รายงานการวิจัย

ประสิทธิภาพของอาหารที่มีส่วนผสมของน้ำมันมะพร้าวที่มีสารสกัดจากขมิ้นอ้อยต่อระบบภูมคุ้มกันของกุ้งขาวแวนนาไม

Efficiency of Food with Composition of Coconut Oil with Extracted from Curcumin (*Curcuma zedoaria*) to Immune System of Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*)

นรสิงห์ เพ็ญประไพ Norasing Penprapai

เพ็ญศรี เพ็ญประไพ Pensri Penprapai

อัมพร รัตนมูสิก Amporn Ratanamusik

มาโนช ขำเจริญ Manoch Chumchareon

คณะเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

งบประมาณแผ่นดิน ประจำปี พ.ศ. 2562

รายงานการวิจัย

ประสิทธิภาพของอาหารที่มีส่วนผสมของน้ำมันมะพร้าวที่มีสารสกัดจากขมิ้นอ้อยต่อระบบภูมคุ้มกันของกุ้งขาวแวนนาไม

Efficiency of Food with Composition of Coconut Oil with Extracted from Curcumin (*Curcuma zedoaria*) to Immune System of Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*)

นรสิงห์ เพ็ญประไพ Norasing Penprapai

เพ็ญศรี เพ็ญประไพ Pensri Penprapai

อัมพร รัตนมูสิก Amporn Ratanamusik

มาโนช ขำเจริญ Manoch Chumchareon

คณะเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

งบประมาณแผ่นดิน ประจำปี พ.ศ. 2562

ประสิทธิภาพของอาหารที่มีส่วนผสมของน้ำมันมะพร้าวที่มีสารสกัดจากขมิ้นอ้อยต่อระบบภูมคุ้มกันของกุ้งขาวแวนนาไม

นรสิงห์ เพ็ญประไพ[1], เพ็ญศรี เพ็ญประไพ [2], อัมพร รัตนมูสิก[1], มาโนช ขำเจริญ[3]

บทคัดย่อ

น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อยสามารถนำไปใช้เลี้ยงสัตว์น้ำเพราะน้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อยมีสารประกอบเคอร์คูมินอยด์ ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระอยู่ในปริมาณสูงและมีองค์ประกอบของกรดไขมันที่มีสายโซ่ขนาดกลาง ซึ่งง่ายต่อการดูดซึม วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จึงศึกษาประสิทธิภาพของอาหารที่มีส่วนผสมของน้ำมันมะพร้าวที่มีสารสกัดจากขมิ้นอ้อยต่อระบบภูมคุ้มกันของกุ้งขาวแวนนาไม จากการทดลองได้ผลิตน้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อยโดยใช้อัตราส่วนของเนื้อมะพร้าวต่อเหง้าของขมิ้นอ้อยสด เท่ากับ 5:0, 5:0.5, 5:1.0, 5:1.5, 5:2.0 โดยน้ำหนัก มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบเคอร์คูมินอยด์มีค่าสูงตามปริมาณขมิ้นอ้อยที่ใช้ในการสกัด พบว่าการเพิ่มปริมาณเหง้าของขมิ้นอ้อยทำให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และสารประกอบเคอร์คูมินอยด์มีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงได้นำน้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อยมาผสมกับอาหารเพื่อใช้เลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม การออกแบบการทดลองใช้การวางแผนแบบสุ่มตลอดโดยแบ่งชุดการทดลองเป็น 6 ชุดการทดลอง 3 ซ้ำ ชุดที่1 ใช้อาหารสำเร็จรูป (ชุดควบคุม) ชุดที่ 2 ใช้น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ ชุดที่ 3 ใช้น้ำมันมะพร้าวที่มีสารสกัดจากขมิ้นอ้อย (ใช้อัตราส่วนของเนื้อมะพร้าวต่อเหง้าของขมิ้นอ้อยสด 5:0.5) ชุดที่ 4 ใช้น้ำมันมะพร้าวที่มีสารสกัดจากขมิ้นอ้อย (ใช้อัตราส่วนของเนื้อมะพร้าวต่อเหง้าของขมิ้นอ้อยสด 5:1.0) ชุดที่ 5 ใช้น้ำมันมะพร้าวที่มีสารสกัดจากขมิ้นอ้อย (ใช้อัตราส่วนของเนื้อมะพร้าวต่อเหง้าของขมิ้นอ้อยสด 5:1.5) ชุดที่ 6 ใช้น้ำมันมะพร้าวที่มีสารสกัดจากขมิ้นอ้อย (ใช้อัตราส่วนของเนื้อมะพร้าวต่อเหง้าของขมิ้นอ้อยสด 5:2.0) จากการทดลองได้ทำการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในถังพลาสติกกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.3 เมตร น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นของกุ้งขาวแวนนาไม 1.0-2.0 กรัมต่อตัว ความหนาแน่นของการปล่อยกุ้งขาวแวนนาไมเท่ากับ 62 ตัวต่อตารางเมตร ระยะเวลาเลี้ยง 10 สัปดาห์ ให้อาหารกุ้งขาวแวนนาไม 3 เวลา คือ 08.00 น. 11.00 น. และ 17.00 น. จากการศึกษาการเจริญเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไมจากการเลี้ยงด้วยอาหาร 6 สูตร โดยวัดค่าน้ำหนักเฉลี่ย น้ำหนักเพิ่มขึ้น น้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน อัตราการรอดตาย และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ พบว่ากุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 4 มีการเจริญเติบโต และอัตราการรอดตายสูง นอกจากนี้สูตรที่ 4 ยังส่งผลให้อัตราการรอดตายของลูกกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงในเชื้อ *Vibrio vulnificus* สูงที่สุด (81.67±7.64%) สรุปได้ว่าน้ำมันมะพร้าวผสมขมิ้นอ้อยที่ใช้เป็นส่วนผสมอาหารสำหรับเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมมีสารต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงส่งผลทำให้อัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และภูมิคุ้มกันสูง

คำสำคัญ: น้ำมันมะพร้าวที่มีสารสกัดจากขมิ้นอ้อย ระบบภูมิคุ้มกัน และกุ้งขาวแวนนาไม

[1]คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช

[2]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช

[3]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง

Efficiency of Food with Composition of Coconut Oil with Extracted from Curcumin (*Curcuma zedoaria*) to Immune System of Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei)*

Norasing Penprapai[1], Pensri Penprapai[2], Amporn Ratanamusik[1], Manoch Chumchareon[3]

Abstract

Coconut oil with extracts of *Curcuma zedoaria* Roscoe (COZ) can be used in food for aquatic animals because its high curcuminoid compounds as antioxidant and medium chain triglyceride which is easy to absorb. The objectives of this work were to study efficiency of food with composition of coconut oil with extracted from curcumin (*curcuma zedoaria*) to immune system of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei)*. COZ was produced by using 4 different ratios of coconut meat to fresh rhizome of *Curcuma zedoaria* Roscoe (w/w)–5:0, 5:0.50, 5:1.0 5:1.5 and 5:2.0. It was found that increasing the fresh rhizome of *Curcuma zedoaria* Roscoe content resulted in increasing curcuminoid compounds, antioxidant activity. Therefore, COZ was used in feed diets for rearing Pacific White Shrimp. Pacific white shrimp was reared in round plastic bucket diameter of 0.3 m. Mean weight of Pacific white shrimp start at 1.0-2.0 g/body. Stocking density of Pacific white shrimp/ponds was 62 shrimp/m^2. Pacific white shrimp was reared for 10 weeks. Feeding was performed at 8.00 am, 11 am and 5 pm. The experiment was done using Completely Randomized Design (CRD), 6 treatments, three replication, T1 used completes pellets, T2 used virgin coconut oil (VCO), T3 used COZ (ratios of coconut meat to fresh rhizome of *Curcuma zedoaria* (w/w) as 5:0.5), T4 used COZ (ratios of coconut meat to fresh rhizome of *Curcuma zedoaria* (w/w) as 5:1.0), T5 used COZ (ratios of coconut meat to fresh rhizome of *Curcuma zedoaria* (w/w) as 5:1.5) and T6 used COZ (ratios of coconut meat to fresh rhizome of *Curcuma zedoaria* (w/w) as 5:2.0). Growth performance of Pacific white shrimp was studied to determine average weight (AW), weight gain (WG), average daily growth (weight) (ADG), survival rate (SR) and specific growth rate (SGR). It found that growth performance and survival rate of Pacific White Shrimp and from treatment 4 was highest. Moreover, survival rate of juvenile pacific white leg shrimp cultured in *Vibrio vulnificus* (81.67±7.64%) was highest. This concluded that COZ with high antioxidant and antioxidant activity in feed was resulting to high growth, survival rate and immune system of pacific white shrimp.

Keyword: Coconut oil with extracted *Curcuma zedoaria* Roscoe, Immune System, *Litopenaeus Vannamei*

[1] Faculty of Agriculture, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Nakhon Si Thammarat, Thailand

[2]Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Nakronsi Thammarat, Thailand

[3]Faculty of Science and Fisheries Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Trang, Thailand

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ปีงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2562 เป็นงานวิจัยเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของอาหารที่มีส่วนผสมของน้ำมันมะพร้าวที่มีสารสกัดจากขมิ้นอ้อยต่อระบบภูมคุ้มกันของกุ้งขาวแวนนาไม

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยที่ได้ให้การสนับสนุนในการทำวิจัยนี้

ขอขอบคุณคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัย และสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้มาโดยตลอด

ขอขอบคุณ นายอดิศักดิ์ พรหมเจริญ และนางสาวรัชนูญ ทองชู ผู้ช่วยนักวิจัยที่ได้ช่วยเหลือในส่วนทำการทดลองจนงานวิจัยนี้ได้สำเร็จด้วยดี ท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุกท่านที่มิได้กล่าวนามในที่นี้ที่มีส่วนช่วยสนับสนุนการวิจัยนี้ให้สำเร็จด้วยดี

นรสิงห์ เพ็ญประไพ
หัวหน้าโครงการ
กันยายน 2563

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(ก)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(ข)
กิตติกรรมประกาศ	(ค)
สารบัญ	(ง)
สารบัญตาราง	(ฉ)
สารบัญภาพ	(ช)
สารบัญภาคผนวก	(ซ)
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม	
2.1 กุ้งขาวแวนนาไม	3
2.2 เรื่องทั่วไปเกี่ยวกับน้ำมันมะพร้าว	22
2.3 ขมิ้นอ้อย	29
บทที่ 3	
3.1 วัสดุ และอุปกรณ์	35
3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย	36
บทที่ 4	
4.1 สกัดน้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากเหง้าขมิ้นอ้อยสด	43
4.2 ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในน้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อยสด	43
4.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารแต่ละสูตร (Proximate Analysis)	45
4.4 การศึกษาการแสดงออกของยีน superoxide dismutase	47
4.5 อัตราการเจริญเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไม	48
4.6 การศึกษาคุณภาพน้ำในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม	65

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	66
บรรณานุกรม	68
ภาคผนวก	71

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 อัตราการให้อาหารต่อน้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งขาวแวนนาไม	11
ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันมะพร้าว	25
ตารางที่ 3.1 สูตรอาหารที่ 1-6 อัตราส่วนน้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อย	35
ตารางที่ 3.2 การเตรียมสารละลายผสมชนิด A* โดยใช้ปริมาณอาร์เอ็นเอ 500 นาโนกรัม	40
ตารางที่ 3.3 สารละลาย cDNA synthesis*	40
ตารางที่ 3.4 การแสดงออกของยีน โดยใช้ไพรเมอร์ (primer) ที่จำเพาะเจาะจง	41
ตารางที่ 3.5 ส่วนผสม และการเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอโดยการนำเข้าเครื่อง PCR	41
ตารางที่ 4.1 ปริมาณน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ และน้ำมันมะพร้าวที่มีสารสกัดจากขมิ้นอ้อย (เปอร์เซ็นต์)	43
ตารางที่ 4.2 IC_{50} โดยวิธี DPPH ของน้ำมันมะพร้าวที่มีสารสกัดจากขมิ้นอ้อย	44
ตารางที่ 4.3 ปริมาณสารประกอบเคอร์คูมินอยด์ในน้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อย	45
ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารทั้ง 6 สูตร	46
ตารางที่ 4.5 น้ำหนักเฉลี่ย (average weight) ของกุ้งขาวแวนนาไม	49
ตารางที่ 4.6 น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ย (weight gain) ของกุ้งขาวแวนนาไม	51
ตารางที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน (daily weight gain; DWG) ของกุ้งขาวแวนนาไม	53
ตารางที่ 4.8 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate; SGR) ของกุ้งขาวแวนนาไม	55
ตารางที่ 4.9 อัตราการรอดตาย (survival rate) ของกุ้งขาวแวนนาไม	57
ตารางที่ 4.10 อัตราการแลกเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion ratio; FCR) ของกุ้งขาวแวนนาไม	59
ตารางที่ 4.11 อัตราการรอดตาย (survival rate) ของลูกกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงในเชื้อ *Vibrio vulnificus*	62
ตารางที่ 4.12 การแยกเชื้อแบคทีเรียด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อ tcbs agar	63
ตารางที่ 4.13 การตรวจวัดคุณภาพน้ำในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม	65

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 2.1 ความแตกต่างระหว่างเพศผู้ และเพศเมียของกุ้งขาวแวนนาไม	6
ภาพที่ 2.2 ระบบทางเดินอาหารของกุ้งขาวแวนนาไม	9
ภาพที่ 2.3 น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์	23
ภาพที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์	27
ภาพที่ 2.5 ลักษณะของขมิ้นอ้อย	28
ภาพที่ 2.6 ลักษณะลำต้น และเหง้าของขมิ้นอ้อย	29
ภาพที่ 2.7 ดอกของขมิ้นอ้อย	29
ภาพที่ 2.8 องค์ประกอบทางเคมีของขมิ้นอ้อย	31
ภาพที่ 2.9 น้ำมันมะพร้าวที่มีส่วนผสมของสารสกัดจากขมิ้นอ้อย	32
ภาพที่ 3.1 กระบวนการผลิตน้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อย	36
ภาพที่ 4.1 การแสดงออกของยีน superoxide dismutase (*sod*) ของสูตรอาหารทั้ง 6 สูตร	47
ภาพที่ 4.2 น้ำหนักเฉลี่ย (กรัมต่อตัว) ที่สัมพันธ์กับระยะเวลา (สัปดาห์) ที่ได้รับสูตรอาหารที1-6	50
ภาพที่ 4.3 น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ย (กรัมต่อตัว) ที่สัมพันธ์กับระยะเวลา (สัปดาห์) ที่ที่ได้รับสูตรอาหารที่ 1-6	52
ภาพที่ 4.4 น้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน (เปอร์เซ็นต์) ที่สัมพันธ์กับระยะเวลา (สัปดาห์) ที่ได้รับสูตรอาหารที่ 1-6	54
ภาพที่ 4.5 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (เปอร์เซ็นต์/ต่อวัน) ที่สัมพันธ์กับระยะเวลา (สัปดาห์) ที่ได้รับสูตรอาหารที่ 1-6	56
ภาพที่ 4.6 อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์) ที่สัมพันธ์กับระยะเวลา (สัปดาห์) ที่ได้รับสูตรอาหารที่ 1-6	58
ภาพที่ 4.7 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (เปอร์เซ็นต์) ที่สัมพันธ์กับระยะเวลา (สัปดาห์) ที่ได้รับสูตรอาหารที่ 1-6	60
ภาพที่ 4.8 อัตราการรอดตายของลูกกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงในเชื้อ *Vibrio vulnificus* (เปอร์เซ็นต์) ที่สัมพันธ์กับระยะเวลา (สัปดาห์) ที่ได้รับสูตรอาหารที่ 1-6	61

สารบัญภาพภาคผนวก

ภาพผนวกที่	หน้า
ภาพผนวกที่ 1 น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อย	72
ภาพผนวกที่ 2 อาหารที่ใช้ทดลองเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม	72
ภาพผนวกที่ 3 ระบบบ่อ และระบบการให้อากาศในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม	73
ภาพผนวกที่ 4 ลูกกุ้งขาวแวนนาไม ขนาด 0.05-0.15 กรัม ที่นำมาเลี้ยงทดลอง	73
ภาพผนวกที่ 5 การให้อาหารกุ้งขาวแวนนาไม	74
ภาพผนวกที่ 6 การเปลี่ยนถ่ายน้ำ ทุกๆ 3 วัน	74
ภาพผนวกที่ 7 ตรวจสอบคุณภาพน้ำทุกๆ 1 สัปดาห์	75
ภาพผนวกที่ 8 ลักษณะของเชื้อ *Vibrio vulnificus* ในอาหารเลี้ยงเชื้อ	75
ภาพผนวกที่ 9 การนำเชื้อ *Vibrio vulnificus* ที่เจือจางใส่ลงในบ่อเลี้ยงลูกกุ้งขาวแวนนาไม เพื่อศึกษาอัตราการรอดตาย	76
ภาพผนวกที่ 10 ตรวจนับอัตราการรอดตายของลูกกุ้งขาวที่เลี้ยงในเชื้อ *Vibrio vulnificus*	76

บทที่ 1
คำนำ

1.1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

กุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) เป็นกุ้งทะเลในกลุ่มกุ้งขาวแปซิฟิก(Pacific white shrimp) ปัจจุบันการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมได้รับความนิยมจากเกษตรกรมากขึ้น เนื่องจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำประสบปัญหาโรคระบาด ขาดแคลนพ่อแม่พันธุ์คุณภาพดีและกุ้งกุลาดำแคระแกร็นเลี้ยงไม่โต ด้วยคุณลักษณะของกุ้งขาวแวนนาไม คือ เป็นกุ้งที่มีความแข็งแรงทนทาน สามารถเพาะเลี้ยงได้ทั้งในน้ำที่มีระดับความเค็มตั้งแต่ 0-35 ส่วนในพันส่วน และอุณหภูมิของน้ำที่เจริญเติบโตได้ดี คือ 26-29 องศาเซลเซียส จึงทำให้เกษตรกรหันมาเลี้ยงกุ้งชนิดนี้เพิ่มมากขึ้นและทำให้การเลี้ยงขยายตัวอย่างรวดเร็ว แต่อย่างไรก็ตามภาวะเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้กุ้งป่วย และตายซึ่งมีผลมาจากปัจจัยต่าง จากสิ่งแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ได้แก่คุณภาพอาหาร คุณภาพน้ำ สภาพอากาศ ความหนาแน่นของการปล่อยกุ้ง เป็นต้น โดยภาวะดังกล่าวมีผลทำให้เกิดการสร้างอนุมูลอิสระที่เป็นพิษต่อเซลล์ เช่นการเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการทำงานของไขมันและโปรตีนต่างๆ ทั้งที่อยู่ในเซลล์และที่อยู่ที่ผนังของเซลล์ได้ โดยส่งผลทำให้เกิดการป่วยและตายของปลาขึ้นได้ อย่างไรก็ตามโดยปกติสัตว์น้ำจะมีกลไกที่จะลดสารอนุมูลอิสระด้วยเอนไซม์ที่มีบทบาทเกี่ยวกับการทำลายสารอนุมูลอิสระ ได้แก่ Superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) เป็นต้น เพื่อปกป้องเซลล์จากภาวะ oxidative stress

น้ำมันมะพร้าวที่มีสารสกัดจากขมิ้นอ้อย เป็นผลิตภัณฑ์ธรรมชาติที่มีที่อุดมไปด้วยกรดลอริก และสารต้านอนุมูลอิสระ (เช่นวิตามินอี และสารประกอบฟีนอลิก) โดยกรดลอริกในน้ำมันมะพร้าวเป็นสารที่สามารถต่อต้านการติดเชื้อ มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อ ไวรัสแบคทีเรีย เชื้อราและโปรโตซัวในมนุษย์และนอกจากนี้ น้ำมันมะพร้าวเป็นพืชชนิดเดียวที่ประกอบไปด้วยกรดไขมันอิ่มตัวถึงร้อยละ 92 ซึ่งมีความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และในน้ำมันมะพร้าวมีองค์ประกอบของกรดไขมันสายโซ่ขนาดกลาง ร้อยละ 60% ซึ่งเป็นกรดไขมันที่สามารถย่อยง่ายและเร็วเหมาะที่จะใช้เป็นอาหารในกลุ่มไขมัน ช่วยส่งเสริมพัฒนาการการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ เสริมทางด้านการดูดซึมของอาหาร การย่อย ช่วยเสริมสร้างอัตราแลกเนื้อของสัตว์น้ำ ส่วนสารสกัดที่ได้ขมิ้นอ้อยที่ละลายอยู่ในน้ำมันมะพร้าวนั้นอุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระคือสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ จะป้องกันการออกซิเดชันของลิพิดในเยื่อหุ้มเซลล์ กำจัดอนุมูลอิสระ โดยจับกับอนุมูลอิสระ ช่วยป้องกันการเกิดโรคต่างๆ การนำน้ำมันมะพร้าวที่มีสารสกัดจากขมิ้นอ้อยผสมกับอาหารให้กุ้งขาวแวนไมกินสามารถป้องกันการออกซิเดชันของลิพิดในเยื่อหุ้มเซลล์ กำจัดอนุมูลอิสระ โดยจับกับอนุมูลอิสระ ช่วยป้องกันการเกิดโรคต่างๆ ของสัตว์น้ำ งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อยสด ระบบภูมิคุ้มกันกุ้งขาวแวนนาไม

1.2. วัตถุประสงค์ในการวิจัย

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของน้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อยสด ระบบภูมิคุ้มกันกุ้งขาวแวนนาไม

1.3.ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1. สกัดน้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากเหง้าขมิ้นอ้อยสด

1.3.2. เพื่อทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบเคอร์คูมินอยด์

1.3.3. เพื่อศึกษาระบบภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะเจาะจงของกุ้งขาวแวนนาไม

1.3.4. เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไม

1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1. องค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยไปเผยแพร่ในวารสารทั้งในประเทศ และต่างประเทศ และนำไปสู่การจดสิทธิบัตร

1.4.2. สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการวิจัยเผยแพร่ให้แก่กลุ่มเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม

1.4.3. ลดการใช้สารเคมีสังเคราะห์ที่มีราคาแพง และส่งผลเสียต่อสภาพแวดล้อม และผู้บริโภค และนอกจากสามารถใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นให้เกิดประโยชน์ และเพิ่มมูลค่า

บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรม

2.1 กุ้งขาวแวนนาไม

กุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) เป็นกุ้งทะเลในกลุ่มกุ้งขาวแปซิฟิก (Pacific white shrimp) มีลักษณะ ผิวมันเกลี้ยง และเรียบ เลี้ยงง่าย มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เนื่องจากพ่อแม่พันธุ์ได้รับการพัฒนาสายพันธุ์มาเป็นเวลาช้านาน และทำให้มีการนำเข้าไปเลี้ยงในหลายๆประเทศ และกุ้งชนิดนี้มีการนำเข้ามาเลี้ยงในทวีปเอเชียครั้งแรกในประเทศไต้หวัน ปี พ.ศ. 2539 และต่อมาได้นำเข้าไปในประเทศจีนในปี พ.ศ. 2541 สำหรับประเทศไทยได้มีการนำกุ้งขาวแวนนาไมเข้ามาทดลองเลี้ยงในปี พ.ศ. 2541 แต่การทดลองในครั้งนั้นไม่ประสบความสำเร็จมากนัก จนกระทั่งเดือนมีนาคม พ.ศ. 2545 กรมประมงได้อนุญาตให้นำพ่อแม่พันธุ์ที่ปลอดเชื้อ (Specific Pathogen Free, SPF) จากต่างประเทศเข้ามาทดลองเลี้ยง ระยะเวลาการนำเข้าพ่อแม่พันธุ์ที่ปลอดเชื้อจากจากเดือนมีนาคม พ.ศ. 2545 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2546 ซึ่งเป็นช่วงเวลาเดียวกันที่การเลี้ยงกุ้งกุลาดำในประเทศไทยกำลังประสบปัญหาในเรื่องกุ้งโตช้า โดยเฉพาะในขณะที่จับกุ้งจะพบว่ามีกุ้งขนาดเล็กน้ำหนักประมาณ 3 ถึง 5 กรัม เป็นจำนวนมาก ทำให้เกษตรกรส่วนใหญ่ประสบปัญหาภาวะขาดทุน ในขณะเดียวกันเกษตรกรบางส่วนได้ทดลองเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม ซึ่งส่วนใหญ่ให้ผลค่อนข้างดี และจากกระแสการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่ได้ผลดีกว่ากุ้งกุลาดำ ส่งผลให้เกษตรกรจำนวนมากหันมาเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมกันมากขึ้น แต่เนื่องจากกุ้งขาวแวนนาไมเป็นกุ้งชนิดใหม่ที่ไม่เคยเลี้ยงในประเทศไทยมาก่อน รายละเอียดเกี่ยวกับพฤติกรรม การเลี้ยง การให้อาหาร ตลอดจนปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลเกี่ยวกับการเลี้ยงยังไม่มีการศึกษามาก่อน ทำให้เกษตรกรบางส่วนมีปัญหาในเรื่องของกุ้งเป็นโรค ในเรื่องของลูกพันธุ์ที่มีคุณภาพไม่ดีหลังจากเลี้ยงไปแล้วมีปัญหากุ้งโตช้า และมีลักษณะผิดปกติบางอย่างเกิดขึ้น เนื่องจากกุ้งขาวแวนนาไมเป็นกุ้งที่มีการเลี้ยงอย่างแพร่หลายทั่วโลกมากกว่า 30 ประเทศ ดังนั้นในอนาคตการผลิตกุ้งขาวแวนนาไมออกสู่ตลาดโลกจะมีปริมาณมาก โดยเฉพาะในปี พ.ศ. 2546 ประเทศจีนซึ่งเป็นประเทศที่มีการผลิตกุ้งมากที่สุดในโลกถึง 400,000 ตันต่อปี พบว่าจำนวนมากกว่าครึ่งหนึ่งของผลผลิตจะมาจากกุ้งขาวแวนนาไม ส่วนในประเทศไทยเมื่อปี พ.ศ. 2545 มีการผลิตกุ้งขาวประมาณ 20,000 ตัน แต่ในปี พ.ศ. 2546 ประเทศไทยสามารถผลิตกุ้งขาวแวนนาไมได้จำนวนประมาณ 170,000 ตัน จะเห็นได้ว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นมาก และในขณะนี้ประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิตกุ้งขาวแวนนาไมได้มากเป็นอันดับสองรองจากประเทศจีน (สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร, 2563)

2.1.1. อนุกรมวิธานกุ้งขาวแวนนาไม

จำแนกอนุกรมวิธานของกุ้งขาวแวนนาไม ตามการจำแนกของ Brock and Main (1994) มีดังนี้

Phylum Arthropoda

Class Crustacea

Subclass Malacostraca

Order Decapoda

Suborder Natantia

Intraorder Penaeidea

Family Penaeidae

Genus *Penaeus*

Subgenus *Litopenaeus*

Species *vannamei*

2.1.2. ลักษณะทั่วไปของกุ้งขาวแวนนาไม

กุ้งขาวแวนนาไมหรือกุ้งขาวแปซิฟิก (*Litopenaeus vannamei*) เป็นสายพันธุ์ในกลุ่มกุ้งขาวแปซิฟิกมีลักษณะ ผิวมันเกลี้ยง และเรียบ ลำตัวมี 8 ปล้อง และมีสีขาวโปร่ง ส่วนหัวมี 1 ปล้อง มีกรีอยู่ในระดับยาวประมาณ 0.8 เท่าของความยาวเปลือกหัวสันกรีสูง ปลายกรีแคบ ส่วนของกรีมีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมมีสีแดงอมน้ำตาล กรีด้านบนมี 8 ฟัน กรีด้านล่างมี 2 ฟัน ร่องบนกรีมองเห็นได้ชัดเปลือกหัวสีขาวอมชมพูถึงแดง ขาเดินมีสีขาวเป็นลักษณะที่โดดเด่น หนวดแดง 2 เส้นยาว ตาแดงเข้ม ส่วนตัวมี 6 ปล้อง เปลือกตัวสีขาวอมชมพูถึงแดง เปลือกบาง ขาว่ายน้ำ 5 คู่ มีสีขาวข้างในที่ปลายมีสีแดง ส่วนหางมี 1 ปล้อง ปลายหางมีสีแดงเข้ม แพนหางมี 4 ใบ และ 1 กรีหาง ขนาดตัวที่โตสมบูรณ์เต็มที่ของกุ้งสายพันธุ์นี้จะมีขนาดที่เล็กกว่ากุ้งกุลาดำ หากินทุกระดับความลึกของน้ำ ชอบว่ายล่องน้ำแก่ง ลอกคราบเร็วทุกๆสัปดาห์ ไม่หมกตัว กุ้งขาวแวนนาไมเป็นสายพันธุ์กุ้งทะเลที่มีการเพาะเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายในหลายประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา เม็กซิโก กัวเตมาลา นิคารากัว คอสตาริกา ปานามา โคลัมเบีย อิควาดอร์ เปรู กุ้งสายพันธุ์นี้เป็นสัตว์ที่มีความแข็งแรง และทนทานจึงมีการขยายพันธุ์ตามธรรมชาติได้กว้างไกล ในแถบแนวชายฝั่งตะวันออกของมหาสมุทรแปซิฟิก ตั้งแต่เม็กซิโกถึงเปรู เนื่องจากภูมิภาคในแถบนี้ที่ระดับความลึกจากเส้นแนวชายฝั่งลงไปประมาณ 72 เมตร หรือ 235 ฟุต มีพื้นท้องทะเลเป็นเหมือนโคลนที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโต และเป็นแหล่งอาหารที่อุดมสมบูรณ์ ประเทศอิควาดอร์เป็นประเทศผู้ผลิตรายใหญ่ที่มีฟาร์มเพาะเลี้ยงกุ้ง ลูกกุ้ง พ่อ-แม่พันธุ์ (ประจวบ, 2527)

2.1.3. การสืบพันธุ์ และความแตกต่างระหว่างเพศของกุ้งขาวแวนนาไม

กุ้งขาวแวนนาไม เป็นกุ้งพันธุ์พื้นเมืองของชายฝั่งมหาสมุทรแปซิฟิกบริเวณอเมริกากลาง และใต้ (Rosenberry, 1993) กุ้งขาวอาศัยอยู่ตามแนวชายฝั่ง บริเวณที่เป็นพื้นโคลนลงไปจนถึงระดับความลึกประมาณ 72ฟุต หรือ 235 ฟุต (Dore and Frimodt, 1987) ในธรรมชาติของกุ้งสายพันธุ์จะมีอายุขัยประมาณเกือบ 36 เดือน โดยจะวางไข่ที่ระดับน้ำลึกประมาณ 30-60 มิลลิเมตรใกล้พื้นทรายปกติแล้วแม่กุ้งขนาด 60-120 กรัม จะวางไข่ประมาณ 150,000 ถึง 250,000 ฟอง ส่วนแม่กุ้งขนาด 30-45 กรัม จะวางไข่ประมาณไม่เกิน 100,000 ฟอง โดยจะวางไข่ในตอนกลางคืนบนพื้น แม่กุ้งจะว่ายน้ำอย่างรวดเร็วอยู่

ประมาณ 45-60 วินาที แล้วจึงเริ่มออกไข่ขณะที่ลดความเร็วลงอย่างช้าๆ เนื่องจากลักษณะอวัยวะสืบพันธุ์เพศเมียของกุ้งขาว ลิโทพีเนียสแวนนาไม นี้จะมีลักษณะเป็นแบบปิด (opened thelycum) แตกต่างจากลักษณะอวัยวะสืบพันธุ์เพศเมียของกุ้งกุลาดำ และกุ้งแชบ๊วย ซึ่งมีลักษณะเป็นแบบปิด (closed thelycum) ดังนั้นรูปแบบของการสืบพันธุ์ และพฤติกรรมในการผสมพันธุ์จึงเป็นไปคนละลักษณะกับกุ้งกุลาดำ และกุ้งแชบ๊วย

