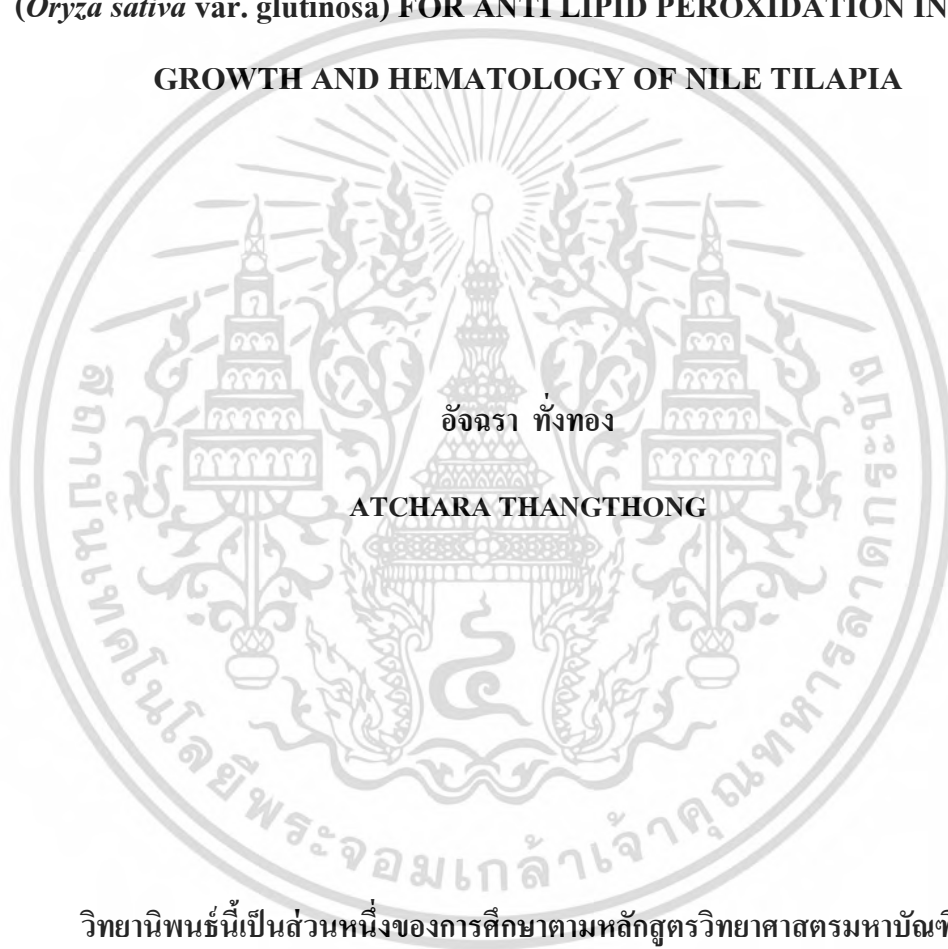


ผลของปลายข้าวเหนียวดำ (*Oryza sativa* var. *glutinosa*) ต่อต้านการ
เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในอาหารปลา การเจริญเติบโต
และค่าโลหิตวิทยาของปลานิล

EFFECT OF BLACK GLUTINOUS BROKEN RICE
(*Oryza sativa* var. *glutinosa*) FOR ANTI LIPID PEROXIDATION IN FEED
GROWTH AND HEMATOLOGY OF NILE TILAPIA



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2563

KMITL-2020-AG-M-081-329

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**EFFECT OF BLACK GLUTINOUS BROKEN RICE
(*Oryza sativa* var. *glutinosa*) FOR ANTI LIPID PEROXIDATION IN FEED
GROWTH AND HEMATOLOGY OF NILE TILAPIA**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN FISHERIES SCIENCE
FACULTY OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2020

KMITL-2020-AG-M-081-329

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2020

FACULTY OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของปลายข้าวเหนียวดำ (<i>Oryza sativa</i> var. <i>glutinosa</i>) ต่อต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในอาหารปลา การเจริญเติบโต และค่าโลหิตวิทยาของปลานิล
ชื่อนักศึกษา	นางสาว อัจฉรา ทั้งทอง
รหัสประจำตัว	61604026
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การประมง
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัจฉรี เรืองเดช

บทคัดย่อ

ข้าวเหนียวดำมีสารพฤกษเคมีที่มีประโยชน์ การศึกษาผลของการใช้ปลายข้าวเหนียวดำ (*Oryza sativa* var. *glutinosa*) ต่อปริมาณของสารฟีนอลิก สารแอนโทไซยานิน ความสามารถต้านอนุมูลอิสระ และการเกิดออกซิเดชันของไขมัน เมื่อผสมในสูตรอาหารปลา 4 สูตร กำหนดปริมาณโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์เท่ากัน โดยใช้ปลายข้าวเหนียวดำเท่ากับ 0 (ชุดควบคุม), 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของสูตรอาหาร และเก็บอาหารที่ทำเสร็จในภาชนะบรรจุแบบโปร่งแสงและทึบแสง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 28 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่าปริมาณของปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลามีผลต่อปริมาณสารฟีนอลิก สารแอนโทไซยานิน และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยอาหารปลาสูตรที่มีปลายข้าวเหนียวดำ 30 เปอร์เซ็นต์ สามารถต้านการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้ดีกว่าอาหารชุดควบคุม ($P < 0.05$) ผลการศึกษาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส อาหารปลาในภาชนะบรรจุทึบแสงพบปริมาณสารแอนโทไซยานินเท่ากับ 28.01 ± 4.44 mg/g ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) เท่ากับ 81.21 ± 0.62 เปอร์เซ็นต์ และการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันเท่ากับ 3.80 ± 0.15 μ M/g พบมากกว่าอาหารที่เก็บในภาชนะโปร่งแสง (25.86 ± 4.23 mg/g, 78.96 ± 0.84 เปอร์เซ็นต์ และ 4.13 ± 0.19 μ M/g ตามลำดับ) ผลการศึกษาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส พบว่าการเก็บรักษาในภาชนะบรรจุทึบแสงมีปริมาณสารแอนโทไซยานินเท่ากับ 21.37 ± 3.27 mg/g และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) เท่ากับ 78.38 ± 0.54 เปอร์เซ็นต์มากกว่าการเก็บอาหารในภาชนะโปร่งแสง (10.71 ± 2.30 mg/g และ 75.22 ± 0.87 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ) เมื่อประเมินประสิทธิภาพของอาหารที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำระดับต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโต ค่าโลหิตวิทยา และคุณภาพของเนื้อปลานิล พบว่าปลานิลที่ได้รับอาหารทั้ง 4 สูตร เป็นเวลา 10 สัปดาห์ มีการเจริญเติบโตที่ดีไม่มีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ค่าโลหิตวิทยาพบว่าปลาที่ได้รับปลายข้าวเหนียวดำ 30 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณเม็ดเลือดอัดแน่นเท่ากับ 40.24 ± 0.24 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณเม็ดเลือดแดงของปลาที่ได้รับอาหารจากปลายข้าวเหนียวดำ 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ $3.51\pm 0.06\times 10^6$ เซลล์/มม.³ และ $3.61\pm 0.01\times 10^6$ เซลล์/มม.³ มากกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 10 เปอร์เซ็นต์ และอาหารชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และปริมาณเม็ดเลือดขาวพบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลายข้าวเหนียวดำมีแนวโน้มลดลงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารชุดควบคุม แสดงถึงการใช้ปลายข้าวเหนียวดำในอาหารไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพและระบบภูมิคุ้มกัน รวมถึงคุณภาพของเนื้อปลาที่ได้รับอาหารที่มีส่วนผสมของปลายข้าวเหนียวดำมีความสามารถในการต้านการเกิดออกซิเดชันกับไขมันได้ดีขึ้น ($P>0.05$)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Effect of Black Glutinous Broken Rice (<i>Oryza sativa</i> var. <i>glutinosa</i>) for Anti Lipid Peroxidation in Feed Growth and Hematology of Nile Tilapia
Student	Miss Atchara Thangthong
Student ID.	61604026
Degree	Master of Science
Program	Fisheries Science
Year	2020
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Uscharee Ruangdej

ABSTRACT

Black glutinous rice contains phytochemical substances that are useful. Study on the effect of black glutinous rice (*Oryza sativa* var. *glutinosa*) on the amount of phenolic substance, anthocyanin substances, antioxidant activity and anti-lipid peroxidation by mixing in 4 fish diet formulas, the same amount of protein was calculated by 30 percent, with black glutinous broken rice 0 (control), 10, 20 and 30 percent of the formula. Storing the finished feed in a translucent and opaque container for 12 weeks at different temperatures (4 and 28 degree Celsius). The results showed that the amount of black glutinous broken rice in fish feed had an effect on phenolic content, anthocyanin and the antioxidant activity. The formula of feed with black glutinous broken rice 30 percent can resist the oxidation of lipid better than the control feed ($P < 0.05$). Storing at 4 degree Celsius in opaque container could help to retain the anthocyanin substances amount is 28.01 ± 4.44 mg/100 g extract, antioxidant activity is 81.21 ± 0.62 percent and anti-lipid peroxidation is 3.80 ± 0.15 μ M/g more than keeping feed in a translucent container (25.86 ± 4.23 mg/100 g extract, 78.96 ± 0.84 percent and 4.13 ± 0.19 μ M/g respectively). Storing feed at 28 degree Celsius in opaque container could help to retain the anthocyanin substances amount is 21.37 ± 3.27 mg/g and antioxidant activity is 78.83 ± 0.54 percent more than keeping feed in a translucent container (10.71 ± 2.30 mg/g and 75.22 ± 0.87 percent respectively). When evaluating the feed efficiency of different levels of black glutinous rice on growth, hematology and the meat quality of Nile tilapia. It was found that fish fed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

all 4 formulas for 10 weeks showed good growth without statistically significant difference ($P > 0.05$). Hematology values in black glutinous broken rice 30 percent of the formula showed that the amount of packed cell volume (hematocrit 40.24 ± 0.24 percent) and red blood cells of fish fed 20 and 30 percent of the formula with black glutinous broken rice tended to increase ($3.51 \pm 0.06 \times 10^6$ cell/mm³ and $3.61 \pm 0.01 \times 10^6$ cell/mm³ respectively) and the amount of white blood cells tends to decrease when compared to the control. The results show that using of black glutinous broken rice in the diet does not affect health and the immune system. The quality of the fish meat that received the feed containing black glutinous broken rice has the good ability to resist lipid peroxidation ($P > 0.05$).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สามารถประสบความสำเร็จได้ถ้าไม่มีบุคคลที่คอยให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนการทำงานข้าพเจ้าขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อัจฉริ เรืองเดช ที่คอยให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทางและคอยตรวจสอบข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ครั้งนี้จนสำเร็จไปด้วยดี ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่หลักสูตรวิทยาศาสตร์การประมงและคุณบุปผา จงพัฒน์ ที่แนะนำวิธีการวิเคราะห์ตลอดจนการเอื้ออำนวยความสะดวกในการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้จะเป็นใครไปไม่ได้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณคุณแม่คุณแม่แม่อันเป็นที่รักและเคารพตลอดจนอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ครอบครัว เพื่อน ที่สนับสนุนให้กำลังใจตลอดมา

นางสาวอัจฉรา ทั้งทอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	X
สารบัญภาพ.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 สารพฤษเคมีและสารต้านอนุมูลอิสระในข้าว.....	6
2.1.1 ผลของอนุมูลอิสระต่อการเปลี่ยนแปลงสารพฤษเคมี.....	7
2.1.2 ผลของแสงต่อการเปลี่ยนแปลงสารพฤษเคมี.....	8
2.2 ลักษณะทั่วไปของปลานิล.....	9
2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลานิล.....	9
2.3.1 สภาพแวดล้อม.....	9
2.3.2 คุณภาพน้ำต่อการเจริญเติบโต.....	9
2.3.3 สารอาหารที่จำเป็น.....	10
2.4 สารต้านอนุมูลอิสระในอาหารสัตว์น้ำ.....	11
2.5 ระบบภูมิคุ้มกันปลา.....	13
2.5.1 ส่วนประกอบของเลือดปลา.....	14
2.5.2 สารพฤษเคมีต่อระบบภูมิคุ้มกันปลา.....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1 วัตถุประสงค์และสัตว์ทดลอง.....	16
3.2 อุปกรณ์และสารเคมี.....	16
3.3 วิธีการดำเนินงาน.....	18
3.3.1 การเตรียมอาหารทดลอง.....	18
3.3.2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนะของอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร.....	19
3.3.3 การทดลองที่ 1 การศึกษาผลของการใช้ปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลาและภาวะบรรจุต่อการเปลี่ยนแปลงสารฟีนอลิก สารแอนโทไซยานิน ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และการเกิดออกซิเดชันของไขมัน ระยะเวลา 12 สัปดาห์.....	23
3.3.4 การทดลองที่ 2 การประเมินประสิทธิภาพของอาหารต่อการเจริญเติบโต ค่าโลหิตวิทยา และคุณภาพเนื้อปลานิลที่ได้รับอาหารทดลอง 10 สัปดาห์.....	25
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	28
3.5 สถานที่การทำวิจัย.....	28
3.6 ระยะเวลาในการทำการวิจัย.....	28
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	28
4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนะของอาหารปลาที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 0 – 30 เปอร์เซ็นต์.....	29
4.2 ผลของการใช้ปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลาและภาวะบรรจุต่อการเปลี่ยนแปลงสารฟีนอลิก สารแอนโทไซยานิน ความสามารถต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) และการเกิดออกซิเดชันของไขมัน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 12 สัปดาห์.....	31
4.2.1 ผลของการใช้ปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลาและภาวะบรรจุต่อปริมาณสารฟีนอลิก เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส.....	31
4.2.2 ผลของการใช้ปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลาและภาวะบรรจุต่อปริมาณสารแอนโทไซยานิน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส.....	33
4.2.3 ผลของการใช้ปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลาและภาวะบรรจุต่อความสามารถต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส.....	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.4 ผลของการใช้ปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลาและภาวะบรรจุต่อการเกิดออกซิเดชันของไขมัน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส.....	35
4.3 ผลของการใช้ปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลาและภาวะบรรจุต่อการเปลี่ยนแปลงสารฟีนอลิก สารแอนโทไซยานิน ความสามารถต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) และการเกิดออกซิเดชันของไขมัน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 12 สัปดาห์.....	37
4.3.1 ผลของการใช้ปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลาและภาวะบรรจุต่อปริมาณสารฟีนอลิก เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส.....	37
4.3.2 ผลของการใช้ปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลาและภาวะบรรจุต่อปริมาณสารแอนโทไซยานิน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส.....	39
4.3.3 ผลของการใช้ปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลาและภาวะบรรจุต่อความสามารถต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส.....	40
4.3.4 ผลของการใช้ปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลาและภาวะบรรจุต่อการเกิดออกซิเดชันของไขมัน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส.....	41
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสูตรอาหาร ปริมาณสารฟีนอลิก ปริมาณสารแอนโทไซยานิน ความสามารถต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) และการเกิดออกซิเดชันของไขมันในอาหารปลา.....	43
4.5 การประเมินประสิทธิภาพของอาหารต่อการเจริญเติบโตของปลานิลเมื่อได้รับอาหารทดลองที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 0 – 30 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลา 10 สัปดาห์.....	44
4.6 การประเมินประสิทธิภาพของอาหารต่อค่าโลหิตวิทยาของปลานิลเมื่อได้รับอาหารทดลองที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำที่ 0 – 30 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลา 10 สัปดาห์.....	48
4.7 การประเมินประสิทธิภาพของเนื้อปลานิล เมื่อได้รับอาหารทดลองที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำที่ 0 – 30 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลา 10 สัปดาห์.....	49
4.8.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของเนื้อปลา.....	49
4.8.2 ผลการทดสอบการเกิดออกซิเดชันของไขมันในเนื้อปลา.....	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 วิจัยผลการทดลอง.....	51
5.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของอาหารปลาที่มีส่วนผสมของ ปลายข้าวเหนียวดำ 0 – 30 เปอร์เซ็นต์.....	51
5.2 ผลของการใช้ปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลาและภาวะบรรจุต่อการ เปลี่ยนแปลงปริมาณสารฟีนอลิก สารแอนโทไซยานิน ความสามารถในการต้าน อนุมูลอิสระ และการต้านการเกิดออกซิเดชันของไขมัน ในอาหารปลา.....	52
5.2.1 ปริมาณสารฟีนอลิกในอาหารต่อภาวะบรรจุ.....	52
5.2.2 ปริมาณสารแอนโทไซยานินต่อภาวะบรรจุ.....	53
5.2.3 ความสามารถต้านอนุมูลอิสระต่อภาวะบรรจุ.....	54
5.2.4 การเกิดออกซิเดชันของไขมันในอาหารทดลองต่อภาวะบรรจุ.....	55
5.3 การประเมินประสิทธิภาพของอาหารต่อการเจริญเติบโตของปลานิลเมื่อได้รับ อาหารทดลองที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 0 – 30 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลา 10 สัปดาห์.....	56
5.4 การประเมินประสิทธิภาพของอาหารต่อค่าโลหิตวิทยาของปลานิลเมื่อได้รับอาหาร ทดลองที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 0 – 30 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลา 10 สัปดาห์.....	57
5.5 การประเมินประสิทธิภาพของเนื้อปลานิลเมื่อได้รับอาหารทดลองที่มีปริมาณ ปลายข้าวเหนียวดำ 0 – 30 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลา 10 สัปดาห์.....	58
5.5.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของเนื้อปลา.....	58
5.5.2 การทดสอบการเกิดออกซิเดชันของไขมันในเนื้อปลา.....	59
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	60
บรรณานุกรม.....	62
ภาคผนวก.....	70
ประวัติผู้เขียน.....	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ส่วนประกอบของอาหารทดลอง.....	19
4.1	องค์ประกอบทางโภชนาของสูตรอาหารปลาที่มีส่วนผสมของปลายข้าวเหนียวดำ 0 – 30 เปอร์เซ็นต์.....	30
4.2	ปริมาณสารฟีนอลิก สารแอนโทไซยานิน ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) และการเกิดออกซิเดชันของไขมันจากอาหารปลาที่มีส่วนผสมของปลายข้าวเหนียวดำ 0 – 30 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 12 สัปดาห์.....	32
4.3	ปริมาณสารฟีนอลิก สารแอนโทไซยานิน ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) และการเกิดออกซิเดชันของไขมันจากอาหารปลาที่มีส่วนผสมของปลายข้าวเหนียวดำ 0 – 30 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 12 สัปดาห์.....	35
4.4	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างสูตรอาหาร ปริมาณสารฟีนอลิก ปริมาณสารแอนโทไซยานิน ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) และการเกิดออกซิเดชันของไขมันในอาหารปลา (n=32).....	43
4.5	น้ำหนักเฉลี่ยของปลานิล (กรัม/ตัว) ที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 0 – 30 เปอร์เซ็นต์.....	44
4.6	ความยาวเฉลี่ยของปลานิล (เซนติเมตร/ตัว) ที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 0 – 30 เปอร์เซ็นต์.....	46
4.7	ประสิทธิภาพของอาหารต่อการเจริญเติบโตของปลานิลเมื่อได้รับอาหารทดลอง ที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 0 – 30 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลา 10 สัปดาห์.....	48
4.8	ผลการวิเคราะห์ค่าโลหิตวิทยาของปลานิลที่ได้รับอาหารทดลองที่มีส่วนผสมของปลายข้าวเหนียวดำ 0 – 30 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลา 10 สัปดาห์....	49
4.9	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของเนื้อปลานิล เมื่อได้รับอาหารทดลองที่มีส่วนผสมของปลายข้าวเหนียวดำ 0 – 30 เปอร์เซ็นต์อาหาร เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์.....	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
4.1	ปริมาณสารฟีนอลิกในอาหารปลาที่บรรจุในภาชนะโปร่งแสงและทึบแสงเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 12 สัปดาห์.....	33
4.2	ปริมาณสารแอนโทไซยานินในอาหารปลาที่บรรจุในภาชนะโปร่งแสงและทึบแสง เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 12 สัปดาห์.....	34
4.3	ความสามารถต้านอนุมูลอิสระในอาหารปลาที่บรรจุในภาชนะโปร่งแสงและทึบแสง เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 12 สัปดาห์.....	35
4.4	การเกิดออกซิเดชันของไขมันในอาหารปลาที่บรรจุในภาชนะโปร่งแสงและทึบแสง เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 12 สัปดาห์.....	36
4.5	ปริมาณสารฟีนอลิกในอาหารปลาที่บรรจุในภาชนะโปร่งแสงและทึบแสงเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 12 สัปดาห์.....	39
4.6	ปริมาณสารแอนโทไซยานินในอาหารปลาที่บรรจุในภาชนะโปร่งแสงและทึบแสง เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 12 สัปดาห์.....	40
4.7	ความสามารถต้านอนุมูลอิสระในอาหารปลาที่บรรจุในภาชนะโปร่งแสงและทึบแสง เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 12 สัปดาห์.....	41
4.8	การเกิดออกซิเดชันของไขมันในอาหารปลาที่บรรจุในภาชนะโปร่งแสงและทึบแสง เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 12 สัปดาห์.....	42
4.9	น้ำหนักเฉลี่ยของปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 0 – 30 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลา 10 สัปดาห์.....	45
4.10	ความยาวเฉลี่ยของปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 0 – 30 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลา 10 สัปดาห์.....	46
4.11	ผลการทดสอบการเกิดออกซิเดชันของไขมันในเนื้อปลา เมื่อได้รับอาหารที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 0 – 30 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลา 10 สัปดาห์.....	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปลานิล (*Oreochromis niloticus*) ปลาน้ำจืดที่มีปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 3 ไม่น้อยไปกว่าปลาทะเลน้ำลึกบางชนิด มีราคาไม่แพงสามารถพบได้ในทุกภาคของประเทศไทย จากคุณสมบัติของปลานิลที่เลี้ยงง่าย เจริญเติบโตเร็ว และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ทำให้เกษตรกรหันมานิยมเลี้ยงปลานิลอย่างกว้างขวาง ส่งผลให้สถานการณ์ราคาปลานิลในช่วง 9 เดือนแรกปี พ.ศ.2561 มีการปรับตัวลดลงเนื่องจากปริมาณผลผลิตปลานิลออกมามากเกินความต้องการของตลาด (เกวลิน, 2561) หนึ่งในวิธีที่สามารถช่วยแก้ไขปัญหของเกษตรกรได้ คือการลดต้นทุนในการผลิต หรือลดต้นทุนค่าอาหารลง เช่น เลือกรวมวัตถุดิบจากธรรมชาติมาเป็นวัตถุดิบในอาหารปลาเพื่อช่วยลดต้นทุนค่าอาหารเม็ดลง ในวัตถุดิบสำคัญของอาหารปลานั้นไม่ว่าจะเป็นปลาป่นที่เป็น โปรตีน ธัญพืชต่าง ๆ ที่ให้พลังงาน และน้ำมันปลาซึ่งเป็นไขมัน วัตถุดิบเหล่านี้เมื่อสัมผัสกับอากาศจะส่งผลให้เกิดออกซิเดชันในไขมันได้ ผลที่ได้คืออาหารจะเสื่อมคุณภาพและมีกลิ่นเหม็นหืน และหนึ่งในวัตถุดิบที่นิยมคือ ปลาขี้ขาว ที่ใช้เป็นแหล่งพลังงาน ข้าวไทย สามารถแบ่งได้หลายชนิด ไม่ว่าจะแบ่งตามองค์ประกอบของแป้งที่มี อไมโลส (amylose) และอไมโลเพกทิน (amylopectin) เป็นส่วนประกอบหลัก หรือจะแบ่งตามสี คือ ข้าวขาวและข้าวสี มีงานวิจัยหลายฉบับได้กล่าวไว้ว่า ข้าวสีอุดมไปด้วยสารอาหารและสารพฤกษเคมี ซึ่งสารเหล่านี้มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น สารประกอบกลุ่มโพลีฟีนอล (polyphenols) มีงานวิจัยจำนวนมากใช้วัตถุดิบในอาหารปลาที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาตินำมาทดสอบเลี้ยงปลา พบว่าปลาที่มีการเจริญเติบโตที่ดี และจากการทำการวิจัยก่อนหน้านี้ที่ทดลองใช้ข้าวต่างชนิดประกอบด้วย ข้าวหอมมะลิ ข้าวเหนียวขาว ข้าวไรส์เบอร์รี่ และข้าวเหนียวดำ มาเป็นวัตถุดิบในอาหารปลานิล ผลที่ได้คือ ปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีข้าวเหนียวดำให้การเจริญเติบโตดีที่สุด เมื่อเทียบกับข้าวหอมมะลิ ข้าวเหนียวขาว และข้าวไรส์เบอร์รี่ (อัจฉรา, 2561) จึงมีความสนใจใช้ปลาขี้ขาวเหนียวดำที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตหลักมาเป็นวัตถุดิบในอาหารปลานิล โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความสามารถในการคงคุณภาพเมื่อเก็บรักษาอาหารที่มีส่วนประกอบของปลาขี้ขาวเหนียวดำในภาชนะบรรจุโปร่งแสงและทึบแสง โดยตรวจสอบปริมาณสารฟีนอลิกที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของสารพฤกษเคมี สารต้านอนุมูลอิสระเมื่อใช้ปลาขี้ขาวเหนียวดำ และตรวจสอบการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในอาหารปลา ลดการเกิดกลิ่นหืนในอาหาร เพื่อจะสามารถลดการใช้สารอนุมูลอิสระสังเคราะห์ในอาหารลงได้รวมทั้งเมื่อใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารเลี้ยงปลาจะศึกษาผลต่อการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจริญเติบโต ค่าโลหิตวิทยา เพื่อเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในอาหารปลาและลดการใช้สารเคมีในการเลี้ยงจะช่วยให้ปลาไม่มีการสะสมสารพิษตกค้างและเมื่อผู้บริโภคได้รับเข้าไปจะมั่นใจได้ว่าเป็นอาหารปลอดภัย

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ศึกษาผลของการเก็บรักษาอาหารปลาที่มีส่วนผสมของปลายข้าวเหนียวดำในภาชนะบรรจุแบบโปร่งแสงและทึบแสง ต่อปริมาณของสารฟีนอลิก สารแอนโทไซยานิน ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) และการเกิดออกซิเดชันในไขมัน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

1.2.2 ศึกษาผลของการเก็บรักษาอาหารปลาที่มีส่วนผสมของปลายข้าวเหนียวดำในภาชนะบรรจุแบบโปร่งแสงและทึบแสง ต่อปริมาณของสารฟีนอลิก สารแอนโทไซยานิน ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) และการเกิดออกซิเดชันในไขมัน ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส

1.2.3 ศึกษาผลของอาหารผสมปลายข้าวเหนียวดำที่ระดับต่างกันต่อการเจริญเติบโต และค่าโลหิตวิทยาของปลานิล

1.2.4 ประเมินประสิทธิภาพของเนื้อปลานิลเมื่อได้รับอาหารที่มีส่วนผสมของสัดส่วนปลายข้าวเหนียวดำต่างกัน

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1.3.1 การใช้ปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลาสามารถเพิ่มสารฟีนอลิก สารแอนโทไซยานิน ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และมีความสามารถในการต้านการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้ และการเก็บในภาชนะบรรจุและอุณหภูมิที่เหมาะสม จะส่งผลให้อาหารคงอยู่ได้นานขึ้น

1.3.2 ปลาที่ได้รับอาหารจากปลายข้าวเหนียวดำมีผลการเจริญเติบโต และมีค่าโลหิตวิทยาที่ดี

1.3.3 เนื้อปลาที่ได้รับอาหารจากปลายข้าวเหนียวดำจะมีคุณค่าทางโภชนาการและสามารถต้านการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดในการวิจัย

อาหารสัตว์น้ำต้องประกอบด้วยโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน แร่ธาตุและวิตามินที่จำเป็น เมื่อได้สูตรที่เหมาะสมกับการเลี้ยงก็จะเข้าสู่กระบวนการผลิต ในอาหารปลาจะประกอบด้วยส่วนของไขมันซึ่งเมื่อไขมันเจอกับออกซิเจนจะทำให้เกิดปฏิกิริยาการออกซิเดชันของไขมัน ทำให้อาหารเสียคุณค่า และส่งผลต่อการเจริญเติบโตของปลาได้ ปัจจุบันในกระบวนการผลิตมีการใส่สารจำพวกสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ลงไปเพื่อลดการเกิดกลิ่นเหม็นหืนและช่วยรักษาสุขภาพของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหารให้คงอยู่ได้นานขึ้น แต่ในปัจจุบันสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์บางตัวไม่ถูกนำมาใช้เพราะตกค้างในสัตว์และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จึงมีการวิจัยทดลองใช้สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติมาใช้ในอาหารปลาเพื่อให้ผลผลิตที่ได้เป็นอาหารปลอดภัย และนอกจากนี้ยังมีงานวิจัยหลายฉบับพบว่าสารต้านอนุมูลอิสระยังเข้าไปช่วยในเรื่องของการเจริญเติบโตของปลาเมื่อได้รับในปริมาณที่เหมาะสม Yuangsoi et al. (2016) ได้นำรำข้าวเหนียวดำมาเป็นส่วนประกอบในอาหารปลานิล ในรำข้าวเหนียวดำอุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระและคุณค่าทางโภชนาการ สารที่พบมากคือแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ซึ่งจะพบในพืชที่มีสีม่วงหรือน้ำเงินเข้ม ทดลองเลี้ยงปลานิลที่น้ำหนักเริ่มต้น 8.89 ± 3.25 กรัม เป็นเวลา 60 วัน พบว่าปลานิลที่ได้รับอาหารจากการใช้รำข้าวเหนียวดำส่งผลให้ปลามีการเจริญเติบโตที่ดี ถึงแม้ว่าสารฟลาโวนอยด์ไม่ได้จัดเป็นสารอาหาร เพราะไม่ได้ให้พลังงานและช่วยในเรื่องการเจริญเติบโตโดยตรง แต่สารกลุ่มนี้ช่วยไปกระตุ้นการทำงานของระบบทางเดินอาหาร ให้ผลิตเอนไซม์ออกมา ทำให้มีการย่อยอาหารและการดูดซับนำสารอาหารไปใช้ได้ดี (Zhai et al., 2014) แต่การใช้รำจะมีต้นทุนสูง วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีสุพรรณบุรีจึงสนใจใช้ปลายข้าวเหนียวดำ ที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตหลักมาเป็นส่วนประกอบในอาหารเลี้ยงปลานิล ในอาหารเป็นสูตรที่เกษตรกรสามารถทำเองได้ และศึกษาผลของการเก็บรักษาอาหารที่มีส่วนประกอบของปลายข้าวเหนียวดำในภาชนะโปร่งแสงและทึบแสง รวมถึงการเก็บในตู้เย็นหรืออุณหภูมิห้องต่อการคงอยู่ของสารต้านอนุมูลอิสระ และเมื่อนำอาหารไปเลี้ยงปลานิลจะมีผลอย่างไรต่อการเจริญเติบโต ค่าโลหิตวิทยา และคุณภาพของเนื้อปลา

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 มีงานวิจัยหลายฉบับได้ยืนยันว่าข้าวสีมีสารสำคัญอยู่มากกว่าข้าวขาว มีรายงานการศึกษาจำนวนมากเกี่ยวกับประโยชน์ของแอนโทไซยานินที่ได้ทำการตรวจสอบจากพันธุ์ข้าวในประเทศไทย สารสำคัญที่พบในข้าวสีส่วนใหญ่จะเป็นกลุ่มพอลิฟีนอล (polyphenol) แอนโทไซยานิน เป็นต้น โดยมีการทดลองของ Pitija et al. (2013) พบว่า โครงสร้างแอนโทไซยานิน มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระและต้านการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้ จึงมีความสนใจนำปลายข้าวเหนียวดำมาใช้ในอาหารปลา คูผลการเก็บรักษาโดยศึกษาเรื่องปัจจัยแสง และอุณหภูมิ ที่มีผลต่อการคงอยู่ของสารฟีนอลิก สารแอนโทไซยานิน ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และการเกิดออกซิเดชันของไขมัน

1.5.2 ศึกษาผลของอาหารผสมปลายข้าวเหนียวดำต่อการเจริญเติบโต ค่าโลหิตวิทยา และคุณภาพของเนื้อปลานิล เนื่องจากสารฟลาโวนอยด์พืชและธัญพืชที่ใช้เป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระในอาหารปลาส่วนใหญ่จะอยู่ในกลุ่มของสารประกอบฟีนอล ไม่ว่าจะเป็นการใช้สารสกัดจากเมล็ดคองุ่น (Zhai et al., 2014) สารสกัดจากบัวหลวง (Munglue, 2014) และรำข้าวเหนียวดำ

(Yuangsoi et al., 2016) ซึ่งเมื่อปลาได้รับเข้าไปในส่งผลให้ปลามีการเจริญเติบโตที่ดี ถึงแม้ว่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกขาดเห็นเป็นลิขสิทธิ์ในการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารพิษเคมีไม่ได้จัดเป็นสารอาหาร เพราะไม่ได้ให้พลังงานและช่วยในเรื่องการเจริญเติบโตโดยตรง แต่สารกลุ่มนี้ช่วยไปกระตุ้นการทำงานของระบบทางเดินอาหาร ให้ผลิตเอนไซม์ทำให้มีการย่อยอาหารและการดูดซับนำสารอาหารไปใช้ได้ดี (Zhai et al., 2014)

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

1.6.1 เตรียมวัตถุดิบสำหรับทำอาหารทดลอง

ปลายข้าวเหนียวดำที่เป็นผลพลอยได้จากวัตถุดิบหลัก ปลายข้าวขาว ถั่วเหลืองถูกนำมาบดให้ละเอียด แล้วกรองร่อนด้วยตะแกรงขนาดความถี่ 1 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรต เพื่อนำไปคำนวณและกำหนดสูตรอาหารให้มีปริมาณโปรตีนเท่ากับที่ 30 เปอร์เซ็นต์

1.6.2 สูตรอาหารทดลอง

กำหนดสัดส่วนของปริมาณปลายข้าวเหนียวดำที่แตกต่างกัน คือ 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของสูตรอาหาร โดยชุดควบคุมจะไม่มีการใช้ปลายข้าวเหนียวดำ กำหนดโปรตีนอยู่ที่ 30 เปอร์เซ็นต์ และให้พลังงานใกล้เคียงกัน

1.6.3 ศึกษาปริมาณสารสารฟีนอลิก สารแอนโทไซยานิน ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและมีความสามารถในการต้านการเกิดออกซิเดชันของไขมัน ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรที่เก็บในภาชนะบรรจุและอุณหภูมิต่างกัน เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ มีการตรวจสอบดังนี้

1. ตรวจสอบปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ตามวิธีการของ Chakuton et al. (2012)
2. ตรวจสอบปริมาณแอนโทไซยานิน ตามวิธีของ Sutharut and Sudarat 2012
3. ทดสอบการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay ดัดแปลงมาจาก Brand-Williams et al. (1995)
4. ตรวจสอบการเกิดออกซิเดชันของไขมัน ตามวิธีการของ Hodges et al. (1999)

1.6.4 ทดลองเลี้ยงปลาโดยใช้สูตรอาหารทดลอง 4 สูตร

ในการทดลองใช้ปลานิลอายุ 1 เดือน จำนวน 500 ตัว ปรับสภาพให้ชินกับสถานที่ทดลองและอาหาร โดยฝึกให้กินอาหารกลุ่มควบคุม วันละ 2 มื้อ เวลา 9.00 น. และ 16.00 น. เป็นเวลา 14 วัน เมื่อครบกำหนดนำปลามาชั่งน้ำหนักก่อนการทดลอง ทำการเลี้ยงในถังพลาสติกที่มีระบบหมุนเวียนโดยผ่านใยกรองน้ำ ความจุปริมาตร 160 ลิตร โดยสุมแบ่งปลาใส่ถังทดลองที่เตรียมไว้ถึงละ 20 ตัว จำนวน 16 ถัง ให้อาหารทดลองทั้ง 4 สูตร ให้จนอิ่ม วันละ 2 มื้อ เวลา 9.00 และ 16.00 น. เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตทุก 2 สัปดาห์ จนครบระยะเวลา 10 สัปดาห์ และเก็บข้อมูลค่าโลหิตวิทยาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง 10 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6.5 การประเมินคุณภาพของเนื้อปลา

เมื่อสิ้นสุดการทดลองจากการเลี้ยงปลาเป็นเวลา 10 สัปดาห์ สุ่มปลาจากการทดลอง เก็บเนื้อปลาเพื่อนำมาวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น ไขมัน โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และวิเคราะห์การต้านการเกิดออกซิเดชันของไขมันในเนื้อปลา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สารพฤกษเคมีและสารต้านอนุมูลอิสระในข้าว

ข้าว 1 เมล็ด ประกอบด้วย แกลบ จมูกข้าว เอนโดสเปิร์ม และรำข้าว ข้าวสามารถแบ่งได้หลายชนิด ไม่ว่าจะแบ่งตามองค์ประกอบของแป้งที่มี อไมโลสและอไมโลเพกทิน เป็นส่วนประกอบหลัก หรือจะแบ่งตามสี คือ ข้าวขาวและข้าวสี ถ้าแบ่งชนิดของข้าวเป็นข้าวขาวและข้าวสี มีงานวิจัยหลายฉบับได้ยืนยันว่าข้าวสีมีสารสำคัญอยู่มากกว่าข้าวขาว สารสำคัญที่พบในข้าวสีส่วนใหญ่จะเป็นกลุ่มพอลิฟีนอล (polyphenol) เป็นสารพฤกษเคมี ซึ่งหมายถึงสารเคมีที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่พบเฉพาะในพืช มีฤทธิ์ต่อต้านอนุมูลอิสระ ช่วยส่งเสริมระบบภูมิคุ้มกันและต้านการอักเสบ ในข้าวแต่ละสายพันธุ์จะมีสัดส่วนเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของส่วนประกอบที่ต่างกันออกไป ตามการรายงานของ Shao et al. (2014) ได้รายงานเปอร์เซ็นต์สัดส่วนของจมูกข้าว เอนโดสเปิร์ม และรำข้าว ของข้าว 3 สีคือ ข้าวขาวพันธุ์ 9311 ข้าวแดงพันธุ์ SB7 และข้าวดำพันธุ์ Yunanheixiannuo พบว่าเปอร์เซ็นต์ของเอนโดสเปิร์มของข้าวมีมากกว่า รำข้าวและจมูกข้าว ส่วนของเอนโดสเปิร์มคือ เมล็ดข้าวสารที่นำมารับประทาน มีส่วนประกอบส่วนใหญ่ คือคาร์โบไฮเดรต ถึงแม้ว่าในข้าวแต่ละสายพันธุ์จะมีสัดส่วนของจมูกข้าว เอนโดสเปิร์มและรำข้าวต่างกัน แต่ส่วนของเอนโดสเปิร์มในข้าวยังคงมีมากที่สุด Pang et al. (2018) ตรวจสอบปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด และทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าว 3 สี คือ ข้าวขาว ข้าวแดง และข้าวดำ โดยเปรียบเทียบระหว่างข้าวทั้งเมล็ดและส่วนของรำข้าว ผลคือ ข้าวดำและข้าวแดง พบปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถต้านอนุมูลอิสระมากกว่าข้าวขาว เช่นเดียวกับสุวีและคณะ (2018) ได้ทำการตรวจสอบปริมาณสารฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์จากข้าวไทย โดยมีข้าวขาว 3 สายพันธุ์ (หางยี 71 ชัยนาท 1 และกข 49) และข้าวสี 3 สายพันธุ์ (ข้าวเหนียวดำอุบล ข้าวกำอุบล และข้าวกำอุตร) พบว่าปริมาณสารฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์จากข้าวสีมีปริมาณมากกว่าข้าวขาว

นอกจากปริมาณสารฟีนอลิกแล้วส่วนประกอบทางเคมีของข้าวสีส่วนใหญ่ที่พบยังมี กรดเฟอร์ูลิก (ferulic acid) ไฟโตสเตอรอล (phytosterols) สเตอรอล (sterol) แคโรทีนอยด์ (carotenoid) แอนโทไซยานิน (anthocyanin) และแกมมาโอริซานอล (γ -oryzanol) และสารอื่นอีกหลายชนิด (Ryan et al., 2011)

แอนโทไซยานินเป็นสารที่ละลายน้ำได้ดีที่สุดที่อยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์และมีสีที่แตกต่างกันในพื้นที่แต่ละชนิด เช่น กะหล่ำปลีสีม่วง แรดิช ผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ และข้าวพันธุให้สีน้ำเงิน แดง และสีม่วง มีรายงานการศึกษามากมายเกี่ยวกับประโยชน์ของแอนโทไซยานิน โดย Sangkitikomol et al. (2010) รายงานคุณสมบัติด้านการส่งเสริมสุขภาพของข้าวเหนียวไทย คือ มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระและช่วยลดระดับไขมันในเลือด ในข้าวพันธุสีดำ โครงสร้างของแอนโทไซยานินที่พบในข้าวพันธุสีดำคือ ไซยานิดิน (Cyanidin 3-glucoside) และโปรนินิดิน (Peonidin 3-glucoside) (Pitija et al., 2013) พรพาชื่นและคณะ (2017) ทำการตรวจสอบปริมาณสารแอนโทไซยานินในข้าวเหนียวดำของไทย 6 สายพันธุ ได้แก่ ข้าวกำเกี้ยง ข้าวกำคอยสะเก็ด ข้าวกำพะเยา ข้าวเหนียวดำหอมกุเขียว ข้าวกำแป และข้าวเหนียวดำลิ้มฝัว พบว่าพบข้าวเหนียวดำทั้ง 6 สายพันธุ มีปริมาณสารแอนโทไซยานินอยู่ในช่วง 14.61-48.19 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งปริมาณสารแอนโทไซยานินที่พบในข้าวมีความสอดคล้องกับปริมาณสาร Cyanidin-3-glucoside ซึ่งเป็นองค์ประกอบของสารแอนโทไซยานินและเป็นรูปแบบที่พบมากในข้าวเหนียวดำ

นอกจากการคุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระแล้ว ข้าวเหนียวดำยังมีคุณสมบัติในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้อีกด้วย จากการศึกษาของนวลอนงค์และคณะ (2559) ทำการศึกษาข้าวไทย 12 สายพันธุ ได้แก่ ข้าวเหนียวพันธุกข 6 ข้าวเหนียวพันธุสันป่าตอง 1 ข้าวเหนียวดำพันธุหอมกุเขียว ข้าวเหนียวดำพันธุลิ้มฝัว ข้าวเหนียวดำพันธุพื้นเมือง ข้าวเหนียวดำพันธุกำคอยสะเก็ด ข้าวเจ้าพันธุขาวดอกมะลิ 105 ข้าวเจ้าพันธุสินเหล็ก ข้าวชิตโต้เจ้าแปด ข้าวเจ้าแดงพันธุหอมมะลิแดง ข้าวเจ้าดำพันธุหอมนิล และข้าวเจ้าดำพันธุไรซ์เบอร์รี่ พบว่าข้าวพันธุสีดำได้แก่ ข้าวเหนียวดำพันธุหอมกุเขียว ข้าวเหนียวดำพันธุลิ้มฝัว และข้าวเหนียวดำพันธุพื้นเมือง มีความสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้ดีกว่าข้าวพันธุสีแดงและข้าวขาว ซึ่งความสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันมีความสอดคล้องกับปริมาณฟลาโวนอยด์ และสารฟีนอลิกที่พบที่พบในข้าวพันธุสีดำ

2.1.1 ผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงสารพฤกษเคมี

การเปลี่ยนแปลงของสารพฤกษเคมีทำให้ส่งผลต่อคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ สรีรวิทยา และการทำงานของพืชชนิดนั้น เช่นมีสีหรือรสชาติที่เปลี่ยนแปลงไป อุณหภูมิคือหนึ่งในสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงไปของสารพฤกษเคมี มีการทดลองของ Zhou et al. (2014) ทำการศึกษาปริมาณสารฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ โปรแอนโทไซยานิน และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวขาวและข้าวสี ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 เดือน พบว่าข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สารสำคัญในข้าวมีการเปลี่ยนแปลงไม่แตกต่างกัน แต่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ส่งผลให้สารสำคัญในข้าวมีการลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน ซึ่งจาก

การทดลองกล่าวได้ว่าอุณหภูมิสูงส่งผลให้สารสำคัญมีการเปลี่ยนแปลง และมีปริมาณลดลง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่โดยเว็บไซต์ทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารแอนโทไซยานินสามารถย่อยสลายได้ง่ายเมื่อมีผลกระทบทางกายภาพและชีวภาพเช่น เมื่อ pH เพิ่มขึ้น และอุณหภูมิมีผลต่อการเสื่อมของปริมาณแอนโทไซยานิน โดยอุณหภูมิสูงจะทำให้มีการเร่งทำให้สารเสื่อมสลายไปเร็วยิ่งขึ้น ในการทดลองของ Kalt et al. (1999) ทดลองเก็บรักษา สารสกัดจากสตอเบอรี่และราสเบอร์รี่ ในสภาวะแช่แข็งทำให้ปริมาณสารแอนโทไซยานินหายไป น้อยลง

นอกจากการทดสอบการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกันแล้ว การใช้ความร้อนจากการ ประกอบอาหารยังส่งผลต่อปริมาณสารพฤกษเคมีอีกด้วย โดย Noorlaila et al. (2018) ทำการ ทดสอบปริมาณสารแอนโทไซยานิน และสารต้านอนุมูลอิสระของข้าวพันธุ์สีดำ (*Oryza sativa L. Japonica*) ทดสอบโดยการแช่น้ำเป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง และการต้มจนถึงจุดเดือดที่ระยะเวลา 15, 25 และ 35 นาที จากผลการทดสอบพบว่าข้าวจากการต้มมีปริมาณสารแอนโทไซยานินและสารต้าน อนุมูลอิสระลดลงมากกว่าการแช่น้ำ เช่นเดียวกับพิษงูและลควัลย์ (2555) ทำการทดสอบผล ของการหุงต้มของข้าวไทย 9 สายพันธุ์ และทดสอบปริมาณสารฟีนอลิกและสารแอนโทไซยานิน ข้าวที่ใช้ในการทดลองมีกลุ่มของข้าวขาวได้แก่ ข้าวสินเหล็ก ข้าวหอมมะลิ 105 ข้าวเจ้าแตก และ ข้าวหอมอบล กลุ่มของข้าวสีแดงได้แก่ ข้าวสังข์หยดและหอมมะลิแดง ส่วนกลุ่มของข้าวสีดำได้แก่ ข้าวกำ ข้าวหอมกัญญา และข้าวหอมนิล ผลการทดสอบพบว่าข้าวสุกมีปริมาณสารพฤกษเคมีน้อย กว่าข้าวสารที่ยังไม่ผ่านการหุงต้ม และในข้าวพันธุ์สีดำหลังจากการหุงต้มส่งผลให้สารแอนโทไซยานินลดลงมากถึง 70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งกล่าวได้ว่าที่อุณหภูมิสูงมีผลต่อปริมาณสารพฤกษเคมีและ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

2.1.2 ผลของแสงต่อการเปลี่ยนแปลงสารพฤกษเคมี

สารพฤกษเคมีเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่พบได้เฉพาะในพืช ซึ่งมีประโยชน์ต่อ สุขภาพ มีฤทธิ์ต่อต้านหรือป้องกันโรคบางชนิดได้ แสงไม่ว่าจะเป็นคุณภาพของแสง ความเข้มแสง และช่วงแสง เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสารพฤกษเคมี ผลของแสงต่อ สารพฤกษเคมีมีทั้งเชิงบวกและลบ โดย Samuolienė et al. (2012) ศึกษาผลของไฟ LED สีแดงที่ เสริมระยะสั้นก่อนการเก็บเกี่ยว ต่อการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของแอนโทไซยานินในผัก บรอกโคลี ผักคะน้า ผักโขม ผักชีฝรั่ง และอัญชัน ผลของการใช้แสงก่อนการเก็บเกี่ยวพบว่าความ เข้มข้นของสารแอนโทไซยานินทั้งหมดในผักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากการใช้แสงก่อนการเก็บเกี่ยวที่มีผลต่อปริมาณสารพฤกษเคมีแล้ว ผลของแสงยัง ส่งผลต่อสารพฤกษเคมีในขณะการเก็บรักษาเช่นกัน โดย Nasar-Abbas et al. (2009) ทดสอบการ เก็บถั่วปากอ้า (*Vicia faba L.*) ในภาชนะโปร่งแสงและทึบแสง เป็นเวลา 12 เดือน พบว่าถั่วใน ภาชนะทึบแสงมีปริมาณสารฟีนอลิก แทนนิน และโปรแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นในระหว่างการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เก็บรักษา เมื่อเทียบกับการเก็บรักษาในภาชนะโปร่งแสงที่มีสารพฤษเคมีลดลง และมีการรายงานของ Bakhshayeshi et al. (2006) ทดสอบผลของแสงต่อปริมาณสารแอนโทไซยานินในแอปเปิล (*Malus domestica*) พบว่าระหว่างการเก็บรักษาที่ช่วงเวลาเดียวกันการเก็บรักษาแอปเปิลในที่มืดส่งผลให้ปริมาณสารแอนโทไซยานินคงอยู่มากกว่าการเก็บในที่สว่าง จึงกล่าวได้ว่าแสงมีผลต่อปริมาณสารพฤษเคมีทั้งเชิงบวกและเชิงลบ

2.2 ลักษณะทั่วไปของปลานิล

ปลานิล เป็นปลาน้ำจืดชนิดหนึ่ง ในวงศ์ปลาหมอสี (Cichlidae) มีชื่อภาษาอังกฤษว่า Nile tilapia ชื่อวิทยาศาสตร์ *Oreochromis niloticus* (ชื่อเดิมคือ *Tilapia nilotica*) เป็นปลาเศรษฐกิจแพร่ขยายพันธุ์ง่าย และมีรสชาติดี รูปร่างลักษณะของปลานิลมีดังนี้คือ ริมฝีปากบนและล่างเสมอกัน ที่บริเวณแก้มมีเกล็ด 4 แถว ตามลำตัวมีลายพาดขวางจำนวน 9-10 แถบ ครีบหลังมีเพียง 1 ครีบ ประกอบด้วย ก้านครีบแข็งและก้านครีบอ่อนเป็นจำนวนมาก ครีบกันประกอบด้วย ก้านครีบแข็งและอ่อนเช่นกัน มีเกล็ดตามแนวเส้นข้างตัว 33 เกล็ด ลำตัวมีสีเขียวปนน้ำตาล ตรงกลางเกล็ดมีสีเข้มที่กระดูกแก้มมีจุดสีเข้มอยู่จุดหนึ่งบริเวณส่วนอ่อนของครีบหลัง ครีบกัน และครีบหางนั้นจะมีจุดสีขาวและสีดำตัดขวาง ปลานิลมีความอดทนและปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี (นฤชยา, 2553)

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลานิล

2.3.1 สภาพแวดล้อม

ความหนาแน่นซึ่งเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของลูกปลานิล (El Sayed, 2002) ทำการทดลองเลี้ยงลูกปลานิล น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นที่ 0.016 กรัม ที่ความหนาแน่น 3, 5, 10, 15 และ 20 ตัวต่อลิตร พบว่าลูกปลาที่เลี้ยงในความหนาแน่นที่ต่างกันมีอัตราการรอด การเจริญเติบโตจำเพาะ และประสิทธิภาพการให้อาหารมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยปลาที่เลี้ยงที่ความหนาแน่น 3-5 ตัวต่อลิตร มีน้ำหนักสุดท้าย อัตรารอด การเจริญเติบโตจำเพาะดีที่สุดเมื่อเทียบกับปลาที่เลี้ยงที่ความหนาแน่น 20 ตัวต่อลิตร

2.3.2 คุณภาพน้ำต่อการเจริญเติบโต

ปลานิลสามารถทนต่ออุณหภูมิน้ำได้ในช่วงกว้าง ตั้งแต่ 12-35 องศาเซลเซียส ถ้าต่ำหรือสูงกว่านี้ปลานิลจะไม่กินอาหาร การเจริญเติบโตชะงัก อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 26-32 องศาเซลเซียส แม้ว่าปลานิลสามารถทนต่อสภาพน้ำที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำได้แต่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ควรให้ต่ำกว่า 3.0 มิลลิกรัม/ลิตร เพราะอาจเกิดการเครียด ปลาจะไม่กินอาหารส่งผลต่อการเจริญเติบโตได้ ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงปลานิลควรอยู่ระหว่าง 6.5-8.5 (พิเชต, 2016)

2.3.3 สารอาหารที่จำเป็น

2.3.3.1 โปรตีน (protein) โดยทั่วไปความต้องการโปรตีนของสัตว์น้ำขึ้นอยู่กับชนิด ขนาด และอายุของสัตว์ Abdel-Tawwab et al. (2010) ทดสอบระดับโปรตีนที่ส่งผลต่อการเติบโตของลูกปลานิล 3 ระยะ คือ ระยะลูกปลาวัยอ่อน (ขนาด 0.4-0.5 กรัม) ระยะปลานิว (ขนาด 17-22 กรัม) และระยะวัยรุ่น (ขนาด 37-43 กรัม) ให้อาหารที่ระดับโปรตีน 25, 35 และ 45 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ ผลที่ได้คือ ลูกปลาวัยอ่อน ได้รับอาหารที่ระดับโปรตีน 45 เปอร์เซ็นต์ มีการเจริญเติบโตดีที่สุด ปลานิลระยะปลานิวและระยะวัยรุ่น ที่ได้รับอาหารที่ระดับโปรตีน 35 เปอร์เซ็นต์ มีการเจริญเติบโตดีที่สุด จากการรายงานกล่าวได้ว่าปลาที่มีขนาดเล็กมีความต้องการโปรตีนที่มากกว่าปลาขนาดใหญ่ เนื่องจากโปรตีนเป็นส่วนสำคัญในการสร้างกล้ามเนื้อ เอนไซม์ ปลาขนาดเล็กจึงมีความต้องการมากกว่า

2.3.3.2 คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) คาร์โบไฮเดรตและแป้งจากธัญพืชเป็นแหล่งของพลังงานหลักที่สำคัญในการดำรงชีวิตของสัตว์เลือดอุ่น มนุษย์ รวมถึงปลาด้วยเช่นกัน สตาร์ช (starch) คือ องค์กรประกอบของพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ที่พบในพืช มีน้ำตาลกลูโคสเป็นโพลีเมอร์ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (glycosidic bond) ที่ตำแหน่งแอลฟา 1,4 เป็นโครงสร้างแบบอไมโลส (amylose) ส่วนที่ตำแหน่งแอลฟา 1,6 ได้เป็นอไมโลเพกทิน (amylopectin) ส่วนใหญ่ในงานวิจัยได้ทำการศึกษากับสัตว์บกในเรื่องของชนิดของแป้งที่มีความสัมพันธ์ต่อการเจริญเติบโต ในปลามีการศึกษาการเจริญเติบโตของปลาเบสที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนของอไมโลส-อไมโลเพกทินที่สูงแต่ในปลาชนิดอื่นยังไม่ได้ทำการศึกษา ทำให้ Chen et al. (2013) ได้ทำการศึกษาคัดส่วนอไมโลส-อไมโลเพกทิน ที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของปลานิล โดยในสูตรอาหารใช้แหล่งที่มาของอไมโลส คือ ข้าวโพด (อไมโลส 66.9 เปอร์เซ็นต์) และแหล่งที่มาของอไมโลเพกทิน คือ ข้าวเหนียว (อไมโลเพกทิน 81.0 เปอร์เซ็นต์ และ อไมโลส 0.1 เปอร์เซ็นต์) ที่ระดับโปรตีน 32 เปอร์เซ็นต์ ให้อาหารเป็นเวลา 42 วัน ผลการเจริญเติบโตของปลานิลเมื่อสิ้นสุดการทดลองการทดลองคือ อาหารสูตรที่มีสัดส่วนอไมโลส-อไมโลเพกทิน เท่ากับ 5.56 ต่อ 23.81 เปอร์เซ็นต์) ให้การเจริญเติบโตได้ดีที่สุด

จากการศึกษาของ Solomon et al. (2007) อาหารปลานิลที่ใช้วัตถุดิบหลักจากแหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่ต่างต่างกัน คือ ข้าวโพด (maize) ข้าวสาลี (wheat) ข้าว (rice) ข้าวฟ่าง (sorghum) และข้าวฟ่าง (millet) มีทั้งหมด 5 สูตร ที่ระดับโปรตีน 25% ปลานิลจะถูกเลี้ยงในกระชัง (ขนาด

1x1x1 ตารางเมตร) แต่ละกระชังมีปลานิล 25 ตัว (น้ำหนักเฉลี่ย 2.70 ± 0.09 กรัม) ให้อาหาร 5

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ที่ 2 เวลาต่อวันคือ 8.00 และ 16.00 น. ทำการทดลองทั้งหมด 56 วัน ติดตามผลการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพของการใช้ประโยชน์จากอาหาร โดยการวัดน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ การเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน การใช้ประโยชน์โปรตีนสุทธิ ทำการชั่งน้ำหนักปลาทุกสัปดาห์เพื่อเก็บข้อมูล จากการทดลองนี้พบว่า อาหารสูตรที่ใช้วัตถุดิบหลักคือข้าวโพดให้การเจริญเติบโตของปลานิลได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับอาหารสูตรอื่น สาเหตุที่ทำให้การเจริญเติบโตได้ดีที่สุดเพราะในข้าวสาลีและธัญพืชอื่นๆ ในที่นี้มีสารอัลบูมิน (albumins) ที่ไปยับยั้งการทำงานของแอลฟา-อไมโลสในปลา นอกจากเรื่องของการเจริญเติบโตแล้วการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถนำวัตถุดิบที่เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในอาหารปลานิลได้ถึง 57 เปอร์เซ็นต์

2.3.3.3 ไขมัน (lipid) จัดเป็นแหล่งพลังงานของสัตว์น้ำ ที่สัตว์สามารถย่อยและดูดซึมนำไปใช้ได้ดี ระดับไขมันที่ใช้ในอาหารปลาโดยทั่วไปอยู่ที่ 5 เปอร์เซ็นต์ (พิเชต, 2559) แต่สามารถใช้ได้ตั้งแต่ระดับ 5-12 เปอร์เซ็นต์ การเพิ่มไขมันในอาหารสามารถช่วยให้ปลาใช้ประโยชน์จากโปรตีนได้เต็มที่ ในปลาแต่ละระยะมีความต้องการโปรตีนที่แตกต่างกัน โดย Jauncey (2000) รายงานความต้องการไขมันของปลานิลวัยอ่อนอยู่ที่ 8-12 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเข้าสู่ระยะวัยรุ่น ปริมาณไขมันที่ได้รับอยู่ที่ 6-8 เปอร์เซ็นต์

