอนแห่งชาติ. ครั้งที่ 5. คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา. 157 น.

เทพรัตน์ อึ้งเศรษฐพันธ์, ยุวดี พีรพรพิศาล และ นิวุฒิ หวังชัย. 2554. ผลของการเสริม *Spirulina platensis* ในอัตราที่ต่างกันต่อการเจริญเติบโตและโครงสร้างกรดไขมันของปลานิลแดง (*Oreochromis mossambicus x O. niloticus*). การประชุมวิชาการสาหร่ายและแพลงก์ตอนแห่งชาติ. ครั้งที่ 5. คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา. 157 น.

ธัชศึก พร้อมคุ้ม, จงกล พรหมยะ, เกลียงศักดิ์ เม่งอำพัน, นิวุฒิ และชนกันต์ จิตมนัส. 2554. ผลของสาหร่ายสไปรูลิน่า สาหร่ายไกต่อ การกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกันและปรับปรุงสีของปลาทอง. การประชุมวิชาการสาหร่ายและแพลงก์ตอนแห่งชาติ. ครั้งที่ 5. คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา. 157 น.

สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์, ศักดิ์ชัย ชูโชติ และ ปวีณา ทวีกิจการ. 2012. การใช้อาหารผสมไซยาโนแบคทีเรีย *Nostoc commune* สดและแห้งในการเลี้ยงปลาหมอสี Kenyi Cichlid, *Pseudotropheus lombardoi*. วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 40 (1) : 208-217.

อานูวี บากา. 2555. ผลของสาหร่ายไส้ไก่ในอาหารต่อการเจริญเติบโต การใช้ประโยชน์จากอาหารและการตอบสนองต่อภูมคุ้มกันของปลานิลแดง . วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวาริชศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. หาดใหญ่.

อาภารัตน์ มหาขันธ์. 2546. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายน้ำจืด. กรุงเทพฯ : ศูนย์จุลินทรีย์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 47 น.

AOAC . 1990. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, Fifteenth edition, Washington, D.C. 1298 pp.

Alajaji, S.A., El-Adawy, T.A. 2006. Nutritional composition of chickpea (*Cicer arietinum* L.) as affected by microwave cooking and other traditional cooking methods. J. Food Comp. Anal. 19 : 806–812.

Bancroft. J.D. 1967. Histochemical techniques. Butterworths, London.

Blaxhall, P.C. and Daisley, K.W. 1973. Routine hematological methods for use with fish blood. J.Fish Biol. 5 : 771-781.

Blyth, P.J. and R.A. Dodd. 2002. An economic assessment of current practice and methods to improve feed management of caged finish in several SE Asia regions. Akvasmart Pty. Ltd. Australia. 18 p.

Chu, H-J. and C.T. Tsang. 1988. Research and Utilization of Cyanobacteria in China : A report. Arch Hydrobio. Supply. 5 (80) : 573-584.

Guillaume, J., and Choubert, G. 2001. Digestive physiology and nutrient digestibility in fishes. pp. 27-56. *In*, Guillaume J, Kaushik S, Bergot P, Me' tailler R (Eds): Nutrition and Feeding of Fish and Crustaceans. Springer, London, UK.

Hiskia, asino., Qinghui, ai. And Kangsen Mai. 2011. Evaluation of *Enteromorpha prolifera* as a feed component in large yellow croaker (*Pseudosciaena crocra*, Richardson, 1846) diets. Aquaculture Res. 42 : 525-533.

Humason, G.L. 1972. Animal Tissue Technique, 4th ed. San Francisco. C.A : W.H. Freeman And Company.

Kongkeo, H. and. Phillips. 2002. Regional overview of marine finish farming, with an emphasis on groupers and regional cooperation. *In* : Report of the Regional Workshop on Sustainable Seafarming and Grouper Aquaculture. 17-20 April 2000. Medan, Indonesia. pp 35-42.

Larsen, H.M. and Snieszko, S.F. 1961. Modification of the microhematocrit technique With trout blood. Trans. Am. Fish. Soc. 90 : 345-356.

Lewmanomont, K. and H. Ogawa. 1995. Common seaweeds and seagrasses of Thailand. Faculty of Fisheries, Kasatsart Universityy. 164 p.

Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L. and Randall, R.J. 1951. Protein measurement With the folin phenol reagent. Biol. Chem. 193 : 350-356.

NRC. 1993. Nutrient requirements of fish. Washington DC: National Academy Press, National Research Coumcil. 114 p.