ระบบสืบพันธุ์ และการผสมพันธุ์ปกติแล้วกุ้งขาวแวนนาไมจะผสมพันธุ์ในเวลากลางคืน หลังจากมีการลอกคราบของตัวเมียจะมีการเกี้ยวพาราสีและผสมพันธุ์กันที่ความลึก 10 -15 เมตรถึง 30-50 เมตร ในธรรมชาติ แม่กุ้งที่มีไข่แก่พร้อมที่จะวางไข่นั้น จะสังเกตได้จากจะเห็นรังไข่ เป็นลำทึบมีสีเขียวเกือบดำอยู่บนแถบหลังของลำตัว ตั้งแต่บริเวณหลัง ไปจรดหางและตรงบริเวณด้านข้างของลำตัว ตรงปล้องที่ 1-2 จะเห็นรังไข่แผ่ออกไปเป็นหยักๆ โค้งลงมาทางด้านข้างของลำตัวทั้งสองข้าง โดยมีพฤติกรรมในการผสมพันธุ์แบ่งได้เป็น 3 ระยะ คือ ระยะที่หนึ่ง ตัวเมียจะว่ายน้ำขนานไปกับตัวผู้ ตัวเมียจะว่ายน้ำสูงกว่าประมาณ 30-40 เซนติเมตร แล้วว่ายน้ำวกกลับมาสลับกลับการหยุดพักที่พื้นเป็นระยะๆ มักจะมีตัวผู้ว่ายไล่ตามหลายตัว แต่จะมีเพียงตัวเดียวที่สามารถว่ายน้ำเข้ามาขนานซ้อนอยู่ด้านล่างของตัวเมียพอดีแล้วตัวเมียจะค่อยๆ ใช้ขาเดินโอบรัดที่ส่วนหัว (carapace) ของตัวผู้ ใช้เวลาประมาณ 15-20 นาที ถ้าตัวผู้สามารถจัดตำแหน่งได้เหมาะสมถ้ายังจัดตำแหน่งไม่เหมาะสมหรือมีการหยุดพักนาน อาจใช้เวลานานมากกว่าหนึ่งชั่วโมง ระยะที่สองตัวผู้จะพลิกตัวค่อยๆ หงายขึ้นมาติดตัวเมีย พอทั้งคู่ประกบกันได้ตัวผู้จะแนบส่วนต่อของอกกับท้องเข้ากับส่วนนอกด้านล่างของตัวเมีย ซึ่งจะทำให้ตัวผู้ตัวอื่นๆ หมดโอกาสในการเข้าทำการผสมพันธุ์กับตัวเมียในจังหวะนี้ แต่ถ้าในระยะนี้ตัวผู้ยังเข้าทำได้ไม่สำเร็จ ตัวผู้จะกลับมาอยู่ในท่าคว่ำ แล้วจะพยายามว่ายน้ำขนานกับตัวเมียเพื่อสร้างโอกาสใหม่อีกครั้ง และระยะที่สามตัวผู้จะทำตัวเกือบตั้งฉากกับตัวเมีย หลังจากจังหวะที่ประกบตัวได้แล้ว ตัวผู้จะใช้ขาเดินคู่ที่ 5 เขี่ยอวัยวะสืบพันธุ์ (เพศผู้) petasma ซึ่งเห็นง่าย อยู่ด้านข้างเป็นคู่ มีลักษณะคล้ายตะขอ อยู่ที่ขาว่ายน้ำ คู่ที่ 1 ซึ่งเป็นอวัยวะที่ช่วยในการปล่อยน้ำเชื้อแล้วจับ petasma ยัดเข้าไปที่ thelycum ของตัวเมียซึ่งลักษณะเป็นแผ่นรูปคล้ายผีเสื้อกางปีก มีรูเปิดอยู่ตรงกลางยาวลงไปเป็นร่องเหมือนรังกระดุมเสื้อเชิ้ต อยู่ตรงกลางระหว่างขาว่ายน้ำคู่ที่ 1

กับขาเดินคู่ที่ 5 ซึ่งเป็นอวัยวะที่มีไว้สำหรับเก็บน้ำเชื้อของกุ้งตัวผู้ ภายหลังการเกาะติดแน่นมากเหมือนทากาวแล้ว ตัวผู้จะโค้งรอบตัวเมีย แล้วกระตุกหัวและหางเป็นจังหวะอย่างต่อเนื่องเพื่อบีบให้น้ำเชื้อออกมา ตัวเมียจะเก็บน้ำเชื้อเข้าไปแล้วปล่อยไข่เลยซึ่งในกุ้งขาวแวนนาไมนี้ไข่ของตัวเมียจะอยู่ข้างใน ส่วนของน้ำเชื้อที่เข้าไปจะอยู่ด้านนอก ซึ่งปากรูของ thelycum ต้องเปิดก่อนถึงจะเก็บน้ำเชื้อที่ได้รับมา ทำให้ปริมาณของเชื้อตัวผู้ที่เข้าปฏิสนธิกับไข่เป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ จึงทำให้โอกาสในการได้ไข่ที่ได้รับการผสมแล้วเจริญต่อไปเป็นตัวอ่อนน้อยกว่ากรณีของกุ้งกุลาดำและกุ้งแชบ๊วย หลังจากนั้นจึงค่อยแยกตัวออกจากกันแล้วว่ายน้ำออกไปในเวลา 2-3 วินาที ซึ่งรวมเวลาทั้งสิ้นในการผสมพันธุ์ทั้งหมดประมาณ 1-3 ชั่วโมง แล้วแม่กุ้งทำการปล่อยไข่ขณะที่ลดความเร็วการว่ายน้ำลงอย่างช้าๆ ออกทางช่องเปิดบริเวณโคนขาเดินคู่ที่ 3 ประมาณ 45-60 วินาที การวางไข่นี้จะใช้เวลา 3-5 นาที ถ้ากุ้งวางไข่ จะสามารถสังเกตเห็นคราบไขมันลอยอยู่บริเวณใกล้เคียง (หรือติดกับขอบบ่อที่ทำการเพาะฟัก) (ธนพงศ์, 2553)

กุ้งขาวแวนนาไมมีทั้งเพศผู้ และเพศเมีย เพศผู้จะมีอวัยวะที่เรียกว่า petasma มีลักษณะเป็นติ่งอยู่ระหว่างโคนขาว่ายน้ำคู่ที่ 1 ส่วนเพศเมียจะมี thelycum อยู่บริเวณโคนขาเดินคู่ที่ 5 (ปกป้อง, 2562)

ภาพที่ 2.1 ความแตกต่างระหว่างเพศผู้ และเพศเมียของกุ้งขาวแวนนาไม
ที่มา : ปกป้อง, 2562

2.1.4. วงจรชีวิต และพฤติกรรมการดำรงชีวิตของกุ้งขาวแวนนาไม

กุ้งขาวแวนนาไมเป็นสัตว์ 2 ระดับน้ำคือ ระยะโตเต็มวัยอยู่ในทะเล แต่ช่วงที่ยังไม่สมบูรณ์เพศจะอยู่บริเวณชายฝั่ง พ่อ-แม่พันธุ์จะอยู่ในทะเลน้ำลึกประมาณ 70 เมตร ห่างจากชายฝั่งอเมริกา ซึ่งมีอุณหภูมิของน้ำ 26-28 องศาเซลเซียส ความเค็มประมาณ 35 ส่วนในพันส่วน ไข่กุ้งจะฟักเป็นตัวและพัฒนาระยะตัวอ่อนในทะเล โดยระยะนี้ลูกกุ้งจะอยู่ในลักษณะของแพลงก์ตอนสัตว์ เมื่อเข้าสู่ระยะโพสลาวาจะอพยพเข้ามาอาศัยอยู่บริเวณน้ำตื้นชายฝั่งใกล้ปากแม่น้ำหรือป่าชายเลน ซึ่งเป็นบริเวณที่มีอาหารสมบูรณ์ และหลบภัยศัตรูได้ดี คุณภาพน้ำ ความเค็ม และอุณหภูมิน้ำเปลี่ยนแปลงมากกว่าในทะเลหลังจากเจริญเติบโตอยู่บริเวณ

ชายฝั่งประมาณ 2-3 เดือน กุ้งที่โตเต็มวัยจะอพยพกลับสู่ทะเลเพื่อพัฒนาความสมบูรณ์เพศไปเป็นพ่อแม่พันธุ์ต่อไป (ธนพงศ์, 2553)

กุ้งขาวแวนนาไม เป็นกุ้งที่มีความสามารถในการปรับตัวสูง จึงสามารถอาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงกว้าง เช่น ความเค็ม กุ้งขาวแวนนาไม สามารถเจริญเติบโตได้ดีในน้ำที่มีระดับความเค็ม ตั้งแต่ 0-35 ส่วนในพันส่วน แต่ไม่ควรต่ำกว่า 3 ส่วนในพันส่วน ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง กุ้งขาวแวนนาไมมีการเจริญเติบโตที่เร็วเมื่อเทียบกับกุ้งกุลาดำ และมีการลอกคราบบ่อยๆ กุ้งขาวแวนนาไมจึงต้องการแร่ธาตุสูง โดยเฉพาะแมกนีเซียม และแคลเซียม ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความกระด้างและค่าอัลคาไลนิตี้ของน้ำ กุ้งขาวแวนนาไม มีความสามารถในการเคลื่อนที่ได้เร็ว และว่ายน้ำอยู่ตลอดเวลา จึงต้องการออกซิเจนในการดำรงชีวิตสูงกว่ากุ้งกุลาดำ ระบบการให้อากาศในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมจึงต้องเพียงพอ กุ้งขาวแวนนาไมแม้ว่าจะว่ายน้ำเป็นฝูง แต่ไม่ใช่สัตว์สังคมจึงมีนิสัยก้าวร้าวและทำร้ายกุ้งตัวอื่น กุ้งขาวแวนนาไมมีความสามารถในการกินอาหารได้หลายชนิด ตั้งแต่อาหารเม็ดสำเร็จรูป ซากแพลงก์ตอนพืชและสัตว์ แต่อาหารที่สำคัญที่สุดคือ อาหารที่มีปริมาณโปรตีน วิตามิน และแร่ธาตุ อย่างครบถ้วน (ปิยะบุตร, 2545) อัตราการเจริญเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไม ขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ปัจจัย คือ ความถี่ของการลอกคราบและขนาดที่เพิ่มขึ้น เพราะตัวกุ้งจะถูกหุ้มด้วยเปลือกที่มีโครงสร้างแข็งแรง ดังนั้นจึงต้องลอกคราบเก่าออกก่อน และสร้างคราบใหม่ที่ใหญ่ขึ้นเพื่อรองรับการขยายขนาดที่เพิ่มขึ้น ในช่วงก่อนการลอกคราบกุ้งจะสร้างคราบใหม่ที่ยังนิ่มอยู่ไว้ภายในชั้น cuticle และ intercalary sclerite เมื่อถึงเวลาลอกคราบกุ้งจะสลัดตัวหลุดออกจากคราบเก่า โดยใช้หางคราบใหม่ที่ยังนิ่มอยู่ในช่วงแรกก็จะแข็งแรงขึ้นเรื่อยๆ พร้อมกับขนาดของกุ้งที่มีขนาดใหญ่ขึ้น การลอกคราบยังขึ้นอยู่กับอายุของสัตว์ อุณหภูมิของน้ำ และความอุดมสมบูรณ์ของอาหาร ความถี่ในการลอกคราบเป็นปัจจัยหนึ่งในการเพิ่มขนาดของกุ้ง กุ้งโตขึ้นระยะเวลาระหว่างการลอกคราบก็เพิ่มขึ้นด้วย ในระยะวัยอ่อนกุ้งจะลอกคราบทุกๆ 30-40 ชั่วโมง กุ้งระยะ juvenile ขนาด 1-5 กรัม อาจลอกคราบทุกๆ 4-6 วัน แต่กุ้งขนาด 15 กรัม ระยะเวลาระหว่างการลอกคราบแต่ละครั้งจากห่างออกไปเป็นทุกๆ 2 สัปดาห์ สภาพแวดล้อม สารอาหารและความเครียดก็เป็นปัจจัยสำคัญ ที่ส่งผลต่อความถี่ในการลอกคราบและการเจริญเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไมด้วย โดยอุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลทำให้ความถี่ในการลอกคราบเพิ่มขึ้น และมีผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไม โดยกุ้งขาวแวนนาไมจะตายถ้าอยู่ในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่า 33 องศาเซลเซียส เป็นเวลานา 24 ชั่วโมงหรือมากกว่า ช่วงอุณหภูมิที่อาจทำให้เครียดจนถึงตายได้ คือ 12-22 องศาเซลเซียส และ 30-33 องศาเซลเซียส ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต คือ 23-30 องศาเซลเซียส จากการศึกษาของอุณหภูมิน้ำต่อการพัฒนาระยะ และพัฒนาขนาดของกุ้งขาวแวนนาไม พบว่ากุ้งขาวแวนนาไมขนาดเล็กประมาณ 1 กรัม จะเจริญเติบโตได้ดีที่ 30 องศาเซลเซียส ในขณะที่กุ้งขาวแวนนาไมขนาดกลาง (12 กรัม) และกุ้งขาวแวนนาไมขนาดใหญ่ (18 กรัม) จะเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิต่ำลง โดยกุ้งขาวแวนนาไมขนาดกลางและใหญ่ที่เลี้ยงที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส จะโตเร็วกว่าที่เลี้ยงด้วยอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงกว่า 27 องศาเซลเซียส แม้ว่าจะทำให้การเจริญเติบโตสูงขึ้น แต่ส่งผลให้กุ้งขาวแวนนาไมเกิดความเครียดมากกว่า

ดังนั้นจึงส่งผลเสียต่อกุ้งขาวแวนนาไมใหญ่มากกว่าจะได้ผลดี สรุปได้ว่ากุ้งขาวแวนนาไมระยะ juvenile จะเจริญเติบโตได้ดีในน้ำที่มีอุณหภูมิที่สูง แต่ในกุ้งขาวแวนนาไมที่มีขนาดใหญ่กว่า 12 กรัม ระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตจะลดลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำระดับต่ำกว่า 5-7 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลทำให้ประสิทธิภาพการลอกคราบลดลง ขณะที่กุ้งลอกคราบการดูดซึมออกซิเจนกุ้งจะมีประสิทธิภาพต่ำลง จึงอาจทำให้กุ้งขาวแวนนาไมตายได้ง่ายระหว่างการลอกคราบ เนื่องจากการขาดออกซิเจน การที่กุ้งขาวแวนนาไมลอกคราบถี่หรือบ่อยเกินไปเป็นการแสดงอาการทางสรีระวิทยาให้เห็นว่ากุ้งขาวแวนนาไมได้รับความเครียด ไม่ควรกระตุ้นให้กุ้งแวนนาไมลอกคราบก่อนเวลาที่ควรจะเป็นหรือบ่อยๆ โดยไม่จำเป็น จะทำให้กุ้งขาวแวนนาไมเครียดหรือเสียพลังงานได้แต่โครงเปลือกที่ใหญ่ขึ้น เปลืองบางลง ตัวหลวม ไม่ได้เนื้อน้ำหนัก หรือขนาดใหญ่ขึ้นมา ช่วงลอกคราบเป็นช่วงที่อันตรายที่สุดของกุ้งขาวแวนนาไม เพราะช่วยเหลือตัวเองแทบไม่ได้ ต้องการออกซิเจนในน้ำสูง ใช้พลังงานสูง

ความเค็มก็มีผลต่อการเจริญเติบโตเช่นกัน แม้ว่ากุ้งแวนนาไมชนิดนี้จะทนต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มในช่วงกว้าง ตั้งแต่ 2-40 ส่วนในพันส่วนได้ แต่จะโตเร็วที่ระดับความเค็ม ซึ่งความเข้มข้นของระดับแร่ธาตุในน้ำเท่ากับในเลือดกุ้งแวนนาไม จากการศึกษาพบว่า กุ้งขาวแวนนาไมเจริญเติบโตได้ดีที่ความเค็ม 33 ส่วนในพันส่วน ซึ่งใกล้เคียงกับความเค็มของน้ำทะเล นอกจากนี้ความเค็มของน้ำยังมีอิทธิพลต่อรสชาติของกุ้งแวนนาไมอีกด้วย โดยกุ้งแวนนาไมที่เลี้ยงในน้ำที่มีความเค็มสูงจะมีกรดอะมิโนอิสระในกล้ามเนื้อมาก ทำให้มีรสหวาน ดังนั้นในช่วงสุดท้ายของการเลี้ยงก่อนจับจึงควรเลี้ยงด้วยน้ำความเค็มสูง เพื่อให้กุ้งมีรสหวาน เหมือนกุ้งในธรรมชาติ (ธนพงศ์, 2553)

2.1.5. ระบบทางเดินอาหาร และการกินอาหารของกุ้งขาวแวนนาไม

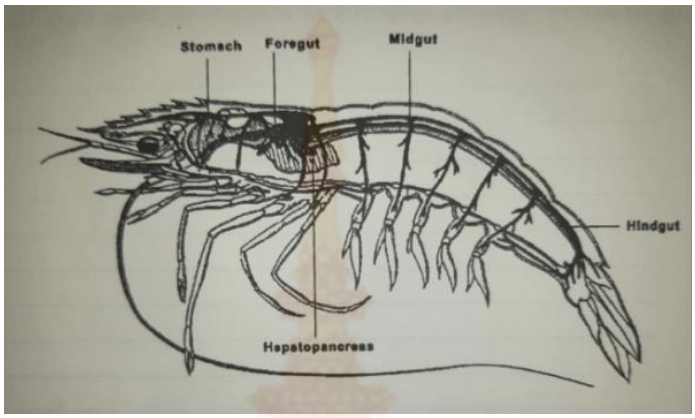
ระบบทางเดินอาหารของกุ้งขาวแวนนาไม แบ่งได้ 3 ส่วน

1. ทางเดินอาหารส่วนหน้า (Stomodrum หรือ Foregut) เริ่มตั้งแต่ปากถึงกระเพาะอาหาร ทำหน้าที่บดเคี้ยวและย่อยอาหาร ทางเดินอาหารส่วนหน้าเกิดจากชั้นเอคโตเดิร์ม ประกอบด้วยปากอยู่ระหว่างเขี้ยวทั้ง 2 (Mandible) และหลอดอาหารสั้นๆ มีผนังหนาผิวด้านในเป็นไคติน กระเพาะมีขนาดใหญ่ ผนังบางแบ่งเป็น 2 ตอนคือ กระพุ้งใหญ่ตอนหน้าเรียกว่า คาร์ดิแอก แซมเบอร์ (Cardiac chamber) เป็นทางเดินอาหารตอนต้น กระเพาะส่วนนี้ทำหน้าที่ช่วยบดเคี้ยวอาหารคล้ายฟัน เรียกว่า แกสตริกมิลหรือไคตินัส (Gastric mill หรือ Chitinous teeth) และกระพุ้งเล็กเรียกว่า ไพโลริก แซมเบอร์ (Pyloric chamber)

2. ทางเดินอาหารส่วนกลาง (Mesenteron หรือ Midgut) คือ ไพโลริก แซมเบอร์จะฝังอยู่ในส่วนตับและตับอ่อน (Hepatopancreas) หรือที่เรียกว่ามันกุ้ง ทางเดินอาหารส่วนนี้ทำหน้าที่สร้างน้ำย่อยและเก็บอาหารโดยดูดซึมอาหารที่ผ่านการย่อยแล้ว

3. ทางเดินอาหารส่วนหลัง (Proctodeum หรือ Hindgut) เป็นส่วนต่อจากไพโลริก แซมเบอร์ มีลักษณะเป็นท่อตรงขนาดเล็กบุด้วยเอคโตเดิร์ม ลำไส้ส่วนต้นของทางเดินอาหารส่วนหลังนี้จะฝังอยู่ในมันกุ้ง

แล้ววิ่งพาดอยู่เหนือกล้ามเนื้อเฟลเซอร์ (Felser) ทางด้านหลังมีเส้นเลือดดอร์ซัล แอบโดมินอล อาร์เทอรี่ (Dorsal abdominal artery) วิ่งขนานไปถึงหางปลายลำไส้เป็นบริเวณส่วนปลายท่อและเปิดที่ทวาร (Anus) ซึ่งอยู่กลางหางด้านท้อง (มณฑกานต์, 2547)



ภาพที่ 2.2 ระบบทางเดินอาหารของกุ้งขาวแวนนาไม
ที่มา : van de Braak, 2002

โดยปกติกุ้งขาวแวนนาไม เป็นสัตว์ที่หากินตอนกลางคืน และกินซากพืชซากสัตว์เป็นอาหาร แต่ธรรมชาติแล้วกุ้งเป็นสัตว์กินเนื้อ ซึ่งกินสัตว์ในกลุ่มครัสตาเชียน (crustaceans) ขนาดเล็ก แอมฟิพอด และโพลีชีด ที่อาศัยอยู่ในดิน หรือบนพื้นผิวดินก้นบ่อ โดยจะกินพืช และซากพืชบ้างในช่วง juvenile (Goddard, 1996) กุ้งจะกินอาหารได้ดีตั้งแต่เวลา 8.00-20.00 น. โดยเฉพาะในช่วงบ่าย กุ้งจะกินสาหร่ายเมื่ออาหารไม่เพียงพอ (ภิญโญ, 2545) และ (Goddard, 1996) รายงานว่า กุ้งสามารถย่อยอาหารได้เร็ว และย่อยอาหารได้สมบูรณ์ ในเวลา 4-6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งในระบบการเลี้ยงแบบพัฒนาแล้ว อาหารธรรมชาติที่มีในบ่อ ไม่เพียงพอต่อปริมาณกุ้ง ดังนั้นจึงต้องมีการให้อาหารเพิ่ม ซึ่งกุ้งขาวแวนนาไม ต้องการอาหารที่มีโปรตีนประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ น้อยกว่ากุ้งชนิดอื่น เช่น กุ้งกุลาดำ และกุ้งกุลาลาย อัตราการให้อาหารกุ้งขาวแวนนาไม

อย่างไรก็ตามอาหารธรรมชาติก็มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไมอยู่จากการศึกษาพบว่าอาหารธรรมชาติในบ่อ เช่น สาหร่ายและแบคทีเรียที่เกิดขึ้นในบ่อเป็นสารอาหารที่มีความสำคัญและเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไมได้ และแม้จะยังไม่ทราบว่าเป็นองค์ประกอบใดในน้ำธรรมชาติที่ช่วยให้การเจริญเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไมได้ดี แต่พบว่ากุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงในบ่อที่ใช้น้ำธรรมชาติจะโตเร็วกว่าน้ำในบ่อที่ผ่านการฆ่าเชื้อเป็นอย่างดีพิเศษถึง 50 เปอร์เซ็นต์แม้ว่าจะให้อาหารเหมือนกัน จึงยืนยันได้ว่าการเจริญเติบโตได้ดีของกุ้งขาวแวนนาไม มีความสัมพันธ์แบบพึ่งพากับจุลินทรีย์ในบ่อ

2.1.6. วิธีการให้อาหารกุ้งขาวแวนนาไม

อัตราการให้อาหารจะเกี่ยวข้องกับปริมาณที่กุ้งขาวแวนนาไมต้องกิน อุณหภูมิน้ำ และความถี่ในการให้อาหาร ถ้าอาหารน้อยเกินไปกุ้งก็จะโตช้า เนื่องจากอาหารจะถูกนำไปใช้ในการรักษาร่างกายให้อยู่ในสภาพปกติก่อน ถ้ามีเหลือจะนำไปใช้ในการเจริญเติบโต อาหารถ้าให้มากก็จะทำให้น้ำเสีย เปลืองอาหาร และต้นทุนสูง โดยทั่วไปแล้วจะให้อาหารกุ้งขาวแวนนาไมขนาดเล็กมากกว่าขนาดใหญ่ การปรับปริมาณอาหารที่ให้กับกุ้งขาวแวนนาไม กุ้งขาวแวนนาไมขนาดต่างกันจะมีความต้องการอาหารไม่เท่ากันจะต้องปรับปริมาณอาหารให้พอโดยคิดน้ำหนักรวม โดยศึกษาจากการเจริญเติบโตของกุ้งขาวทุกช่วงเวลา ควรมีการปรับการให้อาหารทุก 3-5 วัน โดยสุมตัวอย่างกุ้งขาวแวนนาไมมาชั่งวัดทุกๆ สัปดาห์ และคำนวณหาน้ำหนักของกุ้งขาวแวนนาไมทั้งบ่อ ค่าที่ได้จะเป็นค่าซึ่งยอมรับว่าใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด การให้อาหารกุ้งขาวแวนนาไมหลายครั้งใน 1 วันทำให้กุ้งขาวแวนนาไมมีการเจริญเติบโตดีกว่าการให้วันละครั้ง แต่ทั้งนี้จะต้องให้ในปริมาณที่เพียงพอต่อกุ้งขาวแวนนาไม (ธนพงศ์, 2553)

วิธีการให้อาหารกุ้งขาวแวนนาไมฟาร์มขนาดเล็กมักจะให้ด้วยมือเพื่อลดต้นทุน การให้อาหารด้วยมือจะดีกว่าการให้อาหารด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ คือสามารถรู้ถึงสุขภาพของกุ้งขาวแวนนาไม โดยดูจากพฤติกรรมของกุ้งขาวแวนนาไมในการกินอาหาร การให้อาหารด้วยมือยังช่วยป้องกันการสูญเสียอาหารโดยไม่จำเป็นเพราะการให้อาหารสามารถหยุดได้ทันทีถ้าอาหารที่เหลืออยู่กุ้งขาวแวนนาไมไม่กิน อาหารก็จะช่วยในการดูการตอบสนองการกินโดยดูจากอาหารที่ยังเหลือ การให้อาหารด้วยมือถ้าทำเป็นประจำจะช่วยป้องกันการเกิดโรคกับกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยง

เครื่องให้อาหารอัตโนมัติตั้งเวลาด้วยนาฬิกา ใช้ระบบไฟฟ้า หรือแบตเตอรี่แต่โดยทั่วไปการให้อาหารด้วยเครื่องให้อาหารที่ทำด้วยไฟฟ้าจะเป็นที่นิยมมากกว่าเครื่องที่ทำงานด้วยมอเตอร์ เครื่องให้อาหารอัตโนมัติปกติจะใช้นาฬิกาเป็นตัวควบคุมเวลาซึ่งจะช่วยคุมปริมาณอาหารที่ให้กุ้งขาวแวนนาไมกิน สามารถให้อาหารกุ้งขาวแวนนาไมได้วันละหลายครั้งกว่าการให้ด้วยมือ เครื่องให้อาหารอัตโนมัติมีประโยชน์สำหรับการให้อาหารกุ้งขาวแวนนาไม เนื่องจากกุ้งขาวแวนนาไมในระยะเริ่มกินอาหารจะกินอาหารตลอดเวลา เครื่องให้อาหารอัตโนมัติจะวางบนสะพานยอให้อาหารตามปริมาณที่กุ้งขาวแวนนาไมต้องการ เครื่องนี้ประกอบด้วยถังบรรจุอาหาร และมีทางออกของอาหาร ซึ่งสามารถควบคุมด้วยประตูที่เคลื่อนไหวได้ เมื่อกุ้งขาวแวนนาไมไปถูกกับลูกตุ้มที่อยู่ในน้ำ ลูกตุ้มจะเคลื่อนที่ทำให้ประตูเปิด อาหารจะหล่นลงจากถัง หรือสเปร์ไปแนวกว้างลงในน้ำ กุ้งขาวแวนนาไมจะได้กินอาหารตามปริมาณที่ต้องการ อัตราการให้อาหารกุ้งขาวแวนนาไม โดยคิดจากน้ำหนักของกุ้ง ณ ที่ความเค็มสูง 30-35 ส่วนในพันส่วน ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 อัตราการให้อาหารต่อน้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งขาวแวนนาไม

น้ำหนักกุ้งขาวแวนนาไมเฉลี่ย (ก.)	อัตราการให้อาหาร (%ของน้ำหนัก/วัน)	น้ำหนักกุ้งขาวแวนนาไมเฉลี่ย (ก.)	อัตราการให้อาหาร (%ของน้ำหนัก/วัน)	น้ำหนักกุ้งขาวแวนนาไมเฉลี่ย (ก.)	อัตราการให้อาหาร (%ของน้ำหนัก/วัน)
<1	35-25	5.0-5.9	5.5-5.0	13.0-13.9	3.0-2.75
0.1-0.24	25-20	6.0-6.9	5.0-4.5	14.0-14.9	2.75-2.5
0.25-0.49	20-15	7.0-7.9	4.5-4.25	15.0-15.9	2.5-2.3
0.5-0.9	15-11	8.0-8.9	4.25-4.0	16.0-16.9	2.3-2.1
1.0-1.9	11-8	9.0-9.9	4.0-3.75	17.0-17.9	2.1-2.0
2.0-2.9	8-7	10.0-10.9	3.75-3.5	18.0-18.9	20.-1.9
3.0-3.9	7-6	11.0-11.9	3.5-3.25	19.0-19.9	1.9-1.8
4.0-4.9	6-5.5	12.0-12.9	3.25-3.0	20.0-20.9	1.8-1.7

ที่มา : ราชันฟาร์ม ฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวชีวภาพ จ.ตราด. 2010. (http://www.farmrachan.com/shrimpnews/มาตรฐานจีเอพี-GAP-ตอนที่9.html)

2.1.7. ระบบการเพาะเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม

ระบบการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม แบ่งออกเป็น 3 ระบบ (Arrignon *et al.*, 1994) คือ

2.1.7.1. Extensive culture คือการเลี้ยงกุ้งแบบดั้งเดิม ลูกกุ้งที่นำมาเลี้ยงมาจากธรรมชาติ อัตราการปล่อยจะต่ำ เปลี่ยนถ่ายน้ำน้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ไม่มีการให้อาหารในระหว่างการเลี้ยงโดยลูกกุ้งจะหาอาหารตามธรรมชาติ ไม่มีเครื่องให้อากาศ ผลผลิตจะต่ำ

2.1.7.2. Semi-intensive culture คือ การเลี้ยงกุ้งแบบกึ่งพัฒนา ลูกกุ้งนำมาจากธรรมชาติหรือโรงเพาะฟักจากพ่อแม่พันธุ์ธรรมชาติ มีการปล่อยลูกกุ้งในอัตราความหนาแน่นสูง เปลี่ยนถ่ายน้ำ 10–30 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ให้อาหารที่มีโปรตีน 25–35 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่มีเครื่องให้อากาศ ผลผลิตระดับปานกลางไม่สูงมากนัก

2.1.7.3. Intensive culture คือ การเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนา มีการปล่อยลูกกุ้งในอัตราความหนาแน่นสูง ลูกกุ้งที่นำมาเลี้ยงมาจากโรงเพาะฟักและพ่อแม่พันธุ์จากการเลี้ยง ให้อาหารโปรตีนสูง มีการใช้เครื่องให้อากาศ และการจัดการในระหว่างการเลี้ยงโดยใช้ความรู้ และวิชาการต่างๆ เต็มรูปแบบ ให้ผลผลิตสูงมาก และนอกจากนี้การเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมสามารถแบ่ง ตามความเค็มของน้ำได้ 2 รูปแบบ (ชลอ และพรเลิศ, 2547) แบ่ง คือ

1.) การเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมด้วยน้ำความเค็มต่ำ สามารถทำได้ 2 วิธี คือ

วิธีที่หนึ่ง นำน้ำเค็มจากนาเกลือมีความเค็มระหว่าง 100–200 ส่วนในพันส่วน (part per thousand; ppt.) มาเติมในน้ำจืดเพื่อให้ได้ความเค็มประมาณ 3–4 ppt. แล้วเลี้ยงระบบปิด มีการถ่ายน้ำน้อย ส่วนใหญ่จะมีการกั้นคอกก่อน เพื่ออนุบาลลูกกุ้ง โดยนำน้ำในคอกจะมีความเค็มประมาณ 8–10 ppt. หลังจากนั้น 3–4 วันก็เปิดคอกออกมา

วิธีที่สอง จะมีการปรับความเค็มมาจากโรงเพาะฟักให้ใกล้เคียงกับน้ำในบ่อ เลี้ยงเกษตรกรจะเตรียมน้ำให้มีความเค็มประมาณ 3–5 ppt. ทั้งบ่อแล้วนำลูกกุ้งมาปล่อยโดยตรง โดยที่ไม่มีการกั้นคอก การปล่อยลูกกุ้งโดยตรงในบ่อ ในลักษณะนี้ น้ำจะมีความเค็มเหมาะสมทั้งบ่อ ทำให้อัตราการรอดสูงกว่า การปล่อยในคอกที่น้ำภายในบ่อเป็นน้ำจืด เมื่อกุ้งมีขนาดโตพอที่จะจับขายได้จะใช้อวนตาห่างจับกุ้งที่มีขนาดใหญ่ออกขายก่อน ส่วนกุ้งขนาดเล็กจะลอดตาอวน หลังจากจับกุ้งออกบางส่วนจะมีการเติมน้ำเค็มซึ่งจะทำให้กุ้งที่เหลือเจริญเติบโตได้ดีขึ้น และจะมีขนาดใหญ่เมื่อถึงเวลาที่จับขายต่อไป นอกจากนั้นกุ้งขาวแวนนาไมอาจจะเลี้ยงได้ในน้ำที่มีความเค็มต่ำมาก เกือบเป็นน้ำจืด (ภิญโญ, 2545)

2.) การเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมด้วยน้ำเค็มปกติ โดยใช้น้ำที่มีความเค็ม 10 ppt. ขึ้นไป ส่วนมากบริเวณริมฝั่งทางภาคตะวันออกและทางภาคใต้ ส่วนมากจะมีการปล่อยลูกกุ้งในอัตราความหนาแน่นมากกว่าการเลี้ยงด้วยความเค็มต่ำ กุ้งมีอัตราการรอดสูงถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ผลผลิตดีกว่าน้ำความเค็มต่ำเนื่องจากต้องมีการถ่ายน้ำในปริมาณมาก ในช่วงท้ายของการเลี้ยง

2.1.8. คุณสมบัติของน้ำที่มีความสำคัญในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม

คุณภาพน้ำมีผลต่อการเจริญเติบโต และสุขภาพของกุ้ง เนื่องจากปัจจุบันเกษตรกรส่วนใหญ่เลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม มีการปล่อยลูกกุ้งในอัตราความหนาแน่นสูง ทำให้มีการสะสมของเสียที่พื้นบ่อเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ คุณภาพน้ำจะเปลี่ยนไปในทางที่ไม่เหมาะสม กุ้งจะกินอาหารลดลง ในที่สุดกุ้งบางส่วนจะอ่อนแอและติดเชื้อป่วยเป็นโรค ทำให้อัตราการรอดตายลดลง (Boyd and Fast, 1992) คุณสมบัติของน้ำที่มีความสำคัญในการเลี้ยงกุ้งได้แก่