2.3.3.4 วิตามินและแร่ธาตุพรีมิกซ์ (vitamin premix) นพวรรณ และชุตินา (2557) ทำการทดลองเลี้ยงปลานิลแดงแปลงเพศที่มีน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 6.55 ± 0.34 กรัม ในกระชังโดยให้ปลากินอาหารทดลอง 2 สูตรที่มีระดับโปรตีนและไขมันเท่ากัน อาหารทดลองสูตรที่เติมวิตามินและแร่ธาตุพรีมิกซ์ และอาหารสูตรที่ไม่เติมวิตามินและแร่ธาตุพรีมิกซ์ ทดลองเป็นระยะเวลา 9 สัปดาห์ เพื่อประเมินความสำคัญของการเติมวิตามินและแร่ธาตุพรีมิกซ์ในอาหารต่อผลผลิตปลานิลแดงแปลงเพศที่เลี้ยงในกระชัง พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ไม่เติมวิตามินและแร่ธาตุพรีมิกซ์มีการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำกว่า ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเติมวิตามินและแร่ธาตุพรีมิกซ์ในอาหารปลาเพื่อให้ปลามีการเจริญเติบโตที่ดี

2.4 สารต้านอนุมูลอิสระในอาหารสัตว์น้ำ

ในอาหารสัตว์น้ำต้องประกอบไปด้วยโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน แร่ธาตุและวิตามินต่าง ๆ ที่จำเป็น เมื่อได้สูตรที่เหมาะสมกับการเลี้ยงก็จะเข้าสู่กระบวนการผลิต ซึ่งในการผลิตแต่ละครั้งก็จะผลิตในปริมาณมาก และเพื่อจะเก็บได้นาน โดยจะใส่สารจำพวกสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ลงไปเพื่อลดการเกิดกลิ่นเหม็นหืน ในอาหารปลาจะประกอบด้วยส่วนของไขมันซึ่งเมื่อไขมันเจอกับออกซิเจนจะทำให้เกิดปฏิกิริยาการออกซิเดชันของไขมัน ทำให้อาหารเสียคุณค่า และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่งผลการเจริญเติบโตของปลาได้ สารต้านอนุมูลอิสระในธรรมชาติจะพบได้ในผัก ผลไม้ สมุนไพร ซึ่งส่วนใหญ่พบได้ในรูปของสารพฤษเคมี ส่วนสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ที่มีการใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร ได้แก่ Ethoxyquin มีชื่อทางเคมีคือ 1,2- dihydro-6-ethoxy-2,2,4- trimethylquinolone โดยสาร Ethoxyquin จัดอยู่ในประเภทสารอนมคุณภาพอาหารสัตว์ ในกลุ่มสารนี้ประกอบด้วย Propyl gallate, Octyl gallate, Dodecyl gallate, Butylated hydroxyanisole (BHA), Butylated hydroxytoluene (BHT), Ethoxyquin, Ethylene diamine tetraacetate (EDTA) สารเหล่านี้เป็นที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ เนื่องจากเป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงและราคาถูก ช่วยป้องกันการหืนหรือการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (สุกาน้อย, 2557)

ในปัจจุบันสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์บางตัวไม่ถูกนำมาใช้เพราะตกค้างในสัตว์และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดย Lundebye et al. (2010) การศึกษาเพื่อตรวจสอบความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ Ethoxyquin (EQ), Butylated hydroxytoluene (BHT) และ Butylated hydroxyanisole (BHA) ที่อยู่ในอาหารปลาและวัตถุดิบอาหาร นอกจากนั้นยังตรวจสอบสารตกค้างในเนื้อปลา โดยปลาที่มีการตรวจสอบเป็นปลาเศรษฐกิจที่มีความนิยมมาก ผลที่ได้คือ ในอาหารปลาและวัตถุดิบอาหารพบสาร EQ มีปริมาณมากกว่า BHT และ BHA ตามลำดับ ส่วนเนื้อปลาที่ทำการตรวจสอบสารตกค้างจากสาร EQ, BHT และ BHA ในปลาแอตแลนติกแซลมอน พบ 0.17, 7.60 และ 0.07 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ผู้บริโภคจะได้รับสารเหล่านี้เข้าไปในร่างกายเมื่อบริโภคปลาที่มีสารต้านอนุมูลอิสระตกค้าง อย่างไรก็ตามค่าที่ยอมรับได้ของสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ต่อหน่วยการบริโภคในหนึ่งวัน จะต้องไม่เกิน 15% ต่อน้ำหนักตัว 60 กิโลกรัม

นอกจากนี้ยังมีการทดลองของ Egloff and Pietsch (2018) ได้ทำการตรวจสอบ Ethoxyquin ต่อความเสี่ยงของสิ่งมีชีวิตในน้ำ โดยความเข้มข้นของ EQ เริ่มต้นที่ 0.03 ถึง 16.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตรวจสอบในสิ่งมีชีวิต 3 ชนิด คือ ปลาม้าลาย (ระยะ embryos) ไรน้ำ (*Daphnia magna*) และสาหร่าย (*Scenedesmus obliquus* และ *Chlorella vulgaris*) ผลการทดสอบพบว่า ปลาม้าลายที่ได้รับ EQ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีการตายถึง 25 % และอีก 62.5 % ถุงไข่แดง (yolk sac) มีความผิดปกติและตาบอด นอกจากนี้ในทุกระดับความเข้มข้น EQ ปลาม้าลายมีระดับการเต้นของหัวใจลดลง ส่วนไรน้ำมีความไวต่อ EQ มาก พบค่า EC_{50} อยู่ที่ 2.65 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากผ่านไป 48 ชั่วโมง ส่วนสาหร่ายพบว่า EQ ทำปฏิกิริยาได้น้อยกว่าปลาม้าลายและไรน้ำ ผลการทดลองในครั้งนี้สามารถคำนวณความเสี่ยงของการใช้สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ที่มีผลต่อสัตว์น้ำว่าจะต้องมีค่าสูงสุดไม่เกิน 1 ไมโครกรัมต่อลิตร ถึงจะช่วยลดความเสี่ยงและไม่ส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำได้ และเนื่องจากการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ตกค้างในสัตว์ และส่งผลไปยังผู้บริโภค ทำให้ปัจจุบันประเทศ

สหรัฐอเมริกาโดยหน่วยงาน Food and Drug Administration; FDA อนุญาตให้ใช้สาร Ethoxyquin เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ในอาหารสัตว์ ในระดับ 75-150 ppm จากผลกระทบข้างต้นจึงมีการวิจัยทดลองใช้สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติมาใช้ในอาหารปลาเพื่อให้ผลผลิตที่ได้เป็นอาหารปลอดภัย และนอกจากนี้สารต้านอนุมูลอิสระยังเข้าไปช่วยในเรื่องของการเจริญเติบโตของปลาเมื่อได้รับในปริมาณที่เหมาะสม

Yuangsoi et al. (2016) ได้ทำการศึกษาผลของรำข้าวเหนียวดำในอาหารปลานิล ได้ทำการตรวจสอบสารพิษตกค้างในอาหารปลา คือ ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแทนนินทั้งหมด และกรดไฟติก ผลที่ได้คือปริมาณที่พบในอาหารไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ มีค่าอยู่ที่ 52.42, 3.77, 0.32, 0.14 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม อาหารตามลำดับ ซึ่งสารพิษตกค้างเหล่านี้มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ช่วยลดการเกิดออกซิเดชันในอาหารปลาได้ จึงทำการวิเคราะห์วัตถุดิบหลักในการทดลอง คือ รำข้าวเหนียวดำโดยทำการทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 2, 4, 6 และ 8 มิลลิกรัม ด้วยวิธี DPPH radical scavenging โดยเก็บวัตถุดิบไว้ในอุณหภูมิต่างกันคือ 4 และ 25 องศาเซลเซียส ทำการทดสอบทุก 7 วัน เป็นเวลาทั้งหมด 14 วัน ผลที่ได้คือ ในสารสกัดที่มีความเข้มข้นสูงสุด คือ 8 มิลลิกรัมและเก็บไว้ในอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีค่าการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด คือ 78.93 % ส่วนค่าที่ต่ำที่สุดคือ สารสกัดที่ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมมีค่าการต้านอนุมูลอิสระอยู่ที่ 51.14 % นอกจากนี้ยังทดสอบหาปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ (malondialdehyde) เป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือเป็นตัวบ่งชี้การเกิดลิพิดออกซิเดชัน หรือการหืน การทดสอบนี้ทดสอบในรำข้าวเหนียวดำที่ใช้เป็นวัตถุดิบในอาหารปลาโดยรำข้าวเหนียวดำเก็บไว้ในอุณหภูมิต่างกันคือ 4 และ 25 องศาเซลเซียส ทำการทดสอบทุก 7 วัน เป็นเวลาทั้งหมด 14 วัน พบว่าในวันที่ 14 ของการทดลอง วัตถุดิบที่เก็บไว้ในที่ 25 องศาเซลเซียส มีปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์สูงสุด ซึ่งต่างจากที่เก็บไว้ในที่ 4 องศาเซลเซียส อยู่ที่ 56.16 และ 36.32 ไมโครโมลาร์ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติที่มีสารต้านอนุมูลอิสระสามารถช่วยยับยั้งการเกิดกลิ่นหืนได้และผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมด ฟีนอลิกทั้งหมด แทนนินทั้งหมด และไฟติกทั้งหมด ในอาหารที่มีระดับการใช้รำข้าวเหนียวดำต่างกันอยู่ในระดับที่ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อปลา

2.5 ระบบภูมิคุ้มกันปลา

ระบบภูมิคุ้มกันปลาเป็นแบบง่าย ๆ ไม่ซับซ้อนเหมือนสัตว์มีกระดูกสันหลังชั้นสูง อวัยวะของปลาที่ทำหน้าที่สร้างภูมิคุ้มกัน ได้แก่ ต่อมไทมัส ไตส่วนหน้าและม้าม โดยระบบภูมิคุ้มกันของปลาไม่มีแบบไม่จำเพาะและจำเพาะ ซึ่งแต่ละระบบประกอบด้วยระบบการทำงาน โดยเซลล์และสารน้ำ ระบบภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะหรือภูมิคุ้มกันโดยกำเนิดมีความสำคัญมากในการป้องกันการติดเชื้อ สารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื้อของปลา และระบบภูมิคุ้มกันแบบจำเพาะ เป็นระบบภูมิคุ้มกันที่เกิดขึ้นเมื่อร่างกายไม่สามารถกำจัดสิ่งแปลกปลอมนั้นได้ โดยถูกกระตุ้นด้วยจุลชีพหนึ่งและมีความจำเพาะต่อจุลชีพนั้นเท่านั้น (ชนกันต์, 2558) ซึ่งการเสริมสร้างภูมิคุ้มกันในปลา เป็นอีกหนึ่งแนวทางในการจัดการสุขภาพสัตว์น้ำที่ได้รับคามนิยมในปัจจุบัน เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้จ่ายปฏิชีวนะในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

2.5.1 ส่วนประกอบของเลือดปลา

การศึกษาค่าโลหิตวิทยา เป็นตัวแปรที่มีความสำคัญในการประเมินสภาพทางกายภาพ ชีวภาพ และเป็นดัชนีบ่งชี้สุขภาพของปลาในภาวะเครียดจากปัจจัยสิ่งแวดล้อม ภาวะโภชนาการ การติดเชื้อ หรือใช้เป็นเครื่องมือประกอบการวินิจฉัยสาเหตุของโรคและความผิดปกติในปลาได้ เลือดปลามีหน้าที่หลายประการ ได้แก่ ลำเลียงออกซิเจนและสารอาหารไปเลี้ยงเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ลำเลียงสารต่าง ๆ เข้าและออกจากเส้นเลือดฝอย ทำลายเชื้อโรคและสิ่งแปลกปลอมต่าง ๆ ที่เข้าสู่ร่างกาย และควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย (นพคต และคณะ, 2552) เลือดปลาทั่วไป ประกอบไปด้วย น้ำเลือด (plasma) เม็ดเลือดแดง (red blood cell) และเม็ดเลือดขาว (white blood cell)

2.5.1.1 น้ำเลือด (plasma) เป็นของเหลวสีเหลืองอ่อน ประกอบด้วย กลีโบริน สารอาหารที่ย่อยแล้ว ของเสีย เอนไซม์ แอนติบอดี แก๊ส น้ำเหลือง และฮอร์โมนละลายอยู่ มีหน้าที่ช่วยละลาย กลีโบริน คิวซิมอาหารที่ย่อยแล้ว รับของเสียจากเนื้อเยื่อ และขับถ่ายอื่น ๆ

2.5.1.2 เม็ดเลือดแดง (red blood cell) เม็ดเลือดแดง มีสารที่เรียกว่า ฮีโมโกลบิน (haemoglobin) บรรจุอยู่ซึ่งเป็นตัวที่ทำให้เม็ดเลือดแดงมีความสามารถดูดซึมแก๊สออกซิเจนได้มากกว่าน้ำ ลักษณะรูปร่างกลมรี มีนิวเคลียสกลางเซลล์และมีสีแดง โดยจำนวนของเม็ดเลือดแดง ขึ้นอยู่กับชนิดของปลา

2.5.1.3 เม็ดเลือดขาว (white blood cell) เป็นเซลล์ไม่มีสี ส่วนใหญ่มีรูปไข่หรือทรงกลม เป็นตัวการสำคัญในการทำลายเชื้อโรคที่เข้าสู่ร่างกาย แบ่งได้หลายชนิด คือ neutrophil, basophil, eosinophil, lymphocyte, thrombocyte และ monocyte (รัชดา, 2552) ซึ่งปริมาณเม็ดเลือดขาวที่เพิ่มมากขึ้น ในกรณีที่เกิดการติดเชื้อจะสามารถทำลายเชื้อได้ดีกว่าปลาที่มีปริมาณเม็ดเลือดขาวน้อย โดยขบวนการจับกินสิ่งแปลกปลอมที่เกิดขึ้นจะอาศัยการทำงานของเซลล์เม็ดเลือด หากปริมาณเม็ดเลือดสูงขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของขบวนการจับกินสูงขึ้นตามไปด้วย (Ortuno et al., 2000)

2.5.2 สารพฤษเคมีต่อระบบภูมิคุ้มกันปลา

มีงานวิจัยหลายฉบับได้ทำการใช้พืชหรือสมุนไพรเสริมในอาหารปลา เนื่องจากสรรพคุณของสารพฤษเคมีมีส่วนใหญ่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สืบเนื่องจากการเลี้ยงปลาในปัจจุบันเป็นการเลี้ยงแบบหนาแน่นเพื่อตอบสนองความต้องการของตลาด ปัญหาของการเลี้ยงปลาที่มีความหนาแน่นสูง ส่งผลให้ปลาเกิดความเครียด ดังนั้นในกระชังที่มีการเลี้ยงที่หนาแน่นทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้น เมื่อมีอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้เซลล์เกิดความเสียหาย การเสื่อมสภาพของเซลล์ DNA ไขมัน โปรตีน และเยื่อหุ้มเซลล์ ส่งผลทำให้เกิดโรคที่รุนแรงตามมา การเสริมพืชที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจึงเป็นอีกวิธีที่ช่วยส่งเสริมระบบภูมิคุ้มกันได้

มีการทดลองของ Hassaan et al. (2019) ใช้สารสกัดจากเมล็ดมิลค์ ทิสเซิล (*Silybum marianum*) เสริมในอาหารปลาที่ 0, 2.5, 5, 7.5 และ 10 กรัมต่อกิโลกรัม ทดสอบกับลูกปลานิลวัยอ่อนเป็นระยะเวลา 70 วัน พบว่าปลาที่ได้รับการเสริมจากสารสกัด 7.5 และ 10 กรัมต่อกิโลกรัม มีภูมิคุ้มกันที่ดีกว่าระดับอื่นเนื่องจากในเมล็ดมิลค์ ทิสเซิล มีสารซาริมาริน (silymarin) อยู่ในกลุ่มของฟลาโวนอยด์ มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ด้านการอักเสบ การใช้ที่ปริมาณที่เหมาะสมจะช่วยส่งเสริมระบบภูมิคุ้มกันได้ นอกจากนี้ Yonar (2019) ทดสอบอาหารเสริมที่เสริมด้วยกรดเอลลาจิก ที่ปริมาณ 0, 50, 100 และ 200 มิลลิกรัม/กิโลกรัมอาหาร ในปลาเรนโบว์เทราต์ (*Oncorhynchus mykiss*) ทดสอบเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ทำการตรวจสอบระบบภูมิคุ้มกันจากค่าไลโทติวิตาพบว่า ปลาที่ได้รับอาหารเสริมจากกรดเอลลาจิก ส่งผลให้ปริมาณเม็ดเลือดแดง ฮีโมโกลบิน และเปอร์เซ็นต์ของเม็ดเลือดแดงต่อปริมาณเลือดทั้งหมด สูงกว่าปลาที่ไม่ได้รับอาหารเสริม เนื่องจากกรดเอลลาจิก เป็นสารประกอบฟีนอลที่พบในธรรมชาติ พบมากในผักและผลไม้ที่มีสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชัน ซึ่งจากผลตรวจค่าไลโทติวิตาที่พบค่าของเม็ดเลือดแดงที่เพิ่มขึ้นนั้น กล่าวได้ว่าอาหารเสริมที่เสริมด้วยกรดเอลลาจิกช่วยไปส่งเสริมระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัตถุดิบและสัตว์ทดลอง

3.1.1 ปลานิล (*Oreochromis niloticus*) นำมาจากร้านไทยรักษ์พันธุ์พันธุ์จำหน่ายลูกพันธุ์ปลา น้ำหนัก 0.5 กรัม/ตัว จำนวน 500 ตัว

3.1.2 วัตถุดิบที่ใช้ทำอาหาร คือ ปลาช่อนขาว ปลาช่อนเขียวดำ ถั่วเหลือง ปลาป่น น้ำมันปลา และ vitamin premix โดยปลาช่อนเขียวดำที่ใช้นำมาจากผลพลอยได้จากวัตถุดิบหลักจากกระบวนการผลิต

3.2 อุปกรณ์และสารเคมี

3.2.1 อุปกรณ์

3.2.1.1 อุปกรณ์ใช้สำหรับเลี้ยงปลา

- 1) ถังพลาสติก ความจุ 160 ลิตร จำนวน 16 ถัง
- 2) ชุดกรองหยาบ-ละเอียด
- 3) สายยางเปลี่ยนถ่ายน้ำ
- 4) สวิตช์ปลา
- 5) ป้อนน้ำ Sonic AP 1600 จำนวน 16 ตัว

3.2.1.2 อุปกรณ์สำหรับเตรียมอาหารทดลอง

- 1) น้ำสะอาด
- 2) เครื่องผสมอาหารอเนกประสงค์ ยี่ห้อ Homemate ความจุ 4.5 ลิตร
- 3) ทัพพี
- 4) เครื่องบีบเส้นแบบกระบอกกด
- 5) เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง
- 6) เครื่องอบอาหารแห้ง

3.2.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

- 1) เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- 2) ตู้อบลมร้อน ยี่ห้อ KK รุ่น yco-NO1
- 3) เตาเผา ยี่ห้อ Carbolite รุ่น 301

4) คีมคีบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 5) ถ้วยอลูมิเนียม
 - 6) ถ้วยกระเบื้องเคลือบ
 - 7) เครื่องกลั่นในโตรเจน ยี่ห้อ Gerhardt รุ่น Vapodert 7620
 - 8) เครื่องย่อย ยี่ห้อ Gerhardt รุ่นTurk
 - 9) ชุดวิเคราะห์ไขมัน ยี่ห้อ FAIC รุ่น BE 4250
 - 10) ชุดวิเคราะห์เยื่อใย
 - 11) อุปกรณ์เครื่องแก้วต่างๆ
 - 12) เตาไฟฟ้า
 - 13) โหลความชื้น
 - 14) Soxhlet
 - 15) ขวดกั้นกลม
 - 16) Fiber bags
- 3.2.1.4 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์สารพิษเคมีและสารต้านอนุมูลอิสระ
- 1) หลอดทดลอง
 - 2) เครื่องปั่นเหวี่ยงตกตะกอน รุ่น 1600R
 - 3) อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ
 - 4) สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น GENESYS 10S UV-Vis Spectrophotometer, Thermo
 - 5) คิวเวตต์
 - 6) กระดาษกรองเบอร์ 1
 - 7) กรวยกรอง
- 3.2.1.5 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตและค่าโลหิตวิทยา
- 1) เครื่องชั่ง ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
 - 2) กะละมังขนาดเล็ก
 - 3) กระชอนตัก
 - 4) มีดผ่าตัด
 - 5) กรรไกรผ่าตัด
 - 6) ถาดพาราฟิน
 - 7) เข็มฉีดยา
 - 8) Eppendorf
 - 9) Microhaematocrit tube
 - 10) ถุงซิปล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 สารเคมี

- 3.2.2.1 กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc. H₂SO₄)
- 3.2.2.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น (conc. NaOH)
- 3.2.2.3 คอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO₄)
- 3.2.2.4 โพแทสเซียมซัลเฟต (K₂SO₄)
- 3.2.2.5 กรดไฮโดรคลอริก (HCL)
- 3.2.2.6 ปีโตรเลียมอีเทอร์ (C₅H₁₂ C₆H₁₄ C₇H₁₆)
- 3.2.2.7 อะซิโตน (CH₃COCH₃)
- 3.2.2.8 กรดอะซิติก (CH₃COOH)
- 3.2.2.9 มาลอนไดคิไซด์ (MDA)
- 3.2.2.10 Thiobarbituric acid (TBA)
- 3.2.2.11 Butylated hydroxytoluene (BHT)
- 3.2.2.12 เมทานอล (CH₃OH)
- 3.2.2.13 Folin–Ciocalteu reagent
- 3.2.2.14 โซเดียมคาร์บอเนต (Na₂CO₃)
- 3.2.2.15 กรดแกลลิก (C₇H₆O₅)
- 3.2.2.16 โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)
- 3.2.2.17 โซเดียมอะซิเตท (CH₃COONa .3H₂O)
- 3.2.2.18 DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl)

3.3 วิธีการดำเนินงาน

3.3.1 การเตรียมอาหารทดลอง

วัตถุดิบประกอบด้วยปลายข้าวขาว ปลายข้าวเหนียวดำ เมล็ดถั่วเหลืองและปลาป่นที่บดละเอียดร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร นำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนา เพื่อหาปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน และเยื่อใย ตามวิธีการของ (AOAC, 1990) (ตารางผนวกที่ 1) จากนั้นกำหนดสัดส่วนตามสูตรอาหารทดลองให้มีปริมาณโปรตีนเท่ากัน (30 เปอร์เซ็นต์) พลังงานเท่ากัน (3.91 – 3.94 kCal) กำหนดให้อาหารแต่ละสูตรมีส่วนผสมของปลายข้าวเหนียวดำที่ต่างกัน คือ ชุดควบคุม (ปลายข้าวเหนียวดำ 0 เปอร์เซ็นต์) 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ปรับลดปริมาณข้าวขาว ถั่วเหลืองป่นให้ได้โปรตีนและพลังงานในแต่ละสูตรตามที่กำหนด (ตารางที่ 3.1)

ขั้นตอนการทำอาหารเริ่มจากชั่งวัตถุดิบตามสัดส่วนตามที่กำหนดไว้ แล้วผสมให้เข้าด้วยกันจนเป็นเนื้อเดียวกันในเครื่องผสมอาหาร ใช้น้ำร้อน 350 มิลลิลิตรต่ออาหาร 1 กิโลกรัม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่อยๆ เทลงไปและผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน และนำเข้าเครื่องบีบเส้นเพื่อบีบให้อาหารเป็นเส้น จากนั้นนำอาหารไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นเก็บไว้ในภาชนะบรรจุที่ปิดมิดชิดเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบของอาหารทดลอง

ส่วนประกอบ	ปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ (%)			
	0 (ชุดควบคุม)	10	20	30
ปลาป่น (กรัม)	480	480	480	480
ปลายข้าวขาว (กรัม)	390	290	186	83
ปลายข้าวเหนียวดำ (กรัม)	0	100	200	300
ถั่วเหลืองป่น (กรัม)	67	70	74	77
น้ำมันปลา (มิลลิลิตร)	30	30	30	30
vitamin premix (กรัม)	30	30	30	30

3.3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร

สุ่มตัวอย่างอาหารแต่ละสูตรมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน และเยื่อใย ตามวิธีของ AOAC (1990) ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ดังนี้

3.3.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

- 1) อบถ้วยอลูมิเนียมในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น และนำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
- 2) ชั่งตัวอย่าง 2 กรัม ใส่ลงในถ้วยอลูมิเนียมที่อบแห้ง และบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
- 3) นำถ้วยอลูมิเนียมที่บรรจุตัวอย่างเข้าอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง นำเอามาใส่โถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
- 4) จดน้ำหนักถ้วยอลูมิเนียมพร้อมตัวอย่าง และคำนวณตามสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = [(a-b)/w] \times 100$$

เมื่อ a คือ น้ำหนักถ้วยอลูมิเนียมและตัวอย่างก่อนอบ
 b คือ น้ำหนักถ้วยอลูมิเนียมและตัวอย่างหลังอบ
 w คือ น้ำหนักตัวอย่าง

3.3.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า

- 1) เเผ่ด้วยกระบี่เบี่ยงเคลือบในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง นำออกจากเตาเผาเก็บไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนักและบันทึกผล
- 2) ชั่งตัวอย่างอย่างละเอียดประมาณ 2 กรัม ลงในถ้วยกระบี่เบี่ยงเคลือบ และนำไปเผาบนเตาไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จนไม่เหลือสารประกอบคาร์บอน
- 3) นำออกจากเตาเผา เก็บในโถดูดความชื้น ทำให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนักและบันทึกผล คำนวณหาปริมาณเถ้าจากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์เถ้า} = [(b-a)/w] \times 100$$

เมื่อ a คือ น้ำหนักถ้วยกระบี่เบี่ยงเคลือบก่อนเผา

b คือ น้ำหนักถ้วยกระบี่เบี่ยงเคลือบและตัวอย่างหลังเผา

w คือ น้ำหนักตัวอย่าง

3.3.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

ขั้นตอนการย่อย

- 1) ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนัก 2 กรัม ใส่ลงในหลอดย่อยโปรตีน
- 2) ใส่สารผสมระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟตและ โพแทสเซียมซัลเฟต ปริมาณ 7 กรัม
- 3) เติมกรดซัลฟูริกปริมาณ 20 มิลลิลิตร
- 4) วางหลอดย่อยในเครื่องย่อย
- 5) เปิดสวิทช์เครื่องคักจับไอกรดและเตาย่อย ตั้งอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส 30 นาที
- 6) จากนั้นปรับเพิ่มอุณหภูมิเป็น 400 องศาเซลเซียส ย่อยต่ออีก 60 นาที จนได้สารละลายใส และปล่อยให้เย็น

ขั้นตอนการกลั่นและไตเตรท

- 1) จัดอุปกรณ์กลั่น แล้วเปิดสวิทช์ให้ความร้อน และเปิดน้ำหล่อเย็นเครื่องควบแน่น
- 2) นำขวครูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุกรดบอริก ปริมาตร 15 มิลลิลิตร เติมอินดิเคเตอร์แล้วไปรองรับของเหลวที่กลั่นได้ โดยให้ส่วนปลายของอุปกรณ์ควบแน่นจุ่มลงในสารละลายกรดบอริก
- 3) เติมน้ำกลั่นลงในหลอดย่อย 20 มิลลิลิตร จากนั้นนำเข้าเครื่องกลั่นเดิม โซเดียมไฮดรอกไซด์ ให้ทำปฏิกิริยาจนให้สารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลขุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ไตเตรทสารละลายที่กลั่นได้ด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 0.1 N จนเปลี่ยนเป็นสีชมพู และคำนวณหาปริมาณ โปรตีนจากสูตร

$$\text{ปริมาณโปรตีน (เปอร์เซ็นต์)} = [1.4 \times (v_2 - v_1) \times N \times 6.25] / w$$

เมื่อ v_1 คือ ปริมาณกรดที่ใช้ไตเตรทกับแบลงค์ (มิลลิลิตร)

v_2 คือ ปริมาณกรดที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของกรด (HCl)

6.25 คือ แฟกเตอร์

w คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

3.3.2.4 การวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน

1) อบขวดก้นกลมสำหรับการหาปริมาณไขมัน ซึ่งมีขนาดความจุ 250 มิลลิลิตร ในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นใน โถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

2) ชั่งตัวอย่างน้ำหนัก 2 กรัม ลงในถุง Fiber bag ห่อให้มิดชิด ใส่ลงในหลอดสำหรับใส่ตัวอย่าง

3) นำหลอดตัวอย่างใส่ลงใน Soxhlet เต็มสารตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ประมาณ 150 มิลลิลิตร ลงในขวดสกัดไขมันแล้ววางบนเตา

4) ประกอบอุปกรณ์ชุดกลั่นไขมัน พร้อมทั้งเปิดน้ำหล่ออุปกรณ์ควบแน่นและเปิดสวิตซ์ให้ความร้อน

5) ปรับความร้อนให้สารตัวทำละลายกลั่นตัวจากอุปกรณ์ควบแน่น

6) เมื่อครบ 3 ชั่วโมงแล้ว ระบายตัวทำละลายออกและนำหลอดใส่ตัวอย่างออกจาก Soxhlet และเทสารตัวทำละลายออกจาก Soxhlet

7) นำขวดสกัดไขมันไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสจนแห้งเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทิ้งให้เย็นใน โถดูดความชื้น

8) ชั่งน้ำหนักขวดก้นกลม

9) คำนวณหาปริมาณไขมันจากสูตร

$$\text{ปริมาณไขมัน (เปอร์เซ็นต์)} = [(b-a)/w] \times 100$$

เมื่อ a คือ น้ำหนักขวดตัวอย่างก่อนสกัด

b คือ น้ำหนักขวดตัวอย่างหลังสกัด

w คือ น้ำหนักตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.5 การวิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารโดยใช้วิธีการสกัดด้วยกรด-ด่าง

- 1) นำ Fiber bag ออบในตู้อบ 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แล้วนำมาใส่ในโถดูดความชื้นและชั่งน้ำหนักบันทึกผล
- 2) ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการสกัดไขมันออกและนำมาใส่ในบีกเกอร์สำหรับวิเคราะห์เยื่อใย
- 3) เติมกรดซัลฟิวริก ปริมาตร 360 มิลลิลิตร
- 4) วางบีกเกอร์ลงบนอุปกรณ์ให้ความร้อนที่ต่อกับเครื่องควบคุมและเปิดน้ำหล่อเย็นเครื่องควบคุม เปิดสวิตซ์ไฟฟ้า ต้มให้เดือดนาน 30 นาที
- 5) ล้างด้วยน้ำร้อนจนกระทั่งหมดความเป็นกรด
- 6) กากที่ได้ใส่ในบีกเกอร์ที่มีโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาตร 360 มิลลิลิตร
- 7) วางบีกเกอร์ลงบนอุปกรณ์ให้ความร้อนที่ต่อกับเครื่องควบคุมและเปิดน้ำหล่อเย็นเครื่องควบคุม เปิดสวิตซ์ไฟฟ้า ต้มให้เดือดนาน 30 นาที
- 8) ล้างด้วยน้ำร้อนจนกระทั่งหมดความเป็นด่าง
- 9) ล้างด้วยอะซิโตน
- 10) นำ Fiber bag พร้อมกากใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบและอบในตู้อบ 105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง แล้วนำมาใส่ในโถดูดความชื้น
- 11) ชั่งน้ำหนักถ้วยกระเบื้องเคลือบ และคำนวณหาปริมาณแล้วตามสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ใยอาหาร} = \frac{[(a + d - b) - c] \times 100}{c}$$

เมื่อ

a คือ น้ำหนักถ้วยกระเบื้องเคลือบ

b คือ น้ำหนัก Fiber bag

c คือ น้ำหนักตัวอย่าง

d คือ น้ำหนัก Fiber bag และตัวอย่างหลังย่อย

e คือ น้ำหนัก Fiber bag และตัวอย่างในถ้วยกระเบื้องเคลือบหลังเผา

3.3.3 การทดลองที่ 1 การศึกษาผลของการใช้ปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลาและภาวะบรรจุต่อการเปลี่ยนแปลงสารฟีนอลิก สารแอนโทไซยานิน ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และการต้านการเกิดออกซิเดชันของไขมัน

จัดชุดการทดลองแบบ 4×2 แฟคทอเรียล ในแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (4×2 Factorial experiment in completely randomized design) โดยศึกษา 2 ปัจจัย คือ ปริมาณของปลายข้าวเหนียวดำในสูตรอาหาร 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับภาวะบรรจุโปร่งแสงและทึบแสง โดยแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และการทดลองที่ 2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส โดยแต่ละการทดลองแบ่งออกเป็น 8 ชุด ชุดละ 3 ซ้ำ ดังนี้

การทดลองที่ 1.1 การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

ชุดการทดลองที่ 1 อาหารผสมปลายข้าวเหนียวดำ 0 เปอร์เซ็นต์ เก็บในภาวะโปร่งแสง

ชุดการทดลองที่ 2 อาหารผสมปลายข้าวเหนียวดำ 0 เปอร์เซ็นต์ เก็บในภาวะทึบแสง

ชุดการทดลองที่ 3 อาหารผสมปลายข้าวเหนียวดำ 10 เปอร์เซ็นต์ เก็บในภาวะโปร่งแสง

ชุดการทดลองที่ 4 อาหารผสมปลายข้าวเหนียวดำ 10 เปอร์เซ็นต์ เก็บในภาวะทึบแสง

ชุดการทดลองที่ 5 อาหารผสมปลายข้าวเหนียวดำ 20 เปอร์เซ็นต์ เก็บในภาวะโปร่งแสง

ชุดการทดลองที่ 6 อาหารผสมปลายข้าวเหนียวดำ 20 เปอร์เซ็นต์ เก็บในภาวะทึบแสง

ชุดการทดลองที่ 7 อาหารผสมปลายข้าวเหนียวดำ 30 เปอร์เซ็นต์ เก็บในภาวะโปร่งแสง

ชุดการทดลองที่ 8 อาหารผสมปลายข้าวเหนียวดำ 30 เปอร์เซ็นต์ เก็บในภาวะทึบแสง

การทดลองที่ 1.2 การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส

จัดชุดการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 แต่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส

ภาชนะบรรจุแบบโปร่งแสงคือถุงพลาสติกใส ภาชนะบรรจุทึบแสงเป็นถุงพลาสติกเคลือบฟลอยด์ การเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียสเก็บในตู้เย็น และ 28 องศาเซลเซียส เก็บในห้องปกติ อุณหภูมิเฉลี่ย 28 องศาเซลเซียส

ทำการวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิก สารแอนโทไซยานิน ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และการต้านการเกิดออกซิเดชันของไขมันจากอาหารของทุกชุดการทดลอง เก็บผลการทดลองในสัปดาห์ที่ 0 (เริ่มต้นการทดลอง) และสัปดาห์ที่ 12 โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ ดังนี้

1) ขั้นตอนการสกัดสาร ทำตามวิธีของ Sutharut and Sudarat (2012) ใช้ตัวอย่าง 1 กรัม นำมาละลายด้วยเมทานอล 90 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 3 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายและตัวอย่างเข้ากันด้วย vortex 30 วินาที จากนั้นนำไปบ่มที่ 60 องศาเซลเซียส ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยง 10,000 rpm เวลา 10 นาที ดูดส่วนที่เป็นของเหลว

เก็บไว้ในหลอดทดลอง ทำการสกัดซ้ำอีก 2 ครั้ง หรือให้ได้สารสกัดประมาณ 10 มิลลิลิตร เก็บไว้ในที่มืดและเย็นจนกว่าจะทำการวิเคราะห์

2) การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิก โดยใช้วิธี Folin-Ciocalteu สารสกัดปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ผสมกับ 10% โซเดียมคาร์บอเนต ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร และ 10% Folin-Ciocalteu ปริมาตร 3 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายและตัวอย่างเข้ากันด้วย vortex ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที เมื่อครบกำหนดเวลานำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 760 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ โดยใช้ค่าดูดกลืนแสงที่วัดได้นำมาคำนวณกับสมการที่ได้จากการทำปฏิกิริยากับสารมาตรฐาน Gallic acid (ภาพผนวกที่ 1) ปริมาณที่ได้มีหน่วยเป็น Gallic Acid Equivalent (GAE) ต่อ 100 กรัมของน้ำหนักตัวอย่างสารสกัด (Chakuton et al., 2012)

3) การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน ตามวิธีการของ Sutharut and Sudarat (2012) โดยนำสารสกัดปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมกับโพแทสเซียมคลอไรด์บัฟเฟอร์ pH 1.0 ปริมาตร 9 มิลลิลิตร และ สารสกัดปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมกับโซเดียมอะซิเตทบัฟเฟอร์ pH 4.5 ปริมาตร 9 มิลลิลิตร จากนั้นทิ้งไว้ 15 นาที และนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 510 และ 700 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทำตัวอย่างละ 3 ซ้ำ จากนั้นนำค่าดูดกลืนแสงที่วัดได้นำมาคำนวณ ดังนี้

$$A = (A_{510} - A_{700})_{\text{pH 1.0}} - (A_{510} - A_{700})_{\text{pH 4.5}}$$

$$\text{ปริมาณแอนโทไซยานิน (mg/L)} = (A \times \text{MW} \times \text{DF} \times 1,000) / (\epsilon \times 1)$$

เมื่อ MW = molecular weight of cyanidin-3-glucoside 449.2

DF = ปริมาตรที่เจือจาง

ϵ = molar absorptivity = 26,900

และปรับให้เป็น mg/g

4) การทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging capacity) คัดแปลงจากวิธีของ Brand-Williams., (1995) โดยนำสารสกัด 1 มิลลิลิตร และสำหรับชุดควบคุมใช้เป็นน้ำกลั่น นำไปผสมกับสารละลาย DPPH ใน เมทานอล (0.1 มิลลิโมลาร์) ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร แล้วนำไปเขย่าให้สารละลายและตัวอย่างเข้ากันด้วย vortex ในที่มืดเป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร แล้วนำมาคำนวณหาความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระของสารสกัด

$$\text{การยับยั้งอนุมูลอิสระ (\%)} = \frac{(\text{ค่าดูดกลืนแสงหลอดควบคุม} - \text{ค่าดูดกลืนแสงหลอดตัวอย่าง}) \times 100}{\text{ค่าดูดกลืนแสงของหลอดควบคุม}}$$

5) การตรวจสอบการเกิดออกซิเดชันของไขมัน (TBARs assay) ทำตามวิธีการของ Hodges et al. (1999) เริ่มจากเตรียมสารละลายมาตรฐาน TBA โดยชั่งสาร TBA 0.5766 มิลลิกรัม ละลายใน กรดอะซิติก ปริมาตร 100 มิลลิลิตร และเตรียมสารละลายมาตรฐาน MDA 1 มิลลิโมล โดยชั่ง MDA 31.35 มิลลิกรัม ละลายในตัวทำละลายกรดอะซิติก 100 มิลลิลิตร จากนั้นเตรียม สารละลาย MDA ให้มีความเข้มข้นที่แตกต่างกันคือ 0.1, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 มิลลิโมล และ Calibration curve จากการวัดค่าดูดกลืนแสง (ภาพผนวกที่ 2) ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ของตัวอย่าง ใส่ใน หลอดทดลองและใส่กรดอะซิติก 50% ปริมาตร 9 มิลลิลิตร และ BHT 0.01% 1 มิลลิลิตร เพื่อ ป้องกันการออกซิเดชันของตัวกลาง เขย่ารวมกันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปกรองด้วยกระดาษ กรอง จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงแล้วนำส่วนใสมาทำการวิเคราะห์ TBARs โดยใช้ตัวอย่างสารสกัด 1 มิลลิลิตร ใส่สารละลายมาตรฐาน MDA 1 มิลลิโมล สารละลาย TBA 1 มิลลิโมล แล้วนำไปใส่อ่าง ควบคุมอุณหภูมิที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้ว นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer คำนวณ โดย ใช้สูตร ดังนี้

$$\text{TBARs } (\mu\text{M/g}) = (\text{Ac} \times \text{V}) / \text{W}$$

เมื่อ

Ac คือ ค่าที่คำนวณจากกราฟมาตรฐาน

V คือ ปริมาตรทั้งหมดของสารที่ทดลอง

W คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น

3.3.4 การทดลองที่ 2 การประเมินประสิทธิภาพของอาหารต่อการเจริญเติบโตของปลา และคุณภาพเนื้อปลานิลที่ได้รับอาหารทดลอง 10 สัปดาห์

3.3.4.1 การศึกษาผลของอาหารผสมปลายข้าวเหนียวดำต่อการเจริญเติบโตของปลานิล

จัดชุดการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design; CRD) แบ่งการ ทดลองออกเป็น 4 ชุดการทดลอง ชุดละ 4 ซ้ำ ได้แก่

ชุดการทดลองที่ 1 อาหารผสมปลายข้าวเหนียวดำ 0 เปอร์เซ็นต์ (ชุดควบคุม)

ชุดการทดลองที่ 2 อาหารผสมปลายข้าวเหนียวดำ 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักอาหาร

ชุดการทดลองที่ 3 อาหารผสมปลายข้าวเหนียวดำ 20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักอาหาร

ชุดการทดลองที่ 4 อาหารผสมปลายข้าวเหนียวดำ 30 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักอาหาร

1) การเตรียมอาหารทดลอง ตามวิธีการในข้อ 3.3.1

2) การเตรียมระบบการเลี้ยง โดยใช้ปลานิลอายุ 1 เดือน จำนวน 500 ตัว ถูกปรับสภาพ

ให้ชินกับสถานที่ทดลองและฝึกให้กินอาหารชุดควบคุม เป็นเวลา 14 วัน เมื่อครบกำหนดนำปลา

ซึ่งน้ำหนักและวัดความยาว สุ่มแบ่งปลาใส่ถึงทดลองที่เตรียมไว้ถึงละ 20 ตัว จำนวน 16 ถึง (4 ชุด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง 4 ซ้ำ) ทำการเลี้ยงในถังพลาสติกความจุน้ำปริมาตร 160 ลิตร มีระบบหมุนเวียนโดยผ่านใยกรอง โดยให้อาหารทดลองสูตรจันอิม ตามแผนการทดลองที่กำหนดไว้ วันละ 2 มื้อ เวลา 09.00 น. และ 16.00 น. จนครบ 10 สัปดาห์

3) การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลด้านการเจริญเติบโต ดังนี้

สุ่มเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของปลาโดยชั่งน้ำหนักและนับจำนวนปลาทุก 2 สัปดาห์ ทำการชั่งน้ำหนักรวม และสุ่มปลาในหน่วยทดลอง หน่วยละ 3 ตัว ทำการชั่งน้ำหนักและวัดความยาว และจดบันทึกข้อมูล เพื่อนำไปคำนวณผลการเจริญเติบโต

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (%/วัน)

$$= 100 \times (\ln \text{ น้ำหนักสุดท้าย (กรัม)} - \ln \text{ น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)}) / \text{ระยะเวลาทดลอง (วัน)}$$

อัตราการรอด (%)

$$= (\text{จำนวนปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} / \text{จำนวนปลาเมื่อเริ่มการทดลอง}) \times 100$$

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก

$$= \text{ปริมาณอาหารที่ปลากิน (กรัม)} / \text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม)}$$

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กรัม)

$$= \text{น้ำหนักปลาสิ้นสุดการทดลอง (กรัม)} - \text{น้ำหนักปลาเริ่มการทดลอง (กรัม)}$$

เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเครื่องในต่อน้ำหนักตัว (%)

$$= (\text{น้ำหนักเครื่องใน (กรัม)} / \text{น้ำหนักปลา (กรัม)}) \times 100$$

เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตับต่อน้ำหนักตัว (%)

$$= (\text{น้ำหนักตับปลา (กรัม)} / \text{น้ำหนักปลา (กรัม)}) \times 100$$

ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและน้ำหนัก

$$= (\text{น้ำหนัก (กรัม)} / \text{ความยาว}^3 (\text{เซนติเมตร})) \times 100$$

3.3.4.2 การศึกษาผลของอาหารผสมปลายข้าวเหนียวค่าต่อค่าโลหิตวิทยาปลาชนิด

เมื่อสิ้นสุดการทดลองการให้อาหารที่ 10 สัปดาห์ สุ่มปลานิลหน่วยทดลองละ 3 ตัว สลบปลาด้วย quinaldine โดยการชั่งน้ำหนักปลา และวัดความยาว จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างเครื่องใน และชั่งน้ำหนักเครื่องใน แยกส่วนของตับออกและชั่งน้ำหนักตับ เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและน้ำหนัก เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเครื่องในต่อน้ำหนักตัวทั้งหมด และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตับต่อน้ำหนักตัวทั้งหมด และทำการเก็บตัวอย่างเลือดปลาวิเคราะห์ค่าโลหิต

วิทยา ตามวิธีการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) สลบปลาด้วย quinaldine ทำการเก็บตัวอย่างเลือดปลาทันทีเมื่อปลานิ่งด้วยวิธีการดูดเลือดจากคอดหาง (caudal blood vessel puncture) โดยเคลือบ heparin ในกระบอกฉีดยาเพื่อป้องกันการแข็งตัวของเลือด จากนั้นแบ่งเลือดปลาใส่ microhaematocrit tube และแบ่งเลือดเก็บใน Eppendorf นำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ค่าโลหิตวิทยา ได้แก่ ค่าเปอร์เซ็นต์ฮีมาโตคริต ค่าฮีโมโกลบิน ปริมาณเม็ดเลือดแดง และเม็ดเลือดขาว

2) การวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์ฮีมาโตคริต นำตัวอย่างเลือดใส่ใน microhaematocrit tube อดปลายด้านหนึ่งด้วยดินน้ำมันขาว นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แล้วทำการคำนวณค่าออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ ตามวิธีการของ Vázquez and Guerrero (2007) ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ฮีมาโตคริต} = \frac{(\text{ความยาวชั้นเม็ดเลือดแดงใน microhaematocrit tube} \times 100)}{\text{ความยาวของเลือดทั้งหมดใน microhaematocrit tube}}$$

3) การวิเคราะห์ค่าฮีโมโกลบินของเลือดปลาด้วยวิธี Cyanmethemoglobin method โดยใช้ methemoglobin ที่เป็นสารประกอบสีแดงเสถียร วิธีการวิเคราะห์เริ่มจากหยดเลือดตัวอย่างปริมาณ 20 μl ลงในหลอดที่บรรจุ Drabkin's solution 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันดีแล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยใช้ Drabkin's solution เป็น blank การคำนวณความเข้มข้นของค่าฮีโมโกลบินในหน่วยกรัมต่อเดซิลิตร โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของฮีโมโกลบินมาตรฐาน (human haemoglobin)

4) การวิเคราะห์ปริมาณเม็ดเลือดแดง (red blood cell count) และปริมาณเม็ดเลือดขาว (white blood cell count) นำเลือด 10 ไมโครลิตรใส่ในหลอด Eppendorf ที่บรรจุสารละลาย Dacie's ปริมาตร 990 ไมโครลิตร จะได้เลือดที่มีความเจือจางเท่ากับ 1:100 พลิกหลอดไปมาเบา ๆ จากนั้นนำ Microhaematocrit tube จุ่มใน Eppendorf และนำส่วนปลายด้านล่างมาแตะระหว่าง Haemocytometer และ Cover glass ของเหลวจะไหลเข้าไป จากนั้นนำไปส่องใต้กล้องจุลทรรศน์ โดยใช้กำลังขยายต่ำ การนับเม็ดเลือดแดงให้หาตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัสตรงกลางที่มี 25 ช่อง จากนั้นนับจำนวนเม็ดเลือดแดงใน 5 ช่อง ส่วนการนับเม็ดเลือดขาว นับเฉพาะสี่เหลี่ยมจัตุรัสใหญ่ที่ตำแหน่งมุมทั้ง 4 แล้วนำไปคำนวณตามสูตร ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จำนวนเม็ดเลือดแดง} &= \text{จำนวนที่นับได้ 5 ช่อง} \times 5 \times 10 \times 100 \\ &= \text{_____} \times 10^6 \text{ cell / mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จำนวนเม็ดเลือดขาว} &= \text{จำนวนที่นับได้ 16 ช่อง} \times 10 \times 100 \\ &= \text{_____} \times 10^4 \text{ cell / mm}^3 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4.3 การศึกษาผลของอาหารที่ผสมปลายข้าวเหนียวต่อคุณภาพเนื้อปลา

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง หลังจากทำการเก็บผลการเจริญเติบโต ทำการเก็บตัวอย่างเนื้อปลาหน่วยการทดลองละ 1 ตัว (ปลาที่ได้รับอาหารทดลอง 4 สูตร 4 ซ้ำ) ทำการสลับปลาด้วย quinaldine และเก็บตัวอย่างเนื้อปลา เพื่อนำไปวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า วิธีการทดลองตามหัวข้อที่ 3.3.2 (AOAC, 1990) และตรวจสอบการเกิดออกซิเดชันของไขมันในเนื้อปลา ตามหัวข้อที่ 3.3.3.5 (Hodges et al. 1999)

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของชุดการทดลองทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ด้วยวิธี Duncan's multiple range test จากโปรแกรมสำเร็จรูป

3.5 สถานที่ทำการวิจัย

ดำเนินการทดลอง ณ โรงเรียนเพาะเลี้ยงปลาสวยงาม และห้องปฏิบัติการอาหารเจ้าคุณทหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.6 ระยะเวลาในการทำการวิจัย

เดือนมกราคม 2562 – เดือนมิถุนายน 2563

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของอาหารปลาที่มีปริมาณปลาข้าวเหนียวดำ 0 – 30 เปอร์เซ็นต์

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาได้แก่ ความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน และเยื่อใย ของอาหารทดลอง 4 สูตรที่มีปริมาณปลาข้าวเหนียวดำต่างกัน คือ 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของสูตรอาหาร พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยอาหารสูตรที่มีปริมาณปลาข้าวเหนียวดำ 30 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นน้อยที่สุด ($1.48 \pm 0.01\%$) เมื่อเทียบกับอาหารสูตรอื่น ปริมาณเถ้าในอาหารทุกชุดการทดลองอยู่ที่ 14.06-14.43 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ปริมาณโปรตีนในอาหารทุกชุดการทดลองถูกกำหนดให้มีปริมาณเท่ากับ 30 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไขมันในอาหารทุกชุดการทดลองอยู่ที่ 8.27-9.62 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเยื่อใยในอาหารทุกชุดการทดลองอยู่ที่ 0.74-1.09 เปอร์เซ็นต์ และคาร์โบไฮเดรตในอาหารอยู่ที่ 42.56-44.29 เปอร์เซ็นต์ หากพิจารณาอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรพบว่าปริมาณของ เถ้า โปรตีน ไขมัน เยื่อใยและคาร์โบไฮเดรต ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่สูตรอาหารที่มีการใช้ปลาข้าวเหนียวดำทำให้ปริมาณสารแอนโทไซยานินมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยอาหารสูตรที่มีปริมาณปลาข้าวเหนียวดำ 30 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณสารแอนโทไซยานินมากที่สุดเท่ากับ 41.16 ± 0.25 mg/g ตามมาด้วยอาหารสูตรที่มีปริมาณปลาข้าวเหนียวดำ 20, 10 และ 0 เปอร์เซ็นต์ (38.66 ± 0.08 , 34.48 ± 0.08 และ 8.68 ± 1.00 mg/g ตามลำดับ) (ตารางที่ 4.1)

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางโภชนาของอาหารปลาที่มีปริมาณของปลายข้าวเหนียวดำ 0 – 30 เปอร์เซ็นต์

องค์ประกอบทางเคมี (%)	ปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ (%)			
	0 (ชุดควบคุม)	10	20	30
วัตถุแห้ง	97.58±0.02 ^d	97.23±0.03 ^c	98.29±0.16 ^b	98.52±0.01 ^a
ความชื้น	2.42±0.01 ^d	2.77±0.02 ^c	1.71±0.11 ^b	1.48±0.01 ^a
เถ้า	14.06±0.06	14.13±0.19	14.35±0.06	14.43±0.04
โปรตีน	30.22±0.28	30.64±0.12	30.59±0.55	30.29±0.38
ไขมัน	8.27±0.20	9.13±0.18	8.99±0.31	9.62±0.52
เยื่อใย	0.74±0.28	0.76±0.02	0.95±0.16	1.09±0.05
คาร์โบไฮเดรต	44.29±0.23	42.56±0.14	43.41±0.47	43.09±1.00
พลังงาน (kCal/g. diet)	3.94	3.93	3.92	3.91
สารแอนโทไซยานิน (mg/g)	8.68±1.00 ^d	34.48±0.08 ^c	38.66±0.08 ^b	41.16±0.25 ^a

ค่าเฉลี่ย±SE ที่กำกับด้วยอักษรภาษาอังกฤษต่างกันในแนวนอนหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลของการใช้ปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลาและภาวะบรรจุต่อการเปลี่ยนแปลงสารฟีนอลิก สารแอนโทไซยานิน ความสามารถต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) และการเกิดออกซิเดชันของไขมัน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

4.2.1 ผลของการใช้ปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลาและภาวะบรรจุต่อปริมาณสารฟีนอลิกเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

การทดลองใช้ปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลาที่ปริมาณ 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณสารฟีนอลิกในอาหารปลาเมื่อเริ่มการทดลอง มีปริมาณสารฟีนอลิกเท่ากับ 88.71 ± 0.85 , 102.05 ± 3.02 , 116.16 ± 3.02 และ 123.60 ± 1.63 GAE/100 กรัมสารสกัดตามลำดับ (ตารางผนวกที่ 2) หลังจากการเก็บรักษาอาหารระยะเวลา 12 สัปดาห์ ในภาวะบรรจุต่างกันคือโปร่งแสงและทึบแสง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าปริมาณปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลามีอิทธิพลต่อปริมาณสารฟีนอลิก ($P < 0.05$) โดยอาหารที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีปริมาณสารฟีนอลิกมากที่สุดเท่ากับ 83.60 ± 1.07 GAE/100 กรัมสารสกัด (ตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.1) แต่ผลของภาวะบรรจุไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณสารฟีนอลิกในอาหารปลา ($P > 0.05$) อาหารปลาที่เก็บรักษาในภาวะโปร่งแสงหรือทึบแสงพบปริมาณสารฟีนอลิกไม่แตกต่างกัน และจากการหาอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยปริมาณปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลาและภาวะบรรจุพบว่า 2 ปัจจัย ไม่มีอิทธิพลร่วมกัน (non Interaction) ซึ่งหมายถึง อาหารทดลองทั้ง 4 สูตรที่เก็บในภาวะโปร่งแสงหรือทึบแสง พบปริมาณสารฟีนอลิกไม่มีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$)

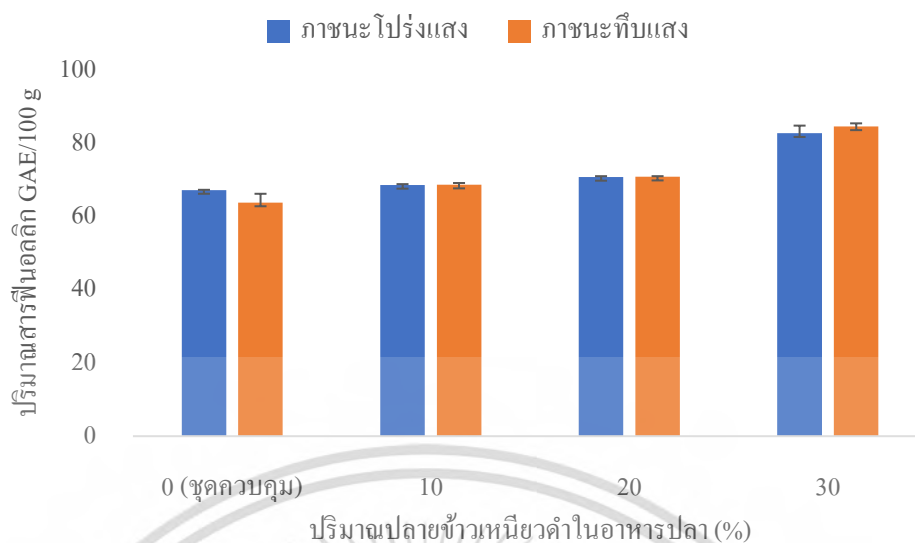
ตารางที่ 4.2 ปริมาณสารฟีนอลิก สารแอนโทไซยานิน ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) และการเกิดออกซิเดชันของไขมันจากอาหารปลาที่มีส่วนผสมของปลายข้าว เหนียวดำ 0 – 30 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 12 สัปดาห์

ปัจจัย	ชุดการทดลอง	Phenolic (GAE/100g)	Anthocyanin (mg/g)	DPPH (%)	TBARs (μ M/g)
ปลายข้าว เหนียวดำ (A)	0 %	65.46 \pm 1.39 ^d	7.47 \pm 0.23 ^d	77.31 \pm 1.15 ^d	4.66 \pm 0.18 ^d
	10 %	68.60 \pm 0.21 ^c	30.35 \pm 1.37 ^c	79.76 \pm 0.37 ^c	3.97 \pm 0.01 ^c
	20 %	70.77 \pm 0.12 ^b	33.52 \pm 0.51 ^b	80.96 \pm 0.68 ^b	3.72 \pm 0.09 ^b
	30 %	83.60 \pm 1.07 ^a	36.40 \pm 0.58 ^a	82.30 \pm 0.63 ^a	3.50 \pm 0.12 ^a
P-Value		0.00	0.00	0.00	0.00
ภาชนะบรรจุ (B)	โปร่งแสง	72.28 \pm 2.35	25.86 \pm 4.23 ^b	78.96 \pm 0.84 ^b	4.13 \pm 0.19 ^b
	ทึบแสง	71.93 \pm 2.95	28.01 \pm 4.44 ^a	81.21 \pm 0.62 ^a	3.80 \pm 0.15 ^a
P-Value		0.69	0.00	0.00	0.00
A \times B	0 % \times โปร่งแสง	67.16 \pm 0.08	7.10 \pm 0.08 ^c	75.36 \pm 0.09	4.96 \pm 0.03 ^c
	0 % \times ทึบแสง	63.75 \pm 2.40	7.85 \pm 0.17 ^c	79.27 \pm 0.44	4.36 \pm 0.1 ^d
	10 % \times โปร่งแสง	68.56 \pm 0.23	28.05 \pm 0.83 ^d	79.18 \pm 0.36	3.98 \pm 0.02 ^c
	10 % \times ทึบแสง	68.64 \pm 0.47	32.65 \pm 0.08 ^c	80.34 \pm 0.09	3.96 \pm 0.01 ^c
	20 % \times โปร่งแสง	70.73 \pm 0.23	32.65 \pm 0.08 ^c	80.07 \pm 0.18	3.87 \pm 0.01 ^c
	20 % \times ทึบแสง	70.81 \pm 0.16	34.40 \pm 0.17 ^b	81.85 \pm 1.07	3.58 \pm 0.0 ^b
	30 % \times โปร่งแสง	82.67 \pm 2.09	35.65 \pm 0.92 ^b	81.23 \pm 0.27	3.70 \pm 0.0 ^b
	30 % \times ทึบแสง	84.53 \pm 0.85	37.16 \pm 0.25 ^a	83.36 \pm 0.09	3.29 \pm 0.04 ^a
P-Value		0.24	0.01	0.07	0.00

