ISSN 1905-7393
ISSN Online 2730-146X

วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง
JOURNAL OF FISHERIES TECHNOLOGY RESEARCH

ปีที่ 14 เล่มที่ 2 (Volume 14 Number 2)
กรกฎาคม - ธันวาคม 2563 (July - December 2020)

วารสารวิชาการเผยแพร่ความรู้
เทคโนโลยีและส่งเสริมกิจกรรมทางการประมงและทรัพยากรทางน้ำ
ทั้งเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อม

จัดทำโดย
คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ
มหาวิทยาลัยแม่โจ้

วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง

Journal of Fisheries Technology Research

ISSN 1905-7393

ISSN Online 2730-146X

ผู้จัดทำ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

ที่ปรึกษา อธิการบดี มหาวิทยาลัยแม่โจ้

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

คณบดีคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

หัวหน้ากองบรรณาธิการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ ฉายบุ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.ทวนทอง จุฑาเกตุ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.วิภูษิต มัณฑะจิตร	มหาวิทยาลัยบูรพา
รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
รองศาสตราจารย์ ดร.นิวุฒิ หวังชัย	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สำเนาว์ เสาวกูล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงศ์ศักดิ์ เหล่าดี	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชยากร ภูมาศ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เลขากองบรรณาธิการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนกันต์ จิตมนัส มหาวิทยาลัยแม่โจ้

วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง (ISSBN 1905-7393) เป็นวารสารของคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ กำหนดออกปีละ 2 ฉบับ (มกราคมและกรกฎาคม) ของทุกปี โดยมีนโยบายเพื่อเผยแพร่งานวิจัยและบทความทางวิชาการ ด้านเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำให้แก่องค์กรที่เกี่ยวข้องทั่วประเทศ

ติดต่อสำนักงานกองบรรณาธิการ

วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่

โทร. 053 875 100 – 2 โทรสาร. 053 875 130

อีเมลล์: jfishtech.mju@gmail.com

เวปไซต์: http://http://www.fishtech.mju.ac.th/WEB/Journal_FT/main/index.php

วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง

Journal of Fisheries Technology Research

ปีที่ 14 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม พ.ศ. 2563

ISSN 1905-7393

ISSN Online 2730-146X

วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมงเป็นวารสารวิชาการ

และเป็นลิขสิทธิ์ของคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

มีวัตถุประสงค์เพื่อ

1.เผยแพร่ความรู้และผลงานทางวิชาการ โดยเน้นผลงานจากการวิจัยทางการประมงและทรัพยากรทางน้ำ ทั้งเชิงเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อม

2.เป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นทางวิชาการเชิงสร้างสรรค์

3.ส่งเสริมอาจารย์ นักวิชาการ นักวิจัย นักศึกษาและผู้ที่เกี่ยวข้องให้มีส่วนร่วมในการถ่ายทอดเทคโนโลยี เผยแพร่และบริการด้านวิชาการแก่สังคม

ข้อคิดเห็นที่ปรากฏและแสดงในเนื้อหาบทความต่างๆ ในวารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง ถือเป็นความเห็นและความรับผิดชอบโดยตรงของผู้เขียนโดยเฉพาะ ไม่จำเป็นต้องสอดคล้องกับทรรศนะของคณะผู้จัดทำ และมิใช่ความรับผิดชอบของคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ผู้ประสงค์จะนำข้อความใดๆ ไปพิมพ์เผยแพร่ต่อต้องได้รับอนุญาตจากวารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมงและผู้เขียนตามกฎหมายว่าด้วยลิขสิทธิ์

บทบรรณาธิการ

วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง ISSBN 1905-7393 (print) และ ISSBN 2730-146X (online) เป็นวารสารของคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ กำหนดออกปีละ 2 ฉบับ (มกราคมและกรกฎาคม) ของทุกปี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นสื่อกลางในการนำเสนอผลงานวิชาการให้กับนักวิจัย นักศึกษา บุคลากรเพื่อการเผยแพร่ข้อมูล นวัตกรรมและองค์ความรู้เชิงวิชาการระหว่างนักวิจัย นักวิชาการกับผู้ใช้ประโยชน์ทุกภาคส่วน เช่น เกษตรกร ภาคเอกชนและผู้สนใจ

วารสารฉบับนี้ประกอบด้วยเนื้อหาครอบคลุมที่ความรู้ด้านประมงและทรัพยากรทางน้ำที่หลากหลาย ได้แก่ การประยุกต์ใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ในการบำบัดน้ำทิ้งจากตู้เลี้ยงปลา การผลิตไรแดงและไรน้ำนางฟ้าไทยโดยใช้คลอเรลลาที่เลี้ยงจากน้ำทิ้งของระบบไฮโดรโปนิกส์ การติดหนอนพยาธิในปลาหมอช้างเหยียบ ความหลากหลายทางพันธุกรรมและสมรรถนะของประชากรปลาดุกอุยผลกระทบจากการงดทำประมงปูม้าที่มีไข่นอกกระดองต่อชาวประมงขนาดเล็ก การประยุกต์ใช้แบบจำลองการเลือกจับสำหรับการทำประมงอวนล้อมจับปลาทูน่าของไทย การผลิตปลาส้มจากวัสดุเศษเหลือในอุตสาหกรรมแปรรูปปลาส้ม การใช้ยีสต์สำเร็จรูปในการปรับปรุงคุณภาพกากมันสำปะหลัง ผลของสารผสมจากสารสกัดสาหร่ายน้ำจืดต่อการลดระดับน้ำตาลและไขมัน

ในนามคณะกรรมการกองบรรณาธิการฯ ต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อผู้เขียนผลงาน คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิที่พิจารณาผลงาน คณะกรรมการวิชาการของคณะฯ และผู้ประสานงาน ในนามตัวแทนกองบรรณาธิการและกรรมการท่านอื่น ๆ ที่ไม่สามารถเอ่ยนามได้หมด ตลอดจนผู้ให้การสนับสนุนจากหลายฝ่ายด้วยกัน ที่สามารถเป็นการส่งเสริมคุณภาพวารสารและดำเนินการจนทำให้วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมงฉบับนี้ เป็นวารสารวิชาการเข้าสู่ระบบฐานข้อมูลวารสาร ASEAN Citation Index (ACI) ทำให้สามารถสืบค้นบทความได้จาก http://www.asean-cites.org/ และระบบฐานข้อมูลวารสารไทย ที่สามารถสืบค้นได้จากหน้าเว็บไซต์วารสาร ที่ http://www.fishtech.mju.ac.th/FishNew1/Journal_FT หรือเว็บไซต์ของศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย ที่ http://tci/trf.or.th นำไปสู่การส่งเสริมคุณภาพวารสารและเผยแพร่ผลงานทางวิชาการที่ตีพิมพ์ในวารสาร ซึ่งเป็นการเพิ่มคุณค่าต่อการนำประโยชน์ต่อการศึกษาด้านวิชาการและวงการวิชาชีพด้านการประมงและทรัพยากรทางน้ำได้อย่างมั่นคงต่อไป

กองบรรณาธิการ

การประยุกต์ใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ในการบำบัดน้ำทิ้งจากตู้เลี้ยงปลาน้ำจืด

The application of titanium dioxide (TiO_2) for treating the effluent from freshwater aquarium

วิณากร ที่รัก

Winakron Theerak

สำนักส่งเสริมการเรียนรู้และบริการวิชาการ, งานวิชาศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ประเทศไทย 13180

Office of Learning Promotion and Academic Services, General education, Valaya Alongkorn Rajabhat University , Khlong Luang District, Pathum Thani Province, Thailand 13180

Corresponding author: catfish406@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ในการบำบัดน้ำทิ้งจากตู้ปลาน้ำจืด โดยศึกษาจำนวนชั้นที่เคลือบและระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัด การทดลองวางแผนแบบ 4x4 factorial in Completely randomized design ประกอบด้วย 16 ทรีตเมนต์ ๆ ละ 3 ซ้ำโดย TiO_2 ถูกเคลือบบนลูกแก้วทรงกลมต่างกัน 4 แบบ ได้แก่ไม่เคลือบ เคลือบ 1 ชั้น 2 ชั้นและ 3 ชั้น และระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัด 4 ช่วงเวลา ได้แก่ 3, 6, 9 และ 12 ชั่วโมงโดยเมื่อครบเวลาทำการเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำ ได้แก่ สีและกลิ่นของน้ำ ค่า TDS อุณหภูมิน้ำ ค่า pH ค่า DO ค่าอัลคาไลนิตี้ และ ค่า BOD ผลการทดลอง พบว่า ตัวชี้วัดส่วนใหญ่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ยกเว้นค่าอัลคาไลนิตี้ จำนวนชั้น TiO_2 ที่เคลือบบนลูกแก้วและระยะเวลาในการบำบัดมีผลต่อคุณภาพน้ำ โดยพบว่าจำนวนชั้นที่มากขึ้นทำให้ใช้เวลาในการบำบัดลดลง กล่าวคือ การเคลือบจำนวน 1 ชั้น ใช้เวลาอย่างน้อย 12 ชั่วโมง การเคลือบ 2 ชั้น ใช้ระยะเวลาอย่างน้อย 9 ชั่วโมงและการเคลือบจำนวน 3 ชั้นใช้ระยะเวลาอย่างน้อย 3 ชั่วโมงจึงเห็นความแตกต่างจากทรีตเมนต์ที่ไม่ใช้ ทั้งนี้พบว่าการเคลือบ 3 ชั้น และใช้เวลา 12 ชั่วโมงให้ผลดีที่สุดจึงสรุปได้ว่า TiO_2 สามารถบำบัดน้ำทิ้งจากตู้ปลาน้ำจืดได้

คำสำคัญ: ไทเทเนียมไดออกไซด์ การบำบัดน้ำทิ้ง ตู้ปลาน้ำจืด

Abstract

The objective of this research was to apply the titanium dioxide (TiO_2) for treating the effluent from freshwater aquarium. The various layers coating and different periods of treatment were studied. The experiment was consisted of 16 treatments with 3 replications. The titanium dioxide was coated on glass balls with 4 different coated layers; uncoated, single-, double-, and triple- coated layers. There were 4 periods of treatment; 3, 6, 9, and 12 hours. Water quality such as color, odor, total dissolved solids (TDS), temperature, pH, DO, alkalinity, and BOD were recorded. The results

showed that most parameters were significantly different ($p<0.01$) except the alkalinity. The results showed that number of coated layer and period of treatment affected on water quality. It was found that more layers spent less time for the effective treatment; single coated layer took 12 hours, double coated layer took 9 hours, and triple coated layer took 3 hours. However, triple coated layer with 12-hour treatment was the best. In conclusion, TiO_2 can be utilized for treating the effluent from freshwater aquarium.

Keywords: titanium dioxide, effluent treatment, freshwater aquarium

บทนำ

การเลี้ยงปลาสวยงามนิยมเลี้ยงในตู้หรือภาชนะที่มีพื้นที่จำกัด ปลาที่เลี้ยงได้รับอาหารจากการให้โดยตรงเพื่อการเจริญเติบโต เนื่องจากมี Primary producer จำกัด หากต้องการให้ปลาเจริญเติบโตเร็ว ผู้เลี้ยงต้องให้อาหารเต็มที่ การให้อาหารเต็มที่อาจทำให้อาหารเหลือตกค้างและสิ่งขับถ่ายของปลาย่อมมากตามปริมาณอาหารที่ให้ สารอินทรีย์ในอาหารทำให้ความต้องการออกซิเจนมากขึ้น อาจทำให้น้ำขาดออกซิเจนได้ ของเสียที่ปลาขับถ่ายออกมา ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แอมโมเนีย (NH_3) ฟอสฟอรัส และสารอาหารต่าง ๆ การที่มีสารเหล่านี้ปริมาณมากในน้ำทำให้เกิดน้ำเสียส่งผลให้เป็นพิษต่อปลา โดยเฉพาะการเลี้ยงในตู้ น้ำไม่มีการแลกเปลี่ยนของเสียกับดิน น้ำเสียเหล่านี้มีทั้งฟอสฟอรัสและไนโตรเจนที่สามารถเกิดกระบวนการยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ส่งผลให้ปลาตาย (Tantunwet and Pornprapa,1996) ผู้เลี้ยงจึงต้องเปลี่ยนน้ำในตู้หรือภาชนะเป็นประจำอาจทำทุก 7 – 15 วัน หรือเมื่อคุณภาพน้ำไม่เหมาะสมหรือไม่เป็นไปตามมาตรฐาน ดังนั้นจึงมีการจัดการคุณภาพน้ำให้เหมาะสมและชะลอการเปลี่ยนน้ำ เช่น การใช้จุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำ และการใช้สารเคมี ซึ่งการจัดการคุณภาพน้ำที่ดีในปัจจุบัน คือการจัดการด้วยระบบน้ำหมุนเวียน ซึ่งระบบน้ำหมุนเวียนเป็นระบบที่ทำให้น้ำสะอาดตามหลักการจัดการคุณภาพน้ำโดยเน้นการจัดการเชิงชีวภาพที่ประกอบด้วยระบบการกรอง ระบบจุลินทรีย์ เพื่อให้ได้น้ำหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ ระบบนำหมุนเวียนยังช่วยป้องกันเชื้อโรคจากกระบวนการเลี้ยงได้ (Mengampan, 2005 and Tapparangsi, 2005) ถือว่าเป็นระบบที่ดี และนอกจากนี้ยังมีการใช้วัสดุนาโนในการจัดการคุณภาพน้ำโดยเฉพาะน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ

วัสดุนาโน (Nanomaterials) เป็นวัสดุที่กำลังดึงดูดความสนใจของนักวิทยาศาสตร์ทั่วโลกในช่วงทศวรรษนี้อย่างมากมาย วัสดุนาโนสามารถทำการปฏิวัติงานด้านวัสดุศาสตร์ให้เกิดขึ้นและนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมหาศาลโดยผ่านโครงสร้างในระดับอะตอมซึ่งเป็นตัวควบคุมสมบัติทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ สมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมี เช่น สภาพแม่เหล็กตัวกระตุ้นปฏิกิริยา หรือพฤติกรรมทางแสงเป็นต้นวัสดุนาโนที่สนใจกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันก็คือ ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide; TiO_2) เนื่องมาจากมีสมบัติโฟโตแคตะไลติก (Photocatalytic) ที่ดีภายใต้แสงอัลตราไวโอเลตหรือแสงยูวี (Ultraviolet; UV) ไม่มีรายงานความเป็นพิษและราคาถูก (Fujishima *et al.*, 2000) มีนักวิจัยนำเทคนิคโฟโตแคตะไลติก (Photocatalytic) มาประยุกต์ใช้สำหรับบำบัดน้ำดื่ม ซึ่งมีการศึกษาวิจัยมากกว่า 10 ปีแล้ว โดยสารสังเคราะห์จากไทเทเนียมได-ออกไซด์ที่มีสมบัติทางด้านโฟโตแคตะลิสต์ที่ดี เริ่มจากเมื่อมีแสงมากระทบไทเทเนียมไดออกไซด์ อิเล็กตรอนจะ

ถูกกระตุ้นจาก valence band ไป conduction band และส่งต่ออิเล็กตรอนนี้ไปยังโมเลกุลออกซิเจนที่ซึมซับอยู่ที่ผิวของอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ ส่งผลให้โมเลกุลของออกซิเจนมีพลังงานเพิ่มขึ้น และเรียกออกซิเจนตัวนี้ว่าซุปเปอร์ออกไซด์เรดิคอลแอนไอออน (O_2^-) กระบวนการที่ถูกกระตุ้นนี้เกิดขึ้นหลังจากเกิดช่องว่าง (Vacancy) เมื่อประจุบวกหลุดออกไปหรือที่เรียกว่า hole (h^+) และ h^+ นี้ทำให้เกิดการ oxidizing อย่างรุนแรงหรือทำให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคอล (OH•) จากนั้นซุปเปอร์ออกไซด์เรดิคอลแอนไอออนกับไฮดรอกซิลเรดิคอลนี้จะไปสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ แตกตัวออกกลายเป็นน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ จึงสามารถนำไทเทเนียมไดออกไซด์ใช้ฆ่าเชื้อโรค เช่น เชื้อแบคทีเรียและเชื้อรา รวมทั้งบำบัดน้ำเสียได้ (Agustina *et al.*, 2006) สำหรับการวิจัยครั้งนี้เป็นการประยุกต์ใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนลูกแก้ว เพื่อใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากตู้เลี้ยงปลาน้ำจืด ซึ่งเป็นการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ โดยการเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์บนลูกแก้วความหนาระดับต่างกัน ทำการทดสอบที่ระยะเวลาต่างกันว่าส่งผลต่อคุณภาพน้ำอย่างไร ซึ่งงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้เลี้ยงปลา และการจัดการน้ำเสียต่อไป

วิธีการทดลอง

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงการทดลอง วางแผนการทดลองแบบ 4x4 factorial in Completely randomized design มี 16 ทรีตเมนต์ ๆ ละ 3 ซ้ำ โดยทดสอบกับน้ำทิ้งจากตู้ปลาที่ระยะเวลาต่างกัน คือ ทุก 3, 6, 9 และ 12 ชั่วโมง แต่ละชุดการทดลองเป็นดังนี้

ทรีตเมนต์ที่ 1 ลูกแก้วไม่เคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เวลา 3 ชั่วโมง (Control)
ทรีตเมนต์ที่ 2 ลูกแก้วไม่เคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เวลา 6 ชั่วโมง(Control)
ทรีตเมนต์ที่ 3 ลูกแก้วไม่เคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เวลา 9 ชั่วโมง (Control)
ทรีตเมนต์ที่ 4 ลูกแก้วไม่เคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เวลา 12 ชั่วโมง (Control)
ทรีตเมนต์ที่ 5ลูกแก้วเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ 1 ชั้นที่เวลา 3 ชั่วโมง
ทรีตเมนต์ที่ 6 ลูกแก้วเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ 1 ชั้นที่เวลา 6 ชั่วโมง
ทรีตเมนต์ที่ 7 ลูกแก้วเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ 1 ชั้นที่เวลา 9 ชั่วโมง
ทรีตเมนต์ที่ 8 ลูกแก้วเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ 1 ชั้นที่เวลา 12 ชั่วโมง
ทรีตเมนต์ที่ 9 ลูกแก้วเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ 2 ชั้นที่เวลา 3 ชั่วโมง
ทรีตเมนต์ที่ 10 ลูกแก้วเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ 2 ชั้นที่เวลา 6 ชั่วโมง
ทรีตเมนต์ที่ 11 ลูกแก้วเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ 2 ชั้นที่เวลา 9 ชั่วโมง
ทรีตเมนต์ที่ 12 ลูกแก้วเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ 2 ชั้นที่เวลา 12 ชั่วโมง
ทรีตเมนต์ที่ 13 ลูกแก้วเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ 3 ชั้นที่เวลา 3 ชั่วโมง
ทรีตเมนต์ที่ 14 ลูกแก้วเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ 3 ชั้นที่เวลา 6 ชั่วโมง
ทรีตเมนต์ที่ 15 ลูกแก้วเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ 3 ชั้นที่เวลา 9 ชั่วโมง
ทรีตเมนต์ที่ 16 ลูกแก้วเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ 3 ชั้นที่เวลา 12 ชั่วโมง

1.การสังเคราะห์และเตรียมไทเทเนียมไดออกไซด์

ดำเนินการเตรียมไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีการโซล-เจล แล้วนำไปเคลือบบนลูกแก้วทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.40 เซนติเมตร ด้วยวิธีการแบบจุ่มเคลือบจำนวนชั้นในการจุ่ม 1, 2 และ 3 ชั้น หลังจากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงเก็บในภาชนะไม่ให้โดนแสง (ดัดแปลงจาก Sangchay, 2013)

2. การเตรียมน้ำทิ้งจากปลาทอง

เลือกปลาที่แข็งแรงไม่เป็นโรค นำปลาทองขนาด 4-5 นิ้ว จำนวน 20 ตัว เลี้ยงในตู้ที่มีคุณภาพน้ำวิเคราะห์ก่อนการทดลอง ได้แก่ ไม่มีกลิ่นคาวปลา สีมีความใส ไม่มีตะกอนแขวนลอยในน้ำ อุณหภูมิน้ำ 27.32 ^{0}C , ค่า pH 7.86, ค่า DO 6.32 mg/L, ค่าอัลคาไลนิตี้ 89.63 mg/L และไม่มีคลอรีนในน้ำ ซึ่งน้ำเหมาะสมในการเลี้ยงปลาทอง เลี้ยงในตู้ขนาด 36X16X18 นิ้ว เติมน้ำระดับความสูง 15 นิ้ว ปริมาตรน้ำ เท่ากับ 175.3 ลูกบาศก์เซนติเมตร ระยะเวลาเลี้ยงปลา 15 วัน นำน้ำจากตู้ที่ 15 วัน ทดสอบกับไทเทเนียมไดออกไซด์ (ตู้ไม่มีระบบบำบัดน้ำ) ใช้ระบบปั๊มหัวทรายในการเติมอากาศในตู้ปลา

3. การทดสอบไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบบนลูกแก้วทรงกลมต่อน้ำทิ้งจากตู้ปลา

นำน้ำทิ้งจากตู้ปลาที่ 15 วัน ใส่ในบีกเกอร์ 250 ml เติมลูกแก้วที่ผ่านการเคลือบตามชุดการทดลองจำนวน 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรน้ำและนำบีกเกอร์วางในตู้เพื่อรับแสง (UV-Vis) ขนาด 100 วัตต์ ที่มีความเข้มแสง 3.89 mW/cm^2 (หลอดไฟสีม่วงที่ใช้จับแมลง) โดยความยาวคลื่นยูวี (310-400 นาโนเมตร) เป็นเวลา 3, 6, 9 และ 12 ชั่วโมง ในระหว่างทดลองน้ำไม่มีการเคลื่อนที่และไม่มีการเติมอากาศ (สภาพน้ำนิ่ง) นำตัวอย่างน้ำวิเคราะห์คุณภาพน้ำบางประการ และบันทึกผลการทดลอง (ดัดแปลงจาก Sangchay, 2013) ทำซ้ำจนกว่าจะได้ผลที่ชัดเจน

4. การบันทึกข้อมูลคุณภาพน้ำ

4.1 คุณภาพน้ำทางกายภาพ ได้แก่

4.1.1 สีของน้ำ ด้วยวิธีการเปรียบเทียบกับน้ำก่อนการทดลองที่ไม่ได้ใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีการสังเกตสีน้ำปรากฏที่มีการเปลี่ยนแปลง

4.1.2 กลิ่นของน้ำ ด้วยวิธีการเปรียบเทียบกับน้ำก่อนการทดลองที่ไม่ได้ใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยการดมกลิ่นน้ำ

4.1.3 ของแข็งที่ละลายในน้ำ (TDS) โดยใช้เครื่อง TDS meter

4.1.4 อุณหภูมิน้ำ (Temp) โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์

4.2 คุณภาพน้ำทางเคมี ได้แก่

4.2.1 ค่าความเป็นกรด เป็นด่าง (pH) โดยใช้เครื่องpH meter

4.2.2 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) โดยใช้เครื่องDO meter

4.2.3 ปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำ (TAN) โดยใช้Test Kit

4.2.4 ค่าอัลคาไลนิตี้ (AKL) โดยใช้ Test Kit

4.2.5 ค่า BOD วิเคราะห์ด้วยวิธี APHA *et al.* (1998)

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลคุณภาพน้ำที่ได้วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลต่าง ๆ ระหว่างทรีตเมนต์ ด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

ผลการวิจัย

ผลการศึกษาการประยุกต์ใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ในการบำบัดน้ำทิ้งจากตู้เลี้ยงปลาน้ำจืด อธิบายได้ดังนี้

1. คุณภาพน้ำทางกายภาพ

จากการศึกษาคุณภาพน้ำทางกายภาพก่อนการทดลอง สีน้ำมีลักษณะสีเหลืองมีตะกอน กลิ่นคาวปลา ค่า TDS เท่ากับ 1,235.69 ppm และ อุณหภูมิน้ำ 28.02 ^{0}C เมื่อนำน้ำทิ้งจากตู้เลี้ยงปลาน้ำจืดทดลองบำบัดน้ำด้วย TiO_2 ที่เคลือบบนลูกแก้วจำนวนชั้นต่างกัน 3 ระดับ เวลาในการทดสอบต่างกัน 4 ช่วงในตู้ UV-Vis พบว่า สีน้ำ Treatment 1-4 ที่ไม่เคลือบ TiO_2 และ Treatment 5 และ 9 ที่เคลือบ TiO_2 1 ชั้น และ 2 ชั้น ที่เวลา 3 ชั่วโมง ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากน้ำทิ้งก่อนทำการทดลอง ส่วน Treatment อื่น ๆ สีน้ำมีการเปลี่ยนแปลง คือ สีน้ำใสมีตะกอน เมื่อดมกลิ่นน้ำ พบว่า Treatment 1-4 ที่ไม่เคลือบ TiO_2และ Treatment 5, 9 และ 13 ที่เคลือบ TiO_2 1, 2 และ 3 ชั้น ตามลำดับ ที่เวลา 3 ชั่วโมง ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากน้ำทิ้งก่อนทำการทดลอง ส่วน Treatment อื่น ๆ กลิ่นน้ำมีการเปลี่ยนแปลง คือ กลิ่นคาวปลาหายไป (Table 1)

ส่วนค่า TDS (Total Dissolved Solids) จากการทดลองเคลือบ TiO_2 ทุกระดับ และทุกระยะเวลาการทดลองมีความแตกต่างจากที่ไม่ใช้ TiO_2 โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) กล่าวคือ การเคลือบ TiO_2 จำนวนชั้นเท่ากันระยะเวลามากขึ้นทำให้ค่า TDS ลดลง และ การเคลือบ TiO_2 จำนวนชั้นมากขึ้นระยะเวลาที่มากขึ้นทำให้ค่า TDS ลดลง อุณหภูมิน้ำจากการทดลองเคลือบ TiO_2ทุกระดับและไม่เคลือบทุกระยะเวลาการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) กล่าวคือ เมื่อระยะเวลาการทดลองมากขึ้นทำให้อุณหภูมิน้ำสูงขึ้นตามไปด้วย (Table 1)

Table 1 Analysis of physical water quality of effluent from freshwater aquarium treating with TiO_2

Treatment	Color	Odor	TDS (ppm)	Temp (°C)
1	Yellow with sediment	+	1,205.67±6.43^{f}	28.24±0.89^{a}
2	Yellow with sediment	+	1,175.19±3.38^{ef}	30.15±0.17^{abcd}
3	Yellow with sediment	+	1,134.00±33.05^{def}	31.23±0.71^{d}
4	Yellow with sediment	+	1,083.33±59.77^{cde}	31.50±0.50^{d}
5	Yellow with sediment	+	1,057.00±84.34^{bcd}	28.37±0.64^{ab}
6	clear with sediment	+	1,041.67±75.69^{bcd}	30.38±0.53^{bcd}
7	clear with sediment	-	1,005.33±16.26^{abc}	31.57±0.41^{d}
8	clear with sediment	-	986.00±17.01^{abc}	31.13±2.02^{d}
9	Yellow with sediment	+	1,029.67±86.49^{bcd}	28.52±0.81^{ab}
10	clear with sediment	-	987.52±31.68^{abc}	30.19±0.32 ^{abcd}
11	clear with sediment	-	969.68±22.74^{ab}	30.88±0.78^{d}
12	clear with sediment	-	955.61±26.38^{ab}	31.90±0.10^{d}
13	clear with sediment	+	983.89±22.51^{abc}	28.78±0.70^{abc}
14	clear with sediment	-	949.44±31.00^{ab}	30.72±0.25^{cd}
15	clear with sediment	-	915.33±25.70^{a}	31.70±0.61^{d}
16	clear with sediment	-	896.68±27.93^{a}	31.73±1.55^{d}
F-test	-	-	**	**
SEM	-	-	0.29	0.21
% C.V.	-	-	8.70	4.23

Note: Mean±SD with the same letter in the same column are not significantly different ($p<0.01$) Analysis with DMRT, SEM is Standard Error of measurement, CV is Coefficient of variation

2. คุณภาพน้ำทางเคมี

จากการศึกษาคุณภาพน้ำทางกายภาพก่อนการทดลอง pH เท่ากับ 7.83 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) เท่ากับ 1.15 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณแอมโมเนียที่ละลายน้ำ (TAN) เท่ากับ 0.41 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าอัล-คาไลนิตี้ (ALK) เท่ากับ 68.00 มิลลิกรัม/ลิตร และ ค่าBOD (biochemical oxygen demand) เท่ากับ 462.38 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อนำน้ำทิ้งจากตู้เลี้ยงปลาน้ำจืดทดลองบำบัดน้ำด้วย TiO_2 ที่เคลือบบนลูกแก้วจำนวนชั้นต่างกัน 3 ระดับ เวลาในการทดสอบต่างกัน 4 ช่วงในตู้ UV-Vis พบว่าค่า pH มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) กล่าวคือ การเคลือบ TiO_2 ทุกระดับ ทำให้ค่า pH ของน้ำต่ำลง ยิ่งระยะเวลานานขึ้น pH ของน้ำยิ่งต่ำลง ต่างจากการไม่เคลือบ TiO_2 ระยะเวลาในการทดลองนานขึ้น pH ยิ่งสูงขึ้น ประมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) จากการทดลองเคลือบ TiO_2 ทุกระดับ และทุกระยะเวลาการทดลองมีความแตกต่างจากที่ไม่ใช้ TiO_2 โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) กล่าวคือ การ

เคลือบ TiO_2 จำนวนชั้นเท่ากันระยะเวลามากขึ้นทำให้ค่า DO สูงขึ้น และ การเคลือบ TiO_2 จำนวนชั้นมากขึ้นระยะเวลาที่มากขึ้นทำให้ค่า DO สูงขึ้น ส่วนการไม่เคลือบ TiO_2 ไม่ส่งผลทำให้คุณภาพน้ำเปลี่ยนแปลง และปริมาณแอมโมเนียที่ละลายน้ำ (TAN) และค่า BOD มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับค่า DO ส่วนค่าอัลคาไลนิตี้ (ALK) มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีความสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (Table2)

Table 2 Analysis of chemical water quality of effluent from freshwater aquarium treating with TiO_2

Treatment	pH	DO (mg/L)	TAN (mg/L)	AKL (mg/L)	BOD (mg/L)
1	7.93±0.10^{hi}	1.21±0.19^{g}	0.39±0.03^{gh}	68.38±1.52	454.04±3.68^{g}
2	7.98±0.05^{hi}	1.04±0.06^{g}	0.42±0.07^{gh}	68.67±0.58	444.32±3.06^{g}
3	8.17±0.14^{hi}	1.03±0.05^{g}	0.36±0.06^{gh}	68.37±0.47	443.67±3.47^{g}
4	8.39±0.22^{i}	1.16±0.30^{g}	0.47±0.06^{h}	68.34±0.57	436.34±5.03^{g}
5	7.76±0.15^{gh}	2.12±0.12^{f}	0.33±0.05^{fg}	68.64±0.54	393.67±8.15^{f}
6	7.04±0.12^{def}	3.02±0.10^{e}	0.14±0.05^{cde}	68.36±0.60	373.67±14.58^{def}
7	6.93±0.13^{cde}	3.91±0.13^{d}	0.10±0.01^{abcd}	68.31±0.62	368.00±12.77^{def}
8	6.68±0.17a^{bcde}	4.47±0.11^{c}	0.03±0.03^{abc}	68.35±0.56	346.61±17.79^{cd}
9	7.42±0.11^{fg}	2.35±0.15^{f}	0.25±0.05^{ef}	68.63±0.55	383.63±13.65^{ef}
10	6.59±0.34^{abcd}	4.30±0.35^{cd}	0.13±0.09^{bcd}	68.30±0.52	361.30±5.46^{de}
11	6.53±0.19a^{bc}	4.47±0.15^{c}	0.07±0.03^{abc}	68.33±0.58	329.76±18.25^{bc}
12	6.35±0.05^{ab}	4.97±0.06^{b}	0.02±0.04^{ab}	68.67±0.57	312.33±13.32^{ab}
13	7.14±0.34^{ef}	3.07±0.11^{e}	0.20±0.01^{de}	68.34±0.53	366.97±9.63^{def}
14	6.75±0.31^{bcde}	4.60±0.17^{bc}	0.07±0.03^{abc}	68.20±0.26	333.99±13.76^{bc}
15	6.28±0.07^{ab}	4.98±0.08^{b}	0.05±0.05^{abc}	68.36±0.39	312.00±12.49^{ab}
16	6.25±0.26^{a}	6.04±0.51^{a}	0.01±0.01^{a}	68.37±0.55	300.37±10.07^{a}
F-test	**	**	**	ns	**
SEM	0.32	0.71	0.91	0.05	0.37
% C.V.	10.02	49.93	83.21	0.22	13.54

Note Mean±SD with the same letter in the same column are not significantly different ($p<0.01$) Analysis with DMRT, SEM is Standard Error of measurement, CV is Coefficient of variation

อภิปรายผลการทดลอง

จากการทดลองประยุกต์ใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ในการบำบัดน้ำทิ้งจากตู้เลี้ยงปลาน้ำจืด โดยการใช้ TiO_2 เคลือบบนลูกแก้วระดับต่างกันบำบัดน้ำทิ้งจากตู้ปลาน้ำจืดระยะเวลาต่างกัน พบว่า TiO_2 ทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้น สามารถนำมาใช้ในการเลี้ยงปลาตู้น้ำจืดและสัตว์น้ำชนิดอื่น ๆ ได้ โดยการเคลือบจำนวนชั้นเท่ากัน ช่วงระยะเวลานานขึ้นส่งผลให้คุณภาพน้ำเปลี่ยนแปลงมากขึ้น และการเคลือบจำนวนชั้นมากขึ้นทำให้

คุณภาพน้ำเปลี่ยนแปลงมากขึ้น ดังนั้น TiO_2 สามารถใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากตู้ปลาน้ำจืดได้ สอดคล้องกับการศึกษาของ Foo and Hameed (2010); Chen *et al*. (2004); Hathaisamit, *et al*. (2017) และ Sarapunth, *et al*. (2016) กล่าวว่า TiO_2 ทำปฏิกิริยาโดยมีแสงยูวีร่วมในกระบวนการปรับสภาพน้ำ สามารถเปลี่ยนสารประกอบอินทรีย์ระเหย (VOCs) ที่มาเกาะอยู่บนผิวหน้าของสารเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ช่วยกำจัดเชื้อแบคทีเรีย ไวรัส เชื้อรา เชื้อโรคบางชนิดได้และปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดีขึ้น TiO_2 เกิดกระบวนการ Photocatalytic Oxidation ทำให้คุณภาพน้ำทางกายภาพและทางเคมี ได้แก่ สีของน้ำใสมากขึ้น กลิ่นคาว ค่า TDS และค่า BOD ลดลง ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสูงขึ้น และส่งผลต่อตัวชี้วัดคุณภาพน้ำตัวอื่น ๆ จากข้อมูลเห็นได้ว่ากลิ่นคาวของน้ำลดลงในระหว่างการศึกษา ซึ่งปัจจัยที่ทำให้เกิดกลิ่นคาว ได้แก่ เมือกปลา โปรตีนของเหลือจากอาหารที่กินและการขับถ่าย ซึ่งเป็นสารประกอบของไนโตรเจน กลิ่นคาวปลาลดลงเพราะจากการศึกษาพบว่าปริมาณแอมโมเนียที่ละลายน้ำลดลงและอุณหภูมิน้ำสูงขึ้น สาเหตุที่อุณหภูมิน้ำสูงขึ้นเพราะความร้อนที่เป็นปัจจัยร่วมจากหลอดไฟในตู้ UV-Vis ยิ่งชั่วโมงการทดลองมากขึ้นส่งผลทำให้อุณหภูมิน้ำสูงตามไปด้วย ส่งผลให้กลิ่นคาวของน้ำ และปริมาณแอมโมเนียที่ละลายน้ำลดลง เนื่องจากไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) แตกตัว และทำปฏิกิริยาในการจัดการของเสียได้มากขึ้น จากทรีตเมนต์ที่ 1-4 สาเหตุที่น้ำมีกลิ่นคาว เนื่องจากไม่มีไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) เป็นตัวทำปฏิกิริยาในการบำบัด สอดคล้องกับ Sangchay (2013) และ Tantunwet and Pornprapa (1996) กล่าวว่า กลิ่นคาวปลาในน้ำ เมื่อผ่านกระบวนการบำบัด ถ้าปริมาณแอมโมเนียที่ละลายน้ำลดลงส่งผลให้กลิ่นคาวปลาลดลงตามกัน และการแตกตัวของสารประกอบออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) สามารถทำปฏิกิริยาในการบำบัดของเสียได้ดีเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ยังมีคุณสมบัติในการย่อยสลายตะกอนหรือของแข็งที่ละลายน้ำ (TDS) ได้ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นการย่อยละลายพันธะทางเคมีของตะกอนยิ่งมากตามกัน จากการศึกษาเห็นได้ว่าคุณภาพน้ำดีขึ้นและอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำมาเลี้ยงปลาในระบบตู้น้ำจืดและระบบอื่น ๆ ได้ ซึ่งสอดคล้องกับ Mengampan (2005), Lueangphranee (2005) และ Boyd (1990) กล่าวว่าคุณภาพน้ำที่เหมาะสมในการเลี้ยงสัตว์น้ำ คือ อุณหภูมิน้ำ 25-30 องศาเซลเซียสปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) 5-8 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 6.5-9.0 และแอมโมเนียรวม (TAN) น้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นต้น

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองประยุกต์ใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ในการบำบัดน้ำทิ้งจากตู้เลี้ยงปลาน้ำจืด พบว่า คุณภาพน้ำยกเว้นค่าอัลคาไลนิตี้ของน้ำมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) กล่าวคือ จำนวนชั้น TiO_2 ที่เคลือบบนลูกแก้วและระยะเวลามีผลต่อคุณภาพน้ำ โดยการเคลือบจำนวน 1 ชั้น ใช้ระยะเวลา 12 ชั่วโมงจึงแสดงความแตกต่าง การเคลือบ 2 ชั้น ใช้ระยะเวลา 9 ชั่วโมงจึงแสดงความแตกต่าง แต่ที่ดีที่สุดคือ 12 ชั่วโมง ส่วนการเคลือบจำนวน 3 ชั้น ใช้ระยะเวลา 3 ชั่วโมงจึงแสดงความแตกต่าง แต่ที่ดีที่สุดคือ 12 ชั่วโมง ดังนั้น TiO_2 สามารถบำบัดน้ำทิ้งจากตู้ปลาน้ำจืดได้

เอกสารอ้างอิง

Agustina, T. E., Ang, H.M. and Vareek, V.K. 2006. A review of synergistic effect of photocatalysis and ozonation on waste water treatment. Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews, 6; 264–273.