2.1.8.1.ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved oxygen, DO) มีความสำคัญต่อกุ้งในบ่อเลี้ยงเป็นอย่างมาก เนื่องจากสิ่งมีชีวิตที่อยู่ภายในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำจำเป็นต้องใช้ออกซิเจนในการหายใจรวมทั้งกระบวนการย่อยสลายของเสีย โดยแบคทีเรียก็ต้องใช้ออกซิเจน ทำให้ในช่วงเวลากลางคืนปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำจะลดลงและมีค่าต่ำสุดที่ตอนเช้ามืด แต่หลังจามีแสงแดดแพลงก์ตอนพืชเริ่มมีการสังเคราะห์แสงทำให้ปริมาณออกซิเจนเพิ่มมากขึ้น พุทธ (2544) รายงานว่า ปริมาณแก๊สซิเจนที่ละลายในน้ำมากกว่า 4 มิลลิกรัมต่อลิตรเหมาะสมในการเลี้ยงกุ้งดังนั้นควรทำการวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในตอนเช้ามืดซึ่งเป็นช่วงที่ปริมาณออกซิเจนต่ำที่สุด น้ำที่มีออกซิเจนมากเพียงพอกุ้งจะเจริญเติบโตดี แต่ถ้ากุ้งอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำกุ้งจะอ่อนแอและมีโอกาสป่วยเป็นโรคได้ง่าย ถ้าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จำทำให้กุ้งตาย ซึ่งสอดคล้องกับ (ชลอ และพรเลิศ, 2547) กล่าวว่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมากกว่า 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ในช่วงเช้ามืด กุ้งจะเจริญเติบโตดี หากปริมาณ

ออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร กุ้งจะไม่แข็งแรง กินอาหารน้อยลง ทำให้อัตราการเจริญเติบโตช้า และถ้าปริมาณของออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร กุ้งจะไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ ความเค็ม และอุณหภูมิที่เพิ่มมากขึ้นทำให้ความสามารถของออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลง

2.1.8.2. ความเป็นกรดเป็นด่าง หรือพีเอช (pH) หมายถึง ความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออน (H^+) ในน้ำ โดยน้ำมีความเป็นกลางจะมีค่า pH 7 ถ้ามีค่า pH ต่ำกว่า 7 แสดงว่า น้ำอยู่ในสภาพเป็นกรด และถ้าน้ำมีค่า pH มากกว่า 7 แสดงว่าอยู่ในสภาพเป็นด่าง ดังนั้นค่า pH จึงอยู่ระหว่าง 0–14 การวัดค่า pH ของน้ำเป็นการวัดปริมาณของไฮโดรเจนอิออน ที่มีอยู่ในน้ำ ซึ่งปกติการแตกตัวของน้ำ จะแตกตัวได้ไฮโดรเจนอิออน (H^+) และไฮดรอกซิลอิออน (OH^-) เป็นดังสมการ (นิคม, 2546)

$$H_2O \longrightarrow H^+ + OH$$

ค่า pH ของน้ำมีความสัมพันธ์กับคุณภาพน้ำตัวอื่นๆ เช่น เมื่อค่า pH เพิ่มสูงขึ้นความเป็นพิษของแอมโมเนียจะมากขึ้น หากมีค่า pH ต่ำจะส่งผลให้ความเป็นพิษของไฮโดรเจนซัลไฟด์เพิ่มขึ้นซึ่งเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในบ่อเลี้ยงกุ้งมักจะขึ้นอยู่กับประมาณของแพลงก์ตอนในน้ำเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากแพลงก์ตอนจะมีการใช้และการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ให้แก่แหล่งน้ำ ถ้าปริมาณแพลงก์ตอนมากทำให้เกิดความแตกต่างของค่า pH ต่ำสุดในรอบวันมาก ค่า pH ของน้ำที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งควรอยู่ระหว่าง 7.5–8.5 กล่าวคือ ค่า pH ที่ต่ำสุดในรอบวันไม่ควรต่ำกว่า 7.5 และค่า pH สูงสุดในรอบวันไม่ควรเกิน 8.5 ซึ่งความแตกต่างของค่า pH ในรอบวันไม่ควรมากกว่า 0.5 (ชลอ และพรเลิศ,2547) การเปลี่ยนแปลงของค่า pH ในรอบวันสูงมาก จะเป็นสาเหตุทำให้กุ้งเครียด และอ่อนแอ จากการศึกษาของ Boyd (1982) พบว่าหากค่า pH ของน้ำน้อยกว่า 4 หรือมากกว่า 11 กุ้งจะตาย หากค่า pH อยู่ระหว่าง 6–9 กุ้งจะมีการเจริญเติบโตดี

2.1.8.3. ความเป็นด่าง (alkalinity) หมายถึง ความสามารถของน้ำที่จะรับไฮโดรเจนอิออน (H^+) เพื่อที่จะทำให้กรดเป็นกลาง หากมีค่า pH สูงขึ้นจะทำให้น้ำมีความเป็นด่างมากขึ้น ค่าความเป็นด่างมีความสำคัญกับอัตรารอด และการเจริญเติบโตของกุ้งภายในบ่อ โดยค่าที่เหมาะสมของความเป็นด่างอยู่ระหว่าง 80–150 มิลลิกรัมต่อลิตร (ชลอ และพรเลิศ,2547) ซึ่งสอดคล้องกับ (Boyd, 1989) รายงานว่าความเป็นด่างของน้ำที่เหมาะสมในการเลี้ยงสัตว์น้ำควรอยู่ในช่วง 100–120 มิลลิกรัมต่อลิตร สารประกอบที่ทำให้มีความเป็นด่างมี 3 ชนิด คือ ไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) คาร์บอเนต (CO_3^{2-}) และไฮดรอกไซด์ (OH^-) โดยมีค่า pH ของน้ำเป็นตัวกำหนดชนิดของสารละลายด่างที่อยู่ในน้ำ คือ

- น้ำที่มีพีเอชเป็นกลางจนถึง 8.3 จะมี HCO_3^- มาก
- น้ำที่มีพีเอชตั้งแต่ 8.3 ขึ้นไปจะเริ่มมี CO_3^{2-} มาก
- น้ำที่มีพีเอชระหว่าง 9.5–10.5 จะมี CO_3^{2-} มาก
- และน้ำที่มีพีเอช 11 หรือมากกว่าจะมี OH^- มาก

น้ำที่มีความเป็นด่างต่ำประมาณ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่า pH ต่ำกว่า 7.5 ลูกกุ้งจะลอกคราบไม่ออก และตายเนื่องจากปริมาณแคลเซียมในน้ำไม่เพียงพอ หากน้ำมีค่าความเป็นด่างที่สูงมาก และค่า pH ของน้ำตอนเช้าเกิน 8.3 จะพบว่าค่า pH ในตอนบ่ายจะสูงขึ้นอีก กุ้งในบ่อจะเป็นตะกรันตามเปลือก และเจริญเติบโตข้ากว่าปกติมากการควบคุมความเป็นด่างให้คงที่นั้นจะใช้วัสดุปูนในกลุ่มคาร์บอเนต ส่วนการพิ่มความเป็นด่างใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตหรือโซเดียมคาร์บอเนตขึ้นอยู่กับระดับ pH (ชลอ และพรเลิศ,2547)

2.1.8.4. ความกระด้าง (hardness) ของน้ำเกิดจากแมกนีเซียมอิออน (Mg^{2+}) และตะกอนของแคลเซียมอิออน (Ca^{2+}) ในน้ำซึ่งสามารถวัดออกมาเป็นปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) อิออนของโลหะวาเลนซีสองเป็นสาเหตุหลักของความกระด้าง ความกระด้างที่เหมาะสมในการเลี้ยงกุ้งไม่ควรต่ำกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (ศิริเพ็ญ, 2543) ซึ่ง Sawyer and McCarty (1967) สามารถแบ่งความกระด้างของน้ำ โดยถือเอาปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต เป็นเกณฑ์คือ

- น้ำอ่อน 0–75 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปของ $CaCO_3$
- น้ำค่อนข้างกระด้าง 75–150 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปของ $CaCO_3$
- น้ำกระด้าง 150–300 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปของ $CaCO_3$
- น้ำกระด้าง > 300 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปของ $CaCO_3$

2.1.8.5. แอมโนเนีย (ammonia) เป็นสารประกอบไนโตรเจนที่มีความเป็นพิษต่อกุ้ง และสัตว์น้ำอื่นๆ หากแต่มีประโยชน์กับพวกแพลงก์ตอนพืช และแบคทีเรียที่ใช้แอมโนเนียเป็นอาหาร แอมโมเนียเกิดจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของสัตว์น้ำ กระบวนการเน่าสลายของเศษอาหารที่เหลือ แพลงก์ตอนที่ตาย เศษซากพืชซากสัตว์ และสารอินทรีย์อื่นๆ โดยจุลินทรีย์ (Boyd, 1982) แอมโนเนียที่พบนน้ำมี 2 รูปแบบ คือ แอมโนเนีย (NH_3) ซึ่งมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ และแอมโนเนียอิออน (NH_4^+) ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำต่ำระดับแอมโนเนียที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งควรน้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร แอมโมเนียจะอยู่ในรูปใดนั้นขึ้นอยู่กับค่า pH ของน้ำ

$$NH_3 + H_2O \underset{\text{พีเอชต่ำ}}{\overset{\text{พีเอชสูง}}{\rightleftharpoons}} NH_4^+ + OH^-$$

โดยเฉพาะเมื่อค่าของพีเอชสูง ปริมาณแอมโมเนียจะสูงขึ้นด้วยจะส่งผลต่อกุ้ง คือ กุ้งขับถ่ายแอมโนเนียได้น้อยลงทำให้เกิดการสะสมของแอมโนเนียในเลือด และเนื้อเยื่อทำให้การใช้ออกซิเจนในเนื้อเชื่อกุ้งสูงขึ้น ส่งผลให้พีเอชของเลือดเพิ่มขึ้น และมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์แอมโนเนียจะไปทำลายเหงือก และความสามารถในการขนส่งออกซิเจน ทำให้กุ้งอ่อนแอ และเป็นโรคในที่สุด (ชลอ และพรเลิศ,2547) ในทางตรงข้าม ถ้าค่า pH ของน้ำลดลง แอมโมเนียจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียอิออนทำให้เกิดความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำลดลง

2.1.8.6. ไนไตรท์ (nitrite) เป็นสารประกอบที่อยู่ในรูปของไนโตรเจนจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) ของแอมโมเนีย ในสภาพที่มีออกซิเจนแบคทีเรียพวกไนตริไฟอิงแบคทีเรีย (nitrifying bacteria) จะมีการใช้แอมโมเนียในน้ำเป็นอาหาร โดยจะเปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นไนไตรท์ และไนเตรท ในสภาพที่ขาดออกซิเจนแบคทีเรียจะไม่สามารถทำการเปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นไนไตรท์ และไนเตรทได้สมบูรณ์ทำให้แอมโมเนียเหลือในแหล่งน้ำเป็นอันตรายต่อกุ้งในบ่อโดยทั่วปไนไตรท์จะเปลี่ยนเป็นไนเตรทอย่างรวดเร็วขึ้นจึงไม่สะสมอยู่ในแหล่งน้ำ แต่ในบางสภาวะหากอัตราการออกซิไดซ์แอมโมเนียเร็วกว่าการออกซิไดซ์ไนไตรท์ก็จะเกิดการสะสมของไนไตรท์ขึ้นได้ Boyd and Tucker (1998) รายงานว่า ไนไตรท์ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำมักจะน้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากแอมโมเนียซึ่งเป็นสารตั้งต้นถูกแพลงก์ตอนพืชนำไปใช้ ส่วนไนไตรท์เป็นพิษต่อสัตว์น้ำเช่นเดียวกับแอมโมเนีย โดยไนไตรท์ไปลดประสิทธิภาพในการขนส่งออกซิเจนของเลือด และทำลายเนื้อเยื่อของสัตว์น้ำ ความเป็นพิษของไนไตรท์จะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ และค่า pH ลดลง นอกจากนี้ค่าความเป็นพิษของไนไตรท์จะถูกยับยั้งโดยคลอไรด์ในน้ำ ดังนั้นในน้ำทะเลซึ่งมีคลอไรด์สูงความเป็นพิษของสัตว์น้ำจึงค่อนข้างต่ำ (ชลอ และพรเลิศ,2547)

2.1.8.7. ไฮโดรเจนซัลไฟต์ (hydrogen sulphide) หรือแก๊สไข่เน่า เกิดจากของเสียที่สะสมอยู่บริเวณพื้นบ่อเกิดการเน่าสลาย จะพบเห็นบนิเวณพื้นบ่อเป็นสีดำ และมีกลิ่นเหม็นคล้ายไข่เน่า เกิดจากในสภาวะที่ขาดออกซิเจนแบคทีเรียบางชนิดจะสามารถเปลี่ยนกำมะถันให้อยู่รูปของซัลไฟด์ ซึ่งได้แก่ ไฮโดรซัลไฟด์ (H_2S) ไฮโดรซัลไฟด์อิออน (HS^-) และไบซัลไฟด์อิออน (S^{2-}) ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงก่อให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำตามค่า pH ของน้ำ หากค่า pH ของน้ำต่ำ ซัลไฟด์จะอยู่ในรูปของไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ หากค่า pH สูงขึ้นจะมีสัดส่วนของไฮโดรซัลไฟด์อิออนและไบซัลไฟด์อิออนเพิ่มมากขึ้น ความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำก็จะลดลงตามไปด้วย ซึ่งระดับสูงสุดของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ไม่เป็นอันตรายต่อกุ้งคือ 0.033 มิลลิกรัมต่อลิตร (ชลอ และพรเลิศ, 2547)

2.1.8.8. ความเค็ม (salinity) หมายถึง ปริมาณความเข้มข้นของอิออนที่ละลายในน้ำ หรือปริมาณเป็นกรัมของเกลืออนินทรีย์ที่อยู่ในน้ำทะเล 1 กิโลกรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตรหรือส่วนในพันส่วน (part per thounsand:ppt.) หรือย่อเป็น พีพีที (ppt.) อิออนที่อยู่ในน้ำที่เป็นอ่งค์ประกอบในการก่อให้เกิดความเค็มของน้ำมีอยู่ 7 ชนิด ประกอบด้วยโซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม คลอไรด์ ซัลเฟต และไบคาร์บอเนต ความเค็มมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำมาก โดยจะมีผลต่อการควบคุมปริมาณน้ำในร่างกาย และควบคุมปริมาณน้ำเข้าออกของสัตว์น้ำ กุ้งขาวแวนนาไมสามารถเจริญเติบโตได้ในน้ำที่มีความเค็มระหว่าง 0–35 ppt. แต่ถ้าต้องการผลผลิตที่ดีความเค็มไม่ควรต่ำกว่า 3 ppt. ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง ส่วนความเค็มที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำอยู่ระหว่าง 15–20 ppt. (ชลอ และพรเลิศ, 2547)

2.1.8.9. การนำไฟฟ้า (electrical conductivity หรือ EC) คือ ความสามารถประสิทธิภาพในการนำไฟฟ้าของน้ำหรือของเหลวอื่นซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณอิออน mobility valence และrelative concentration ของน้ำหรือของเหลว การเคลื่อนที่ประจุ และอุณหภูมิของน้ำหรือของเหลว ค่าการนำไฟฟ้า

ที่น้อยกว่า 1 มิลลิเมนซ์ต่อเซนติเมตรจะไม่มีความเค็ม ส่วนค่าการนำไฟฟ้ามากกว่า 9 มิลลิเมนซ์ต่อเซนติเมตรจะมีความเค็มสูง ค่าความนำไฟฟ้าสัมพันธ์กับปริมาณธาตุชนิดต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำทะเล อนิน ทรีย์สารในน้ำสูง เป็นผลมาจากค้าการนำไฟฟ้าของสารละลาย และปริมาณของแข็งที่ละลาย (dissolved solids) มีปริมาณมาก ปริมาณอนินทรียสารที่ละลายในน้ำลดลง ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายลดลงเช่นกัน (สุธี, 2543; APHA *et al.,* 1989)

2.1.8.10. ความโปร่งแสง (transparency) คือ ค่าที่มองเห็นแผ่นกลม (Secchi disc) ที่หย่อนลงไปในน้ำจนถึงระดับความลึกที่มองไม่เห็นวัตถุดังกล่าว (ศิริเพ็ญ, 2543) หากน้ำมีความขุ่นมากแสงส่องลงได้น้อยจะอ่านค่าความโปร่งแสงได้น้อย ในทางกลับกันแหล่งน้ำที่ขาดความอุดมสมบูรณ์ มีอาหารธรรมชาติน้อย จะมีค่าความโปร่งแสงมากต้องมีการแก้ไข โดยการเติมปุ๋ยเพื่อใช้ให้แพลงก์ตอนเจริญมากขึ้น ความโปร่งแสงเป็นค่าที่บ่งบอกสภาพของแหล่งน้ำ ซึ่งมีความโปร่งแสง 40–60 เซนติเมตรเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้ง (Boyd, 1989)

2.1.8.11. อุณหภูมิของน้ำ (water temperatre) จะแปรผันสัมพันธ์กับปริมาณแสงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศ ขึ้นกับฤดูกาล ระดับความสูง และสภาพภูมิอากาศ ถ้าปริมาณความเข้มแสงมากขึ้นอุณหภูมิก็จะสูงขึ้นอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญต่อการกินอาหาร และกระบวนการทำงานต่างๆ ในร่างกายของสัตว์น้ำหากอุณหภูมิเหมาะสม สัตว์น้ำจะกินอาหาร และดำรงชีวิตได้ตามปกติ แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าปกติจำทำให้การทำงานของระบบต่างๆ ของสัตว์น้ำลดลงตามไปด้วย (กรมประมง, 2546) ถ้าอุณหภูมิของน้ำต่ำกว่า 28 องศาเซลเซียส กุ้งกินอาหารลดลง และทำให้การเจริญเติบโตลดลง (ชลอ และพรเลิศ, 2547) กุ้งเป็นสัตว์เลือดเย็น อุณหภูมิของร่างกายจะเปลี่ยนแปลงวตามอุณหภูมิน้ำ และจะมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ และกุ้งขาวแวนนาไม อยู่ระหว่าง 28-30 องศาเซลเซียส (ชลอ และพรเลิศ, 2547)

2.1.8.12. คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่

1) ความโปร่งแสง (transparency) คือค่าที่มองเห็นแผ่นกลม (Secchi disc) ที่หย่อนลงไปในน้ำจนถึงระดับความลึกที่มองไม่เห็นวัตถุดังกล่าว (ศิริเพ็ญ, 2543) หากน้ำมีความขุ่นมากแสงส่องลงได้น้อยจะอ่านค่าความโปร่งแสงได้น้อย ในทางกลับกันแหล่งน้ำที่ขาดความอุดมสมบูรณ์ มีอาหารธรรมชาติน้อย จะมีค่าความโปร่งแสงมากต้องมีการแก้ไข โดยการเติมปุ๋ยเพื่อใช้ให้แพลงก์ตอนเจริญมากขึ้น ความโปร่งแสงเป็นค่าที่บ่งบอกสภาพของแหล่งน้ำ ซึ่งมีความโปร่งแสง 40–60 เซนติเมตรเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้ง (Boyd, 1989)

2) อุณหภูมิของน้ำ (water temperatre) จะแปรผันสัมพันธ์กับปริมาณแสงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศ ขึ้นกับฤดูกาล ระดับความสูง และสภาพภูมิอากาศ ถ้าปริมาณความเข้มแสงมากขึ้น อุณหภูมิก็จะสูงขึ้นอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญต่อการกินอาหาร และกระบวนการทำงานต่างๆ ในร่างกายของสัตว์น้ำหากอุณหภูมิเหมาะสม สัตว์น้ำจะกินอาหารและดำรงชีวิตได้ตามปกติ แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าปกติจำทำให้การทำงานของระบบต่างๆ ของสัตว์น้ำลดลงตามไปด้วย (กรมประมง, 2546) ถ้าอุณหภูมิของน้ำต่ำกว่า 28 องศา

เซลเซียส กุ้งกินอาหารลดลง และทำให้การเจริญเติบโตลดลง (ชลอ และพรเลิศ, 2547) กุ้งเป็นสัตว์เลือดเย็น อุณหภูมิของร่างกายจะเปลี่ยนแปลงวตามอุณหภูมิน้ำ และจะมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเลี้ยงกุ้งกุลาดำและกุ้งขาวแวนนาไม อยู่ระหว่าง 28-30 องศาเซลเซียส (ชลอ และพรเลิศ, 2547)

2.1.8.13. คุณสมบัติทางฟิสิกส์ ได้แก่

1) การนำไฟฟ้า (electrical conductivity หรือ EC) คือความสามารถประสิทธิภาพในการนำไฟฟ้าของน้ำหรือของเหลวอื่นซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณอิออน mobility valence และ relative concentration ของน้ำหรือของเหลว การเคลื่อนที่ประจุและอุณหภูมิของน้ำหรือของเหลว ค่าการนำไฟฟ้าที่น้อยกว่า 1 µs/cm จะไม่มีความเค็ม ส่วนค่าการนำไฟฟ้ามากกว่า 9 µs/cm จะมีความเค็มสูง ค่าความนำไฟฟ้าสัมพันธ์กับปริมาณธาตุชนิดต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำทะเล อนินทรีสารในน้ำสูง เป็นผลมาจากค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายและปริมาณของแข็งที่ละลาย (dissolved solids) มีปริมาณมาก ปริมาณอนินทรีย์สารที่ละลายในน้ำลดลง ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายลดลงเช่นกัน (สุธี, 2543; APHA, *et al.,* 1989)

2.1.9. ระบบภูมิคุ้มกันในกุ้งขาวแวนนาไม

สัตว์กลุ่มครัสตาเซียนรวมถึงสัตว์จำพวกกุ้ง มีการตอบสนองต่อสิ่งแปลกปลอมที่เข้ามาในร่างกายแบบไม่เฉพาะเจาะจง โดยนอกจากมีโครงสร้างภายนอกเป็นเปลือกที่ใช้ในการป้องกันตัวเองจากเชื้อโรค และการบาดเจ็บต่างๆ แล้ว ยังอาศัยปฏิกิริยาระหว่าง cellular และ humoral defense ในการตอบสนองต่อสิ่งแปลกปลอมที่เข้ามาในร่างกาย ซึ่งระบบการป้องกันตัวของกุ้งนั้นอาศัยเซลล์หลักในการทำงานคือ เซลล์เม็ดเลือด (hemocyte) เม็ดเลือดที่มีบทบาทสำคัญต่อระบบภูมิคุ้มกันในสัตว์กลุ่มครัสตาเซียน แบ่งออกเป็น 3 ชนิด (กิจการ และคณะ, 2543) ดังนี้

2.1.9.1 เซลล์ไฮยาลิน (hyaline cell) เป็นเซลล์ที่มีขนาดเล็กติดสีเข้ม ภายในไซโตพลาสซึมมีกรานูลเล็กน้อยหรือไม่มีเลย เมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอน พบว่ามีรูปร่างกลม แบน ผิวเรียบ บางครั้งอาจเป็นรูปกระสวยหรือพระจันทร์เสี้ยว ลักษณะโครงสร้างไม่พบไมโครวิลไล (microvilli) หรือเท้าเทียม (pseudopodia) ขนาดของเซลล์มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.4-8.3 ไมครอน ยาว 6.8-13.9 ไมครอน เซลล์ชนิดนี้มีบทบาทที่สำคัญในการแข็งตัวของเลือด (johansson and Soderhall, 1989)

2.1.9.2. เซลล์เซมิแกรนูล (semi-granular cell) เป็นเซลล์ที่มีส่วนยื่นของเซลล์ (cell process) หรือเท้าเทียมค้อนข้างมาก ขนาดของเซลล์มีความกว้าง 4.2-6.8 ไมครอน และความยาว 9.0-14.2 ไมครอน ลักษณะของแกรนูลภายในไซโตพลาสซึมขนาดเล็ก และพบจำนวนน้อย มีบทบาทในการกลืนกินสิ่งแปลกปลอม (johansson and Soderhall, 1989)

2.1.9.3. เซลล์ลาร์จแกรนูล (large granular cell) ลักษณะคล้ายเซลล์แกรนูลแต่ขนาดเซลล์ใหญ่กว่าภายในไซโตพลาสซึมมีแกรนูลขนาดใหญ่กว่าอยู่ปริมาณมาก เส้นผ่าศูนย์กลางของเซลล์มีขนาด 8-10 ไมครอน และความยาว 12.2-14.6 ไมครอน มีหน้าที่หลักในกระบวนการโปรฟีนอลออกซิเดส (johansson and Soderhall, 1989)

กระบวนการตอบสนองต่อสิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู้ตัวกุ้งขาวแวนนาไม คือ ฟาโกไซโทซิส เป็นกลไกแรกในการป้องกันตัวของเซลล์เมื่อมีปรสิตหรือสิ่งแปลกปลอมบุกรุกผ่านชั้น physicochemical barrier ของคิวติเคิล (cuticle) เข้ามา (Smith and Soderhall, 1983) ขั้นตอนการจับกินสิ่งแปลกปลอมประกอบด้วย การเกาะของเม็ดเลือดกับสิ่งแปลกปลอม, การกลืนกินและการทำลายสิ่งแปลกปลอม (Smith and Soderhall, 1983) โดยจะทำงามร่วมกับสารน้ำที่มีอยู่ในน้ำเลือด (humoral components) มีการศึกษาอย่างมากมายเพื่อให้เข้าใจเกี่ยวกับกลไกของการจับกินสิ่งแปลกปลอม (Smith and Soderhall, 1983) พบว่าในสัตว์พวกครัสตาเซียนถ้าไม่มีการแยกชนิดของเม็ดเลือดออกจากกัน อัตราการเกิดฟาโกไซโทซิสจะอยู่ในช่วง 1-2 เปอร์เซ็นต์ ถึง 28 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการเกิดฟาโกไวไซโทซิสเมื่อมีแบคทีเรียบุกรุกเข้าไปจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่มีในน้ำเลือด และระบบดปรพีโออาจมีผลต่อประสิทธิภาพการเกิดฟาโกไซโทซิสด้วย เนื่องจากเมื่อเติมบีตา-1, 3-กลูแคนลงบนเซลล์เม็ดเลือดจะมีผลไป
กระตุ้นการทำงานของระบบโปรพีโอทำให้อัตราการเกิดฟาโกไซโทซิสเพิ่มมากกว่าชุดควบคุม 5-7 เท่า Boonyarapalin และคณะ (1995) รายงานว่ากุ้งกุลาดำที่ได้รับเพปทิโดไกลแคนที่สกัดจากผนังเซลล์ของ *Brevibacterium lactofermenium* มีการฟาโกไซโทซิศ และการต้านทานโรคสูงกว่าชุดควบคุม ต่อมามีการทดลองใช้เพปทิโดไกลแคนที่สกัดได้จาก *Bifidobacterium thermophilum* ผสมกับอาหารให้กุ้ง (*Penaeus japonicas*) กินและสุ่มกุ้งมาทำให้ติดเชื้อ *Vibrio penaeicida* และ white spot syndrome baculovirus จากการทดลองพบว่ากุ้งที่กินเพปทิโดไกลแคนมีอัตราการรอดสูงกว่าชุดควบคุม และมีการฟาโกไซโทซิสเพิ่มขึ้น (Itami, *et al*., 1998)

(Soderhall และคณะ, 1986) ได้แยกไฮยาลินเซลล์จาก Carcinus maenas พบว่าอัตราการฟาโกไซโทซิสเพิ่มขึ้น 3 เท่า เมื่อทำการออพโซไนซ์ (opsonize) ด้วย haemocyte lysate ซึ่งคาดว่าออพโซนิน (opsonin) ตัวนี้จะไม่ใช่เอนไซม์ฟีนอลออกซิเดส แต่อาจเป็นโปรตีนที่มีขนาด 76 กิโลดาตัน ซึ่งโปรตีนตัวนี้สามารถสนับสนุนการเกิดเอนแคปซูเลชันได้ คาดว่าโปรตีนตัวนี้อาจมีหน้าที่เหมือนกับออพโซนินสำหรับฟาโกไซติกเซลล์ (Kobayashi, *et al*., 1990)

2.1.10. โรคในกุ้งขาวแวนนาไม มีดังนี้

2.1.10.1. โรคตายด่วน (Early Mortality Syndrome, EMS) หรือโรคตับวายเฉียบพลัน AHPND (Acute Hepatopancreatic Necrosis Disease) จากการรายงานของ Tranและคณะ (2013) เป็นอาการที่เกิดขึ้นกับกุ้งปล่อยในบ่อเลี้ยงช่วง 20-30 วันแรก โดยมีอัตราการตายสูงถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ในระยะเวลาเพียง 2-3 วันหลังพบอาการของโรคโรคตายด่วนในกุ้งขาวแวนนาไมอาการของโรคในระยะแรกนั้น

ไม่พบการติดเชื้อโรคและไม่พบการอักเสบแต่เมื่อเกิดการตายพบการอักเสบอย่างเฉียบพลันของเนื้อเยื่อตับและตับอ่อนซึ่งส่งผลให้กุ้งตายได้

2.1.10.2. โรคไวรัสทอร่า (Taura Syndrome Virus; TSV) สาเหตุเกิดจากเชื้อไวรัสชนิดอาร์เอ็นเอ (RNA) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 31-32 นาโนเมตร อยู่ในกลุ่ม *Picornaviridae* มักพบในกุ้งขาว โดยเฉพาะ *P. Vannamei* ลักษณะอาการพบในกุ้งขาววัยอ่อน และกุ้งวัยรุ่นในกุ้งที่มีอายุ 14-40 วัน หลังจากปล่อยเลี้ยงกุ้งป่วยบริเวณหางมีสีแดงชัดเจนถ้าเป็นมากลำตัวมีสีแดงเปลือกนิ่มเซื่องซึม กุ้งจะตายมากในช่วงลอกคราบโดยมีอัตราการตาย 40-90 เปอร์เซ็นต์ ถ้ากุ้งรอดตายจากการติดเชื้อจะปรากฏรอยแผลสีดำ

2.1.10.3. โรคไวรัสตัวแดงดวงขาว สาเหตุเกิดจากไวรัสชนิดดีเอ็นเอรูปร่างเป็นแท่งขนาดความยาว 250-280 นาโนเมตร ลักษณะอาการที่พบลำตัวกุ้งมีสีแดงมีดวงขาวบริเวณผิวใต้เปลือกขนาด 1-2 มิลลิเมตร บริเวณส่วนหัว และลำตัวกุ้งมีอัตราการตายสูงมาก 40-100 เปอร์เซ็นต์ภายใน 5-10 วันเปลือก

2.1.10.4. โรคหัวเหลือง (Yellow Head Virus; YHV) สาเหตุของโรคเกิดจากเชื้อไวรัสชนิดอาร์เอ็นเอ (SS RNA) รูปร่างเป็นแท่งมีผนังหุ้มพบในกุ้งสกุล Penaeid หลายชนิด เช่น กุ้งกุลาดำ *P. monodon,* กุ้งขาว *P. vannamei, P. japonicas, P. setiferus, P. aztecus, P. duorarum, P. stylirostris* ลักษณะอาการกุ้งจะมีลำตัวซีดเหงือก บริเวณตับ และตับอ่อนมีสีเหลืองเห็นชัดเจน กุ้งกินอาหารเพิ่มมากผิดปกติจากนั้นจะเริ่มกินลดลงกุ้งเริ่มแสดงอาการหัว เหลืองตายเร็วมากภายใน 3-5 วัน

2.1.10.5. โรคไวรัสไอเอชเอชเอ็นวี (Infectious HepatopancraticHemopoietic Necrosis) สาเหตุเกิดจากเชื้อไวรัสชนิดอาร์เอ็นเอ (RNA) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 22 นาโนเมตร อยู่ในกลุ่ม *Parvoviridae* พบในกุ้งกลุ่ม Penaeid หลายชนิดเช่นกุ้งขาว *P. vannamei, P.stylirorostris, P. monodon, P. japonicas* ลักษณะอาการในกุ้งขาวเป็นแบบเรื้อรัง (chronic infection) เรียกว่า “runt deformitysyndrome” (RDS), กุ้งแคระแกรน หรือกุ้งโตช้ากรีดงอส่วนหัวกุ้งจะสั้นกว่าปกติ IHHNV)

2.1.10.6. โรคบีพี (*Baculovirus penaei*; BP) สาเหตุของโรคเกิดจากเชื้อไวรัสในกลุ่มแบคคิวโลไวรัสพบในกุ้งสกุล Penaeid หลายชนิดเช่นกุ้งขาว *P. vannamei, P. marginatus, P. setiferus, P. duorarum, P. Stylirostris* ลักษณะอาการไม่มีอาการภายนอกแต่จะพบกุ้งในระยะไมซีสจะเริ่มทยอยตายและเพิ่มมากขึ้นแม้จนกระทั่งในระยะแรกๆของกุ้งพี พบกุ้งตายหมดบ่อ

2.1.10.7. โรคแบคทีเรียเรืองแสง สาเหตุเกิดจากเชื้อแบคทีเรียเรืองแสง (*Vibrio harveyi*) ลักษณะอาการพบอัตราการตายสูงในกุ้งระยะวัยอ่อนถึงวัยรุ่นลอยหัวมีแสงเรืองในเวลากลางคืน หรือในที่มืด ในกุ้งวัยรุ่นจะว่ายขึ้นผิวน้ำขอบบ่อกุ้งกินอาหารลดหรือไม่กิน อาหารมักพบเชื้อแบคทีเรียในกระแสเลือดและกล้ามเนื้อ

2.1.10.8. โรควิบริโอซีส (Vibriosis) สาเหตุเกิดจากแบคทีเรียกลุ่มวิบริโอ (*Vibrio* spp.) ได้แก่ *V. Parahemolyticus, V. vulnificus* เป็นต้น ลักษณะอาการกุ้งจะกินอาหารลดลงตัวกรอบแกรบเปลือกนิ่ม

ขึ้นข้างหรือว่ายวนขอบบ่ออาจมีดวงขาวที่เปลือกทั้งส่วนหัว และลำตัวกุ้งอาจมีสีแดงกล้ามเนื้อตายมักมีสีขาวขุ่นกุ้งมีอัตราการตายสูงโดยเฉพาะในกุ้งอายุ 1-2 เดือน