P-Value <0.05 หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่าเฉลี่ย \pm SE ที่กำกับด้วยอักษรภาษาอังกฤษต่างกันในแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

หมายเหตุ: Phenolic หมายถึง ปริมาณสารฟีนอลิก, Anthocyanin หมายถึงปริมาณสารแอนโทไซยานิน, DPPH หมายถึง ความสามารถต้านอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH assay, TBARs หมายถึง การเกิดออกซิเดชันของไขมันที่ทดสอบด้วยวิธี TBARs assay

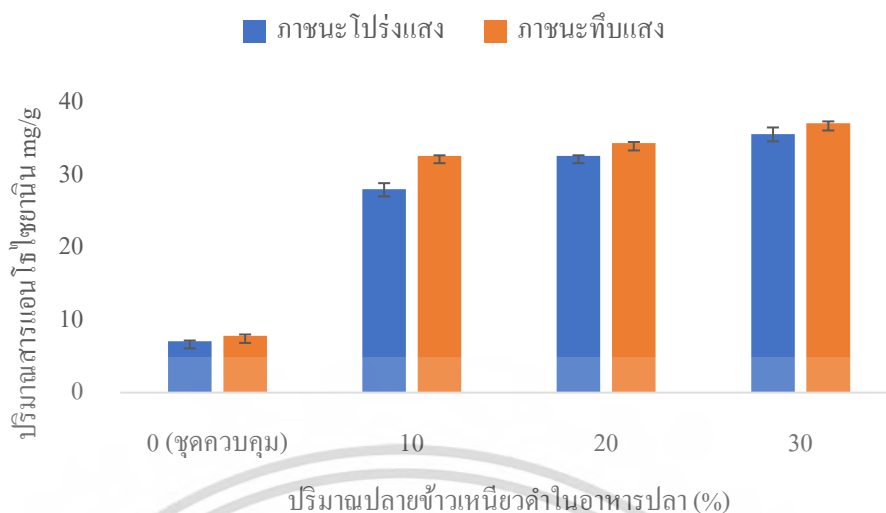


ภาพที่ 4.1 ปริมาณสารฟีนอลิกในอาหารปลาที่บรรจุในภาชนะโปร่งแสงและทึบแสงเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 12 สัปดาห์

4.2.2 ผลของการใช้ปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลาและภาวะบรรจุต่อปริมาณสารแอนโทไซยานิน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 12 สัปดาห์

การทดลองใช้ปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลาที่ปริมาณ 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณสารแอนโทไซยานินในอาหารปลาเมื่อเริ่มต้นการทดลอง พบว่ามีปริมาณสารแอนโทไซยานินเท่ากับ 8.68 ± 1.00 , 34.48 ± 0.08 , 38.66 ± 0.08 และ 41.16 ± 0.25 mg/g ตามลำดับ (ตารางผนวกที่ 2) หลังจากการเก็บรักษาอาหารนาน 12 สัปดาห์ ในภาวะบรรจุต่างกันคือโปร่งแสงและทึบแสงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าปริมาณปลายข้าวเหนียวดำในสูตรอาหารมีอิทธิพลต่อปริมาณสารแอนโทไซยานิน ($P < 0.05$) สูตรอาหารที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 30 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณสารแอนโทไซยานินมากที่สุดเท่ากับ 36.40 ± 0.58 mg/g (ตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.2) และผลของภาวะบรรจุมีอิทธิพลต่อปริมาณสารแอนโทไซยานิน ($P < 0.05$) อาหารปลาที่เก็บในภาชนะทึบแสงพบปริมาณสารแอนโทไซยานินมากกว่าอาหารที่เก็บในภาชนะโปร่งแสง และจากการหาอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยปริมาณปลายข้าวเหนียวดำในอาหารและภาวะบรรจุ พบว่า 2 ปัจจัย มีอิทธิพลร่วมกัน (Interaction) โดยอาหารสูตรปลายข้าวเหนียวดำ 30 เปอร์เซ็นต์ ที่เก็บในภาชนะทึบแสงมีปริมาณสารแอนโทไซยานินมากที่สุด ($P < 0.05$) มีปริมาณเท่ากับ 37.16 ± 0.25 mg/g

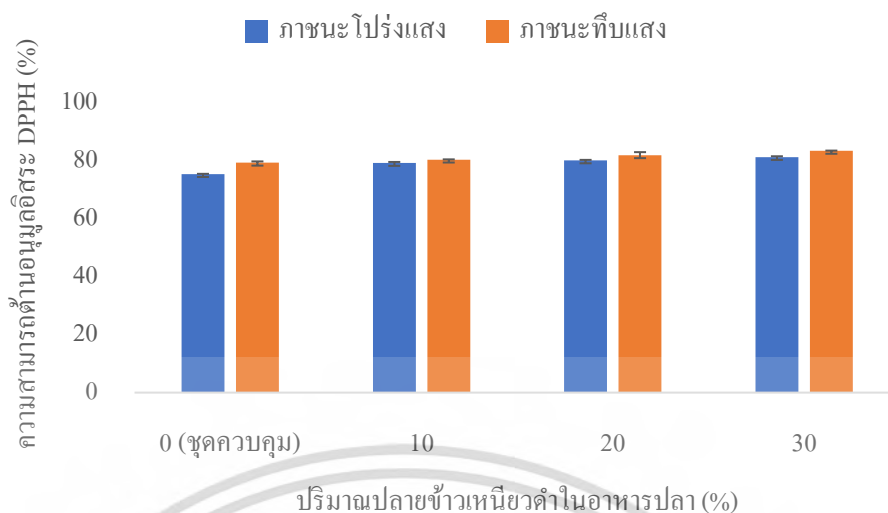
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.2 ปริมาณสารแอนไซไซยานินในอาหารปลาที่บรรจุในภาชนะโปร่งแสงและทึบแสง เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 12 สัปดาห์

4.2.3 ผลของการใช้ปลาข้าวเหนียวดำในอาหารปลาและภาชนะบรรจุต่อความสามารถต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

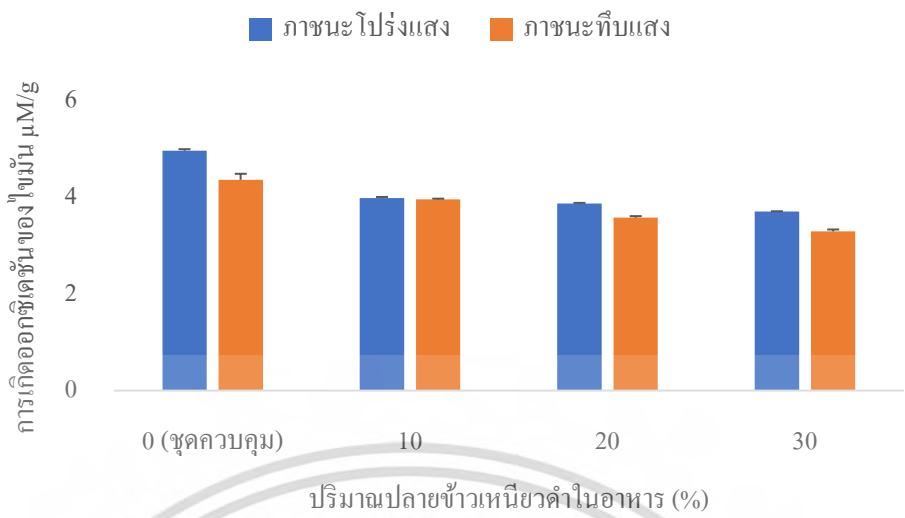
การทดลองใช้ปลาข้าวเหนียวดำในอาหารปลาที่ปริมาณ 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเมื่อเริ่มต้นการทดลองเท่ากับ 83.19 ± 0.16 , 86.74 ± 0.42 , 87.33 ± 0.37 และ 87.86 ± 0.16 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางผนวกที่ 2) หลังจากเก็บรักษาอาหารนาน 12 สัปดาห์ ในภาชนะบรรจุต่างกันคือโปร่งแสงและทึบแสง ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าปริมาณปลาข้าวเหนียวดำในสูตรอาหารมีอิทธิพลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในอาหารปลา ($P < 0.05$) โดยอาหารสูตรปลาข้าวเหนียวดำ 30 เปอร์เซ็นต์ พบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุดเท่ากับ 82.30 ± 0.63 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.3) ผลของภาชนะบรรจุมีอิทธิพลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ อาหารที่เก็บในภาชนะทึบแสงมีเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในอาหารปลามากกว่าอาหารที่เก็บในภาชนะโปร่งแสงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และจากการหาอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยปริมาณปลาข้าวเหนียวดำในอาหารปลาและภาชนะบรรจุ พบว่า 2 ปัจจัย ไม่มีอิทธิพลร่วมกัน หมายถึงอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรที่เก็บในภาชนะโปร่งแสงหรือทึบแสง พบเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระไม่มีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$)



ภาพที่ 4.3 ความสามารถต้านอนุมูลอิสระในอาหารปลาที่เก็บในภาชนะโปร่งแสงและทึบแสง เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 12 สัปดาห์

4.2.4 ผลของการใช้ปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลาและภาชนะบรรจุต่อการเกิดออกซิเดชันของไขมัน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

การทดลองใช้ปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลาที่ปริมาณ 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการเกิดออกซิเดชันของไขมันในอาหารปลาเมื่อเริ่มการทดลองไม่แตกต่างกัน มีปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์อยู่ในช่วง 1.13–1.18 $\mu\text{M/g}$ (ตารางผนวกที่ 2) หลังจากการเก็บรักษาอาหารนาน 12 สัปดาห์ ในภาชนะบรรจุต่างกันคือ โปร่งแสงและทึบแสงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าปริมาณปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลามีอิทธิพลต่อการเกิดออกซิเดชันของไขมันในอาหารปลา ($P < 0.05$) โดยอาหารปลาที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ พบการเกิด ออกซิเดชันของไขมันน้อยกว่าอาหารชุดควบคุมที่ไม่มีส่วนผสมของปลายข้าวเหนียวดำ (ตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.4) ผลของภาชนะบรรจุมีอิทธิพลต่อการเกิดออกซิเดชันของไขมันในอาหารปลา ($P < 0.05$) โดยที่การเก็บอาหารในภาชนะทึบแสงช่วยให้การเกิดออกซิเดชันของไขมันในอาหารปลาน้อยกว่าการเก็บอาหารในภาชนะ โปร่งแสง และจากการหาอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย ปริมาณปลายข้าวเหนียวดำในอาหารและภาชนะบรรจุพบว่า 2 ปัจจัย มีอิทธิพลร่วมกัน โดยอาหาร สูตรปลายข้าวเหนียวดำ 30 เปอร์เซ็นต์ ที่เก็บในภาชนะทึบแสงมีการเกิดออกซิเดชันของไขมันน้อยที่สุด ($P < 0.05$) เท่ากับ $3.29 \pm 0.04 \mu\text{M/g}$



ภาพที่ 4.4 การเกิดออกซิเดชันของไขมันในอาหารปลาที่บรรจุในภาชนะโปร่งแสงและทึบแสง เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 12 สัปดาห์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลของการใช้ปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลาและภาวะบรรจุต่อการเปลี่ยนแปลงสารฟีนอลิก สารแอนโทไซยานิน ความสามารถต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) และการเกิดออกซิเดชันของไขมัน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 12 สัปดาห์

4.3.1 ผลของการใช้ปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลาและภาวะบรรจุต่อปริมาณสารฟีนอลิกที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส

จากการทดลองใช้ปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลาที่ปริมาณ 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณสารฟีนอลิกในอาหารปลาเมื่อเริ่มการทดลองเท่ากับ 88.71 ± 0.85 , 102.05 ± 3.02 , 116.16 ± 3.02 และ 123.60 ± 1.63 GAE/100 กรัมสารสกัดตามลำดับ (ตารางผนวกที่ 2) หลังจากการเก็บรักษาอาหารนาน 12 สัปดาห์ ในภาวะบรรจุต่างกัน คือ โปร่งแสงและทึบแสงที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าปริมาณปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลามีอิทธิพลต่อปริมาณสารฟีนอลิก ($P < 0.05$) โดยอาหารที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 30 เปอร์เซ็นต์ พบค่าเฉลี่ยของสารฟีนอลิกมากที่สุดเท่ากับ 70.77 ± 0.35 GAE/100 กรัมสารสกัด (ตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.5) และผลของภาวะบรรจุไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณสารฟีนอลิกในอาหารปลา ($P > 0.05$) อาหารปลาที่เก็บรักษาในภาวะโปร่งแสงหรือทึบแสงพบปริมาณสารฟีนอลิกไม่แตกต่างกัน และจากการหาอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยปริมาณปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลาและภาวะบรรจุพบว่า 2 ปัจจัยไม่มีอิทธิพลร่วมกัน (non Interaction) ซึ่งหมายถึงอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรที่เก็บในภาวะโปร่งแสงหรือทึบแสงพบปริมาณสารฟีนอลิกไม่มีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$)

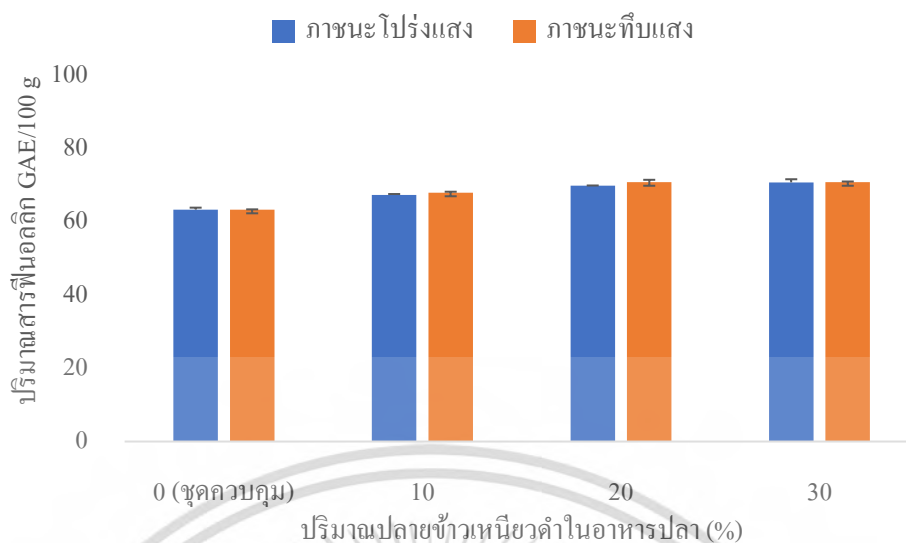
ตารางที่ 4.3 ปริมาณสารฟีนอลิก สารแอนโทไซยานิน ความสามารถต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) และการเกิดออกซิเดชันของไขมันจากอาหารปลาที่มีส่วนผสมของปลายข้าวเหนียวดำ 0 – 30 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 12 สัปดาห์

ปัจจัย	ชุดการทดลอง	Phenolic (GAE/100g)	Anthocyanin (mg/g)	DPPH (%)	TBARs (μ M/g)
ปลายข้าว เหนียวดำ (A)	0 %	63.29 \pm 0.22 ^c	4.31 \pm 1.62 ^d	74.42 \pm 1.58 ^c	4.93 \pm 0.07 ^d
	10 %	67.63 \pm 0.22 ^b	16.53 \pm 3.62 ^c	76.83 \pm 0.81 ^b	4.56 \pm 0.10 ^c
	20 %	70.30 \pm 0.39 ^a	20.16 \pm 3.79 ^b	77.36 \pm 1.02 ^b	4.33 \pm 0.05 ^b
	30 %	70.77 \pm 0.35 ^a	23.34 \pm 3.38 ^a	79.49 \pm 0.86 ^a	3.85 \pm 0.10 ^a
P-Value		0.00	0.00	0.00	0.00
ภาชนะบรรจุ (B)	โปร่งแสง	67.78 \pm 1.11	10.71 \pm 2.30 ^b	75.22 \pm 0.87 ^b	4.48 \pm 0.17
	ทึบแสง	68.21 \pm 1.17	21.37 \pm 3.27 ^a	78.83 \pm 0.54 ^a	4.35 \pm 0.13
P-Value		0.21	0.00	0.00	0.10
A \times B	0 % \times โปร่งแสง	63.29 \pm 0.54	1.34 \pm 0.33 ^h	71.71 \pm 0.53 ^c	5.00 \pm 0.05
	0 % \times ทึบแสง	63.29 \pm 0.08	6.93 \pm 0.08 ^g	77.13 \pm 0.80 ^c	4.85 \pm 0.13
	10 % \times โปร่งแสง	67.32 \pm 0.23	13.53 \pm 0.25 ^f	75.44 \pm 0.18 ^d	4.72 \pm 0.04
	10 % \times ทึบแสง	67.94 \pm 0.23	22.79 \pm 0.42 ^c	78.20 \pm 0.62 ^{ab}	4.40 \pm 0.06
	20 % \times โปร่งแสง	69.80 \pm 0.08	13.61 \pm 0.25 ^e	75.62 \pm 0.36 ^d	4.41 \pm 0.02
	20 % \times ทึบแสง	70.81 \pm 0.62	26.72 \pm 0.17 ^b	79.09 \pm 0.27 ^b	4.24 \pm 0.04
	30 % \times โปร่งแสง	70.73 \pm 0.85	17.62 \pm 1.75 ^d	78.11 \pm 0.18 ^{ab}	3.80 \pm 0.23
	30 % \times ทึบแสง	70.81 \pm 0.16	29.06 \pm 0.50 ^a	80.87 \pm 0.09 ^a	3.91 \pm 0.00
P-Value		0.64	0.00	0.03	0.26

P-Value <0.05 หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่าเฉลี่ย \pm SE ที่กำกับด้วยอักษรภาษาอังกฤษต่างกัน ในแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

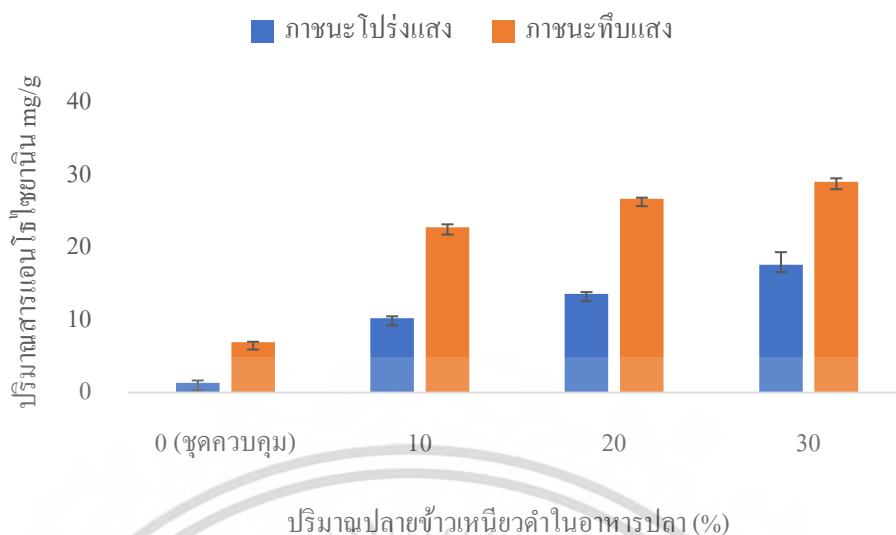
หมายเหตุ: Phenolic หมายถึง ปริมาณสารฟีนอลิก, Anthocyanin หมายถึงปริมาณสารแอนโทไซยานิน, DPPH หมายถึง ความสามารถต้านอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH assay, TBARs หมายถึง การเกิดออกซิเดชันของไขมันที่ทดสอบด้วยวิธี TBARs assay



ภาพที่ 4.5 ปริมาณสารฟีนอลิกในอาหารปลาที่บรรจุในภาชนะโปร่งแสงและทึบแสง เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 12 สัปดาห์

4.3.2 ผลของการใช้ปลาข้าวเหนียวดำในอาหารปลาและภาชนะบรรจุต่อปริมาณสารแอนโทไซยานิน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส

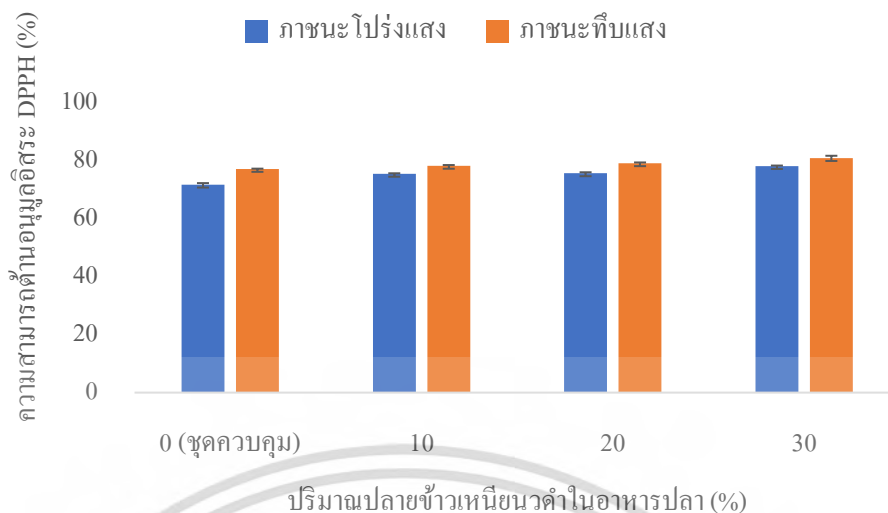
การทดลองใช้ปลาข้าวเหนียวดำในอาหารปลาที่ปริมาณ 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณสารแอนโทไซยานินในอาหารปลาเมื่อเริ่มต้นการทดลองเท่ากับ 8.68 ± 1.00 , 34.48 ± 0.08 , 38.66 ± 0.08 และ 41.16 ± 0.25 mg/g ตามลำดับ (ตารางผนวกที่ 2) หลังจากการเก็บรักษาอาหารนาน 12 สัปดาห์ ในภาชนะบรรจุต่างกันคือ โปร่งแสงและทึบแสงที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าปริมาณปลาข้าวเหนียวดำในสูตรอาหารมีอิทธิพลต่อปริมาณสารแอนโทไซยานิน ($P < 0.05$) อาหารที่มีปริมาณปลาข้าวเหนียวดำ 30 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณสารแอนโทไซยานินมากที่สุดเท่ากับ 23.34 ± 3.38 mg/g (ตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.6) และผลของภาชนะบรรจุมีอิทธิพลต่อปริมาณสารแอนโทไซยานิน ($P < 0.05$) โดยอาหารปลาที่เก็บในภาชนะทึบแสงพบว่ามีปริมาณสารแอนโทไซยานินมากกว่าอาหารที่เก็บในภาชนะโปร่งแสง และจากการหาอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยปริมาณปลาข้าวเหนียวดำในอาหารและภาชนะบรรจุ พบว่า 2 ปัจจัยมีอิทธิพลร่วมกัน (Interaction) โดยอาหารสูตรปลาข้าวเหนียวดำ 30 เปอร์เซ็นต์ ที่เก็บในภาชนะทึบแสงมีปริมาณสารแอนโทไซยานินมากที่สุด ($P < 0.05$) มีปริมาณเท่ากับ 29.06 ± 0.50 mg/g



ภาพที่ 4.6 ปริมาณสารแอนโรไซยานินในอาหารปลาที่บรรจุในภาชนะโปร่งแสงและทึบแสง เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 12 สัปดาห์

4.3.3 ผลของการใช้ปลาข้าวเหนียวดำในอาหารปลาและภาชนะบรรจุต่อความสามารถต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส

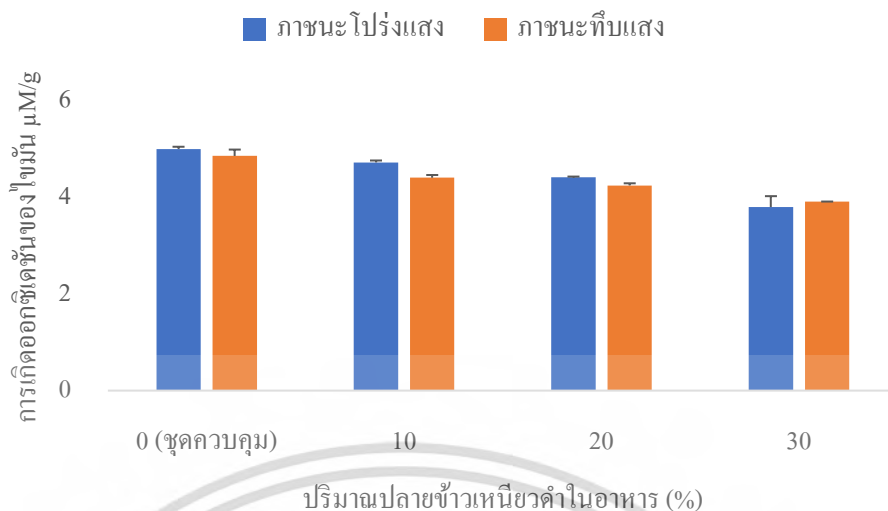
จากการทดลองใช้ปลาข้าวเหนียวดำในอาหารปลาที่ปริมาณ 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) เมื่อเริ่มต้นการทดลองเท่ากับ 83.19 ± 0.16 , 86.74 ± 0.42 , 87.33 ± 0.37 และ 87.86 ± 0.16 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางผนวกที่ 2) หลังจากเก็บรักษาอาหารนาน 12 สัปดาห์ ในภาชนะบรรจุต่างกันคือ โปร่งแสงและทึบแสงที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าปริมาณปลาข้าวเหนียวดำในสูตรอาหารมีอิทธิพลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในอาหารปลา ($P < 0.05$) โดยอาหารสูตรปลาข้าวเหนียวดำ 30 เปอร์เซ็นต์ พบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุดเท่ากับ 79.49 ± 0.86 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.7) และผลของภาชนะบรรจุมีอิทธิพลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ อาหารที่เก็บในภาชนะทึบแสงมีเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในอาหารปลามากกว่าอาหารที่เก็บในภาชนะโปร่งแสงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และจากการหาอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยปริมาณปลาข้าวเหนียวดำในอาหารปลาและภาชนะบรรจุ พบว่า 2 ปัจจัย มีอิทธิพลร่วมกัน หมายถึงอาหารสูตรปลาข้าวเหนียวดำ 30 เปอร์เซ็นต์ ที่เก็บในภาชนะทึบแสง พบเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 80.87 ± 0.09 เปอร์เซ็นต์ ($P > 0.05$)



ภาพที่ 4.7 ความสามารถด้านอนุมูลอิสระในอาหารปลาที่บรรจุในภาชนะโพร่งแสงและทึบแสง เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 12 สัปดาห์

4.3.4 ผลของการใช้ปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลาและภาชนะบรรจุต่อการเกิดออกซิเดชันของไขมัน ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส

การทดลองใช้ปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลาที่ปริมาณ 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการเกิดออกซิเดชันของไขมันในอาหารปลาเมื่อเริ่มการทดลองมีการเกิดออกซิเดชันของไขมันไม่แตกต่างกัน มีปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์อยู่ระหว่าง 1.13 – 1.18 $\mu\text{M/g}$ (ตารางผนวกที่ 2) หลังจากการเก็บรักษาอาหารนาน 12 สัปดาห์ ในภาชนะบรรจุต่างกันคือ โพร่งแสงและทึบแสงที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าปริมาณปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลามีอิทธิพลต่อการเกิดออกซิเดชันของไขมันในอาหารปลา ($P < 0.05$) โดยอาหารปลาที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 30 เปอร์เซ็นต์ พบการเกิดออกซิเดชันของไขมันน้อยที่สุดโดยปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ที่ตรวจวัดได้เท่ากับ $3.85 \pm 0.10 \mu\text{M/g}$ (ตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.8) และผลของภาชนะบรรจุไม่มีอิทธิพลต่อการเกิดออกซิเดชันของไขมันในอาหารปลา ($P > 0.05$) โดยที่การเก็บอาหารในภาชนะโพร่งแสงหรือทึบแสงการเกิดออกซิเดชันของไขมันในอาหารปลาไม่มีความแตกต่างกัน และจากการหาอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยปริมาณปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลาและภาชนะบรรจุ พบว่า 2 ปัจจัย ไม่มีอิทธิพลร่วมกันหมายถึงอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรที่เก็บในภาชนะ โพร่งแสงหรือทึบแสง พบการเกิดออกซิเดชันของไขมันในอาหารปลาไม่มีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$)