APHA, AWWA and WPCF. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Ed, American Public Health Association, Washington, D.C.

Boyd, C.E. 1990. Water Quality in Ponds for Aquaculture. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University.

Chen, J., Liu, M., Zhang, J., Ying, X., and Jin, L. 2004. Photocatalytic degradation of organic wastes by electro chemically assisted TiO_2 photocatalytic system. Journal of Environmental Management, 70(1); 43-47.

Foo, K. Y., and Hameed, B. H. 2010. Decontamination of textile waste water via TiO_2/activated carbon composite materials. Advances in Colloid and Interface Science, 159(2), 130–143.

Fujishima, A., Rao T.N. and Tryk, D. A. 2000. Titanium dioxide photocalysis. Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews, 1, 1-21.

Hathaisamit, Kh., Teekasap, S. and Kaewkhao, J. 2017. Application of Titanium Dioxide (TiO2) Coated on Activated Carbon in Trough for Textile Industry Wastewater Treatment. EAU HERITAGE JOURNAL Science and Technology. 11 (1); 87-100 [in Thai]

Lueangphranee. 2005. Principles of aquaculture 2nd Edition Bangkok, Four face Publishing [in Thai]

Mengampan. 2005. Principles of aquaculture. Faculty of Fishery Technology and Aquatic Resources, Maejo University. Chiangmai Province [in Thai]

Sarapunth, S., Chaimoon, N. and Pengchai, P. 2016. Leachate Treatment with Titanium Dioxide (TiO_2). KKU Res J (GS) 16 (2); 36-48 [in Thai]

Sangchay, W. 2013. Synthesis of titanium oxide cleans and changes colors manually, Engineering Thesis Materials Engineering Faculty of Engineering. Prince of Songkla University [in Thai]

Tantunwet, M. and Pornprapa, P. 1996. Water quality management and waste water treatment in ponds, Thammasat Publishing. Bangkok [in Thai]

Tapparangsi, S. 2005. Nursery for young lobsters in the circulation water system. Faculty of Fisheries. Kasetsart University. [in Thai]

การผลิตไรแดงและไรน้ำนางฟ้าไทยโดยใช้คลอเรลลาที่เลี้ยงจากน้ำทิ้งของระบบไฮโดรโปนิกส์

Production of Water flea (*Moina macrocopa*) and Thai fairy shrimp (*Branchinella thailandensis*) by using *Chlorella* sp. Cultivated from Hydroponics Wastewater

จามรี เครือหงษ์ จงดี ศรีนพรัตน์วัฒน และสุรภี ประชุมพล

Jamree Khrueahong, Chongdee Srinoparatawatana and Surapee Prachumpon

ภาคเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ นครสวรรค์ 60000

Department of Agricultural Technology, Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology, Nakhon Sawan Rajabhat University, Muang district, Nakhon Sawan Province 60000

*Corresponding author. E-mail: aggie39_kku@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตไรแดงและไรน้ำนางฟ้าไทยโดยใช้คลอเรลลาที่เลี้ยงจากน้ำทิ้งของระบบไฮโดรโปนิกส์ วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design; CRD) 5 ซ้ำ ประกอบด้วย 5 ชุดการทดลอง ได้แก่ 1) ปุ๋ยเคมี (ชุดควบคุม) 2) ปุ๋ยเคมี 75%+น้ำทิ้งไฮโดรโปนิกส์ 25% 3) ปุ๋ยเคมี 50%+น้ำทิ้งไฮโดรโปนิกส์ 50% 4) ปุ๋ยเคมี 25%+น้ำทิ้งไฮโดรโปนิกส์ 75% 5) น้ำทิ้งไฮโดรโปนิกส์ 100% เป็นระยะเวลา 7 วัน เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า คลอเรลลาเจริญเติบโตได้สูงที่สุดในวันที่ 5 โดยชุดควบคุมมีจำนวนเซลล์สูงที่สุดเท่ากับ $22.65 \pm 0.04 \times 10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับสูตรที่ 2, 3, 4 และ 5 โดยมีจำนวนเซลล์เฉลี่ยเท่ากับ $21.99 \pm 0.04 \times 10^6$, $19.87 \pm 0.04 \times 10^6$, $16.35 \pm 0.05 \times 10^6$ และ $15.21 \pm 0.03 \times 10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ จากนั้นนำคลอเรลลาไปเลี้ยงไรแดงและไรน้ำนางฟ้า พบว่าผลผลิตของไรแดงและไรน้ำนางฟ้าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) จากการทดลองดังกล่าวจึงสรุปได้ว่าสามารถใช้น้ำทิ้งจากการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์นำมาเพาะคลอเรลลาเพื่อใช้ในการเลี้ยงไรแดงและไรน้ำนางฟ้าได้

คำสำคัญ : น้ำทิ้งจากการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์, เพาะเลี้ยงคลอเรลลา, ไรแดง, ไรน้ำนางฟ้าไทย

Abstract

The aim of this research was to study the production of Water flea (*Moina macrocopa*) and Thai fairy shrimp (*Branchinella thailandensis*) by using *Chlorella* sp. cultivated from hydroponics wastewater. The experimental design was Completely Randomized Design (CRD) with 5 replications. The experimental design used in this study was 5 treatments. These five treatments were chemical fertilizer (control; C100:H0), 75% chemical fertilizer+25% hydroponics wastewater (C75:H25), 50% chemical fertilizer+50% Hydroponics wastewater (C50:H50) , 25% chemical fertilizer+75% hydroponics waste water (C25:H75) and 100% hydroponics waste water (C0:H100)

for a period of 7 days. The result showed that *Chlorella* sp. peaked within 5 days, the highest cell number was found in the control (C100:H0) as 22.65±0.04x10^6 cells/ml, the numbers were significantly higher than C75:H25, C50:H50, C25:H75 and C0:H100 *Chlorella* sp. to be average of 21.99±0.04 x10^6, 19.87±0.04 x10^6, 16.35±0.05 x10^6 and 15.21±0.03 x10^6 cells/ml, respectively. Then cultured Water flea and Thai fairy shrimp with *Chlorella* sp., biomass did not significantly different (*p*>0.05). This experiment, it can be concluded that the utilization of wastewater hydroponic in *Chlorella* sp. for Water flea and Thai fairy shrimp culture was possible.

Keywords: Waste water Hydroponic, *Chlorella* sp., Water flea, Thai fairy shrimp

บทนำ

คลอเรลลาเป็นแพลงก์ตอนพืชที่นิยมนำมาเพาะขยายเพื่อใช้เป็นอาหารของแพลงก์ตอนสัตว์จำพวกไรแดง และไรน้ำนางฟ้า สามารถนำไปใช้ในการอนุบาลและเลี้ยงสัตว์น้ำเศรษฐกิจและสัตว์น้ำสวยงามได้ (Saengngam, 2010; Saengphan and Sanoamuang, 2009) ปัจจุบันนี้การเพาะขยายคลอเรลลานิยมใช้ปุ๋ยเคมีได้แก่ ยูเรีย (46-0-0) ปุ๋ยนา (16-20-0) ปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟต (0-46-0) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีรายงานการใช้ กากผงชูรส (อามิ-อามิ) กากน้ำตาล น้ำกากส่าเหล้าส่าเบียร์ รำละเอียด ยีสต์ขนมปัง กากถั่วเหลือง มูลสัตว์ต่าง ๆ และน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เพื่อเพาะขยายคลอเรลลา (Rottmann *et al*., 2003; Ratanapradit *et al*., 1993; Saengngam, 2010, Tavarutmaneekul *et al*., 1993; Lasuwong and Nualsri., 2005; Patakkhinang *et a*l., 2006) ซึ่งปัจจัยที่ทำให้คลอเรลลาเจริญเติบโตนั้น ได้แก่ แสง อุณหภูมิ สภาพแวดล้อม สารอาหาร เป็นต้น (Chittra and Benjamas, 2010; Wongrat, 1997) ธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับการเจริญเติบโต ได้แก่ คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก โบรอน เป็นต้น มีรายงานของ Solomonson and Vennesland (1972) พบว่า คลอเรลลาสามารถเจริญเติบโตได้ดีในน้ำที่มีปริมาณไนเตรทต่อฟอสฟอรัส 7:1 หากมีมากเกินไปจะทำให้การทำงานของเอนไซม์ nitrate reductase ถูกยับยั้ง ทำให้คลอเรลลาไม่เจริญเติบโตเท่าที่ควร เนื่องจากเอนไซม์ดังกล่าวควบคุมการสร้างเซลล์ของคลอเรลลา ในการปลูกผักแบบไม่ใช้ดิน (Hydroponic) มีการใช้ปุ๋ยดังกล่าวเพื่อให้พืชเจริญเติบโต (Libia and Fernando, 2012) และยังมีรายงานว่าสารละลายธาตุอาหารที่ผ่านการปลูกมาแล้วยังคงเหลืออยู่ประมาณร้อยละ 50 ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 70-120 และ 30-90 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (Tongaram, 2007) เช่นเดียวกับรายงานของ Bertoldi *et al* (2006) พบไนโตรเจนรวมประมาณ 253.37 มิลลิกรัมต่อลิตรและฟอสฟอรัส 35 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของคลอเรลลา ประกอบกับผู้วิจัยได้ทิ้งน้ำดังกล่าวไว้กลางแจ้งแล้วใส่หัวเชื้อคลอเรลาลงไปพบว่าน้ำเขียวมีสีเข้มขึ้น และเมื่อใช้ปุ๋ยเคมีในการเพาะขยายคลอเรลลาเลี้ยงไรน้ำนางฟ้าไทยไม่ประสบผลสำเร็จ เนื่องจากประสบปัญหาพิษจากแอมโมเนียที่เกิดจากการใช้ปุ๋ยเคมี หากใช้ปุ๋ยที่เหลือจากน้ำทิ้งจากการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ก็จะลดปัญหาดังกล่าว ดังนั้นจึงสนใจใช้ปุ๋ยที่เหลือจากน้ำทิ้งจากการปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิกส์มาใช้ประโยชน์ในการ

เพาะขยายคลอเรลลาเพื่อใช้เลี้ยงไรแดงและไรน้ำนางฟ้าซึ่งเป็นอาหารมีชีวิตที่สำคัญต่อการอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อนรวมถึงใช้เลี้ยงปลาสวยงามหลายชนิดได้อีกด้วย

วิธีการศึกษา

การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design; CRD) 5 ซ้ำ ประกอบด้วย 5 ชุดการทดลอง ดังต่อไปนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ปุ๋ยเคมี (ชุดควบคุม)

ชุดการทดลองที่ 2 ปุ๋ยเคมี 75%+น้ำทิ้งไฮโดรโปนิกส์ 25%

ชุดการทดลองที่ 3 ปุ๋ยเคมี 50%+น้ำทิ้งไฮโดรโปนิกส์ 50%

ชุดการทดลองที่ 4 ปุ๋ยเคมี 25%+น้ำทิ้งไฮโดรโปนิกส์ 75%

ชุดการทดลองที่ 5 น้ำทิ้งไฮโดรโปนิกส์ 100%

การเตรียมการทดลอง

1. เตรียมน้ำทิ้งจากการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ จากโรงเรือนปลูกผักไฮโดรโปนิกส์สาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ซึ่งปลูกผักสลัดกรีนโอ็ค เร็ดโอ็ค และกรีนคอส โดยใช้ระบบ NFT (Nutrient Film Technique) มีการใส่ปุ๋ยสูตร A B ทุกสัปดาห์ ปลูกพืชเป็นระยะเวลาประมาณ 2 เดือน วิเคราะห์ธาตุอาหารที่เหลือน้ำปุ๋ยดังกล่าว ได้แก่ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ตามวิธีการของ APHA (1992) จำนวน 5 รอบการผลิต จากนั้นรวมน้ำปุ๋ยดังกล่าวใส่รวมกันในถังขนาด 500 ลิตร

2. เตรียมหัวเชื้อคลอเรลลาและไรแดงจากศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดอุทัยธานี ใช้คลอเรลลานำมาขยายเลี้ยงด้วยสูตรปุ๋ยของ Tavarutmaneekul *et al.* (1993) ส่วนไรแดงนำมาล่วงหน้า 1 วันทำการทดลอง

3. ชั่งปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) 12 กรัม ปุ๋ยนา (16-20-0) 12 กรัม ปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟต (0-46-0) 0.1 กรัม ปูนขาว 1 กรัม ใส่น้ำ 10 ลิตร ใช้ไม้กวนให้ปุ๋ยละลาย กรองสารละลายปุ๋ยด้วยถุงกรองขนาด 60 ไมครอน

4. ไข่ไรน้ำนางฟ้าไทยฟักตามวิธีการของ Khrueahong *et al.* (2016) เลี้ยงด้วยคลอเรลลาความหนาแน่นเซลล์หลังจากให้ 1×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร โดยให้อาหารเป็นระยะเวลา 5 วัน ได้ขนาดตัวประมาณ 1.25±0.05 เซนติเมตร

วิธีการทดลอง

1. สุ่มเติมน้ำปุ๋ยที่เหลือจากการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์และปุ๋ยวิทยาศาสตร์ตามแผนการทดลอง (Table 1) ลงขวดรูปชมพู่ 250 มิลลิลิตรจำนวนทั้งหมด 25 ขวด

2. เติมหัวเชื้อคลอเรลลาลงไปในขวดรูปชมพู่ปริมาตร 125 มิลลิลิตรเติมน้ำกลั่นให้ครบ 250 มิลลิลิตรครบทุกขวด ใส่สายลมที่ผ่านปิเปตลงในขวดใบละ 1 อัน เปิดลมตลอดเวลา

3. ขยายคลอเรลลาในห้องปฏิบัติการโดยวางขวดรูปชมพู่ 3 แถวบนชั้นเลี้ยงแพลงก์ตอนที่มีหลอดไฟฟลูออเรสเซนท์ 36 วัตต์ 4 หลอด เปิดไฟ 24 ชั่วโมง

4. ทำการสุ่มตัวอย่างน้ำเพื่อเช็คปริมาณคลอเรลลาในขวดรูปชมพู่ทุกใบตามวิธีการของ Wongrat (1997) เช็คการเจริญเติบโตของคลอเรลลาทุกวันเวลา 12.00 น. ตรวจสอบคุณภาพน้ำ ได้แก่ อุณหภูมิ ความเป็นกรด- ด่าง (pH) เป็นระยะเวลา 7 วัน

5. เพาะเลี้ยงคลอเรลลาตามแผนการทดลองเป็นระยะเวลา 4 วันและปล่อยไรแดงปริมาณ 0.2 กรัมต่อคลอเรลลา 1 ลิตรเป็นระยะเวลา 4 วันและเก็บผลผลิตครั้งเดียวโดยชั่งน้ำหนักเปียก และตรวจสอบคุณภาพน้ำ ได้แก่ อุณหภูมิ ความเป็นกรด- ด่าง (pH) ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) ความเป็นด่าง (alkalinity) ความกระด้าง (hardness) แอมโมเนียไนโตรเจนรวม (total ammonia nitrogen) และไนไตรท์ (nitrite; APHA, 1992)

6. เพาะเลี้ยงคลอเรลลาตามแผนการทดลองเป็นระยะเวลา 7 วัน เพื่อลดปริมาณสารแอมโมเนียที่เกิดจากปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของ Saengphan (2006) จากนั้นนับไรน้ำนางฟ้าไทยอายุ 5 วัน จำนวน 30 ตัวลงในโหลแก้วมีน้ำปริมาณ 1 ลิตร ให้คลอเรลลา 1-5 วันแรกมื้อละ 2 มิลลิลิตร ไรน้ำนางฟ้าไทยอายุ 5-10 วัน มื้อละ 5 มิลลิลิตร วันละ 3 มื้อเวลา 8.00, 12.00 และ 16.00 น. มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ 50 เปอร์เซ็นต์ทุกวัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองเก็บผลผลิตโดยชั่งน้ำหนักเปียก ตรวจสอบคุณภาพน้ำเช่นเดียวกับการเลี้ยงไรแดง

7. นำข้อมูล ได้แก่ การเจริญเติบโตของคลอเรลลาในแต่ละวัน ผลผลิตไรแดง ผลผลิตไรน้ำนางฟ้าและคุณภาพของการเลี้ยงไรแดงและไรน้ำนางฟ้าไทย วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างชุดทดลองด้วยวิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

Table 1 Fertilizer formulation for cultivation of *Chlorella* in laboratory

Formula	Chemical fertilizer (ml)	Hydroponics waste water (ml)	Concentrated *Chlorella* (ml)	Total (ml)	C:H
1	125	0	125	250	C100:H0
2	112.5	37.5	125	250	C75:H25
3	75	75	125	250	C50:H50
4	37.5	112.5	125	250	C25:H75
5	0	125	125	250	C0:H100

ผลการศึกษา

ปริมาณธาตุอาหารที่เหลือจากน้ำทิ้งจากการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ ธาตุไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 218.13±5.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และฟอสฟอรัสมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 201.76±10.12 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนการเปรียบเทียบสูตรอาหารที่ใช้ในวันเดียวกันพบว่า การใช้ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว (ชุดควบคุม) มีการเพิ่มจำนวนของคลอเรลลามากกว่าอย่างมีนัยสำคัญกับชุดการทดลองอื่น ๆ ตั้งแต่วันที่ 1 ของการเพาะเลี้ยง และเพิ่มจำนวนมากที่สุดในวันที่ 5 ของการเลี้ยงเท่ากับ $22.65\pm0.04\times10^{6}$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร มากกว่าสูตรที่ 2 ที่ใช้น้ำปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับน้ำทิ้งปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์ 25 เปอร์เซ็นต์ จำนวนเซลล์ของคลอเรลลาเท่ากับ $21.99\pm0.04\times10^{6}$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร และมากกว่าปุ๋ยสูตรที่ 3, 4 และ 5 จำนวนเซลล์ของคลอเรลลาเท่ากับ $19.87\pm0.04\times10^{6}$

16.35±0.05 x10^6 และ 15.21±0.03 x10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ (Table 2; Figure 1)

Table 2 The amount of *Chlorella* sp. cultured by wastewater hydroponic with chemical fertilizer

days	*Chlorella* sp. (10^6cells/ml)				
	C100:H0(control)	C75:H25	C50:H50	C25:H75	C0:H100
0	4.46±0.05[a]	4.48±0.04[a]	4.47±0.05[a]	4.46±0.06[a]	4.48±0.05[a]
1	5.84±0.05[a]	5.57±0.08[b]	4.98±0.05[c]	4.95±0.04[c]	4.75±0.04[d]
2	8.20±0.03[a]	7.85±0.03[b]	7.67±0.02[c]	6.48±0.04[d]	6.22±0.05[e]
3	10.72±0.05[a]	10.63±0.04[b]	10.25±0.06[d]	10.54±0.04[c]	9.73±0.04[e]
4	18.99±0.07[a]	18.15±0.04[b]	16.31±0.04[c]	13.78±0.07[d]	13.77±0.04[d]
5	22.65±0.04[a]	21.99±0.04[b]	19.87±0.04[c]	16.35±0.05[d]	15.21±0.03[e]
6	14.95±0.05[a]	14.67±0.03[b]	14.15±0.02[c]	13.74±0.03[d]	13.26±0.02[e]
7	13.88±0.07[a]	12.98±0.05[c]	13.20±0.05[b]	12.31±0.04[d]	13.25±0.05[b]

Note: Different letters in the same row show significantly different (P<0.05)

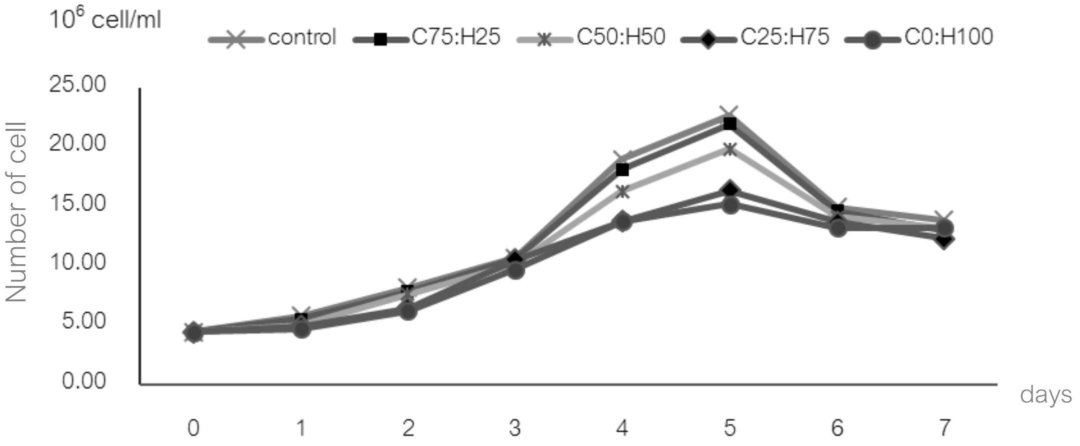


Figure 1 Growth curve of *Chlorella* sp. in different fertilizer formula

ผลผลิตของไรแดงพบว่า ชุดควบคุมที่ใช้ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวให้ผลผลิตมากที่สุด เท่ากับ 0.52±0.07 กรัมต่อลิตร รองลงมาคือ สูตรที่ 2 ที่ใช้น้ำปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับน้ำทิ้งปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์ 25 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลผลิตไรแดงเท่ากับ 0.47±0.05 กรัมต่อลิตร ส่วนปุ๋ยสูตรที่ 3 และ 4 ให้ผลผลิตเท่ากับคือ 0.45 กรัมต่อลิตร และสูตรที่ 5 ที่ใช้ปุ๋ยจากน้ำทิ้งปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์อย่างเดียวให้ผลผลิตน้อยที่สุดเท่ากับ 0.44±0.05 กรัมต่อลิตร แต่เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติของปุ๋ยแต่ละสูตร (p >0.05; Table 3 and Figure 2)

ผลผลิตไรน้ำนางฟ้าพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติของปุ๋ยแต่ละสูตร (p >0.05) ชุดควบคุมที่ใช้ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวให้ผลผลิตมากที่สุด เท่ากับ 1.03±0.11 กรัมต่อลิตร รองลงมาคือ สูตรที่ 5 ที่ใช้ปุ๋ยจากน้ำทิ้ง

ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์อย่างเดียว ให้ผลผลิตไรน้ำนางฟ้าเท่ากับ 0.94±0.13 กรัมต่อลิตร ใช้ปุ๋ยเคมี 50 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับน้ำทิ้งปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์ 50 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลผลิตไรน้ำนางฟ้า 0.87±0.08 กรัมต่อลิตร ใช้ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับน้ำทิ้งปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์ 25 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลผลิตน้อยที่สุดไรน้ำนางฟ้าเท่ากับ 0.86±0.05 กรัมต่อลิตร (Table 3 and Figure 2)

คุณภาพน้ำของการเลี้ยงไรแดงมีค่า pH 7.79-8.23 อุณหภูมิ 30.0-32.7 องศาเซลเซียส ออกซิเจนที่ละลายน้ำ 4.1-5.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นด่าง 125-152 มิลลิกรัมต่อลิตร ความกระด้าง 220-285 มิลลิกรัมต่อลิตร แอมโมเนียไนโตรเจนรวม 1.08-2.57 มิลลิกรัมต่อลิตร และไนไตรท์ 1.25-2.32 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนไรน้ำนางฟ้ามีค่า pH 7.83-7.92 อุณหภูมิ 28.5-30.4 องศาเซลเซียส ออกซิเจนที่ละลายน้ำ 4.5-5.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นด่าง 75-102 มิลลิกรัมต่อลิตร ความกระด้าง 80-94 มิลลิกรัมต่อลิตร แอมโมเนียไนโตรเจนรวม 0.93-1.14 มิลลิกรัมต่อลิตร และไนไตรท์ 0.045-0.052 มิลลิกรัมต่อลิตร

Table 3 Biomass of Water flea and Thai fairy shrimp cultured by *Chlorella* sp. in different fertilizer formulas

treatment	Biomass (g/L) dry basis	
	Water flea	Thai fairy shrimp
100:0 (control)	0.52±0.07 [a]	1.03±0.11 [a]
75:25	0.47±0.05 [a]	0.94±0.13 [a]
50:50	0.45±0.06 [a]	0.87±0.08 [a]
25:75	0.45±0.07 [a]	0.86±0.05 [a]
0:100	0.44±0.05 [a]	0.97±0.12 [a]

Note: Different letters in the same column show significantly different (p <0.05)

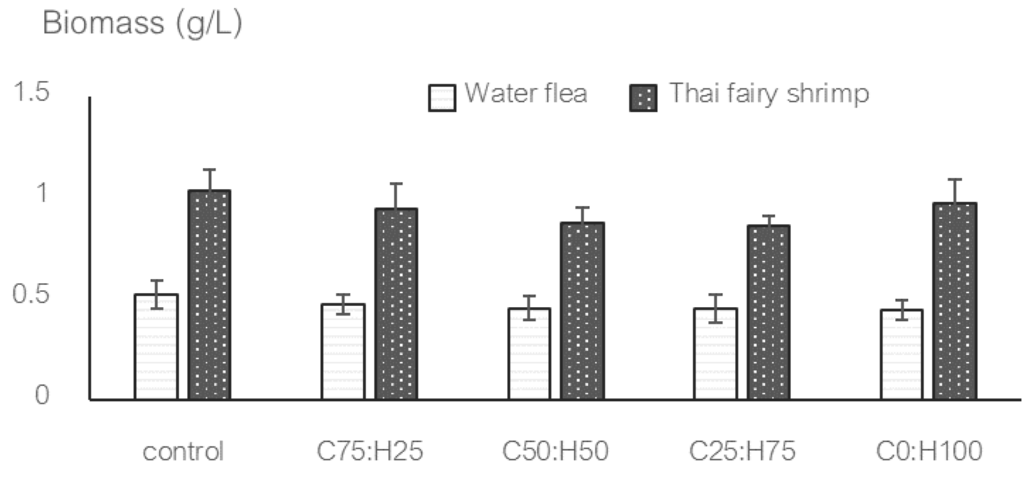


Figure 2 Biomass of Water flea and Thai fairy shrimp cultured by Chlorella sp. in different fertilizer formulas

สรุปและวิจารณ์

ปริมาณธาตุอาหารที่เหลือจากน้ำทิ้งจากการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ ธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 218.13±5.25 และ 201.76±10.12 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ มากกว่าในรายงานของ Tongaram (2007) พบธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสประมาณ 70-120 และ 30-90 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ แต่น้อยกว่าปริมาณปุ๋ยใช้เพาะคลอเรลลาของ Tavarutmaneekul *et al.* (1993) ใช้ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร และปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟต (0-46-0) 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณปุ๋ยดังกล่าวส่งผลให้ปุ๋ยชุดควบคุมมีจำนวนเซลล์ของคลอเรลลาเจริญเติบโตดีกว่าน้ำทิ้งปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์ 100 เปอร์เซ็นต์ (Table 2; Figure 1) ซึ่งจากการทดลองนี้พบว่าระยะการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนในระยะ lag phase อยู่ในวันที่ 1-2 และเข้าสู่ระยะ log phase ในวันที่ 3 และระยะ retardation phase ในวันที่ 4 และเข้าสู่ระยะ stationary phase ในวันที่ 5 และเข้าสู่ระยะ death phase ในวันที่ 6 ทั้งนี้เนื่องมาจากธาตุอาหารลดลงและเซลล์ของคลอเรลลาจะลดจำนวนลงเช่นเดียวกัน (Wongrat, 1997) การเข้าสู่ระยะ retardation phase เวลาช้ากว่ารายงานของ Saengngam (2010) และ Ratanapradit *et al.* (1993) ที่เข้าสู่ระยะเวลาดังกล่าววันที่ 3 ผลผลิตของไรแดง ชุดควบคุมที่ใช้ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวให้ผลผลิตมากที่สุด เท่ากับ 0.52±0.07 กรัมต่อลิตร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติแต่ชุดการทดลอง (p >0.05; Table 3) ซึ่งผลผลิตดังกล่าวน้อยกว่ารายงานของ Lasuwong and Nualsri (2005) ที่ให้ผลผลิตไรแดง 0.74-0.91 กรัมต่อลิตร Patakkhinang *et al.* (2006) ผลผลิตไรแดง 0.73-0.84 กรัมต่อลิตร แต่เป็นการเลี้ยงไรแดงในบ่อซีเมนต์กลางแจ้ง ผลผลิตไรแดงไม่มีความแตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากเป็นการเก็บผลผลิตไรแดงครั้งเดียวและจำนวนเซลล์ของคลอเรลลาเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของไรแดง ส่วนคุณภาพน้ำได้แก่ pH อุณหภูมิ องศาเซลเซียส ออกซิเจนที่ละลายน้ำ ความเป็นด่าง ความกระด้าง ของการเลี้ยงไรแดงเป็นค่าที่เหมาะสมและใกล้เคียงในแต่ละชุดการทดลอง ถึงแม้ว่าจะการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวของชุดควบคุมจะมีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนรวมและไนไตร์ทสูงกว่าชุดอื่น ๆ ก็ไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตไรแดง แม้จะทำให้ผลผลิตมีแนวโน้มลดลงเมื่อจำนวนเซลล์ของคลอเรลลาน้อยลง เช่นเดียวกับผลผลิตไรน้ำนางฟ้าไทยที่ให้อาหารโดยใช้คลอเรลลาจากปุ๋ยเคมีอย่างเดียวเท่ากับ 1.03±0.11 กรัมต่อลิตรไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติแต่ชุดการทดลอง (p >0.05; Table 3) ผลผลิตดังกล่าวน้อยกว่ารายงานของ Saengphan and Sanoamuang (2009) ที่เลี้ยงไรน้ำนางฟ้าไทยความหนาแน่น 30 ตัวต่อลิตรเท่ากัน ให้อาหารโดยใช้คลอเรลลา ให้ผลผลิตสูงถึง 2.10±0.19 กรัมต่อลิตร ส่วนผลผลิตไรน้ำนางฟ้าไทยไม่มีความแตกต่างกันอาจเนื่องมาจากมีการให้อาหารที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงไรน้ำนางฟ้าไทย มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำทุกวัน ทำให้คุณภาพน้ำอยู่ในระดับที่เหมาะสมที่แอมโมเนียไนโตรเจนรวมไม่เกิน 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และไนไตร์ทไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 25-30 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดเป็นด่าง 6.5-9.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (Saengphan, 2006) ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้ปุ๋ยที่เหลือจากน้ำทิ้งจากการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์มาใช้ประโยชน์ในการเพาะขยายคลอเรลลาเพื่อใช้เลี้ยงไรแดงและไรน้ำนางฟ้าและเป็นการลดใช้ปุ๋ยเคมีในการเพาะขยายคลอเรลลา แต่การใช้น้ำทิ้งจากการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์นั้นในแต่ละรอบการผลิตจะมีธาตุอาหารที่แตกต่างกัน จำเป็นต้องมีการตรวจเช็คปริมาณแร่ธาตุที่เหลืออยู่ก่อนนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนายศรัณย์ เศวตมาลานนท์ และ นายบุณยกร พ่วงดี ในการเก็บข้อมูลเบื้องต้นทำให้ทราบแนวโน้มความเป็นไปได้ในการทำวิจัยต่อ ขอบคุณ สาขาเกษตรศาสตร์ (เทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ) ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ที่สนับสนุนสถานที่ อุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

APHA AWWA and WPCF. 1992. Standard methods for the examination of water and waste water.18th ed. Washington D.C. American Public Health Association.

Bertoldi, F.C., Sant' Anna, E., Costa Braga, M.V. da and Oliveira, J.L.B. 2006. Lipids, fatty acid composition and carotenoids of Chlorella vulgaris cultivated in hydroponic wastewater. Grasas y Aceites 57 (3): 270-274.

Chittra Y. and Benjamas C. 2010. Effect of nitrogen, salt, and iron content in the growth medium and light intensity on lipid production by microalgae isolated from freshwater sources in Thailand. J. Bioresource Technology 102: 3034-3040

Chiu, S. Y., Kao, C. Y., Chen, C. H., Kuan, T. C., Ong, S. C. and Lin, C. S. 2008. Reduction of CO_2 by a high-density culture of *Chlorella* sp. in a *semicontinuous photobioreactor*. Journal Bioresource Technology 99 (9): 3389-3396.

Lasuwong S. and Nualsri B.2005. Use of molasses for Water flea (*Moina macrocopa*) culture. Technical paper no. 22/2005, Nakhon Ratchasima Inland Fisheries Research and Development Center, Department of Fisheries, Ministry of Agriculture and Cooperatives.

Libia I. Trejo-Téllez and Fernando C. Gómez-Merino. 2012. Nutrient Solutions for Hydroponic Systems. [Online]. Available from http://cdn.intechopen.com/pdfs/33765/...solutions_for_hydroponic_systems.pdf [2019, April 4]

Patakkhinang S. Lasuwwong, S. and Nuansri, B. 2006. Culture of water flea (*Moina macrocopa*) by using cassava meal. Technical paper no. 45/2006, Nakhon Ratchasima Inland Fisheries Research and Development Center, Department of Fisheries, Ministry of Agriculture and Cooperatives. 117 p. [in Thai]

Ratanapradit, K. Prasertsan, P. Tunskul, P and Angsupanit S. 1993. Cultivation of *Chlorella* sp. in effluent from seafood processing plant. Master of science thesis, Graduate school, Prince of Songkla University. [in Thai]

Rottmann, R.W. Graves, S. J. Watson, C. and Yanong, R. P.E. 2003. Culture Techniques of *Moina*. Department of Fisheries and Aquatic Sciences, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. 1-9 pp.

Saengngam, S. 2010. Utilization of distillery slop in *Chorella* and Moina culture. Master of science thesis in fisheries, Graduate school, Khon Kaen University. [in Thai]

Saengphan, N. 2006. Culture of the Thai fairy shrimp. Suphanburi College of Agriculture and Technology, Danchang, Suphanburi Province, Thailand. 52 pp. [in Thai].

Saengphan, N., and Sanoamuang, L. 2009. Effect of food concentrations on growth and survival of the fairy shrimp *Branchinella thailandensis* Sanoamuang, Saengphan and Murugan. Burapha Science Journal Special Volume: 19-28.

Solomonson, L.P. and Vennesland, B. 1972. Nitrate reductase and chlorate toxicity in *Chlorella vulgaris*. Plant Physiology 50(4): 421-424.

Tavarutmaneekul, P., Saskul S. and Watcharakonyothin, T. 1993. Water flea (*Moina macrocopa*) culture. Department of Fisheries, Ministry of Agriculture and Cooperatives. 28 p. [in Thai]

Tongaram, D. 2007. Hydroponics: principles of production management and commercial production technology in Thailand. 3ed Edition. Dee kan pim Printing, Bangkok. 816 p. [in Thai]

Wongrat, L.1997. Manual of plankton culture. 1st Edition. Kasetsart University Printing, Bangkok. 117 p. [in Thai]

การติดหนอนพยาธิในปลาหมอช้างเหยียบจากอ่างเก็บน้ำหนองญาติ อำเภอเมือง จังหวัดนครพนม ปี 2560

Helminthic infection of Striped Tiger Nandid (*Pristolepis fasciata* Bleeker,1851) from Nong Yat Reservoir, Muang District, Nakhon Phanom Province, Year 2017

อดิเทพชัยย์การณ์ ภาชนะวรรณ[1*] อนวัทย์ ผาลี[1] จิราวรรณ คำธร[1] ณัฐนันท์ เที่ยงธรรม[1] และ วิจิตรตา อรรถสาร[1]

Adithepchaikarn Pachanawan[1*] Anawat Phalee[1] Jirawan Khamtorn[1] Nattanan Tiengtam[1] and Vijitta Atthasan[1]

[1]สาขาวิชาประมง คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม จังหวัดนครพนม ประเทศไทย 48000

[1]Fisheries program, Faculty of Agriculture and Technology, Nakhon Phanom University, Nakhon Phanom Province, Thailand 48000

*Corresponding author: kaipachanawan@gmail.com

บทคัดย่อ

การตรวจหาหนอนพยาธิในปลาหมอช้างเหยียบในอ่างเก็บน้ำหนองญาติ อำเภอเมือง จังหวัดนครพนม ระหว่างเดือน สิงหาคม – พฤศจิกายน พ.ศ. 2560 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความชุกและความหนาแน่นของหนอนพยาธิในปลาหมอช้างเหยียบ โดยทำการสุ่มจับปลาได้ทั้งหมด 50 ตัว ตรวจพบหนอนพยาธิทั้งหมด 8 ชนิด ได้แก่ พยาธิปลิงใส *Gyrodactylus* sp. พยาธิใบไม้ 2 ชนิด คือระยะติดต่อ metacercaria และระยะตัวเต็มวัย *Allocreadium* sp. พยาธิตัวตืด 1 ชนิด คือ *Senga* sp. พยาธิตัวกลม 1 ชนิด คือ *Camallanus* sp. พยาธิหัวหนาม 3 ชนิด คือระยะตัวอ่อน cystacanth, ระยะตัวเต็มวัย *Polymorphus* sp. และ *Pallisentis* sp. พบความชุกรวม ร้อยละ 46 โดยพบพยาธิหัวหนาม ระยะตัวอ่อน cystacanth มีความชุกมากที่สุดร้อยละ 14.00 และพบหนอนพยาธิที่มีความชุกน้อยที่สุดเท่ากันคือ ร้อยละ 2.00 ได้แก่ พยาธิใบไม้ระยะติดต่อ metacercaria, พยาธิหัวหนาม *Polymorphus* sp. และ *Pallisentis* sp. พยาธิตัวตืด *Senga* sp. และพยาธิตัวกลม *Camallanus* sp. สำหรับค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของหนอนพยาธิที่พบในปลาแต่ละตัวพบว่า ตัวเต็มวัย *Allocreadium* sp. มีความหนาแน่นเฉลี่ยมากที่สุด 17.60 ต่อปลาหนึ่งตัว ส่วน metacercaria มีค่าความหนาแน่นน้อยที่สุด ที่เท่ากันกับ *Camallanus* sp. และ *Pallisentis* sp.ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.00 ต่อปลาหนึ่งตัว จากการศึกษาในครั้งนี้ทำให้ทราบถึงการแพร่กระจายของหนอนพยาธิจึงควรมีการระมัดระวังในการบริโภคและหาแนวทางป้องกันการแพร่ระบาดต่อไป

คำสำคัญ : หนอนพยาธิ ปลาหมอช้างเหยียบ อ่างเก็บน้ำหนองญาติ จังหวัดนครพนม

Abstract

Helminthes in Striped Tiger Nandid (*Pristolepis fasciata* Bleeker,1851) were investigated in Nong Yat reservoir, muang district, Nakhon Phanom province between August to November 2017.The objective of this study was to determine the prevalence and intensity of helminthic infection in Striped Tiger Nandid. Fifty of fish were randomly collected in this study. Total eight species of helminths were found. One species monogenean; *Gyrodactylus* sp., two stages of trematodes as metacercarial stage and adult of *Allocreadium* sp.; one species of cestode, *Senga* sp.; one species of nematode, *Camallanus* sp.; three species of acanthocephalan as larval stage (cystacanth) and adult *Polymorphus* sp. and *Pallisentis* sp. The total prevalence infection was 46 %. The highest prevalence found the cystacanth 14%. The lowest prevalence found metacercaria 2% as same as acanthocephalan, *Polymorphus* sp. and *Pallisentis* sp.; one species of cestode, *Senga* sp. and one species of nematode, *Camallanus* sp. The intensity of helminths was found highest in *Allocreadium* sp., adult stage (17.60 per fish), and metacercaria had the lowest as same as *Camallanus* sp. and *Pallisentis* sp. were 1.00 per fish. Based on this study, information gained about the spread of helminths should be careful in consumption and find ways to prevent the zoonotic diseases.