2.1.10.9. โรคเชื้อราแลคจินิเดียม (*Legenidium* spp.) สาเหตุเกิดจากเชื้อรา ลักษณะอาการพบอัตราการตายสูงในกุ้งระยะวัยอ่อนลูกกุ้งจะจมลงไปนอนนิ่งๆอยู่ก้นบ่อลูกกุ้งกินอาหารลดหรือไม่กินอาหารลำตัวมีสีเหลืองครีม หรือจุดสีน้ำตาลอ่อนกล้ามเนื้อเปื่อยเน่า

2.1.10.10. โรคโปรโตซัว *Zoothamnium* spp. สาเหตุเกิดจากโปรโตซัว *Zoothamnium* ลักษณะอาการลักษณะของกุ้งที่มีซูโอแทมเนียมเกาะอยู่บนลำตัวจะเห็นเป็นสีขุ่นขาวรอบตัวกุ้งมีปุยฟูการว่ายน้ำผิดปกติมีผลต่อการกินอาหารและการลอก คราบโดยมักจะพบคราบส่วนหัวติดอยู่กับตัวกุ้ง กุ้งจะตายในเวลาต่อมา

2.1.11. การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไม

การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตธนิษฐา (2543) กล่าวว่า การเจริญเติบโต (growth) เป็นผลต่างระหว่างการสร้าง (anabolism) กับกระบวนการสลาย (Catabolism) ของร่างกาย โดยที่สัตว์ทุกชนิดมีการเจริญเติบโตทั้งทางความยาว และน้ำหนัก โดยที่การเจริญเติบโตแบบไอโซเมตริก (isometric) คือ การเติบโตในทุกส่วนของร่างกายจะมีการเติบโตอย่างเป็นสัดส่วนกันโดยตรง เช่น น้ำหนักตัว (W) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความยาวยกกำลังสาม (L^3) หรือ พื้นที่ผิวของร่างกาย การศึกษาการเจริญเติบโตสามรถวัดได้ดังนี้ (De Silva and Anderson (1995)

1. น้ำหนักเฉลี่ย (average weight) (กรัมต่อตัว) คำนวณจากสูตร

$$= \frac{\text{น้ำหนักกุ้งขาวแวนนาไมรวม (กรัม)}}{\text{จำนวนกุ้งขาวแวนนาไมที่เหลือทั้งหมด (กรัม)}}$$

2. น้ำหนักเพิ่ม (weight gain) (กรัมต่อตัว) คำนวณจากสูตร

= น้ำหนักกุ้งขาวแวนนาไมเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยง (กรัม) - น้ำหนักกุ้งขาวแวนนาไมเริ่มต้น (กรัม)

3. น้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน (daily weight gain; DWG) (กรัมต่อตัวต่อวัน) คำนวณจากสูตร

$$= \frac{\text{น้ำหนักกุ้งขาวแวนนาไมเมื่อสิ้นสุดการทดลอง – น้ำหนักกุ้งขาวแวนนาไมเริ่มต้น}}{\text{ระยะเวลาการทดลอง (วัน)}}$$

4. อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific growth rate; SGR) (เปอร์เซ็นต์ต่อวัน) คำนวณจากสูตร

$$= \frac{[(\ln \text{น้ำหนักกุ้งขาวแวนนาไมเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยง} - \ln \text{น้ำหนักกุ้งขาวแวนนาไมเริ่มต้น})]}{\text{ระยะเวลาการเลี้ยง (วัน)}} \times 100$$

5. อัตราการรอดตาย (Survival rate) (เปอร์เซ็นต์) คำนวณจากสูตร

$$= \frac{\text{จำนวนกุ้งขาวแวนนาไมที่เหลือเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยง (กรัม)}}{\text{จำนวนกุ้งขาวแวนนาไมที่เริ่มต้นเลี้ยง (ตัว)}} \times 100$$

6. อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed conversion ratio, FCR) คำนวณจากสูตร

$$= \frac{\text{น้ำหนักอาหาร(แห้ง)ที่ปลากิน (กรัม)}}{\text{น้ำหนักกุ้งขาวที่เพิ่มขึ้น (กรัม)}}$$

2.2. เรื่องทั่วไปเกี่ยวกับน้ำมันมะพร้าว

มะพร้าว (*Cocos nucifera* L.) เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวในวงศ์ Palmae มีถิ่นกำเนิดอยู่ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มะพร้าวจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย ซึ่งประเทศไทยมีผลผลิตของมะพร้าวมากเป็นอันดับ 6 ของโลก รองลงมาจากประเทศอินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ อินเดีย บราซิล และศรีลังกา ตามลำดับ โดยมะพร้าวสามารถนำมาผลิตเป็นน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ ซึ่งปัจจุบันกำลังได้รับความนิยมและสนใจจากผู้บริโภคในประเทศแถบเอเชีย และแปซิฟิกเป็นจำนวนมาก เนื่องจากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์อุดมไปด้วยวิตามินและสารต้านอนุมูลอิสระ ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งเป็นอาหาร และยา กล่าวคือน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์อุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ (Bawalan และ Chapman, 2006)

2.2.1. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

มะพร้าว มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cocos nucifera L.* อยู่ในตระกูล Palmae มีระบบรากเป็นรากฝอยมีขนาดเท่าๆ กัน แผ่กระจายออกรอบต้น

ลำต้น มีลำต้นเดียว ไม่แตกแขนง มีรอยแผลจากการหลุดร่วงของใบตลอดลำต้น สามารถคำนวณอายุของต้นมะพร้าวได้จากรอยแผลนี้ คือ ในปีหนึ่งมะพร้าวจะสร้างใบประมาณ 12-14 ใบ ดังนั้นใน 1 ปี จะมีแผลที่ลำต้น 12-14 รอยแผล

ใบ เป็นใบประกอบ ออกอยู่ตามส่วนของลำต้น ประกอบด้วยก้านทาง (rechis) มีขนาดใหญ่และยาวและมีใบย่อย (leaflet) บนก้านทางประมาณ 200–250 ใบ

ดอก ออกเป็นช่อชนิดพานิเคิล มีทั้งดอกตัวผู้และดอกตัวเมีย อยู่ในช่อเดียวกัน ดอกมีกลีบดอก 6 กลีบ สีครีมหรือสีเหลืองนวล ไม่มีก้านดอกย่อยดอกตัวเมียจะมีกลีบดอกหนาและแข็งกว่ากลีบดอกตัวผู้

ผล มะพร้าวเป็นชนิดไฟบรัสดรุป (fibrous drupe) เรียกว่า นัท (nut) มีเปลือก 3 ชั้นคือ

1. เปลือกชั้นนอก (exocarp) เป็นเส้นใยที่เหนียว และแข็ง เมื่อแก่อาจมีสีเขียว แดง เหลืองหรือน้ำตาล
2. เปลือกชั้นกลาง (mesocarp) มีลักษณะเป็นเส้นใย มีความหนาพอประมาณ
3. เปลือกชั้นใน (endocarp) มีลักษณะแข็งหรือที่เรียกกันว่า กะลา (shell)

เมล็ด (seed of kernel) คือ เนื้อมะพร้าว ภายในเมล็ดเป็นช่อกลวงขณะผลอ่อนจะมีน้ำอยู่เต็ม ผลแก่น้ำมะพร้าวจะแห้งไปบางส่วน

พันธุ์ มะพร้าวเป็นพืชผสมข้ามพันธุ์ แต่ละต้นจึงไม่เป็นพันธุ์แท้ อาศัยหลักทางการผสมพันธุ์ที่เป็นไปโดยธรรมชาติ อาจแบ่งมะพร้าวออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทต้นเตี้ย และประเภทต้นสูง (นิรนาม, 2562

2.2.2. การแยกน้ำมันมะพร้าวจากกะทิ

กะทิ (Coconut milk) คือของเหลว ที่ได้จากการใช้น้ำคั้น หรือสกัด (extraction) ส่วนเนื้อแก่ของมะพร้าว มีส่วนประกอบหลักคือ ไขมัน ซึ่งอยู่ในรูปของอิมัลชัน (emulsion) และของแข็งต่างๆ เช่น โปรตีน วิตามิน แร่ธาตุ เป็นของเหลวสีขาวขุ่นที่ได้จากการบีบคั้นเนื้อมะพร้าวขูด โดยการเติมหรือไม่เติมน้ำ ส่วนประกอบที่สำคัญของน้ำกะทิ คือ น้ำมัน น้ำ โปรตีน และน้ำตาล อยู่รวมกันเป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ โดยมีโปรตีนทำหน้าที่เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ ความเข้มข้นของน้ำกะทิขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำกะทิเมื่อตั้งทิ้งไว้จะแยก ชั้นหางกะทิ โดยความหนาของชั้นหัวกะทิแสดงถึงความเข้มข้น ทั้งนี้เนื่องจากน้ำกะทิมีปริมาณน้ำมันมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณโปรตีน โปรตีนไม่เพียงพอที่จะดึงน้ำมันให้กระจายแขวนลอยอยู่ทั่วไป การใช้กะทินั้นแพร่หลายในประเทศที่มีการปลูกมะพร้าว เช่น ไทย มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ อินเดีย ศรีลังกา เป็นต้น โดยใช้ประกอบเป็นอาหารคาวหวาน ในอดีตหรือในท้องที่ไกลตลาด แม่บ้านจะต้องปอก และขูดมะพร้าวเองเพื่อใช้ทำน้ำกะทิ ในปัจจุบันมีการขูดมะพร้าวขายในตลาดสด และมีบริการคั้นน้ำกะทิ คั้น ส่วนผู้บริโภคที่อยู่ไกลตลาดหรืออยู่ในต่างประเทศก็ได้รับความสะดวกจากการใช้น้ำกะทิสำเร็จรูป

กะทิเป็นผลิตผลที่สำคัญจากมะพร้าวที่ได้จากการบีบหรือคั้นเนื้อมะพร้าวขูด โดยอาจมีการเติมน้ำหรือไม่ก็ได้ กะทิมีลักษณะเป็นของเหลวขาวขุ่นคล้ายนม มีกลิ่นรสเฉพาะตัวของมะพร้าว (nuttyflavor) สัดส่วนขององค์ประกอบในกะทิขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น สายพันธุ์ อายุ สภาพแวดล้อมในการเจริญเติบโต กระบวนการเตรียม และวิธีการแยก;กะทิ องค์ประกอบของกะทิประกอบด้วย ความชื้นร้อยละ 50.0–54.0 ไขมันร้อยละ 32.0-40.0 โปรตีนร้อยละ 2.8-4.4 เถ้าร้อยละ 1.0-1.5 และคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 5.5–8.3 โดยวัดที่ช่วงอุณหภูมิ 10-80 องศาเซลเซียส จึงถือว่ากะทิเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ (low-acid food) (เทพกัญญา, 2545)

การแยกน้ำมันมะพร้าวจากกะทิสามารถทำได้โดยทำให้อิมัลชั่นเสียความคงตัว ซึ่งทำได้หลายวิธี เช่น การให้ความร้อน การแช่แข็งและทำละลาย การใช้กรดปรับ ความเป็นกรด-ด่างการใช้เอนไซม์ และการหมุนเหวี่ยง เป็นต้น การแยกน้ำมะพร้าวออกจากกะทิด้วยวิธีดั้งเดิมจะทำโดยการหมักกะทิเพื่อให้จุลินทรีย์ย่อยโปรตีนที่ล้อมรอบอนุภาคน้ำมัน หรือการให้ความร้อนแก่กะทิจนกระทั่งน้ำมันแยกตัวลอยออกมา ส่วนโปรตีนจะตกตะกอน แต่วิธีเหล่านี้จะทำให้น้ำมันมะพร้าวมีคุณภาพต่ำ และโปรตีนมีการเสียสภาพ ต่อมาจึงมีการพัฒนาการแยกน้ำมันโดยนำเทคนิคการหมุนเหวี่ยงมาใช้แยกน้ำมัน และโปรตีนโดยการ

หมุนเหวี่ยงเพื่อให้กะทิแยกตัวเป็นหัวกะทิ และหางกะทิ ก่อนนำหัวกะทิซึ่งเป็นอิมัลชันที่เข้มข้นไปทำลายอิมัลชันด้วยวิธีการอื่น ซึ่งวิธีการเหล่านี้จะสามารถผลิตน้ำมันที่มีคุณภาพดี และยังได้โปรตีนที่มีคุณภาพ (สุคนธ์ชื่น, 2542)

2.2.3.น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์

น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ (Virgin Coconut Oil : VCO) เป็นน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่สกัดได้จากเนื้อมะพร้าวสด โดยวิธีทางธรรมชาติ น้ำมันที่ได้จากการสกัดที่เหมาะแก่การบริโภคต้องใส และประกอบไปด้วยวิตามินอีจากธรรมชาติ ไม่เกิดการออกซิเดชันภายใต้สภาวะบรรยากาศ ไม่มีตะกอน ไม่มีกลิ่นหืน และไม่เหม็นเปรี้ยว สามารถเก็บรักษาได้นานโดยไม่เสื่อมสภาพ และน้ำมันมะพร้าวที่จำหน่ายตามท้องตลาดมักเป็นน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธีทางอุตสาหกรรม ซึ่งผลิตโดยใช้สารเคมี และความร้อนสูงในการทำให้บริสุทธิ์ (Marina *et al*., 2009)

ภาพที่ 2.3 น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์
ที่มา : ปวีณ์นุช, 2562

2.2.3.1. ประเภทของน้ำมันมะพร้าว

1) น้ำมันมะพร้าว RBD เป็นน้ำมันมะพร้าวที่สกัดจากเนื้อมะพร้าวด้วยการบีบหรือใช้ตัวทำละลายที่ผ่าน ความร้อนสูง ด้วย 3 กระบวนการ คือ การทำให้บริสุทธิ์ (refining) การฟอกสี (bleaching) และการกำจัดกลิ่น (deodorization) ทำให้ได้น้ำมันมะพร้าวที่มีเหลืองอ่อน ไม่มีกลิ่น และรส ปริมาณกรดไขมันอิสระไม่เกินร้อยละ 0.1 แต่มีข้อเสียคือ วิตามินอีจะถูกกำจัดออกไปด้วย ปัจจุบันไม่ค่อยมีการผลิตแล้ว

2) น้ำมันมะพร้าวบีบเย็น (Cold pressed coconut oil) หรือน้ำมันมะพร้าวพรหมจรรย์ เป็นน้ำมันมะพร้าวที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีการบีบแบบไม่ผ่านความร้อนสูงจน ได้น้ำมันมะพร้าวที่มีลักษณะสีใสเหมือนน้ำ ประกอบด้วยวิตามินอี และมีกรดไขมันอิสระต่ำ แต่มีกลิ่นมะพร้าวบ้างเล็กน้อย

และมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 1 เป็นน้ำมันที่ผลิตมากในอุตสาหกรรมขนาดเล็ก และสามารถผลิตเองได้ในครัวเรือนจึงมีจำหน่าย และใช้กันมากในปัจจุบัน สำหรับน้ำมันมะพร้าวแบบบีบเย็นที่มีการใช้กันมากในปัจจุบัน ซึ่งเมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบที่เป็นสารสำคัญต่างๆ จะประกอบด้วย

ก. กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid) น้ำมันมะพร้าวประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวมากกว่าร้อยละ 92 และกรดไขมันไม่อิ่มตัวประมาณร้อยละ 10 ซึ่งกรดไขมันอิ่มตัวส่วนใหญ่จะประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอน 8-14 ตัว ที่สำคัญ ได้แก่

– กรดคาปริก (Capric acid), กรดลอริก (Lauric acid), กรดไมริสติก (Myristic acid), กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) ประกอบด้วย 2 ชนิดคือ

– กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (Monounsaturated fatty acid) เป็นกรดไขมันที่มีอะตอมของคาร์บอน 1 ตัว ไม่มีไฮโดรเจน 2 ตัวมาจับจึงต้องจับกันเองกับคาร์บอนอะตอมอื่น

– กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (Polyunsaturated fatty acid) เป็นกรดไขมันที่มีพันธะคู่มากกว่า 1 คู่ มีจำนวนคาร์บอนมากจึงทำให้โมเลกุลยาว เช่น กรดลิโนเลอิก

ข. กรดลอริก (Lauric acid) น้ำมันมะพร้าวมีข้อพิเศษที่ว่าเป็นน้ำมันพืชชนิดเดียวที่มีกรด ลอริกเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 48-55 จึงมีคุณสมบัติที่สามารถนำมาใช้เพื่อส่งเสริมในด้านสุขภาพ และความงามเป็นอย่างมาก

ค. วิตามินอี (Vitamin E) น้ำมันมะพร้าวที่สกัดได้โดยไม่ผ่านกระบวน RBD จะยังคงมีวิตามินอีเหลืออยู่จึงเป็นน้ำมันที่สามารถช่วยเพิ่มคุณสมบัติ และทำให้มีความแตกต่างจากน้ำมันทั่วไปที่มักไม่มีวิตามินอี (นิรนาม, 2562)

2.2.4. คุณสมบัติทางเคมี และทางกายภาพของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์

2.2.4.1. คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ น้ำมันมะพร้าวมีกรดไขมันอิ่มตัวมากกว่าร้อยละ 90 และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว ประมาณร้อยละ 6 ซึ่งถือว่ามีอยู่ในปริมาณเล็กน้อย และนอกจากนี้ในน้ำมันมะพร้าวประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน ประมาณร้อยละ 1 และวิตามินอีทั้งหมด ประมาณ 29 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่อย่างไรก็ตามน้ำมันมะพร้าวก็ยังประกอบด้วยกรดไขมันที่มีสายโซ่ขนาดกลางถึงร้อยละ 58 ซึ่งง่ายต่อการดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย นอกจากนี้งานวิจัย (Marina *et al.*, 2009) ระบุถึงลักษณะและองค์ประกอบของไขมันอิสระของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ (Virgin Coconut Oil: VCO) พบว่า น้ำมันตัวอย่างมีค่ากรดลอริกประมาณ 46.64–48.03 เปอร์เซ็นต์ มีไตรกลีเซอไรด์ ที่สำคัญ คือ โดยมีค่าไอโอดีนอยู่ระหว่าง 4.47–8.53 ซึ่งค่าไอโอดีนบอกถึงความไม่อิ่มตัวของพันธะ ค่าซาพอนนิฟิเคชันอยู่ระหว่าง 250.07-260.67 mg. KOH/g. มีค่าเปอร์ออกไซด์อยู่ระหว่าง 0.21-0.57 mequiv. oxygen/kg. ซึ่งบอกให้ทราบถึงความคงตัวที่มีค่ามาก ในขณะที่ค่าแอนิซิดีนอยู่ระหว่าง 0.16–0.19 ค่ากรดไขมันอิสระอยู่ระหว่าง 0.15-0.25 ซึ่งค่อนข้างต่ำ การแสดงค่าต่าง ๆ ของตัวอย่างน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์นั้นถือว่ามีคุณภาพดี ซึ่งอยู่ภายใต้มาตรฐานของ Codex standard ที่เป็นค่ามาตรฐานอาหารระหว่างประเทศ และนอกจากนี้

ในน้ำมันมะพร้าวมีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ระหว่าง 7.78–29.18 mg. GAE/100 g. ซึ่งสูงกว่าน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านการกลั่น ฟอกสี และการกำจัดกลิ่น (6.14 mg. GAE/100 g. ของน้ำมัน) ผลสรุปนี้ยืนยันได้ว่าน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์เป็นน้ำมันมะพร้าวที่มีคุณภาพดีจากคุณสมบัติทางเคมี

2.2.4.2. คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ คุณภาพของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่ทดสอบจากการประเมินทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation) มีดังนี้ กล่าวคือ สีของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ควรมีสีใสเหมือนน้ำ การเกิดสีของน้ำมันมะพร้าวอาจเนื่องมาจากการปนเปื้อนในน้ำมันระหว่างกระบวนการที่ใช้ความร้อนสูง และการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ (microbial contaminant) ในเนื้อมะพร้าวก่อนขั้นตอนการสกัด (Bawalanand Chapman, 2006) ถ้ามีการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์จะทำให้สีของน้ำมันเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหรือชมพูหรือแดงส้ม ทั้งนี้กลิ่นของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์คุณภาพดีควรมีกลิ่นหอมอ่อนๆ ของมะพร้าว ซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการที่ใช้ในการสกัด รสชาติของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ต้องไม่ระคายเคืองในลำคอเมื่อรับประทานเข้าไป

2.2.5. องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันมะพร้าว และน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์

การใช้ยาหรือสารเคมีในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมทำให้มีการรบกวนขบวนประสิทธิภาพการย่อย (Digestibility) ทำให้เกิดผลข้างเคียง (Size effect) เช่น ทำให้กุ้งขาวแวนนาไมเครียด เช่น การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ฝนตกบ่อย กุ้งกินอาหารน้อย ทำให้อัตราการรอดต่ำ เป็นต้น (มยุรี, มปป)

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันมะพร้าว

Fatty acid composition	ปริมาณ (%w/w)
Caprylic acid (C8:0)	3.42
Capric acid (C10:0)	4.35
Lauric acid (C12:0)	42.23
Myristic acid (C14:0)	19.00
Plamitic acid (C16:0)	9.17
Plamitoleic acid (C16:1)	0.00
Steric acid (C18:0)	3.38
Oleic acid (C18:1)	6.26
Linoleic acid (C18:2)	2.24
Linoleic acid (C18:3)	0.00
Arachidic acid (C20:0)	0.10
Erueic acid (C22:1)	0.00

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันมะพร้าว (ต่อ)

Fatty acid composition	ปริมาณ (%w/w)
Lignoceric acid (C24:1)	0.03
Nervonic acid (C24:1)	0.00
Saturated fatty acid	81.68
Monounsaturated fatty acid	6.26
Polyunsaturated fatty acid	2.24
Unsaturated fatty acid	8.5
Medium chain fatty acid (C8:0-C14:0)	69
Saturated/Unsaturated (SFA/UFA)	9.60

ที่มา : เพ็ญศรี, 2554

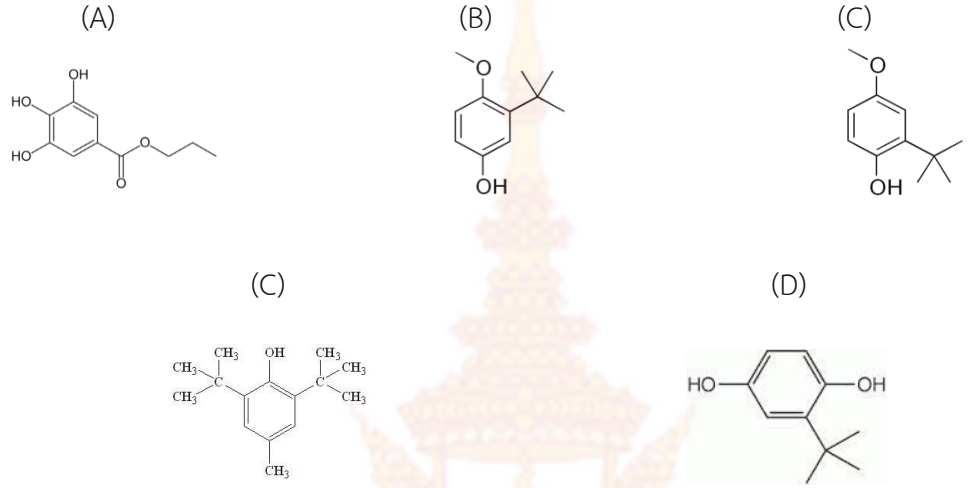
องค์ประกอบของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์โดยทั่วไปพืชที่สกัดและให้น้ำมัน (plant seed oil) จะมีส่วนประกอบหลักคือ ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) และส่วนประกอบรองคือโมโนกลีเซอไรด์ (Monoglyceride) ไดกลีเซอไรด์ (Diglyceride) สเตอรอล (Sterols) และกรดไขมันอิสระ (free fatty acid FFA) เมื่อเปรียบเทียบส่วนประกอบต่างๆ ของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์และน้ำมันมะพร้าว RBD จะพบว่าน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์มีโมโนกลีเซอไรด์สเตอรอล และกรดไขมันอิสระสูงกว่าน้ำมันมะพร้าว RBD เนื่องจากน้ำมันมะพร้าวRBD ต้องผ่านการทำให้บริสุทธิ์โดยการใช้สารเคมีภายใต้สภาวะด่าง (Alkaline refining) ส่วนน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์นั้นไม่มีสารเคมีเข้ามาเกี่ยวข้องในการผลิต (Dayrit *et al.,* 2008)

2.2.6. สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant)

สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) คือสารปริมาณน้อยที่สามารถป้องกันหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอนุมูลอิสระได้ (Halliwell, 2009) สารเหล่านี้มีกลไกในการต้านอนุมูลอิสระหลายแบบเช่นดักจับ (scavenge) อนุมูลอิสระโดยตรงยับยั้งการสร้างอนุมูลอิสระหรือเข้าจับ (chelate) กับโลหะเพื่อป้องกันการสร้างอนุมูลอิสระ (Sies, 1991) ปัจจุบันสารต้านอนุมูลอิสระโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ได้มาจากพืชผักเครื่องเทศองุ่นและสมุนไพรได้รับความสนใจและศึกษากันอย่างกว้างขวางเนื่องจากกระแสเรื่องความปลอดภัยของสารสกัดจากธรรมชาติสารต้านอนุมูลอิสระแบ่งตามแหล่งที่มาได้ 2 ชนิดได้แก่

2.2.6.1. สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (Synthetic antioxidants) สารประกอบฟีนอลิกสังเคราะห์ 5 ชนิดได้แก่propyl gallate, 2-butylated hydroxyanisole, 3-butylatehydroxyanisole, butylatedhydroxytoluene BHT และtertiarybutylhydroquinone ซึ่งมีสูตรโครงสร้างดังภาพประกอบ

1 เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน อันเป็นสาเหตุให้อาหารมีกลิ่น สี และรสชาติที่เปลี่ยนไปสารสังเคราะห์เหล่านี้มีประสิทธิภาพ และความคงตัวสูงกว่าสารสกัดจากธรรมชาติแต่มีข้อจำกัดของการใช้เนื่องจากปัญหาด้านความปลอดภัยในการบริโภค (Yang et al.,2000; Pokorny et al., 2001)



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (A) Propyl gallate, (B) 3-Butylated hydroxyanisole, (C) 2-Butylated hydroxyanisole, (D) Butylatedhydroxytoluene, (E) Tertiary butyl hydroquinone (ที่มา: Howell and Saeed, 1999)

2.2.6.2. สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ (Natural antioxidants) สารกลุ่มนี้ได้รับความสนใจและมีการค้นคว้าอย่างมากในปัจจุบันเนื่องจากความเชื่อมั่นว่ามีความปลอดภัยในการบริโภคมากกว่าสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้พบได้ทั้งในจุลชีพสัตว์ และพืชซึ่งมีทั้งที่เป็นวิตามิน เช่นวิตามินซีวิตามินอีเบต้าแคโรทีน และสารที่ไม่ให้คุณค่าทางโภชนาการ (nonnutrient) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นสารประกอบฟีนอลิก โดยเฉพาะกลุ่มโพลีฟีนอล (polyphenols) เช่นแซนโธน (xanthone) และฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ซึ่งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลที่เกาะบนวงเบนซีน (aromatic hydroxyl) ตั้งแต่ 2 หมู่ขึ้นไป หมู่ฟังก์ชั่น (functional group) เหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการดักจับอนุมูลอิสระไม่ให้ไปกระตุ้นหรือก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ โดยการให้อนุมูล $H^{\bullet}$ แก่อนุมูลอิสระเหล่านั้น นอกจากนี้สารประกอบโพลีฟีนอลที่มีโครงสร้างของ ortho-dihydroxyl phenol อยู่ในโมเลกุลยังสามารถยับยั้งการเกิดอนุมูล $OH^{\bullet}$ ในปฏิกิริยาที่มีอนุมูลโลหะทรานซิชั่นคือ Fe^{2+} และCu^{2+} เป็นตัวเหนี่ยวนำได้โดยการเข้าจับกับโลหะดังกล่าวเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (complex) (Sanchez-Moreno *et al*., 2000)

2.3. ขมิ้นอ้อย

ขมิ้นอ้อยมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Curcuma zedoaria* Roscoe. อยู่ในวงศ์ Zingiberaceae มีชื่อสามัญว่า Zedoary อาจเรียกชื่ออื่นตามท้องถิ่นเช่น ขมิ้นขึ้น (ภาคเหนือ) แฮ้วดำ (เชียงใหม่) จัดเป็นพืชล้มลุก ลักษณะใบและต้นคล้ายต้นของไพล มีลำต้นใต้ดินเรียกว่าเหง้าหรือหัว เหง้าจะลอยขึ้นมาเหนือพื้นดินในหน้าแล้ง เมื่อใบแห้งจะลงหัว ทำให้บางครั้งเรียกว่า ขมิ้นหัว เนื้อในจะมีสีเหลืองอ่อนกว่าขมิ้นชัน (จินดาพร , 2549)

ภาพที่ 2.5 ลักษณะของขมิ้นอ้อย
ที่มา : วิทย์, 2538

2.3.1. อนุกรมวิธานของขมิ้นอ้อย

ชื่อไทย	ขมิ้นอ้อย
ชื่ออื่นๆ/ชื่อท้องถิ่น	ว่านขมิ้นอ้อย, ขมิ้นเจดีย์ (ทั่วไป), ว่านเหลือง (ภาคกลาง), ขมิ้นชัน (ภาคเหนือ), ขี้มิ้นหัวขึ้น (ภาคอีสาน), ละเมียด (เขมร), สากเบือ (ละว้า)
ชื่อวิทยาศาสตร์	*Curcuma zedoaria* (Christm.) Roscoe
ชื่อสามัญ	Zedoary, Indian arrow root, Long zedoaria, Luya-Luyahan, Shoti
วงศ์	Zingideracae (ขมิ้นอ้อย, 2562)

2.3.2. ลักษณะทางพันธุ์ศาสตร์ของขมิ้นอ้อย

ขมิ้นอ้อยจัดเป็นพรรณไม้ล้มลุกมีอายุหลายปีมีเหง้าอยู่ใต้ดิน และมีรากเล็กน้อยที่บริเวณเหง้า รากกลมมีเนื้อนุ่มภายใน ทั้งนี้ขมิ้นอ้อยมีลักษณะทั่วไปคล้ายกับขมิ้นชันแต่มีลำต้นที่สูงกว่ารวมถึงขนาดเหง้าและใบก็ใหญ่กว่า โดยต้นขมิ้นอ้อยจะมีความสูงประมาณ 1-1.2 เมตรลำต้นตั้งตรง แตกหน่อมาก ส่วนเหง้ามักโผล่ขึ้นมาเหนือดินเล็กน้อย เหมือนเจดีย์ทรงกลมสูงหลายชั้น ๆ (จึงเป็นที่มาของชื่อขมิ้นขึ้นหรือขมิ้น

เจดีย์) ลักษณะของเหง้าเป็นรูปกลมรี มีความยาวประมาณ 18-24 เซนติเมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 7-11 เซนติเมตร ผิวด้านนอกเป็นสีขาวแกมเหลือง ส่วนเนื้อในเป็นสีเหลืองอ่อน

(A)

(B)

ภาพที่ 2.6 (A) ลักษณะลำต้นของขมิ้นอ้อย, (B) ลักษณะเหง้าขมิ้นอ้อย
ที่มา : วิทย์, 2538

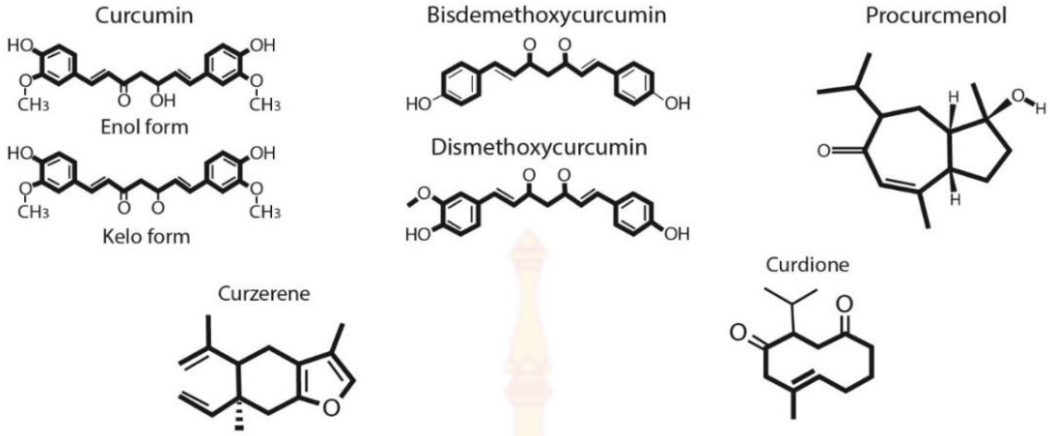
ใบดอก เป็นใบเดี่ยวเรียงสลับรอบลำต้น ลักษณะของใบเป็นรูปใบหอกแกมรูปขอบขนาน ปลายใบเรียวแหลม โคนใบแคบ ผิวใบด้านบนสีเขียวเข้ม และมีเส้นนูนตามลายของเส้นใบ เส้นกลางใบเป็นร่องเล็กน้อย และมีแถบสีน้ำตาล ผิวด้านหน้าเรียบ ส่วนทางด้านท้องใบจะมีขนนิ่มเล็กน้อย ก้านใบเป็นกาบหุ้มกับลำต้น นานเป็นลำต้นเทียมมีความยาวเป็น 1 ใน 3 ของใบ กลางก้านเป็นร่องลึกตลอดความยาว ดอกจะออกดอกเป็นช่อ ก้านดอกจะยาว และพุ่งออกมาจากเหง้าที่อยู่ใต้ดิน ช่อดอกมีความยาวประมาณ 15 เซนติเมตร ลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก ช่อดอกมีใบประดับ และดอกมักเป็นสีขาวหรือสีเหลืองอ่อน กลีบดอกมีลักษณะกลมเป็นรูปไข่สีเขียว ตรงปลายของช่อดอกจะเป็นสีชมพูหรือสีแดงอ่อน ส่วนดอกสีเหลืองจะบานจากล่างขึ้นบน และจะบานครั้งละประมาณ 2-3 ดอกในฤดูฝน ผล มีลักษณะเป็นรูปไข่ เช่นเดียวกับผลของขมิ้นชัน แต่จะมีกลิ่นฉุนน้อยกว่า