ภาพที่ 4.8 การเกิดออกซิเดชันของไขมันในอาหารปลาที่บรรจุในภาชนะโปร่งแสงและเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 12 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสูตรอาหาร ปริมาณสารฟีนอลิก ปริมาณสารแอนโทไซยานิน ความสามารถต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) และการเกิดออกซิเดชันของไขมันในอาหารปลา

การหาความสัมพันธ์ระหว่างสูตรอาหาร ทั้ง 4 สูตร ที่ใช้ปริมาณปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลาที่ 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ เก็บรักษาในภาชนะบรรจุต่างกันคือภาชนะบรรจุโปร่งแสงและทึบแสง ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์ ต่อปริมาณสารฟีนอลิก สารแอนโทไซยานิน สารต้านอนุมูลอิสระ และการเกิดออกซิเดชันของไขมัน จากตารางที่ 4.4 ผลของสูตรอาหารทดลองมีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อสารฟีนอลิก สารแอนโทไซยานิน สารต้านอนุมูลอิสระ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ว่าในสูตรอาหารที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณสารฟีนอลิก ปริมาณสารแอนโทไซยานิน และความสามารถต้านอนุมูลอิสระในอาหารเพิ่มขึ้น แต่ผลของการเกิดออกซิเดชันของไขมันในอาหารปลามีความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างสูตรอาหาร ปริมาณสารฟีนอลิก ปริมาณสารแอนโทไซยานิน และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) แสดงถึงปริมาณปลายข้าวเหนียวดำในสูตรอาหารมีปริมาณสารฟีนอลิก ปริมาณสารแอนโทไซยานิน สารเหล่านี้มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ส่งผลทำให้การเกิดออกซิเดชันของไขมันในอาหารลดลง

ตารางที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างสูตรอาหาร ปริมาณสารฟีนอลิก ปริมาณสารแอนโทไซยานิน ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) และการเกิดออกซิเดชันของไขมันในอาหารปลา (n=32)

	Diet	Phenolic	Anthocyanin	DPPH	TBARs
Diet	1				
Phenolic	0.786**	1			
Anthocyanin	0.719**	0.729**	1		
DPPH	0.616**	0.645**	0.510**	1	
TBARs	-0.801**	-0.568**	-0.530**	-0.513**	1

สัญลักษณ์ ** แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$)

หมายเหตุ: Diet หมายถึง สูตรอาหารที่ใช้ปริมาณปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลาที่ 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์, Phenolic หมายถึง ปริมาณสารฟีนอลิก, Anthocyanin หมายถึงปริมาณสารแอนโทไซยานิน, DPPH หมายถึง ความสามารถต้านอนุมูลอิสระ ที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH assay, TBARs หมายถึง การเกิดออกซิเดชันของไขมันที่ทดสอบด้วยวิธี TBARs assay

4.5 การประเมินประสิทธิภาพของอาหารต่อการเจริญเติบโตของปลานิลเมื่อได้รับอาหารทดลองที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 0 – 30 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลา 10 สัปดาห์

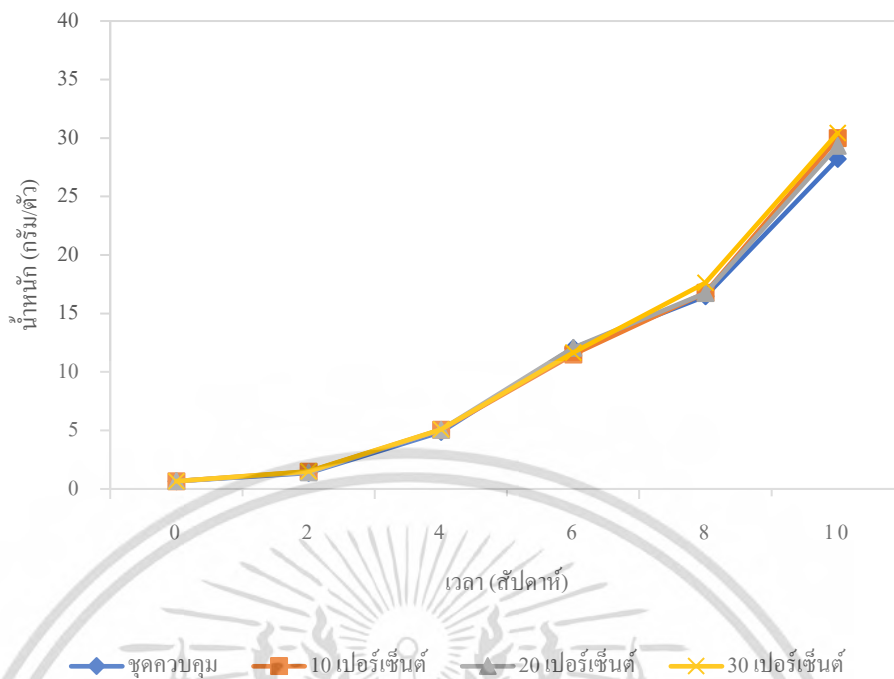
การทดลองเลี้ยงปลานิลด้วยอาหารทดลองที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำต่างกันคือ 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 10 สัปดาห์ เก็บผลการทดลองทุก 2 สัปดาห์ โดยทำการสุ่มเก็บน้ำหนักและวัดความยาวของทุกชุดการทดลอง ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักปลานิลแสดงในตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.9 เมื่อเริ่มต้นการทดลองปลานิลมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักอยู่ที่ 0.66 กรัม/ตัว น้ำหนักของปลานิลทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) สัปดาห์ที่ 2 น้ำหนักของปลานิลที่ได้รับอาหารทดลองที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำต่างกันคือ 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ปลานิลมีน้ำหนักตัวเฉลี่ยเท่ากับ 1.35 ± 0.10 , 1.47 ± 0.08 , 1.43 ± 0.11 และ 1.50 ± 0.09 กรัม/ตัว ตามลำดับ

ในช่วงสัปดาห์ที่ 4 ของการทดลอง ปลานิลที่ได้รับอาหารทดลองที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำต่างกันคือ 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยเท่ากับ 4.88 ± 0.19 , 5.05 ± 0.37 , 5.05 ± 0.36 และ 5.08 ± 0.41 กรัม/ตัว ตามลำดับ และในสัปดาห์ที่ 6 ถึง 10 ปลานิลที่ได้รับอาหารทดลองที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีแนวโน้มของน้ำหนักมากกว่าปลานิลที่ได้รับอาหารสูตรอื่น แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางที่ 4.5 น้ำหนักเฉลี่ยของปลานิล (กรัม/ตัว) ที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 0 – 30 เปอร์เซ็นต์

ระยะเวลา (สัปดาห์)	ปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ (%)			
	0 (ชุดควบคุม)	10	20	30
0	0.66 ± 0.00^a	0.98 ± 0.00^a	0.67 ± 0.00^a	0.66 ± 0.00^a
2	1.35 ± 0.10^a	1.47 ± 0.08^a	1.43 ± 0.11^a	1.50 ± 0.09^a
4	4.88 ± 0.19^a	5.05 ± 0.37^a	5.05 ± 0.36^a	5.08 ± 0.41^a
6	12.05 ± 0.54^a	11.48 ± 0.42^a	12.06 ± 0.15^a	12.91 ± 0.51^a
8	16.46 ± 0.37^a	16.77 ± 0.14^a	16.75 ± 0.31^a	17.61 ± 0.22^a
10	28.22 ± 0.42^a	29.98 ± 0.62^a	29.32 ± 0.12^a	30.43 ± 0.05^a

ค่าเฉลี่ย±SE ที่กำกับด้วยอักษรภาษาอังกฤษเหมือนกันในแนวนอนหมายถึงมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)



ภาพที่ 4.9 น้ำหนักเฉลี่ยของปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 0 – 30 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลา 10 สัปดาห์

ค่าเฉลี่ยของความยาวเมื่อเริ่มต้นการทดลองของปลานิลอยู่ที่ 3.52 – 3.54 เซนติเมตร/ตัว ความยาวของปลานิลไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ในการทดลองปลานิลได้รับอาหารทดลองที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ การเก็บผลในสัปดาห์ที่ 2-8 ความยาวของปลานิลไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ในสัปดาห์ที่ 2 ปลานิลมีความยาวเท่ากับ 4.36 ± 0.09 , 4.63 ± 0.09 , 4.56 ± 0.19 และ 4.44 ± 0.07 เซนติเมตร/ตัว ตามลำดับ สัปดาห์ที่ 4 พบว่าความยาวของปลานิลที่ได้รับอาหารทดลองเท่ากับ 6.28 ± 0.17 , 6.30 ± 0.22 , 6.08 ± 0.15 และ 5.97 ± 0.06 เซนติเมตร/ตัวตามลำดับ ต่อมาสัปดาห์ที่ 6 ปลานิลมีความยาวเท่ากับ 8.40 ± 0.12 , 8.58 ± 0.02 , 8.08 ± 0.01 และ 8.18 ± 0.06 เซนติเมตร/ตัวตามลำดับ และในสัปดาห์ที่ 8 ความยาวของปลานิลที่ได้รับอาหารชุดควบคุมเท่ากับ 11.68 ± 0.13 เซนติเมตร/ตัว ซึ่งมีความยาวมากที่สุดเมื่อเทียบกับความยาวของปลานิลที่ได้รับอาหารสูตรอื่นแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

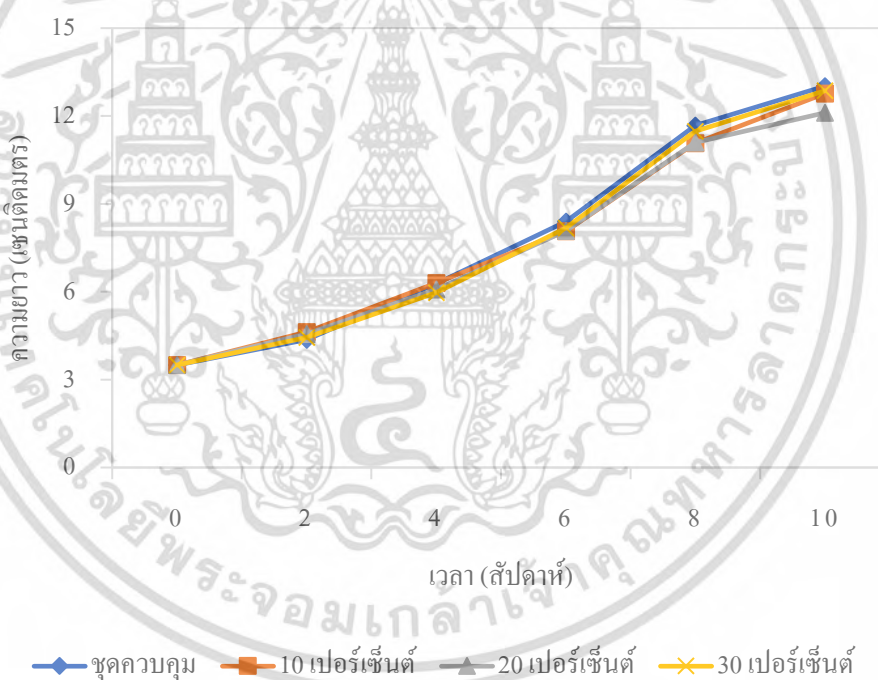
เมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 10 พบว่าความยาวของปลานิลที่ได้รับอาหารทดลองที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 0, 10 และ 30 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 13.02 ± 0.24 , 12.77 ± 0.06 และ 12.86 ± 0.37 เซนติเมตร/ตัว มีความยาวมากกว่าปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 20 เปอร์เซ็นต์ที่มีความยาวเท่ากับ 12.11 ± 0.07 เซนติเมตร/ตัว มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (แสดงในตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ความยาวเฉลี่ยของปลานิล (เซนติเมตร/ตัว) ที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียว
ต่ำ 0 – 30 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลา 10 สัปดาห์

ระยะเวลา (สัปดาห์)	ปริมาณปลายข้าวเหนียวต่ำ (%)			
	0 (ชุดควบคุม)	10	20	30
0	3.54±0.01	3.52±0.02	3.52±0.01	3.54±0.01
2	4.36±0.09	4.63±0.09	4.56±0.19	4.44±0.07
4	6.28±0.17	6.30±0.22	6.08±0.15	5.97±0.06
6	8.40±0.12	8.58±0.02	8.08±0.01	8.18±0.06
8	11.68±0.13	11.08±0.15	11.10±0.32	11.48±0.25
10	13.02±0.24 ^a	12.77±0.06 ^a	12.11±0.07 ^b	12.86±0.37 ^a

ค่าเฉลี่ย±SE ที่กำกับด้วยอักษรภาษาอังกฤษต่างกัน ในแนวอนหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)



ภาพที่ 4.10 ความยาวเฉลี่ยของปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวต่ำ 0 – 30
เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลา 10 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการเจริญเติบโตของปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีปลายข้าวเหนียวดำ 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ แสดงในตารางที่ 4.7 พบว่าน้ำหนักสุดท้ายของปลานิลเท่ากับ 28.22 ± 0.42 , 29.98 ± 0.62 , 29.32 ± 0.12 และ 30.43 ± 0.05 กรัม/ตัวตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ความยาวสุดท้ายของปลานิลพบว่าปลานิลที่ได้รับอาหารทดลองที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 0, 10 และ 30 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 13.02 ± 0.24 , 12.77 ± 0.06 และ 12.86 ± 0.37 เซนติเมตร/ตัวตามลำดับ มีความยาวมากกว่าปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 20 เปอร์เซ็นต์ที่มีความยาวเท่ากับ 12.11 ± 0.07 เซนติเมตร/ตัว มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเมื่อสิ้นสุดการทดลองของทุกชุดการทดลองเท่ากับ 27.56 ± 0.56 , 29.31 ± 0.91 , 28.66 ± 0.14 และ 29.77 ± 1.09 กรัม ตามลำดับ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของทุกชุดการทดลองเท่ากับ 5.28 ± 0.03 , 5.35 ± 0.10 , 5.33 ± 0.05 และ 5.40 ± 0.05 เปอร์เซ็นต์/วันตามลำดับ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักของทุกชุดการทดลองเท่ากับ 1.01 ± 0.02 , 1.04 ± 0.01 , 1.04 ± 0.02 และ 1.02 ± 0.03 ตามลำดับ ซึ่งผลการเจริญเติบโตดังกล่าวมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและน้ำหนัก (Condition factor) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กล่าวคือปลาที่ได้รับอาหารสูตรมีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 20 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 1.65 ± 0.02 เปอร์เซ็นต์ ตามมาด้วยปลาที่ได้รับอาหารสูตรมีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 10, 30 และชุดควบคุม (1.43 ± 0.08 , 1.44 ± 0.04 และ 1.28 ± 0.06 ตามลำดับ)

น้ำหนักอวัยวะภายในต่อน้ำหนักตัวของทุกชุดการทดลองเท่ากับ 10.88 ± 0.29 , 10.58 ± 0.19 , 10.59 ± 1.03 และ 10.21 ± 0.56 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ น้ำหนักตับต่อน้ำหนักตัวทั้งหมดของทุกชุดการทดลองเท่ากับ 2.17 ± 0.32 , 2.54 ± 0.23 , 2.53 ± 0.32 และ 2.90 ± 0.06 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และอัตราการอดอยู่ที่ 98.33 – 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากผลการเจริญเติบโตของปลานิลในภาพรวมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 4.7 ประสิทธิภาพของอาหารต่อการเจริญเติบโตของปลานิลเมื่อได้รับอาหารปลาที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 0 – 30เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลา 10 สัปดาห์

พารามิเตอร์	ปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ (%)			
	0 (ชุดควบคุม)	10	20	30
น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม/ตัว)	0.66±0.00	0.68±0.00	0.67±0.00	0.66±0.00
น้ำหนักสุดท้าย (กรัม/ตัว)	28.22±0.42	29.98±0.62	29.32±0.12	30.43±0.05
ความยาวเริ่มต้น (เซนติเมตร/ตัว)	3.54±0.01	3.52±0.02	3.52±0.01	3.54±0.01
ความยาวสุดท้าย (เซนติเมตร/ตัว)	13.02±0.24 ^a	12.77±0.06 ^a	12.11±0.07 ^b	12.86±0.37 ^a
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	27.56±0.56	29.31±0.91	28.66±0.14	29.77±1.09
SGR (เปอร์เซ็นต์/วัน)	5.28±0.03	5.35±0.10	5.33±0.05	5.40±0.05
FCR	1.01±0.02	1.04±0.01	1.04±0.02	1.02±0.03
Condition factor	1.28±0.06 ^b	1.44±0.04 ^b	1.65±0.02 ^a	1.43±0.08 ^b
VSI (%)	10.88±0.29	10.58±0.19	10.59±1.03	10.21±0.56
HSI (%)	2.17±0.32	2.54±0.23	2.53±0.32	2.90±0.06
อัตราการรอด (%)	98.33±2.89	100	100	100

ค่าเฉลี่ย±SE ที่กำกับด้วยอักษรภาษาอังกฤษต่างกันในแนวนอนหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

หมายเหตุ: SGR (Specific growth rate) หมายถึง การเจริญเติบโตจำเพาะ (เปอร์เซ็นต์/วัน); FCR หมายถึง การเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก; Condition factor หมายถึง ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและน้ำหนัก; VSI (Viscerosomatic index) หมายถึง เปอร์เซ็นต์น้ำหนักอวัยวะภายในต่อน้ำหนักตัวทั้งหมด; HIS (Hepatosomatic index) หมายถึง เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตับต่อน้ำหนักตัวทั้งหมด

4.7 การประเมินประสิทธิภาพของอาหารต่อค่าโลหิตวิทยาของปลานิลเมื่อได้รับอาหารทดลองที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำที่ 0 – 30 เปอร์เซ็นต์

ผลการวิเคราะห์ค่าโลหิตวิทยาของปลานิลที่ได้รับอาหารทดลองที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำต่างกันคือ 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลา 10 สัปดาห์ พบว่าปลานิลที่ได้รับอาหารจากปลายข้าวเหนียวดำ 30 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์ของเม็ดเลือดต่อปริมาณเลือดทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับ 40.24±0.24 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ตามมาด้วยปลานิลที่ได้รับอาหารจากปลายข้าวเหนียวดำ 20, 10 และชุดควบคุม เท่ากับ 33.32±0.97, 27.67±0.95 และ 31.67±1.67 ตามลำดับ ค่าฮีโมโกลบินของปลานิลที่ได้รับอาหารทั้ง 4 สูตร ไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) แต่แนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณปลายข้าวเหนียวดำที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ ส่วนปริมาณเม็ดเลือดแดงพบว่าอาหารสูตรที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 30 และ 20 เปอร์เซ็นต์พบปริมาณเม็ด

เลือดแดงเท่ากับ $3.61 \pm 0.01 \times 10^6$ เซลล์/มม.³ และ $3.51 \pm 0.06 \times 10^6$ เซลล์/มม.³ มากกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 10 เปอร์เซ็นต์ และอาหารชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ปริมาณเม็ดเลือดขาวพบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลายข้าวเหนียวดำ 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ พบอยู่ที่ $21.50 \pm 0.20 \times 10^4$ เซลล์/มม.³, $11.60 \pm 0.10 \times 10^4$ เซลล์/มม.³ และ $10.60 \pm 0.40 \times 10^4$ เซลล์/มม.³ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารชุดควบคุมที่มีปริมาณเม็ดเลือดขาวเท่ากับ $23.60 \pm 3.70 \times 10^4$ เซลล์/มม.³ (ตารางที่ 4.8)

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ค่าโลหิตวิทยาของปลานิลที่ได้รับอาหารปลาที่มีส่วนผสมของปลายข้าวเหนียวดำ 0 – 30 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลา 10 สัปดาห์

ค่าโลหิตวิทยา	ปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ (%)			
	0 (ชุดควบคุม)	10	20	30
Hct (%)	27.62 ± 0.95^c	31.67 ± 1.67^{bc}	33.32 ± 0.97^b	40.24 ± 0.24^a
Hemoglobin (g/dl)	14.11 ± 0.84	14.66 ± 2.92	16.47 ± 1.05	19.61 ± 0.61
RBC ($\times 10^6$ cell/ mm ³)	2.98 ± 0.02^b	3.49 ± 0.05^b	3.51 ± 0.06^a	3.61 ± 0.01^a
WBC ($\times 10^4$ cell/ mm ³)	23.60 ± 3.70^b	21.50 ± 0.20^a	11.60 ± 0.10^a	10.60 ± 0.40^a

ค่าเฉลี่ย±SE ที่กำกับด้วยอักษรภาษาอังกฤษต่างกัน ในแนวนอนหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

หมายเหตุ: Hct หมายถึง เปอร์เซ็นต์ของเม็ดเลือดต่อปริมาณเลือดทั้งหมด; Hemoglobin หมายถึง ระดับสารสีแดงในเซลล์เม็ดเลือดแดง; RBC หมายถึง เซลล์เม็ดเลือดแดง; WBC หมายถึง เซลล์เม็ดเลือดขาว

4.8 การประเมินประสิทธิภาพของเนื้อปลานิล เมื่อได้รับอาหารทดลองที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำที่ 0 – 30 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์

4.8.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของเนื้อปลา

องค์ประกอบทางโภชนาของเนื้อปลาที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณความชื้นในเนื้อปลาทุกชุดการทดลองเท่ากับ 63.19 ± 1.00 , 65.25 ± 2.98 , 64.78 ± 0.11 และ 64.11 ± 0.01 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ปริมาณเถ้าในเนื้อปลาเท่ากับ 1.27 ± 0.14 , 1.23 ± 0.07 , 1.10 ± 0.03 และ 1.51 ± 0.37 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ปริมาณโปรตีนเท่ากับ 19.10 ± 0.10 , 19.32 ± 0.29 , 19.54 ± 0.20 และ 19.84 ± 0.01 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ปริมาณไขมันเท่ากับ 16.44 ± 0.93 , 14.20 ± 2.62 , 14.60 ± 0.30 และ 14.54 ± 0.40 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ปริมาณเยื่อใยไม่สามารถตรวจสอบได้ ผลของปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน ในเนื้อปลานิลที่ได้รับอาหารทดลองมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางที่ 4.9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

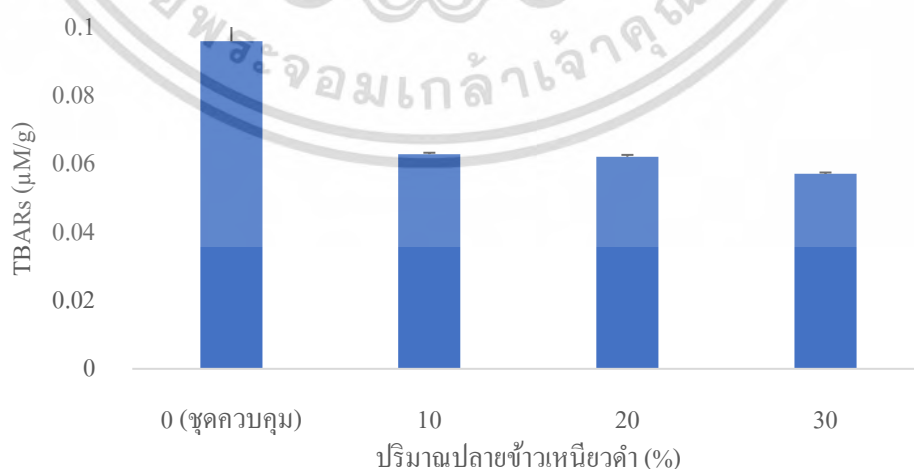
ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของเนื้อปลานิล เมื่อได้รับอาหารทดลองที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 0 – 30 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์

องค์ประกอบทางเคมี (%)	ปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ (%)			
	0 (ชุดควบคุม)	10	20	30
วัตถุแห้ง	36.81±1.00 ^a	34.75±2.98 ^a	35.22±0.11 ^a	35.89±0.11 ^a
ความชื้น	63.19±1.00 ^a	65.25±2.98 ^a	64.78±0.11 ^a	64.11±0.01 ^a
เถ้า	1.27±0.14 ^a	1.23±0.07 ^a	1.10±0.03 ^a	1.51±0.37 ^a
โปรตีน	19.10±0.10 ^a	19.32±0.29 ^a	19.54±0.20 ^a	19.84±0.01 ^a
ไขมัน	16.44±0.93 ^a	14.20±2.62 ^a	14.60±0.30 ^a	14.54±0.40 ^a

ค่าเฉลี่ย±SE ที่กำกับด้วยอักษรภาษาอังกฤษเหมือนกันในแนวนอนหมายถึงมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

4.8.2 ผลการทดสอบการเกิดออกซิเดชันของไขมันในเนื้อปลา

การเกิดออกซิเดชันของไขมันที่ถูกตรวจสอบในเนื้อปลาที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ พบว่าเนื้อปลาที่ได้รับอาหารจากปลายข้าวเหนียวดำ 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ มีการเกิดออกซิเดชันของไขมันน้อยกว่าปลาที่ได้รับอาหารชุดควบคุม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เนื้อปลาที่ได้รับอาหารสูตรปลายข้าวเหนียวดำ 30 เปอร์เซ็นต์ เกิดการออกซิเดชันของไขมันน้อยที่สุดเท่ากับ 0.57 ± 0.00 $\mu\text{M/g}$ ตามมาด้วย อาหารสูตรที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 20, 10 และ 0 เปอร์เซ็นต์ ดังนี้ 0.62 ± 0.00 , 0.63 ± 0.00 และ 0.96 ± 0.01 $\mu\text{M/g}$ ตามลำดับ (ภาพที่ 4.11)



ภาพที่ 4.11 ผลการทดสอบการเกิดออกซิเดชันของไขมันในเนื้อปลานิล เมื่อได้รับอาหารที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 0 – 30 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลา 10 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของอาหารที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 0 – 30 เปอร์เซ็นต์

จากการวิเคราะห์ผลขององค์ประกอบทางโภชนาของอาหารทดลองที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ กำหนดปริมาณโปรตีนที่ 30 เปอร์เซ็นต์ สังเกตได้ว่า แวนอัมของปริมาณถั่ว ไขมัน เยื่อใยมีการเพิ่มขึ้นตามปริมาณการใช้ปลายข้าวเหนียวดำที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจากการวิเคราะห์หัตถุคิบบ (ตารางผนวกที่ 1) พบว่าปริมาณเปอร์เซ็นต์ของถั่ว ไขมัน และเยื่อใยของปลายข้าวเหนียวดำมีมากกว่าปลายข้าวขาว การใช้ปลายข้าวเหนียวดำเพิ่มขึ้นส่งผลให้แวนอัมของปริมาณถั่ว ไขมัน และเยื่อใยมีปริมาณเพิ่มขึ้นไปด้วย แต่ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า องค์ประกอบทางโภชนาของทุกสูตรอาหารไม่มีความแตกต่างกัน ส่วนปริมาณความชื้นของอาหารทดลองวัดได้น้อยเนื่องจากไม่ได้นำอาหารที่ผลิตเสร็จทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้องทำให้อาหารดูดความชื้นเข้าไปน้อย แต่เป็นที่สังเกตว่าอาหารที่มีสัดส่วนของปลายข้าวเหนียวดำมากจะมีความชื้นต่ำ เป็นเพราะข้าวเหนียวมีคาร์โบไฮเดรตชนิดอโมไลเพกติน มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้น้อยกว่าคาร์โบไฮเดรตชนิดอโมไลส (Syahariza et al., 2013) ปริมาณแอนโทไซยานินเป็นสารที่ให้สีน้ำเงิน และสีม่วง สามารถพบในปลายข้าวเหนียวดำ การใช้ปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลาเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการตรวจพบสารแอนโทไซยานินที่เพิ่มขึ้น

5.2 ผลของการใช้ปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลาและภาวะบรรจุต่อการเปลี่ยนแปลงสารฟีนอลิก สารแอนโทไซยานิน ความสามารถต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) และการเกิดออกซิเดชันของไขมัน

5.2.1 ปริมาณสารฟีนอลิกในอาหารต่อภาวะบรรจุ

จากผลการทดสอบสารฟีนอลิกในอาหารทดลองพบว่าในสัปดาห์เริ่มต้นอาหารสูตรที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 30 เปอร์เซ็นต์ พบปริมาณสารฟีนอลิกอยู่มากที่สุด เนื่องจากในวัตถุดิบอาหารที่มีการใช้ปลายข้าวเหนียวดำเป็นส่วนผสมที่มากถึง 30 เปอร์เซ็นต์ จึงกล่าวได้ว่า ปริมาณปลายข้าวเหนียวดำที่ใช้ในสูตรอาหารปริมาณมากส่งผลให้พบปริมาณสารฟีนอลิกในอาหารอยู่มาก มีการรายงานของ Chakuton et al. (2012) ตรวจสอบปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าวพันธุ์มีสีและข้าวขาว พบว่าข้าวพันธุ์มีสีในส่วนของข้าวเต็มเมล็ดพบสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น สารฟีนอลิก และสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าข้าวพันธุ์สีขาว อาหารทดลองที่มีส่วนผสมของปลายข้าวเหนียวดำอยู่มากจึงพบปริมาณของสารฟีนอลิกมากกว่าอาหารสูตรอื่น

การทดสอบเรื่องของปัจจัยแสงเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารฟีนอลิก โดยการเก็บอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในภาชนะ โปร่งแสงและทึบแสง ทำการเปรียบเทียบกันระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง 28 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 12 สัปดาห์ จากผลการทดสอบพบว่าปัจจัยแสงไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารฟีนอลิกในอาหาร ไม่ว่าจะอาหารนั้นจะเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส หรืออุณหภูมิห้องที่ 28 องศาเซลเซียสก็ตาม

หากเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การคงอยู่ของปริมาณสารฟีนอลิกในอาหารทั้ง 4 สูตร ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง 28 องศาเซลเซียส (ตารางผนวกที่ 2) พบว่าการคงอยู่ของปริมาณสารฟีนอลิกไม่ว่าจะเก็บในภาชนะ โปร่งแสงหรือทึบแสงก็ไม่มี ความแตกต่างกัน กล่าวได้ว่าอุณหภูมิและแสงไม่มีผลต่อปริมาณสารฟีนอลิกในอาหารทดลอง แต่ระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อปริมาณสารฟีนอลิก เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณสารฟีนอลิกลดลง สอดคล้องกับรายงานของ Htwe et al. (2010) ทดสอบการเก็บรักษาข้าวเจ้าแดงและข้าวหอมนิล ซึ่งเป็นข้าวพันธุ์มีสีทั้งสองชนิด เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 เดือน พบว่าปริมาณสารฟีนอลิกในข้าวทั้งสองชนิดมีปริมาณลดลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น แต่ผลของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกันมีปริมาณสารฟีนอลิกที่พบในข้างทั้ง 2 ชนิดไม่ต่างกัน ไม่มีความแตกต่างกัน

5.2.2 ปริมาณสารแอนโฆซานินต่อภาชนะบรรจุ

สารแอนโฆซานินเป็นสารสีม่วง น้ำเงิน พบได้ในผัก ผลไม้ ในกลุ่มของธัญพืชพบได้มากในข้าวพันธุ์สีม่วงดำ มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระและด้านการเกิดออกซิเดชันในไขมัน ในสูตรอาหารทดลองใช้ปริมาณปลายข้าวเหนียวดำที่ 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดสอบสารแอนโฆซานินในอาหารทดลองพบว่าค่าเริ่มต้นของอาหารสูตรที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 30 เปอร์เซ็นต์ พบปริมาณสารแอนโฆซานินมากที่สุด เนื่องจากในข้าวพันธุ์สีดำพบสารแอนโฆซานินมากกว่าข้าวพันธุ์สีขาว เมื่อมีการใช้ปลายข้าวเหนียวดำเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าเริ่มต้นของอาหารสูตรที่ใช้ปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 30 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณสารแอนโฆซานินมากที่สุด

ผลจากการเก็บอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในภาชนะ โปร่งแสงและทึบแสง ทำการเปรียบเทียบกันระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง 28 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 12 สัปดาห์ พบว่าปลายข้าวเหนียวดำในอาหารทดลองมีผลต่อปริมาณสารแอนโฆซานิน

ส่วนการทดสอบเรื่องปัจจัยแสงพบว่าอาหารที่เก็บในภาชนะทึบแสงช่วยให้ปริมาณสารแอนโฆซานินคงอยู่มากกว่าการเก็บในภาชนะ โปร่งแสง กล่าวได้ว่าปัจจัยแสงมีผลต่อปริมาณสารแอนโฆซานิน อาหารที่มีปริมาณแอนโฆซานินคงเหลืออยู่มากที่สุดคืออาหารสูตรปลายข้าวเหนียวดำ 30 เปอร์เซ็นต์ เก็บรักษาในภาชนะบรรจุทึบแสง แต่เนื่องจากปริมาณสารเริ่มต้นของอาหารแต่ละสูตรไม่เท่ากัน จึงทำการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การคงอยู่ของปริมาณสารแอนโฆซานินในอาหารแต่ละสูตร ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง (ตารางผนวกที่ 3) พบว่าจากเปอร์เซ็นต์การคงอยู่ของสารแอนโฆซานินในอาหารทดลองปัจจัยแสงมีผลทำให้ปริมาณสารแอนโฆซานินลดลงอย่างเห็นได้ชัด แต่ที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำช่วยให้มีปริมาณสารแอนโฆซานินคงอยู่มากกว่า กล่าวคือสารแอนโฆซานินสามารถเปลี่ยนแปลงได้ง่ายจากปัจจัยหลายด้าน เช่น อุณหภูมิ แสง ออกซิเจน เป็นต้น การเก็บรักษาวัตถุดิบหรือพืชในที่มีแสงส่องถึงมากจะทำให้อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นและส่งผลให้ปริมาณแอนโฆซานินลดลงได้ง่าย (Noorlaila et al., 2018) นอกจากการเก็บรักษาแล้วในกระบวนการทำอาหารที่ต้องมีการใช้ความร้อนส่งผลให้เกิดการเสื่อมของสารแอนโฆซานินได้เช่นเดียวกัน การทดลองของพิชญอรและลดาวัลย์ (2012) ทำการทดสอบผลของการหุงต้มต่อการลดลงของสารฟีนอลิกและสารแอนโฆซานิน ในข้าวไทยพบว่าจากการใช้ความร้อนในการหุงต้มทำให้สารแอนโฆซานินในข้าวสีดำนลดลงมากถึง 70 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับข้าวขาวที่ลดลงเพียง 37 เปอร์เซ็นต์ และมีการศึกษาของ Srivastava et al. (2007) ได้ศึกษาอุณหภูมิการเก็บรักษาที่ต่างกันของสารสกัดจากบลูเบอร์รี่ที่มีผลต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ในการศึกษาเก็บรักษาสารสกัดไว้ที่อุณหภูมิ -20, 6, 23 และ 35 องศาเซลเซียส ผลการทดสอบปริมาณสารแอนโฆซานินในสารสกัดบลูเบอร์รี่เริ่มมีการลดลงหลังจากการสกัดมากถึง 29 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างกันเป็นเวลา 60 วัน พบว่าสารแอนโทไซยานินในสารสกัดบลูเบอร์รี่ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำมีสารคงอยู่มากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้อุณหภูมิแล้วระยะเวลาที่มีผลต่อการลดลงของสารแอนโทไซยานินเช่นกัน แต่การเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยให้มีปริมาณสารคงอยู่ได้มากกว่าการเก็บไว้ที่อุณหภูมิสูง จึงกล่าวได้ว่าปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ มีผลต่อปริมาณสารแอนโทไซยานินที่พบในอาหารทดลอง แสงและอุณหภูมิมีผลต่อการลดลงของสารแอนโทไซยานินในอาหาร

5.2.3 ความสามารถต้านอนุมูลอิสระต่อภาวะบรจุ

ในสูตรอาหารทดลองใช้ปริมาณปลายข้าวเหนียวดำที่ 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดสอบความสามารถต้านอนุมูลอิสระเมื่อเริ่มต้นการทดลองพบว่า ปริมาณปลายข้าวเหนียวดำในอาหารทดลองมีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่พบในอาหาร โดยอาหารสูตรปลายข้าวเหนียวดำ 30 เปอร์เซ็นต์มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้มากที่สุด ซึ่งจากผลการทดสอบนี้สอดคล้องกับสารฟีนอลิกและสารแอนโทไซยานินที่พบมากในอาหารที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 30 เปอร์เซ็นต์ จึงส่งผลให้อาหารมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้มาก ถึงแม้ว่าในอาหารชุดควบคุม (ปลายข้าวเหนียวดำ 0 เปอร์เซ็นต์) ก็พบความสามารถต้านอนุมูลอิสระอยู่ แต่พบในปริมาณน้อยกว่าอาหารที่มีการใช้ปลายข้าวเหนียวดำเนื่องจากในส่วนผสมที่เป็นวัตถุดิบอื่น เช่น ถั่วเหลืองก็มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระเช่นกัน (Malenčić et al., 2008; Sakthivelu et al., 2008).

จากการเก็บอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในภาชนะโปร่งแสงและทึบแสง ระยะเวลาทดสอบ 12 สัปดาห์ พบว่าปลายข้าวเหนียวดำในอาหารทดลองมีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ไม่ว่าจะเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส หรืออุณหภูมิห้อง 28 องศาเซลเซียสก็ตาม เนื่องจากปลายข้าวเหนียวดำที่มีสารฟีนอลิกและสารแอนโทไซยานินที่เป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ พบได้มากในข้าวพันธุ์สีมากกว่าข้าวพันธุ์สีขาว สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพดังกล่าวมีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ซึ่งกลไกการต้านอนุมูลอิสระของสารฟีนอลิกเป็นสารที่มีบทบาทสำคัญโดยมีฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย ต้านไวรัส ต้านการอักเสบและการแพ้ รวมถึงการมีคุณสมบัติในการสลายลิ่มเลือด ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวสอดคล้องกับคุณสมบัติของการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (โอภาและคณะ, 2549) ส่วนกลไกการต้านอนุมูลอิสระของสารแอนโทไซยานินคือการเข้าทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระของไฮดรอกซิล ทำหน้าที่จับกับอะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระ ส่งผลทำให้หยุดปฏิกิริยาถูกโซ่หรือลดความรุนแรงของปฏิกิริยาไว้ (Nam et al., 2006)

ผลจากการทดสอบปัจจัยแสงจากการเก็บในภาชนะบรรจุโปร่งแสงและทึบแสงพบว่า แสงมีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในอาหารปลา และเนื่องจากความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเริ่มต้นของอาหารแต่ละสูตรไม่เท่ากัน จึงทำการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การคงอยู่ของความสามารถต้านอนุมูลอิสระในอาหารแต่ละสูตรที่ 12 สัปดาห์ เปรียบเทียบกันระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง 28 องศาเซลเซียส (ตารางผนวกที่ 4) กล่าวได้ว่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ผ่านการอนุมัติฯ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงมีผลทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลง เพราะฉะนั้นควรเก็บรักษาอาหารในภาชนะทึบแสงจะช่วยให้อาหารคงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าเก็บในภาชนะโปร่งแสง นอกจากนี้หากเก็บรักษาอาหารที่อุณหภูมิต่ำก็ยังสามารถทำให้อาหารมีความสามารถต้านอนุมูลอิสระคงอยู่มากขึ้น

5.2.4 การเกิดออกซิเดชันของไขมันในอาหารทดลองต่อภาชนะบรรจุ

กระบวนการออกซิเดชันของไขมัน คือการทำปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนและไขมัน ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือส่งผลให้เกิดกลิ่นหืน ผลทดสอบการเกิดออกซิเดชันของไขมันในสัปดาห์เริ่มต้นของอาหารทั้ง 4 สูตร ไม่มีความแตกต่างกัน การเก็บอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในภาชนะโปร่งแสงและทึบแสง ระยะเวลา 12 สัปดาห์ พบว่าปลายข้าวเหนียวดำในอาหารทดลองมีผลต่อความสามารถในการต้านการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้ โดยอาหารสูตรปลายข้าวเหนียวดำ 30 เปอร์เซ็นต์สามารถต้านการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้มากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ นวลอนงค์ และคณะ (2559) ที่ทำการทดสอบสารสกัดจากข้าวไทย 12 พันธุ์ แบ่งได้เป็น 3 กลุ่มคือ พันธุ์ข้าวขาว ข้าวพันธุ์สีแดง และข้าวพันธุ์สีดำ ผลการทดสอบการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันพบว่า ข้าวพันธุ์สีดำสามารถต้านการเกิดออกซิเดชันได้มากที่สุด ตามมาด้วย ข้าวพันธุ์สีแดง และพันธุ์ข้าวขาว

การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แสงมีผลต่อการเกิดออกซิเดชันของไขมันโดยอาหารที่เก็บในภาชนะบรรจุทึบแสงมีการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้น้อยกว่าการเก็บในภาชนะโปร่งแสง ส่วนการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง 28 องศาเซลเซียส พบว่าปัจจัยแสงไม่มีผลต่อการเกิดออกซิเดชันของไขมัน ไม่ว่าจะเก็บอาหารในภาชนะโปร่งแสงหรือทึบแสงอาหารทุกชุดการทดลองก็มีการเกิดออกซิเดชันของไขมันอยู่มากไม่แตกต่างกัน กล่าวคือที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยให้ปริมาณสารสำคัญในปลายข้าวเหนียวดำคงอยู่ได้มากจึงส่งผลให้การออกฤทธิ์ต้านการเกิดออกซิเดชันของไขมันมีประสิทธิภาพมากกว่าการเก็บรักษาอาหารที่อุณหภูมิห้อง

ในอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร จำเป็นจะต้องมีแหล่งไขมันเพื่อให้อาหารมีคุณค่าทางโภชนาการที่ครบถ้วน แหล่งไขมันที่ใช้ในอาหารทดลองครั้งนี้คือน้ำมันปลา มีการใช้ที่ปริมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ เท่ากันทุกสูตรอาหาร กล่าวได้ว่าในส่วนผสมของอาหารใช้น้ำมันปลาเป็นแหล่งไขมัน ซึ่งน้ำมันปลามีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว Polyunsaturated fatty acid (PUFA) อยู่มาก ซึ่งกรดไขมันชนิดนี้มีความไวต่อการเกิดออกซิเดชันมากกว่ากรดไขมันอิ่มตัว (Yun et al., 2013) ทำให้ในอาหารที่ไม่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากปลายข้าวเหนียวดำหรือมีอยู่ในปริมาณน้อยส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาได้ง่าย สอดคล้องกับการรายงานของ Grassi et al. (2020) ได้ใช้สาหร่าย 2 ชนิด คือ *Saccharomyces cerevisiae* และ *Spirulina platensis* เป็นส่วนผสมในอาหารปลานิล ทำการเก็บรักษาในภาชนะทึบแสง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 เดือน พบว่าอาหารที่มีส่วนผสมของสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด เกิดออกซิเดชันของไขมันน้อยกว่าอาหารชุดควบคุมที่ไม่มีส่วนผสมของสาหร่าย เนื่องจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่แจ้งขออนุญาต หากมีข้อสงสัย กรุณาติดต่อผู้จัดทำเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาหร่ายมีสารพฤษเคมีกลุ่มแคโรทีนอยด์ ไฟโคไซยานิน (Phycocyanin) และวิตามินอี เป็นต้น ซึ่งสารดังกล่าวมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระและสามารถต้านการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้

เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาผ่านไปอาหารทดลองก็สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับไขมันได้ ถึงแม้ว่าการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำหรือในภาชนะบรรจุทึบแสงสามารถช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาได้แค่เบื้องต้นเท่านั้น อย่างไรก็ตามจากการทดลองสามารถกล่าวได้ว่าการใช้ปลายข้าวเหนียวดำที่ปริมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ สามารถต้านการเกิดออกซิเดชันของไขมันในอาหารได้มากที่สุด แต่การเก็บรักษาอาหารให้คงคุณสมบัติด้านการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้ควรเก็บรักษาในภาชนะบรรจุทึบแสงและที่อุณหภูมิต่ำ

5.3 การประเมินประสิทธิภาพของอาหารต่อการเจริญเติบโตของปลานิลเมื่อได้รับอาหารทดลองที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 0 – 30 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลา 10 สัปดาห์

การทดสอบการใช้อาหารทดลองที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ในปลานิลเป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ พบว่าผลการเจริญเติบโตไม่มีความแตกต่างกัน เนื่องจากในอาหารทุกสูตรมีการกำหนดปริมาณ โปรตีน และพลังงานเท่ากัน ถึงแม้ว่าในแต่ละสูตรอาหารจะได้รับวัตถุดิบปลายข้าวเหนียวดำที่ต่างกันก็ตาม ในสัตว์น้ำขนาดเล็กมีความต้องการโปรตีนมากกว่าสัตว์น้ำที่มีขนาดใหญ่ ในการกำหนดปริมาณโปรตีนในอาหารที่ 30 เปอร์เซ็นต์ของการทดลองในครั้งนี้ เป็นระดับโปรตีนที่ลูกปลาระยะอนุบาลมีความต้องการเพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ดี หากมีโปรตีนต่ำเกินไปจะส่งผลให้มีการเจริญเติบโตลดลง (Abdel-Tawwab et al., 2010) ซึ่งจากการใช้ปลายข้าวเหนียวดำในสูตรอาหารที่มีสารพฤษเคมี เช่น สารฟีนอลิกและสารแอนโทไซยานิน ให้ผลการเจริญเติบโตของปลานิลที่ดีแต่ไม่มีความแตกต่างกัน สอดคล้องกับการรายงานของ Yilmaz (2019) ทดสอบระดับของสารแอนโทไซยานินในอาหารปลานิลที่ระดับ 0, 20, 40, 80 และ 160 mg/kg. พบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองปลานิลที่ได้รับอาหารจากสารสกัดแอนโทไซยานินมีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกันกับปลาที่ไม่ได้รับสารสกัด

จากการทดสอบประสิทธิภาพของอาหารต่อการเจริญเติบโตของปลานิล พบว่าการใช้ปลายข้าวเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต ปลานิลมีการเจริญเติบโตที่ดี มีการใช้ประโยชน์จากอาหารได้สูง สอดคล้องกับการรายงานของ Rodrigues et al. (2012) ใช้แหล่งคาร์โบไฮเดรตในอาหารได้แก่ ปลายข้าว ข้าวโพด ข้าวโอ๊ต เปลือกส้ม และกากถั่วเหลือง ในอาหารปลากำหนดระดับโปรตีนเท่ากับ 30 เปอร์เซ็นต์ ทดสอบอาหารในปลาอุกกล้าพันและปลานิล พบว่าในอาหารที่ใช้ปลายข้าวและข้าวโพดบดมีผลให้ปลานิลมีการเจริญเติบโตดีกว่าปลากุกล้าพัน เนื่องจากปลานิลเป็นปลาที่กินทั้งพืชและสัตว์เป็นอาหาร มีลำไส้ยาวส่งผลให้การดูดซึมอาหารเป็นไปได้ดีกว่าปลากุกล้าพันที่เป็นปลากินเนื้อ

มีลำไส้สั้น กล่าวได้ว่าปลายข้าวเป็นอีกทางเลือกที่สามารถใช้เป็นวัตถุดิบที่เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่เหมาะสมกับการใช้ในอาหารปลา

นอกจากนั้นในปลายข้าวขาวพบแป้งชนิดอไมโลส ส่วนปลายข้าวเหนียวคือแป้งชนิดอไมโลเพกติน ปลาที่ได้รับอาหารสูตรปลายข้าวเหนียวค่า 30 เปอร์เซ็นต์ (สัดส่วนของแป้งอไมโลสน้อยกว่าแป้งอไมโลเพกติน) มีการเจริญเติบโตดีกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นเล็กน้อย กล่าวได้ว่าแป้งอไมโลเพกตินมีความสามารถย่อยได้ง่ายและดูดซึมได้เร็ว (Chen et al., 2013) จึงส่งผลให้ปลาที่ได้รับอาหารมีสัดส่วนของปลายข้าวเหนียวค่าที่มากกว่าปลายข้าวขาวมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าเล็กน้อย ถึงแม้ว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติของการเจริญเติบโตก็ตาม ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ระยะเวลาแค่ 12 สัปดาห์ แต่การเลี้ยงปลานิลเพื่อให้ขนาดจะใช้ระยะเวลาานานกว่านี้คือ 32 สัปดาห์ ถึงแม้ว่าการใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงเพียงแค่ 12 สัปดาห์ ก็สามารถเห็นแนวโน้มการเจริญเติบโตของปลาที่ได้รับอาหารที่มีส่วนผสมของปลายข้าวเหนียวค่าเป็นไปในทางที่ดีกว่าปลาที่ไม่ได้รับปลายข้าวเหนียวค่า

5.4 การประเมินประสิทธิภาพอาหารต่อค่าโลหิตวิทยาของปลานิลเมื่อได้รับอาหารทดลองที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวค่า 0 – 30 เปอร์เซ็นต์

การทดสอบค่าโลหิตวิทยาของปลานิลที่ได้รับอาหารทดลองที่มีส่วนผสมของปลายข้าวเหนียวค่าที่ 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 10 สัปดาห์ ได้ผลที่แตกต่างกันโดยค่า เปอร์เซ็นต์ของเม็ดเลือดต่อปริมาณเลือดทั้งหมดและปริมาณเม็ดเลือดแดงเพิ่มขึ้นตามระดับปลายข้าวเหนียวค่าในสูตรอาหารที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมีความแตกต่างกันชัดเจนกับกลุ่มที่ไม่ได้รับปลายข้าวเหนียวค่า (ชุดควบคุม) สอดคล้องกับการรายงานของ Ali et al. (2016) ที่ใช้สารสกัดจากผลกระเจี๊ยบแดงที่ 200 mg/Kg ผสมอาหารและทดสอบกับกระต่ายเทศเมียว เป็นเวลา 4 สัปดาห์ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่ากระต่ายมีเม็ดเลือดแดงและฮีโมโกลบินมากกว่ากระต่ายที่ไม่ได้รับสารสกัดกระเจี๊ยบแดงในอาหาร ซึ่งในสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงมีสารพฤษเคมี ได้แก่ โพลีฟีนอล ฟลาโวนอยด์และแอนโทไซยานิน ซึ่งสารดังกล่าวเป็นสารกลุ่มเดียวกับที่พบในปลายข้าวเหนียวค่า จึงกล่าวได้ว่าการเพิ่มขึ้นของเม็ดเลือดแดงเป็นผลจากสารพฤษเคมีที่มีส่วนทำให้ร่างกายมีการผลิตเม็ดเลือดเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ในปลายข้าวเหนียวคายังมีธาตุเหล็ก (Saenchai et al., 2012) ซึ่งธาตุเหล็กเป็นสารสำคัญในการสร้างฮีโมโกลบินที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของเม็ดเลือดแดง จากผลการทดลองการที่ปลาได้รับอาหารจากปลายข้าวเหนียวค่าจึงส่งผลให้มีปริมาณเม็ดเลือดแดงเพิ่มขึ้น

ส่วนปริมาณเม็ดเลือดขาวนั้นพบว่าแนวโน้มลดลงตามปริมาณของปลายข้าวเหนียวค่าที่เพิ่มขึ้น กล่าวคือปริมาณเม็ดเลือดขาวที่มีปริมาณมากไปนั้นบ่งบอกถึงการที่ร่างกายมีการอักเสบจึงทำให้ร่างกายผลิตเม็ดเลือดขาวเพิ่มมากขึ้น แต่หากมีปริมาณน้อยจนเกินไปนั้นแสดงถึงระบบ

ภูมิคุ้มกันของร่างกายต่ำจนไม่สามารถสร้างเม็ดเลือดขาวได้ สารแอนโทไซยานินช่วยส่งเสริมการทำงานของระบบไหลเวียนเลือด ทำให้ลดการอุดตันของเลือดในร่างกายได้ มีรายงานของ Yilmaz (2019) จากการเสริมแบล็คเบอร์รี่ไซรัปที่ปริมาณ 0, 7.5, 15 และ 30 g/kg ในอาหารปลาชนิด ทดสอบ เป็นระยะเวลา 90 วัน จากผลของค่าโลหิตวิทยาพบว่าปลาที่ได้รับอาหารเสริมจากแบล็คเบอร์รี่ไม่แตกต่างกัน แต่จากการทดสอบเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกันพบว่าปลาที่ได้รับอาหารเสริมจากแบล็คเบอร์รี่มีภูมิคุ้มกันที่ดีกว่าปลาที่ไม่ได้รับอาหารเสริม นอกจากนี้ได้ทำการทดสอบความต้านทานโรคโดยการฉีดเชื้อ *Plesiomonas shigelloides* เข้าไปในตัวปลาสังเกตการตายของปลา ผลที่ได้คือปลาที่ได้รับอาหารเสริมจากแบล็คเบอร์รี่ที่ปริมาณ 15 g/kg ปลาที่มีอัตราการรอดมากที่สุด ในแบล็คเบอร์รี่อุดมไปด้วยสารฟีนอลิก สารแอนโทไซยานิน สารแอลลาจิกแทนนิน (Ellagitannins) เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้เป็นกลุ่มเดียวกับสารที่พบในปลายข้าวเหนียวดำในการทดลองครั้งนี้กล่าวได้ว่าปริมาณของปลายข้าวเหนียวดำในสูตรอาหารไม่ทำให้มีผลกระทบต่อระบบภูมิคุ้มกันของปลา และยังช่วยให้มีการผลิตเม็ดเลือดแดงเพิ่มขึ้น ช่วยให้มีการไหลเวียนของเลือดได้ดี

นอกจากนี้ปริมาณสารแอนโทไซยานินและสารฟีนอลิกในอาหารทดลองจัดเป็น feed additive ที่ร่างกายได้รับเข้าไปไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตแต่สารเหล่านี้ส่งผลดีกับระบบภูมิคุ้มกัน โดยจะส่งเสริมการกระตุ้นการสังเคราะห์โปรตีน ส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระของร่างกายได้ (Dada, 2012; Yilmaz, 2019; Hassaan et al., 2019)

5.5 การประเมินประสิทธิภาพของเนื้อปลานิลเมื่อได้รับอาหารทดลองที่มีปริมาณปลายข้าวเหนียวดำ 0 – 30 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลา 10 สัปดาห์

5.5.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของเนื้อปลา

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของเนื้อปลาที่ได้รับอาหารมีส่วนผสมของปลายข้าวเหนียวดำที่ 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งของเนื้อปลามีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเจน โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีส่วนผสมของปลายข้าวเหนียวดำที่ 0, 10, 20 เปอร์เซ็นต์ มีความชื้นน้อยกว่าเนื้อปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีส่วนผสมของปลายข้าวเหนียวดำที่ 30 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมีการเก็บตัวอย่างที่มีการอุ้มน้ำอยู่มากเกินไปทำให้กระบวนการอบแห้ง มีปริมาณวัตถุแห้งอยู่น้อยกว่าสูตรอื่น ซึ่งไม่ได้มีผลของปริมาณสารอาหารที่ได้รับจากอาหารเข้ามาเกี่ยวข้อง ส่วนปริมาณเถ้า โปรตีน และไขมันนั้นไม่มีความแตกต่างกันเนื่องจากปลาได้รับอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการไม่แตกต่างกัน ส่วนเปอร์เซ็นต์เยื่อใยในเนื้อปลานั้นไม่สามารถตรวจสอบได้ ซึ่งเยื่อใยคือส่วนที่ไม่สามารถย่อยได้ การตรวจในครั้งนี้บ่งบอกถึงเนื้อปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร สามารถย่อยได้ทั้งหมด

5.5.2 การทดสอบการเกิดออกซิเดชันของไขมันในเนื้อปลา

ผลการทดลองการเกิดออกซิเดชันของไขมันในเนื้อปลาพบความแตกต่างได้อย่างชัดเจนคือในเนื้อปลาที่ได้รับอาหารที่มีส่วนผสมของปลายข้าวเหนียวดำสามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้ โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปลาได้รับอาหารจากปลายข้าวเหนียวดำเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับปลาที่ไม่ได้รับอาหารจากปลายข้าวเหนียวดำ ปลายข้าวเหนียวดำในอาหารมีส่วนช่วยในการต้านการเกิดออกซิเดชันได้โดยกลไกของสารแอนโทไซยานินที่ปลาได้รับในอาหารเป็นเวลาติดต่อกันนานถึง 10 สัปดาห์ และจากอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักที่มีการนำอาหารไปใช้ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ทำให้มีการสะสมสารสำคัญไว้ในเนื้อปลาอยู่มาก สารเหล่านี้ไม่เพียงเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเท่านั้น ยังเป็นสารที่มีคุณสมบัติต้านการออกซิเดชันได้ด้วย ส่งผลให้ปลาที่ได้รับอาหารที่มีส่วนผสมของปลายข้าวเหนียวดำมีการต้านการเกิดออกซิเดชันได้สูง

จากการทดลองครั้งนี้สอดคล้องกับการทดลองของ (Özalp Özen et al. (2011) ที่มีการเติมสารสกัดจากธรรมชาติจากเมล็ดองุ่น และเมล็ดทับทิมลงไปเนื้อปลา และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส พบว่าเนื้อปลาที่ได้รับสารสกัดจากธรรมชาติเหล่านี้มีส่วนช่วยในการชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ ซึ่งสารสกัดจากเมล็ดองุ่นและเมล็ดทับทิมมีส่วนประกอบเดียวกับสารสำคัญที่พบในกลุ่มข้าวสีคือสารแอนโทไซยานิน กล่าวได้ว่าสารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติกลุ่มนี้สามารถใช้แทนสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ได้โดยไม่มีผลตกค้างหรือผลกระทบต่อเนื้อปลา และเช่นเดียวกับ Tang et al. (2001) มีการเติมสารคาเทชินจากชา เปรียบเทียบกับการเติมวิตามินอีสังเคราะห์ ที่ 300 mg/kg ทดสอบโดยเติมสารลงไปเนื้อหมู ไก่ เป็ด วัว นกกระทา ปลา ไก่ และปลาแมคเคอเรล เก็บรักษาไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน ทำการทดสอบการเกิดออกซิเดชันของไขมันด้วยวิธี TBARS และผลที่ได้คือสารคาเทชินจากชาสามารถทำให้เนื้อสัตว์เกิดการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้น้อยกว่าชุดควบคุมและชุดที่ใช้วิตามินอีสังเคราะห์ ถึงแม้ว่าในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิตำเนื้อปลาก็สามารถให้ผลิตภัณฑ์ของการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้

กล่าวได้ว่าสารพฤกษเคมีจากปลายข้าวเหนียวดำในอาหารทดลองมีการตกค้างอยู่ในเนื้อปลาที่ได้รับอาหาร ส่งผลให้การตรวจสอบการเกิดออกซิเดชันของไขมันในเนื้อปลาจากปลาที่ได้รับอาหารจากปลายข้าวเหนียวดำมีการเกิดออกซิเดชันของไขมันน้อยกว่าปลาที่ได้รับอาหารชุดควบคุม อย่างไรก็ตามสารพฤกษเคมีเป็นสารที่มาจากธรรมชาติจึงไม่มีผลข้างเคียงหรือเป็นอันตรายกับผู้บริโภค