Keyword: Helminths, Striped Tiger Nandid (*Pristolepis fasciata*), Nong Yat Reservoir, Nakhon Phanom Province

คำนำ

อ่างเก็บน้ำหนองญาติ เดิมทีเป็นหนองน้ำเล็ก ๆ ที่สายน้ำไหลจากหลายที่มารวมกัน จึงได้ชื่อว่า “หนองยาด” ชุมชนในอาณาบริเวณใกล้ ๆ จึงได้ใช้ประโยชน์ร่วมกันมาช้านาน แต่ด้วยฤดูฝนมักมีปัญหาเรื่องน้ำท่วมบ้านเรือนประชาชน กรมชลประทาน จึงทำระบบระบายน้ำให้ในปี 2534 แล้วเรียก “อ่างเก็บน้ำหนองญาติ” ทั้งที่สภาพเดิมไม่ได้เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากนัก และยังมีการบันทึกข้อมูลของกรมชลประทานว่า มีเนื้อที่ 4,950 ไร่ แต่ปัจจุบันคงเหลือเนื้อที่ประมาณ 2,500 ไร่ เนื่องจากการบุกรุกใช้พื้นที่ หนองญาติเป็นหนองน้ำสาธารณะประโยชน์เก่าแก่ของจังหวัดนครพนมเป็นที่ดินประเภทหวงห้าม มีสถานะเป็นสาธารณสมบัติของแผ่นดินที่พลเมืองใช้ประโยชน์ร่วมกัน อ่างเก็บน้ำหนองญาติ ในจังหวัดนครพนม จัดได้ว่าเป็นอ่างเก็บน้ำที่มีความสำคัญทั้งทางด้านเกษตรกรรม การประมง และปัจจุบันได้ถูกพัฒนาให้เป็นสถานที่พักผ่อนหย่อนใจของชาวนครพนม การเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นทั้งเกิดจากการกระทำของมนุษย์ และการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล ล้วนส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงจำนวนปลา หอย และปูที่อาศัยอยู่ในอ่างเก็บน้ำ ซึ่งสัตว์เหล่านี้เป็นโฮสต์กึ่งกลางของพยาธิที่สำคัญและสามารถส่งผ่านพยาธิให้ติดเชื้อถึงคนได้หลายชนิด เช่น พยาธิใบไม้ลำไส้ *Centrocestus formosanus, Haplorchis taihui*, *H. pumilio* พยาธิใบไม้ตับ *Opisthorchis viverrini* รวมทั้งยังเป็นโฮสต์เฉพาะของพยาธิตัวกลม และพยาธิตัวตืดในสัตว์น้ำ นับว่าเป็นปัญหาที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อทั้ง

คน และสัตว์น้ำ ยากในการแก้ไขปัญหา เนื่องจากปลา หอย และปู อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำที่มีการแพร่กระจายของตัวอ่อนของหนอนพยาธิจำนวนมาก ทำให้หนอนพยาธิดำรงชีวิตได้อย่างครบวงจรชีวิต

การติดโรคปรสิตจากปลาสู่คน ส่วนใหญ่จะพบในกลุ่มประชากรที่มีรายได้ต่ำถึงปานกลาง แต่กระนั้นยังสามารถพบได้ในกลุ่มประเทศที่พัฒนาแล้ว อันเนื่องมาจากการค้า การตลาดที่ออกสู่สากล โดยการขนส่งและการอพยพย้ายถิ่นของประชากร จึงมีการระบาดของโรคปรสิตนี้ด้วย องค์การอนามัยโลก ได้ประเมินแล้วพบว่ามีประชากรที่ติดโรคหนอนพยาธิจากปลาสู่คนที่เป็นโรคพยาธิใบไม้ จำนวน 18 ล้านคน ซึ่งยังมีความเสี่ยงที่จะติดหนอนพยาธิในประเทศที่พัฒนาแล้วนี้มากกว่า 500 ล้านคน (WHO,1995) การติดโรคจากหนอนพยาธิจากปลาสู่คน นั้นพบว่าการติดโรคจากปรสิตสู่คนขึ้นอยู่กับ วัฒนธรรมการกินอาหาร และพฤติกรรมการกินของคน โดยเฉพาะการกินปลาดิบ ทำให้เกิดโรคพยาธิใบไม้ เช่น clonorchiasis, ophisthorchiasis และ metorchiasis (Chai *et al*., 2005) ดังนั้นอันตรายที่เกิดขึ้นนั้นจะเป็นโทษก็ต่อเมื่อวงจรชีวิตของปรสิตนั้นครบวงจรที่สมบูรณ์ที่มีคนเป็นเจ้าบ้านสุดท้าย และพบว่ามีมากกว่าหนึ่งชนิด (Adams *et a.l*, 1997) ในการแก้ปัญหาการติดพยาธิจะต้องมีการบูรณาการความรู้ในหลายด้านมาใช้ในการแก้ไข และป้องกันการติดพยาธิ การศึกษาการแพร่กระจายของหนอนพยาธิแต่ละชนิดในปลา หอย และปู นับว่ามีความสำคัญมาก โดยเฉพาะปลาหมอช้างเหยียบซึ่งเป็นปลาที่นิยมรับประทานกันมาก และมีราคาสูงพร้อมกับมีการจับมาบริโภคในฤดูน้ำหลากกันเป็นจำนวนมาก ดังนั้นถ้ามีการศึกษาจะทำให้ทราบถึงชนิดของหนอนพยาธิที่พบในปลาหมอช้างเหยียบ แล้วนำไปสู่การควบคุม และกำจัดหนอนพยาธิที่อาจก่อโรคทั้งในคน และสัตว์ได้

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาถึงการแพร่กระจายและลักษณะของหนอนพยาธิ ในทางเดินอาหารของปลาหมอช้างเหยียบบริเวณอ่างเก็บน้ำหนองญาติ ตำบลหนองญาติ อำเภอเมือง จังหวัดนครพนม ประจำปี 2560

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

1. วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

1.1 วัสดุอุปกรณ์ ตัวอย่างปลาหมอช้างเหยียบ Striped Tiger Nandid (*Pristolepis fasciata* Bleeker,1851) กล้องจุลทรรศน์, slide glass, cover glass ขนาดสั้น และขนาดยาว, พู่กัน, ถุงมือยาง, กระดาษติดฉลาก, ถาดอลูมิเนียม, อุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ไม้บรรทัดและเวอร์เนียคาลิปเปอร์, กล่องใส่สไลด์ถาวร, เข็มเขี่ย, กล้องถ่ายภาพ, เครื่องมือผ่าตัด เช่น มีด กรรไกร และปากคีบ

1.2 สารเคมีที่ใช้ในการศึกษาสารเคมีในการย้อมสีหนอนพยาธิ 95% ethyl alcohol, formalin, butyl alcohol, xylene, permount

2. ขั้นตอนและวิธีการวิจัย

2.1 เก็บตัวอย่างปลาหมอช้างเหยียบ ระหว่างเดือนสิงหาคมถึงเดือนพฤศจิกายน 2560 โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างปลาตามจุดที่กำหนด 4 จุด ได้แก่ ทางน้ำเข้า ทางน้ำออก จุดชายฝั่งกึ่งกลางของพื้นที่อ่างเก็บน้ำและฝั่งตรงข้าม โดยใช้ตาข่ายเป็นอุปกรณ์ในการจับปลา ทำการเก็บตัวอย่างปลาหมอช้างเหยียบ พยายาม

รักษาสภาพตัวอย่างปลาให้มีชีวิตโดยการเพิ่มออกซิเจนในภาชนะที่เก็บตัวอย่างปลาเพื่อนำมาตรวจสอบในห้องปฏิบัติการ

2.2 นำตัวอย่างปลามาพักไว้ในตู้เลี้ยงปลาที่มีเครื่องปั๊มอากาศ ณ ห้องปฏิบัติการสาขาประมง คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม ทำการศึกษาปลาทีละตัว โดยการตัดเส้นประสาท นำมาชั่งน้ำหนักและวัดความยาวมาตรฐาน (SL)

2.3 ทำการตรวจดูลักษณะภายนอกของปลาตาม ครีบ ตา เกล็ด ซอกเกล็ด แล้วบันทึกผลการตรวจในแบบตรวจ

2.4 ทำการศึกษาลักษณะภายในตัวอย่างปลา โดยนำระบบทางเดินอาหาร หัวใจ ตับ ม้าม ไต ถุงน้ำดี แช่ในน้ำเกลือ ที่มีความเข้มข้น 0.85% ตัดอวัยวะภายในเหล่านี้ไปศึกษาดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายต่ำ และหากพบหรือสงสัยว่าเป็นหนอนพยาธิให้นำไปศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูง เพื่อศึกษาถึงชนิดและนับจำนวนหนอนพยาธิที่พบ บันทึกข้อมูลอย่างละเอียด

2.5 นำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจไปคำนวณค่า % ความชุก (% prevalence) และ ค่าความหนาแน่น (intensity) ของการติดหนอนพยาธิ

2.6 นำหนอนพยาธิที่ได้มาทำการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง โดยนำมาทำการล้างด้วย 0.85% NaCl และทำการ fixed ด้วย formalin 4% และทำการล้างด้วยน้ำสะอาดและย้อมด้วยสี Haematoxylin และล้างออกด้วยน้ำ จากนั้นนำไปผ่านเข้า grading alcohol เพื่อไล่น้ำออก ทำให้ใสด้วย butyl และ xylol จากนั้นทำการปิดสไลด์ ทำเป็นสไลด์ถาวร แล้วนำไปวาดภาพและถ่ายภาพไว้เปรียบเทียบและเก็บไว้เป็นหลักฐานต่อไป (Pachanawan *et al.*, 2011)

3. การเก็บข้อมูล

3.1 สำรวจพื้นที่และกำหนดจุดเพื่อสุ่มจับตัวอย่างในอ่างเก็บน้ำหนองญาติ

3.2 สำรวจชนิดของหนอนพยาธิในปลาหมอช้างเหยียบทั้งอวัยวะภายนอกและภายใน อย่างละเอียด

3.3 ทำการบันทึกข้อมูลของหนอนพยาธิ แล้วนำตัวอย่างหนอนพยาธิมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูง เพื่อตรวจสอบชนิดพยาธิจากนั้นทำเป็นสไลด์ถาวร ถ่ายรูป และวาดรูป เพื่อศึกษาถึงรายละเอียด

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 วิธีคำนวณหา เปอร์เซ็นต์ Prevalence

$$\% \text{ Prevalence} = \frac{\text{จำนวนปลาที่ตรวจพบหนอนพยาธิชนิดใดชนิดหนึ่ง}}{\text{จำนวนปลาทั้งหมดที่ตรวจ}} \times 100$$

4.2 วิธีคำนวณหาค่า Intensity (ตัว/ตัว)

$$\text{Intensity} = \frac{\text{จำนวนหนอนพยาธิชนิดใดชนิดหนึ่งที่พบในปลาหมอช้างเหยียบ}}{\text{จำนวนปลาทั้งหมดที่ติดหนอนพยาธิชนิดใดชนิดหนึ่ง}}$$

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาการแพร่กระจายของหนอนพยาธิในปลาหมอช้างเหยียบ

จากการศึกษาการติดหนอนพยาธิ บริเวณอ่างเก็บน้ำหนองญาติ ตำบลหนองญาติ อำเภอเมือง จังหวัดนครพนม ประจำปี 2560 เป็นระยะเวลา 4 เดือน ตั้งแต่เดือนสิงหาคม – พฤศจิกายน พ.ศ. 2560 จากปลาหมอช้างเหยียบทั้งหมดจำนวน 50 ตัว ตรวจหนอนพยาธิจากอวัยวะภายนอกและภายใน พบหนอนพยาธิทั้งหมด 8 ชนิด จำนวน 119 ตัว พบปลาหมอช้างเหยียบที่มีการติดเชื้อหนอนพยาธิ (infected) จำนวน 23 ตัว คิดเป็นค่า %prevalence เท่ากับ 46 % (23/50) ตรวจพบหนอนพยาธิ 8 ชนิด ได้แก่ พยาธิปลิงใส (monogenea) 1 ชนิด ได้แก่ *Gyrodactylus* sp. พยาธิใบไม้ (digenea) 2 ชนิด ได้แก่ ระยะติดต่อ metacercaria และระยะตัวเต็มวัย *Allocreadium* sp. พยาธิตัวตืด (cestode) 1 ชนิด ได้แก่ *Senga* sp. พยาธิตัวกลม (nematode) 1 ชนิด ได้แก่ *Camallanus* sp. พยาธิหัวหนาม (acanthocephala) 3 ชนิด ได้แก่ ระยะตัวอ่อน cystacanth, ระยะตัวเต็มวัย *Polymorphus* sp. และ *Pallisentis* sp. (Figure 1-8)

จากการตรวจสภาวะการติดหนอนพยาธิ พบค่า % prevalence สูงสุด คือ พยาธิหัวหนาม ตัวอ่อนระยะ cystacanth ซึ่งมีค่าเท่ากับ 14.00 % (7/50) ส่วนค่า % prevalence ต่ำสุด คือ พยาธิใบไม้ระยะ metacercaria พยาธิตัวตืด *Senga* sp. พยาธิตัวกลม *Camallanus* sp. และพยาธิหัวหนาม ได้แก่ ระยะตัวเต็มวัย *Polymorphus* sp. และ *Pallisentis* sp. ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.00 % (1/50) สำหรับค่า intensity สูงสุดของหนอนพยาธิที่พบในการศึกษาครั้งนี้ คือ พยาธิใบไม้ระยะตัวเต็มวัย ชนิด *Allocreadium* sp. ซึ่งมีค่าเท่ากับ 17.60 ตัวต่อปลาหนึ่งตัว ส่วนค่า intensity ต่ำสุด คือ พยาธิใบไม้ระยะ metacercaria มีค่าความหนาแน่นน้อยที่สุด ที่เท่ากันกับ *Camallanus* sp. และ *Pallisentis* sp. ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.00 ต่อปลาหนึ่งตัว (Table 1)

Table 1 Prevalence and intensity of helminths parasites in Striped Tiger Nandid (*Pristolepis fasciata* Bleeker,1851) examined from August to November 2017

Parasite groups/species	Infected sites	Total No. of hosts collected	Number of hosts infected	Total of No. parasites collected	Prevalence (%)	Intensity (per host)
1.Trematoda						
1.1 monogenea						
Gyrodactylus sp.	gill	50	6	NA	12	NA
1.2 digenea						
metacercaria	intestine wall	50	1	1	2	1.00
Allocreadium sp.	intestine	50	5	88	10	17.67
2. Cestoda						
Senga sp.	liver	50	1	2	2	2.00

NA = none accounts

Table 1 Prevalence and intensity of helminths parasites in Striped Tiger Nandid (*Pristolepis fasciata* Bleeker,1851) examined from August to November 2017 (Cont.)

Parasite groups/species	Infected sites	Total No. of hosts collected	Number of hosts infected	Total of No. parasites collected	Prevalence (%)	Intensity (per host)
3. Nematoda						
Camallanus sp.	intestine	50	1	1	2	1.00
4. Acanthocephala						
cystacanth	intestinal wall	50	7	24	14	3.42
Polymorphus sp.	intestine	50	1	2	2	2.00
Pallisentis sp.	intestine	50	1	1	2	1.00

2. ลักษณะของหนอนพยาธิในปลาหมอช้างเหยียบ

2.1 Trematoda

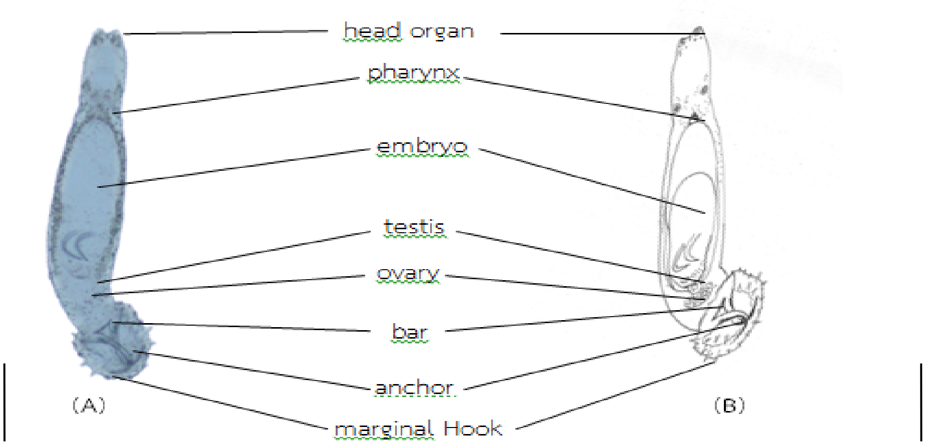


Figure 1. Monogenea; whole body fresh specimen (A) and draw (B) of G*yrodactylus* sp.; scale bar = 0.01 mm.

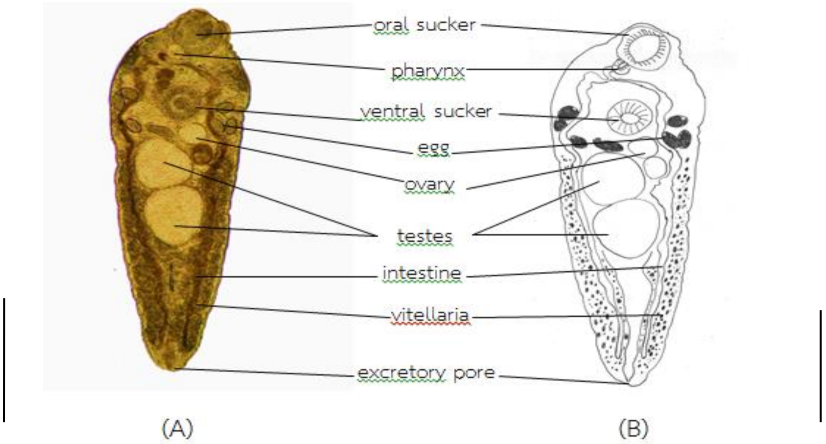
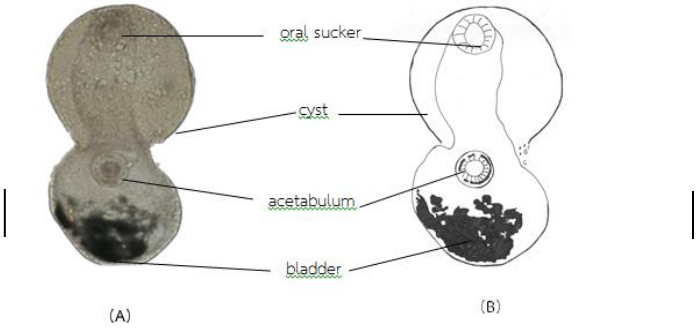


Figure 2. Digenea; whole body fresh specimen (A) and draw (B) of *Allocreadium* sp.; scale bar = 0.01 mm.



scale bar = 0.01 mm.

Figure 3. Digenea; whole body excyst of fresh specimen (A) and draw (B) of metacercaria;

2.2 Cestoda

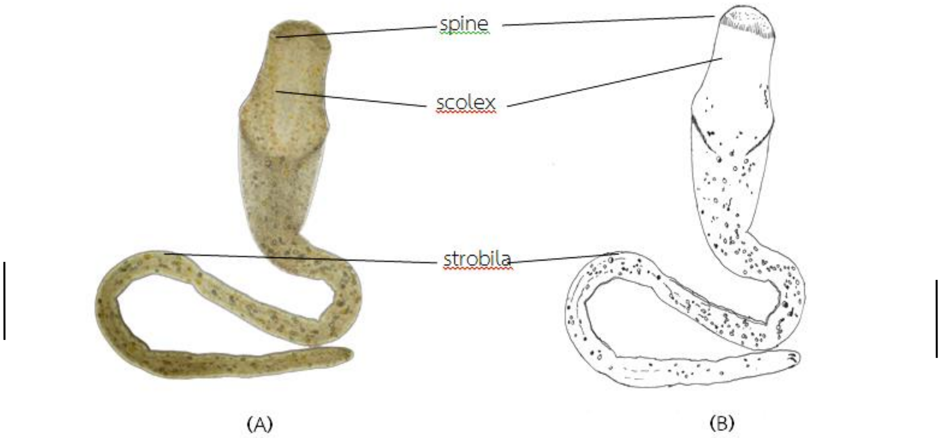


Figure 4. Whole body fresh specimen (A) and draw (B) of *Senga* sp.; scale bar = 0.01 mm.

2.3 Nematoda

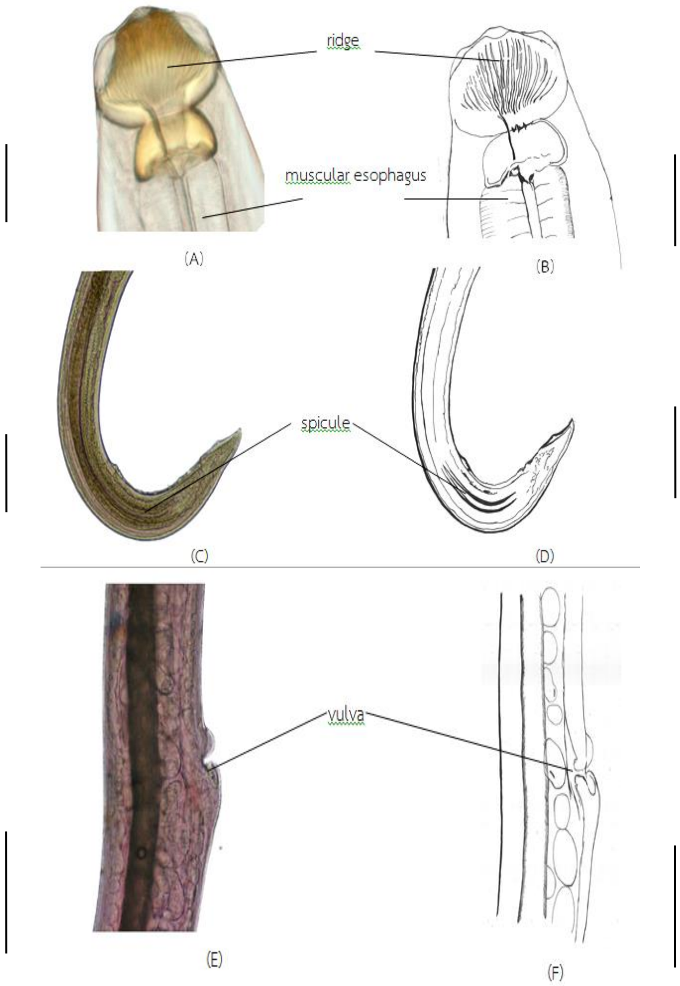


Figure 5. Anterior part of *Camallanus* sp., fresh specimen (A) and draw (B), posterior part of fresh specimen (C) and draw (D) in male, and middle part of fresh specimen (E) and draw (F) in female; scale bar = 0.01 mm.

2.4 Acanthocephala

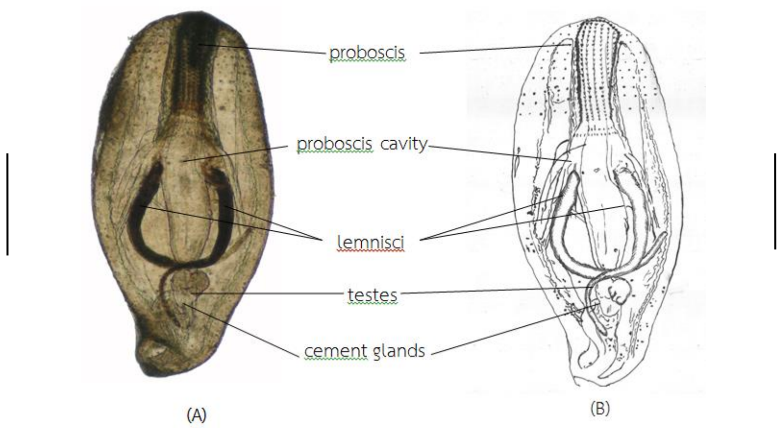


Figure 6. Whole body cyst of fresh specimen (A) and draw (B) of cystacanth; scale bar = 0.01 mm.

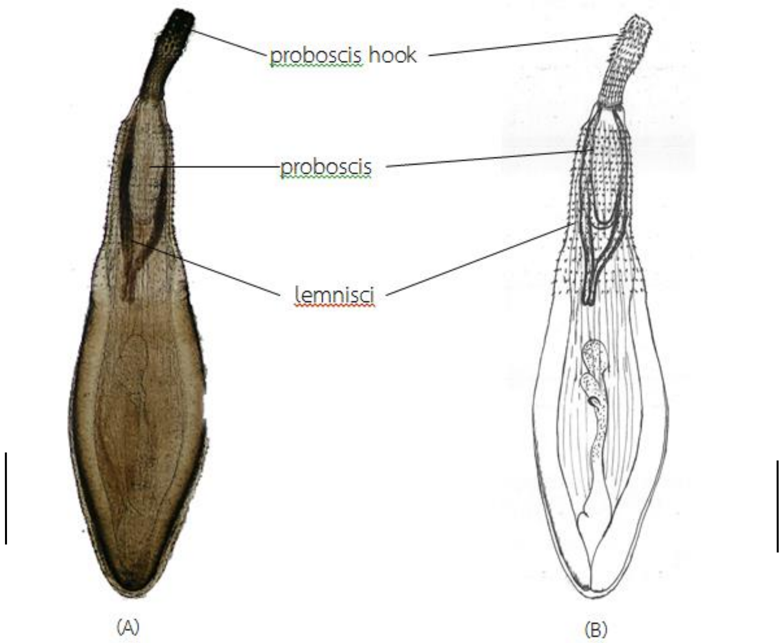


Figure 7. Whole body of fresh specimen (A) and draw (B) of *Polymorphus* sp.; scale bar = 0.01 mm.

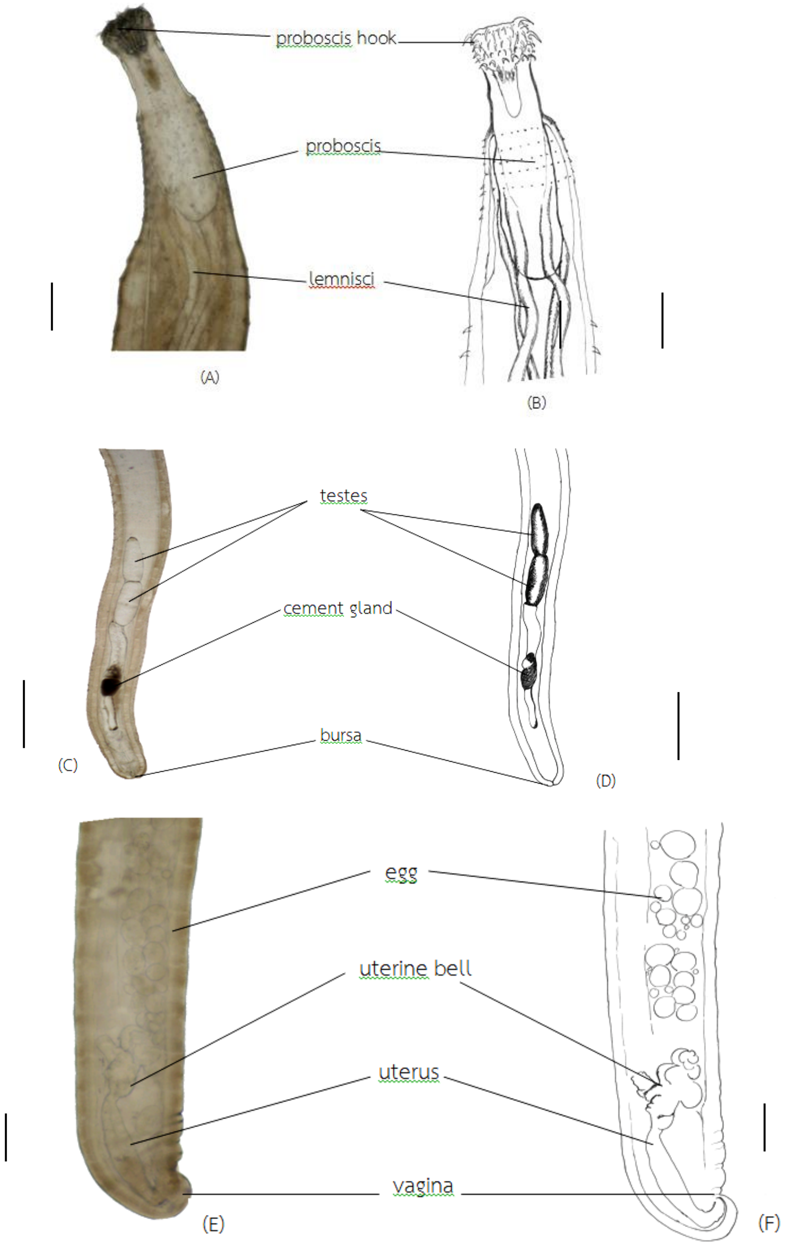


Figure 8. Anterior part of *Pallisentis* sp. fresh specimen (A) and draw (B), posterior part in male (C) and (D), female (E) and (F); scale bar = 0.01 mm.

สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

จากการศึกษาการติดหนอนพยาธิในปลาหมอช้างเหยียบ ในครั้งนี้พบหนอนพยาธิจากอวัยวะภายนอกและภายใน ทั้งหมด 8 ชนิด จำนวน 119 ตัว พบปลาหมอช้างเหยียบที่มีการติดเชื้อหนอนพยาธิ (infected) จำนวน 23 ตัว คิดเป็นค่า %prevalence เท่ากับ 46 % (23/50) ตรวจพบหนอนพยาธิทั้งหมด 8 ชนิด ได้แก่ พยาธิปลิงใส (monogenea) 1 ชนิด ได้แก่ *Gyrodactylus* sp. พยาธิใบไม้ (digenea) 2 ชนิด ได้แก่ ระยะติดต่อ metacercaria และระยะตัวเต็มวัย *Allocreadium* sp. พยาธิตัวตืด (cestode) 1 ชนิด ได้แก่ *Senga* sp. พยาธิตัวกลม

(nematode) 1 ชนิด ได้แก่ *Camallanus* sp. พยาธิหัวหนาม (acanthocephala) 3 ชนิด ได้แก่ ระยะตัวอ่อน cystacanth, ระยะตัวเต็มวัย *Polymorphus* sp. และ *Pallisentis* sp. มีความแตกต่างจากงานวิจัยของ Phachara (2013) ที่ศึกษาหนอนพยาธิในปลา เขตตำบลขามเฒ่าบางส่วน อำเภอเมือง จังหวัดนครพนม ซึ่งได้ทำการสุ่มตรวจหนอนพยาธิในปลาได้แก่ ปลาดุกด้าน ปลาหมอไทย ปลาช่อน ปลากระดี่ ปลาสร้อยขาว และปลาซิว จำนวน 123 ตัว พบปลาติดหนอนพยาธิจำนวน 60 ตัว จัดจำแนกได้ 6 ชนิด ซึ่งเป็นปรสิตภายนอก 1 ชนิด ได้แก่ ปลิงใส 1 ชนิด คือ *Trianchoratus* sp. ปรสิตภายใน 5 ชนิด ได้แก่ พยาธิใบไม้ 2 ชนิด คือ *Genarchopsis goppo* และ *Allocreadium* sp. พยาธิตัวกลม 2 ชนิด *Neocamallanus* sp. และ *Camallanus* sp. พยาธิหัวหนาม 1 ชนิด ได้แก่ *Pallisentis* sp. เป็นปรสิตที่พบมากที่สุดในปลาช่อน และปรสิตที่พบน้อยที่สุด คือ *Neocamallanus* sp. เป็นการศึกษาที่มีความสอดคล้องกัน 3 ชนิดคือ *Allocreadium* sp., *Camallanus* sp. และ *Pallisentis* sp. ซึ่งพบในทางเดินอาหารเช่นเดียวกันแต่มีความแตกต่างจากการศึกษาในครั้งนี้ที่พบการติด *Pallisentis* sp. น้อยที่สุด และ อีกชนิดคือ *Allocreadium* sp. พบน้อยที่สุด แต่การศึกษาในครั้งนี้พบมากที่สุด และยังมีการศึกษาของ Kittiphan (2015) ได้ทำการตรวจหาหนอนพยาธิในปลากระทิงที่พบในแม่น้ำสงคราม บริเวณบ้านหาดกวนตำบลไชยบุรี อำเภอท่าอุเทน จังหวัดนครพนม ตรวจพบหนอนพยาธิภายใน จำนวน 5 ชนิด ได้แก่ พยาธิหัวหนาม จำนวน 2 ชนิด คือตัวอ่อนระยะ cystacanth และ *Polymorphus* sp. พยาธิตัวกลม จำนวน 1 ชนิด คือ *Rhabdochona* sp. นอกจากนี้ยังพบพยาธิตัวตืด จำนวน 1 ชนิด คือ *Senga* sp. และพยาธิใบไม้ จำนวน 1 ชนิด คือ *Phyllodistomum* sp. ซึ่งพบว่ามีชนิดของหนอนพยาธิที่พบเหมือนกับการศึกษาในครั้งนี้คือพบ *Polymorphus* sp. และ *Senga* sp. ในลำไส้ แต่มีลักษณะที่ต่างกันคือ *Senga* sp. ที่ตรวจพบในครั้งนี้พบเป็น cyst ในตับ นอกจากนี้ยังพบ cyst ของพยาธิใบไม้ระยะ metacercaria ที่ผนังลำไส้ซึ่งไม่สามารถจัดจำแนกได้และพบน้อยซึ่งไม่เหมือนกับการศึกษาของ Wongsawad (2003) ที่มีการแพร่กระจายในปลาตามลำน้ำแม่สา เชียงใหม่ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการแพร่กระจายของหนอนพยาธิในปลาหมอช้างเหยียบมีความหลากหลายแสดงให้เห็นถึงการดำรงชีวิตของปลาหมอช้างเหยียบที่มีการกินอาหารที่หลากหลายที่มีการกินอาหารที่เป็นพาหะในการนำหนอนพยาธิระยะ ต่าง ๆ เข้าสู่ร่างกาย บางชนิดยังเป็นระยะติดต่อ บางชนิดยังเป็นตัวอ่อน บางชนิดเป็นตัวเต็มวัย (Watchariya, 2013) นั่นแสดงว่าปลาหมอช้างเหยียบอาจจะไม่ใช่เจ้าบ้านที่แท้จริงจึงทำให้หนอนพยาธิไม่ได้เปลี่ยนไปเป็นตัวเต็มวัย และที่สำคัญปลาชนิดนี้สามารถเป็นเจ้าบ้านโดยบังเอิญได้หลากหลายชนิด เมื่อมีเจ้าบ้านที่แท้จริงของหนอนพยาธิชนิดนั้น ๆ มากินปลาชนิดนี้เข้าไปอาจเป็นการแพร่ระบาดของหนอนพยาธิต่อไป โดยเฉพาะในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมหรือสัตว์เลือดอุ่นก็เป็นได้ หรืออาจทำให้ปลาตายได้ ประกอบกับอุณหภูมิของโลกที่ร้อนมากขึ้นในปัจจุบันจึงเหมาะกับการดำรงชีวิตของปรสิตจึงเป็นการเพิ่มโอกาสในการเข้าไปติดในตัวปลาและช่วยทำให้ปรสิตที่อาศัยอยู่ภายในตัวปลาเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนมากขึ้น และสามารถก่อความรุนแรงขึ้นได้ (Marcogliese, 2008) จึงควรได้หาวิธีการควบคุมและป้องกันต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีผู้วิจัยขอขอบคุณคณะครูอาจารย์และนักศึกษาในสาขาประมง คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม ที่ได้มีส่วนช่วยผลักดันให้งานวิจัยนี้เกิดขึ้น โดยเฉพาะนายเกรียงไกร ผายงค์ นักศึกษาปริญญาตรีสาขาวิชาประมงที่ได้ช่วยในการวิจัย ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์.ดร.ชโลบล วงศ์สวัสดิ์ และรองศาสตราจารย์ประไพสิริ สิริกาญจน ที่ได้ให้คำปรึกษาด้วยดี ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยนครพนม และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ(วช) ที่ได้สนับสนุนทุนในการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Adams, A.M., Murrell, K.D. and Cross, J.S. 1997. Parasites of fish and risks to public health. Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics). (Rev. Sci. Tech) 16(2):652-660.

Chai, J.Y, Murrell, K.D. and Lymbery, A.J. 2005. Fish-borne parasitic zoonoses: Status and issues. International Journal for Parasitology. 35: 1233-1254.

Kittiphan, W. 2015. The prevalence of helminthic infestation in Tire Track Eel (*Mastacembelus armatus*) from the Song Khram river, Chai Buri subdistrict, Tha-U-Then district, Nakhon Phanom province, year 2015. Special problem in Fisheries, Faculty of Agriculture and Technology, Nakhon Phanom University. 46 p. [in Thai]

Marcogliese, D.J. 2008. The impact of climate change on the parasites and infectious diseases of aquatic animals. Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics). (Rev. Sci. Tech). 27(2): 467-484.