ภาพที่ 2.7 ดอกของขมิ้นอ้อย
ที่มา : วิทย์, 2538

2.3.3. สารเคมีที่พบในเหง้าขมิ้นอ้อย

สารเคมีที่พบในเหง้าขมิ้นอ้อย นั้นจะพบในส่วนของน้ำมันหอมระเหยเป็นสำคัญ โดยทั่วไปแล้วขมิ้นจะมีน้ำมันหอมระเหยตั้งแต่ 2-6 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันมีสีเหลืองและเรืองแสงได้เล็กน้อยสารเคมีที่พบมากที่สุดคือ เทอร์มีโรน (Turmerone) ประมาณ 58-59 เปอร์เซ็นต์ สารนี้มีสูตรโมเลกุลเป็น $C_{15}H_{22}O$ รองลงมาได้แก่ ซิงจิเบอรีน (zingiberene) 25 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบสารต่างๆ อีกหลายชนิด ได้แก่ ซาบินีน (Sabinene) บอร์นีออล. (Borneol), ซินีออล (Cineol), เทอร์มีรอล (Termerol), เคอร์คิวโมน (Curcumone) และฟิลแลนดรีน (Phellandrene) ขมิ้นอ้อย (*Curcuma zedoaria*) มีสารเคอร์คิวมินอยด์ (Curcuminoid) เป็นองค์ประกอบหลัก มีการศึกษาฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน ที่เกิดจาก 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) และ ฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย ต่อเชื้อ Staphylococcus aureus ATCC 25923 และ Bacillus subtilis ของสารสกัดด้วยเอทานอลจากเหง้าขมิ้น ก่อนและหลังการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 และ 12 เดือน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน และต้านเชื้อแบคทีเรีย มีแนวโน้มลดลงภายหลังการเก็บรักษานาน 12 เดือน (สิริวรรณ, 2003)

กรณิการ์ (2008) หาปริมาณสารเคอร์คิวมินจากขมิ้นชัน ขมิ้นอ้อย และขมิ้นชันแคปซูล โดยสกัดสารเคอร์คิวมินจากขมิ้นชันอบแห้ง ขมิ้นชันฟรีซดราย ขมิ้นอ้อยอบแห้ง ขมิ้นอ้อยฟรีซดราย และขมิ้นชันแคปซูล ในตัวทำละลายเมทานอลต่อน้ำในอัตราส่วน 5:1 (v/v) ทำการแยก และหาค่า R_f ของสารเคอร์คิวมินอยด์ ด้วยเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทรกราฟี (TLC) บนซิลิกาเจล 60 G ใช้ mobile phase ไดคลอโรมีเทนต่อเมทานอลในอัตราส่วน 99:1 นำสารแต่ละชนิดที่แยกได้ไปวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงสูงสุด ด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer พิสูจน์เอกลักษณ์ด้วย FT-IR และหาปริมาณสารเคอร์คิวมินด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ผลการวิจัยพบว่า สารเคอร์คิวมิน
ดีเมทอกซีเคอร์คิวมินและบิสดีเมทอกซีเคอร์คิวมิน มีค่า R_f เท่ากับ 0.50, 0.29 และ 0.14 ตามลำดับ การดูดกลืนคลื่นแสงสูงสุด มีค่าเท่ากับ 428.16, 425.26 และ 423.45 nm. ตามลำดับ สารเคอร์คิวมินในขมิ้นชันอบแห้ง ขมิ้นชันฟรีซดราย ขมิ้นอ้อยอบแห้ง ขมิ้นอ้อยฟรีซดราย และขมิ้นชันแคปซูล แสดงแถบการสั่นของ C-H stretching เนื่องจากหมู่ OCH_3 ที่ตำแหน่ง 2926.77-2852.09 cm^{-1} ปริมาณเคอร์คิวมินจากขมิ้นชันอบแห้ง และขมิ้นชันฟรีซดราย มีค่าเท่ากับ 6.72 เปอร์เซ็นต์ และ9.74 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขมิ้นอ้อยอบแห้ง และขมิ้นอ้อยฟรีซดรายมีค่าเท่ากับ 0.32 เปอร์เซ็นต์ และ1.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนขมิ้นชันแคปซูล มีค่าเท่ากับ 7.86% เปอร์เซ็นต์ RSD มีค่าเท่ากับ 1.93 จากการศึกษาพบว่าการอบขมิ้นด้วยความร้อนก่อนการสกัดมีผลต่อปริมาณเคอร์คิวมิน ตัวอย่างขมิ้นชันอบแห้ง ขมิ้นชันฟรีซดราย และขมิ้นชันแคปซูลมีปริมาณเคอร์คิวมินอยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐานของตำรับยาสมุนไพรของประเทศไทย



ภาพที่ 2.8 องค์ประกอบทางเคมีของขมิ้นอ้อย
ที่มา : Wikipedia, 2017

2.3.4. น้ำมันมะพร้าวที่มีสารสกัดจากขมิ้นอ้อยกับการต้านอนุมูลอิสระ

น้ำมันมะพร้าวที่มีส่วนผสมของสารสกัดจากขมิ้นอ้อย เป็นผลิตภัณฑ์ธรรมชาติที่อุดมไปด้วยกรดลอริก และสารต้านอนุมูลอิสระ (เช่นวิตามินอี และสารประกอบฟีนอลิก) โดยกรดลอริกในน้ำมันมะพร้าวเป็นสารที่สามารถต่อต้านการติดเชื้อ มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อ ไวรัส แบคทีเรีย เชื้อรา และโปรโตซัว นอกจากนี้น้ำมันมะพร้าวเป็นพืชชนิดเดียวที่ประกอบไปด้วยกรดไขมันอิ่มตัวถึงร้อยละ 92 ซึ่งมีการคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และในน้ำมันมะพร้าวมีองประกอบของกรดไขมันสายโซ่ขนาดกลาง ร้อยละ 60 ซึ่งเป็นกรดไขมันที่สามารถย่อยง่าย และเร็วเหมาะที่จะใช้เป็นอาหารในกลุ่มไขมัน ช่วยส่งเสริมพัฒนาการการเจริญเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไม เสริมทางด้านการดูดซึมอาหาร การย่อย ช่วยเสริมสร้างอัตราการแลกเนื้อของกุ้งขาวแวนนาไม ส่วนสารสกัดที่ได้จากขมิ้นอ้อยที่ละลายอยู่ในน้ำมันมะพร้าวนั้นอุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ คือ สารประกอบฟีนอลิก ซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง ทำหน้าที่เป็นสาร
ต้านอนุมูลอิสระ จะป้องกันการออกซิเดชันของลิพิดในเยื่อหุ้มเซลล์ กำจัดอนุมูลอิสระ โดยจับกับอนุมูลอิสระ ช่วยป้องกันการเกิดโรคต่างๆ การนำน้ำมันมะพร้าวที่มีสารสกัดจากขมิ้นอ้อยผสมกับอาหารให้กุ้งขาวแวนนาไมกินแล้วน่าจะป้องกันการออกซิเดชันของลิพิดในเยื่อหุ้มเซลล์ กำจัดอนุมูลอิสระ โดยจับกับอนุมูลอิสระ ช่วยป้องกันการเกิดโรคของกุ้งขาวแวนนาไม (นรสิงห์ และคณะ, 2560)

อนุมูลอิสระ (Free Radical) คือ โมเลกุลหรืออนุภาคที่ไม่เสถียรเนื่องจากการรับหรือขาดอิเล็กตรอนไป 1 ตัว ปกติธาตุต่างๆ ที่อยู่ในโมเลกุลที่เสถียรจะต้องมีอิเล็กตรอนอยู่เป็นจำนวนคู่ ในกรณีที่มีการสูญเสียอิเล็กตรอนจะทำให้โมเลกุลนั้นไม่เสถียร จึงจำเป็นต้องหาอิเล็กตรอนเพื่อมาทำให้เกิดความเสถียร ดังนั้น จึงไปแย่งอิเล็กตรอนจากสารอื่นเพื่อมาทดแทน สารอื่นที่ถูกแย่งอิเล็กตรอนมาก็กลายเป็นสารที่สร้างปัญหา เนื่องจากจะต้องไปแย่งเอาอิเล็กตรอนมาทดแทนเช่นเดียวกัน ทำให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ เว้นแต่ว่าจะ

มาเจอกันเองแล้วรวมกันเป็นโมเลกุลที่เสถียรขึ้น สามารถแสดงวงจรการเกิดอนุมูลอิสระ (นรสิงห์ และคณะ, 2560)

สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) คือสารปริมาณน้อยที่สามารถป้องกัน หรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอนุมูลอิสระได้ สารเหล่านี้มีกลไกในการต้านอนุมูลอิสระหลายแบบเช่นดักจับ (scavenge) อนุมูลอิสระโดยตรงยับยั้งการสร้างอนุมูลอิสระหรือเข้าจับ (chelate) กับโลหะเพื่อป้องกันการสร้างอนุมูลอิสระ ปัจจุบันสารต้านอนุมูลอิสระโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ได้มาจากพืชผักเครื่องเทศองุ่น และสมุนไพรได้รับความสนใจ และศึกษากันอย่างกว้างขวางเนื่องจากกระแสเรื่องความปลอดภัยของสารสกัดจากธรรมชาติสารต้านอนุมูลอิสระแบ่งตามแหล่งที่มาได้ 2 ชนิดได้แก่

ภาพที่ 2.9 น้ำมันมะพร้าวที่มีส่วนผสมของสารสกัดจากขมิ้นอ้อย

2.3.4.1. สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (Synthetic antioxidants) สารประกอบฟีนอลิกสังเคราะห์ 5 ชนิดได้แก่propyl gallate, 2-butylated hydroxyanisole, 3-butylatehydroxyanisole, butylatedhydroxytolueneBHT และtertiarybutylhydroquinone เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันอันเป็นสาเหตุให้อาหารมีกลิ่นสีและรสชาติที่เปลี่ยนไปสารสังเคราะห์เหล่านี้มีประสิทธิภาพ และความคงตัวสูงกว่าสารสกัดจากธรรมชาติแต่มีข้อจำกัดของการใช้เนื่องจากปัญหาด้านความปลอดภัยในการบริโภค (Youko, *et al*., 2000)

2.3.4.2. สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ(Natural antioxidants) สารกลุ่มนี้ได้รับความสนใจและมีการค้นคว้าอย่างมากในปัจจุบันเนื่องจากความเชื่อมั่นว่ามีความปลอดภัยในการบริโภคมากกว่าสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้พบได้ทั้งในจุลชีพสัตว์ และพืชซึ่งมีทั้งที่เป็นวิตามินเช่นวิตามินซีวิตามินอีเบต้าแคโรทีน และสารที่ไม่ให้คุณค่าทางโภชนาการ (nonnutrient) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นสารประกอบฟีนอลิก โดยเฉพาะกลุ่มโพลีฟีนอล (polyphenols) เช่นแซนโธน (xanthone) และฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ซึ่งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลที่เกาะบนวงเบนซีน (aromatic hydroxyl) ตั้งแต่ 2 หมู่ขึ้นไป หมู่ฟังก์ชั่น (functional group) เหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการดักจับอนุมูลอิสระไม่ให้

ไปกระตุ้นหรือก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ โดยการให้อนุมูล OH^+ แก่อนุมูลอิสระเหล่านั้น นอกจากนี้ สารประกอบโพลีฟีนอลที่มีโครงสร้างของ ortho-dihydroxyl phenol อยู่ในโมเลกุลยังสามารถยับยั้งการเกิดอนุมูล OH^+ ในปฏิกิริยาที่มีอนุมูลโลหะทรานซิชั่นคือ Fe^{2+} และCu^{2+} เป็นตัวเหนี่ยวนำได้โดยการเข้าจับกับโลหะดังกล่าวเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (complex) (Youko, *et al*., 2000)

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1. วัสดุ และอุปกรณ์

3.1.1. อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์

1. เครื่อง Vortex apparatus รุ่น Genie 2
2. เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ยี่ห้อ biochrom รุ่น Libra S22
3. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น BP 210 S
4. เครื่องเหวี่ยง รุ่น Digicen 20 R
5. ตู้แช่เย็น

3.1.2. อุปกรณ์ทางด้านการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม

3.1.2.1 เครื่องมือวัดคุณภาพน้ำ

1. pH, DO, Alkalinity, Ammonia, Nitrite, ใช้ชุดทดสอบ Test kit
2. Salinity ใช้ชุดทดสอบ Salinometer
3. เทอร์มอมิเตอร์

3.1.2.2 เครื่องมือการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม

1. ถังพลาสติกสีดำพร้อมฝาปิด ขนาด 40x40x50 เซนติเมตร

2.ถังพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร

2. เครื่องให้อากาศ
3. เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง zepper รุ่น EPS-302
4. เครื่องสำรองไฟฟ้า

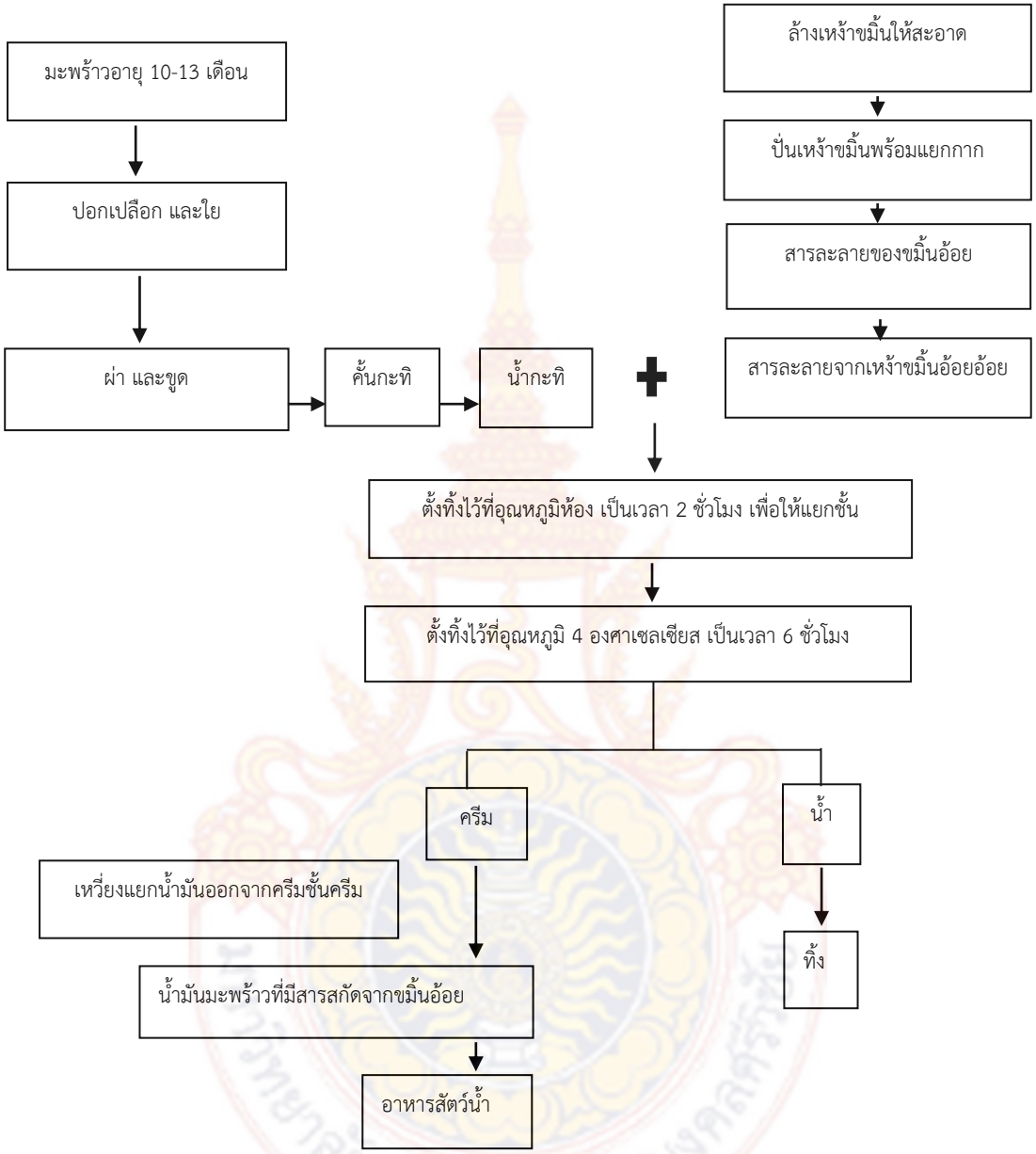
3.1.4. วัตถุดิบที่ใช้ในการทำอาหารเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม เช่น ปลาป่น รำ ปลายข้าว น้ำมันปลา ไข่เป็ด วิตามินรวม แร่ธาตุ น้ำมันมะพร้าวที่สารสกัดขมิ้นอ้อย แป้งข้าวเหนียว ครีมที่เหลือจากการสกัด ในอัตราส่วนต่างๆ เป็นต้น

3.1.5. กุ้งแวนนาไมขนาด 1-2 กรัม จากฟาร์มเพาะเลี้ยงอ่าวไทย จังหวัด สงขลา

3.1.6. น้ำเค็ม ที่ความเค็ม 30 ppt. ที่ผ่านการฆ่าเชื้อ

3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.2.1. สกัดน้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อย



ภาพที่ 3.1 กระบวนการผลิตน้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อย

ที่มา : ดัดแปลงจาก เพ็ญศรี และคณะ (2554)

สกัดน้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อย ใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าว และน้ำหนักเหง้าขมิ้นอ้อยสดดังนี้ 5:0.5, 5:1, 5:1.5, 5:2.0 ซึ่งการเพิ่มปริมาณของขมิ้นอ้อยทำให้ปริมาณสารประกอบ ฟีนอลิกจากขมิ้นอ้อยละลายในน้ำมันมะพร้าวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัว

ขั้นตอนที่ 1 เตรียมน้ำกะทิ นำเนื้อมะพร้าวที่มีอายุประมาณ 10-13 เดือน มาคั้นกะทิ โดยนำเนื้อมะพร้าวมาคั้นกะทิโดยใช้สัดส่วนน้ำ : เนื้อมะพร้าว 1:1 (ใช้น้ำต้มสุกทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง)

ขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายขมิ้นอ้อยโดยนำเหง้าขมิ้นอ้อยสดมาล้าง จากนั้นนำมาปั่นด้วยเครื่องปั่นแยกกาก ทำให้ได้ส่วนสารละลายจากขมิ้นอ้อยแยกออกจากกาก

ขั้นตอนที่ 3 นำน้ำกะทิจากขั้นตอนที่ 1 ผสมกับสารละลายที่ได้จากขมิ้นอ้อย จากขั้นตอนที่ 2 นำส่วนผสมที่ได้ตั้งทิ้งไว้ในภาชนะใสพร้อมปิดฝา ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ ประมาณ 30-45 องศาเซลเซียส ประมาณ 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะเห็นส่วนน้ำมันมะพร้าวที่มีสารสกัดจากขมิ้นอ้อยแยกตัวออกจากครีมและน้ำ นำน้ำมันมะพร้าวที่มีสารสกัดจากขมิ้นอ้อยที่ได้กรองโดยใช้ผ้าขาวบาง และเก็บในขวดแก้วนำน้ำมันที่ได้ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ วิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบเคอร์คูมินอยด์ และใช้เป็นส่วนผสมในอาหารเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม

3.2.2. การดัดแปลงสูตรอาหารที่ใช้เลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม

สูตรอาหารสำหรับการใช้เลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม สูตรอาหารโดยมีการ ดัดแปลงจาก วัฒนาและคณะ (2552) ดังตารางที่ 3.1

สูตรที่ 1 อาหารสำเร็จรูป (สูตรควบคุม)

สูตรที่ 2 น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์

สูตรที่ 3 น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อย (ใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าว และน้ำหนักเหง้าขมิ้นอ้อยสด 5:0.5 โดยน้ำหนัก)

สูตรที่ 4 น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อย (ใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าว และน้ำหนักเหง้าขมิ้นอ้อยสด 5:1.0 โดยน้ำหนัก)

สูตรที่ 5 น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อย (ใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าว และน้ำหนักเหง้าขมิ้นอ้อยสด 5:1.5 โดยน้ำหนัก)

สูตรที่ 6 น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อย (ใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าว และน้ำหนักเหง้าขมิ้นอ้อยสด 5:2.0 โดยน้ำหนัก)

ตารางที่ 3.1 สูตรอาหารที่ 1-6 อัตราส่วนน้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อย

วัตถุดิบ	สูตรอาหาร (เปอร์เซ็นต์)					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
ปลาป่น (เกรด 50 เปอร์เซ็นต์)	-	69	69	69	69	69
รำ	-	3	3	3	3	3
ปลายข้าว	-	3	3	3	3	3
น้ำมันปลา	-	3	3	3	3	3

ตารางที่ 3.1 สูตรอาหารที่ 1-6 อัตราส่วนน้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อย (ต่อ)

วัตถุดิบ	สูตรอาหาร (เปอร์เซ็นต์)					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
วิตามินผสม	-	2	2	2	2	2
ไข่เป็ด	-	3	3	3	3	3
แป้งข้าวเหนียว	-	4	4	4	4	4
น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์	-	3	-	-	-	-
น้ำมันมะพร้าวผสมสารจากสกัดขมิ้นอ้อย (ใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าว และน้ำหนักเหง้าขมิ้นอ้อยสด 5:0.5 โดยน้ำหนัก)	-	-	3	-	-	-
น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อย (ใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าว และน้ำหนักเหง้าขมิ้นอ้อยสด 5:1.0 โดยน้ำหนัก)	-	-	-	3	-	-
น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อย (ใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าว และน้ำหนักเหง้าขมิ้นอ้อยสด 5:1.5 โดยน้ำหนัก)	-	-	-	-	3	-
น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อย (ใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าว และน้ำหนักเหง้าขมิ้นอ้อยสด 5:2.0 โดยน้ำหนัก)	-	-	-	-	-	3
อาหารสำเร็จรูป	100	-	-	-	-	-
รวม	100	100	100	100	100	100

หมายเหตุ จากสูตรอาหารดังกล่าว ใช้น้ำมันพืช (3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) แต่ละสูตรใช้น้ำหนักเนื้อมะพร้าวคงที่ แต่ใช้น้ำหนักของเหง้าขมิ้นอ้อยจะแตกต่างกันโดยน้ำหนัก นำสูตรอาหารทั้ง 6 สูตรนี้วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ

3.2.3. วิธีการผลิตอาหารสำหรับเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม

1. วัตถุดิบส่วนผสมอาหารที่นำมาใช้เลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมหาซื้อจากร้านขายอาหารสัตว์ในอำเภอ ทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยคัดเลือกวัตถุดิบ ที่ดีใหม่ ไม่มีสิ่งเจือปน

2. นำวัตถุดิบดังกล่าว มาคำนวณตามอัตราส่วน คลุกเคล้าในเครื่องผสมอาหารแล้วทำการนำส่วนผสมดังกล่าวเข้าเครื่องอัดเม็ด โดยอาหารที่ออกมาจะเท่ากับของกุ้งขาวแวนนาไมแต่ละขนาดปากกุ้งที่กินได้ จากนั้นตากแห้งให้หมาดๆ ในที่ร่ม และบรรจุถุงพลาสติกให้มิดชิด เก็บไว้ในที่อุณหภูมิ 4องศา

เซลเซียส รอในการนำมาใช้เลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมต่อไป การผสมอาหารควรผสมในอาคารอุณหภูมิห้อง โดยไม่ให้โดนแสงแดด

3.2.4. ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

3.2.4.1. ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยดัดแปลงมาจากวิธีของ Paola Zunon (2010) นำน้ำมันจำนวน1 กรัม ละลายด้วยเอทิลอะซิเตท และปรับปริมาตรให้ได้10 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายที่ได้มาจำนวน2 มิลลิลิตรใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลาย DPPH เข้มข้น 10^{-4} โมลาร์ ให้ได้ปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้มาเขย่าด้วยเครื่อง Vortex เป็นเวลา10 วินาที และวัดค่าการดูดกลืนแสงความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร ที่เวลา 30 นาทีเทียบกับ Blank (โซเดียมอะซิเตทบริสุทธิ์) จากนั้นเตรียมตัวอย่างควบคุม (ไม่มีน้ำมัน) ใช้เอทิลอะซิเตท จำนวน 2 มิลลิลิตร เติมสารละลาย DPPH จำนวน 9 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้วัดค่าดูดกลืนแสงความยาวคลื่น 515 นาโนเมตรเทียบกับ Blank และนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ คำนวณหาร้อยละการยับยั้งจากสูตร

$$\% \text{ Inhibition} = \frac{(A_{control} - A_{sample}) \times 100}{A_{control}}$$

เมื่อ $A_{control}$ = ค่าการดูดกลืนแสงของสารควบคุม

A_{sample} = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง

3.2.4.2. วิเคราะห์เคอร์คูมินอยด์ทั้งหมด โดยวิธี UV-spectrophotometer ชั่งน้ำมันมะพร้าวผสมสารจากสกัดขมิ้นอ้อย ใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าว และน้ำหนักเหง้าขมิ้นอ้อยสด โดยน้ำหนักดังนี้ 5:0.5, 5:1.0, 5:1.5 และ 5:2.0 อย่างละ 5 กรัม ละลายใน methanol 10 มิลลิลิตร ถ่ายเทสารลงในกรวยแยก จากนั้นเติม methanol : water (80:10v/v) จำนวน 10 มิลลิลิตร ทำซ้ำ 3 ครั้ง แล้วแยกส่วน methanol : water (ชั้นล่าง) มารวมกัน นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร

3.2.5. การศึกษาประสิทธิภาพของน้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากเหง้าขมิ้นอ้อยสดต่อระบบภูมิคุ้มกันของกุ้งขาวแวนนาไม แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง

3.2.5.1. ประสิทธิภาพของน้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากเหง้าขมิ้นอ้อยสดต่อระบบภูมิคุ้มกันของกุ้งขาวแวนนาไมต้านความคุ้มโรคต่อเชื้อ Vibrio ในลูกกุ้งแวนนาไมระยะโพสลาวา (p20-p30) จากฟาร์มเพาะเลี้ยงอ่าวไทย จังหวัดสงขลา มาทำการตรวจสุขภาพเบื้องต้น คือ ความสมบูรณ์แข็งแรงของลูกกุ้ง การดีดตัว อวัยวะทุกส่วนครบ เป็นต้น นำกุ้งมาเลี้ยงในถังพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ปริมาตรน้ำ 10 ลิตร ความเค็ม 15 ppt. จำนวน 18 ถัง 50 ตัว/ถัง ปรับโดยให้อาหารสูตรที่ 1 อาหารสำเร็จรูป (สูตรควบคุม) เพื่อปรับสภาพสัตว์ก่อนการทดลองเป็นเวลา 1-2

สัปดาห์ ให้อาหาร 3 ครั้ง/วัน คือเวลา 08.00 น., 11.00 น. และ16.00 น. โดยปริมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัว การเก็บตัวอย่าง และวิเคราะห์ผลของประสิทธิภาพของน้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากเหง้าขมิ้นอ้อยสดต่อระบบภูมิคุ้มกันของกุ้งขาวแวนนาไมต้านความคุ้มโรคต่อเชื้อ Vibrio ในลูกกุ้งแวนนาไมระยะโพสลาวา (p20-p30) หลังจากการแบ่งกุ้งขาวแนนาไมออกเป็น 6 กลุ่มการทดลอง โดยทำการเลี้ยงด้วยอาหารสูตรต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นเป็นระยะเวลา 30 วัน นับจำนวนลูกกุ้งขาวแวนนาไมทุกๆ 1 สัปดาห์

3.2.5.2.ประสิทธิภาพของน้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากเหง้าขมิ้นอ้อยสดต่อระบบภูมิคุ้มกันของกุ้งขาวแวนนาไมระยะตัวเต็มวัย (น้ำหนัก 5-10 กรัม) จากฟาร์มเพาะเลี้ยงอ่าวไทย จังหวัดสงขลา มาทำการตรวจสุขภาพเบื้องต้น คือ ความสมบูรณ์แข็งแรงของลูกกุ้ง การดีดตัว อวัยวะทุกส่วนครบเป็นต้น นำกุ้งมาเลี้ยงถังพลาสติกสีดำพร้อมฝาปิด ขนาด 40x40x50 เซนติเมตร ปริมาตรน้ำ 30 ลิตรความเค็ม 5 ppt. จำนวน 18 ถัง จำนวน 30 ตัว/ถัง ปรับโดยให้อาหารสูตรที่ 1 อาหารสำเร็จรูป (สูตรควบคุม) เพื่อปรับสภาพสัตว์ก่อนการทดลองเป็นเวลา 1-2 สัปดาห์ ให้อาหาร 3 ครั้ง/วัน คือเวลา 08.00 น., 11.00 น. และ16.00 น. โดยปริมาณ 4.5-5.5 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัว การเก็บตัวอย่าง และวิเคราะห์ผลของการทดลองประสิทธิภาพของน้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากเหง้าขมิ้นอ้อยสดต่อระบบภูมิคุ้มกันของกุ้งขาวแวนนาไมระยะตัวเต็มวัย (น้ำหนัก 5-10กรัม) หลังจากการแบ่งกุ้งออกเป็น 6 กลุ่มการทดลอง เลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมด้วยระยะเวลา 10 สัปดาห์ (70 วัน) ด้วยสูตรอาหาร 6 สูตร ชั่งน้ำหนัก และนับจำนวนกุ้งขาวแวนนาไมทุกๆ 1 สัปดาห์ เพื่อนำไปวิเคราะห์การเจริญเติบโต และอัตราการรอดตาย

3.2.6. การศึกษาการแสดงออกของยีน superoxide dismutase ด้วยเทคนิค Reverse transcription-polymerase chain reaction (RT-PCR)

3.2.6.1. การสกัดอาร์เอ็นเอโดยใช้ PureLink ® RNA Mini Kit (Life technology) ทำได้โดยนำเซลล์ตัวอย่างที่เตรียมไว้มาเติมสารละลาย lysis buffer 0.6 มิลลิลิตร แล้วเขย่าด้วยเครื่อง vortex จนได้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 8,000 rpm เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำสารละลายส่วนใส (supernatant) ไปใส่ในหลอดขนาด 1.5 มิลลิลิตร แล้วเติม 70% Ethanol ในอัตราส่วน 1:1 (supernatant : 70% Ethanol) แล้วนำมาใส่ในหลอด Spin cartridge จากนั้นปั่นเหวี่ยงที่ 12,000 rpm เป็นเวลา 30 วินาที เติม Wash buffer I ปริมาตร 700 ไมโครลิตร ปั่นเหวี่ยงที่ 12,000 rpm เป็นเวลา 30 วินาที แล้วเติม Wash buffer II ปริมาตร 500 ไมโครลิตร ปั่นเหวี่ยงที่ 12,000 rpm เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นย้ายหลอด Spin cartridge มาใส่ในหลอดใหม่ เติม RNase-free water ปริมาตร 30 มิลลิลิตร วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 นาที แล้วปั่นเหวี่ยงที่ 12,000 rpm เป็นเวลา 3 นาที นำสารละลายอาร์เอ็นเอที่สกัดได้ มาวัดปริมาณอาร์เอ็นเอ โดยทำการวัดความยาวคลื่น 260 นาโนเมตร แล้วคำนวณหาปริมาณอาร์เอ็นเอดังสมการที่ 3.1

ปริมาณอาร์เอ็นเอ (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร) = 40 x A260 x dilution (3.1)

3.2.6.2. การสร้างสาย cDNA นำสายอาร์เอ็นเอที่สกัดได้ มาสร้างสาย cDNA โดยใช้ Superscript ®III First-stand synthesis system for RT-PCR โดยการเตรียมสารละลายผสมชนิด A* โดยใช้ปริมาณอาร์เอ็นเอ 500 นาโนกรัม ตารางที่ 3.2 บ่มที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้ววางทิ้งไว้บนน้ำแข็ง จากนั้นเติมสารละลาย cDNA synthesis* ปริมาตร 10 ไมโครลิตร ตารางที่ 3.3 บ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 นาที ตามด้วยบ่มอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นเติมเอนไซม์ RNaseH ปริมาตร 1 ไมโครลิตร แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การเตรียมสารละลายผสมชนิด A* โดยใช้ปริมาณอาร์เอ็นเอ 500 นาโนกรัม

สารละลายผสมชนิด A*	
สารที่ใช้	**ปริมาตร(ไมโครลิตร)**
500 ng total RNA	n
50 μM oligo$(dT)_{20}$	1
10 mM dNTP mix	1
DEPC-treat water	10–1-1-n