Penaflorida, V.D and Golez, V.D. 1996. Use of seaweed meals from *Kappaphycus aluarezii* and *Gracilaria heteroclada* as binders in diets for juvenile shrimp *Penaeus monodon*. Aquaculture. 143:393-401.

Somrak, R., Karun, T. and Suktianchai, S. 2016. Physical pretreatments for improving Nutritive value of cyanobacterial cells. Chiang Mai J. Sci. 43 : 1-13.

Valente, L.M.P., Gouveia, A., Rema, P., Matos, J., Gomes, E.F. and Pinto, I.S. 2006. Evaluation of three seaweeds *Gracilaria bursapastoris*, *Ulva rigida* and *Gracilaria cornea* as dietary ingradients in European sea bass (*Dicentrachus labrax*) juveniles. Aquaculture. 252 : 85-91.

Wedemeyer, G. A. and W.T. Yasutake. 1977. Clinical methods for the assessment of the effects of environmental stress on fish health. U. S. Fish Wildl. Serv. Tech. Pap. 89 : 1-18.

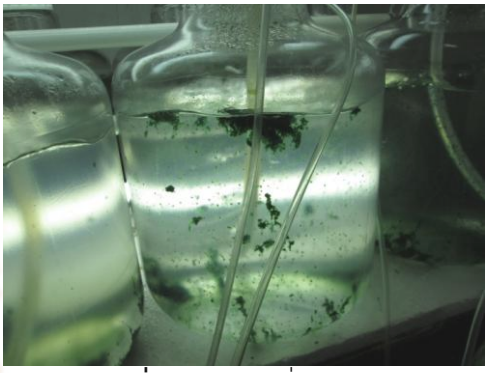
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ภาพกิจกรรมของการดำเนินการวิจัย