Pachanawan, A., Natthanun, T., Vijittra, A., Jarinya, P., Thanawat, U. and Yuphares, C. 2011. Types of helminthes find out in fish around Nakhon Phanom College of Agriculture and Technology Reservoir, Nakhon Phanom University. Report of research, Nakhon Phanom University Nakhon Phanom. 91 p. [in Thai]

Phachara,S. 2013. Types of helminthes infection in fishes of some area of KhamTao subdistrict, Muang district, Nakhon Phanom province, year 2013. Special problem in Fisheries, Faculty of Agriculture and Technology, Nakhon Phanom University. 53 p. [in Thai]

Watchariya, P . 2013. Parasitology of aquatic animals. 1st ed. Samnakphim Mahawitthayalai Kasetsart, Bangkok. 655 p. [in Thai]

Wongsawad, C., Rojanapaibul, A., Mhad-arehin, N., Pachanawan, A., Marayong, T., Suwattanacoupt, S., Rojtinnakorn,J., Wongsawad, P., Kumchoo, K., and Nichapan, A. 2003. Metacercaria from freshwater fishes of Mae Sa stream, Chiang Mai, Thailand. Southeast Asian journal of tropical medicine and public health 31(suppl 1), 54-57.

World Health Organization. 1995. Control of foodborne trematode infection. WHO Tech. Rep. Ser. No. 849, 1995 pp. 1-157.

การศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรม และสมรรถนะของประชากรปลาดุกอุย (*Clarias macrocephalus*) จากโรงเพาะฟัก

Genetic Diversity and Performance in Hatchery Stocks of Günther's Walking Catfish, *Clarias macrocephalus*

วิศรุต ชัยเลิศฤทธิ์[1]* สมบูรณ์ สุนทรโชติ[1] คงภพ อำพลศักดิ์[1] พุทธรัตน์ เบ้าประเสริฐกุล[2] ธชาทัช ธีรติเดชากุล[3] ประจักษ์ บัวเนียม[1] และ ชัยติศักดิ์ บริบูรณ์[4]

Visarut Chailertrit[1]* Somboon Suntornchot[1] Kongphob Umpolsak[1] Puttharat Baoprasertkul[2] Thachathass Theeratidechakul[3] Prachak Buaneam[1] and Chaitisak Borriboon[4]

[1] ศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำปทุมธานี กองวิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำ กรมประมง

[1] Pathumthani Aquatic Animal Genetics Research and Development Center,
Aquatic Animal Genetics Research and Development Division, Department of Fisheries.

[2] กองวิจัยและพัฒนาสุขภาพสัตว์น้ำ

[2] Aquatic Animal Health Research and Development Division, Department of Fisheries.

[3] สำนักงานประมงจังหวัดนครสวรรค์

[3] Nakhonsawan Fisheries Provincial Office, Department of Fisheries.

[4] กองวิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำ กรมประมง

[4] Aquatic Animal Genetics Research and Development Division, Department of Fisheries.

*Corresponding author: ku_bcv@hotmail.com

บทคัดย่อ

ทดสอบเปรียบเทียบความหลากหลายทางพันธุกรรม การเจริญเติบโต และความต้านทานโรคในปลาดุกอุย (*Clarias macrocephalus*) จาก 2 แหล่งคือ ศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำชุมพร และฟาร์มปลาสุภาภรณ์ ศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมโดยใช้เครื่องหมายไมโครแซทเทลไลท์จำนวน 5 ตำแหน่ง พบว่าความหลากหลายทางพันธุกรรมของประชากรปลาดุกอุยจาก 2 แหล่งไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่เมื่อพิจารณาค่า F_{st} พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.013 แสดงว่ามีความแตกต่างทางพันธุกรรมปานกลาง สำหรับข้อมูลด้านการเจริญเติบโต (น้ำหนัก ความยาว อัตรารอด) พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่เมื่อพิจารณาค่า condition factor (K) พบว่าปลาดุกจากศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำชุมพร มีค่าต่ำกว่าปลาดุกอุยจากฟาร์มปลา สุภาภรณ์ แสดงให้เห็นว่าปลาดุกอุยจากศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำชุมพร มีลักษณะลำตัวที่เป็นทรงเพรียวยาวกว่าปลาดุกอุยจากฟาร์มปลา สุภาภรณ์ สำหรับการทดสอบความต้านทานโรคจากเชื้อ *Aeromonas hydrophila* โดยวิธีการแช่พบค่า LC_{50} ที่ 96 ชั่วโมงเท่ากับ 2.08×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร และพบว่าปลาดุกอุยจากทั้ง 2 แหล่งมีความต้านทานไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) จากการศึกษาครั้งนี้บ่งบอกได้ถึงความผันแปรของความแตกต่างทางพันธุกรรม และลักษณะทางกายภาพของลำตัวของปลาดุกอุยจากทั้ง 2 แหล่งได้เป็นอย่างดี ดังนั้นจึงควรนำปลาจากทั้ง 2 แหล่งมาเพื่อสร้างเป็นประชากรพื้นฐานสำหรับการปรับปรุงพันธุ์ต่อไป

คำสำคัญ: ไมโครแซทเทลไลท์ การเจริญเติบโต อัตรารอด ความต้านทานโรค *Aeromonas hydrophila*

Abstract

Genetic diversity, growth performance and disease resistance of Günther's Walking Catfish, *Clarias macrocephalus*, from Chumphon aquatic animal genetics research and development center (P) and Supaphon farm (S) were compared. Genetic diversity indices were analyzed using five microsatellite loci that showed no significant difference between populations (P>0.05). While the F_{st} value was 0.103 suggesting moderate genetic differentiation. The overall growth traits (body weight, total length and survival rate) were not significantly different between populations (P>0.05). However, the value of condition factor (K) from population P was lower than that of population S, which indicated that the fish in population P had rather longer body shape and slender than population S. Resistance to *Aeromonas hydrophila* via experimental infection was examined using immerse technique. Mortality rate was calculated through 96-hour period and lethal dose at LC_{50} was determined to be 2.08 x 10^6 cell/ml. Survival rate was not significantly different between populations (P>0.05). The results of this experiment showed variation between two populations of Günther's Walking Catfish in genetic differentiation and body shape. Therefore, both studied populations should be mixed to create the base population for further genetic improvement in Günther's Walking Catfish.

Keywords: Microsatellite, Growth, Survival rate, Disease resistance, *Aeromonas hydrophila*

คำนำ

ปลาดุกอุย (Günther's Walking Catfish) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Clarias macrocephalus* เป็นปลาน้ำจืดที่พบได้ทั่วประเทศไทย ปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี สามารถพบปลาดุกอุยได้ตามลำคลอง หนอง บึง คูน้ำในสวน หรือแม้กระทั่งบริเวณที่มีน้ำกร่อยเล็กน้อย ปลาดุกอุยเป็นปลาหนังที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจซึ่งมีรสชาติที่ดี ในปี พ.ศ. 2559 ปลาในกลุ่มปลาดุกมีปริมาณการจับรวมเพาะเลี้ยงและมูลค่ารวมเป็นอันดับที่ 2 ของปลาน้ำจืดทั้งหมด ซึ่งคิดเป็นปริมาณ 111,100 ตัน และรวมมูลค่า 5,416.9 ล้านบาท (Department of Fisheries, 2018)

ปัจจุบันเกษตรกรนิยมเลี้ยงปลาดุกอุยเทศ ซึ่งเป็นปลาดุกที่ได้จากการผสมพ่อปลาดุกเทศ (*C. gariepinus*) กับแม่ปลาดุกอุยเข้าด้วยกัน ปลาดุกอุยเทศเจริญเติบโตได้รวดเร็ว ทนทานต่อโรค และมีลักษณะที่ใกล้เคียงกับปลาดุกอุย ทำให้เกษตรกรไม่นิยมเลี้ยงปลาดุกอุยที่โตช้า และไม่ทนทานต่อโรคเท่าปลาดุกอุยเทศ ด้วยเหตุนี้ทำให้ปลาดุกอุยมีปริมาณการเพาะเลี้ยงที่ลดลง ส่งผลให้ลูกพันธุ์ขาดแคลน แม่พันธุ์ปลาดุกอุยมีราคาที่สูงมาก ปัญหาการขาดแคลนพ่อแม่พันธุ์ปลาดุกอุยจึงเป็นปัญหาสำคัญที่ทั้งเกษตรกรและหน่วยงานของกรมประมงที่มีหน้าที่เพาะพันธุ์ประสบอยู่ และสายพันธุ์ปลาดุกอุยทั้งของเกษตรกรและหน่วยงานภาครัฐที่มีอยู่นั้นมีการเจริญเติบโตและความสมบูรณ์ที่ลดลง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการเสื่อมโทรมพันธุ์ นอกจากนี้ จากการศึกษาหาสาเหตุและการป้องกันโรคในปลาดุกอุย พบว่าการเกิดโรคในปลาดุกอุยส่วนใหญ่เกิดจากเชื้อ

Aeromonas hydrophila ซึ่งจะทำให้เกิดอาการท้องบวม และกกหูบวม มีการเสื่อมของเซลล์ตับ มีการตายของเซลล์ไต ม้ามมีขนาดใหญ่ จนทำให้ปลาตายในที่สุด (Primpol, 1990)

จากปัญหาที่กล่าวข้างต้นคณะผู้วิจัยจึงได้ดำเนินโครงการวิจัยเพื่อพัฒนาสายพันธุ์ปลาดุกอุยที่เติบโตดีและทนทานต่อโรค เพื่อส่งเสริมให้เกษตรกรกลับมาเพาะเลี้ยงปลาดุกอุย ที่เป็นปลาพื้นบ้านของไทย และส่งต่อสู่หน่วยงานของกรมประมง เพื่อผลิตแจกจ่าย และจำหน่ายแก่เกษตรกร อย่างไรก็ตามก่อนที่จะเริ่มปรับปรุงพันธุ์นั้น จำเป็นที่จะต้องมีประชากรเริ่มต้นที่มีฐานพันธุกรรมกว้าง และหากมีประชากรเริ่มต้นมากกว่า 1 ประชากร ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของปลาในแต่ละประชากร เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับนำไปใช้บริหารจัดการสร้างประชากรเริ่มต้นให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ปรับปรุงพันธุ์

งานวิจัยนี้จะเปรียบเทียบความหลากหลายทางพันธุกรรมและสมรรถนะการเจริญเติบโต อัตรารอดและความต้านทานโรคใน ปลาดุกอุย 2 แหล่ง คือ แหล่งพันธุ์จากศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำชุมพร และแหล่งพันธุ์จากฟาร์มของเกษตรกรในพื้นที่จังหวัดสิงห์บุรี (ฟาร์มปลา สุภาภรณ์) เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับใช้บริหารจัดการสร้างประชากรเริ่มต้นในการปรับปรุงพันธุ์ต่อไป

วิธีดำเนินการ

การเพาะพันธุ์ปลาดุกอุย

เตรียมปลาพ่อแม่พันธุ์โดยนำปลาดุกอุยจาก 2 แหล่งคือ แหล่งพันธุ์จากศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำชุมพร ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ผ่านการปรับปรุงพันธุ์โดย Komanpririn *et al.* (2004) และแหล่งพันธุ์จากฟาร์มปลา สุภาภรณ์ ซึ่งเป็นพันธุ์จากฟาร์มเกษตรกรในพื้นที่จังหวัดสิงห์บุรี ที่มีการเพาะพันธุ์ปลาดุกอุยเพื่อผลิตปลาดุกอุยเทศ และจำหน่ายพ่อแม่พันธุ์ปลาดุกอุยให้แก่เกษตรกรที่สนใจ นำมาเพาะพันธุ์โดยวิธีการผสมเทียมในอัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมียเท่ากับ 1:1 จำนวน 15 ครอบครัวต่อแหล่ง นำไข่ที่ได้ไปแยกฟักในบ่อซีเมนต์ขนาด 6 ตารางเมตร ครอบครัวละ 1 บ่อ โดย 2 สัปดาห์แรกให้กินไรแดง และหลังจากนั้นให้อาหารผงสำเร็จรูปสำหรับลูกปลาร่วมกับไรแดง เมื่อลูกปลาดุกอุยอายุครบ 1 เดือน ให้สุ่มลูกปลาดุกอุยในแต่ละครอบครัวจำนวน 500 ตัว นำไปรวมกับลูกปลาดุกอุยในครอบครัวอื่น ๆ อีก 14 ครอบครัว โดยรวมเฉพาะลูกปลาที่มาจากแหล่งเดียวกัน เลี้ยงต่อไปจนอายุครบ 2 เดือน จึงเริ่มนำไปใช้ทดสอบเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของปลาดุกอุย และทดสอบเปรียบเทียบการต้านทานโรค *Aeromonas hydrophila*

การประเมินความหลากหลายทางพันธุกรรมของประชากรปลาดุกอุย

สุ่มเก็บครีบหางปลาดุกอุยในรุ่นพ่อแม่จาก 2 แหล่ง แหล่งละ 50 ตัว สกัดดีเอ็นเอโดยใช้วิธี salt extraction (Aljanabi and Martinez, 1997) ทดสอบความหลากหลายทางพันธุกรรมโดยใช้เครื่องหมายไมโครแซทเทลไลท์ที่พัฒนามาจาก Sukmanomon *et al.* (2003) จำนวน 5 ตำแหน่ง ได้แก่ Cma-6, Cma-8, Cma-19, Cma-21 และ Cma-22 (Table 1) นำมาทำปฏิกิริยาพีซีอาร์ปริมาตรรวม 10 µl โดยมีดีเอ็นเอต้นแบบ 10 ng, ไพรเมอร์อย่างละ 0.5 µM, 1x PCR buffer, 1.5 mM $MgCl_2$, 0.2 mM dNTPs (Biotechrabbit, Hennigsdorf, Germany), 0.5 U *Taq* DNA polymerase (Promega, Madison, WI, USA) ใช้อุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาพีซีอาร์ดังนี้ ขั้นตอนที่ 1 denaturation 95 ^{o}C 5 นาที ขั้นตอนที่ 2 denaturation 95 ^{o}C 30 วินาที annealing ที่ T_a ^{o}C (Table 1) 30 วินาที extension 72 ^{o}C 30 วินาที ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2 จำนวน 35 รอบ และ

ขั้นตอนที่ 3 extension 72 °C 5 นาที นำผลผลิตพีซีอาร์ไปแยกขนาดด้วยวิธี Polyacrylamide gel electrophoresis และย้อมสีด้วยวิธี silver stain (Benbouza *et al*., 2006) นำข้อมูลมาคำนวณค่า Apparent alleles (A_a), Effective number of alleles (A_e), Observed heterozygosities (H_o), Expected heterozygosities (H_e) และ ทดสอบ Hardy-Weinberg Equilibrium โดยใช้โปรแกรม Popgen v.1.31 (Yeh *et al*., 1999) ทดสอบปรากฏการณ์คอขวด (Bottleneck) โดยใช้โปรแกรม BOTTLENECK version 1.2.02 (Cornuet and Luikart, 1996) วิเคราะห์ค่า effective population size (N_e) โดยใช้โปรแกรม NeEstimator V2 (Do *et al*., 2014) และวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์-F (Fixation index) โดยใช้โปรแกรม FSTAT version 2.9.3.2 (Goudet, 2001)

Table 1 Five microsatellite markers used in this study

Locus	accession number	Primer sequences (5'–3')	Repeats	T_a (°C)	alleles sizes (bp)
Cma-6	AY 185607	F: GGGCACTAAGGGGTCGCTCTC R: GGGGCTTCTGGGACATCCTCT	$(GT)_5(GA)_8$	50	232–239
Cma-8	AY 185608	F: CCGTGATACAACTGTGACT R: CGGTGCACTGAAAGG	$(CA)_{26}$	55	212–286
Cma-19	AY 185613	F: ATCAGAGCCCTTTCATCACC R: CGTGCGAGTTCCCAGAG	$(GA)_8$	50	131–136
Cma-21	AY 185615	F: CTCGCTTAAAGGCAAGTTCACTC R: CGCCATATAGCCATAGAGGTGTG	$(CT)_9$	60	178–200
Cma-22	AY 185616	F: TGTGTACGAGTGTGTTTCTCAGTG R: CAGTTACACACTCACGCAAATCAG	$(GT)_{10}$	50	184–216

การเลี้ยงทดสอบเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของปลาดุกอุย

สุ่มลูกปลาดุกอุยอายุ 2 เดือน จำนวน 600 ตัวต่อแหล่ง มาเลี้ยงทดสอบในบ่อซีเมนต์ขนาด 20 ตารางเมตร บ่อละ 200 ตัว จำนวน 3 บ่อต่อแหล่ง (ความหนาแน่น 10 ตัว/ตารางเมตร) เลี้ยงทดสอบเป็นระยะเวลา 6 เดือน (อายุปลา 8 เดือน) เก็บข้อมูลความยาว น้ำหนัก และนับจำนวนปลาดุกอุยที่รอดในแต่ละบ่อ ทั้งก่อนเริ่มการทดลอง (อายุ 2 เดือน) และเมื่ออายุ 8 เดือน นำผลที่ได้ไปวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นและสุดท้าย (กรัม) ความยาวเฉลี่ยเริ่มต้นและสุดท้าย (เซนติเมตร) น้ำหนักที่เพิ่มต่อวัน (Daily weight gain; DWG, กรัม/วัน) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific growth rate; SGR, %/วัน) Condition factor (K, %) และอัตรารอด (%) วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติด้วยวิธี t-test

การทดสอบเปรียบเทียบการต้านทานโรค *Aeromonas hydrophila* ของปลาดุกอุย

คัดแยกเชื้อโดยนำเชื้อ *A. hydrophila* จากกองวิจัยและพัฒนาสุขภาพสัตว์น้ำ กรมประมง ที่ได้เก็บรวบรวมไว้ (รหัสเชื้อ 15021005/5k) มา cross streak ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Trypticase Soy Agar (TSA) บ่มที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 18 ชั่วโมง จากนั้นคัดเลือกโคโลนีเดี่ยวมาเลี้ยงต่อในอาหารเลี้ยงเชื้อ TSA ทำการยืนยันเชื้อด้วยวิธีการทดสอบคุณสมบัติของเชื้อทางชีวเคมี และใช้ชุดทดสอบ API 20 NE (bioMérieux® sa, Marcy-l'Etoile, France) เมื่อทดสอบยืนยันเชื้อแล้วให้นำเชื้อไปฉีดในปลาดุกอุยปกติที่ปราศจากเชื้อ เพื่อเป็นการกระตุ้นเชื้อให้มีความรุนแรง รอจนปลาดุกอุยป่วยใกล้ตายจึงคัดแยกเชื้อ *A. hydrophila* โดยเขี่ยเชื้อจากตับนำมา cross streak ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ TSA คัดเลือกโคโลนีเดี่ยวมาขยายและทดสอบยืนยันเชื้อ โดยทำการฉีดกระตุ้นเชื้อในปลาดุกอุยจำนวน 2 รอบ นำเชื้อที่ได้เก็บไว้สำหรับนำไปใช้ทดสอบต่อไป

หาค่าความเข้มข้นของแบคทีเรียที่ทำให้ปลาตายครึ่งหนึ่งภายในเวลา 96 ชั่วโมง (LC_{50}) โดยเตรียมลูกปลาดุกอุยจากศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำชุมพร อายุ 2 เดือน จำนวน 120 ตัว แบ่งการทดสอบเป็น 6 ชุดการทดสอบ ให้แบ่งเป็นชุดทดสอบที่ระดับความเข้มข้นของเชื้อที่แตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 1.49×10^7, 9.48×10^5, 6.24×10^4, 6.44×10^3 และ 6.44×10^2 เซลล์ต่อมิลลิลิตร และชุดควบคุม โดยแช่ปลาในน้ำที่ผสมอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้เจือจางเชื้อ 1 ชุด แต่ละชุดการทดสอบมี 2 ซ้ำ แต่ละซ้ำมีลูกปลาดุกอุยจำนวน 10 ตัว ใช้เข็มฉีดยาสะกิดข้างลำตัวให้เป็นแผลเพื่อเปิดช่องให้เชื้อสามารถเข้าไปในตัวปลาได้ แช่ปลาในเชื้อที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ระยะเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นย้ายปลาไปอยู่ในน้ำปราศจากเชื้อเพื่อเก็บข้อมูล และทำ plate count เพื่อยืนยันปริมาณเชื้อที่ใช้แช่ สังเกตอาการและบันทึกข้อมูลอัตราการตายของลูกปลาดุกอุยในแต่ละชุดการทดสอบ โดยให้สังเกตตลอดเวลาเป็นระยะเวลา 96 ชั่วโมง จึงสิ้นสุดการทดสอบ นำข้อมูลที่ได้ไปหาค่า LC_{50} ตามวิธีการของ Reed and Muench (1938) ยืนยันการตายของปลาโดยการผ่าพิสูจน์ดูสภาพภายใน เขี่ยเชื้อจากตับนำมา streak เชื้อลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ TSA บ่มที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 18 ชั่วโมงเพื่อดูลักษณะโคโลนี ย้อมสีแกรม ทำการทดสอบคุณสมบัติของเชื้อทางชีวเคมี และใช้ชุดทดสอบ API 20 NE

ทดสอบเปรียบเทียบการต้านทานโรค โดยเตรียมลูกปลาดุกอุยอายุ 2 เดือน จำนวน 120 ตัว แบ่งการทดสอบเป็น 4 ชุดการทดสอบ คือชุดทดลองจำนวน 2 ชุดการทดสอบ แบ่งเป็นแหล่งละชุดการทดสอบ และชุดควบคุมจำนวน 2 ชุดการทดสอบ แบ่งเป็นแหล่งละชุดการทดสอบ โดยแต่ละชุดการทดสอบมี 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำมีลูกปลาดุกอุยจำนวน 10 ตัว แช่ลูกปลาดุกอุยในน้ำที่มีความเข้มข้นเชื้อที่ LC_{50} และชุดควบคุมแช่ในน้ำที่ผสมอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้เจือจางเชื้อ ใช้เข็มฉีดยาสะกิดข้างลำตัวให้เป็นแผล แช่ปลาในเชื้อที่เตรียมไว้ระยะเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นย้ายปลาไปอยู่ในน้ำปราศจากเชื้อเพื่อเก็บข้อมูล ทำ plate count เพื่อยืนยันปริมาณเชื้อที่ใช้แช่ สังเกตอาการและบันทึกข้อมูลอัตราการตายของลูกปลาดุกอุยในแต่ละชุดการทดสอบ โดยให้สังเกตตลอดเวลาเป็นระยะเวลา 96 ชั่วโมง จึงสิ้นสุดการทดสอบ นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ต่อไป สำหรับปลาที่ตายให้ทำการยืนยันการตายของปลาตามวิธีการข้างต้น

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

การประเมินความหลากหลายทางพันธุกรรมของประชากรปลาดุกอุย

การประเมินความหลากหลายทางพันธุกรรมด้วยเครื่องหมายโมเลกุลไมโครแซทเทลไลท์ จำนวน 5 ตำแหน่ง ในปลาดุกอุยจำนวน 2 แหล่ง คือ ศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำชุมพร (P) และฟาร์มปลาสุภาภรณ์ (S) พบว่าค่าจำนวนอัลลีลเฉลี่ยต่อตำแหน่ง (A_a) ค่า Effective number of alleles (A_e) ค่า Observed heterozygosities (H_o) และค่า Expected heterozygosities (H_e) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P-value > 0.05) เมื่อพิจารณาค่าสมดุลฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก (Hardy-Weinberg Equilibrium) โดยการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่า H_o และ H_e ในแต่ละตำแหน่งด้วยวิธี Chi-square test พบว่าปลาดุกอุยจากทั้ง 2 แหล่งเบี่ยงเบนจากสมดุลอาร์ดี-ไวน์เบิร์ก ($P_{HWE} < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับค่า F_{is} ที่บ่งบอกระดับการเบี่ยงเบนจากสมดุลฮาร์ดี-ไวน์เบิร์กของประชากรย่อยที่มีค่าเท่ากับ 0.248 และ 0.288 ตามลำดับ อีกทั้งเมื่อตรวจสอบปรากฏการณ์คอขวด (Bottleneck) ของทั้ง 2 แหล่ง พบว่าปลาดุกอุยจากศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำชุมพร (P) ไม่เกิดปรากฏการณ์คอขวด ($P_{BottN} > 0.05$) แต่ปลาดุกอุยจากฟาร์มปลา สุภาภรณ์ (S) เกิดปรากฏการณ์คอขวดขึ้น ($P_{BottN} < 0.05$) ส่วนค่า effective population size (N_e) ของปลาดุกอุยจากศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำชุมพร (P) เท่ากับ 82.6 มีค่าอยู่ในช่วง 27.9 – Infinity และปลาดุกอุยจากฟาร์มปลา สุภาภรณ์ (S) เท่ากับ 28.1 มีค่าอยู่ในช่วง 13.2 – 81.4 (Table 2)

เมื่อวิเคราะห์โครงสร้างของประชากรปลาดุกอุย โดยศึกษาผ่านค่าสัมประสิทธ์-F (Fixation index) พบว่าค่า F_{st} ที่บ่งบอกระดับความแตกต่างทางพันธุกรรมระหว่างประชากร มีค่าอยู่ระหว่าง -0.003 – 0.209 และมีค่ารวมในทุกตำแหน่งเท่ากับ 0.103 ค่า F_{is} ที่บ่งบอกระดับการเบี่ยงเบนจากสมดุลฮาร์ดี-ไวน์เบิร์กของประชากรย่อย มีค่าอยู่ระหว่าง -0.147 – 0.445 และมีค่ารวมในทุกตำแหน่งเท่ากับ 0.267 ค่า F_{it} ที่บ่งบอกระดับการเบี่ยงเบนจากสมดุลฮาร์ดี-ไวน์เบิร์กของประชากรทั้งหมด มีค่าอยู่ระหว่าง 0.072 – 0.560 และมีค่ารวมในทุกตำแหน่งเท่ากับ 0.343 (Table 3)

จากข้อมูลข้างต้นพบว่าปลาดุกอุยจากทั้ง 2 แหล่ง ความหลากหลายทางพันธุกรรมไม่แตกต่างกัน แต่น้อยกว่าการศึกษาของ Na-Nakorn *et al.* (1999) ที่ศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของปลาดุกอุยจากธรรมชาติ 4 แหล่ง โดยใช้เครื่องหมายโมเลกุลชนิดไมโครแซทเทลไลท์จำนวน 4 ตำแหน่ง (Cma-1, Cma-2, Cma-3 และ Cma-4) พบจำนวนอัลลีลเฉลี่ยต่อตำแหน่ง หรือ apparent alleles (A_a) ตั้งแต่ 6.00 – 10.00 และ Muiocha *et al.* (2017) ได้ศึกษาเปรียบเทียบความหลากหลายทางพันธุกรรมของปลาดุกอุยจากโรงเพาะฟักและจากแหล่งน้ำธรรมชาติในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยใช้เครื่องหมายโมเลกุลชนิดไมโครแซทเทลไลท์จำนวน 4 ตำแหน่ง (Cma-4, Cma-5, Cma-8 และ Cma-17) พบ apparent alleles (A_a) เท่ากับ 6.75 ± 1.50 และ 8.00 ± 5.47 ตามลำดับ แต่ด้วยการใช้เครื่องหมายต่างตำแหน่งทำให้เกิดความผิดพลาดในการเปรียบเทียบได้ เนื่องจากแต่ละตำแหน่งของเครื่องหมายจะมีความหลากหลายของอัลลีลที่ไม่เหมือนกัน ดังนั้นจึงอาจเทียบความหลากหลายได้จากตำแหน่งเดียวกันที่ใช้ศึกษา ซึ่งการศึกษาของ Muiocha *et al.*, 2017 มีการใช้เครื่องหมายไมโครแซทเทลไลท์ที่เหมือนกับการศึกษานี้จำนวน 1 ตำแหน่งคือ ตำแหน่ง Cma-8 พบว่าการศึกษานี้พบจำนวน 9 อัลลีลทั้ง 2 แหล่ง และการศึกษาของ Muiocha *et al.* (2017) พบจำนวน 5 อัลลีลในประชากร

โรงเพาะฟัก และ 7 อัลลีลในประชากรธรรมชาติ ดังนั้น เมื่อพิจารณาเฉพาะตำแหน่ง Cma-8 จะพบว่าความหลากหลายของประชากรปลาดุกอุยในการศึกษานี้มีความหลากหลายที่ตำแหน่ง Cma-8 มากกว่าประชากรปลาดุกอุยจากการศึกษาของ Muiocha *et al.* (2017) แต่ด้วยการศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมไม่อาจใช้ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งในการบ่งบอกความหลากหลายทางพันธุกรรมของประชากรได้ จำเป็นต้องพิจารณาร่วมกันหลาย ๆ ตำแหน่ง ทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบความหลากหลายทางพันธุกรรมกันในกรณีที่มีการใช้ตำแหน่งของเครื่องหมายที่แตกต่างกันได้ ดังนั้นหากจำเป็นต้องมีการเปรียบเทียบกันจะต้องใช้เครื่องหมายตำแหน่งเดียวกัน และจำนวนตำแหน่งต้องเท่ากัน

เมื่อพิจารณาค่า F_{is} หรือค่าสัมประสิทธิ์การผสมเลือดชิด (inbreeding coefficient) ที่บ่งบอกระดับการเบี่ยงเบนจากสมดุลฮาร์ดี-ไวน์เบิร์กของประชากรย่อยพบว่าทั้ง 2 ประชากรมีค่าเป็นผลบวก บ่งบอกว่าประชากรทั้ง 2 อยู่ในสภาวะโฮโมไซโกต (Homozygote) มากกว่าที่ควรจะเป็นเมื่อประชากรอยู่ในสมดุลฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก ซึ่งค่า F_{is} ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับรายงานการศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของปลาดุกอุยในโรงเพาะฟัก และมีค่ามากกว่าการศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของปลาดุกอุยในธรรมชาติในประเทศไทย (Na-Nakorn *et al.*, 1999; Muiocha *et al.*, 2017) ลักษณะดังกล่าวอาจมีปัจจัยมาจากการเกิด Wahlund’s effect หรือภาวะที่มี heterozygote ต่ำกว่าปกติ เมื่อเปรียบเทียบกับที่คาดการว่าควรจะเป็นในภาวะสมดุลฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก ในกรณีที่ประชากรที่แตกต่างกันมาอยู่รวมกัน และถูกสุ่มตัวอย่างเป็นประชากรเดียวกัน (Chaisureesri, 2005) หรือการผสมเลือดชิด (inbreeding) (Hansen *et al.*, 2001; Li *et al.*, 2004) และเมื่อพิจารณาร่วมกับปรากฏการณ์คอขวด (Bottleneck) ปรากฏว่าประชากรปลาดุกอุยจากฟาร์มปลา สุภาภรณ์ (S) เกิดปรากฏการณ์คอขวดขึ้น (P_{BottN}= 0.041) ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวคือ ปรากฏการณ์ที่ขนาดของประชากรลงลงอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลาอันสั้น ซึ่งอาจเกิดจากภัยจากธรรมชาติ การเกิดโรคระบาด หรือเกิดจากการกระทำของมนุษย์ โดยจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของอัลลีลอย่างรวดเร็ว หรืออาจทำให้บางอัลลีลสูญหายไปจากประชากรก็ได้ โดยปรากฏการณ์ดังกล่าวจะส่งผลให้ความหลากหลายทางพันธุกรรมของประชากรลดลง (Borivetanan, 2016) และจากการสอบถามข้อมูลของฟาร์มปลา สุภาภรณ์ (S) พบว่าทางฟาร์มจะเพาะปลาดุกอุยปีละครั้ง แล้วนำลูกพันธุ์ปลาดุกอุยที่เพาะได้ไปเลี้ยงที่จังหวัดสมุทรปราการ เมื่ออายุได้ 7-8 เดือนจึงคัดเอาตัวเมียที่มีไข่มาใช้ผลิตลูกปลาดุกอุยเทศในฟาร์ม และนำตัวเมียไข่ส่วนหนึ่งพร้อมตัวผู้มาผสมเพื่อสร้างประชากรปลาดุกอุยรุ่นถัดไป ซึ่งจากข้อมูลข้างต้นพบว่าฟาร์มปลา สุภาภรณ์ (S) มีการคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์โดยที่ไม่ได้ตั้งใจ ส่งผลให้ในรุ่นลูกมีความหลากหลายทางพันธุกรรมที่ลดลง การนำพ่อแม่จำนวนน้อยมาผสมกัน อาจทำให้ความหลากหลายทางพันธุกรรมในรุ่นลูกลดลงอันเนื่องจากปรากฏการณ์คอขวด (Bottleneck) จะส่งผลให้เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดการผสมเลือดชิด (inbreeding) และการสูญเสียความหลากหลายทางพันธุกรรมในระยะยาว ซึ่งสอดคล้องกับค่า N_e ที่ได้เท่ากับ 28.1 น้อยกว่าที่ควรจะเป็นที่ N_e เท่ากับ 50 (Tave, 1993) สำหรับประชากรปลาดุกอุยจากศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำชุมพร (P) ไม่เกิดปรากฏการณ์คอขวด (P_{BottN}= 0.051) แต่ค่า P-value ที่ปรากฏสามารถบ่งบอกว่าประชากรปลาดุกอุยจากศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำชุมพร (P) มีความเสี่ยงที่จะเกิดปรากฏการณ์คอขวด (Bottleneck) ดังนั้น

จึงควรมีการบริหารจัดการพ่อแม่พันธุ์ปลาดุกอุยต่อไป เพื่อป้องกันการเกิดการผสมเลือดชิด (inbreeding) และการสูญเสียความหลากหลายทางพันธุกรรม

ค่า F_{st} ที่บ่งบอกระดับความแตกต่างทางพันธุกรรมระหว่างประชากร โดย Wright (1978) กล่าวว่าค่า F_{st}= 0.00 – 0.05 แสดงว่ามีความแตกต่างทางพันธุกรรมต่ำ ค่า F_{st}= 0.05 – 0.15 แสดงว่ามีความแตกต่างทางพันธุกรรมปานกลาง ค่า F_{st}= 0.15 – 0.25 แสดงว่ามีความแตกต่างทางพันธุกรรมสูง และค่า F_{st} > 0.25 แสดงว่ามีความแตกต่างทางพันธุกรรมสูงมาก ซึ่งการศึกษานี้พบค่า F_{st} = 0.103 แสดงว่ามีความแตกต่างทางพันธุกรรมปานกลาง จากข้อมูลที่กล่าวมาทั้งหมดหากต้องการสร้างความหลากหลายทางพันธุกรรมให้กว้างขึ้นและเพิ่ม heterozygote ให้กับประชากรควรนำประชากรทั้ง 2 มาผสมร่วมกัน และวางแผนในการจัดการพ่อแม่พันธุ์ตามหลักพันธุศาสตร์เพื่อป้องกันการเกิดการผสมเลือดชิด (inbreeding) และการสูญเสียความหลากหลายทางพันธุกรรมต่อไป

Table 2 Genetic variation based on five microsatellite loci of *Clarias macrocephalus* from Chumphon aquatic animal genetics research and development center (P) and Supaphon farm (S)

Population	A_a (±SD)	A_e (±SD)	H_o (±SD)	H_e (±SD)	P_{HWE}	F_{is}	P_{BottN}	N_e (95% CI)
P	5.00 (2.5495)	3.20 (1.6653)	0.47 (0.1096)	0.62 (0.1761)	0.016	0.248	0.051	82.6 (27.9-Inf.)
S	4.60 (2.7019)	3.20 (1.5989)	0.45 (0.1129)	0.63 (0.1696)	0.046	0.288	0.041	28.1 (13.2-81.4)
P-value	0.8158	0.9976	0.7683	0.9607	-	-	-	-

Note: apparent alleles (A_a), effective number of alleles (A_e), observed heterozygosity (H_o), expected heterozygosity (H_e), P-value for Hardy-Weinberg equilibrium (P_{HWE}), Fixation index (F_{is}), P-value for Bottleneck test (P_{BottN}), effective population size (N_e) and P-value for t-test between the population means (P-value).