ตารางที่ 3.3 สารละลาย cDNA synthesis*

สารละลาย cDNA synthesis *	
สารที่ใช้	**ปริมาตร(ไมโครลิตร)**
10X RT buffer	2
25 mM $MgCl_2$	4
0.1 M DTT	2
RNaseOUT (40 U/ μl)	1
SuperScript III RT (200 U/ μl)	1

3.2.6.3. การเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอ โดยเทคนิค PCR นำ cDNA ที่ได้จากขั้นต้น มาติดตามการแสดงออกของยีน โดยใช้ไพรเมอร์ (primer) ที่จำเพาะเจาะจง ดังตาราง 3.4 และเตรียมส่วนผสม และจากนั้นทำการเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอโดยการนำเข้าเครื่อง PCR โดยตั้งโปรแกรมอุณหภูมิดังตาราง 3.5

ตาราง 3.4 การแสดงออกของยีน โดยใช้ไพรเมอร์ (primer) ที่จำเพาะเจาะจง

ไพรเมอร์	ลำดับนิวคลีโอไทด์ (5'–3')	Ref.
F_*sod*	ATGAAGACGTTGGCAACTCTG	Tian et al., 2011
R_*sod*	CTCGCAGGTGGAGTGGAG	
F_*actin*	CGAGGTATCCTCACCCTGAAAT	Jang et al., 2011
R_*actin*	GTGATGCCAGATCTTCTCCATGT	

ตาราง 3.5 ส่วนผสม และการเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอโดยการนำเข้าเครื่อง PCR

สารที่ใช้	ปริมาตร (ไมโครลิตร)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	
10 μM Forward	1	95	3	
primer μM Reverse primer	1	95	0.3	22 รอบ
10X Reaction buffer	2.5	52	0.4	
10 mM dNTP mix	0.5	72	1	
BioFACT™ Taq (40 U/ μl)	0.2	72	5	
cDNA template	0.5	10	hold	
Water	19.3	-	-	

3.2.6.4. การวัดปริมาณการแสดงออกของยีนนำ PCR product ที่ได้มาตรวจสอบด้วยเทคนิค Gel Electrophoresis แล้วตรวจวัดการแสดงออกของยีนโดยเปรียบเทียบการแสดงออกของยีน *sod* ต่อ ยีน *actin* ซึ่งใช้เป็นยีนควบคุม ทั้งนี้การวิเคราะห์ความเข้มของแถบดีเอ็นเอ ทำได้โดยใช้โปรแกรม GelQuantNET

3.2.7. การศึกษาการเจริญเติบโต (Growth Performance)

ชั่งน้ำหนักของกุ้งขาวแวนนาไมแต่ละตัวด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง ทุกๆ 1 สัปดาห์ ตลอดระยะเวลา 10 สัปดาห์ (70 วัน) ด้วยสูตรอาหาร 6 สูตร ระหว่างทำการทดลองโดยงดให้อาหารกุ้งขาวแวนนาไม 1 วัน ก่อนชั่ง โดยทำการชั่งน้ำหนัก และบันทึกปริมาณอาหารที่กิน เพื่อศึกษาน้ำหนักของกุ้งขาวแวนนาไมที่เพิ่มขึ้นต่อตัวต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการรอดตาย อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และปริมาณอาหารที่กิน นำข้อมูลที่คำนวณได้จากการทดลองวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี one way analysis of variance (ANOVA) แบบ CRD และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Scheffe ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป ดังสูตรต่อไปนี้

1. น้ำหนักเฉลี่ย (average weight) (กรัมต่อตัว) คำนวณจากสูตร

$$= \frac{\text{น้ำหนักกุ้งขาวแวนนาไมรวม (กรัม)}}{\text{จำนวนกุ้งขาวแวนนาไมที่เหลือทั้งหมด (กรัม)}}$$

2. น้ำหนักเพิ่ม (weight gain) (กรัมต่อตัว) คำนวณจากสูตร

= น้ำหนักกุ้งขาวแวนนาไมเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยง (กรัม) - น้ำหนักกุ้งขาวแวนนาไมเริ่มต้น (กรัม)

3. น้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน (daily weight gain; DWG) (กรัมต่อตัวต่อวัน) คำนวณจากสูตร

$$= \frac{\text{น้ำหนักกุ้งขาวแวนนาไมเมื่อสิ้นสุดการทดลอง – น้ำหนักกุ้งขาวแวนนาไมเริ่มต้น}}{\text{ระยะเวลาการทดลอง (วัน)}}$$

4. อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific growth rate; SGR) (เปอร์เซ็นต์ต่อวัน) คำนวณจากสูตร

$$= \frac{[(\ln \text{น้ำหนักกุ้งขาวแวนนาไมเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยง} - \ln \text{น้ำหนักกุ้งขาวแวนนาไมเริ่มต้น})]}{\text{ระยะเวลาการเลี้ยง (วัน)}} \times 100$$

5. อัตราการรอดตาย (Survival rate) (เปอร์เซ็นต์) คำนวณจากสูตร

$$= \frac{\text{จำนวนกุ้งขาวแวนนาไมที่เหลือเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยง (กรัม)}}{\text{จำนวนกุ้งขาวแวนนาไมที่เริ่มต้นเลี้ยง (ตัว)}} \times 100$$

6. อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed conversion ratio, FCR) คำนวณจากสูตร

$$= \frac{\text{น้ำหนักอาหาร(แห้ง)ที่ปลากิน (กรัม)}}{\text{น้ำหนักกุ้งขาวที่เพิ่มขึ้น (กรัม)}}$$

3.2.8. ตรวจวัดคุณภาพน้ำ

วิเคราะห์คุณภาพน้ำในบ่อทดลองทุกๆ 3 วัน ตลอดระยะเวลาการทดลอง 8 สัปดาห์ (56 วัน) โดยมีค่าที่ตรวจวัดคุณภาพน้ำ ได้แก่ ไนไตรท์, ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ, แอมโมเนีย, ความเป็นด่างของน้ำ, ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ, อุณหภูมิ และความเค็ม

บทที่ 4
ผลการวิจัย และวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1. สกัดน้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากเหง้าขมิ้นอ้อยสด

ขมิ้นอ้อย อุดมไปด้วยสารประกอบเคอร์คูมินอยด์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นทั้งเครื่องเทศ ยา และเป็นส่วนผสมของอาหารในสัตว์น้ำ จึงได้สกัดน้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อย ในการทดลองใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าวต่อน้ำหนักสดของขมิ้นอ้อย (โดยน้ำหนัก) ดังนี้ 5:0.5, 5:1, 5:1.5 และ 5:2 นำส่วนผสมน้ำกะทิสด และสารละลายจากขมิ้นอ้อย บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาประมาณ 12-24 ชั่วโมง จะสังเกตเห็นน้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อยค่อยๆ แยกตัวออกมาจากชั้นน้ำ และชั้นครีม จากนั้นแยกส่วนของน้ำมันผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อยออกจากครีม และน้ำ และกรองน้ำมันด้วยเครื่องกรองแบบสุญญากาศ และเก็บในขวดแก้วชา วิเคราะห์หาปริมาณน้ำมัน และสารประกอบเคอร์คูมินอยด์ ปริมาณน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ และน้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อย ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ และน้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อย (เปอร์เซ็นต์)

ตัวอย่าง	ปริมาณน้ำมัน (เปอร์เซ็นต์)
น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์	18.55±2.50[a]
น้ำมันมะพร้าวผสมสารจากสกัดขมิ้นอ้อย (ใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าว และน้ำหนักเหง้าขมิ้นอ้อยสด 5:0.5 โดยน้ำหนัก)	19.27±0.34[a]
น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อย (ใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าว และน้ำหนักเหง้า ขมิ้นอ้อยสด 5:1.0 โดยน้ำหนัก)	21.05±0.02[a]
น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อย (ใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าว และน้ำหนักเหง้าขมิ้นอ้อยสด 5:1.5 โดยน้ำหนัก)	21.38±0.51[a]
น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อย (ใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าว และน้ำหนักเหง้าขมิ้นอ้อยสด 5:2.0 โดยน้ำหนัก)	19.39±0.39[a]

หมายเหตุ [*]มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% Mean±S.D. (N=3) อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์มีนัยสำคัญทางสถิติ Scheffe test of ANOVA ($p < 0.05$)

4.2. ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในน้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อยสด

4.2.1. ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging

งานวิจัยนี้เลือกวิธี DPPH ในการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันตัวอย่าง เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายใช้เวลาในการวิเคราะห์น้อยหรือสารออกฤทธิ์สามารถทำปฏิกิริยาโดยตรงกับอนุมูลอิสระ โดยมี

หลักการดังนี้ คือ สารเคมีชนิดนี้เป็นอนุมูลอิสระ และสามารถดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่นสูงสุด 515 นาโนเมตร ทำให้มองเห็นเป็นสีม่วง

$$DPPH^{\bullet} + (AH)_n \longrightarrow DPPH\text{-}H + (A^{\bullet})_n$$

อนุมูลอิสระใหม่ที่เกิดขึ้น ($A^{\bullet}$) จะทำปฏิกิริยาต่อไป (radical–radical interaction) โดยกระบวนการ radical disproportionation ได้เป็นโมเลกุลที่มีความคงตัว

$$DPPH^{\bullet} + A^{\bullet} \longrightarrow DPPH\text{-}A$$

$$A^{\bullet} + A^{\bullet} \longrightarrow A\text{-}A$$

เมื่ออนุมูลอิสระ $DPPH^{\bullet}$ ถูกรีดิวซ์โดยได้รับโปรตอนก็จะเปลี่ยนสีจากสีม่วงเป็นสีเหลือง ส่งผลให้ค่าการดูดกลืนแสงลดลง ดังนั้นการลดลงของอนุมูลอิสระ $DPPH^{\bullet}$ จึงเป็นดัชนีที่สามารถวัดฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารที่ใช้ทดสอบได้ จากการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากเหง้าขมิ้นอ้อยสด ซึ่งแสดงโดยค่า IC_{50} ซึ่งค่าที่ได้มีความหมายว่า IC_{50} ที่น้อยจะแสดงถึงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง โดยผลการศึกษาครั้งนี้พบว่าค่า IC_{50} น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อย (ใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าว และน้ำหนักเหง้าขมิ้นอ้อยสด 5:2 โดยน้ำหนัก) มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดมีค่า IC_{50} เท่ากับ 7.54±0.08 mg/ml ผลการวิเคราะห์พบว่าค่า IC_{50} ในน้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อยลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำหนักเหง้าของขมิ้นอ้อย หรือฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำหนักของเหง้าขมิ้นอ้อย ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 IC_{50} โดยวิธี DPPH ของน้ำมันมะพร้าวที่มีสารสกัดจากขมิ้นอ้อย

ตัวอย่าง	DPPH IC_{50} (mg/ml)
น้ำมันมะพร้าวผสมสารจากสกัดขมิ้นอ้อย (ใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าว และน้ำหนักเหง้าขมิ้นอ้อยสด 5:0.5 โดยน้ำหนัก)	20.63±1.79
น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อย (ใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าว และน้ำหนักเหง้า ขมิ้นอ้อยสด 5:1.0 โดยน้ำหนัก)	15.65±0.26
น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อย (ใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าว และน้ำหนักเหง้าขมิ้นอ้อยสด 5:1.5 โดยน้ำหนัก)	8.33±0.07
น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อย (ใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าว และน้ำหนักเหง้าขมิ้นอ้อยสด 5:2.0 โดยน้ำหนัก)	7.54±0.08

4.2.2. ผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบเคอร์คูมินอยด์

จากการศึกษาปริมาณสารประกอบเคอร์คูมินอยด์ในน้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อยโดยใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าว และน้ำหนักเหง้าขมิ้นอ้อยสด (โดยน้ำหนัก) ดังนี้ 5:0.5, 5:1.0, 5:1.5 และ 5:2.0 พบว่าปริมาณสารประกอบเคอร์คูมินอยด์น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อยปริมาณสารประกอบเคอร์คูมินอยด์สูงสุดในน้ำมันมะพร้าผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อยโดยใช้อัตราส่วน 5:2.0 เท่ากับ 1051.10±4.47 (1g.oil/mL) ผลการวิเคราะห์พบว่าปริมาณสารประกอบเคอร์คูมินอยด์ ในน้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อยเมขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำหนักเหง้าของขมิ้นอ้อย หรือปริมาณสารประกอบเคอร์คูมินอยด์สูงขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำหนักของเหง้าขมิ้นอ้อย ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ปริมาณสารประกอบเคอร์คูมินอยด์ในน้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อย

ตัวอย่าง	ปริมาณเคอร์คูมินอยด์ (1g.oil/mL)
น้ำมันมะพร้าวผสมสารจากสกัดขมิ้นอ้อย (ใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าว และน้ำหนักเหง้าขมิ้นอ้อยสด 5:0.5 โดยน้ำหนัก)	310.26±7.80
น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อย (ใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าว และน้ำหนักเหง้า ขมิ้นอ้อยสด 5:1.0 โดยน้ำหนัก)	551.52±5.34
น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อย (ใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าว และน้ำหนักเหง้าขมิ้นอ้อยสด 5:1.5 โดยน้ำหนัก)	787.76±4.47
น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อย (ใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าว และน้ำหนักเหง้าขมิ้นอ้อยสด 5:2.0 โดยน้ำหนัก)	1051.10±4.47

4.3. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารแต่ละสูตร (Proximate Analysis)

สูตรอาหารที่ใช้เลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมมีทั้งหมด 6 สูตร ดังต่อไปนี้

สูตรที่ 1 อาหารสำเร็จรูป (สูตรควบคุม)

สูตรที่ 2 น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์

สูตรที่ 3 น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อย (ใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าว และน้ำหนักเหง้าขมิ้นอ้อยสด 5:0.5 โดยน้ำหนัก)

สูตรที่ 4 น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อย (ใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าว และน้ำหนักเหง้าขมิ้นอ้อยสด 5:1.0 โดยน้ำหนัก)

สูตรที่ 5 น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อย (ใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าว และน้ำหนักเหง้าขมิ้นอ้อยสด 5:1.5 โดยน้ำหนัก)

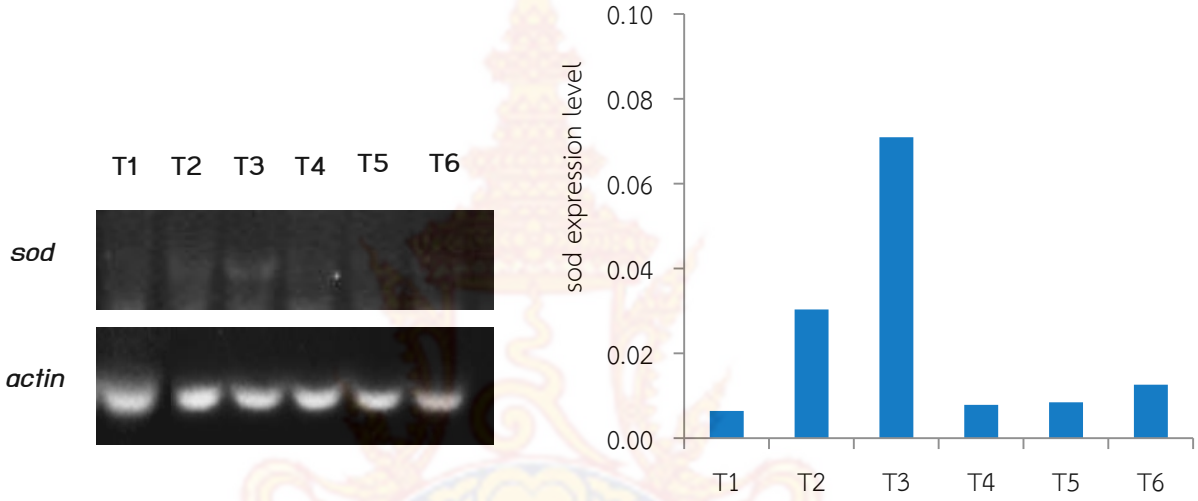
สูตรที่ 6 น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อย (ใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าว และน้ำหนักเหง้าขมิ้นอ้อยสด 5:2.0 โดยน้ำหนักจากการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของอาหารทั้ง 6 สูตร พบว่า โปรตีนมีค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 1 มีค่า 40.44 เปอร์เซ็นต์ ค่าโปรตีนต่ำสุดในสูตรอาหารที่ 6 มีค่า 34.77 เปอร์เซ็นต์, ไขมันรวมมีค่าสูงที่สุดในสูตรอาหารที่ 3 มีค่า 12.61 เปอร์เซ็นต์ ค่าไขมันรวมต่ำสุดในสูตรอาหารที่ 1 มีค่า 7.17 เปอร์เซ็นต์, คาร์โบไฮเดรตมีค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 1 มีค่า 28.99 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรตต่ำสุดในสูตรอาหารที่ 3 มีค่า 8.22 เปอร์เซ็นต์, พลังงานสูงที่สุดในสูตรอาหารที่ 1 มีค่า 342.25 kcal/100 g. พลังงานมีค่าต่ำสุดในสูตรอาหารที่ 6 มีค่า 281.31 kcal/100 g., ความชื้นมีค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 1 มีค่า 10.93 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นมีค่าต่ำที่สุดในสูตอาหารที่ 4 มีค่า 5.06 เปอร์เซ็นต์ และเถ้ามีค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 4 มีค่า 36.13 เปอร์เซ็นต์ เถ้ามีค่าต่ำที่สุดในสูตอาหารที่ 1 มีค่า 12.47 เปอร์เซ็นต์ สูตรอาหารที่ 1-6 มีค่าโปรตีน, ไขมันรวม, คาร์โบไฮเดรต, พลังงาน, ความชื้น, เถ้า ที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อค่าพารามิเตอร์ การเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารทั้ง 6 สูตร

องค์ประกอบทางเคมี	**สูตรอาหาร (กรัมต่อ 100 กรัม)**						**วิธีการทดสอบ**
	T1	**T2**	**T3**	**T4**	**T5**	**T6**	
โปรตีน (%)	40.44	34.93	35.95	36.29	36.04	34.77	In house method TE-CH-012 based on AOAC (2016) 981.10
ไขมันรวม (%)	7.17	11.70	12.61	12.01	11.85	11.11	AOAC (2016) (%) 920.39
คาร์โบไฮเดรต (%)	28.99	9.14	8.22	10.51	10.40	10.56	Journal of AOAC INTERNATIONAL ; 1993.p 106
พลังงาน (kcal/100 g.)	342.25	281.58	290.17	295.29	292.41	281.31	
ความชื้น (%)	10.93	10.05	7.62	5.06	5.63	9.41	AOAC (2019) (%) 930.15
เถ้า (%)	12.47	34.18	35.60	36.13	36.08	34.15	AOAC (2016) 942.05

4.4. การศึกษาการแสดงออกของยีน superoxide dismutase ด้วยเทคนิค Reverse transcription-polymerase chain reaction (RT-PCR)

จากผลการทดลองโดยศึกษาผลของอาหารเลี้ยงกุ้งแวนนาไมที่มีน้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อยสด ในสัดส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าวต่อน้ำหนักเหง้าขมิ้นอ้อยสด ในอัตราส่วน 5: 0 (สูตร T2), 5: 0.5 (สูตร T3), 5:1 (สูตร T4), 5:1.5 (สูตร T5) และ 5:2 (สูตร T6) โดยใช้อาหารสำเร็จรูปกุ้งแวนนาไมเป็นชุดควบคุม (สูตร T1) พบว่ากุ้งกุ้งแวนนาไมกลุ่มที่ได้รับอาหารสูตร T3 และ T2 มีการแสดงออกของยีน superoxide dismutase *(sod)* มากที่สุด ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 การแสดงออกของยีน superoxide dismutase *(sod)* ของสูตรอาหารทั้ง 6 สูตร

ซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเทส (Superoxide dismutase; SOD) เป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบ antioxidant มีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนอนุมูลอิสระ superoxide anion ไปเป็น H_2O_2 และ O_2 นับเป็นหนึ่งในกลไกที่ป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระกลุ่ม reactive oxygen species (ROS) ช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด (Lipid peroxidation) ทำให้เซลล์มีโอกาสอยู่รอดมากยิ่งขึ้น ลดการตายของเซลล์ จากการทดลอง พบว่ากุ้งที่ได้รับอาหารที่มีน้ำมันมะพร้าวเป็นส่วนผสม ช่วยเพิ่มการทำงานของยีน *sod* และจะมีประสิทธิภาพมากที่สุด เมื่อมีการใช้น้ำมันมะพร้าวร่วมกับสารสกัดขมิ้นอ้อยที่อัตราส่วน 5:0.5 (โดยน้ำหนัก) แสดงว่าสารสำคัญในขมิ้นมีบทบาทต่อการช่วยเพิ่มภูมิคุ้มกันของระบบต้านการเกิดออกซิเดชัน (Antioxidant system) ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Faragi และคณะ (2017) ที่ทำการให้อาหารที่มีส่วนผสมของสารสกัดจากขมิ้นแก่ปลา *Cyprinus carpio* พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีสารสกัดจากขมิ้น มี

การเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุม โดยเฉพาะอาหารสูตรที่มีขมิ้นเป็นส่วนผสม 1.25 เปอร์เซ็นต์ช่วยให้ปลามีอัตราการรอดชีวิตสูงแม้ได้รับเชื้อแบคทีเรีย *Flavobacterium columnaris* นอกจากนี้อาหารที่มีส่วนประกอบของ linoleic acid และ curcumin ที่ความเข้มข้น 0.2 g/kg ของสาร

ทั้งสองชนิด มีส่วนช่วยให้ลูกกุ้ง (*Litopenaeus vannamei*) มีความแข็งแรงมากขึ้น สามารถต้านทานต่อการได้รับสารพิษ aflatoxins ได้ดีที่สุด มีโอกาสรอดเพิ่มขึ้น (*García-Pérez* et al, 2019) สำหรับบทบาทของสาร curcumin ต่อการแสดงออกในระดับยีน *sod* พบว่า อาหารที่มีส่วนผสมของ curcumin ที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 mg/g ช่วยการเพิ่มการแสดงออกในระดับยีนของ Mn-SOD and CuZn-SOD รวมถึงช่วยส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์ SOD อีกด้วย (Shen และคณะ, 2013) นอกจากนี้สาร curcumin ที่เป็นส่วนผสมในอาหารช่วยให้ Drosophila มีรอบวงจรชีวิตที่ยาวขึ้นทั้งเพศผู้ และเพศเมีย โดยมีผลทำให้ปริมาณ malondialdehyde (MDA) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดการเกิด lipid peroxidation ลดลง (Shen และคณะ, 2013)

4.5. อัตราการเจริญเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไม

4.5.1. น้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งขาวแวนนาไม (average weight)

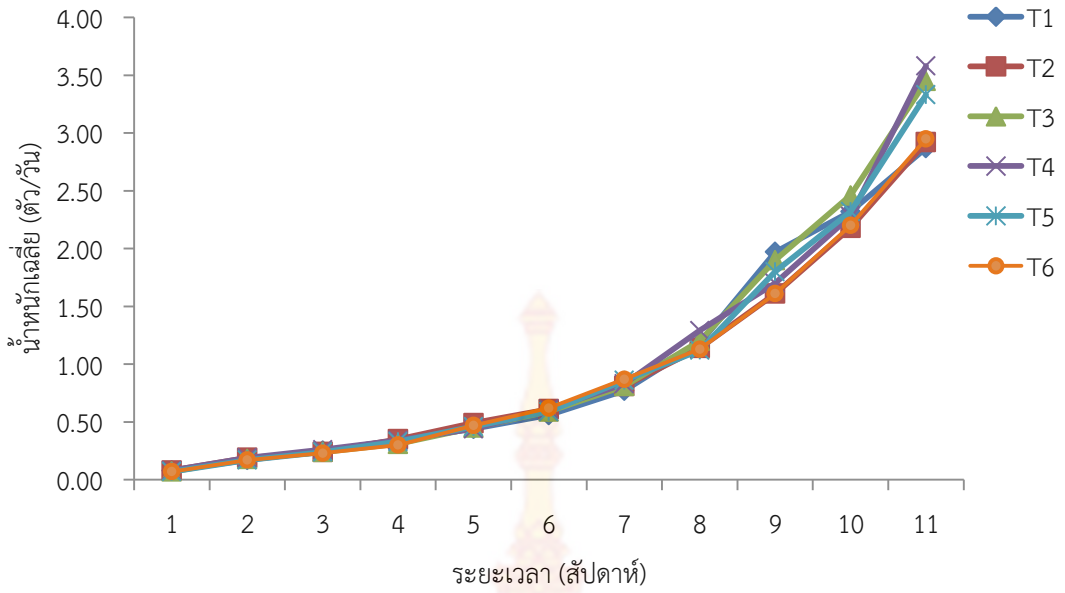
จากการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมตลอดระยะเวลา 10 สัปดาห์ (70 วัน) ด้วยอาหาร 6 สูตร โดยน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น (สัปดาห์ที่ 0) อยู่ระหว่าง 0.07±0.01 ถึง 0.08±0.01 กรัมต่อตัว พบว่าน้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงในสูตรอาหารที่ 1-6 ในช่วงสัปดาห์เริ่มต้นจนถึงสัปดาห์ที่ 7 ของการเลี้ยงจะเห็นได้ว่าน้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งของแวนนาไมที่เลี้ยงในอาหารทั้ง 6 สูตร มีน้ำหนักเฉลี่ยใกล้เคียงกัน แต่ในช่วงสัปดาห์ที่ 8-10 ของระยะเวลาการเลี้ยงมีแนวโน้มน้ำหนักเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน ดังภาพที่ 4.2 เมื่อทำการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมจนถึงสัปดาห์ที่ 10 พบว่าชนิดสูตรอาหารที่ 4 (น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อยโดยใช้อัตราส่วนของเนื้อมะพร้าวต่อเหง้าของขมิ้นอ้อยสด 5:1.0 โดยน้ำหนัก) มีน้ำหนักเฉลี่ยดีที่สุดเท่ากับ 3.58±0.39 กรัมต่อตัว และกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารที่ 1 (อาหารสำเร็จรูป) มีน้ำหนักเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 2.87±0.21 กรัมต่อตัว ดังแสดงในตารางที่ 4.5 ผลวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าน้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งขาวแวนนาไม ในสัปดาห์ที่ 10 สูตรอาหารที่ 1 ถึงสูตรอาหารที่ 6 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากการทดลองเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมด้วยสูตรอาหารทั้ง 6 สูตร พบว่าชนิดสูตรอาหารที่ 4 ที่ใช้เลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักเฉลี่ยสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอาหารอื่นๆ ซึ่งสูงกว่าสูตรอาหารสำเร็จรูป ข้อสังเกตจะเห็นว่าค่าสูตรอาหารที่ใช้น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อยซึ่งมีสารต้านอนุมูลอิสระสูงในสูตรอาหารที่ 2-6 ให้ผลแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักเฉลี่ยกุ้งขาวแวนนาไมมีน้ำหนักเฉลี่ยสูงขึ้นกว่าสูตรอาหารที่ 1

ตารางที่ 4.5 น้ำหนักเฉลี่ย (average weight) ของกุ้งขาวแวนนาไม (กรัมต่อตัว)

สัปดาห์	น้ำหนักเฉลี่ย (average weight) ของกุ้งขาวแวนนาไม					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
เริ่มต้น	0.08±0.00^{a,A}	0.08±0.01^{a,A}	0.07±0.01^{a,A}	0.08±0.01^{a,A}	0.07±0.01^{a,A}	0.07±0.01^{a,A}
1	0.17±0.01^{a,A,B}	0.19±0.01^{a,A,B}	0.18±0.01^{a,A,B}	0.19±0.04^{a,A,B}	0.17±0.02^{a,A}	0.17±0.01^{a,A,B}
2	0.25±0.02^{a,A,B,C}	0.24±0.01^{a,A,B}	0.24±0.01^{a,A,B}	0.26±0.03^{a,A,B}	0.24±0.03^{a,A}	0.23±0.01^{a,A,B}
3	0.34±0.03^{a,A,B,C}	0.35±0.03^{a,A,B,C}	0.31±0.02^{a,A,B,C}	0.34±0.03^{a,A,B,C}	0.33±0.02^{a,A,B}	0.30±0.02^{a,B,C}
4	0.44±0.04^{a,B,C}	0.49±0.03^{a,A,B,C}	0.45±0.03^{a,B,C}	0.44±0.04^{a,A,B,C}	0.46±0.04^{a,A,B}	0.47±0.03^{a,CD}
5	0.56±0.04^{a,C,D}	0.61±0.03^{a,B,C}	0.59±0.06^{a,C,D}	0.61±0.06^{a,B,C}	0.59±0.03^{a,A,B,C}	0.62±0.02^{a,D}
6	0.77±0.05^{a,D}	0.81±0.06^{a,C,D}	0.81±0.06^{a,D}	0.83±0.06^{a,C,D}	0.86±0.05^{a,B,C}	0.87±0.02^{a,E}
7	1.18±0.11^{a,E}	1.14±0.11^{a,D}	1.20±0.14^{a,E}	1.29±0.21^{a,D,E}	1.12±0.09^{a,C}	1.13±0.05^{a,F}
8	1.97±0.11^{a,F}	1.61±0.20^{a,E}	1.90±0.12^{a,F}	1.70±0.19^{a,E}	1.80±0.17^{a,D}	1.61±0.16^{a,G}
9	2.32±0.17^{a,G}	2.18±0.11^{a,F}	2.46±0.08^{a,G}	2.28±0.13^{a,F}	2.32±0.21^{a,D}	2.20±0.08^{a,H}
10	2.87±0.21^{a,H}	2.92±0.39^{a,G}	3.45±0.2^{a,H}	3.58±0.39^{a,G}	3.33±0.49^{a,E}	2.95±0.11^{a,I}

หมายเหตุ *มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% Mean±S.D. (N=4) อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์มีนัยสำคัญทางสถิติ Scheffe test of ANOVA ($p < 0.05$) (ตัวอักษรเล็ก พิจารณาในแนวนอน ตัวอักษรใหญ่ พิจารณาในแนวตั้ง)



ภาพที่ 4.2 น้ำหนักเฉลี่ย (กรัมต่อตัว) ที่สัมพันธ์กับระยะเวลา (สัปดาห์) ที่ได้รับสูตรอาหารที่ 1-6

4.5.2. น้ำหนักเพิ่ม (weight gain)

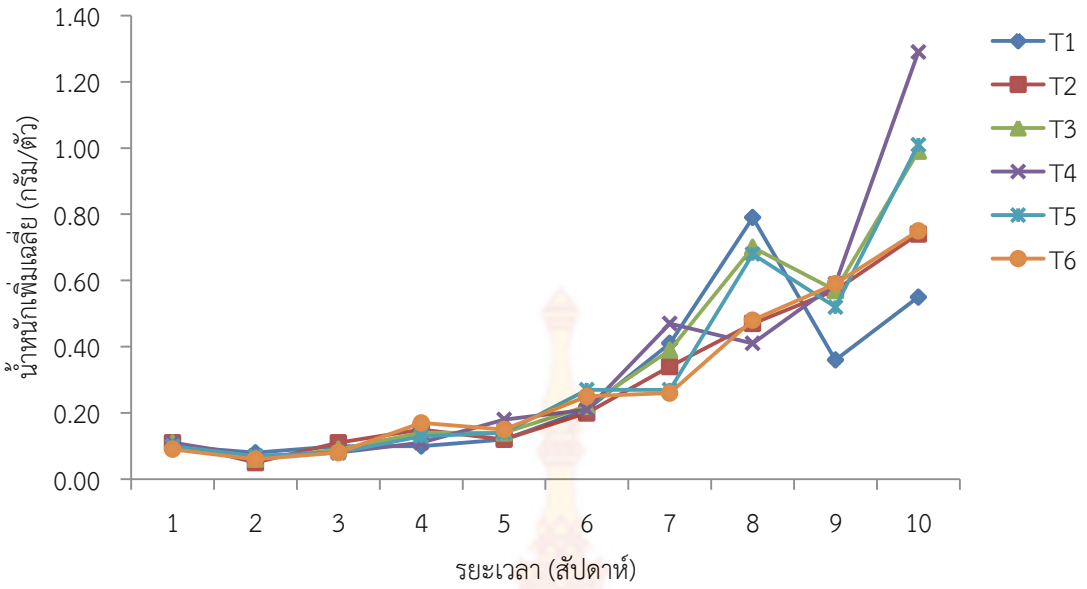
จากการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมตลอดระยะเวลา 10 สัปดาห์ (70 วัน) ด้วยอาหาร 6 สูตร โดยน้ำหนักเพิ่มเริ่มต้น (สัปดาห์ที่ 1) ของกุ้งขาวแวนนาไมอยู่ระหว่าง 0.09±0.01 ถึง 0.11±0.05 กรัมต่อตัว เมื่อทำการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมจนถึงสัปดาห์ที่ 10 พบว่า สูตรอาหารที่ 4 (น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อยโดยใช้อัตราส่วนของเนื้อมะพร้าวต่อเหง้าของขมิ้นอ้อยสด 5:1.0 โดยน้ำหนัก) มีค่าของน้ำหนักเพิ่มดีที่สุดเท่ากับ 1.29±0.37 กรัมต่อตัว และกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารที่ 1 (อาหารสำเร็จรูป) มีค่าของน้ำหนักเพิ่มน้อยที่สุดเท่ากับ 0.55±0.13 กรัมต่อตัว ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าน้ำหนักเพิ่มขึ้นของกุ้งขาวแวนนาไมในสัปดาห์ที่ 10 สูตรอาหารที่ 1 ถึง 6 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.6 จากการทดลองเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมด้วยสูตรอาหารทั้ง 6 สูตร พบว่าสูตรอาหารที่ 4 มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับชนิดสูตรอาหารอื่น โดยเฉพาะสูตรอาหารที่ 1 (อาหารสำเร็จรูป) จะเห็นว่าค่าอาหารที่ใช้น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อยซึ่งมีสารต้านอนุมูลอิสระสูงในสูตรอาหารที่ 2-6 ให้ผลแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักเพิ่มเฉลี่ยกุ้งขาวแวนนาไมมีน้ำหนักเฉลี่ยสูงขึ้นกว่าสูตรอาหารที่ 1 (อาหารสำเร็จรูป)