ภาคผนวก ก ภาพกิจกรรมของการดำเนินการวิจัย

ภาพนวกที่ 1 ขวดเลี้ยงสาหร่ายทดลอง



ภาพผนวกที่ 2 สาหร่ายที่ใช้ทดลอง

ภาพผนวกที่ 3 อบสาหร่ายให้แห้งในตู้อบ

ภาพผนวกที่ 4 สาหร่ายที่อบแห้งบด

ภาพผนวกที่ 5 อัดเม็ดอาหารที่ใช้ทดลอง

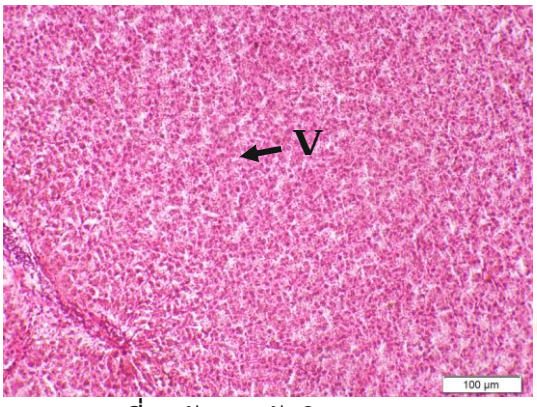
ภาพผนวกที่ 6 อบอาหารที่ผ่านการอัดเม็ด

ภาพผนวกที่ 7 ตู้กระจกที่ใช้เลี้ยงปลา

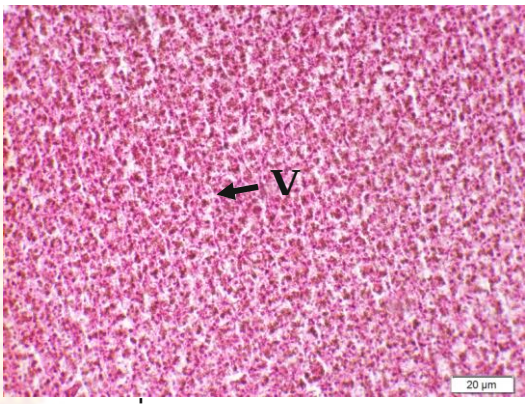
ภาพผนวกที่ 8 ปลาทับทิมทดลอง

ภาคผนวก ก (ต่อ) ภาพกิจกรรมของการดำเนินการวิจัย

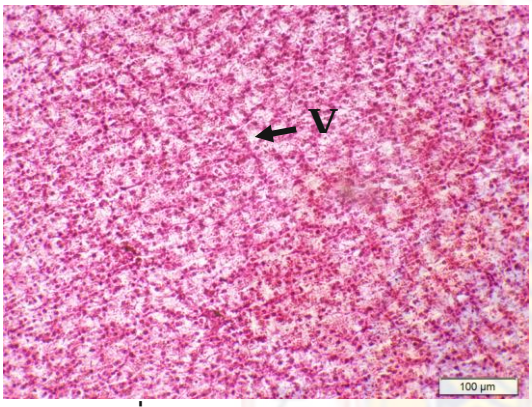
ภาพตับปลาทับทิมจากการทดลองส่วนที่ 1



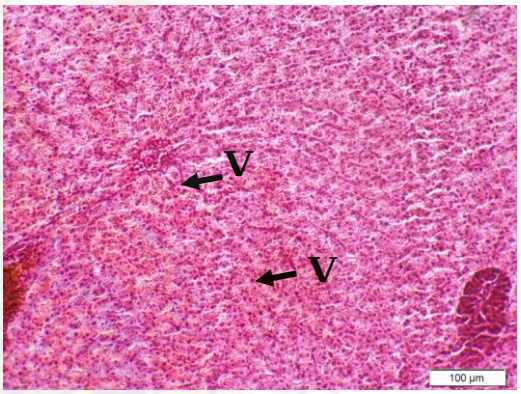
ภาพผนวกที่ 9 ตับปลาทับทิมจากสูตร 1 (1)



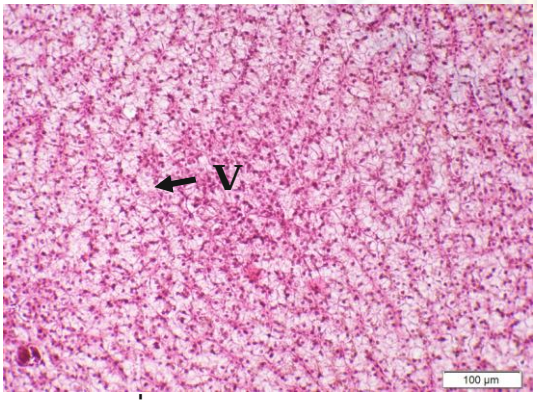
ภาพผนวกที่ 10 ตับปลาทับทิมสูตร 2 (1)



ภาพผนวกที่ 11 ตับปลาทับทิมสูตร 3 (1)



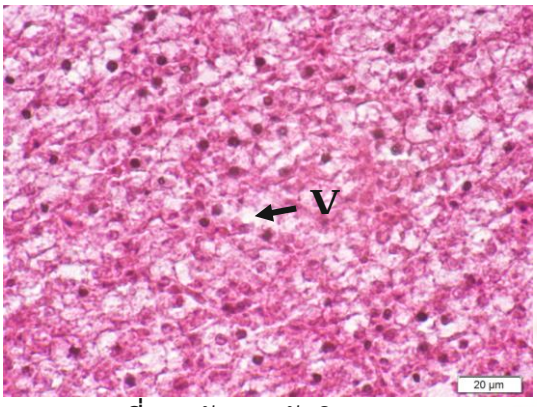
ภาพผนวกที่ 12 ตับปลาทับทิมสูตร 4 (1)



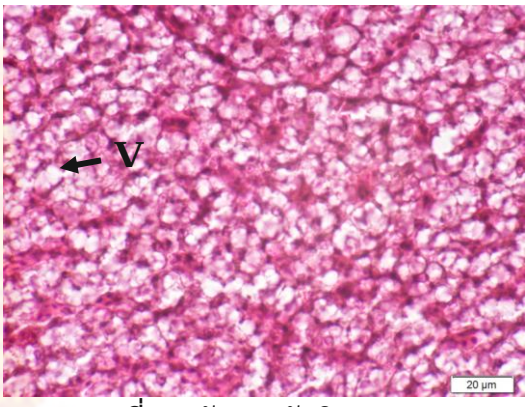
ภาพผนวกที่ 13 ตับปลาทับทิมสูตร 5 (1)