Table 3 Fixation index (F_{st}, F_{is} and F_{it}) of *Clarias macrocephalus* for each locus and all loci

locus	F_{st}	F_{is}	F_{it}
Cma-6	0.191	-0.147	0.072
Cma-8	0.018	0.401	0.411
Cma-19	-0.003	0.173	0.171
Cma-21	0.068	0.261	0.312
Cma-22	0.209	0.445	0.560
All loci	0.103	0.267	0.343

การเลี้ยงทดสอบเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของปลาดุกอุย

ก่อนเริ่มทำการทดลองได้เก็บข้อมูลน้ำหนักเริ่มต้น (IBW) และความยาวเริ่มต้น (ITL) พบว่าปลาจากทั้ง 2 แหล่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P-value > 0.05) หลังสิ้นสุดการทดลองพบว่าน้ำหนักสุดท้าย (FBW) ความยาวสุดท้าย (FTL) น้ำหนักที่เพิ่มต่อวัน (DWG) และอัตรารอด (SUR) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P-value > 0.05) จากทั้ง 2 แหล่ง แต่ปลาดุกอุยเพศผู้จากฟาร์มปลา สุภาภรณ์ (S) มีน้ำหนักสุดท้าย และน้ำหนักที่เพิ่มต่อวันมากกว่าปลาดุกอุยเพศผู้จากศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำชุมพร (P) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P-value < 0.05) และปลาดุกอุยเพศเมียจากศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำชุมพร (P) มีความยาวสุดท้ายมากกว่าปลาดุกอุยเพศเมียจากฟาร์มปลา สุภาภรณ์ (S) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P-value < 0.05) สำหรับอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) และ Condition factor (K) ของปลาดุกอุยจากฟาร์มปลา สุภาภรณ์ (S) มีค่ามากกว่าปลาดุกอุยจากศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำชุมพร (P) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกลุ่มเพศ (P-value < 0.05) (Table 4)

จากข้อมูลข้างต้นพบว่าน้ำหนักสุดท้าย (FBW) ความยาวสุดท้าย (FTL) และอัตรารอด (SUR) ของปลาดุกอุยรวมเพศจากทั้ง 2 ประชากรไม่แตกต่างกัน แต่ปลาดุกอุยเพศผู้จากฟาร์มปลา สุภาภรณ์ (S) มีน้ำหนักสุดท้ายมากกว่าปลาดุกอุยเพศผู้จากศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำชุมพร (P) ซึ่งสอดคล้องกับค่าน้ำหนักที่เพิ่มต่อวัน (DWG) และค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) ที่ปลาดุกอุยเพศผู้จากฟาร์มปลา สุภาภรณ์ (S) มีค่ามากกว่าปลาดุกอุยเพศผู้จากศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำชุมพร (P) ในขณะที่ปลาดุกอุยเพศเมียจากทั้ง 2 แหล่งไม่แตกต่างกันทั้งน้ำหนักสุดท้ายและน้ำหนักที่เพิ่มต่อวัน (DWG) เมื่อพิจารณาความยาวสุดท้ายกลับพบว่าปลาดุกอุยเพศเมียจากศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำชุมพร (P) มีความยาวมากกว่าปลาดุกอุยเพศเมียจากฟาร์มปลา สุภาภรณ์ (S) ในขณะที่ปลาดุกอุยเพศผู้จากทั้ง 2 แหล่งไม่แตกต่างกันในด้านความยาว จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าปลาดุกอุยทั้งเพศผู้และเพศเมียจากศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำชุมพร (P) มีลักษณะลำตัวที่เป็นทรงเพรียวยาวกว่าปลาดุกอุยจากฟาร์มปลา สุภาภรณ์ (S) ซึ่งสอดคล้องกับค่า condition factor (K) ที่เป็นค่าความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและความยาวสามารถใช้บ่งบอกถึงรูปร่างของปลาได้ หากมีค่าต่ำแสดงว่าปลามีรูปร่างลำตัวที่เพรียวยาว (Froese, 2006; Nash *et al.*, 2006) ที่พบว่าปลาดุกอุยจากศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำชุมพร (P) มีค่า K ต่ำกว่าปลาดุกอุยจากฟาร์มปลา สุภาภรณ์ (S) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P-value < 0.05) ถึงแม้ข้อมูลน้ำหนักสุดท้ายและความยาวสุดท้ายรวมเพศของทั้ง 2 แหล่งไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อพิจารณาแยกเพศกลับพบว่าลักษณะทางกายภาพของปลาดุกอุยจากทั้ง 2 แหล่งมีความแตกต่างกัน ซึ่งบ่งบอกได้ถึงความผันแปร (Variation) ของปลาดุกอุยจากทั้ง 2 แหล่งได้เป็นอย่างดี

Table 4 Growth performance of initial body weight (IBW, g), initial total length (ITL, cm), final body weight (FBW, g), final total length (FTL, cm), daily weight gain (DWG, $g.day^{-1}$), specific growth rate (SGR, $\%.day^{-1}$), condition factor (K, %) and survival rate (SUR, %) of *Clarias macrocephalus* from Chumphon aquatic animal genetics research and development center (P) and Supaphon farm (S)

Growth performance		P	S
IBW (g)		1.01	1.00
		(0.960 – 1.052)	(0.959 – 1.048)
ITL (cm)		5.28	5.29
		(5.200 – 5.358)	(5.212 – 5.370)
FBW (g)	All	27.05*	28.08*
		(26.261 – 27.831)	(27.396 – 28.762)
	Male	25.98*[a]	28.50*[b]
		(24.876 – 27.071)	(27.614 – 29.381)
	Female	28.31*	27.63*
		(27.195 – 29.412)	(26.571 – 28.681)
FTL (cm)	All	15.30*	15.22*
		(15.153 – 15.448)	(15.093 – 15.340)
	Male	15.25*	15.51*
		(15.029 – 15.459)	(15.345 – 15.662)
	Female	15.37*[a]	14.89*[b]
		(15.165 – 15.562)	(14.705 – 15.058)
DWG ($g.day^{-1}$)	All	0.145*	0.151*
		(0.1404 – 0.1491)	(0.1467 – 0.1543)
	Male	0.139*[a]	0.153*[b]
		(0.1328 – 0.1450)	(0.1479 – 0.1577)
	Female	0.152*	0.148*
		(0.1456 – 0.1579)	(0.1421 – 0.1538)
SGR ($\%.day^{-1}$)	All	1.818*[a]	1.843*[b]
		(1.8012 – 1.8338)	(1.8290 – 1.8562)
	Male	1.795*[a]	1.852*[b]
		(1.7708 – 1.8180)	(1.8347 – 1.8693)
	Female	1.844*	1.832*
		(1.8215 – 1.8655)	(1.8106 – 1.8535)

Table 4 Growth performance of initial body weight (IBW, g), initial total length (ITL, cm), final body weight (FBW, g), final total length (FTL, cm), daily weight gain (DWG, $g.day^{-1}$), specific growth rate (SGR, $\%.day^{-1}$), condition factor (K, %) and survival rate (SUR, %) of *Clarias macrocephalus* from Chumphon aquatic animal genetics research and development center (P) and Supaphon farm (S) (Cont.)

Growth performance		P	S
K (%)	All	0.748^{*a}	0.795^{*b}
		(0.7425 – 0.7534)	(0.7898 – 0.8000)
	Male	0.725^{*a}	0.761^{*b}
		(0.7172 – 0.7327)	(0.7555 – 0.7672)
	Female	0.776^{*a}	0.831^{*b}
		(0.7695 – 0.7816)	(0.8254 – 0.8374)
SUR (%)		97.83	96.50
		(92.814 – 102.853)	(95.258 – 97.742)

การทดสอบเปรียบเทียบการต้านทานโรค *Aeromonas hydrophila* ของปลาดุกอุย

ศึกษาหาความเข้มข้นของแบคทีเรียที่ทำให้ปลาตายครึ่งหนึ่งภายในเวลา 96 ชั่วโมง (LC_{50}) โดยแช่ปลาดุกอุยในเชื้อ *A. hydrophila* ที่มีระดับความเข้มข้น 5 ระดับคือ 1.49×10^7, 9.48×10^5, 6.24×10^4, 6.44×10^3 และ 6.44×10^2 เซลล์ต่อมิลลิลิตร และแช่ปลาดุกอุยในน้ำปลอดเชื้อสำหรับชุดควบคุม พบว่าปลาดุกอุยตายร้อยละ 75, 40, 30, 15, 0 และ 0 ตามลำดับภายในเวลา 96 ชั่วโมง (Figure 1) เมื่อนำผลร้อยละการตายของปลาดุกอุยแต่ละระดับมาคำนวณหาค่า LC_{50} ตามวิธีการของ Reed and Muench (1938) พบว่ามีค่า LC_{50} เท่ากับ 2.08×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร โดยปลาที่ตายเร็วสุดพบอยู่ที่ระดับความเข้มข้น 1.49×10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ที่ระยะเวลา 8 ชั่วโมง 30 นาที และปลาที่ตายตัวสุดท้ายพบอยู่ที่ระดับความเข้มข้น 6.44×10^3 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ที่ระยะเวลา 35 ชั่วโมง 20 นาที ปลาดุกอุยที่ตายทุกตัวพบว่าตายด้วยสาเหตุจากเชื้อ *A. hydrophila* โดยดูจากลักษณะทางกายภาพคือ ท้องบวม มีน้ำในช่องท้อง ตับซีด และเมื่อเขี่ยเชื้อจากตับออกมาพบว่ามีเชื้อ *A. hydrophila* จำนวนมาก และไม่พบเชื้อ *A. hydrophila* ในปลาที่รอดทุกตัว

จากการศึกษาครั้งนี้โดยการแช่ปลาดุกอุยในน้ำที่มีเชื้อ *A. hydrophila* และใช้ปลาดุกอุยน้ำหนักเฉลี่ย 1.62 กรัม พบว่าค่า LC_{50} เท่ากับ 2.08×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ซึ่งน้อยกว่าการศึกษาของ Karoon and Areechon (1994) ที่นำเชื้อ *A. hydrophila* เข้าสู่ตัวปลาดุกอุยโดยวิธีการฉีดเข้าช่องท้อง และใช้ปลาดุกอุยน้ำหนักเฉลี่ย 12.44 กรัม พบค่า LD_{50} เท่ากับ 4.9×10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตร และ Rasatapana (1996) ที่นำเชื้อ *A. hydrophila* เข้าสู่ตัวปลาดุกอุยโดยวิธีการฉีดเข้าช่องท้องในปริมาณ 0.1 มิลลิลิตร ต่อน้ำหนักปลา 10 กรัม พบค่า LD_{50} เท่ากับ 5.45×10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ทั้งนี้ค่า LC_{50} (LD_{50}) มีความแตกต่างกันเนื่องจากใช้เชื้อคนละสายพันธุ์ ส่งผลให้ความรุนแรงของเชื้อแตกต่างกัน อีกทั้งการศึกษานี้ใช้ลูกปลาดุกอุยที่มีขนาดเล็กกว่า จึงส่งผลให้ปริมาณเชื้อที่ใช้ลดลง แต่การศึกษานี้นำเชื้อเข้าสู่ตัวปลาโดยวิธีการแช่ ต่างจากการศึกษาทั้ง 2 ข้างต้น

ซึ่งโดยปกติการนำเชื้อเข้าโดยวิธีการแช่ต้องใช้ความเข้มข้นเชื้อที่สูงกว่าการฉีด ดังนั้นเชื้อ *A. hydrophila* สายพันธุ์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้จึงเป็นสายพันธุ์ที่มีความรุนแรงที่สามารถใช้ในการศึกษาได้

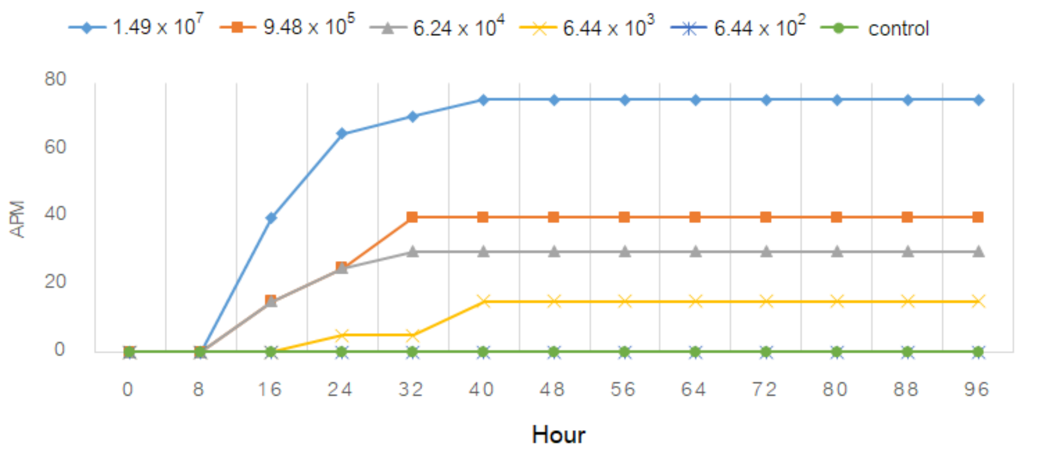


Figure 1 Accumulative percentage of mortality rate (APM) of *Clarias macrocephalus* experimentally infected with various concentrations of *A. hydrophila*

ทดสอบเปรียบเทียบความต้านทานโรคโดยการแช่ปลาดุกอุยในเชื้อที่มีความเข้มข้น 3.5 x 10^{6} เซลล์ต่อมิลลิลิตร (LC_{50} เท่ากับ 2.08 x 10^{6} เซลล์ต่อมิลลิลิตร) พบว่าในชุดทดลองปลาดุกอุยจากศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำชุมพร (P) มีค่าเฉลี่ยการตายเท่ากับ 5.33 ± 1.33 ตัว คิดเป็นร้อยละ 53.33 ภายในเวลา 96 ชั่วโมง และปลาดุกอุยจากฟาร์มปลา สุภาภรณ์ (S) มีค่าเฉลี่ยการตายเท่ากับ 4.67 ± 4.33 ตัว คิดเป็นร้อยละ 46.67 ภายในเวลา 96 ชั่วโมง เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติพบว่าอัตราการตายจากทั้ง 2 ประชากรไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P-value > 0.05) และในชุดควบคุมพบว่าปลาดุกอุยจากศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำชุมพร (P) มีค่าเฉลี่ยการตายเท่ากับ 1.00 ± 1.00 ตัว คิดเป็นร้อยละ 10 ภายในเวลา 96 ชั่วโมง และไม่พบการตายในปลาดุกอุยจากฟาร์มปลา สุภาภรณ์ (S) เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติพบว่าอัตราการตายจากทั้ง 2 ประชากรไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P-value > 0.05) (Table 5, Figure 2) เมื่อตรวจสอบสาเหตุการตายพบว่าในชุดทดลองปลาดุกที่ตายทุกตัวมีอาการท้องบวม มีน้ำในช่องท้อง ตับซีด และเมื่อเขี่ยเชื้อจากตับออกมาพบว่ามีเชื้อ *A. hydrophila* จำนวนมาก และไม่พบเชื้อ *A. hydrophila* ในปลาที่รอดทุกตัว และในชุดควบคุมไม่พบเชื้อ *A. hydrophila* ทั้งในปลาที่รอดและปลาที่ตาย

การตายของปลาดุกอุยจากเชื้อ *A. hydrophila* ในการศึกษานี้พบว่าจะตายอยู่ในช่วงเวลาตั้งแต่ 8 – 40 ชั่วโมงหลังจากได้รับเชื้อ (Figure 1, 2) และพบว่าปลาดุกอุยจากการทดลองนี้ที่ตายหลังจากชั่วโมงที่ 40 ไม่พบเชื้อ *A. hydrophila* ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Karoon and Areechon (1994) และ Rasatapana (1996) ที่รายงานว่าปลาดุกอุยจะเริ่มตายในช่วงชั่วโมงที่ 10 - 12 หลังจากฉีดเชื้อ แต่มีข้อแตกต่างที่การศึกษาของ Karoon and Areechon (1994) พบการตายจากเชื้อที่ถึงชั่วโมงที่ 96 หลังจากฉีดเชื้อ ซึ่งการศึกษาครั้งนี้พบปลาที่ตายหลังจากชั่วโมงที่ 40 หลังจากรับเชื้อจำนวน 3 ตัว (ในประชากรจากศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุกรรม

สัตว์น้ำชุมพร (P) จำนวน 1 ตัว และจากฟาร์มปลา สุภาภรณ์ (S) จำนวน 2 ตัว) แต่เนื่องด้วยไม่พบเชื้อ *A. hydrophila* จึงไม่นับเป็นปลาที่ตายจากเชื้อ อีกทั้งในชุดควบคุมของปลาดุกอุยจากศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำชุมพร (P) ก็มีการตาย (จำนวน 3 ตัว) และไม่พบเชื้อ *A. hydrophila* จากผลดังกล่าวเป็นความผิดพลาดที่อาจเกิดจากความอ่อนแอของตัวปลาเนื่องจากเข็มฉีดยาสะกิดข้างลำตัวให้เป็นแผลก่อนนำไปแช่ แต่การศึกษานี้ได้ใช้คนที่สะกิดข้างตัวปลาเป็นคนเดียวเพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากตัวบุคคล ทั้งนี้ปลาดุกอุยที่รอดตายจากการแช่เชื้อ และไม่พบเชื้อภายในตัวอาจเกิดจากระบบภูมิคุ้มกันที่สามารถทำลายเชื้อแปลกปลอมที่เข้าสู่ตัวปลาได้

เมื่อพิจารณาความต้านทานเชื้อพบว่าปลาดุกอุยจากศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำชุมพร (P) มีอัตราการตาย (ร้อยละ 53.33) มากกว่าปลาดุกอุยจากฟาร์มปลา สุภาภรณ์ (S) (ร้อยละ 46.67) แต่เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติพบว่าอัตราการตายจากทั้ง 2 ประชากรไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P-value > 0.05) จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าปลาดุกอุยจาก 2 แหล่งมีความต้านทานโรคที่ไม่แตกต่างกัน และจากผลที่ได้จากการตรวจสอบหาเชื้อจากปลาที่รอดตายจากทั้ง 2 แหล่ง พบว่าทั้ง 2 แหล่งมีปลาที่สามารถกำจัดเชื้อที่เข้าสู่ร่างกายได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงควรผสมข้ามปลาจากทั้ง 2 แหล่งเพื่อสร้างเป็นประชากรพื้นฐานสำหรับการปรับปรุงพันธุ์ต่อไป

Table 5 Number of deaths in each replication, mean of deaths and standard deviation (S.D.) of *Clarias macrocephalus* from Chumphon aquatic animal genetics research and development center (P) and Supaphon farm (S) in experimental group and control group

group	Population	Replication 1	Replication 2	Replication 3	Mean	S.D.
Experimented	P	6	6	4	5.33[a]	1.33
	S	7	4	3	4.67[a]	4.33
Control	P	0	2	1	1.00[b]	1.00
	S	0	0	0	0[b]	0

Note: mean with different superscripts in each column differ significantly from each other (P<0.05) and number of deaths in the experimented group at not from *A. hydrophila* are excluded

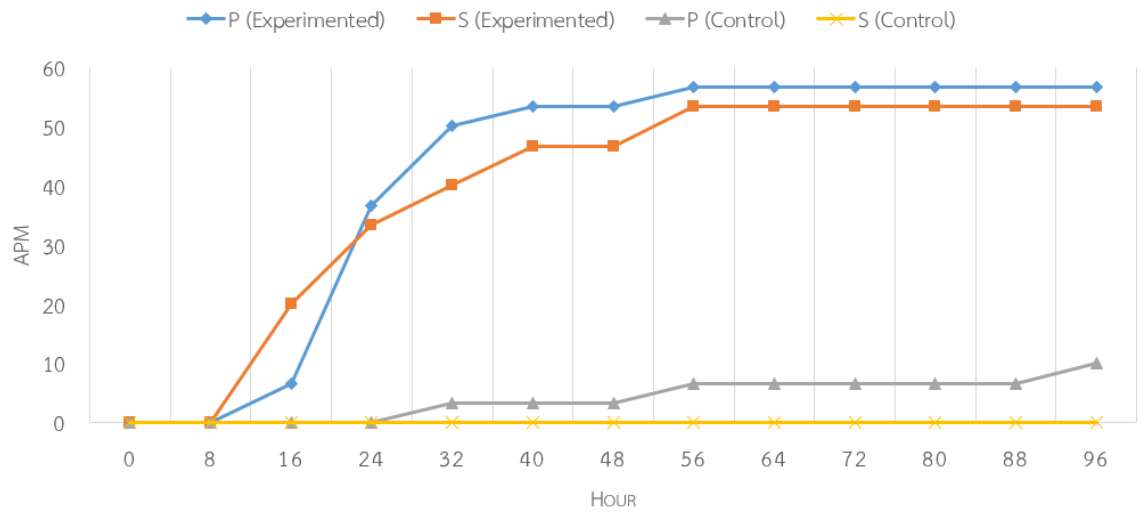


Figure 2 Accumulative percentage of mortality rate (APM) of *Clarias macrocephalus* from Chumphon aquatic animal genetics research and development center (P) and Supaphon farm (S) experimentally infected with *A. hydrophila*

สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าประชากรปลาดุกอุยจากทั้ง 2 แหล่งมีความแตกต่างกันในด้านพันธุกรรมและลักษณะทางกายภาพของลำตัว ซึ่งบ่งบอกได้ถึงความผันแปร (Variation) ของปลาดุกอุยจากทั้ง 2 แหล่งได้เป็นอย่างดี แม้ความสามารถในการต้านทานโรคจะไม่แตกต่างกัน แต่พบว่ายังมีปลาที่สามารถกำจัดเชื้อที่เข้าสู่ร่างกายได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงควรผสมข้ามปลาจากทั้ง 2 แหล่งเพื่อสร้างเป็นประชากรพื้นฐานสำหรับการปรับปรุงพันธุ์ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณลุงตี๋ – ป้าเล็ก เจ้าของฟาร์มปลา สุภาภรณ์ จ.สิงห์บุรี ที่อนุเคราะห์พ่อแม่พันธุ์ปลาดุกอุย และให้ความรู้ คำแนะแนะนำเกี่ยวกับปลาดุกอุยในประเทศไทย ขอขอบคุณ ผอ.สุชาติ จุลอดุง ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำชุมพรที่อนุเคราะห์พ่อแม่พันธุ์ปลาดุกอุย ขอขอบคุณนางสาวจันทร์นภา ศักดิ์ศรีพิพัฒน์ นักวิชาการประมงของกองวิจัยและพัฒนาสุขภาพสัตว์น้ำ และเจ้าหน้าที่ประจำกองวิจัยและพัฒนาสุขภาพสัตว์น้ำทุกท่านที่อำนวยความสะดวก และให้การช่วยเหลือในการทดสอบเปรียบเทียบการต้านทานโรค *Aeromonas hydrophila* ของปลาดุกอุย สุดท้ายขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำปทุมธานีทุกท่านที่ช่วยเหลือให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

Aljanabi, S.M. and I. Martinez. 1997. Universal and rapid salt-extraction of high quality genomic DNA for PCR-based techniques. Nucleic Acids Research. 25: 4692-4693.

Benbouza, H., J.M. Jacquemin, J.P. Baudin and G. Mergeai. 2006. Optimization of a reliable, fast, cheap and sensitive silver staining method to detect SSR markers in polyacrylamide gels. Biotech. Agron. Soc. Environ. 10: 77–81.

Borivetanan, P. 2016. Bottleneck effect. IPST Magazine. 44 (201): 10-14. [in Thai]

Chaisureesri, K. 2005. Application of isoenzyme electrophoresis to assess genetic diversity in conservation of tropical forest genetic resources: theory and practice. Forest and plant conservation research office. Bangkok. 157 pp. [in Thai]

Cornuet, J. M. and G. Luikart. 1996. Description and power analysis of two tests for detecting recent population bottlenecks from allele frequency data. Genetics. 144: 2001–2014.

Department of Fisheries. 2018. Fisheries statistics of Thailand 2016. Fisheries development policy and strategy division. Bangkok. 87 pp. [in Thai]

Do, C., R. S. Waples, D. Peel, G. M. Macbeth, B. J. Tillett and J. R. Ovenden. 2014. NeEstimator V2: re-implementation of software for the estimation of contemporary effective population size (N_e) from genetic data. Molecular Ecology Resources. 14(1): 209-214.

Froese, R. 2006. Cube law, condition factor and weight-length relationship: history, meta-analysis and recommendations. J. Appl. Ichthyol. 22: 241-253.

Goudet, J. 2001. FSTAT, a program to estimate and test gene diversities and fixation indices (version 2.9.3). Available Source: http://www.unil.ch/izea/softwares/fstat.html, January 9, 2014.

Hansen, M.M., D.E. Ruzzante, E.E. Nielsen and K.D. Mensberg. 2001. Brown trout (*Salmo trutta*) stocking impact assessment using microsatellite DNA markers. Ecol. Appl. 11: 148–160.

Karoon, B. and N. Areechon. 1994. Study on resistance to experimental infection of Aeromonas hydrophila in hybrid catfish. Proceedings of the 32nd Kasetsart University Annual Conference: Animal Science, Veterinary Science and Fisheries. Bangkok. 475-487. [in Thai]

Komanpririn, K., S. Leesanga and S. Uraiwan. 2004. Mass selection for growth of Thai walking catfish (*Clarias macrocephalus* Günther). Technical Paper no. 3. Aquatic animal genetic research and development institute. Bangkok. 28 pp. [in Thai]

Li, Q., C. Park, T. Endo and A. Kijima. 2004. Loss of genetic variation at microsatellite loci in hatchery strains of the Pacific abalone (*Haliotis discus hannai*). Aquaculture. 235: 207-222.

Muiocha, D.A., S. Onming and U. Na-Nakorn. 2017. Growth performance, genetic diversity and morphometric traits of an introduced wild and hatchery population of *Clarias macrocephalus* Günther, 1864. Journal of Fisheries and Environment. 41(2): 19 pp.

Na-Nakorn, U., N. Taniguchi, E. Nugroho, S. Seki and W. Kamonrat. 1999. Isolation and characterization of microsatellite loci of *Clarias macrocephalus* and their application to genetic diversity study. Fisheries Science. 65(4): 520-526.

Nash, R.D.M., A.H. Valencia and A.J. Geffen. 2006. The original of Fulton's condition factor: Setting the record straight. Fisheries. 31(5): 236-238.

Primpol, M. 1990. Study on disease in Gunther's walking catfish (*Clarias macrocephalus*) and its prevention. Thesis (Master's degree), Kasetsart University, Bangkok. [in Thai]

Rasatapana, D. 1996. Estimation of heritability of disease resistance, body weight and length of Thai walking catfish, *Clarias macrocephalus*. Thesis (Master's degree), Kasetsart University, Bangkok. 66 pp. [in Thai]

Reed, L.J. and H. Muench. 1938. A simple method of estimating fifty percent end points. Am. J. Hug. 27: 493-497.

Sukmanomon, S., S. Poompuang and M. Nakajima. 2003. Isolation and characterization of microsatellites in the Asian Walking Catfish *Clarias macrocephalus*. Molecular Ecology Notes. 3: 350-351.

Tave, D. 1993. Genetics of fish hatchery management. 2nd ed. Kluwer Academic Publishers, Boston. 415 pp.

Wright, S. 1978. Evolution and the genetics of populations. Vol.4: Variability within and among natural populations. Chicago: University of Chicago Press.

Yeh, F.C., R. Yang and T. Boyle. 1999. POPGENE version 1.31. Microsoft Window–based Freeware for Population Genetic Analysis. (http://www.ualberta.ca/~fyeh/).

ผลกระทบจากการงดทำประมงปูม้าที่มีไข่นอกกระดองต่อชาวประมงขนาดเล็ก กรณีศึกษาจังหวัดตรัง

Impacts of no ovigerous blue swimming crab fishing on small scale fisher; a case study in Trang province

ธงชัย นิติรัฐสุวรรณ[1*] และ จันทร์สว่าง งามผ่องใส[2]

Thongchai Nitiratsuwan[1*] and Chansawang Ngamphongsai [2]

[1]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อ.สิเกา จ.ตรัง 92150

[2]ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ 113 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถ.พหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

[1]Faculty of Science and Fisheries Technology, Rajamangala University of technology Srivijaya, Sikao, Trang, Thailand. 92150

[2]Marine Biotechnology Laboratory, National Center for Genetic Engineering and Biotechnology, National Science and Technology Development Agency, 113 Thailand Science Park, Paholyothin R., Klong Nueng, Klong Luang, Pathum Thani Province. 12120

*Corresponding author: nitiratsuwan@gmail.com

บทคัดย่อ

การทำประมงปูม้าที่มีไข่นอกกระดองเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ส่งผลให้ทรัพยากรปูม้าในธรรมชาติลดลง การงดการทำประมงปูม้าที่มีไข่นอกกระดองที่มีประสิทธิภาพสามารถช่วยแก้ปัญหานี้ได้ ในการดำเนินการจำเป็นต้องศึกษาข้อมูลผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับชาวประมงซึ่งเป็นผู้ที่ได้รับผลกระทบโดยตรงมาใช้ประกอบ จึงทำการศึกษาปริมาณและมูลค่าของปูม้าที่มีและไม่มีไข่นอกกระดองจากการทำประมงขนาดเล็กบริเวณชายฝั่งของจังหวัดตรัง ดำเนินการเก็บข้อมูลด้วยแบบบันทึกข้อมูลจากชาวประมงขนาดเล็ก สัปดาห์ละ 1 ครั้ง ระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 ถึงตุลาคม พ.ศ. 2559 ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธีของ Scheffe จำแนกตามเดือน พบว่าผลจับปูม้าเฉลี่ยของชาวประมงขนาดเล็กในจังหวัดตรังต่อเที่ยวประมงจำแนกตามเดือนมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างยิ่ง ($P<0.01$) โดยในเดือนกรกฎาคมมีปริมาณและจำนวนเฉลี่ยของปูม้าสูงสุด (14.75 กิโลกรัมต่อเที่ยว และ 153.63 ตัวต่อเที่ยว) ส่วนใหญ่เป็นปูม้าขนาดกลางและขนาดเล็ก ส่งผลให้มูลค่าเฉลี่ยของปูม้าที่ชาวประมงได้รับในเดือนนี้สูงที่สุด (1,067.67 บาท) ส่วนผลจับปูม้าที่มีไข่นอกกระดองเฉลี่ยของชาวประมงขนาดเล็กในจังหวัดตรังต่อเที่ยวประมงจำแนกตามเดือนมีความแตกต่างอย่างยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) โดยเดือนเมษายนมีปริมาณการจับปูม้าที่มีไข่นอกกระดองเฉลี่ยสูงที่สุด (0.63 กิโลกรัมต่อเที่ยว) เนื่องจากในเดือนนี้ชาวประมงจับปูม้าที่มีไข่นอกกระดองขนาดใหญ่และกลางได้ทั้งผลจับและจำนวนเฉลี่ยมากที่สุด 0.16 และ 0.43 กิโลกรัมต่อเที่ยว 0.70 และ 3.13 ตัวต่อเที่ยว ตามลำดับ แต่ผลกระทบทางเศรษฐกิจจากการงดทำประมงปูม้าที่มีไข่นอกกระดองบริเวณชายฝั่งต่อชาวประมงขนาดเล็กมีมากในเดือนมีนาคม โดยกระทบมากถึงร้อยละ 10.89 ของมูลค่าปูม้าที่ได้รับต่อเที่ยว จากมูลค่าเฉลี่ยของปูม้าที่ไม่มีไข่นอกกระดอง 724.59 บาทต่อเที่ยว และปูม้ามีไข่นอกกระดอง 88.57 บาทต่อเที่ยวตามลำดับ

คำสำคัญ: ปูม้า ปูม้าที่มีไข่นอกกระดอง ชาวประมงขนาดเล็ก ผลกระทบ จังหวัดตรัง

Abstract

Ovigerous blue swimming crab (BSC) fishing is one of the causes of natural BSC resources declining. The no fishing of ovigerous BSC should be alleviated the problems. To establish those regulations, the impacts on the small scale BSC fisher who were directly affected should be thoroughly studied and considered. So, the yield and value of BSC small scale fishing along the coast of Trang Province was studied. The data were collected from BSC small scale fisher every week, between November 2015 and October 2016. Analysis of variance (one-way) and multiple range test (Scheffe's method) of the data were analysed. It was found that the average BSC yield per fishing trip of small scale fisher classified by month was highly statistical differences ($P<0.01$). The highest average yield and numbers of BSC were found in July (14.75 kg and 153.63 crabs), which most of them were medium and small sizes, resulted in the highest average value (1,067.67 THB). While the average yield of ovigerous BSC per fishing trip classified by month was also highly statistical differences ($P<0.01$). The highest average yield of ovigerous BSC was found in April (0.63 kg). The highest average yield and numbers of large and medium ovigerous BSC were also found in this month, 0.16 kg and 0.43 kg, and 0.70 and 3.13 crabs, respectively. However, the economic impact of no ovigerous BSC fishing on small scale fisher was high in March by 10.89% of BSC value per fishing trip which the average value of BSC and ovigerous BSC per trip were 724.59 and 88.57 THB.

Keywords: Blue swimming crab, ovigerous blue swimming crab, small scale fisher, impact, Trang province

คำนำ

การประมงปูม้าที่มีไข่นอกกระดอง เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ส่งผลให้เกิดการลดลงของทรัพยากรปูม้าซึ่งเป็นสัตว์น้ำที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย การจับปูม้าที่มีไข่นอกกระดองขึ้นมาใช้ประโยชน์จะส่งผลให้ไม่มีปูม้ารุ่นใหม่เข้ามาทดแทนที่ประชากรรุ่นเก่าในธรรมชาติที่ถูกจับและตายไปตามธรรมชาติ ส่งผลให้ทรัพยากรปูม้าในธรรมชาติลดลงหรือสูญพันธุ์ไปในที่สุด ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยการกำหนดมาตรการที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมเพื่อลดการประมงปูม้าที่มีไข่นอกกระดอง จากผลการวิจัยแนวทางการจัดการประมงปูม้าที่มีไข่นอกกระดองที่เหมาะสม พบว่าชาวประมงมีความพร้อมที่จะให้ความร่วมมือในการจัดการทรัพยากรปูม้าที่มีไข่นอกกระดอง (Nitiratsuwan *et al.*, 2013) แต่ยังขาดข้อมูลที่สำคัญคือ ผลกระทบต่อชาวประมงหากไม่ทำประมงปูม้าที่มีไข่นอกกระดอง ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญที่จะมีผลต่อความร่วมมือของชาวประมงต่อมาตรการที่จะกำหนดขึ้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องศึกษาผลของการประมงปูม้าที่มีและไม่มีไข่นอกกระดอง ทั้งปริมาณ และมูลค่าเพื่อนำข้อมูลที่ได้มากำหนดมาตรการหรือและช่วงเวลาที่เหมาะสมในการงดหรือลดการประมงปูม้าที่มี

ไข่นอกกระดอง โดยการศึกษาครั้งนี้ดำเนินการศึกษาในจังหวัดตรังเพื่อใช้เป็นต้นแบบในการนำผลการศึกษาที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่อื่น ๆ อันจะส่งผลต่อสภาพทรัพยากรปูม้าให้มีความยั่งยืนได้

วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้ดำเนินการเก็บข้อมูลผลผลิตปูม้าจากชาวประมงขนาดเล็กที่ทำการประมงปูม้าตลอดแนวชายฝั่งของจังหวัดตรัง โดยกำหนดจุดเก็บข้อมูลในหมู่บ้านประมงครอบคลุมทุกพื้นที่ทำประมงปูม้าในจังหวัดตรัง และประเภทเครื่องมือประมงได้แก่ อวนจมปูม้า ลอบพับเหลี่ยม และลอบพับกลม ประกอบด้วย บ้านแหลมไทร บ้านทุ่งทอง บ้านฉางหลาง อำเภอสิเกา บ้านท่าขยง บ้านมดตะนอย อำเภอกันตัง บ้านทุ่งเปลว อำเภอหาดสำราญ บ้านหยงสตาร์ อำเภอปะเหลียน จังหวัดตรัง (Fig 1) (Nitiratsuwan *et al.*, 2007) การเก็บข้อมูลผลผลิตปูม้าและปูม้าที่มีไข่นอกกระดอง ดำเนินการเก็บข้อมูลโดย 1) การเก็บข้อมูลทุกสัปดาห์ ๆ ละ 1 ครั้ง เป็นเวลา 12 เดือน ระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 ถึงตุลาคม พ.ศ. 2559 ข้อมูลที่บันทึกประกอบด้วย จำนวนปูม้า (ตัว) และน้ำหนักของปูม้าทั้งหมด (กิโลกรัม) จำนวนปูม้าที่มีไข่นอกกระดอง (ตัว) และน้ำหนักของปูม้าที่มีไข่นอกกระดอง (กิโลกรัม) โดยจำแนกขนาดปูม้าเป็น 4 ขนาด ประกอบด้วย ปูม้าขนาดใหญ่ (น้อยกว่า 5 ตัวต่อกิโลกรัม) ปูม้าขนาดกลาง (6-9 ตัวต่อกิโลกรัม) และปูม้าขนาดเล็ก (10-11 ตัวต่อกิโลกรัม) ราคาปูม้าที่ชาวประมงจำหน่ายได้ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา (descriptive statistics) บรรยายลักษณะข้อมูล ประกอบด้วย ปริมาณและจำนวนของปูม้าที่มีและไม่มีไข่นอกกระดอง ราคาปูม้าที่ชาวประมงได้รับ มูลค่าของปูม้าที่มีและไม่มีไข่นอกกระดอง จำแนกตามเดือนที่ทำประมง นำเสนอด้วยค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี One-way ANOVA และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Scheffe วิเคราะห์ค่าร้อยละของมูลค่าปูม้าที่มีและไม่มีไข่นอกกระดอง

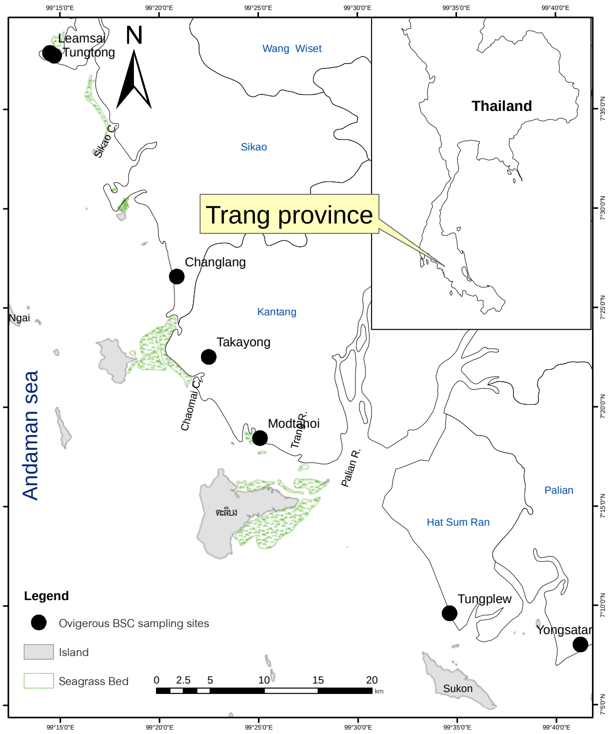


Fig 1 Sampling sites of blue swimming crab (BSC) from small scale fisher in Trang province.