จากการทดลองพบว่าน้ำหนักเพิ่มของกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงในอาหารทั้ง 6 สูตร ในช่วงสัปดาห์ที่ 1-8 จะเห็นว่าน้ำหนักเพิ่มของกุ้งของแวนนาไมที่เลี้ยงใน มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน แต่ในช่วงสัปดาห์ที่ 9 ของการเลี้ยงน้ำหนักเพิ่มของกุ้งขาวแวนนาไมมีค่าลดลงสาเหตุอาจเกิดจากบ่อพลาสติกที่ใช้เลี้ยงมีพื้นที่จำกัดเมื่อระยะเวลาเลี้ยงนานขึ้น และกุ้งขาวแวนนาไมมีขนาดที่เพิ่มขึ้นอยู่ในพื้นที่แคบอาจทำให้กุ้งขาวแวนนาไมเกิดการกินกันเอง และในช่วงสัปดาห์ที่ 10 ของการเลี้ยงมีค่าน้ำหนักเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 4.3

ตารางที่ 4.6 น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ย (weight gain) ของกุ้งขาวแวนนาไม (กรัมต่อตัว)

สัปดาห์	น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ย (weight gain) ของกุ้งขาวแวนนาไม					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
1	$0.10\pm0.01^{a,A}$	$0.11\pm0.01^{a,A,B}$	$0.11\pm0.01^{a,A,B}$	$0.11\pm0.05^{a,A}$	$0.10\pm0.01^{a,A}$	$0.09\pm0.01^{a,A}$
2	$0.08\pm0.01^{a,A}$	$0.05\pm0.01^{a,A}$	$0.06\pm0.01^{a,A}$	$0.07\pm0.02^{a,A}$	$0.07\pm0.02^{a,A}$	$0.06\pm0.01^{a,A}$
3	$0.10\pm0.02^{a,A}$	$0.11\pm0.04^{a,A}$	$0.09\pm0.01^{a,A,B}$	$0.08\pm0.01^{a,A}$	$0.08\pm0.01^{a,A}$	$0.08\pm0.02^{a,A}$
4	$0.10\pm0.01^{a,A}$	$0.15\pm0.02^{a,A,B}$	$0.14\pm0.01^{a,A,B}$	$0.11\pm0.02^{a,A}$	$0.13\pm0.04^{a,A,B}$	$0.17\pm0.04^{a,A}$
5	$0.12\pm0.01^{a,A}$	$0.12\pm0.01^{a,A,B}$	$0.14\pm0.04^{a,A,B}$	$0.18\pm0.04^{a,A}$	$0.14\pm0.01^{a,A,B}$	$0.15\pm0.02^{a,A}$
6	$0.21\pm0.03^{a,A,B}$	$0.20\pm0.03^{a,A,B}$	$0.22\pm0.03^{a,A,B}$	$0.21\pm0.02^{a,A}$	$0.27\pm0.06^{a,A,B,C}$	$0.25\pm0.03^{a,A,B}$
7	$0.41\pm0.06^{a,C,D}$	$0.34\pm0.08^{a,A,B,C}$	$0.39\pm0.12^{a,B,C}$	$0.47\pm0.26^{a,A}$	$0.27\pm0.05^{a,A,B,C}$	$0.26\pm0.04^{a,A,B}$
8	$0.79\pm0.08^{b,E}$	$0.47\pm0.13^{a,b,B,C,D}$	$0.70\pm0.07^{a,b,C,D}$	$0.41\pm0.16^{a,A}$	$0.68\pm0.14^{a,b,C,D}$	$0.48\pm0.19^{a,b,B,C}$
9	$0.36\pm0.08^{a,B,C}$	$0.57\pm0.19^{a,C,D}$	$0.57\pm0.13^{a,C}$	$0.59\pm0.27^{a,A}$	$0.52\pm0.11^{a,B,C}$	$0.59\pm0.16^{a,C}$
10	$0.55\pm0.13^{a,D}$	$0.74\pm0.28^{a,b,D}$	$0.99\pm0.27^{a,b,D}$	$1.29\pm0.37^{b,A}$	$1.01\pm0.36^{a,b,D}$	$0.75\pm0.15^{a,b,C}$

หมายเหตุ * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% Mean±S.D. (N=4) อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์มีนัยสำคัญทางสถิติ Scheffe test of ANOVA ($p < 0.05$) (ตัวอักษรเล็ก พิจารณาในแนวนอน ตัวอักษรใหญ่ พิจารณาในแนวตั้ง)



ภาพที่ 4.3 น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ย (กรัมต่อตัว) ที่สัมพันธ์กับระยะเวลา (สัปดาห์) ที่ได้รับสูตรอาหารที่ 1-6

4.5.3. เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน (daily weight gain; DWG)

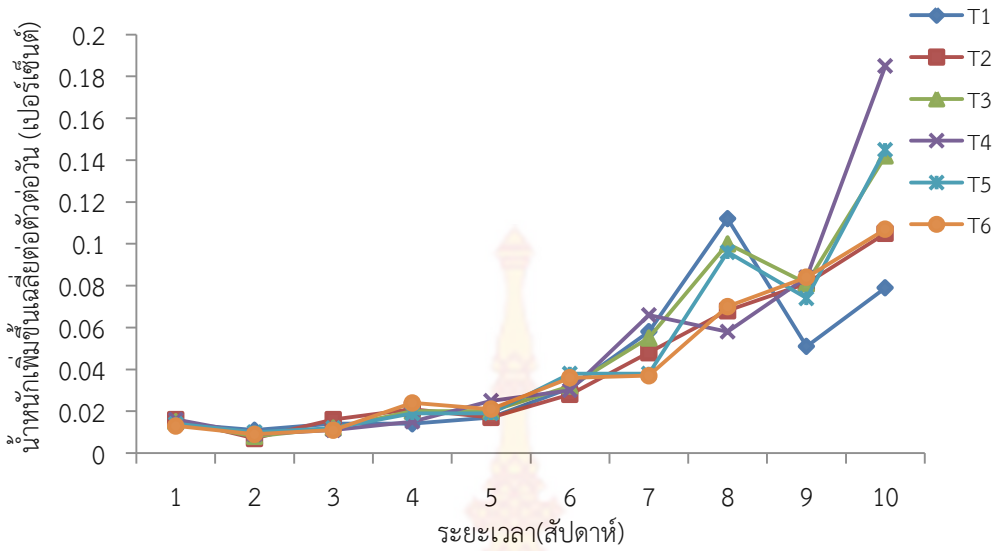
จากการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมตลอดระยะเวลา 10 สัปดาห์ (70 วัน) ด้วยสูตรอาหาร 6 สูตร โดยเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยเริ่มต้น (สัปดาห์ที่ 1) ของกุ้งขาวแวนนาไมอยู่ระหว่าง 0.013±0.001 ถึง 0.016±0.006 กรัมต่อตัวต่อวัน เมื่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมจนถึงสัปดาห์ที่ 10 พบว่า สูตรอาหารที่ 4 (น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อยโดยใช้อัตราส่วนของเนื้อมะพร้าวต่อเหง้าของขมิ้นอ้อยสด 5:1.0 โดยน้ำหนัก) มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยดีที่สุดเท่ากับ 0.185±0.053 กรัมต่อตัวต่อวัน และกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารที่ 1 (อาหารสำเร็จรูป) มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 0.079±0.019 กรัมต่อตัวต่อวัน ผลวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยของกุ้งขาวแวนนาไมในสัปดาห์ที่ 10 ที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารที่ 1 ถึง 6 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.7 จากการทดลอง พบว่าสูตรอาหารที่ 4 มีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับชนิดสูตรอาหารอื่น โดยเฉพาะสูตรอาหารที่ 1 (อาหารสำเร็จรูป) ข้อสังเกตจะเห็นว่าค่าอาหารที่ใช้น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อยซึ่งมีมีสารต้านอนุมูลอิสระสูงในสูตรอาหารที่ 2-6 มีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ยสูงขึ้นกว่าสูตรอาหารที่ 1

จากการทดลองพบว่า ในช่วงสัปดาห์ที่ 1-8 ที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารที่ 1-6 มีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยใกล้เคียงกัน แต่ช่วงสัปดาห์ที่ 9 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยของกุ้งขาวแวนนาไมมีค่าลดลงสาเหตุอาจเกิดจากบ่อพลาสติกที่ใช้เลี้ยงมีพื้นที่จำกัดเมื่อระยะเวลาเลี้ยงนานขึ้น และกุ้งขาวแวนนาไมมีขนาดที่เพิ่มขึ้นอยู่ในพื้นที่แคบอาจทำให้เกิดการกินกันเอง และอาจเกิดจากสาเหตุการชั่งวัดค่าของกุ้งขาวแวนนาไมถี่เกินไปอาจทำให้กุ้งเกิดความอ่อนแอตายไประหว่างการเลี้ยง และในช่วงสัปดาห์ที่ 10 ของการเลี้ยงมีค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 4.4

ตารางที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน (daily weight gain; DWG) ของกุ้งขาวแวนนาไม (กรัมต่อตัวต่อวัน)

สัปดาห์	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน (daily weight gain; DWG) ของกุ้งขาวแวนนาไม					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
1	0.014±0.002^{a,A}	0.016±0.002^{a,A,B}	0.015±0.001^{a,A,B}	0.016±0.006^{a,A}	0.014±0.002^{a,A}	0.013±0.001^{a,A}
2	0.011±0.001^{a,A}	0.007±0.001^{a,A}	0.008±0.001^{a,A}	0.009±0.003^{a,A}	0.010±0.003^{a,A}	0.009±0.001^{a,A}
3	0.014±0.003^{a,A}	0.016±0.006^{a,A,B}	0.012±0.001^{a,A,B}	0.011±0.001^{a,A}	0.012±0.002^{a,A}	0.011±0.002^{a,A}
4	0.014±0.002^{a,A}	0.021±0.003^{a,A,B}	0.020±0.001^{a,A,B}	0.015±0.003^{a,A}	0.019±0.006^{a,A,B}	0.024±0.005^{a,A}
5	0.017±0.001^{a,A}	0.017±0.002^{a,A,B}	0.020±0.005^{a,A,B}	0.025±0.006^{a,A}	0.019±0.002^{a,A,B}	0.021±0.003^{a,A}
6	0.031±0.004^{a,A,B}	0.028±0.004^{a,A,B,C}	0.032±0.004^{a,A,B}	0.030±0.003^{a,A}	0.038±0.008^{a,A,B,C}	0.036±0.005^{a,A,B}
7	0.058±0.008^{a,C,D}	0.048±0.011^{a,A,B,C}	0.055±0.017^{a,B,C}	0.066±0.038^{a,A}	0.038±0.007^{a,A,B,C}	0.037±0.005^{a,A,B}
8	0.112±0.011^{b,E}	0.068±0.018^{a,b,B,C,D}	0.100±0.010^{a,b,C,D}	0.058±0.022^{a,b,A}	0.096±0.021^{a,C,D}	0.070±0.028^{a,b,B,C}
9	0.051±0.012^{a,B,C}	0.081±0.027^{a,C,D}	0.081±0.018^{a,C}	0.084±0.038^{a,A}	0.074±0.016^{a,B,C}	0.084±0.023^{a,C}
10	0.079±0.019^{a,D}	0.105±0.039^{a,b,D}	0.142±0.038^{a,b,D}	0.185±0.053^{b,B}	0.145±0.052^{a,b,D}	0.107±0.021^{a,b,C}

หมายเหตุ *มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% Mean±S.D. (N=4) อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์มีนัยสำคัญทางสถิติ Scheffe test of ANOVA ($p < 0.05$) (ตัวอักษรเล็ก พิจารณาในแนวนอน ตัวอักษรใหญ่ พิจารณาในแนวตั้ง)



ภาพที่ 4.4 น้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน (เปอร์เซ็นต์) ที่สัมพันธ์กับระยะเวลา (สัปดาห์) ที่ได้รับสูตรอาหารที่ 1-6

4.5.4. อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate; SGR)

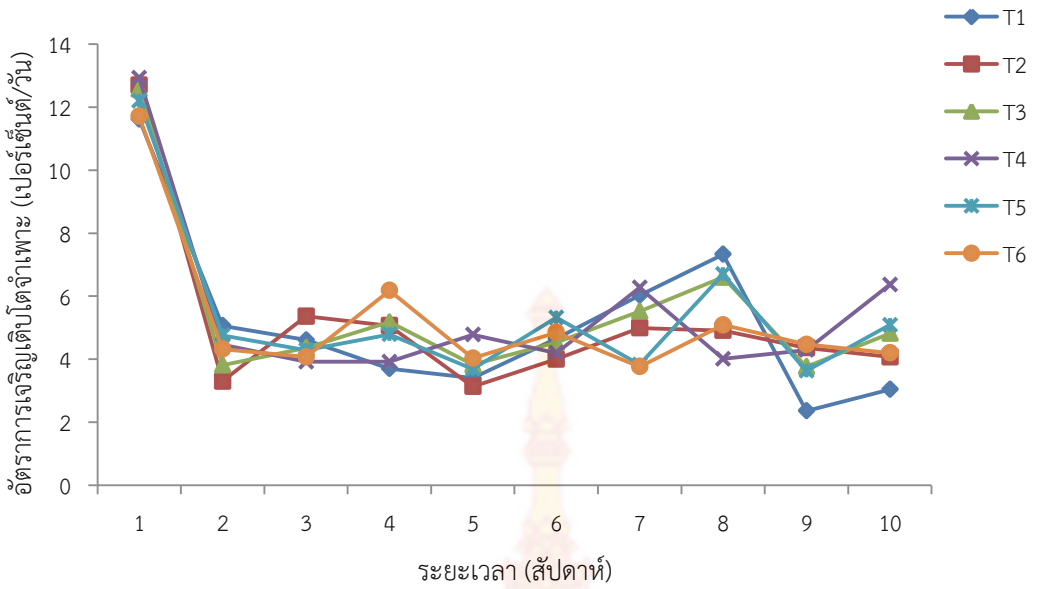
จากการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมตลอดระยะเวลา 10 สัปดาห์ (70 วัน) ด้วยสูตรอาหาร 6 สูตร โดยอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเปอร์เซ็นต์ต่อวันเริ่มต้น (สัปดาห์ที่ 1) ของกุ้งขาวแวนนาไมอยู่ระหว่าง 11.62±0.99 ถึง 12.93±2.93 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน เมื่อทำการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมจนถึงสัปดาห์ที่ 10 พบว่าสูตรอาหารที่ 4 (น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อยโดยใช้อัตราส่วนของเนื้อมะพร้าวต่อเหง้าของขมิ้นอ้อยสด 5:1.0 โดยน้ำหนัก) มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะดีที่สุดเท่ากับ 6.37±1.44 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน และกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารที่ 1 (อาหารสำเร็จรูป) มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะน้อยที่สุดเท่ากับ 3.04±0.69 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเปอร์เซ็นต์ต่อวัน ของกุ้งขาวแวนนาไมในระยะเวลา10 สัปดาห์ พบว่าจากสูตรอาหารที่ 1 ถึง 6 ในสัปดาห์ที่ 4 และสัปดาห์ที่ 10 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.8

จากการทดลองพบว่ากุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารทั้ง 6 ในช่วงสัปดาห์ที่ 1 มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูง แต่ในช่วงสัปดาห์ที่ 2 ของการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะลดลงอย่างมากสาเหตุอาจเกิดจากกุ้งขาวแวนนาไมมีการปรับตัวได้ไม่ค่อยดีเกิดการน็อกตาย เนื่องจากบ่อที่ใช้เลี้ยงเป็นบ่อพลาสติกมีพื้นที่จำกัด และในช่วงสัปดาห์ที่ 3 ถึง สัปดาห์ที่ 10 ของการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงด้วยอาหารทั้ง 6 สูตรมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกัน ดังภาพที่ 4.5

ตารางที่ 4.8 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate; SGR) ของกุ้งขาวแวนนาไม (เปอร์เซ็นต์ต่อวัน)

สัปดาห์	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate; SGR) ของกุ้งขาวแวนนาไม					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
1	11.62±0.99^{a,E}	12.70±1.47^{a,A}	12.58±0.73^{a,C}	12.93±2.93^{a,B}	12.20±1.18^{a,B}	11.71±0.54^{a,B}
2	5.06±0.58^{a,B,C}	3.30±0.60^{a,A}	3.81±0.24^{a,A}	4.46±1.70^{a,A}	4.76±0.92^{a,A}	4.32±0.65^{a,A}
3	4.61±0.67^{a,B,C}	5.36±2.02^{a,A}	4.36±0.09^{a,A,B}	3.92±0.56^{a,A}	4.29±1.07^{a,A}	4.07±0.70^{a,A}
4	3.70±0.51^{a,A,B}	5.06±0.83^{a,b,A}	5.18±0.05^{a,b,A,B}	3.92±0.55^{a,b,A}	4.79±1.23^{a,b,A}	6.18±1.31^{b,A}
5	3.40±0.28^{a,A,B}	3.13±0.30^{a,A}	3.83±0.66^{a,A}	4.78±1.04^{a,A}	3.69±0.57^{a,A}	4.03±0.73^{a,A}
6	4.65±0.50^{a,B,C}	4.00±0.41^{a,A}	4.53±0.61^{a,A,B}	4.20±0.52^{a,A}	5.32±1.17^{a,A}	4.85±0.64^{a,A}
7	6.03±0.46^{a,C,D}	4.99±0.85^{a,A}	5.52±1.43^{a,A,B}	6.27±3.17^{a,A}	3.83±0.56^{a,A}	3.76±0.47^{a,A}
8	7.33±0.91^{a,D}	4.91±1.08^{a,A}	6.60±1.01^{a,B}	4.01±1.51^{a,A}	6.70±1.17^{a,A}	5.09±1.87^{a,A}
9	2.36±0.47^{a,A}	4.36±1.62^{a,A}	3.76±0.93^{a,A}	4.29±2.07^{a,A}	3.63±0.78^{a,A}	4.47±1.41^{a,A}
10	3.04±0.69^{a,A,B}	4.07±1.19^{ab}	4.821.23^{a,b,A,B}	6.37±1.44^{b,A}	5.09±1.62^{a,b,A}	4.20±0.82^{a,b,A}

หมายเหตุ *มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% Mean±S.D. (N=4) อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์มีนัยสำคัญทางสถิติ Scheffe test of ANOVA ($p < 0.05$) (ตัวอักษรเล็ก พิจารณาในแนวนอน ตัวอักษรใหญ่ พิจารณาในแนวตั้ง)



ภาพที่ 4.5 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (เปอร์เซ็นต์/ต่อวัน) ที่สัมพันธ์กับระยะเวลา (สัปดาห์) ที่ได้รับสูตรอาหารที่ 1-6

4.5.5. อัตราการรอดตาย (survival rate)

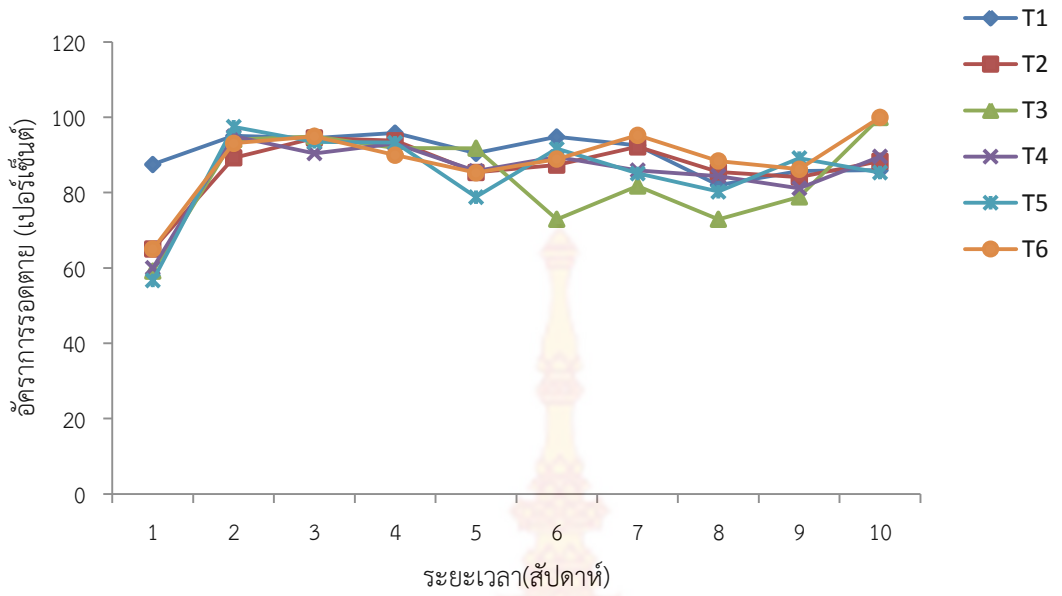
จากการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมตลอดระยะเวลา 10 สัปดาห์ (70 วัน) ด้วยสูตรอาหาร 6 สูตร โดยอัตราการรอดตายเปอร์เซ็นต์เริ่มต้น (สัปดาห์ที่ 1) ของกุ้งขาวแวนนาไมอยู่ระหว่าง 56.67±13.05 ถึง 87.50±11.01 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมจนถึงสัปดาห์ที่ 10 พบว่า สูตรอาหารที่ 3 (น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อยโดยใช้อัตราส่วนของเนื้อมะพร้าวต่อเหง้าของขมิ้นอ้อยสด 5:0.5 โดยน้ำหนัก) และ สูตรอาหารที่ 6 (น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อยโดยใช้อัตราส่วนของเนื้อมะพร้าวต่อเหง้าของขมิ้นอ้อยสด 5:2.0 โดยน้ำหนัก) มีอัตราการรอดตายสูงสุด 100±0.00 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือสูตรอาหารที่ 4 (น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อยสด โดยใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าว และน้ำหนักเหง้าขมิ้นอ้อยสด 5:1.0 โดยน้ำหนัก) มีอัตราการรอดตาย 89.58±12.50 เปอร์เซ็นต์ พบว่าอัตราการรอดตายของกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงในสูตรอาหารที่ 1-6 ในช่วงสัปดาห์ที่ 1-2 มีอัตราการรอดตายเพิ่มขึ้น แต่หลังจากสัปดาห์ที่ 2-10 อัตราการรอดตายของกุ้งขาวแวนนาไมค่อนข้างคงที่ เนื่องจากบ่อพลาสติกที่ใช้เลี้ยงมีพื้นที่จำกัด อาจทำให้กุ้งขาวแวนนาไมเกิดการกินกันเอง ดังภาพที่ 4.6

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าอัตราการรอดตายกุ้งขาวแวนนาไมในสัปดาห์ที่ 10 สูตรอาหารที่ 1 ถึง 6 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหาร 3 และ 6.มีอัตราการรอดตายสูงสุด 100±0.00 เปอร์เซ็นต์ และกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารที่ 1 มีอัตราการรอดตายน้อยที่สุด มีค่า 85.96±21.92 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.9 ข้อสังเกตจะเห็นว่ากุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารที่ใช้น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อยซึ่งมีมีสารต้านอนุมูลอิสระสูงในสูตรอาหารที่ 2-6 มีอัตราการรอดตายสูงกว่ากุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงในอาหารสำเร็จรูป

ตารางที่ 4.9 อัตราการรอดตาย (survival rate) ของกุ้งขาวแวนนาไม (เปอร์เซ็นต์)

สัปดาห์	อัตราการรอดตาย (survival rate) ของกุ้งขาวแวนนาไม					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
1	87.50±11.01^{a,A}	65.00±12.91^{a,A}	59.17±14.24^{a,A}	60.00±19.05^{a,A}	56.67±13.05^{a,A}	65.00±10.36^{a,A}
2	95.05±3.70^{a,A}	89.25±10.28^{a,A}	94.07±1.68^{a,A,B}	94.95±4.58^{a,A}	97.47±2.95^{a,B}	93.09±4.28^{a,A,B}
3	94.49±4.43^{a,A}	94.50±4.82^{a,A}	94.92±3.80^{a,A,B}	90.43±6.60^{a,A}	93.50±6.44^{a,B}	94.91±7.25^{a,B}
4	95.8±32.89^{a,A}	93.78±4.46^{a,A}	91.82±9.04^{a,A,B}	93.07±4.77^{a,A}	93.25±1.71^{a,B}	89.96±7.59^{a,A,B}
5	90.45±8.75^{a,A}	85.38±5.22^{a,A}	91.78±9.21^{a,A,B}	85.76±9.82^{a,A}	78.81±19.48^{a,B}	85.28±6.87^{a,A,B}
6	94.79±3.79^{a,A}	87.31±4.08^{a,A}	72.90±20.19^{a,A,B}	89.45±12.22^{a,A}	91.67±12.62^{a,B}	88.89±10.46^{a,A,B}
7	92.56±8.00^{a,A}	92.17±10.51^{a,A}	81.75±15.47^{a,A,B}	85.91±11.88^{a,A}	85.12±7.12^{a,A,B}	95.21±6.02^{a,B}
8	81.99±7.07^{a,A}	85.48±8.61^{a,A}	72.92±5.83^{a,A,B}	84.38±5.15^{a,A}	80.27±10.69^{a,A,B}	88.39±10.67^{a,A,B}
9	85.7±24.90^{a,A}	84.13±10.79^{a,A}	78.87±17.83^{a,A,B}	81.15±7.22^{a,A}	89.17±15.72^{a,A,B}	86.22±18.23^{a,A,B}
10	85.96±21.92^{a,A}	88.33±14.53^{a,A}	100±0.00^{a,A,B}	89.58±12.50^{a,A}	85.32±13.86^{a,A,B}	100±0.00^{a,B}

หมายเหตุ *มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% Mean±S.D. (N=4) อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์มีนัยสำคัญทางสถิติ Scheffe test of ANOVA ($p < 0.05$) (ตัวอักษรเล็ก พิจารณาในแนวนอน ตัวอักษรใหญ่ พิจารณาในแนวตั้ง)



ภาพที่ 4.6 อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์) ที่สัมพันธ์กับระยะเวลา (สัปดาห์) ที่ได้รับสูตรอาหารที่ 1-6

4.5.6. อัตราการแลกเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion ratio; FCR)

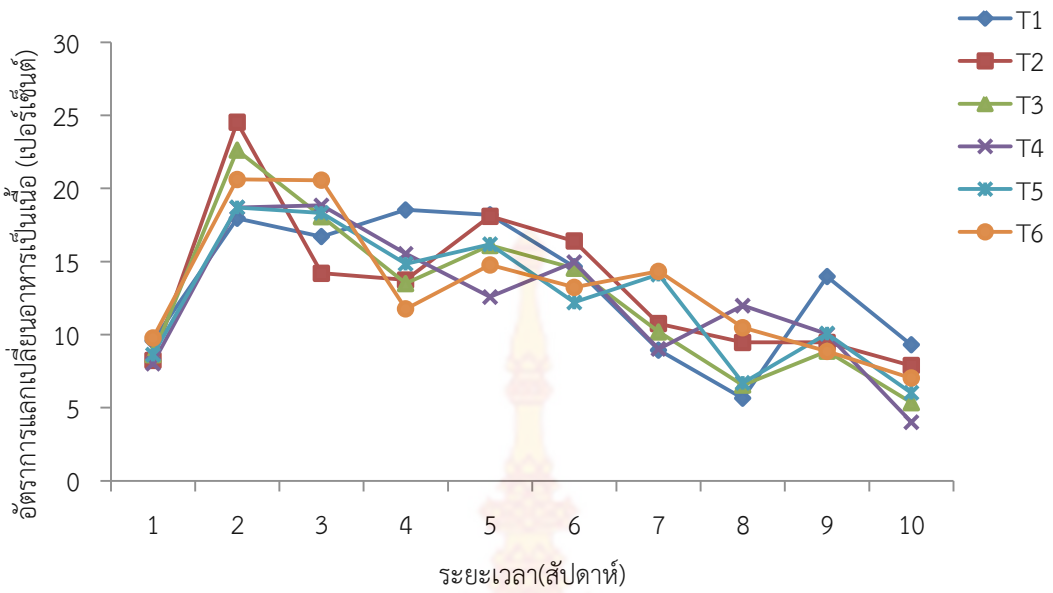
จากการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมตลอดระยะเวลา 10 สัปดาห์ (70 วัน) ด้วยสูตรอาหาร 6 สูตร โดยอัตราการแลกเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ เริ่มต้นสัปดาห์ที่ 1 ชนิดสูตรอาหารที่ 6 มีค่า 9.77±0.94 จนถึงสูตรอาหารที่ 4 มีค่า 8.02±2.24 โดยอัตราการแลกเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของกุ้งขาวแวนนาไมอยู่ระหว่าง (9.77±0.94 ถึง 8.02±2.24) เมื่อทำการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมจนถึงสัปดาห์ที่ 10 พบว่า สูตรอาหารที่ 4 (น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อยสด โดยใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าว และน้ำหนักเหง้าขมิ้นอ้อยสด 5:1.0 โดยน้ำหนัก) มีอัตราการแลกเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีที่สุดมีค่า 4.02±0.81 และกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารที่ 1 (อาหารสำเร็จรูป) มีอัตราการแลกเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำที่สุดเท่ากับ 9.31±2.40 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าอัตราการแลกเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของกุ้งขาวแวนนาไมในสัปดาห์ที่ 10 สูตรอาหารที่ 1 ถึง 6 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ในสัปดาห์ที่ 2 และ 4 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.10

จากการทดลองพบว่า กุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารทั้ง 6 สูตร ในช่วงสัปดาห์ที่ 1 มีอัตราการแลกเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อสูง แต่ในช่วงสัปดาห์ที่ 2 กุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำ เนื่องจากในช่วงสัปดาห์ที่ 1 และ 2 กุ้งขาวแวนนาไมอยู่ในช่วงการปรับตัวด้วยอาหารที่ใช้ทดลองเลี้ยง และในสัปดาห์ที่ 3 ถึง สัปดาห์ที่ 10 กุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงด้วยอาหารทั้ง 6 สูตร มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อสูงขึ้นเรื่อยๆ ดังภาพที่ 4.7

ตารางที่ 4.10 อัตราการแลกเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion ratio; FCR) ของกุ้งขาวแวนนาไม

สัปดาห์	อัตราการแลกเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion ratio; FCR) ของกุ้งขาวแวนนาไม					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
1	9.57±1.34^{a,A,B}	8.24±1.29^{a,A}	8.63±0.49^{a,A,B}	8.02±2.24^{a,A,B}	8.63±0.82^{a,A,B,C}	9.77±0.94^{a,A}
2	17.95±2.06^{a,C}	24.52±1.37^{b,D}	22.62±1.79^{a,b,E}	18.69±2.95^{a,b,C}	18.70±3.00^{a,b,E}	20.62±2.85^{a,b,B}
3	16.71±3.47^{a,C}	14.20±3.99^{a,A,B,C}	18.08±1.34^{a,D,E}	18.84±1.45^{a,C}	18.33±3.32^{a,D,E}	20.56±3.03^{a,B}
4	18.53±2.33^{b,C}	13.74±2.08^{a,b,A,B,C}	13.50±1.39^{a,b,B,C,D}	15.54±2.29^{a,b,B,C}	14.85±3.03^{a,b,B,C,D,E}	11.76±1.94^{a,A}
5	18.20±1.53^{a,C}	18.10±1.14^{a,C,D}	16.11±2.66^{a,D}	12.58±2.61^{a,A,B,C}	16.18±2.36^{a,C,D,E}	14.77±2.84^{a,A,B}
6	14.65±1.85^{a,B,C}	16.40±2.11^{a,B,C}	14.54±1.73^{a,C,D}	14.96±1.87^{a,B,C}	12.21±2.56^{a,A,B,C,D,E}	13.24±1.60^{a,A,B}
7	8.94±1.33^{a,A,B}	10.75±2.33^{a,A,B,C}	10.19±3.16^{a,A,B,C}	9.02±4.23^{a,A,B}	14.11±2.64^{a,A,B,C,D,E}	14.33±1.81^{a,A,B}
8	5.65±0.66^{a,A}	9.47±2.55^{a,A,B}	6.55±0.83^{a,A}	11.99±4.88^{a,A,B,C}	6.70±1.25^{a,A,B}	10.48±4.67^{a,A}
9	13.97±3.19^{a,B,C}	9.47±2.97^{a,A,B}	8.87±1.76^{a,A,B,C}	10.04±4.19^{a,A,B,C}	10.07±2.86^{a,A,B,C,D}	8.86±2.17^{a,A}
10	9.31±2.40^{a,A,B}	7.88±2.80^{a,A}	5.35±1.19^{a,A}	4.02±0.81^{a,A}	6.02±3.33^{a,A}	7.03±1.37^{a,A}

หมายเหตุ *มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% Mean±S.D. (N=4) อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์มีนัยสำคัญทางสถิติ Scheffe test of ANOVA ($p < 0.05$) (ตัวอักษรเล็ก พิจารณาในแนวนอน ตัวอักษรใหญ่ พิจารณาในแนวตั้ง)