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองการใช้ปลายข้าวเหนียวดำ ที่ 0 (ชุดควบคุม), 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารปลา กำหนดปริมาณโปรตีนในอาหารที่ 30 เปอร์เซ็นต์ การศึกษาผลของการใช้ปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลาและภาวะบรรจุต่างกันคือโปร่งแสงและทึบแสง ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารฟีนอลิก สารแอนโทไซยานิน ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) และการเกิดออกซิเดชันของไขมันในอาหารปลา เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง 28 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์ ผลที่ได้พบว่าปริมาณปลายข้าวเหนียวดำในอาหารปลามีผลต่อปริมาณสารฟีนอลิก สารแอนโทไซยานิน ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และมีความสามารถต้านการเกิดออกซิเดชันของไขมัน ได้เมื่อเทียบกับอาหารชุดควบคุม การทดสอบการเก็บรักษาอาหารในภาชนะ โปร่งแสงและทึบแสงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่าแสงมีผลต่อปริมาณสารแอนโทไซยานิน สารต้านอนุมูลอิสระ และการเกิดออกซิเดชันของไขมัน โดยอาหารที่เก็บในภาชนะทึบแสงมีปริมาณสารสำคัญในอาหารคงอยู่มากกว่าการเก็บในภาชนะ โปร่งแสง (28.01 ± 4.44 mg/g 81.21 ± 0.62 % และ 3.80 ± 0.15 μ M/g ตามลำดับ) และที่อุณหภูมิห้อง 28 องศาเซลเซียส พบว่าแสงมีผลต่อปริมาณสารแอนโทไซยานินและสารต้านอนุมูลอิสระ โดยอาหารที่เก็บในภาชนะทึบแสงมีปริมาณสารสำคัญในอาหารคงอยู่มากกว่าการเก็บในภาชนะ โปร่งแสง (21.37 ± 3.27 mg/g และ 78.83 ± 0.54 % ตามลำดับ) จากการศึกษาผลของสารสำคัญในอาหารต่อภาวะบรรจุสามารถสรุปได้ว่าการเก็บรักษาอาหารให้สารสำคัญคงอยู่ได้มากควรเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำและไม่มีแสงส่องผ่านโดยใช้ภาชนะบรรจุที่ปิดมิดชิด วิธีนี้จะช่วยรักษาปริมาณสารสำคัญให้คงอยู่ได้มากที่สุดและยังช่วยชะลอการเสื่อมของสารได้

การประเมินประสิทธิภาพของอาหารต่อการเจริญเติบโตของปลานิล (น้ำหนักเริ่มต้น 0.66 ± 0.00 กรัม/ตัว) โดยใช้อาหารทดลองที่มีปลายข้าวเหนียวดำ 0 – 30 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลา 10 สัปดาห์ พบว่าปลานิลที่ได้รับอาหารทั้ง 4 สูตร มีการเจริญเติบโตที่ดีไม่มีความแตกต่างกัน (น้ำหนักสุดท้าย 28.22 ± 0.42 – 30.43 ± 0.05 กรัม/ตัว) แต่ปลานิลที่ได้รับอาหารที่มีปลายข้าวเหนียวดำ 20 เปอร์เซ็นต์ มีค่าของความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและน้ำหนักแตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่น การประเมินประสิทธิภาพของอาหารต่อค่าโลหิตวิทยาเป็นการตรวจสอบระบบภูมิคุ้มกันเบื้องต้นพบว่าอาหารที่มีส่วนผสมของปลายข้าวเหนียวดำ มีเปอร์เซ็นต์ของเม็ดเลือดต่อปริมาณเลือดทั้งหมดและปริมาณเม็ดเลือดแดงเพิ่มขึ้นตามปริมาณการใช้ปลายข้าวเหนียวดำที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร และมีแนวโน้มของปริมาณเม็ดเลือดขาวลดลง จากผลการทดลองนี้สรุปได้ว่าปริมาณ

ปลายข้าวเหนียวดำที่ใช้ในอาหารทดลองไม่มีผลต่อระบบภูมิคุ้มกันของปลาที่ทำให้ปลาเกิดการอักเสบหรือเป็นอันตราย

การประเมินประสิทธิภาพของเนื้อปลานิล โดยผลขององค์ประกอบทางโภชนาของเนื้อปลาที่ได้รับอาหารทั้ง 4 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันและผลการทดสอบการเกิดออกซิเดชันของไขมันในเนื้อปลาพบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีส่วนผสมของปลายข้าวเหนียวดำ 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ เนื้อปลาจะมีความสามารถในการต้านการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้ดีสอดคล้องกับคุณสมบัติของปลายข้าวเหนียวดำที่มีความสามารถในการต้านการเกิดออกซิเดชันของไขมัน

ซึ่งจากการทดลองดังกล่าวระดับที่เหมาะสมกับการนำปลายข้าวเหนียวดำไปใช้คือ 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นระดับที่ปลานิลมีการเจริญเติบโตที่ดี ปลาที่มีความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและน้ำหนักที่ดีแตกต่างกับอาหารสูตรอื่น และปลายข้าวเหนียวดำที่มีสารพฤกษเคมี เช่น สารฟีนอลิก และแอนโทไซยานิน มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มาจากธรรมชาติ เมื่อปลาได้รับเข้าไปจึงไม่เป็นอันตรายกับสัตว์และยังส่งผลดีคือเนื้อปลาจากปลาที่ได้รับปลายข้าวเหนียวดำมีความสามารถต้านการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้

บรรณานุกรม

- เกวลิน หนูฤทธิ. 2561. สถานการณ์การผลิตและการค้าปลานิลและผลิตภัณฑ์ช่วง 9 เดือนแรก ปี พ.ศ. 2561. กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง กองนโยบายและยุทธศาสตร์พัฒนาการประมง กรมประมง.
- ชนกันต์ จิตมนัส. 2558. ภูมิคุ้มกันจากแม่ปลา. เชียงใหม่สัตวแพทยสาร 13(2): 93 – 101.
- นพดล ศุภระกาญจน์, สุภฎา ศิริรัฐนิคม, กฤษณะ เรืองคล้าย และพันธสิทธิ์ โชคสวัสดิกร. 2552. การศึกษาค่าโลหิตวิทยาของปลาดุกร้าพัน (*Clarias nieuhofii*) ในระบบการเพาะเลี้ยง. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- นพวรรณ ฉิมสังข์ และชุตินา ตันติภักดี. 2557. ผลของการเสริมวิตามินและแร่ธาตุพรีมิกซ์ต่อผลผลิตปลานิลแดงแปลงเพศที่เลี้ยงในกระชัง. เกษตร 42(1): 47-540.
- นวลอนงค์ เสมสังข์, ฌกมล แก้วลังการ และวีรพงษ์ จันทะชัย. 2559. ปริมาณฟลาโวนอยด์ สารประกอบฟีนอลทั้งหมดและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากข้าวไทย. การประชุมวิชาการระดับชาติเครือข่ายวิจัยสถาบันอุดมศึกษาทั่วประเทศ ครั้งที่ 11 หัวข้อ “เครือข่ายวิจัยอุดมศึกษา สานพลังประชารัฐ”. 969-979.
- นฤชยา ไกรเนตร. 2553. เอกสารการแนะนำการเพาะเลี้ยงปลานิล. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.
- พรพาศน์ ชูเชิด, ศิริพร เรียบร้อย, คิม และอัญชนีย์ อุทัยพัฒนาชีพ. 2017. การเปรียบเทียบปริมาณสารสำคัญในข้าวเหนียวดำ 6 สายพันธุ์. *Science and Technology RMUTT Journal* 7(2): 271-279.
- พิชญอร ไหมสุทธิกุล และ ลดาวัลย์ ช่างชุบ. 2555. ผลของการหงด้มต่อปริมาณฟีนอลิกและแอนโทไซยานินทั้งหมดของข้าวไทย 9 ชนิด. *วิทยาศาสตร์เกษตร* 43(2): 669-672.
- พิเชต พลายเพชร. 2016. การจัดการทางโภชนาการสำหรับการเลี้ยงปลานิล. *Thai Science and Technology Journal* 24(1):12-39.
- รัชดา ทศมากร. 2552. การศึกษาค่าโลหิตวิทยาในปลานิล (*Oreochromis niloticus*) แบบรายตัวที่เลี้ยงในความหนาแน่นแตกต่างกัน. ปัญหาพิเศษสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สุธี ชูดีไพจิตร, ธนวัช สุจริตวรกุล และธณัฐคุณ มงคลอัสวรัตน์. 2018. การประเมินปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฟเลโวนอยด์ในเมล็ดข้าวเพื่อการคัดเลือกสายพันธุ์ข้าวไทย (*Oryza sativa* L.). *วารสารวิชาการปทุมวัน* 8(21): 1-11.
- สุกาน้อย ทรัพย์สินเสริม. 2557. ความรู้เกี่ยวกับสาร Ethoxyquin ในอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ. กองตรวจสอบรับรองมาตรฐานคุณภาพสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ กรมประมง.
- อัจฉรา ทั้งทอง. 2561. ผลของอาหารที่มีส่วนผสมจากข้าวต่างสายพันธุ์ต่ออัตราการเจริญเติบโตของปลานิล. *ปัญหาพิเศษ สาขาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.*
- โอภา วัชรคุปต์ ปรีชา บุญจุง จันทนา บุญยรัตน์ และมาลีรักษ์ อัดต์สินทอง. 2549. สารต้านอนุมูลอิสระ. นนทบุรี: พี.เอส.พี.รินทร์.
- Abdel-Tawwab, M., Ahmad, M. H., Khattab, Y. A. and Shalaby, A. M. 2010. Effect of dietary protein level, initial body weight, and their interaction on the growth, feed utilization, and physiological alterations of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture* 298(3-4): 267-274.
- Ali, A. H., Abdul-Azeez, L. A., Humood, J. K., Ali, Z. A., Helal, Z. H. and Wahab, F. L. 2016. The effect of ethanolic extract of *Hibiscus sabdariffa* on some physiological and antioxidant parameters in female rabbits. *Journal of Animal Health and Production* 4: 37-41.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official methods of analysis. *Assoc Anal Chem.*
- Bakhshayeshi, M. A., Khayami, M., Heidari, R. and Jamei, R. 2006. The effects of light, storage temperature, pH and variety on stability of anthocyanin pigments in four Malus varieties. *Pakistan Journal of biological sciences* 9(3): 428-433.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E. and Berset, C. L. W. T. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology* 28(1): 25-30.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Chakuton, K., Puangpronpitag, D. and Nakornriab, M. 2012. Phytochemical content and antioxidant activity of colored and non-colored Thai rice cultivars. *Asian Journal of Plant Sciences* 11(6): 285.
- Chen, M. Y., Ji-Dan Ye. W. Y. and Wang, K. 2013. Growth, feed utilization and blood metabolic responses to different amylose- amylopectin ratio fed diets in Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Asian-Australasian journal of Animal Sciences* 26(8): 1160.
- Dada, A. A. 2012. Effects of herbal growth promoter feed additive in fish meal on the performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* (L.)). *Egyptian Academic Journal of Biological Scienc* 4 :111-117.
- Egloff, S. and Pietsch, C. 2018. Ethoxyquin: a feed additive that poses a risk for aquatic life. *Diseases of aquatic organisms* 131(1): 39-48.
- El-Sayed, A. F. M. 2002. Effects of stocking density and feeding levels on growth and feed efficiency of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) fry. *Aquaculture research* 33(8): 621-626.
- Grassi, T. L. M., Sedlacek-Bassani, J. and Ponsano, E. H. G. 2020. Oxidative stability of tilapia feeds containing *Saccharomyces cerevisiae* and *Spirulina platensis*. *Ciência Rural* 50(1).
- Hassaan, M. S., Mohammady, E. Y., Soady, M. R., El-Garhy, H. A., Moustafa, M. M., Mohamed, S. A. and El-Haroun, E. R. 2019. Effect of *Silybum marianum* seeds as a feed additive on growth performance, serum biochemical indices, antioxidant status, and gene expression of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) fingerlings. *Aquaculture* 509: 178-187.
- Hodges, D. M., DeLong, J. M., Forney, C. F. and Prange, R. K. 1999. Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. *Planta* 207(4): 604-611.

- Htwe, N. N., Srilaong, V., Tanprasert, K., Tongchitpakdee, S., Kanlayanarat, S. and Uthairatanakij, A. 2010. Effects of storage time and temperature on radical scavenging activities and bioactive compounds in colored rice varieties. *J. Food Agric. Environ* 8: 26-31.
- Jauncey, K. (2000). *Tilapias: Biology and Exploitation*. Dordrecht: Springer.
- Kalt, W., Forney, C. F., Martin, A. and Prior, R. L. 1999. Antioxidant capacity, vitamin C, phenolics, and anthocyanins after fresh storage of small fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47(11): 4638-4644.
- Lundebye, A. K., Hove, H., Måge, A., Bohne, V. J. B. and Hamre, K. 2010. Levels of synthetic antioxidants (ethoxyquin, butylated hydroxytoluene and butylated hydroxyanisole) in fish feed and commercially farmed fish. *Food Additives & Contaminants Part A* 27(12): 1652-1657.
- Malenčić, D., Maksimović, Z., Popović, M. and Miladinović, J. 2008. Polyphenol contents and antioxidant activity of soybean seed extracts. *Bioresource technology* 99(14): 6688-6691.
- Munglue, P. 2014. Effects of dietary *Nelumbo nucifera* (lotus) peduncle extract on growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). In *The 1st environmental and natural resources international conference* 279-310.
- Nam, S. H., Choi, S. P., Kang, M. Y., Koh, H. J., Kozukue, N. and Friedman, M. 2006. Antioxidative activities of bran extracts from twenty-one pigmented rice cultivars. *Food Chemistry* 94(4): 613-620.
- Nasar-Abbas, S. M., Siddique, K. H. M., Plummer, J. A., White, P. F., Harris, D., Dods, K. and D'antuono, M. 2009. Faba bean (*Vicia faba* L.) seeds darken rapidly and phenolic content falls when stored at higher temperature, moisture and light intensity. *LWT-Food Science and Technology* 42(10): 1703-1711.

- Noorlaila, A., Nur Suhadah, N., Noriham, A. and Nor Hasanah, H. 2018. Total anthocyanin content and antioxidant activities of pigmented black rice (*Oryza Sativa* L. Japonica) subjected to soaking and boiling. *Jurnal Teknologi* 80(3).
- Ortuno, J., Esteban, M. A., and Meseguer, J. 2000. High dietary intake of α -tocopherol acetate enhances the non-specific immune response of gilthead seabream (*Sparus aurata* L.). *Fish and Shellfish Immunology* 10(4), 293-307.
- Özalp Özen, B., Eren, M., Pala, A., Özmen, İ. and Soyer, A. 2011. Effect of plant extracts on lipid oxidation during frozen storage of minced fish muscle. *International journal of food science & technology* 46(4): 724-731.
- Pang, Y., Ahmed, S., Xu, Y., Beta, T., Zhu, Z., Shao, Y. and Bao, J. 2018. Bound phenolic compounds and antioxidant properties of whole grain and bran of white, red and black rice. *Food chemistry* 240: 212-221.
- Pitija, K., Nakornriab, M., Sriseadka, T., Vanavichit, A. and Wongpornchai, S. 2013. Anthocyanin content and antioxidant capacity in bran extracts of some Thai black rice varieties. *International Journal of Food Science & Technology* 48(2): 300-308.
- Rodrigues, A. P. O., Gominho-Rosa, M. D. C., CARGNIN-FERREIRA, E., de Francisco, A. and Fracalossi, D. M. 2012. Different utilization of plant sources by the omnivores jundiá catfish (*Rhamdia quelen*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Nutrition* 18(1): 65-72.
- Ryan, E. P., Heuberger, A. L., Weir, T. L., Barnett, B., Broeckling, C. D. and Prenni, J. E. 2011. Rice bran fermented with *Saccharomyces boulardii* generates novel metabolite profiles with bioactivity. *Journal of agricultural and food chemistry* 59(5): 1862-1870.
- Saenchai, C., Jamjod, S., Dell, B., & Rerkasem, B. 2012. Genotypic variation in milling depression of iron and zinc concentration in rice grain. *Plant and soil* 361(1-2), 271-278.

- Sakthivelu, G., Akitha Devi, M. K., Giridhar, P., Rajasekaran, T., Ravishankar, G. A., Nikolova, M. T. and Kosturkova, G. P. 2008. Isoflavone composition, phenol content, and antioxidant activity of soybean seeds from India and Bulgaria. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56(6): 2090-2095.
- Samuolienė, G., Sirtautas, R., Brazaitytė, A. and Duchovskis, P. 2012. LED lighting and seasonality effects antioxidant properties of baby leaf lettuce. *Food chemistry* 134(3): 1494-1499.
- Sangkitikomol, W., Tencomnao, T. and Rocejanasaroj, A. 2010. Effects of Thai black sticky rice extract on oxidative stress and lipid metabolism gene expression in HepG 2 cells. *Genetics and Molecular research* 9(4): 2086-2095.
- Shao, Y., Xu, F., Sun, X., Bao, J. and Beta, T. 2014. Identification and quantification of phenolic acids and anthocyanins as antioxidants in bran, embryo and endosperm of white, red and black rice kernels (*Oryza sativa* L.). *Journal of cereal science* 59(2): 211-218.
- Solomon, S. G., Tihamiyu, L. O., and Agaba, U. J. 2007. Effect of feeding different grain sources on the growth performance and body composition of tilapia, (*Oreochromis niloticus*) fingerlings fed in outdoor hapas. *Pakistan journal of nutrition* 6(3): 271-275.
- Srivastava, A., Akoh, C. C., Yi, W., Fischer, J. and Krewer, G. 2007. Effect of storage conditions on the biological activity of phenolic compounds of blueberry extract packed in glass bottles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55(7): 2705-2713.
- Sutharut, J. and Sudarat, J. 2012. Total anthocyanin content and antioxidant activity of germinated colored rice. *International Food Research Journal* 19(1): 215-221.
- Syahaariza, Z. A., Sar, S., Hasjim, J., Tizzotti, M. J. and Gilbert, R. G. 2013. The importance of amylose and amylopectin fine structures for starch digestibility in cooked rice grains. *Food chemistry* 136(2): 742-749.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Tang, S., Sheehan, D., Buckley, D. J., Morrissey, P. A. and Kerry, J. P. 2001. Anti-oxidant activity of added tea catechins on lipid oxidation of raw minced red meat, poultry and fish muscle. *International journal of food science & technology* 36(6): 685-692.
- Vázquez, G. R. and Guerrero, G. A. 2007. Characterization of blood cells and hematological parameters in *Cichlasoma dimerus* (Teleostei, Perciformes). *Tissue and cell* 39(3): 151-160.
- Yilmaz, E. 2019. Effects of dietary anthocyanin on innate immune parameters, gene expression responses, and ammonia resistance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish & shellfish immunology* 93 : 694-701.
- Yilmaz, S. 2019. Effects of dietary blackberry syrup supplement on growth performance, antioxidant, and immunological responses, and resistance of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* to *Plesiomonas shigelloides*. *Fish & shellfish immunology* 84: 1125-1133.
- Yonar, S. M. 2019. Growth performance, haematological changes, immune response, antioxidant activity and disease resistance in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed diet supplemented with ellagic acid. *Fish & Shellfish Immunology* 95: 391-398.
- Yuangsoi, B., Rinthong, P. and Charoenwattanasak, S. 2016. The effect of black glutinous rice bran (*Oryza sativa* L.) in diets of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Iranian Journal of Fisheries Sciences* 15(4): 1441-1454.
- Yun, B., Xue, M., Wang, J., Fan, Z. Y., Wu, X. F., Zheng, Y. H. and Qin, Y. C. 2013. Effects of lipid sources and lipid peroxidation on feed intake, growth, and tissue fatty acid compositions of largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Aquaculture International* 21(1): 97-110.
- Zhai, S. W., Lu, J. J. and Chen, X. H. 2014. Effects of dietary grape seed proanthocyanidins on growth performance, some serum biochemical parameters and body composition of tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. *Italian Journal of Animal Science* 13(3):3357.

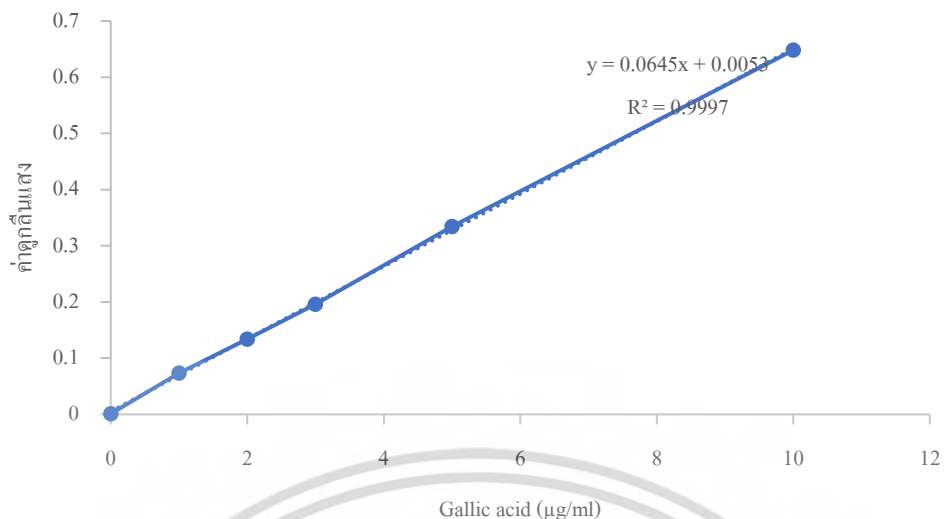
Zhou, Z., Chen, X., Zhang, M. and Blanchard, C. 2014. Phenolics, flavonoids, proanthocyanidin and antioxidant activity of brown rice with different pericarp colors following storage. *Journal of Stored Products Research* 59: 120-125.



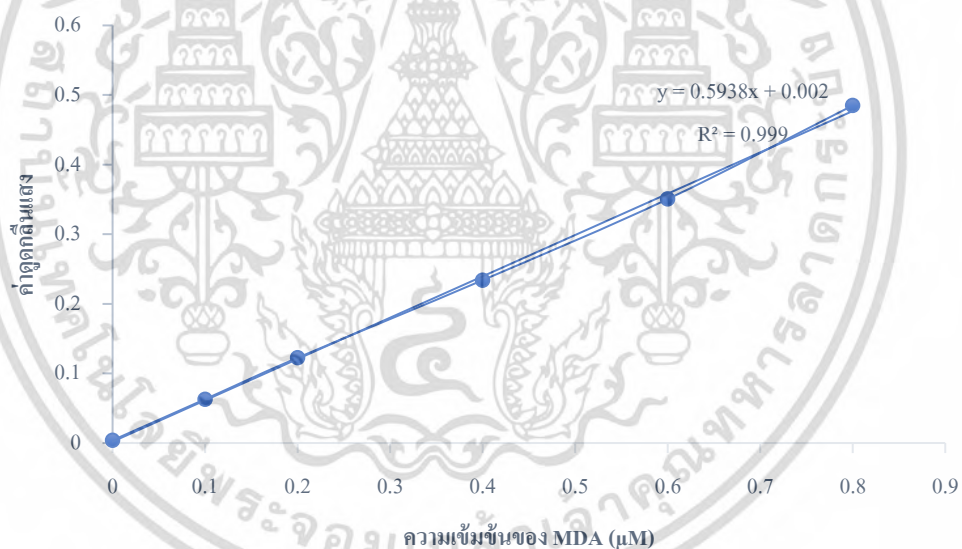
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพผนวกที่ 1 กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์สารฟีนอลิก



ภาพผนวกที่ 2 กราฟมาตรฐานวิเคราะห์ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ (TBARs assay)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหาร

องค์ประกอบทางเคมี (%)	ปลาป่น	ถั่วเหลือง	ปลายข้าวเหนียวดำ	ปลายข้าวขาว
ความชื้น	7.60	7.50	11.59	9.28
เถ้า	27.56	4.65	1.31	0.40
ไขมัน	7.40	17.94	2.67	0.65
โปรตีน	51.95	36.63	6.00	7.05
เยื่อใย	0.79	12.54	4.39	2.28
NFE	4.69	20.74	74.04	80.34
ฟอสฟอรัส	10.86	1.92	1.30	0.46
แคลเซียม	0.28	0.04	0.03	0.03
kCal/g, diet	3.83	4.64	3.70	3.83

ตารางผนวกที่ 2 ปริมาณสารฟีนอลิก สารแอนโทไซยานิน ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และการเกิดออกซิเดชันของไขมันในอาหารปลาที่มีส่วนผสมของปลายข้าวเหนียวดำ 0 – 30 เปอร์เซ็นต์ เริ่มต้นการทดลอง

ปลายข้าวเหนียวดำในอาหารทดลอง	Phenolic (GAE/100g)	Anthocyanin (mg/g)	DPPH (%)	TBARs (μ M/g)
ชุดควบคุม 0 เปอร์เซ็นต์	88.71 \pm 0.85 ^c	8.68 \pm 1.00 ^d	83.19 \pm 0.16 ^b	1.18 \pm 0.04
10 เปอร์เซ็นต์	102.05 \pm 3.02 ^b	34.48 \pm 0.08 ^c	86.74 \pm 0.42 ^a	1.16 \pm 0.00
20 เปอร์เซ็นต์	116.16 \pm 3.02 ^a	38.66 \pm 0.08 ^b	87.33 \pm 0.37 ^a	1.15 \pm 0.02
30 เปอร์เซ็นต์	123.60 \pm 1.63 ^a	41.16 \pm 0.25 ^a	87.86 \pm 0.16 ^a	1.13 \pm 0.00

ค่าเฉลี่ย \pm SE ที่กำกับด้วยอักษรภาษาอังกฤษต่างกัน ในแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

หมายเหตุ: Phenolic หมายถึง ปริมาณสารฟีนอลิก, Anthocyanin หมายถึงปริมาณสารแอนโทไซยานิน, DPPH หมายถึง ความสามารถต้านอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH assay, TBARs หมายถึง การเกิดออกซิเดชันของไขมันที่ทดสอบด้วยวิธี TBARs assay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 3 เปอร์เซ็นต์สารฟีนอลิกที่คงอยู่ในอาหารต่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิและภาชนะบรรจุแตกต่างกัน เป็นเวลา 12 สัปดาห์

อาหารทดลอง	อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส		อุณหภูมิห้อง 28 องศาเซลเซียส	
	โปร่งแสง	ทึบแสง	โปร่งแสง	ทึบแสง
ชุดควบคุม	75.71	71.34	71.34	71.86
10 เปอร์เซ็นต์	67.18	65.97	66.58	67.26
20 เปอร์เซ็นต์	60.89	60.09	60.96	60.96
30 เปอร์เซ็นต์	66.88	57.23	57.29	68.39

ค่าที่ได้คำนวณจาก (ค่าเฉลี่ยปริมาณสารฟีนอลิกที่ 12 สัปดาห์ / ค่าเฉลี่ยปริมาณสารฟีนอลิกเริ่มต้น) \times 100

ตารางผนวกที่ 4 เปอร์เซ็นต์สารแอนโทไซยานินที่คงอยู่ในอาหารต่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิและภาชนะบรรจุแตกต่างกัน เป็นเวลา 12 สัปดาห์

อาหารทดลอง	อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส		อุณหภูมิห้อง 28 องศาเซลเซียส	
	โปร่งแสง	ทึบแสง	โปร่งแสง	ทึบแสง
ชุดควบคุม	81.73	90.38	15.38	79.81
10 เปอร์เซ็นต์	81.36	94.67	29.78	66.10
20 เปอร์เซ็นต์	84.45	88.98	35.21	69.11
30 เปอร์เซ็นต์	86.61	90.26	42.80	70.59

ค่าที่ได้คำนวณจาก (ค่าเฉลี่ยปริมาณสารแอนโทไซยานินที่ 12 สัปดาห์ / ค่าเฉลี่ยปริมาณสารแอนโทไซยานินเริ่มต้น) \times 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 5 เปอร์เซ็นต์สารต้านอนุมูลอิสระที่คงอยู่ในอาหารต่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิและ
 ภาชนะบรรจุแตกต่างกัน เป็นเวลา 12 สัปดาห์

อาหารทดลอง	อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส		อุณหภูมิห้อง 28 องศาเซลเซียส	
	โปร่งแสง	ทึบแสง	โปร่งแสง	ทึบแสง
ชุดควบคุม	90.58	95.29	86.20	92.72
10 เปอร์เซ็นต์	91.28	92.61	86.97	90.15
20 เปอร์เซ็นต์	91.69	93.73	86.60	90.57
30 เปอร์เซ็นต์	92.45	94.88	88.91	92.05

ค่าที่ได้คำนวณจาก (ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์สารต้านอนุมูลอิสระที่ 12 สัปดาห์ / ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์สารต้านอนุมูลอิสระเริ่มต้น) × 100



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวอัจฉรา ทังทอง
 วัน เดือน ปีเกิด 14 มกราคม 2539
 ที่อยู่ 333/34 พฤษภาวิไล 38 ต.บางพลีใหญ่ อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ 10540

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา โรงเรียนนครินทร์ จ.สมุทรปราการ
 มัธยมศึกษา โรงเรียนบางแก้วประชาสรรค์ จ.สมุทรปราการ
 ปริญญาตรี 2561 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้