ผลการวิจัยและวิจารณ์

1. ผลจับปูม้าของชาวประมงขนาดเล็กในจังหวัดตรังทั้งปีเฉลี่ย 7.8 กิโลกรัมต่อเที่ยว จำนวนปูม้า 71.69 ตัวต่อเที่ยว โดยในแต่ละเดือนผลจับปูม้าในแต่ละเที่ยวทั้งปริมาณ (กิโลกรัมต่อเที่ยว) และจำนวน (ตัวต่อเที่ยว) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P<0.01) โดยเดือนกรกฎาคมชาวประมงจับปูม้าได้มากที่สุด (14.75 กิโลกรัมต่อเที่ยว และ 153.63 ตัวต่อเที่ยว) และ

น้อยที่สุดในเดือนมีนาคม (4.72 กิโลกรัมต่อเที่ยว และ 33.26 ตัวต่อเที่ยว) ส่วนลักษณะผลจับปูม้าแต่ละขนาดในแต่ละเดือนมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ(P<0.01) โดยเดือนที่จับปูม้าขนาดใหญ่ได้มากคือ เดือนธันวาคม (2.18 กิโลกรัมต่อเที่ยว และ 10.24 ตัวต่อเที่ยว) รองลงมาคือ เดือนพฤศจิกายน (2.13 กิโลกรัมต่อเที่ยว และ 11.37 ตัวต่อเที่ยว) ส่วนปูม้าขนาดกลางเดือนที่จับได้มากคือ เดือนกรกฎาคม (4.87 กิโลกรัมต่อเที่ยว และ 39.17 ตัวต่อเที่ยว) น้อยที่สุดคือ เดือนมกราคม (2.06 กิโลกรัมต่อเที่ยว และ 17.46 ตัวต่อเที่ยว) ส่วนปูม้าขนาดเล็กมีผลจับในแต่ละเดือนแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง(P<0.01) โดยเดือนกรกฎาคมจับปูม้าขนาดเล็กได้มากที่สุด (9.32 กิโลกรัมต่อเที่ยว และ 111.51 ตัวต่อเที่ยว) น้อยที่สุดคือ เดือนมีนาคม (0.59 กิโลกรัมต่อเที่ยว และ 6.74 ตัวต่อเที่ยว) (Table 1) ต่างจากบริเวณภาคใต้ฝั่งตะวันตกของประเทศออสเตรเลียที่พบปูม้าขนาดใหญ่ในช่วงฤดูร้อน (Potter and de Lestang, 2000) เนื่องจากลักษณะภูมิอากาศที่แตกต่างกันของพื้นที่

2. ผลจับปูม้าที่มีไข่นอกกระดองจากการทำประมงขนาดเล็กในจังหวัดตรังทั้งปีเฉลี่ย 0.42 กิโลกรัมต่อเที่ยว จำนวนปูม้า 3.12 ตัวต่อเที่ยว ในแต่ละเดือนชาวประมงจับปูม้าที่มีไข่นอกกระดองในแต่ละเที่ยวของปริมาณ (กิโลกรัมต่อเที่ยว) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P<0.01) โดยเดือนเมษายนชาวประมงจับปูม้าที่มีไข่นอกกระดองได้ปริมาณมากที่สุด (0.63 กิโลกรัมต่อเที่ยว) แต่จำนวนปูม้าที่มีไข่นอกกระดองได้มากที่สุดในเดือนกรกฎาคม (4.90 ตัวต่อเที่ยว) และน้อยที่สุดทั้งปริมาณและจำนวนในเดือนมกราคม (0.14 กิโลกรัมต่อเที่ยว และ 0.96 ตัวต่อเที่ยว) ส่วนลักษณะผลจับปูม้าแต่ละขนาดในแต่ละเดือนมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.01) โดยเดือนที่จับปูม้าที่มีไข่นอกกระดองขนาดใหญ่ และกลางจับได้มากในเดือนเมษายน (0.16 กิโลกรัมต่อเที่ยว และ 0.70 ตัวต่อเที่ยว, 0.43 กิโลกรัมต่อเที่ยว และ 3.13 ตัวต่อเที่ยว ตามลำดับ) ใกล้เคียงกับบริเวณชายฝั่ง Bandar Abbas ตอนเหนือของอ่าวเปอร์เซียที่พบปูม้ามีไข่นอกกระดองขนาดใหญ่ในช่วงเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม (Ehsan *et al.*, 2010) แต่ปูม้าที่มีไข่นอกกระดองขนาดเล็กจับได้ที่สุดมากทั้งปริมาณและจำนวนในเดือนกรกฎาคม (0.17 กิโลกรัมต่อเที่ยว และ 2.03 ตัวต่อเที่ยว) น้อยที่สุดในเดือนพฤศจิกายน (0.07 กิโลกรัมต่อเที่ยว และ 0.14 ตัวต่อเที่ยว) (Table 2) ผลการศึกษาในเดือนเมษายนชาวประมงจับปูม้าที่มีไข่นอกกระดองขนาดกลางและใหญ่ได้มากต่างจากเดือนกรกฎาคมที่จับปูม้าที่มีไข่นอกกระดองขนาดเล็กได้มากจึงส่งผลให้ปริมาณและจำนวนปูม้าที่มีไข่นอกกระดองไม่ได้อยู่ในเดือนเดียวกัน

3. ฤดูวางไข่ของปูม้า จากการศึกษานี้พบสัดส่วนปูม้าที่มีไข่นอกกระดองมากในเดือนมีนาคมถึงร้อยละ 12.48 ของน้ำหนักปูม้าทั้งหมดและ 11.44 ของจำนวนปูม้าทั้งหมด (Table 3) แสดงให้เห็นว่าในช่วงนี้ปูม้าพร้อมที่จะวางไข่ สอดคล้องกับ Nitiratsuwan *et al.* (2010) ที่รายงานสัดส่วนของปูม้าที่มีไข่นอกกระดองบริเวณชายฝั่งของจังหวัดตรังโดยพบปูม้าที่มีไข่นอกกระดองมากที่สุดในเดือนมีนาคมและเมษายน และยังเป็นช่วงใกล้เคียงกับช่วงฤดูวางไข่ของปูม้าในประเทศอินเดีย (Dineshi Babu *et al.*, 2008) บริเวณปากแม่น้ำตรัง (Nitiratsuwan *et al.*, 2012) โดยในช่วงระยะเวลานี้ทางฝั่งทะเลอันดามันเป็นช่วงการเปลี่ยนแปลงจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ แตกต่างเล็กน้อยจากผลการศึกษาของ Nitiratsuwan *et al.* (2013) ที่รายงานสัดส่วนปูม้าที่มีไข่นอกกระดองพบมากที่สุดในเดือนตุลาคม (ร้อยละ 29.7 ของปูม้า

ทั้งหมด) เนื่องจากทำการศึกษาเฉพาะปากแม่น้ำตรังซึ่งมีลักษณะเป็นร่องน้ำทำให้มีความลึกของน้ำมากกว่าพื้นที่อื่น ๆ แต่ก็พบปูม้าที่มีไข่นอกกระดองในเดือนมีนาคมมากเช่นกัน (ร้อยละ 12.3 ของปูม้าทั้งหมด) ซึ่งมีความใกล้เคียงกับบริเวณทะเลชวา ประเทศอินโดนีเซียที่พบปูม้าที่มีไข่นอกกระดองมากในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงตุลาคม แต่ในเดือนมีนาคมก็ยังพบมากเช่นกัน อีกทั้งยังแตกต่างจากบริเวณตะวันตกของออสเตรเลียที่พบสัดส่วนปูม้าที่มีไข่นอกกระดองมากในช่วงเดือนตุลาคมถึงธันวาคม (de Lestang *et al.*, 2003) (Ernawati *et. al.*, 2017) แต่มีความแตกต่างจากฤดูวางไข่ของปูชนิด *Portunus segnis* ในประเทศตุรกีอย่างมากที่พบปูมีไข่นอกกระดองมากในเดือนพฤษภาคม (Tureli and Yesilyurt, 2017) ซึ่งอาจเกิดจากความแตกต่างของภูมิภาคนั่นเอง ส่วนเดือนที่พบปูม้าที่มีไข่นอกกระดองน้อยที่สุดคือ เดือนพฤศจิกายน สอดคล้องผลการศึกษาของ Nitiratsuwan *et. al*. (2012) ที่รวบรวมข้อมูลปูม้าจากแพรับซื้อสัตว์น้ำจากการทำประมงปูม้าบริเวณชายฝั่ง แต่แตกต่างจากบริเวณอ่าว Lasongko ทางตะวันออกเฉียงใต้ของ Sulawesi ประเทศอินโดนีเซียที่พบปูม้ามีไข่นอกกระดองมากในเดือนพฤศจิกายน (Hamid *et. al.*, 2016)

4. ราคาปูม้าจากการทำประมงขนาดเล็กในจังหวัดตรัง ราคาของปูม้าที่ชาวประมงจำหน่ายได้ขนาดใหญ่ กลาง และเล็ก เฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 195, 123 และ 70 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยราคาปูม้าที่ชาวประมงจำหน่ายได้ในแต่ละเดือนมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) โดยเดือนมกราคมราคาปูม้าขนาดใหญ่และกลางชาวประมงได้รับสูงที่สุด (221 และ 146 บาทต่อกิโลกรัม) ส่วนปูม้าขนาดเล็กราคาสูงสุดในเดือนพฤศจิกายน (81 บาทต่อกิโลกรัม) และราคาของปูม้าทุกขนาดต่ำสุดในเดือนกรกฎาคม (177 , 103 และ 106 บาทต่อกิโลกรัม) (Table 4) ความแตกต่างของราคาปูม้าเกิดจากปริมาณความต้องการตามการท่องเที่ยว เช่น ในช่วงเดือนมกราคมเป็นช่วงปีใหม่ซึ่งมีการท่องเที่ยวค่อนข้างมากทำให้มีความต้องการปูม้ามากขึ้นส่งผลให้ราคาปูม้าสูงขึ้นตามปริมาณความต้องการ แต่ในเดือนกรกฎาคมเป็นช่วงที่มีฝนตกค่อนข้างมากส่งผลให้การท่องเที่ยวมีน้อยส่งผลให้ปริมาณความต้องการปูม้าค่อนข้างน้อยอีกทั้งปริมาณปูม้าที่ชาวประมงจับได้มีปริมาณมากจึงส่งผลให้ราคาปูม้าต่ำมาก (Table 4)

5. มูลค่าปูม้าที่มีและไม่มีไข่นอกกระดองจากการทำประมงขนาดเล็กในจังหวัดตรังเฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 830.60 และ 52.89 บาท ตามลำดับ โดยในแต่ละเดือนมูลค่าปูม้าในแต่ละเดือนมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) โดยเดือนกรกฎาคมชาวประมงมีมูลค่าของปูม้าที่ไม่มีไข่นอกกระดองสูงที่สุด (1,067.67 บาท) ส่วนมูลค่าปูม้าที่มีไข่นอกกระดองสูงสุดในเดือนมีนาคม (88.57 บาท) ลักษณะมูลค่าปูม้าในแต่ละขนาดแต่ละเดือนมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.01$) โดยเดือนที่มูลค่าปูม้าที่ไม่มีไข่นอกกระดองขนาดใหญ่สูงสุดในเดือนธันวาคม (442.48 บาท) แต่เดือนที่มูลค่าปูม้าที่มีไข่นอกกระดองสูงสุดคือ เดือนมีนาคม (31.90 บาท) มูลค่าปูม้าที่ไม่มีไข่นอกกระดองขนาดกลางไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) แต่มูลค่าของปูม้าที่มีไข่นอกกระดองขนาดกลางมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) โดยเดือนมีนาคมมีมูลค่าสูงที่สุด (54.84 บาท) มูลค่าปูม้าขนาดเล็กที่ไม่มีและมีไข่นอกกระดองในแต่ละเดือนมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) โดยเดือนที่มูลค่าสูงที่สุดคือ กรกฎาคม (515.68 , 9.09 บาท) (Table 5)

Table 1 Catch (kg) and crab number (crabs) of blue swimming crab (BSC) per fishing trip from small scale fisher in Trang province between November 2015 to October 2016 classify by month.

BSC size/ month	Catch and crab number of blue swimming crab (BSC) per fishing trip from small scale fisher in Trang province							
	Large (<6 crabs/kg)		Medium (6-9 crabs/kg)		Small (>9 crabs/kg)		total	
	Kg	crabs	kg	crabs	kg	crabs	kg	crabs
Nov 15	2.13^{a}	11.37^{a}	2.91^{ab}	21.23^{b}	2.56^{bcde}	29.13^{bcde}	7.59^{b}	61.73^{bcd}
Dec 15	2.18^{a}	10.24^{ab}	2.77^{ab}	20.99^{b}	2.27^{bcde}	21.83^{cde}	7.22^{b}	53.06^{bcd}
Jan 16	1.91^{ab}	9.71^{abc}	2.06^{b}	17.46^{b}	1.48^{de}	19.25^{cde}	5.44^{b}	46.42^{cd}
Feb 16	1.39^{abcd}	8.04^{abcd}	2.40^{ab}	20.78^{b}	1.72^{cde}	18.97^{cde}	5.51^{b}	47.79^{bcd}
Mar 16	1.90^{abc}	9.42^{abcd}	2.23^{b}	17.10^{b}	0.59^{e}	6.74^{e}	4.72^{b}	33.26^{d}
Apr 16	1.95^{abc}	9.87^{abc}	3.07^{ab}	22.37^{b}	1.24^{de}	14.86^{cde}	6.26^{b}	47.10^{bcd}
May 16	0.92^{abcd}	4.73^{abcd}	2.54^{ab}	19.85^{b}	3.20^{cde}	35.24^{bcde}	6.67^{b}	59.82^{bcd}
Jun 16	0.57^{cd}	3.24^{de}	3.33^{ab}	26.19^{ab}	6.62^{ab}	84.15^{ab}	10.52^{ab}	113.59^{ab}
Jul 16	0.57^{cd}	2.95^{e}	4.87^{a}	39.17^{a}	9.32^{a}	111.51^{a}	14.75^{a}	153.63^{a}
Aug 16	0.77^{bcd}	3.48^{cde}	3.67^{ab}	29.82^{ab}	6.01^{abc}	71.70^{abc}	10.45^{ab}	105.00^{abc}
Sep 16	1.25^{abcd}	5.64^{abcd}	2.83^{ab}	20.30^{b}	5.96^{abcd}	67.77^{abcd}	10.04^{ab}	93.72^{abc}
Oct 16	1.02^{abcd}	5.64^{abcd}	2.33^{b}	18.56^{b}	4.62^{bcde}	55.58^{abcd}	7.96^{b}	79.78^{bc}
Average	1.35	6.95	2.88	22.59	3.57	42.16	7.80	71.69

Note: Average catch (kg) and crab number (crabs) of different superscript in the same column indicate statistically highly significance ($P<0.01$)

Table 2 Catch (kg) and crab number (crabs) of ovigerous blue swimming crab (BSC) per fishing trip from small scale fisher in Trang province between November 2015 to October 2016 classify by month.

BSC size/ month	Catch and crab number of ovigerous blue swimming crab (BSC) per fishing trip from small scale fisher in Trang province							
	Large (<6 crabs/kg)		Medium (6-9 crabs/kg)		Small (>9 crabs/kg)		total	
	kg	crabs	kg	crabs	kg	crabs	kg	crabs
Nov 15	0.04 ^{bc}	0.17 ^{ab}	0.10 ^{c}	0.70 ^{b}	0.00 ^{c}	0.07 ^{c}	0.14 ^{c}	0.93 ^{c}
Dec 15	0.08 ^{abc}	0.35 ^{ab}	0.11 ^{c}	0.72 ^{b}	0.01 ^{bc}	0.18 ^{bc}	0.20 ^{abc}	1.24 ^{bc}
Jan 16	0.13 ^{abc}	0.58 ^{ab}	0.13 ^{bc}	0.85 ^{b}	0.03 ^{bc}	0.33 ^{bc}	0.28 ^{abc}	1.76 ^{abc}
Feb 16	0.09 ^{abc}	0.39 ^{ab}	0.22 ^{abc}	1.63 ^{ab}	0.03 ^{bc}	0.38 ^{bc}	0.34 ^{abc}	2.40 ^{abc}
Mar 16	0.15 ^{ab}	0.69 ^{a}	0.41 ^{ab}	2.84 ^{a}	0.02 ^{bc}	0.28 ^{bc}	0.59 ^{ab}	3.81 ^{abc}
Apr 16	0.16 ^{a}	0.70 ^{a}	0.43 ^{a}	3.13 ^{a}	0.04 ^{bc}	0.42 ^{bc}	0.63 ^{a}	4.25 ^{abc}
May 16	0.09 ^{abc}	0.43 ^{ab}	0.35 ^{abc}	2.68 ^{ab}	0.07 ^{abc}	0.88 ^{abc}	0.52 ^{abc}	3.98 ^{abc}
Jun 16	0.04 ^{abc}	0.19 ^{ab}	0.23 ^{abc}	1.72 ^{ab}	0.12 ^{ab}	1.49 ^{ab}	0.39 ^{abc}	3.40 ^{abc}
Jul 16	0.02 ^{c}	0.10 ^{b}	0.36 ^{abc}	2.77 ^{ab}	0.17 ^{a}	2.03 ^{a}	0.55 ^{abc}	4.90 ^{a}
Aug 16	0.08 ^{abc}	0.39 ^{ab}	0.31 ^{abc}	2.43 ^{ab}	0.12 ^{ab}	1.49 ^{ab}	0.51 ^{abc}	4.31 ^{ab}
Sep 16	0.02 ^{c}	0.09 ^{b}	0.13 ^{bc}	1.20 ^{ab}	0.03 ^{bc}	0.45 ^{bc}	0.17 ^{bc}	1.74 ^{abc}
Oct 16	0.02 ^{c}	0.17 ^{b}	0.11 ^{c}	1.05 ^{ab}	0.05 ^{bc}	0.44 ^{bc}	0.18 ^{bc}	1.66 ^{abc}
Average	0.09	0.40	0.27	1.99	0.06	0.73	0.42	3.12

Note: Average catch (kg) and crab number (crabs) of different superscript in the same column indicate statistically highly significance (P<0.01)

Table 3 Catch (kg) and crab number (crabs) percent of ovigerous blue swimming crab (BSC) per fishing trip from small scale fisher in Trang province between November 2015 to October 2016 classify by month.

BSC size/ month	Catch and crab number percent of ovigerous blue swimming crab (BSC) per fishing trip from small scale fisher in Trang province							
	Large (<6 crabs/kg)		Medium (6-9 crabs/kg)		Small (>9 crabs/kg)		total	
	kg	crabs	kg	crabs	kg	crabs	kg	crabs
Nov 15	1.80	1.47	3.46	3.30	0.12	0.23	1.87	1.51
Dec 15	3.61	3.39	3.91	3.41	0.49	0.82	2.75	2.34
Jan 16	6.85	5.97	6.16	4.86	1.80	1.72	5.22	3.79
Feb 16	6.18	4.88	9.19	7.85	1.97	1.99	6.18	5.02
Mar 16	8.13	7.28	18.41	16.63	4.11	4.10	12.48	11.44
Apr 16	8.08	7.11	14.11	13.98	2.99	2.81	10.03	9.02
May 16	10.26	9.02	13.95	13.50	2.25	2.48	7.82	6.65
Jun 16	7.05	5.93	6.99	6.56	1.80	1.77	3.73	2.99
Jul 16	3.86	3.42	7.40	7.07	1.81	1.82	3.73	3.19
Aug 16	9.88	11.16	8.45	8.16	2.01	2.08	4.85	4.11
Sep 16	1.24	1.63	4.46	5.91	0.51	0.66	1.72	1.85
Oct 16	2.35	3.00	4.83	5.66	1.02	0.79	2.30	2.08
Average	6.45	5.72	9.32	8.80	1.69	1.74	5.33	4.35

Table 4 Price (baht) of blue swimming crab (BSC) from small scale fisher in Trang province between November 2015 to October 2016 classify by month.

BSC size/ month	Price (baht) of blue swimming crab (BSC) from small scale fisher in Trang province		
	Large (<6 crabs/kg)	Medium (6-9 crabs/kg)	Small (>9 crabs/kg)
Nov 15	175 ^{e}	129 ^{bcd}	81 ^{a}
Dec 15	198 ^{abcd}	139 ^{ab}	78 ^{abc}
Jan 16	211 ^{a}	146 ^{a}	76 ^{abcd}
Feb 16	205 ^{abc}	133 ^{abc}	73 ^{abcd}
Mar 16	208 ^{ab}	134 ^{abc}	80 ^{ab}
Apr 16	196 ^{abcd}	121 ^{cde}	71 ^{abcde}
May 16	182 ^{de}	113 ^{ef}	68 ^{bcde}
Jun 16	190 ^{bcde}	115 ^{def}	66 ^{cde}
Jul 16	177 ^{e}	103 ^{f}	61 ^{e}
Aug 16	188 ^{cde}	117 ^{def}	62 ^{e}
Sep 16	191 ^{bcde}	113 ^{ef}	71 ^{abcde}
Oct 16	188 ^{cde}	112 ^{ef}	64 ^{de}
Average	195	123	70

Note: Average price (baht) of different superscript in the same column indicate statistically highly significance ($P<0.01$)

Table 5 Value (baht) of blue swimming crab (BSC) from small scale fisher in Trang province between November 2015 to October 2016 classify by month

BSC size/ month	Value (bath) of blue swimming crab (BSC) from small scale fisher in Trang province								
	Large (<6 crabs/kg)		Medium (6-9 crabs/kg)		Small (>9 crabs/kg)		total		
	non-ovigerous BSC value	ovigerous BSC value	non-ovigerous BSC value	ovigerous BSC value	non-ovigerous BSC value	ovigerous BSC value	non-ovigerous BSC value	ovigerous BSC value	total value
Nov 15	399.08 ^{ab}	6.52 ^{cd}	376.16	11.45 ^{b}	212.89 ^{bcd}	0.24 ^{c}	988.14 ^{ab}	18.21 ^{cd}	1,006.35
Dec 15	442.48 ^{a}	14.43 ^{abcd}	384.93	14.13 ^{b}	163.79 ^{bcd}	0.72 ^{c}	991.20 ^{ab}	29.28 ^{cd}	1,020.48
Jan 16	403.19 ^{ab}	26.79 ^{abc}	346.90	17.57 ^{b}	110.77 ^{cd}	1.60 ^{bc}	860.87 ^{abc}	45.96 ^{abc}	906.82
Feb 16	303.99 ^{abc}	17.55 ^{abcd}	345.71	30.37 ^{ab}	116.15 ^{cd}	2.51 ^{bc}	765.85 ^{cd}	50.43 ^{abc}	816.29
Mar 16	374.31 ^{ab}	31.90 ^{a}	299.11	54.84 ^{a}	51.17 ^{d}	1.83 ^{bc}	724.59 ^{cd}	88.57 ^{a}	813.16
Apr 16	355.75 ^{abc}	30.51 ^{ab}	351.34	54.08 ^{a}	88.63 ^{d}	2.55 ^{bc}	795.72 ^{abc}	87.14 ^{ab}	882.85
May 16	155.35 ^{bc}	17.17 ^{abcd}	284.04	39.84 ^{ab}	212.92 ^{bcd}	4.19 ^{abc}	652.31 ^{c}	61.20 ^{abc}	713.51
Jun 16	113.25 ^{c}	7.98 ^{bcd}	375.23	25.23 ^{ab}	366.30 ^{ab}	6.68 ^{ab}	854.79 ^{abc}	39.88 ^{abc}	894.67
Jul 16	102.86 ^{c}	3.78 ^{cd}	449.13	34.88 ^{ab}	515.68 ^{a}	9.09 ^{a}	1,067.67 ^{a}	47.74 ^{abc}	1,115.41
Aug 16	137.03 ^{bc}	14.12 ^{abcd}	388.13	33.96 ^{ab}	345.55 ^{abc}	6.66 ^{ab}	870.71 ^{abc}	54.75 ^{abc}	925.46
Sep 16	260.85 ^{abc}	2.38 ^{d}	308.51	13.99 ^{b}	388.94 ^{ab}	1.76 ^{bc}	958.30 ^{abc}	18.14 ^{cd}	976.44
Oct 16	190.84 ^{abc}	4.61 ^{cd}	236.95	12.42 ^{b}	253.28 ^{bcd}	2.66 ^{bc}	681.08 ^{cd}	19.70 ^{cd}	700.78
Average	267.45	17.05	344.25	32.28	218.89	3.56	830.60	52.89	883.48

Note: Average price (baht) of different superscript in the same column indicate statistically highly significance (P<0.01)

สรุปผลการวิจัย

ผลกระทบจากการงดทำประมงปูม้าที่มีไข่นอกกระดองบริเวณชายฝั่งของชาวประมงขนาดเล็ก โดยเฉพาะผลกระทบทางเศรษฐกิจจะมีผลกระทบมากในเดือนมีนาคม โดยกระทบมากถึงร้อยละ 10.89 ของมูลค่าปูม้าที่ได้รับต่อเที่ยว (จากมูลค่าของปูม้าที่ไม่มีไข่นอกกระดอง 724.59 บาทต่อเที่ยว และปูม้ามีไข่นอกกระดอง 88.57 บาทต่อเที่ยว) รองลงมาคือ เดือนเมษายน

โดยผลจับปูม้าของชาวประมงขนาดเล็กในจังหวัดตรังต่อเที่ยวที่ออกทำการประมง ในเดือนกรกฎาคมมีปริมาณสูงสุดทั้งปริมาณและจำนวนของปูม้า (14.75 กิโลกรัมต่อเที่ยว และ 153.63 ตัวต่อเที่ยว) ส่วนใหญ่เป็นปูม้าขนาดกลางและขนาดเล็กอีกทั้งในเดือนนี้ยังจับปูม้าที่มีไข่นอกกระดองได้จำนวนมากที่สุด (4.90 ตัวต่อเที่ยว) โดยเกือบครึ่งหนึ่งเป็นปูม้าขนาดเล็กที่มีไข่นอกกระดอง (2.03 ตัวต่อเที่ยว) แม้ว่าราคาปูม้าที่ชาวประมงจำหน่ายได้จะต่ำที่สุด (103 และ 61 บาทต่อกิโลกรัม) แต่ก็ยังทำให้มูลค่าของปูม้าที่ชาวประมงได้รับในเดือนนี้สูงที่สุด (1,067.67 บาท)

สุดท้ายผลจับปูม้าที่มีไข่นอกกระดองของชาวประมงขนาดเล็กในจังหวัดตรังต่อเที่ยวที่ออกทำการประมงในเดือนเมษายนมีปริมาณสูงที่สุด (0.63 กิโลกรัมต่อเที่ยว) เนื่องจากในเดือนนี้ชาวประมงจับปูม้าที่มีไข่นอกกระดองขนาดใหญ่และกลางได้ทั้งปริมาณและจำนวนมากที่สุด (0.16 และ 0.43 กิโลกรัมต่อเที่ยว 0.70 และ 3.13 ตัวต่อเที่ยว ตามลำดับ) รองลงมาคือ เดือนมีนาคมซึ่งมีรูปแบบของผลจับใกล้เคียงกับเดือนนี้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณชาวประมงขนาดเล็กที่ทำการประมงปูม้าในจังหวัดตรังทุกท่าน รวมถึงแพรับซื้อปูม้าทุกรายที่เอื้อเฟื้อข้อมูล และให้ความอนุเคราะห์ทีมวิจัยเป็นอย่างดี นักศึกษาสาขาวิชาการจัดการประมงและธุรกิจสัตว์น้ำ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยวิทยาเขตตรังที่ร่วมด้วยช่วยกันเก็บข้อมูล ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยที่สนับสนุนทุนวิจัย

เอกสารอ้างอิง

de Lestang, S., Hall, N.G. and Potter, I.C. 2003. Reproductive biology of the blue swimmer crab (*Portunus pelagicus*, Decapoda: Portunidae) in five bodies of water on the west coast of Australia. Fish. Bull. 101(3):745–757.

Dineshi Babu, A.P., Shridhara, B. and Muniyappa, Y. 2008 Biology and exploitation of the blue swimmer crab *Portunus pelagicus* (Linnaeus, 1758), from South Karnataka coast, India. Indian. J. Fish. 55(3):215-220.

Ehsan, K., Nabi, S.A. and Maziar, Y.2010. Stock Assessment and Reproductive Biology of the Blue Swimming Crab, *Portunus pelagicus* in Bandar Abbas Coastal Waters, Northern Persian Gulf. J. Persian Gulf (Mar. Sci.) 11:11-22.

Ernawati, T., Sumiono, B. and Madduppa, H. 2017. Reproductive ecology, spawning potential, and breeding season of blue swimming crab (*Portunus pelagicus*) in Java Sea, Indonesia. Biodiversitas 18 (4):1705-1713.

Hamid, A., Batu,D.T.F.L., Riani, E. and Wardiatno, Y. 2016. Reproductive biology of blue swimming crab (*Portunus pelagicus* Linnaeus, 1758) in Lasogko bay, Southeast Sulawasi-Indonesia. AACL bioflux. 9(5): 1053-1063.

Nitiratsuwan, T. 2012. Blue swimming crab (*Portunus pelagicus*) management from small-scale fishing. *In* Proceeding of International Fisheries Symposium – IFS 2012, Can Tho University, Can Tho City, Viet Nam. Dec. 6-8, 2012: 264-269.

Nitiratsuwan, T., Chiayvareesajja, S. and Somboonsuke, B. 2007. Socio-economic condition of small-scale fishers in Trang province and their blue swimming crab (*Portunus pelagicus*) fishing. Kasetsart J. (Soc. Sci.) 28: 309-320. [in Thai]

Nitiratsuwan, T., Nitithamyong, C., Chiayvareesajja, S. and Somboonsuke, B. 2010. Distribution of blue swimming crab (*Portunus pelagicus* Linnaeus, 1758) in Trang province. Songklanakarin J. Sci. Tech. 32 (3): 207-212.

Nitiratsuwan, T., Tanyaros, S. and Panwanitdumrong, K. 2013. Distribution of berried female blue swimming crab (*Portunus pelagicus* Linnaeus, 1758) in the coastal waters of Trang province, southern Thailand. Maejo Int. J. Sci. Technol. 7(Special Issue): 52-59.

Nitiratsuwan, T., Tanyaros, S. and Panwanitdumrong, K. 2012. Berried female blue swimming crab (*Portunus pelagicus* Linnaeus, 1758) management by small scale fisher. Area Based Development Research Journal. 5(2): 19-31. [in Thai]

Potter, I.C. and de Lestang, S. 2000 Biology of the blue swimmer crab *Portunus pelagicus* in Leschenault Estuary and Koombana Bay, south-western Australia. J. R. Soc. West. Aust. 83: 443-458.

Tureli, C. and Yesilyurt, I.N. 2017. Reproductive biology of the blue swimming crab, *Portunus segnis* (Forskal, 1775) in Yumurtalik Cove, North-eastern Mediterranean Turkey. Medit. Mar. Sci. 18(3): 424-432.

การประยุกต์ใช้แบบจำลองการเลือกจับสำหรับการทำประมงอวนล้อมจับปลาทูน่าของไทย: กรณีปลาทูน่าท้องแถบ (*Katsuwonus pelamis* (Linnaeus, 1758))

Application of selectivity model for Thai tuna purse seine fishing: A case of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis* (Linnaeus, 1758))

วัชรพงศ์ ชุ่มชื่น

Watcharapong Chumchuen

กองวิจัยและพัฒนาประมงทะเล กรมประมง ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Marine Fisheries Research and Development Division, Department of Fisheries, Lad Yao, Chatuchak, Bangkok 10900

E-mail: w.chumchuen@fisheries.go.th

บทคัดย่อ

การเลือกจับมีความสำคัญต่อการจับสัตว์น้ำที่มีประสิทธิภาพและการบริหารจัดการทรัพยากรประมง การศึกษาครั้งนี้นำแบบจำลองการเลือกจับมาประยุกต์ใช้กับเครื่องมืออวนล้อมจับของเรือสำรวจมหิดล เพื่อหาขนาดแรกจับ (L_c) สำหรับปลาทูน่าท้องแถบ และสัดส่วนของปลาทูน่าท้องแถบในผลจับที่มีขนาดใหญ่กว่า L_c ขนาดตลาด (L_s = 40.0 เซนติเมตร) และขนาดตัวเต็มวัย (L_m = 43.0 เซนติเมตร) จากการสำรวจในมหาสมุทรอินเดียในปี 2555 จับสัตว์น้ำได้ 5,559.80 กิโลกรัม เป็นปลาทูน่าท้องแถบร้อยละ 70.80 (โดยน้ำหนัก) มีความยาวส้อมหาง 24.0 – 64.0 เซนติเมตร อวนที่ใช้ในการสำรวจมีค่า L_c เท่ากับ 35.8 เซนติเมตร และค่า L_c เพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนครั้งที่ปลาว่ายน้ำชนอวนเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ ปลาที่จับได้มากกว่าร้อยละ 80 มีขนาดใหญ่กว่า L_c อย่างไรก็ตาม ปลาที่จับได้ส่วนใหญ่มีขนาดเล็กกว่า L_s และ L_m ซึ่งสัดส่วนของปลาที่มีขนาดใหญ่กว่า L_c มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับสัดส่วนของปลาที่มีขนาดใหญ่กว่า L_s และ L_m ทั้งนี้ การปรับปรุง L_c ให้สอดคล้องกับ L_s และ L_m สามารถทำได้โดยการปรับโครงสร้างของอวนร่วมกับแบบจำลองการเลือกจับเพื่อการทำประมงเชิงพาณิชย์อย่างมีประสิทธิภาพและการบริหารจัดการทรัพยากรปลาทูน่าอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: อวนล้อมจับ ปลาทูน่าท้องแถบ การเลือกจับ ขนาดแรกจับ

Abstract

Selective catch is important for effective fishing and fishery resource management. This study applied a selectivity model to purse seine of FRV Mahidol in order to find out the size at first capture (L_c) for skipjack tuna and the proportions of skipjack tuna in the catch with the size larger than L_c, marketable size (L_s = 40.0 cm) and maturity size (L_m = 43.0 cm). From the survey in the Indian Ocean in 2012, 5,559.80 kg of fish were caught including 70.80% of skipjack tuna with fork length between 24.0 and 64.0 cm. The L_c of survey net was 35.8 cm, and the value of L_c increased when the number of fish-net encountering increased. More than 80% of skipjack tuna had the size larger than L_c; however, most of the fish caught had the size smaller than L_s and L_m. Proportion of skipjack tuna with the size larger than L_c had highly significant difference from proportions of skipjack tuna with the size larger than L_s and L_m.

Improvement of L_c to correspond to L_s and L_m can be done through net modification combined with selectivity model for effective commercial fishing and sustainable tuna resource management.