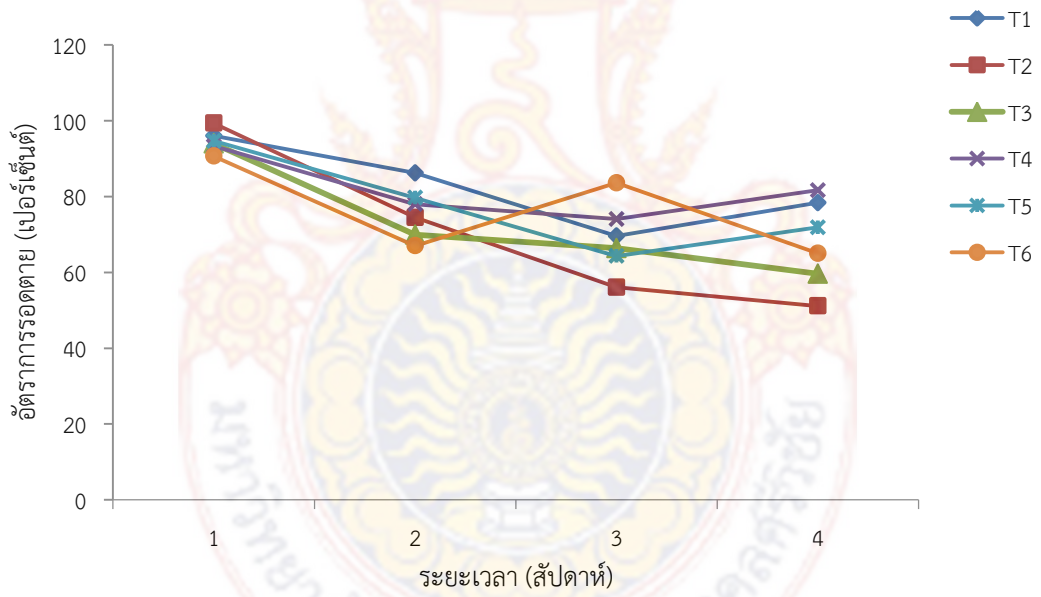
ภาพที่ 4.7 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (เปอร์เซ็นต์) ที่สัมพันธ์กับระยะเวลา (สัปดาห์) ที่ได้รับสูตรอาหารที่ 1-6

4.5.7. อัตราการรอดตาย (survival rate) ของลูกกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงในเชื้อ *Vibrio vulnificus*

จากเดิมเราต้องการเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio parahaemolyticus* ที่ Mutant Strain ใหม่ๆ แต่ทดลองการแยกเชื้อได้เป็นเชื้อ *Vibrio vulnificus* แทนซึ่งเชื่อที่ได้ดังกล่าว เป็นตัวอย่างน้ำทะเลจากฝั่งทะเลอ่าวไทย บริเวณจังหวัดสงขลาที่มักพบปัญหาการเลี้ยงกุ้งขาวตายเป็นจำนวนมาก เมื่อทำการเลี้ยงเชื้อในห้องทดลอง และทำการส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์เชื้อแบคทีเรียดังกล่าวที่สำนักงานเครื่องมือวิทยาศาสตร์และการทดสอบมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ พบแค่เชื้อแบคทีเรีย *Vibrio vulnificus* เชื้อดังกล่าวเคยระบาดรุนแรงเมื่อปี พ.ศ. 2532-2537 ทำให้กุ้งตายจำนวนมาก ทำให้ทราบสาเหตุของในการทดลองครั้งนี้ สาเหตุที่ไม่พบเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio parahaemolyticus* ที่ Strain Mutant ของตัวอย่างน้ำทะเลจากฝั่งทะเลอ่าวไทย บริเวณจังหวัดสงขลา มีสภาพแวดล้อมที่ดีขึ้น เนื่องจากเกษตรกรเลิกเลี้ยงกุ้งขาว กุ้งกุลาดำ เป็นเวลาเกือบ 30-40 ปี ทำให้ทะเลฝั่งทะเลอ่าวไทยของประเทศไทยกลับมาฟื้นฟู ส่งผลทำให้เชื้อแบคทีเรียที่รุนแรงมีไม่มากในบริเวณฝั่งทะเลอ่าวไทย บริเวณจังหวัดสงขลา

เมื่อได้เชื้อ *Vibrio vulnificus* ดังกล่าวมาทำ Challenge เชื้อเพื่อดูอัตราการตายสะสมเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ จากชุดการทดลองที่ 1 ถึง 6 ในบ่อพลาสติกสีดำ โดยเลี้ยงลูกกุ้งขาแวนนาไมบ่อละ 50 ตัว (6 สูตรอาหาร, สูตรอาหารละ 3 ซ้ำ รวมทั้งหมด 18 บ่อ) รวมลูกกุ้งขาวแวนนาไมระยะ Post larva 900 ตัว P_{25} มีน้ำหนักตัวเริ่มแรก 0.025 กรัม ใช้เวลาเลี้ยงทดสอบ Challenge เชื้อ *Vibrio vulnificus* โดยใช้เครื่อง Spector-photometer และปริมาณน้ำเค็มในบ่อพลาสติกเท่ากับ 4.5 ลิตร ปรากฏผลดังแสดงในตารางที่ 4.11

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าอัตราการรอดตายของลูกกุ้งขาวแวนนาไมระยะ Post larva ที่เลี้ยงในเชื้อ *Vibrio vulnificus* ในสัปดาห์ที่ 4 พบว่าลูกกุ้งขาวแวนนาไมระยะ Post larva ที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารที่ 1 ถึง 6 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่าสูตรอาหารที่ 1 ถึง 6 มีอัตราการรอดตายของกุ้งขาวแวนนาไมมีแนวโน้มในช่วงแรกสูง แต่อัตราการรอดตายจะเป็นไปเรื่อยๆ ตามลำดับ สูตรอาหารที่ 4 พบว่ามีอัตราการรอดตายสูงมีเปอร์เซ็นต์การรอดตายอยู่ที่ 81.67±7.64 รองลงมาได้แก่สูตรอาหารที่ 1 มีเปอร์เซ็นต์การรอดตายอยู่ที่ 78.38±9.19 ต่ำสุดได้แก่ สูตรอาหารที่ 2 มีเปอร์เซ็นต์การรอดตายอยู่ที่ 52.44±8.56 แสดงให้เห็นว่าสูตรอาหารที่ 4 (น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อยสด โดยใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าว และน้ำหนักเหง้าขมิ้นอ้อยสด 5:1 โดยน้ำหนัก) ดีที่สุดจากผลโดยรวมค่าอัตราการรอดตายอยู่ระหว่าง สูตรอาหารที่ 2 มีค่า 51.15±9.73 สูตรอาหารที่ 4 มีค่า 81.67±7.64 ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดี อาหารที่ใช้มีประสิทธิภาพสูง ดังภาพที่ 4.8 สังเกตเห็นว่าเชื้อ *Vibrio vulnificus* ที่มีความรุนแรงทำอันตรายต่อกุ้งขาวแวนนาไมโดยที่กุ้งขาวแวนนาไมสามารถต้านการเกิดโรคได้ทำให้อัตราการรอดตายมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.8 อัตราการรอดตายของลูกกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงในเชื้อ *Vibrio vulnificus* (เปอร์เซ็นต์) ที่สัมพันธ์กับระยะเวลา (สัปดาห์) ที่ได้รับสูตรอาหารที่ 1-6

ตารางที่ 4.11 อัตราการรอดตาย (survival rate) ของลูกกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงในเชื้อ *Vibrio vulnificus* (เปอร์เซ็นต์)

สัปดาห์	อัตราการรอดตาย (survival rate) ของลูกกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงในเชื้อ *Vibrio vulnificus*					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
1	96.00±6.93^{a,A}	99.33±1.15^{a,B}	94.00±2.00^{a,A}	93.33±5.03^{a,A}	94.67±4.16^{a,B}	90.67±1.15^{a,B}
2	86.24±11.75^{a,A}	74.48±14.25$^{a,A.B}$	69.90±24.80^{a,A}	78.00±19.08^{a,A}	79.66±6.01^{a,A,B}	67.02±13.29^{a,A}
3	69.60±13.37^{a,A}	56.09±4.59^{a,A}	66.38±11.05^{a,A}	74.04±11.34^{a,A}	64.31±13.63^{a,A}	83.61±3.76^{a,A},B
4	78.38±9.19^{a,A}	51.15±9.73^{a,A}	59.63±9.14^{a,A}	81.67±7.64^{a,A}	71.85±14.11^{a,A,B}	65.00±4.69^{a,A}

หมายเหตุ *มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% Mean±S.D. (N=3) อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์มีนัยสำคัญทางสถิติ Scheffe test of ANOVA ($p < 0.05$) (ตัวอักษรเล็ก พิจารณาในแนวนอน ตัวอักษรใหญ่ พิจารณาในแนวตั้ง)

4.5.7.1 การแยกเชื้อแบคทีเรีย ด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อ tcbs agar

การแยกเชื้อแบคทีเรียด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อ tcbs agar โดยสำนักเครื่องมือวิทยาศาสตร์ และการทดสอบ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ใช้วิธีทดสอบด้วย W_1-RES-MALDI Biotyper-001เครื่องมือการทดสอบ MALDI Biotyper ทดสอบด้วยเทคนิคการ Matrix-assisted laser desorption/ionization time of flight mass spectrometry (MALDI-TOF MS) ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบเป็นของแข็ง (อาหารเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย tcbs agar) Colony สีเขียว จากการแยกเชื้อแบคทีเรียออกมาเป็น *Vibrio vulnificus* คุณสมบัติทางชีวเคมีของ *Vibrio vulnificus* คือ. Bacteria iso lesion inoculation technique และBacterial identification Biochemical tests ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 การแยกเชื้อแบคทีเรียด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อ tcbs agar

	Vibrio vulnificus
Cytochrome oxidase	+
Nitrate reduction	+
0/129 sensitivity:	
10 µg.	+
150 µg.	+
Swarming	-
Luminescence	-
Thornley's Arginine dihydrolase	-
Lysine decarboxylase	+
Ornithine decarboxylase	+
Growth at 42 °C	+
Growth at % NaCl:	
0 %	-
3%	+
6 %	+
8 %	-
10 %	-
Voges-Proskauer reaction	-

ตารางที่ 4.12 การแยกเชื้อแบคทีเรียด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อ tcbs agar (ต่อ)

	Vibrio vulnificus
Gas from glucose fermentation	-
Fermentation to acid:	
L-arabinose	-
M-inositol	-
D-mannose	+
Sucrose	-
Enzyme production:	
Alginase	-
Amylase	+
Chitinase	+
Gelatinase	+
Lipase	+
Utilization as sole source of carbon:	
γ-aminobutyrate	-
Cellobiose	+
L-citrulline	-
Ethanol	-
D-gluconate	+
D-glucuronate	+
L-leucine	-
Putrescine	-
Sucrose	-
D-xylose	-

4.6. การศึกษาคุณภาพน้ำในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม

จากการศึกษาการตรวจวัดคุณภาพน้ำในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมตลอดการทดลอง พบว่า ตลอดระยะเวลา 10 สัปดาห์ (70 วัน) ความเค็มมีค่าอยู่ระหว่าง 29-31 ส่วนในพันส่วน, อุณหภูมิ 27-29 องศาเซลเซียส, ความเป็นกรดเป็นด่าง 7-8, ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ 6-7 มิลลิกรัมต่อลิตร, ความเป็นด่าง 100-170 มิลลิกรัมต่อลิตร, แอมโมเนีย 0.33-0.57 มิลลิกรัมต่อลิตร และไนไตรท์ 0 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงที่กุ้งขาวแวนนาไมสามารถดำรงชีวิตได้อย่างปกติ เนื่องจากมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ทุกๆ 3 วัน จึงทำให้มีค่าของคุณภาพน้ำที่ไม่แตกต่างกันมาก ดังแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 การตรวจวัดคุณภาพน้ำในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม

คุณภาพน้ำ	ค่าที่ตรวจวัด
ความเค็ม (ส่วนในพันส่วน)	29-31
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	27-29
ความเป็นกรดเป็นด่าง	7-8
ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	6-7
ความเป็นด่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	100-170
แอมโมเนีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.33-0.57
ไนไตรท์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

โครงการวิจัยนี้ศึกษาประสิทธิภาพของอาหารที่มีส่วนผสมของน้ำมันมะพร้าวที่มีสารสกัดจากขมิ้นอ้อยต่อระบบภูมคุ้มกันของกุ้งขาวแวนนาไม การสกัดน้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อยด้วยเทคนิคการสกัดเย็น ใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าว และน้ำหนักเหง้าขมิ้นอ้อยสด โดยน้ำหนักดังนี้ 5:0.5, 5:1.0, 5:1.5 และ 5:2.0 จากผลการวิเคราะห์ได้ค่าปริมาณน้ำมันอยู่ที่ ประมาณ 18.55-21.38 เปอร์เซ็นต์ จากการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อยโดยวิธี DPPH radical scavenging พบว่า IC_{50} ในน้ำมันมะพร้าวผสมสารจากสกัดขมิ้นอ้อย ใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าวและน้ำหนักเหง้าขมิ้นอ้อยสด โดยน้ำหนักดังนี้ 5:0.5, 5:1.0, 5:1.5 และ 5:2.0 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) พบว่าน้ำมันมะพร้าวผสมสารจากสกัดขมิ้นอ้อยมีค่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบเคอร์คูมินอยด์สูงขึ้นเมื่อใช้ปริมาณของเหง้าขมิ้นอ้อยสดมากขึ้น จากนั้นนำน้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อยผสมในสูตรอาหารเพื่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม จำนวน 6 สูตร พบว่ากุ้งกุ้งแวนนาไมกลุ่มที่ได้รับอาหารสูตร น้ำมันมะพร้าวผสมสารจากสกัดขมิ้นอ้อย ใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าวและน้ำหนักเหง้าขมิ้นอ้อยสด 5: 0.5 มีการแสดงออกของยีน superoxide dismutase (*sod*) มากที่สุด และนอกจากนี้พบว่าสูตรอาหารที่ 4 (น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อยสดโดยใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าว และน้ำหนักเหง้าขมิ้นอ้อยสด 5:1 โดยน้ำหนัก) ส่งผลทำให้ค่าการเจริญเติบโตของกุ้งขาวดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอาหารอื่นๆ มีน้ำหนักเฉลี่ยดีสุดมีค่า 3.58±0.39 กรัมต่อตัว มีน้ำหนักเพิ่มดีที่สุดมีค่า 1.29±0.37 กรัมต่อตัว มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน ดีที่สุดมีค่า 0.185±0.053 กรัมต่อตัวต่อวัน และมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะดีที่สุด 6.37±1.44 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน

จากการศึกษาอัตราการรอดตายของกุ้งขาวแวนนาไม พบว่าสูตรอาหารที่ 3 (น้ำมันมะพร้าวผสมสารจากสกัดขมิ้นอ้อย ใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าว และน้ำหนักเหง้าขมิ้นอ้อยสด 5:0.5 โดยน้ำหนัก) และสูตรอาหารที่ 6 (น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อยใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าว และน้ำหนักเหง้าขมิ้นอ้อยสด 5:2.0 โดยน้ำหนัก) มีอัตราการรอดตายสูงสุด 100±0.00 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาอัตราการแลกเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของกุ้งขาวแวนนาไม พบว่าสูตรอาหารที่ 4 (น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อยสด โดยใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าว และน้ำหนักเหง้าขมิ้นอ้อยสด 5:1 โดยน้ำหนัก) มีอัตราการแลกเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีที่สุดมีค่า 4.02±0.81 จากการศึกษาอัตราการรอดตายของลูกกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงในเชื้อ *Vibrio vulnificus* พบว่าสูตรอาหารที่ 4 (น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อยสด โดยใช้อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมะพร้าว และ

น้ำหนักเหง้าขมิ้นอ้อยสด 5:1 โดยน้ำหนัก) มีอัตราการอัตราการรอดตายของลูกกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงในเชื้อ *Vibrio vulnificus* ดีที่สุด 81.67±7.64 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาการตรวจวัดคุณภาพน้ำในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมตลอดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 10 สัปดาห์ (70 วัน) พบว่า ความเค็มมีค่าอยู่ระหว่าง 29-31 ส่วนในพันส่วน, อุณหภูมิ 27-29 องศาเซลเซียส, ความเป็นกรดเป็นด่าง 7-8, ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ 6-7 มิลลิกรัมต่อลิตร, ความเป็นด่าง 100-170 มิลลิกรัมต่อลิตร, แอมโมเนีย 0.33-0.57 มิลลิกรัมต่อลิตร และไนไตรท์ 0 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงที่กุ้งขาวแวนนาไมสามารถดำรงชีวิตได้อย่างปกติ

บรรณานุกรม

กรมประมง. 2550. การเลี้ยงกุ้งทะเลและคุณภาพน้ำที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยง (ออนไลน์). สืบค้นจาก: http://www.kesetonline.net. 8 มกราคม 2563.

กรมประมง. 2563. การจัดการความรู้การเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมตามมาตรฐาน จีเอพี (ออนไลน์). สืบค้นจาก: http://www4.fisheries.go.th. 6 พฤษภาคม 2563.

ชลอ ลิ้มสุวรรณ. 2546. แนะเทคนิคบางจุดในการเลี้ยงวานาไมเพื่อความสำเร็จ. นิตยสารสัตว์น้ำฉบับ ที่ 161, หน้า 85-90.

เทพกัญญา สุขเจริญ. 2545. คุณภาพน้ำกะทิ (ออนไลน์). สืบค้นจาก: http://www.thapra.lib.su.ac.th. 15 ธันวาคม 2562.

ธนพงศ์ แสงซื่อ, ทีมงานวิชาการอินเทคค์ และแลบอินเตอร์. 2553. อินเทคค์กุ้งขาวคุณภาพมาตรฐานพร้อม บริการวิชาการกุ้งขาวอินเทคค์เคียงคู่ผู้เลี้ยงไทยให้ประสบผลสำเร็จ. สำนักพิมพ์อินเทคค์ และแลบอินเตอร์, กรุงเทพฯ. 242 น.

นรสิงห์ เพ็ญประไพ, เพ็ญศรี เพ็ญประไพ, อัมพร รัตนมูสิก และมาโนช ขำเจริญ. 2560. ผลการเสริมน้ำมันมะพร้าวที่มีสารสกัดจากขมิ้นอ้อยในอาหารต่อการเจริญเติบโต ภาวะออกซิเดชั่น และระบบภูมิคุ้มกันของกุ้งขาวแวนนาไม. รายงานผลการวิจัย. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราช มงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรธรรมราช. 47 น.

น้องกุ้งไทย (นามแฝง). 2563. ราชันฟาร์ม ฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวชีวภาพ จ.ตราด (ออนไลน์). สืบค้นได้จาก http://www.farmrachan.com/shrimpnews/มาตรฐานจีเอพี-GAP-ตอนที่9.html. 27 เมษายน 2563.

นิรนาม. 2562. ขมิ้นอ้อย (ออนไลน์). สืบค้นจาก : https://www.disthai.com. 11 ธันวาคม 2562.

นิรนาม. 2562. น้ำมันมะพร้าว (ออนไลน์). สืบค้นจาก : https://thaihealthlife.com. 15 ธันวาคม 2562.

ปกป้อง อุ่มอยู่. 2562. การเพาะพันธุ์และการอนุบาลกุ้งทะเล (ออนไลน์). สืบค้นจาก https://www.fisheries.go.th. 15 ธันวาคม 2562.

ประจวบ หลำอุบล.2527. กุ้ง Natantia. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะประมงมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 306 น.

ปวีณ์นุช ถือแก้ว. 2562. การผลิตน้ำมันมะพร้าวบีบเย็น (ออนไลน์). สืบค้นจาก https://www.mhesi.go.th. 16 มีนาคม 2563.

ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์. 2545. ศาสตร์ของกุ้งขาวลิโพนีเนียสแวนนาไม (ตอนที่ 1). วารสารสัตว์น้ำ 14 (158) : 87-90 น.

เพ็ญศรี เพ็ญประไพ. 2554. เปรียบเทียบความคงตัวของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์และน้ำมันมะพร้าวที่มีสารสกัดขิง. รายงานการวิจัยงบประมาแผ่นดินประจำปี พ.ศ. 2554. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.

เพ็ญศรี เมืองเยาว์. 2555. พฤติกรรมการกินอาหารของกุ้งทะเลบางชนิด (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://www.nicaonline.com. 6 พฤษภาคม 2563.

มณฑกานต์ ทองสม. 2547. แบคทีเรียแลกติกในระบบทางเดินอาหารของกุ้งกุลาดำ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วิทย์ เที่ยงบูรณธรรม. 2538. พจนานุกรมสมุนไพรไทย (ฉบับสรรพคุณยาไทย). สำนักพิมพ์รวมสาส์น. กรุงเทพ, 428 น.

ศูนย์วิชาการกุ้งไทยยูเนี่ยน. 2556. วงจรการลอกคราบ(ออนไลน์). สืบค้นจาก https://www.shrimpcenter.com/t-shrimp016.html . 6 พฤษภาคม 2563.

สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง. 2550. คุณภาพน้ำที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงกุ้ง. สืบค้นจาก : http://www.kesetonline.net/newsite/index. 08 มกราคม 2563.

สถาบันวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล สำนักงานวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง. 2556. คู่มือการเลี้ยงกุ้งขาว *(Litopenaeus vannamei)* แบบพัฒนา (ออนไลน์). สืบค้นจาก https://www.fisheries.go.th . 6 พฤษภาคม 2563.

สุคนธ์ชื่น ศรีงาม. 2542. การแยกน้ำมันมะพร้าวจากน้ำกะทิ. วารสารวิทยาสารเกษตรศาสตร์ 33 (3) : 444-451.

Bawalan, DD., and Chapman, K.R., 2006. Virgin coconut oil production manual for micro and village-scale processing. Bangkok FAO: Regional Office for Asia and the Pacific. 112 p.

Bhatnagar, A. S., Prasanth Kumar, P. K., Hemavathy, J., and Gopala Krishna, A. G., 2009. Fatty acid Composition, Oxidative stability, and Radical Scavenging Activity of Vegetable Oil Blends with Coconut oil.J Am Oil Chem Soc. 86: 991-999.

Brock, J.A. and Main, K.L. 1994. A guide to the common problems and diseases of cultured *Penaeus vannamei.* The Oceanic Institute Makapuu Point, Honolulu, Hawaii. pp. 242.

Dayrit, FM., 2008. Analysis of monoglycerides, Diglycerides, sterols, and fatty acids in coconut (*Cocos nucifera* L.) oil by 31P NMR spectroscopy. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 14: 5766-5769.

Le Moullac, G. and Haffner, P. 2000. Environmental factor affecting immune reaponses in crustacean, Aquaculture. 191: 121-131.

Li-Rong Shen & Fa Xiao & Peng Yuan & Ying Chen & Qi-Kang Gao & Laurence D. Parnell & Mohsen Meydani & Jose M. Ordovas & Duo Li & Chao-Qiang Lai. Curcumin-supplemented diets increase superoxide dismutase activity and mean lifespan in Drosophila. AGE (2013) 35:1133–1142

I.K. Jang, Z.G. Pang, J.P. Yu, S.K. Kim, H.C. Seo, Y. R.Cho. Selectively enhanced expression of prophenoloxidase activating enzyme 1 (PPAE1) at a bacteria clearance site in the Pacificwhiteshrimp, *Litopenaeus vannamei*. BMC Immunol, 12 (2011), pp. 70-81.

Jian xiao Tian, Juan Chen, Dan Jiang, Shaoan Liao, Anli Wang. Transcriptional regulation of extracellular copper zinc superoxide dismutase from white shrimp *Litopenaeus vannamei* following Vibrio alginolyticus and WSSV infection. Fish & Shellfish Immunology. Volume 30, Issue 1, January 2011, Pages 234-240.

Jamal K. Al-Faragi, Mohsen Abdul Hussain Hassan. Efficiency of Dietary Turmeric on Growth Performance, Hematology and Survival Rate in Common Carp *Cyprinus carpio* Challenged with *Flexibacter columnaris*. Kufa Journal For Veterinary Medical Sciences Vol. (8) No. (1) 2017, pp.130-140.

Marina, A.M., Che Man, Y.B., and Amin, I., 2009. Virgin coconut oil : emerging functional food oil. Trends in Food Scence & Technology. 20: 481-487.

Oscar Daniel García-Pérez, Mireya Tapia-Salazar, Martha G. Nieto-López, Julio César Cruz-Valdez, Maribel Maldonado-Muñiz, Lucía Marlene Guerrero Guerrero, Lucía

Elizabeth Cruz-Suárez, Alicia G. Marroquín-Cardona. Effects of conjugated linoleic acid and curcumin on growth performance and oxidative stress enzymes in juvenile Pacific

white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) feed with aflatoxins. Aquaculture Research. 2019; 00:1–10.

Van de Braak, C. B. T. 2002. Haemocy defence in black tiger shrimp (*Penaeus monodon)*. Doctoral Dissertation, Wageningen University, Netherlands.

Youko, S., Kikue, K. and Akio K., 2000. Isolation of novel glucosides related to gingerdiol from ginger and their antioxidative activities. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 48: 373-377.

ภาคผนวก

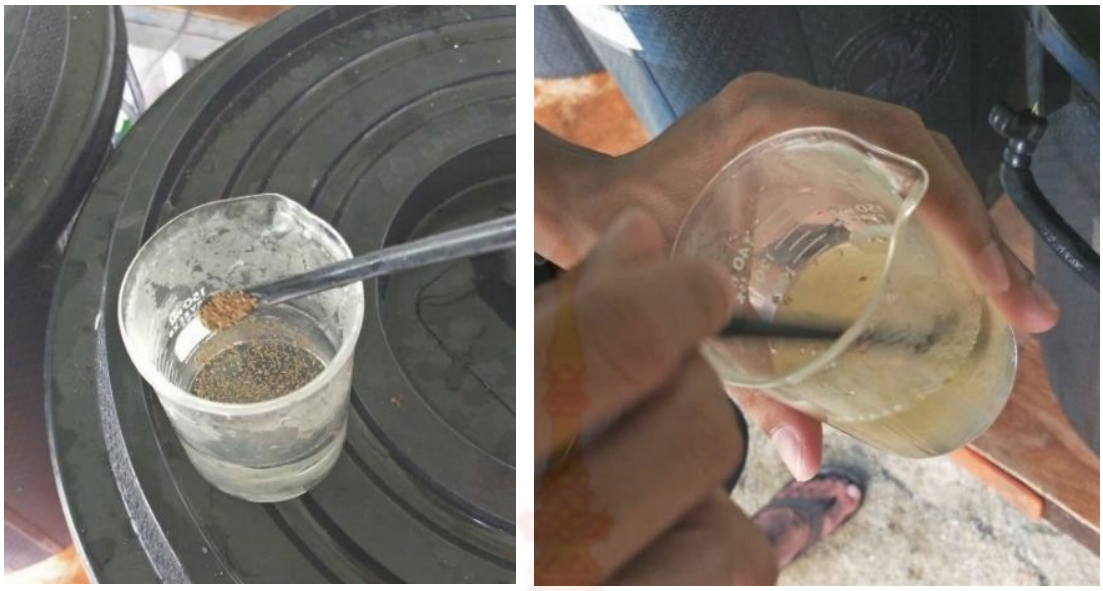
ภาคผนวก

ภาพผนวกที่ 1 น้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขมิ้นอ้อย

ภาพผนวกที่ 2 อาหารที่ใช้ทดลองเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม

ภาพผนวกที่ 3 ระบบบ่อ และระบบการให้อากาศในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม

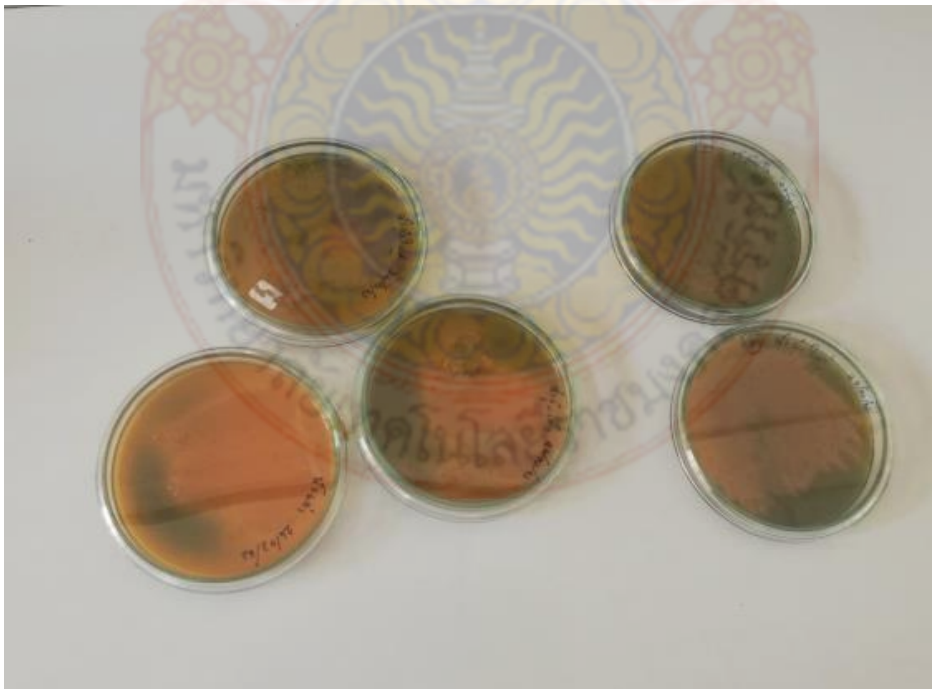
ภาพผนวกที่ 4 ลูกกุ้งขาวแวนนาไม ขนาด 0.05-0.15 กรัม ที่นำมาเลี้ยงทดลอง



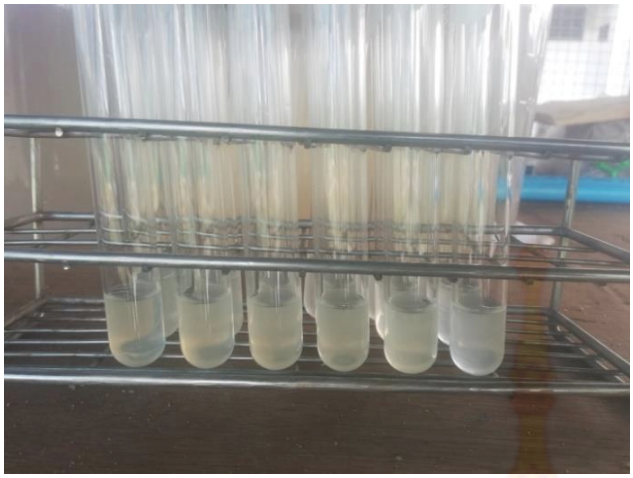
ภาพผนวกที่ 5 การให้อาหารกุ้งขาวแวนนาไม

ภาพผนวกที่ 6 การเปลี่ยนถ่ายน้ำ ทุกๆ 3 วัน

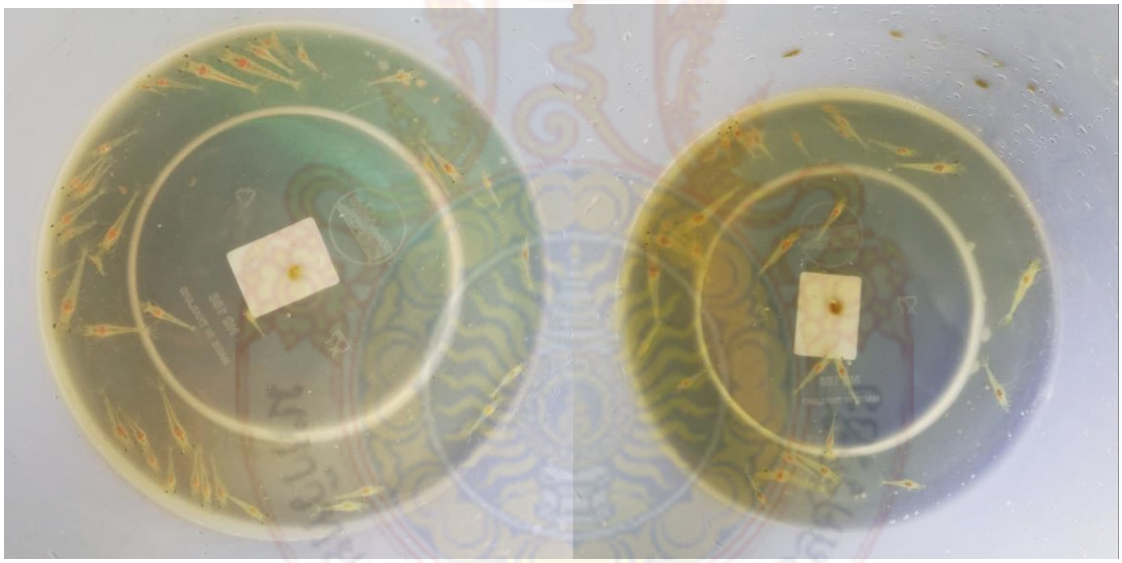
ภาพผนวกที่ 7 ตรวจสอบคุณภาพน้ำทุกๆ 1 สัปดาห์



ภาพผนวกที่ 8 ลักษณะของเชื้อ *Vibrio vulnificus* ในอาหารเลี้ยงเชื้อ



ภาพผนวกที่ 9 การนำเชื้อ *Vibrio vulnificus* ที่เจือจางใส่ลงในบ่อเลี้ยงลูกกุ้งขาวแวนนาไม เพื่อศึกษาอัตราการรอดตาย



ภาพผนวกที่ 10 ตรวจนับอัตราการรอดตายของลูกกุ้งขาวที่เลี้ยงในเชื้อ *Vibrio vulnificus*

ภาพผนวกที่ 11 กุ้งขาวแวนนาไมที่ได้จากการเลี้ยง