ภาคผนวก ก (ต่อ) ภาพกิจกรรมของการดำเนินการวิจัย

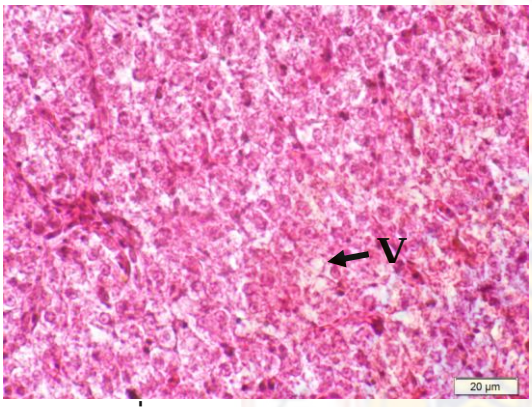
ภาพตับปลาทับทิมจากการทดลองส่วนที่ 2



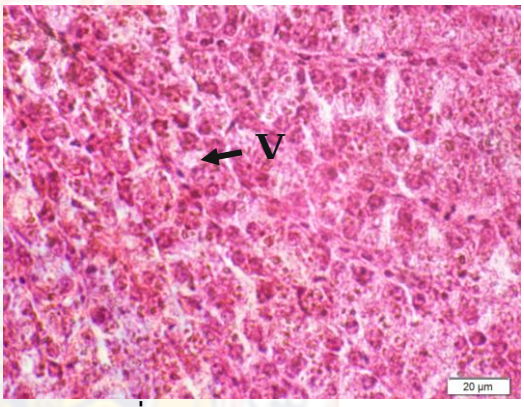
ภาพผนวกที่ 14 ตับปลาทับทิมจากสูตร 1 (0g)



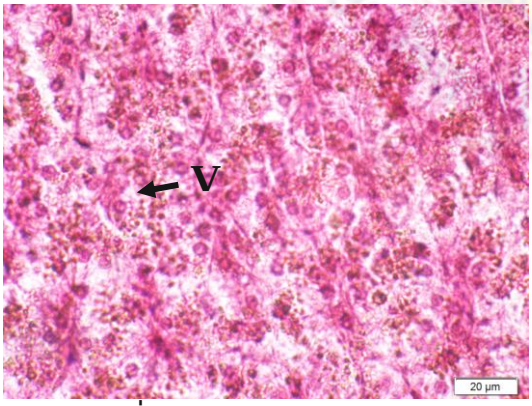
ภาพผนวกที่ 15 ตับปลาทับทิมสูตร 2 (5g)



ภาพผนวกที่ 16 ตับปลาทับทิมสูตร 3 (10g)



ภาพผนวกที่ 17 ตับปลาทับทิมสูตร 4 (15g)



ภาพผนวกที่ 18 ตับปลาทับทิมสูตร 5 (20g)

ภาคผนวก ก (ต่อ) ภาพกิจกรรมของการดำเนินการวิจัย

ภาพสีปลาทับทิมจากการทดลองส่วนที่ 1

ภาพผนวกที่ 19 สีปลาทับทิมจากสูตร 1 (1)

ภาพผนวกที่ 20 สีปลาทับทิมจากสูตร 2 (1)

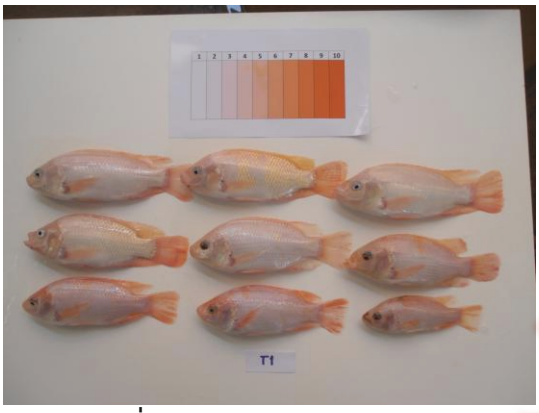
ภาพผนวกที่ 21 สีปลาทับทิมจากสูตร 3 (1)

ภาพผนวกที่ 22 สีปลาทับทิมจากสูตร 4 (1)

ภาพผนวกที่ 23 สีปลาทับทิมจากสูตร 5 (1)

ภาคผนวก ก (ต่อ) ภาพกิจกรรมของการดำเนินการวิจัย

ภาพสีปลาทับทิมจากการทดลองส่วนที่ 2



ภาพผนวกที่ 24 สีปลาทับทิมจากสูตร 1 (0g)

ภาพผนวกที่ 25 สีปลาทับทิมจากสูตร 2 (5g)

ภาพผนวกที่ 26 สีปลาทับทิมจากสูตร 3 (10g)

ภาพผนวกที่ 27 สีปลาทับทิมจากสูตร 4 (15g)

ภาพผนวกที่ 28 สีปลาทับทิมจากสูตร 5 (20g)

ภาคผนวก ข

การนำเสนอผลงานวิจัย

(Proceeding ในการประชุมวิชาการระดับชาติ “วลัยลักษณ์วิจัย” ครั้งที่ 8)