Keywords: purse seine, skipjack tuna, selectivity, size at first capture

บทนำ

การเลือกจับ (selectivity) ในการทำประมงเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้การจับสัตว์น้ำเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังช่วยให้เกิดการทำประมงอย่างยั่งยืน เช่น การเลือกจับสัตว์น้ำที่มีชนิดและขนาดที่ผู้บริโภคหรือตลาดมีความต้องการ และการเลือกจับสัตว์น้ำที่ไม่อยู่ในระยะก่อนวัยเจริญพันธุ์ การจับสัตว์น้ำแบบเลือกจับยังก่อให้เกิดการลดปริมาณของสัตว์น้ำพลอยจับ (bycatch) จากการทำประมง ทั้งในรูปแบบของสัตว์น้ำพลอยจับโดยชนิด (bycatch by species) หรือสัตว์น้ำพลอยจับโดยขนาด (bycatch by size) ซึ่งทั้ง 2 รูปแบบอาจเป็นชนิดหรือขนาดของสัตว์น้ำที่ตลาดไม่มีความต้องการหรือมีมูลค่าที่ต่ำ เมื่อสัตว์น้ำในกลุ่มนี้ถูกจับจากการทำประมง อาจถูกนำมาใช้ประโยชน์ในลักษณะของปลาเป็ด (trash fish) หรืออาจถูกทิ้งไปในทะเล (discard) จากเหตุผลทางเศรษฐศาสตร์ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งนับว่าเป็นการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรประมงที่ขาดประสิทธิภาพและขาดความยั่งยืน

สำหรับการเลือกจับสามารถแบ่งออกเป็น การเลือกจับของเครื่องมือประมง (fishing gear) และเทคนิคการทำประมง (fishing technique) ซึ่งรวมไปถึงการเลือกช่วงเวลาหรือพื้นที่ทำประมง เป็นต้น Prado (1992) ได้รวบรวมการศึกษาที่เกี่ยวกับการเลือกจับของเครื่องมืออวนลาก อวนติดตา และเบ็ด ซึ่งในอดีตได้มีการพัฒนาแบบจำลองการเลือกจับของเครื่องมือประมงเหล่านี้มาโดยตลอด สำหรับการศึกษาลักษณะการเลือกจับของเครื่องมืออวนล้อมจับเป็นสิ่งที่ทำได้ยากทั้งในภาคสนามและในห้องปฏิบัติการ ต่างจากการศึกษาในเครื่องมือประมงอื่นๆ เช่น อวนลาก (Joksimović *et al.*, 2002) อวนติดตา (Jude *et al.*, 2002) และเบ็ด (Balasubramanian *et al.*, 2016) อย่างไรก็ตาม ได้มีการคิดค้นแบบจำลองการเลือกจับของเครื่องมืออวนล้อมจับปลาทูน่าและเผยแพร่ในปี 2559 (Chumchuen *et al.*, 2016) ซึ่งรายละเอียดการคำนวณของแบบจำลองการเลือกจับที่อธิบายไว้นั้น อาจมีลักษณะที่ค่อนข้างยากในการทำความเข้าใจและการนำไปประยุกต์ใช้ ดังนั้นการนำแบบจำลองดังกล่าวมาใช้พัฒนาการทำประมงอวนล้อมจับของประเทศไทยจึงอาจมีความเป็นไปได้น้อย การศึกษาครั้งนี้เป็นแนวทางในการนำแบบจำลองดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ และมีการอธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับการคำนวณของแบบจำลองดังกล่าวให้เข้าใจง่ายขึ้น เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาการทำประมงด้วยเครื่องมืออวนล้อมจับของเรือประมงพาณิชย์ในประเทศไทยต่อไป

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาขนาดแรกจับ (size at first capture) สำหรับปลาทูน่าท้องแถบ (*Katsuwonus pelamis* (Linnaeus, 1758)) จากการนำแบบจำลองการเลือกจับของเครื่องมืออวนล้อมจับมาประยุกต์ใช้กับเครื่องมืออวนล้อมจับปลาทูน่าที่ใช้ในการสำรวจ และเพื่อศึกษาสัดส่วนของปลาทูน่าท้องแถบในผลจับระหว่างปลาที่มีขนาดเล็กกว่าและใหญ่กว่าขนาดแรกจับ ขนาดตลาด (marketable size) และขนาดตัวเต็มวัย (maturity size)

อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

2.1 ข้อมูลการทำประมง

รวบรวมข้อมูลจากการสำรวจประมงด้วยเรือสำรวจมหิดล โดยใช้เครื่องมืออวนล้อมจับปลาทูน่าร่วมกับการใช้เทคนิคการทำประมงด้วยวิธีการล้อมฝูงปลาที่อาศัยอยู่ร่วมกับวัตถุลอยน้ำ (associated school) ได้แก่ แพล่อปลา (fish aggregating device, FAD) และขอนไม้ลอยน้ำ ในระหว่างเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม 2555 บริเวณมหาสมุทรอินเดียตะวันออกตั้งแต่ละติจูดที่ 1–5 องศาใต้ และลองจิจูดที่ 85–96 องศาตะวันออก (ภาพที่ 1) เครื่องมืออวนล้อมจับปลาทูน่าที่ใช้มีความยาวของสายคร่าวบน 1,630.3 เมตร และมีความลึกสูงสุดขณะดึงตึง 281.3 เมตร (ภาพที่ 2) ซึ่งประกอบด้วยผืนอวนหลายผืนที่ถูกนำมาต่อกัน โดยแบ่งออกเป็นส่วนประกอบหลัก คือ ตัวอวน (body part) ปีกอวน (wings part) และก้นขัง (bunt part) ตามรายละเอียดที่แสดงในตารางที่ 1

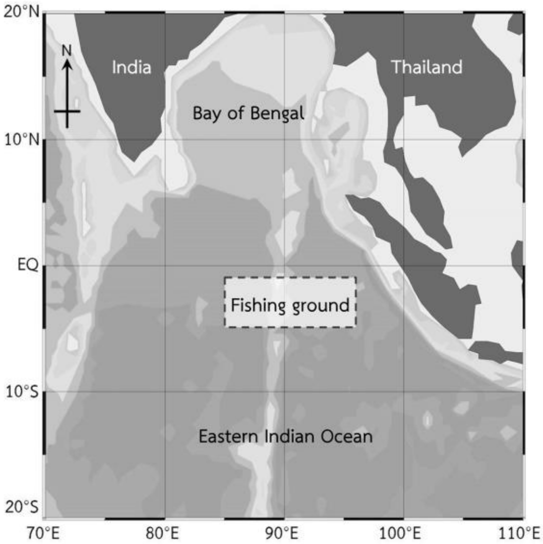


Figure 1 Tuna purse seine fishing ground in the Eastern Indian Ocean surveyed by FRV Mahidol in 2012

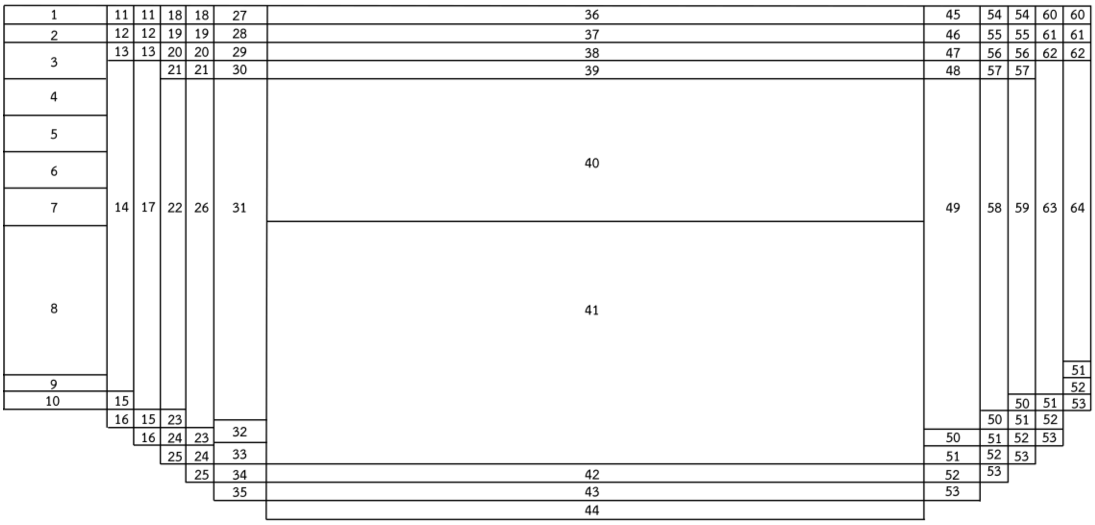


Figure 2 Plan of tuna purse seine used by FRV Mahidol (each number means panel number of which specifications are shown in Table 1)

Table 1 Specifications of panels of tuna purse seine used by FRV Mahidol

Part	Panel no.	Material	Mesh size (mm)	Thickness (D)	Length (m)	Hanging (%)	Mesh depth (no. of mesh)
Bunt	1	PA	150	*	103.40	68	5
	2	PA	100	300	103.40	68	20
	3	PA	90	210	103.40	68	200
	4	PA	90	180	103.40	68	200
	5	PA	90	160	103.40	68	200
	6	PA	90	140	103.40	68	200
	7	PA	90	120	103.40	68	200
	8	PA	90	90	103.40	68	1300
	9	PA	150	150	103.40	68	50
	10	PE	150	300	103.40	68	5
Wing	11	PE	150	300	26.60	70	5
	12	PA	100	300	26.60	70	20
	13	PA	90	120	26.60	70	100
	14	PA	90	90	26.60	70	2300
	15	PA	150	150	26.60	70	50
	16	PE	150	300	26.60	70	5
	17	PA	90	90	26.60	70	2400
	18	PE	150	300	27.35	72	5
	19	PA	100	300	27.35	72	20
	20	PA	90	120	27.35	72	100
	21	PA	90	90	27.35	72	100
	22	PA	90	60	27.35	72	2300
	23	PA	90	90	27.35	72	100
	24	PA	150	150	27.35	72	50
	25	PE	150	300	27.35	72	5
	26	PA	90	60	27.35	72	2400
	27	PE	150	300	56.20	74	5
	28	PA	105	120	56.20	74	50
	29	PA	105	90	56.20	74	100
	30	PA	105	60	56.20	74	100
	31	PA	105	46	56.20	74	2000
	32	PA	105	60	56.20	74	100
	33	PA	105	90	56.20	74	100
	34	PA	150	150	56.20	74	50
	35	PE	150	300	56.20	74	5
Body	36	PE	150	300	1,140.00	75	5
	37	PA	105	120	1,140.00	75	50
	38	PA	105	90	1,140.00	75	100
	39	PA	105	60	1,140.00	75	100
	40	PA	105	46	1,140.00	75	800
	41	PES	210	70	1,140.00	75	700
	42	PA	150	90	1,140.00	75	100
	43	PA	150	150	1,140.00	75	50
	44	PE	150	300	1,140.00	75	5

Note: PA: Polyamide, PE: Polyethylene, PES: Polyester, *braided PA Ø 7 mm

Table 1 (Continuation)

Part	Panel no.	Material	Mesh size (mm)	Thickness (D)	Length (m)	Hanging (%)	Mesh depth (no. of mesh)
Wing	45	PE	150	300	57.00	75	5
	46	PA	105	120	57.00	75	50
	47	PA	105	90	57.00	75	100
	48	PA	150	60	57.00	75	100
	49	PA	105	46	57.00	75	2000
	50	PA	105	60	57.00	75	100
	51	PA	150	90	57.00	75	100
	52	PA	150	150	57.00	75	50
	53	PE	150	300	57.00	75	5
	54	PE	150	300	27.35	72	5
	55	PA	105	120	27.35	72	50
	56	PA	105	90	27.35	72	100
	57	PA	150	60	27.35	72	100
	58	PA	105	46	27.35	72	1900
	59	PA	105	46	27.35	72	1800
	60	PE	150	300	27.35	72	5
	61	PA	105	120	27.35	72	50
	62	PA	105	90	27.35	72	100
	63	PA	105	60	27.35	72	1900
	64	PA	105	60	27.35	72	1700

Note: PA: Polyamide, PE: Polyethylene, PES: Polyester, *braided PA Ø 7 mm

2.2 ข้อมูลสัตว์น้ำจากการทำประมง

สุ่มตัวอย่างปลาทูน่าท้องแถบที่จับได้โดยใช้สวิงขนาดใหญ่ (brailer) ตักปลาจากก้นขังในขั้นตอนสุดท้ายของการกู้อวน แล้วเก็บข้อมูลความยาวส้อมหาง (fork length, *L*) และน้ำหนักตัว (body weight, *W*) ของตัวอย่างปลาแต่ละตัว รวมทั้งบันทึกปริมาณปลาทูน่าท้องแถบและสัตว์น้ำทั้งหมดที่จับได้จากการทำประมงแต่ละครั้ง เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณสัดส่วนของปลาทูน่าท้องแถบในผลจับระหว่างปลาที่มีขนาดเล็กกว่าและใหญ่กว่าขนาดแรกจับของปลาตามความยาวส้อมหาง (L_c หรือ L_{50}) ขนาดตลาด (L_s = 40 เซนติเมตร) (Fonteneau *et al.*, 2013) และขนาดตัวเต็มวัย (L_m = 43 เซนติเมตร) (ISSF, 2018)

2.3 ข้อมูลลักษณะรูปร่างของปลาทูน่าท้องแถบ

เนื่องจากไม่มีข้อมูลลักษณะรูปร่างของปลาทูน่าท้องแถบจากการทำประมง ได้แก่ ความยาวเส้นรอบลำตัวที่มากที่สุด (maximum body girth, *G*) ความลึกของลำตัว (body depth, 2*h*) และความหนาของลำตัว (body width, 2*b*) ดังนั้น จึงใช้ข้อมูลจากการวัดขนาดรูปร่างของปลาทูน่าท้องแถบ ณ ท่าเทียบเรือประมงในจังหวัดคาโงะชิมะ (Kagoshima) ประเทศญี่ปุ่น ในเดือนพฤศจิกายน 2557 ประกอบด้วย ความยาวส้อมหาง น้ำหนักตัว ความยาวเส้นรอบลำตัวที่มากที่สุด ความลึกของลำตัว และความหนาของลำตัว เพื่อใช้คำนวณในแบบจำลองการเลือกจับ โดยสมมติ (assumed) ให้ปลาทูน่าท้องแถบจากมหาสมุทรอินเดียและมหาสมุทรแปซิฟิกมีรูปทรงที่ไม่ต่างกัน

2.4 **แบบจำลองการเลือกจับ** (selectivity model)

การคำนวณเพื่อประมาณค่าการเลือกจับของเครื่องมืออวนล้อมจับปลาทูน่าในการศึกษาครั้งนี้ใช้แบบจำลองการเลือกจับจากการศึกษาของ Chumchuen *et al.* (2016) ซึ่งมีแนวคิดและหลักในการคำนวณดังนี้

กลไกการเลือกจับสัตว์น้ำของเครื่องมืออวนล้อมจับเริ่มต้นหลังจากขั้นตอนการรวบสายมานเสร็จสมบูรณ์และสัตว์น้ำถูกขังอยู่ในวงอวน ซึ่งรูปทรงของวงอวนในน้ำมีลักษณะคล้ายทรงครึ่งลูกโลก (hemisphere) (ภาพที่ 3) โดยในช่วงเวลาดังกล่าวเนื้ออวนอาจมีลักษณะเป็นจีบ (pleats) จากการที่สายคร่าวล่างของผืนอวนถูกรวบเข้ามาอยู่ด้วยกัน และในกรณีที่เส้นรอบวงด้านบนของทรงครึ่งลูกโลกมีความยาวมากกว่า 4 เท่าของเส้นแกนในแนวตั้งที่อยู่บนผืนอวน (meridian) หรือความยาวของผืนอวนในแนวตั้งจากสายคร่าวบนลงไปจนถึงสายคร่าวล่าง ทำให้สายทุ่นที่ผูกติดกับสายคร่าวบนมีลักษณะย่น (ruffled) อย่างไรก็ตาม ลักษณะรูปร่างของตาอวนมีความแข็งแรงและไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้จากการว่ายน้ำชนของปลา เนื่องจากตาอวนได้รับแรงดึงจากการรวบปิดถุงอวนและการกู้อวนขึ้นบนเรือ ซึ่งกลไกดังกล่าวเกิดขึ้นในกรณีที่การทำประมงไม่ได้รับอิทธิพลจากคลื่นลมและกระแสน้ำที่รุนแรง อันมีผลทำให้เกิดการม้วนตัวและพันกันของผืนอวน

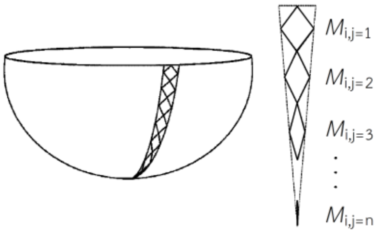


Figure 3 Model of purse seine and mesh shapes after pursing procedure is finished (M_{ij} means mesh size at horizontally *i*-th and vertically *j*-th position)

ทั้งนี้ ความยาวของผืนอวนในแนวตั้งจากสายคร่าวบนลงไปจนถึงสายคร่าวล่าง (*V*) ก่อนการรวบสายมาน สามารถคำนวณได้จากผลรวมของความสูงของตาอวน (2*H*) ที่เรียงต่อกันในแนวตั้ง ดังสมการต่อไปนี้

$$V = \sum 2H_j \quad (1)$$

เมื่อ H_j = ½ ความสูงของตาอวนตำแหน่งที่ *j* ในแนวตั้ง

โดย *H* สามารถคำนวณได้จากขนาดตาอวน (*M*) ความกว้างของตาอวน (2*B*) และอัตราย่น (hang-in ratio, *I*) ของตาอวน จากสมการที่ (2)–(6)

จาก $$(\tfrac{1}{2}M)^2 = B^2 + H^2 \quad (2)$$

ได้ $$H^2 = (\tfrac{1}{2}M)^2 - B^2 \quad (3)$$

เมื่อ $$B = (1 - I)(\tfrac{1}{2}M) \quad (4)$$

ดังนั้น $$H^2 = (\tfrac{1}{2}M)^2 - [(1 - I)(\tfrac{1}{2}M)]^2 \quad (5)$$

และ $$H = \{(\tfrac{1}{2}M)^2 - [(1 - I)(\tfrac{1}{2}M)]^2\}^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

กรณีที่อวนมีลักษณะเป็นทรงครึ่งลูกโลก ความกว้างของตาอวน ($2B'$) คำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$B' = B \times \cos\{[1 - (V - v_J)/V] \times [(90 \times \pi)/180]\} \quad (7)$$

หรือ

$$B' = B \times \cos(v_J/V \times \tfrac{1}{2}\pi) \quad (8)$$

เมื่อ v_J = ความยาวในแนวตั้งระหว่างสายคร่าวบนลงไปจนถึงตาอวนที่ J ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (9)

$$v_J = \sum_{j}^{J} 2H_j \quad (9)$$

และความสูงของตาอวน ($2H'$) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (10)

$$H' = [(\tfrac{1}{2}M)^2 - B'^2]^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

ทั้งนี้ ภาพตัดขวางของลำตัวปลาที่มีขนาดใหญ่ที่สุด (maximum body section) เป็นส่วนที่มีความยาวเส้นรอบลำตัว และมีลักษณะคล้ายรูปวงรี (ellipse) ที่มีความสูง $2h$ และความกว้าง $2b$ ซึ่งเส้นรอบวงรีหรือเส้นรอบลำตัวสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (11) และ (12)

$$G = \pi(b + h)\{1 + 3a/[10 + (4 - 3a)^{\frac{1}{2}}]\} \quad (11)$$

$$a = [(b - h)/(b + h)]^2 \quad (12)$$

เมื่อ G = ความยาวเส้นรอบลำตัวที่มากที่สุด

h = ½ ความลึกของลำตัว

b = ½ ความหนาของลำตัว

แบบจำลองการเลือกจับใช้ความน่าจะเป็นของปลาที่ติดอยู่ในวงอวน เมื่อปลาที่มีขนาดลำตัวที่แน่นอนว่ายน้ำชนอวน ทำให้ปลาเจอกับตาอวนที่มีขนาดและรูปร่างที่แตกต่างกันจากตำแหน่งหนึ่งไปยังตำแหน่งอื่น ๆ บนผืนอวน ทั้งนี้ แบบจำลองการเลือกจับพิจารณาเพียงกรณีที่ปลาและตาอวนอยู่ในตำแหน่งที่ตรงกัน และเป็นตำแหน่งที่ปลาสามารถว่ายผ่านตาอวนได้ง่ายที่สุด สำหรับกรณีที่ปลาและตาอวนอยู่ในตำแหน่งที่ไม่ตรงกันนั้น เมื่อปลาว่ายน้ำมาเจอกับตาอวนที่มีความแข็งแรงและไม่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้จากการว่ายน้ำชนของปลาตามที่อธิบายไว้แล้วในตอนต้น ทำให้ปลาชนตาอวนด้วยแรงจากการว่ายน้ำและส่งผลให้ปลาเคลื่อนที่เข้าไปอยู่ในตำแหน่งที่ตรงกับตาอวนในที่สุด

จากข้อกำหนดดังกล่าว สามารถนำมาพิจารณาว่าปลาที่ว่ายน้ำชนตาอวนนั้น มีขนาดของ G ที่เล็กกว่า เท่ากับ หรือใหญ่กว่าตาอวน โดยขนาดของ G และขาของตาอวน สามารถแสดงได้ด้วยสมการวงรี (13) และสมการเส้นตรง (14) ตามลำดับ (ภาพที่ 4)

$$(X^2/b^2) + (Y^2/h^2) = 1 \quad (13)$$

$$Y = (H/B)X + H \quad (14)$$

เมื่อ X และ Y = ค่าพารามิเตอร์ของสมการทางคณิตศาสตร์โดยทั่วไป

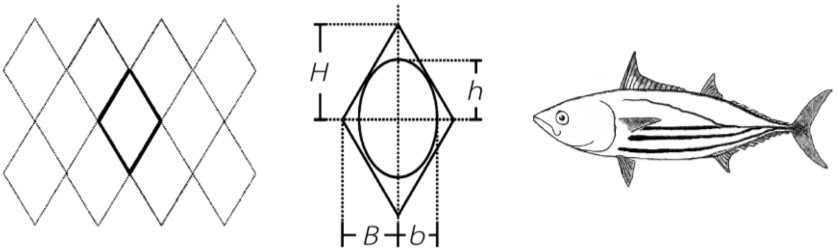


Figure 4 Parameters of mesh (*H* and *B*) and maximum body section of fish (*h* and *b*) used for selectivity calculation

โดยเมื่อแทนค่า Y จากสมการที่ (14) ในสมการที่ (13) จะได้

$$(X^2/b^2) + \{[(H/B)X + H]^2/h^2\} = 1 \quad (15)$$

สามารถเขียนสมการที่ (15) ให้อยู่ในรูปสมการกำลังสอง (quadratic equation) ได้ดังนี้

$$(H^2/B^2 + h^2/b^2)(X^2) + 2(H^2/B)(X) + (H^2 - h^2) = 0 \quad (16)$$

ทั้งนี้ สมการกำลังสองมีรูปแบบโดยทั่วไป คือ

$$c(X^2) + d(X) + e = 0 \quad (17)$$

จากสมการที่ (16) และ (17) *c d* และ *e* มีค่าดังสมการที่ (18)–(20)

$$c = H^2/B^2 + h^2/b^2 \quad (18)$$

$$d = 2(H^2/B) \quad (19)$$

$$e = H^2 - h^2 \quad (20)$$

ตามหลักคณิตศาสตร์ของสมการกำลังสอง สามารถหาค่า X ได้โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$X = \{[- d \pm (d^2 - 4ce)]^{½}\}/2c \quad (21)$$

ทั้งนี้ สมการที่ (21) ประกอบด้วยค่า ดิสคริมิแนนต์ (discriminant, *D*) คือ

$$D = d^2 - 4ce \quad (22)$$

หรือ

$$D = [2(H^2/B)]^2 - 4[H^2/B^2 + h^2/b^2][H^2 - h^2] \quad (23)$$

สามารถนำค่า *D* จากสมการที่ (23) มาใช้อธิบายกลไกการเลือกจับได้จาก 3 กรณี ดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 เมื่อ $D < 0$ แสดงว่า สมการวงรีและสมการเส้นตรงไม่มีจุดที่ตัดกัน ซึ่งหมายถึง เส้นรอบลำตัวของปลาไม่ซ้อนทับกับขาของตาอวนหรือปลามีขนาดเล็กกว่าตาอวน ดังนั้น ปลาจึงหลุดออกจากวงอวน

กรณีที่ 2 เมื่อ $D = 0$ แสดงว่า สมการวงรีและสมการเส้นตรงมีจุดที่ตัดกัน 1 จุด ซึ่งหมายถึง เส้นรอบลำตัวของปลาทับกับขาของตาอวนหรือปลามีขนาดเท่ากับตาอวน ดังนั้น ปลาจึงติดอยู่ในวงอวน

กรณีที่ 3 เมื่อ $D > 0$ แสดงว่า สมการวงรีและสมการเส้นตรงมีจุดที่ตัดกัน 2 จุด ซึ่งหมายถึง เส้นรอบลำตัวของปลาซ้อนทับกับขาของตาอวนหรือปลามีขนาดใหญ่กว่าตาอวน ดังนั้น ปลาจึงติดอยู่ในวงอวน

ทั้งนี้ ความน่าจะเป็นที่ปลาติดอยู่ในวงอวนสำหรับตาอวนตำแหน่งที่ i ในแนวนอน และ j ในแนวตั้ง สามารถแทนได้ด้วยสัญลักษณ์ P_{ij} โดยมีค่าเท่ากับ 0 หรือ 1 ซึ่งหมายถึงปลาหลุดออกจากวงอวนหรือปลาติดอยู่ในวงอวน ตามลำดับ โดยพื้นที่ของตาอวนตำแหน่งที่ P_{ij} คือ A_{ij} ซึ่งคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$A_{ij} = 2(B'_{ij} \times H'_{ij}) \quad (24)$$

เมื่อ B'_{ij} = ½ ความกว้างของตาอวนตำแหน่งที่ i ในแนวนอน และ j ในแนวตั้ง หลังจากถุงอวนถูกปิดแล้ว

H'_{ij} = ½ ความสูงของตาอวนตำแหน่งที่ i ในแนวนอน และ j ในแนวตั้ง หลังจากถุงอวนถูกปิดแล้ว

ภายใต้ข้อตกลงที่ว่า ปลาสามารถว่ายน้ำชนตาอวนได้ทุกตำแหน่งด้วยความน่าจะเป็นที่เท่ากัน ดังนั้น ความน่าจะเป็นที่ปลาติดอยู่ในวงอวน (retention probability, R) ของตาอวนทุกตารวมกัน คือ

$$R = [\sum\sum(A_{ij}\, P_{ij})]/\sum\sum A_{ij} \quad (25)$$

ทั้งนี้ ปลาที่อยู่ในวงอวนหลังจากการรวบสายมานเสร็จสิ้นแล้ว อาจไม่ว่ายน้ำชนอวนเลยหรืออาจว่ายน้ำชนอวนได้หลายครั้ง ดังนั้น ความน่าจะเป็นที่ปลาตัวดังกล่าวถูกจับ (S) เมื่อพิจารณาถึงจำนวนครั้งที่ปลาว่ายน้ำชนอวน (k) สามารถคำนวณได้ตามสมการของ Matsuoka (2008) ดังนี้

$$S = R^{k} \quad (26)$$

เนื่องจากความน่าจะเป็นที่ปลาถูกจับเปลี่ยนแปลงตามขนาดของปลาหรือความยาวเส้นรอบลำตัวที่มากที่สุด ซึ่งกล่าวได้ว่า S เปลี่ยนแปลงตามค่า h และ b (หรือค่า G) ดังนั้น จึงใช้ตัวแปร G อธิบายถึงค่าการเลือกจับที่มีต่อความยาวเส้นรอบลำตัวที่มากที่สุด โดย G_0 G_{50} และ G_{100} คือ ค่าการเลือกจับที่ระดับร้อยละ 0 50 และ 100 ตามลำดับ ทั้งนี้ G_{50} หมายถึง ขนาดแรกจับของปลาตามความยาวเส้นรอบลำตัวที่มากที่สุด (G_c)

สำหรับการหาค่าของตัวแปร V และ v ตั้งแต่เริ่มการปล่อยอวนจนกระทั่งขั้นตอนการรวบสายมานเสร็จสมบูรณ์นั้น ในขั้นตอนที่ 1 เมื่อผืนอวนถูกปล่อยลงสู่น้ำก่อนการรวบสายมาน สามารถคำนวณค่า $2B$ และ $2H$ ของตาอวนแต่ละตาจากค่า M และ l แล้วคำนวณหาค่า V และ v โดยใช้สมการที่ (1) (4) (6) และ (9) สำหรับในขั้นตอนที่ 2 เมื่อผืนอวนมีลักษณะเป็นวงและอยู่ระหว่างขั้นตอนการรวบสายมาน ค่า $2B'$ ของตาอวนตำแหน่ง v_J เปลี่ยนแปลงไปตามค่าสัมประสิทธิ์ที่คำนวณได้จาก $(V - v_J)/V$ (ตาอวนบนสุดที่ติดกับสายคร่าวบนมีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 1 และตาอวนล่างสุดที่ติดกับสายคร่าวล่างมีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 0) และค่า $2H'$ คำนวณได้จาก $2B'$ แล้วคำนวณค่า V และ v ใหม่ และในขั้นตอนที่ 3 เมื่อรวบสายมานเสร็จสมบูรณ์แล้ว คำนวณค่า $2B'$ และ $2H'$ ใหม่โดยใช้สมการที่ (8) และ (10) จากค่า V และ v ที่ได้จากขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนเหล่านี้เป็นการประมาณค่าทางคณิตศาสตร์จากรูปร่างของตาอวน เมื่ออนุมานรูปทรงของวงอวนในน้ำที่เป็นทรงกระบอกในตอนแรก แล้วเปลี่ยนเป็นทรงกรวย และกลายเป็นทรงครึ่งลูกโลกในที่สุด (Chumchuen *et al.*, 2016) ในทางทฤษฎี การคำนวณค่า $2B'$ และ $2H'$ ในขั้นตอนที่ 3 ต้องทำซ้ำจนค่า V ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งหมายถึงคร่าวล่างถูกปิดอย่างสมบูรณ์และวงอวนมีรูปทรงเสมือนครึ่งลูกโลก ทั้งนี้ การทดสอบเบื้องต้นพบว่า การคำนวณซ้ำในขั้นตอนที่ 3 มีค่า V เปลี่ยนแปลงน้อยกว่าร้อยละ 1 เมื่อเปรียบเทียบกับ

ค่า V ที่ได้จากการคำนวณในขั้นตอนที่ 3 ในครั้งแรก ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกใช้การคำนวณเพียง 3 ขั้นตอน

2.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

2.5.1 ค่าตัวแปรของปลาทูน่าท้องแถบที่ใช้ในแบบจำลองการเลือกจับ

แบบจำลองการเลือกจับได้กล่าวถึง h และ b ในสมการที่ (11)–(23) ซึ่งตัวแปรทั้งสองสัมพันธ์กับ G ในการคำนวณดังกล่าวได้จำลองสถานการณ์ (simulation) โดยใช้ค่า b ระหว่าง 0.1–10.0 เซนติเมตร ซึ่งทำให้ค่า h และ G เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยสามารถคำนวณค่า h ที่เปลี่ยนแปลงไปจากการใช้ค่าเฉลี่ยของสัดส่วนระหว่าง h และ b (หรือ h/b) ที่ได้จากการศึกษาลักษณะรูปร่างของกลุ่มตัวอย่างปลา ทั้งนี้ การนำค่าเฉลี่ยของ h/b ไปใช้ในการจำลองสถานการณ์ จำเป็นต้องทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่า h/b และ L ด้วยวิธี Simple linear regression analysis ที่ระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.05 (Zar, 2010) เพื่อทดสอบว่าสัดส่วนระหว่างความลึกและความหนาของลำตัวปลามีการเปลี่ยนแปลงตามความยาวส้อมหางของปลาหรือไม่ โดยการประมาณค่าการเลือกจับตามแบบจำลองที่กล่าวมาข้างต้นนั้น ลักษณะรูปร่างของปลาทูน่าท้องแถบไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อปลามีความยาวของลำตัวที่แตกต่างกัน หรือ h/b ไม่มีความสัมพันธ์กับ L

2.5.2 สัดส่วนของปลาทูน่าท้องแถบที่จับได้ตามขนาดแรกจับ ขนาดตลาด และขนาดตัวเต็มวัย

แปลงค่า G_0 G_{50} และ G_{100} เป็นค่า L_0 L_{50} และ L_{100} โดยใช้สมการความสัมพันธ์ระหว่าง L และ G ของปลาทูน่าท้องแถบ แต่เนื่องจากการทำประมงไม่มีการเก็บข้อมูลความยาวเส้นรอบลำตัวที่มากที่สุดของปลา ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงใช้สมการดังกล่าวของ Chumchuen *et al.* (2016) ที่ได้มาจากปลาทูน่าท้องแถบส่วนใหญ่ที่มีความยาวส้อมหางอยู่ในช่วง 25.0-60.0 เซนติเมตร (range = 23.5-83.0 cm; n = 4,720; r = 0.930; p < 0.001) ดังต่อไปนี้

$$L = 1.23G + 8.43 \quad (27)$$

พิจารณาขนาดเลือกจับที่ได้เมื่อปลาว่ายน้ำชนอวนหลายครั้งกับการกระจายความถี่ของความยาวส้อมหางของปลาทูน่าท้องแถบที่จับได้โดยใช้ Sturges rule (Sturges, 1926) จากการประมาณค่าของปลาทั้งหมดที่จับได้จากการสุ่มตัวอย่าง ตามสมการดังต่อไปนี้

$$Q_R = Q_S/Q_C \quad (28)$$

$$N_C = N_S/Q_R \quad (29)$$

เมื่อ Q_R = สัดส่วนของตัวอย่างปลาที่สุ่มมาจากผลจับ

Q_S = ปริมาณของตัวอย่างปลาที่สุ่มมาจากผลจับ (กิโลกรัม)

Q_C = ปริมาณของปลาในผลจับ (กิโลกรัม)

N_C = จำนวนของปลาในผลจับ (ตัว)

N_S = จำนวนของตัวอย่างปลาที่สุ่มมาจากผลจับ (ตัว)

หลังจากนั้น หาสัดส่วนของปลาทูน่าท้องแถบที่จับได้จากการทำประมงที่มีขนาดเล็กกว่าและใหญ่กว่า L_c L_s และ L_m แล้วทดสอบความแตกต่างของสัดส่วนระหว่างกลุ่มด้วยวิธี Chi-square test และ Tukey-type multiple pairwise comparisons for proportions ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 (Zar, 2010)

ผลการศึกษา

3.1 ความยาวของปลาทูน่าท้องแถบที่ได้จากการสำรวจในมหาสมุทรอินเดียโดยเรือสำรวจมหิดล

จากการทำประมงอวนล้อมจับปลาทูน่าจำนวน 3 ครั้ง จับสัตว์น้ำได้รวม 5,559.80 กิโลกรัม ผลจับส่วนใหญ่ร้อยละ 70.80 เป็นปลาทูน่าท้องแถบ (3,936.65 กิโลกรัม) จากการสุ่มตัวอย่างปลาทูน่าท้องแถบจากผลจับจำนวน 429 ตัว มีน้ำหนัก 371.65 กิโลกรัม (ร้อยละ 9.4 ของผลจับปลาทูน่าท้องแถบ) พบว่า ปลาทูน่าท้องแถบที่จับได้มีความยาวส้อมหางอยู่ในช่วง 24.0–63.0 เซนติเมตร (เฉลี่ย 38.0±5.0 เซนติเมตร) ทั้งนี้ ปลาที่มีขนาดอยู่ในช่วง 34.0–36.9 เซนติเมตร มีความถี่มากที่สุด (ภาพที่ 5)

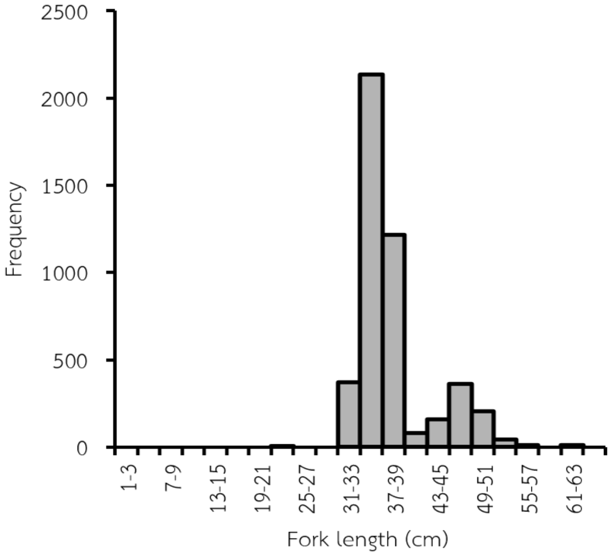


Figure 5 Estimated fork length frequency distribution of skipjack tuna caught by tuna purse seine of FRV Mahidol in the Eastern Indian Ocean in 2012

3.2 ความยาวและน้ำหนักของปลาทูน่าท้องแถบจากการวัดขนาดตัวอย่างปลา ณ ท่าเทียบเรือประมง

ตารางที่ 2 แสดงค่าความยาวส้อมหาง น้ำหนักตัว ความยาวเส้นรอบลำตัวที่มากที่สุด ความลึกของลำตัว ความหนาของลำตัว และสัดส่วนระหว่างความลึกและความหนาของลำตัวของตัวอย่างปลาทูน่าท้องแถบ จากการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่าง h/b และ L พบว่า ทั้งสองตัวแปรไม่มีความสัมพันธ์กัน ($r^2 = 0.06$; $n = 60$; $F = 3.7$; $p = 0.059$) ซึ่งหมายถึง กลุ่มตัวอย่างมีสัดส่วนระหว่างความลึกและความหนาของลำตัวคงที่เมื่อปลามีความยาวส้อมหางที่แตกต่างกัน ดังนั้น จึงนำค่าเฉลี่ยของ h/b (1.486) ไปใช้คำนวณในการจำลองสถานการณ์ได้

Table 2 Minimum, maximum and average ± SE values of fork length (*L*), body weight (*W*), maximum body girth (*G*), body depth (2*h*), body width (2*b*) and ratio between body depth and body width (*h*/*b*) of skipjack tuna specimens measured at fishing port in Kagoshima, Japan in 2014 (*n* = 60)

Parameter	Min	Max	Average ± SE
L (cm)	34.5	59.4	42.3 ± 0.8
W (kg)	1.0	4.9	1.7 ± 0.2
G (cm)	24.5	43.6	29.4 ± 0.2
2*h* (cm)	8.4	15.5	10.8 ± 0.7
2*b* (cm)	6.1	10.9	7.3 ± 0.1
h/*b*	1.273	1.695	1.486 ± 0.009

3.3 ลักษณะการเลือกจับของเครื่องมืออวนล้อมจับปลาทูน่าสำหรับปลาทูน่าท้องแถบ

การเลือกจับปลาทูน่าท้องแถบของเครื่องมืออวนล้อมจับที่ใช้ มีเส้นโค้งการเลือกจับ (selectivity curve) แบบหางเดียว (one-tail type) และมีลักษณะเฉพาะ ได้แก่ ส่วนที่หักเป็นมุมบริเวณช่วงกลางและขอบด้านบนของเส้นโค้ง และเมื่อจำนวนครั้งในการว่ายน้ำชนอวนของปลาเพิ่มขึ้น เส้นโค้งการเลือกจับที่ระดับน้อยกว่าร้อยละ 100 เคลื่อนตัวลงเข้าหาแกนความยาวเส้นรอบลำตัวที่มากที่สุด ทำให้ค่า G_0 และ G_{50} เพิ่มขึ้น รวมทั้งส่วนที่หักเป็นมุมบริเวณช่วงกลางของเส้นโค้งมีการเปลี่ยนตำแหน่ง (ภาพที่ 6)

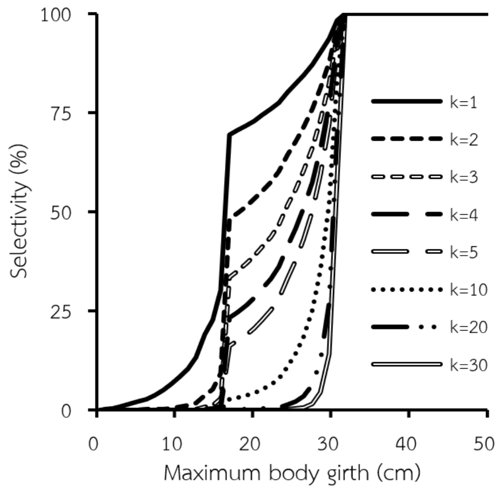


Figure 6 Selectivity curves for skipjack tuna simulated by fish-net encountering between 1 and 30 times (*k* means number of encountering time)

เมื่อแปลงค่า G_0 G_{50} และ G_{100} เป็นค่า L_0 L_{50} และ L_{100} เมื่อปลาว่ายน้ำชนอวนระหว่าง 1–30 ครั้ง (ตารางที่ 3) แล้วพิจารณาค่าขนาดเลือกจับที่ได้กับการกระจายความถี่ของความยาวส้อมหางของปลาทูน่าท้องแถบ พบว่า การว่ายน้ำชนอวนของปลา 2–3 ครั้ง มีความสอดคล้องกับการกระจายความถี่ของความยาวส้อมหางของปลาที่จับได้ โดยมีค่า L_{50} อยู่ระหว่าง 30.9–37.9 เซนติเมตร ซึ่งให้ผลที่ใกล้เคียงกับค่าของความยาวส้อมหางระหว่างความถี่ที่มีความแตกต่างกันมาก (size at sharp decline) ทางฝั่งซ้ายของช่วงความยาวที่เป็นค่า

ฐานนิยมที่แสดงในภาพที่ 5 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 33.0 เซนติเมตร นอกจากนี้ ยังมีค่า L_{100} เท่ากับ 46.7 เซนติเมตร ซึ่งมีค่ามากกว่าช่วงความยาวที่เป็นค่าฐานนิยม และมีค่า L_0 เท่ากับ 22.6–26.0 เซนติเมตร ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกับความยาวส้อมหางขนาดเล็กสุดของปลาที่จับได้ คือ 24.0 เซนติเมตร

Table 3 Size selectivity of survey tuna purse seine for maximum body girth (*G*) and fork length (*L*) of skipjack tuna at different fish-net encountering times

Fish-net encountering	Maximum body girth (cm)			Fork length (cm)		
(time)	G_0	G_{50}	G_{100}	L_0	L_{50}	L_{100}
1	3.5	16.5	31.1	12.7	28.7	46.7
2	11.5	18.3	31.1	22.6	30.9	46.7
3	14.3	24.0	31.1	26.0	37.9	46.7
4	16.0	26.4	31.1	28.1	40.9	46.7
5	16.3	27.6	31.1	28.5	42.4	46.7
10	16.6	29.6	31.1	28.9	44.8	46.7
20	24.0	30.4	31.1	37.9	45.9	46.7
30	27.1	30.7	31.1	41.7	46.2	46.7

จากผลดังกล่าว ทำให้มีการจำลองสถานการณ์ใหม่โดยกำหนดให้ k เท่ากับ 2.5 ครั้ง สำหรับการว่ายน้ำชนอวนของปลา 2–3 ครั้ง และผลที่ได้พบว่า ค่า L_0 และ L_{50} เท่ากับ 24.9 และ 35.8 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการกระจายความถี่ของความยาวส้อมหางของปลาในผลจับที่มากขึ้น ดังนั้น จึงเลือกใช้ค่า L_{50} เมื่อ k เท่ากับ 2.5 ครั้ง เป็นขนาดแรกจับ (L_c) สำหรับการวิเคราะห์สัดส่วนของปลาทูน่าท้องแถบที่จับได้ต่อไป

3.4 สัดส่วนของปลาทูน่าท้องแถบที่จับได้ตามขนาดแรกจับ ขนาดตลาด และขนาดตัวเต็มวัย

สัดส่วนในรูปของน้ำหนักของปลาทูน่าท้องแถบที่จับได้มากกว่าร้อยละ 80 มีขนาดใหญ่กว่า L_c อย่างไรก็ตาม ปลาทูน่าท้องแถบที่จับได้มากกว่าร้อยละ 50 มีขนาดที่เล็กกว่า L_s และ L_m (ภาพที่ 7) จากการเปรียบเทียบสัดส่วนของปลาทูน่าท้องแถบที่มีขนาดใหญ่กว่า L_c L_s และ L_m พบว่า มีความแตกต่างกัน (χ^2 = 1,765.4; p < 0.001) โดยปลาที่มีขนาดใหญ่กว่า L_c มีสัดส่วนที่มากกว่าปลาที่มีขนาดใหญ่กว่า L_s (q = 53.1; p < 0.001) และปลาที่มีขนาดใหญ่กว่า L_m (q = 56.1; p < 0.001) ทั้งนี้ ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างสัดส่วนของปลาทูน่าที่มีขนาดใหญ่กว่า L_s และ L_m (q = 3.0; p > 0.05)

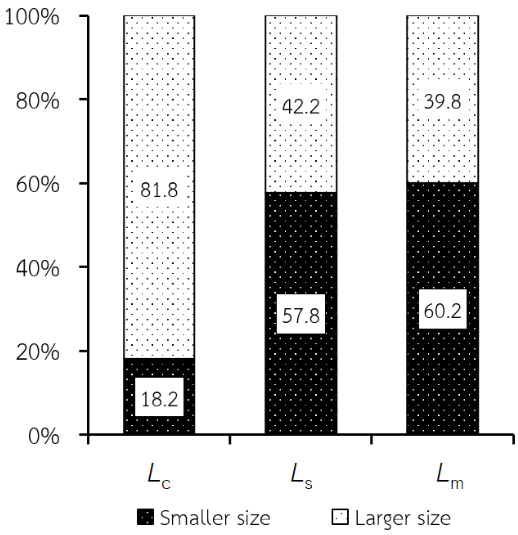


Figure 7 Proportion of smaller and larger sizes than the size at 50% selectivity (L_c = 35.8 cm), marketable size (L_s = 40.0 cm) and maturity size (L_m = 43.0 cm) of skipjack tuna caught by tuna purse seine of FRV Mahidol in the Eastern Indian Ocean in 2012

วิจารณ์ผลการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้เป็นการนำแบบจำลองการเลือกจับของเครื่องมืออวนล้อมจับปลาทูน่ามาประยุกต์ใช้กับเครื่องมืออวนล้อมจับที่ใช้ในการสำรวจ และได้มีการอธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับการคำนวณของแบบจำลองการเลือกจับดังกล่าวเพื่อให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น ซึ่งเส้นโค้งการเลือกจับที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้มีลักษณะเป็นเส้นโค้งการเลือกจับแบบหางเดียว เช่นเดียวกับผลการศึกษาของ Chumchuen *et al.* (2016) โดยเส้นโค้งการเลือกจับที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้มีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างจากเส้นโค้งการเลือกจับแบบหางเดียวโดยทั่วไป เนื่องจากเส้นโค้งการเลือกจับดังกล่าวเกิดจากเส้นที่ลากผ่านจุดทุกจุดที่ได้จากการคำนวณ ซึ่งส่วนที่หักเป็นมุมบริเวณช่วงกลางของเส้นโค้งเกิดจากการต่อกันของผืนอวนขนาดใหญ่ที่มีขนาดของตาอวนที่แตกต่างกันมาก ได้แก่ การต่อกันของผืนอวนหมายเลข 40 และ 41 ทั้งนี้ อวนล้อมจับที่มีการออกแบบหรือโครงสร้างของผืนอวนที่ต่างออกไป อาจไม่ปรากฏส่วนที่หักเป็นมุมบริเวณช่วงกลางของเส้นโค้งการเลือกจับ สำหรับส่วนที่หักเป็นมุมบริเวณขอบด้านบนของเส้นโค้งที่ติดกับช่วงต้นของ G_{100} เป็นผลที่เกิดจากการคำนวณทางคณิตศาสตร์ ซึ่งการทำประมงในภาคสนามอาจมีลักษณะที่โค้งมน

ในส่วนของแบบจำลองการเลือกจับที่ได้อธิบายว่า กลไกการเลือกจับสัตว์น้ำของเครื่องมืออวนล้อมจับเริ่มต้นหลังจากขั้นตอนการรวบสายมานเสร็จสมบูรณ์และสัตว์น้ำถูกขังอยู่ในวงอวนนั้น ทั้งนี้ กลไกการเลือกจับของเครื่องมือชนิดนี้เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการจับ (capture process) ซึ่งกระบวนการจับปลาทูน่าเริ่มต้นเมื่อเริ่มทำการลงอวน (net shooting หรือ net setting) เพื่อล้อมจับฝูงปลาทูน่า และในระหว่างการลงอวนจนถึงขั้นตอนการรวบสายมานเสร็จสมบูรณ์ ปลาทูน่าสามารถหนี (escape) โดยว่ายน้ำออกจากวงอวนระหว่างส่วนปลายของอวนทั้ง 2 ข้าง หรือด้านล่างของสายคร่าวล่างก่อนที่ขั้นตอนการลงอวนเสร็จสิ้น (Kim *et al*, 2008) หลังจากเสร็จสิ้นขั้นตอนการลงอวนแล้ว และขั้นตอนการรวบสายมานได้เริ่มต้นขึ้น ปลาทูน่ายังคงสามารถหนี

ออกจากวงอวนได้ โดยว่ายน้ำผ่านทางด้านล่างของสายคร่าวล่างในขณะที่สายมานยังไม่ถูกรวบปิดอย่างสมบูรณ์ (Hosseini and Ehsani, 2014) และหลังจากขั้นตอนที่สายมานถูกรวบปิดอย่างสมบูรณ์แล้ว ปลาทูน่าสามารถหนีผ่านทางช่องตาอวนตามหลักการของแบบจำลองการเลือกจับ ซึ่งในกรณีที่การทำประมงไม่ได้รับอิทธิพลจากคลื่นลมและกระแสน้ำ ปัจจัยที่ส่งผลต่อรูปร่างของช่องตาอวน อันมีผลต่อการตีบแคบของตาอวนและการหนีผ่านทางช่องตาอวนของปลา ได้แก่ ขนาดตาอวน อัตราย่นของตาอวน ตำแหน่งของตาอวนในแนวตั้ง และสัดส่วนระหว่างความยาวและความลึกของผืนอวน เป็นต้น ทั้งนี้ ในระหว่างการกู้อวน (net hauling) ฝูงปลาทูน่ามีการว่ายน้ำอยู่ในวงอวน และมีปลาบางส่วนติดอยู่ที่ตาอวน (enmeshed fish) ขึ้นมาบนเรือ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการว่ายน้ำชนอวนของปลาทูน่าในระหว่างการกู้อวน (Chumchuen *et al*., 2016) ซึ่งปลาทูน่าที่ไม่สามารถว่ายน้ำหลุดออกไปจากวงอวนได้ ทำให้ติดอยู่ในวงอวนและถูกจับในที่สุด

การศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูลจากการทำประมงเพียง 3 ครั้ง และสุ่มตัวอย่างปลาจำนวน 429 ตัว อาจเป็นกลุ่มตัวอย่างที่ไม่มากพอในการนำมาวิเคราะห์ผลเพื่อใช้เป็นข้อสรุปสำหรับการอ้างอิงเชิงนโยบาย อย่างไรก็ตาม การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นถึงแนวทางในการประยุกต์ใช้แบบจำลองการเลือกจับของเครื่องมืออวนล้อมจับสำหรับเรือสำรวจ เพื่อหาขนาดแรกจับของปลาทูน่าท้องแถบและสัดส่วนของปลาทูน่าท้องแถบในผลจับระหว่างปลาที่มีขนาดเล็กกว่าและใหญ่กว่าขนาดแรกจับ ขนาดตลาด และขนาดตัวเต็มวัย ซึ่งแนวทางดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องมืออวนล้อมจับสำหรับเรือประมงพาณิชย์ของไทยได้เช่นกัน

สำหรับจำนวนครั้งในการว่ายน้ำชนอวนของปลาทูน่าท้องแถบที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ เป็นผลมาจากการจำลองสถาณการณ์ของแบบจำลองการเลือกจับที่มีความสอดคล้องกับการกระจายความถี่ของความยาวส้อมหางของปลาทูน่าท้องแถบที่จับได้ ซึ่งต่างจาก Chumchuen *et al*. (2016) ที่รายงานว่า L_c สำหรับปลาทูน่าท้องแถบมีค่าเท่ากับ 45.2 เซนติเมตร จากการว่ายน้ำชนอวนของปลา 8 ครั้ง ทั้งนี้ ค่า L_c ที่มีความแตกต่างกันเนื่องมาจากโครงสร้างของเครื่องมืออวนล้อมจับที่แตกต่างกัน ประกอบกับความแตกต่างกันของจำนวนครั้งที่ปลาว่ายน้ำชนอวน ดังนั้น การปรับเปลี่ยนโครงสร้างของอวนล้อมจับสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงค่า L_c ได้ สำหรับข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมของปลาในวงอวนรวมไปถึงจำนวนครั้งที่ปลาว่ายน้ำชนอวนนั้น ยังเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อพัฒนาแบบจำลองการเลือกจับต่อไป

เมื่อพิจารณาเกี่ยวกับสัดส่วนของปลาทูน่าท้องแถบในผลจับระหว่างปลาที่มีขนาดใหญ่กว่า L_c L_s และ L_m ผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่า ปลาทูน่าท้องแถบส่วนใหญ่ในผลจับมีขนาดใหญ่กว่า L_c โดยปลาทูน่าท้องแถบส่วนใหญ่ที่จับได้มีความยาวส้อมหางอยู่ในช่วงความยาว 34.0–36.9 และ 37.0–39.9 เซนติเมตร แต่เนื่องจากค่า L_c สำหรับปลาทูน่าท้องแถบของเครื่องมืออวนล้อมจับปลาทูน่าที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีค่าที่น้อยกว่าค่า L_s และ L_m ของปลาทูน่าท้องแถบ ซึ่งมีความยาวส้อมหางเท่ากับ 40 เซนติเมตร (Fonteneau *et al*., 2013) และ 43 เซนติเมตร (ISSF, 2018) ตามลำดับ จึงทำให้ปลาทูน่าท้องแถบส่วนใหญ่ในผลจับมีขนาดเล็กกว่า L_s และ L_m ทั้งนี้ ขนาดของสัตว์น้ำที่จับได้เป็นสิ่งสำคัญสำหรับการทำประมงอวนล้อมจับเชิงพาณิชย์ ในการปรับปรุงค่า L_c ของเครื่องมืออวนล้อมจับที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เพื่อให้เหมาะสมกับ L_s สามารถทำได้โดยการอาศัยหลักในการคำนวณของแบบจำลองการเลือกจับ เมื่อมีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของอวนล้อมจับในบางส่วน เช่น การขยายขนาดของตาอวนในช่วงกลางของส่วนตัวอวน เป็นต้น นอกจากนี้ การปรับปรุง L_c

เพื่อสนับสนุนด้านการจัดการทรัพยากรประมง หรือให้เหมาะสมกับ L_m ของสัตว์น้ำ หรือขนาดเล็กสุดของสัตว์น้ำที่อนุญาตให้นำขึ้นท่า (minimum landing size) ตามที่กฎหมายกำหนด สามารถทำได้โดยอาศัยหลักการเดียวกัน

สรุปผลการศึกษา

การนำแบบจำลองการเลือกจับของเครื่องมืออวนล้อมจับมาประยุกต์ใช้ เพื่อหาค่า L_c สำหรับปลาทูน่าท้องแถบของเครื่องมืออวนล้อมจับปลาทูน่าที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ทำให้ทราบว่าเครื่องมืออวนล้อมจับดังกล่าวมีค่า L_c สำหรับปลาทูน่าท้องแถบเท่ากับ 35.8 เซนติเมตร สำหรับสัดส่วนของปลาทูน่าท้องแถบในผลจับระหว่างปลาที่มีขนาดเล็กกว่าและใหญ่กว่า L_c L_s และ L_m การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า ปลาทูน่าท้องแถบที่จับได้มากกว่าร้อยละ 80 มีขนาดใหญ่กว่า L_c ทั้งนี้ ปลาทูน่าท้องแถบที่จับได้ดังกล่าวมากกว่าร้อยละ 50 มีขนาดที่เล็กกว่า L_s และ L_m เนื่องจากค่า L_c สำหรับปลาทูน่าท้องแถบของเครื่องมืออวนล้อมจับปลาทูน่าที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีค่าที่น้อยกว่า L_s และ L_m (40 และ 43 เซนติเมตร ตามลำดับ)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำเรือสำรวจมหิดลของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีประมงทะเลลึกที่ให้ความช่วยเหลือในการสำรวจ ขอขอบคุณ Kyushu Chuou Uoichi Co., Ltd. ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูลจากตัวอย่างปลา ขอขอบคุณ Dr. Shiela Villamor Chumchuen ที่ให้ความช่วยเหลือในระหว่างการเก็บข้อมูล ณ ท่าเทียบเรือประมง และขอขอบคุณ รศ.ดร.ธนิษฐา ทรรพนันทน์ ผศ.ดร.อนุกรณ์ บุตรสันติ์ และคุณเพราลัย นุชหมอน สำหรับข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ในการพัฒนาและปรับปรุงบทความต้นฉบับ

เอกสารอ้างอิง

Balasubramanian, A., Meenakumari, B., Pravin, P., Dhanapal, K., Boopendranath, M.R., and Erzini, K. 2016. Estimation of gillnet and hook selectivity for *Carangoides fulvoguttatus* (forsskal, 1775) captured off Kanyakumari coast of India. Indian J. Fish. 63: 15–21.

Chumchuen, W., Matsuoka, T., Anraku, K., and Arnupapboon, S. 2016. Size-selective catch in tropical tuna purse seine fishery in the Eastern Indian Ocean: assessment on new selectivity model for purse seine net. Fish. Sci. 82: 391–404.

Fonteneau, A., Chassot, E., and Bodin, N. 2013. Global spatio-temporal patterns in tropical tuna purse seine fisheries on drifting fish aggregating devices (DFADs): taking a historical perspective to inform current challenges. Aquat. Living Resour. 26: 37–48.

Hosseini, S.A. and Ehsani, E. 2014. An investigation of reactive behavior of yellowfin tuna schools to the purse seining process. Iran. J. Fish. Sci. 13: 330–340.

ISSF. 2018. Status of the world fisheries for tuna: February 2018. ISSF, Washington DC. 101 p.

Joksimović, A., Regner, S., and Sacchi, J. 2009. The effects of trawl codend mesh size selectivity on the length composition of catches of pandora, *Pagellus erythrinus* L. 1758 in the shelf area of the Montenegrin coast (South Adriatic). Acta Adriat. 50: 151–157.

Jude, D., Neethiselvan, N., Gopalakrishnan, P., and Sugumar, G. 2002. Gill net selectivity studies for fishing frigate tuna, *Auxis thazard* Lacepede (Perciformes/Scombridae) in Thoothukkudi (Tuticorin) waters, southeast coast of India. Indian J. Mar. Sci. 31: 329–333.

Kim, Y.H., Park, M.C., and Ha, S.W. 2008. Simulation and three-dimensional animation of skipjack behavior as capture process during purse seining. J. Fish. Sci. Technol. 11: 113–123.

Matsuoka, T. 2008. A review of bycatch and discard issue toward solution. In: Fisheries for global welfare and environment, edited by Tsukamoto, K., Kawamura, T., Takeuchi, T., Beard, Jr., T.D., and Kaiser, M.J. TERRAPUB, Tokyo, pp 169–180.

Prado, J. 1992. List of references of the selectivity of various fishing gears and methods; research in this field. FAO, Rome. 151 p.

Sturges, H. 1926. The choice of a class interval. J. Am. Stat. Assoc. 21: 65–66.

Zar, J.H. 2010. Biostatistical analysis. Prentice Hall. Inc., New Jersey. 944 p.

การศึกษาการผลิตปลาส้มจากวัสดุเศษเหลือในอุตสาหกรรมแปรรูปปลาส้มแบบครัวเรือน

Study of fermented fish (Plaa-som) production from by-product of Fermented fish household industry

เกศินี จันทรโสภณ[1] วรพล สุรพัฒน์[2] เสรี จันทรโสภณ[2]

Kesinee Chantharasophon[1] Worapon Surapat[2] Seree Chantharasopon[2]

สาขาวิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี 34000

[1, 2] Department of Microbiology, Faculty of Science, Ubon Ratchathani Rajabhat University, Ubon Ratchathani, 34000

[1] Corresponding author: 045-352000, FAX 045-352070, E-mail: kesineechan@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตปลาส้มจากวัสดุเศษเหลือในอุตสาหกรรมแปรรูปปลาส้มแบบครัวเรือน เตรียมปลาส้ม 4 สูตร โดยใช้หัวและโครงปลานิลสับ ข้าวเหนียวนึ่งสุก เกลือ และกระเทียมในอัตราส่วน 100:20:8:5 (สูตร 1) 100:20:8:10 (สูตร 2) 100:20:10:5 (สูตร 3) และ 100:20:10:10 (สูตร 4) หมักที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 60 วัน พบว่า ปลาส้มสูตร 1, 2 และ 3 มีการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ ยกเว้นสูตร 4 เมื่อนำปลาส้มสูตร 4 มาตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด แบคทีเรียกรดแลกติก (ในสภาวะมีออกซิเจนและไร้ออกซิเจน) แบคทีเรียก่อโรคคือเชื้อ *Salmonella* spp., *Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens*, Coliforms, *Escherichia coli* และเชื้อ *Staphylococcus aureus* ตัวอ่อนของพยาธิตัวจี๊ด และตัวอ่อนระยะติดต่อของพยาธิใบไม้ พบว่า ผลการวิเคราะห์ไม่พบจุลินทรีย์และพยาธิในทุกวิธีที่ตรวจ จากนั้นนำปลาส้มทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีพบว่า ค่า pH ปริมาณความชื้น ปริมาณกรดทั้งหมด โปรตีน ไขมัน แคลเซียม ฟอสฟอรัส และฤทธิ์การยับยั้งอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH มีค่าเป็น 4.80$\pm$0.11 และร้อยละ 5.12$\pm$0.23, 1.57$\pm$0.50, 25.15$\pm$0.54, 27.62$\pm$0.37, 1.82$\pm$0.37, 2.21$\pm$0.63 และ 69.42$\pm$0.35 ตามลำดับ

คำสำคัญ : ปลาส้ม, วัสดุเศษเหลือ, โครงปลา, ฤทธิ์การยับยั้งอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH

Abstract

The objective of this research was to study on quality of fermented fish (Plaa-som) from by-product of fermented fish household industry. Four formulations of Plaa-som were prepared from chopped head and fish frame of Nile tilapia, cooked glutinous rice, salt and garlic in the ratio of 100:20:8:5 (formula 1), 100:20:8:10 (formula 2), 100:20:10:5 (formula 3), and 100:20:10:10 (formula 4). All treatments were allowed to ferment for 60 days at room temperature. The results revealed that spoilage of fermented fish was found in formula 1, 2, and 3, except formula 4. Then the formula 4 of fermented fish was investigated for total plate count, lactic acid bacterial count (aerobic and anaerobic condition), pathogenic bacteria including *Salmonella* spp., *Bacillus cereus*, *Clostridium*

perfringens, Coliforms, *Escherichia coli*, and *Staphylococcus aureus*, gnathostoma larvae and fluke metacercariae. It was found that all microorganisms and parasites were not detected from the formula 4 of fermented fish. The fermented fish was dried at 60°C and was analyzed for chemical quality. The pH value and moisture content, total titratable acidity, protein, fat, calcium, phosphorus, and antioxidant activity by DPPH assay of the fermented fish were 4.80+ 0.11, 5.12±0.23%, 1.57±0.50%, 25.15±0.54%, 27.62±0.37%, 1.82±0.37%, 2.21±0.63% and 9.42±0.35%, respectively.
Keywords: Plaa-som, By-products, Fish frame, Antioxidant activity by DPPH assay

บทนำ

การแปรรูปปลาแบบเชิงอุตสาหกรรม จะพบว่ามีชิ้นส่วนวัสดุเศษเหลือมากกว่าครึ่งหนึ่งของวัตถุดิบนำเข้าผลิต (Yongsawatdigul, 2013) สำหรับปลาส้มนั้นพบว่าในภาคอีสานมีการผลิตปีละประมาณ 1,170-1,352 ตัน (Chompuming *et al.,* 2009) ปัจจุบันการนำเฉพาะส่วนเนื้อปลาเข้าผลิตเป็นปลาส้มชิ้นเป็นที่นิยมมากขึ้นเนื่องจากสะดวกต่อการบริโภคจึงทำให้มีวัสดุเศษเหลือของปลามากขึ้น เศษเหลือที่เป็นหัวปลาขายเป็นอาหารสดในตลาดได้ 8-10 บาทต่อกิโลกรัมซึ่งเป็นราคาที่ต่ำมาก หากกลายเป็นขยะอินทรีย์ก็จะเป็นภาระที่มีค่าใช้จ่ายในการกำจัดทิ้ง การหาวิธีเปลี่ยนเศษเหลือทิ้งเหล่านี้ให้สามารถนำมารับประทานได้นั้นนอกจากจะช่วยลดปัญหามลภาวะจากขยะอินทรีย์แล้ว ยังเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มของวัสดุเศษเหลือจากปลาให้สูงขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มความมั่นคงทางอาหารโดยไม่ต้องเพิ่มผลผลิตด้วย

มีนักวิจัยหลายคณะได้สกัดวัสดุเศษเหลือจากปลาโดยการใช้สารละลายกรด เอนไซม์ และความร้อน ผลผลิตที่ได้เช่น สารสกัดที่สามารถเพิ่มจำนวนเซลล์สร้างกระดูกและการสะสมแคลเซียม สารสกัดคอลลาเจนสำหรับใช้ในการรักษาผู้ที่มีอาการข้อเสื่อมจากการขาดคอลลาเจน (Zhang *et al.,* 2011; Jodnak, 2013; Nie *et al.,* 2014; Mahboob *et al.*, 2014; Kutako *et al.,* 2015) อย่างไรก็ตามกระบวนการผลิตเพื่อสกัดสารสำคัญในลักษณะนี้ต้องอาศัยเทคโนโลยีที่มีความซับซ้อน และผลพลอยได้จากการผลิตอาจมีสารที่เป็นอันตรายได้เช่น พบสารก่อมะเร็งในซอสถั่วเหลืองที่ผลิตโดยการย่อยด้วยกรด (Laohakunjit *et al.,* 2011) กระบวนการหมักเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ช่วยสกัดสารสำคัญออกจากวัตถุดิบได้ และอาหารหมักจัดเป็นอาหารที่มั่นใจในความปลอดภัยและมีสารอาหารที่มีประโยชน์มากขึ้นกว่าเดิม จากรายงานของ Promchote (2017) พบว่า ปลาร้าซึ่งเป็นอาหารหมักพื้นเมืองของภาคอีสานนั้นมีสารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นโปรตีนสายสั้นและกรดอะมิโนซึ่งเกิดจากกระบวนการย่อยสลายโปรตีนในปลาร้า สำหรับปลาส้มใช้เวลาหมักสั้นกว่าปลาร้าแต่มีรายงานว่าในผลิตภัณฑ์ปลาส้มมีการย่อยโปรตีนให้เป็นโปรตีนสายสั้นที่มีขนาดเล็กกว่า 1.3 kDa ได้ทั้งหมดที่เวลาการหมัก 120 ชั่วโมง (Chadong *et al.,* 2015) ในการหมักวัสดุเศษเหลือของปลาแบบปลาส้มจึงน่าจะมีโปรตีนสายสั้นที่มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระได้

ปลาส้มเป็นอาหารหมักพื้นเมืองของประเทศไทย ผลิตโดยหมักปลากับเกลือร้อยละ 3-8 ข้าวสุกร้อยละ 10-20 และกระเทียมร้อยละ 5-20 ปลาส้มสูตรปกติจะมีอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเพียง 6 วัน (Prachasitthisak *et al.*, 2009: online) จากนั้นจะเริ่มเสื่อมเสีย แต่หากใช้วัสดุเศษเหลือของปลาที่ส่วนใหญ่

จะเป็นส่วนของกระดูกปลาซึ่งเป็นโครงสร้างแข็งนั้น ควรใช้เวลาหมักนานขึ้นเพื่อย่อยหรือสกัดสารสำคัญออกมาให้ได้มากที่สุด ปัจจัยสำคัญที่ช่วยถนอมอาหารปลาส้มคือปริมาณเกลือ (Jittrepotch *et al.*, 2015) และกระเทียม การเพิ่มความเข้มข้นของเกลือให้สูงกว่าปลาส้มสูตรปกติคาดว่าจะช่วยลดปริมาณกระเทียมลงได้ และที่สำคัญคือยืดเวลาหมักให้นานขึ้น เนื่องจากเกลือมีบทบาทหลักในการคัดเลือกเชื้อที่ช่วยควบคุมสภาวะการหมัก ส่วนกระเทียมนั้นมีสารกลุ่มที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบเช่น สารอัลลิซิน อัลลิสแตติน กาลิซิน และอะโจอิน ที่ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย เชื้อรา และไวรัสได้หลายชนิด (Limhang *et al.*, 2016) มีรายงานว่ากระเทียมมีบทบาทสำคัญต่อการเจริญของแบคทีเรียกรดแลกติกในช่วงแรกของการหมักด้วย (Lim *et al.*, 2015) การศึกษาการผลิตปลาส้มจากวัสดุเศษเหลือของปลาที่ใช้ปริมาณเกลือและกระเทียมในอัตราส่วนที่ต่างกันนี้ จะทำให้ได้สูตรการหมักที่เหมาะสมสำหรับหมักเศษเหลือของปลาให้เป็นสารอาหารสำคัญได้มากขึ้น โดยต้องเป็นสูตรที่ไม่เกิดการเน่าเสียหรือปนเปื้อนด้วยจุลินทรีย์ที่ไม่พึงประสงค์ เพื่อให้ได้สูตรการผลิตที่สามารถนำไปต่อยอดเป็นอาหารทางเลือกที่ดีต่อสุขภาพและเกิดการผลิตในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 การศึกษาสูตรการผลิตปลาส้มจากโครงปลา

2.1.1 นำปลานิลสดมาขอดเกล็ด ควักไส้ ตัดแต่งเอาส่วนที่เป็นเนื้อปลาออก นำหัวและโครงปลามาล้างน้ำเกลือเข้มข้นร้อยละ 2 สับเพื่อย่อยชิ้นส่วนของหัวและโครงปลาให้มีขนาดประมาณ 2 เซนติเมตร

2.1.2 ผลิตปลาส้มโดยส่วนผสมหลักคือใช้หัวและโครงปลาสับ 1,000 กรัม ข้าวเหนียวนึ่งสุก 200 กรัม และแปรผันการใช้เกลือและกระเทียมโดยแบ่งออกเป็น 4 สูตร (Treatment) แต่ละสูตรแบ่งออกเป็น 3 ซ้ำ (Replication) ดังนี้

สูตร 1 เกลือ 80 กรัม กระเทียม 50 กรัม

สูตร 2 เกลือ 80 กรัม กระเทียม 100 กรัม

สูตร 3 เกลือ 100 กรัม กระเทียม 50 กรัม

สูตร 4 เกลือ 100 กรัม กระเทียม 100 กรัม

คลุกส่วนผสมให้เข้ากันทั่วถึงดี บรรจุส่วนผสมลงในขวดแก้วขนาด 16 ออนซ์ (450 กรัม) ให้เต็มก่อนปิดฝาให้สนิท หมักที่อุณหภูมิห้อง และตรวจวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยาที่ระยะเวลาการหมัก 0, 7, 30, และ 60 วัน โดยตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดแบบ Standard plate count และนับจำนวนแบคทีเรียกรดแลกติก (สภาวะมีออกซิเจนและไร้ออกซิเจน) (AOAC, 2000; Chantharasophon *et al.*, 2010) เมื่อหมักครบ 60 วัน เลือกสูตรการหมักปลาส้มที่ไม่มีการเสื่อมเสียหรือการปนเปื้อนของเชื้อที่ไม่พึงประสงค์เพื่อตรวจวิเคราะห์ต่อไป

2.2 การตรวจวิเคราะห์เชื้อก่อโรคและพยาธิในปลาส้มสูตรที่เลือก

2.2.1 วิเคราะห์แบคทีเรียก่อโรคประกอบด้วย *Salmonella* spp., *Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens*, Coliforms, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* ตามวิธีของ Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2000; Prachasitthisak *et al.*, 2009: online)

2.2.2 ตรวจสอบตัวอ่อนของพยาธิตัวจี๊ด (Gnathostoma larvae) และตัวอ่อนระยะติดต่อของพยาธิใบไม้ (Fluke metacercariae) ด้วยวิธี Press preparation (compression) technique (Prachasitthisak *et al.*, 2009: online) ทำซ้ำ 7 ครั้ง

2.3 การตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางทางเคมีของปลาส้มสูตรที่เลือก

นำปลาส้มสูตรที่เลือกมาอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียสด้วยตู้อบลมร้อนเป็นเวลา 48 ชั่วโมงหรือจนแห้งสนิท จากนั้นวิเคราะห์ค่า pH ค่าร้อยละของความชื้น กรดทั้งหมด โปรตีน ไขมัน แคลเซียม ฟอสฟอรัส และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระแบบ DPPH (Jodnak, 2013; Zheng *et al*, 2015)

2.4 การตรวจสอบลักษณะโครงสร้างสามมิติพื้นผิวของกระดูกปลาที่สึกกร่อนระดับจุลภาค

เลือกส่วนกระดูกปลาส้มที่เป็นส่วนของกระดูกสันหลังมาล้างทำความสะอาด อบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อตรวจดูลักษณะโครงสร้างสามมิติพื้นผิวของกระดูกปลาที่สึกกร่อนระดับจุลภาคเปรียบเทียบกับกระดูกปลาที่ไม่ผ่านการหมัก โดยใช้กล้องจุลทรรศอิเลคตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM; รุ่น JSM 5410LV; JEOL Ltd., Japan)

2.5 การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ: วางแผนการทดลองผลิตปลาส้ม 4 สูตรแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design) วิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยผลการตรวจทางจุลชีววิทยาของปลาส้ม 4 สูตรที่ระยะเวลาการหมัก 0, 7 และ 30 วัน ด้วยวิธี One-way ANOVA และ Duncan’s new multiple range test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $P<0.05$ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยคุณภาพทางทางเคมีของปลาส้มสูตร 4 ก่อนการหมักและหลังการหมักด้วยวิธี Independent t-test

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

3.1 ผลการศึกษาสูตรการผลิตปลาส้มจากโครงปลา

ผลิตปลาส้มจากหัวและโครงปลาสับที่ใช้เกลือและกระเทียมระดับต่างกัน 4 สูตร และตรวจวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยาที่ระยะเวลาการหมัก 0, 7, 30, และ 60 วัน โดยที่เวลาเริ่มต้นก่อนการหมัก พบว่าปลาส้มทุกสูตรมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด จำนวนแบคทีเรียกรดแลกติกทั้งในสภาวะมีและไม่มีออกซิเจนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อหมักเป็นเวลา 7 วัน พบว่าปลาส้มทุกสูตรมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ขณะที่จำนวนแบคทีเรียกรดแลกติกในสภาวะมีและไม่มีออกซิเจนของปลาส้มสูตร 4 มีค่าสูงสุดและแตกต่างจากเกือบทุกสูตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ($P<0.05$) (Table 1) ปลาส้มทั้ง 4 สูตรที่ศึกษาครั้งนี้ใช้กระเทียมในปริมาณที่ต่ำกว่าสูตรปกติ 2-4 เท่า และสูตร 3 และ 4 ใช้เกลือสูงกว่าสูตรปกติ ปริมาณเกลือที่สูงขึ้นจะช่วยลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (Aw) ได้มากขึ้น (Iamkampang, 2016) และคัดเลือกเชื้อที่ส่งเสริมการหมักหัวและโครงปลาซึ่งเป็นส่วนโครงสร้างแข็ง สำหรับกระเทียมนั้นใช้ลดลงเพราะมีราคาสูง แต่ยังคงใช้อยู่เพื่อจะได้มีบทบาทร่วมกับเกลือในช่วงแรกของการหมักที่กระตุ้นการเจริญของแบคทีเรียกรดแลกติก (Lim *et al.*, 2015) ปลาส้มสูตร 4 เป็นสูตรที่ใช้เกลือสูงและกระเทียมสูงกว่าทุกสูตร และเป็นสูตรที่พบแบคทีเรียกรดแลกติกที่มีบทบาทสำคัญในการหมักสูงกว่าทุกสูตรที่เวลา 7 วันของการหมัก จะเห็นได้ว่าระดับเกลือและกระเทียมที่เหมาะสมกับลักษณะของวัตถุดิบสามารถกระตุ้นการเจริญของแบคทีเรียกรดแลกติกให้สูงขึ้นได้ในช่วงแรกของการหมัก (Lim *et al.*, 2015) และส่งผลให้

เกิดกระบวนการย่อยสลายโครงสร้างแข็งให้เปลี่ยนเป็นสารอาหารที่ร่างกายดูดซึมไปใช้ได้ง่าย และการสร้างสารอาหารที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้มากขึ้นในลำดับต่อไป

Table 1 Total plate count (TPC) and Lactic acid bacteria count at aerobic (LAB) and anaerobic conditions (LAB-an) of Plaa-som which were fermented for 60 days in 4 formulas

Methods	Time (Days)	Viable cell counts of Plaa-som (CFU/g)			
		Formula 1	Formula 2	Formula 3	Formula 4
TPC	0	$1.21\pm0.13\times10^{4a}$	$8.62\pm1.10\times10^{3a}$	$7.24\pm0.31\times10^{3a}$	$3.17\pm0.11\times10^{3a}$
	7	$1.83\pm0.62\times10^{8a}$	$6.24\pm1.66\times10^{7b}$	$9.47\pm2.20\times10^{7c}$	$1.67\pm0.34\times10^{7d}$
	30	$4.30\pm0.98\times10^{5a}$	$6.07\pm0.33\times10^{5a}$	$3.7\pm0.56\times10^{5a}$	$3.83\pm0.71\times10^{5a}$
	60	ND	ND	ND	0
LAB	0	<10	<10	<10	<10
	7	$2.06\pm0.68\times10^{7a}$	$1.18\pm0.23\times10^{7a}$	$3.74\pm1.75\times10^{7b}$	$4.83\pm1.0\times10^{7c}$
	30	$8.53\pm1.12\times10^{4a}$	$6.97\pm0.58\times10^{5a}$	$7.83\pm0.12\times10^{5a}$	$7.5\pm1.59\times10^{5a}$
	60	ND	ND	ND	0
LAB-an	0	<10	<10	<10	<10
	7	$5.57\pm0.85\times10^{5ab}$	$4.80\pm1.55\times10^{5a}$	$5.60\pm1.55\times10^{5ab}$	$6.60\pm0.62\times10^{5b}$
	30	$1.59\pm0.75\times10^{3a}$	$6.37\pm1.34\times10^{4a}$	$4.10\pm0.26\times10^{4a}$	$4.60\pm0.92\times10^{4a}$
	60	ND	ND	ND	0

Data expressed as mean±SD (n=3)

$^{a, b, c, d}$ Means with different superscript in same row are significantly different ($p<0.05$)

ND = Not determined

ที่เวลา 30 วันของการหมัก พบว่าปลาส้มทุกสูตรมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด จำนวนแบคทีเรียกรดแลกติกทั้งในสภาวะมีและไม่มีออกซิเจนที่ลดลงแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ที่เวลา 60 วันของการหมัก พบว่าปลาส้มสูตร 1, 2 และ 3 มีการปนเปื้อนของเชื้อราบนผิวหน้าผลิตภัณฑ์ (Table 1) ดังนั้นจึงไม่มีการวิเคราะห์หาจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด และจำนวนแบคทีเรียกรดแลกติกทั้งในสภาวะมีและไม่มีออกซิเจนเนื่องจากผลิตภัณฑ์เสื่อมเสีย ขณะที่ปลาส้มสูตร 4 ไม่มีเชื้อราปนเปื้อน จึงเลือกสูตร 4 ไปตรวจวิเคราะห์แต่ไม่พบการเจริญของจุลินทรีย์บนจานเพาะเชื้อทั้ง 3 วิธี (Table 1) ซึ่งคาดว่าผลที่ได้นี้เป็นผลลบปลอม (Negative false) ทั้งนี้จากการวิจัยของ Chadong *et al.* (2015) รายงานว่าในปลาส้มมีโปรตีนที่เป็นเปปไทด์สายสั้น ซึ่งสามารถออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้หลายอย่าง (Armin and Marzieh, 2018) เช่น ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ และในปลาส้มสูตร 4 น่าจะมีปริมาณเปปไทด์ที่มีฤทธิ์ยับยั้งจุลินทรีย์ได้ จึงทำให้ตรวจไม่พบจุลินทรีย์ในวิธีที่เลือกใช้ แต่เมื่อคณะผู้วิจัยได้ทดสอบโดยการเพาะเชื้อ 1 loop-ful ในอาหารเหลวสูตร Nutrient ก็พบว่ามีการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหารเหลวดังกล่าว แสดงว่าในปลาส้มสูตร 4 ไม่ได้ปราศจากเชื้อจุลินทรีย์ เพียงจุลินทรีย์ที่มีนั้นไม่สามารถเจริญได้ในสภาวะที่ตรวจวิเคราะห์ จากรายงานของ Jodnak

(2013) Nie *et al.* (2014) และ Slizytea *et al.* (2016) ยังพบว่า โปรตีนสายสั้นที่สกัดได้จากเศษเหลือทิ้งของปลาสามารถเพิ่มจำนวนเซลล์สร้างกระดูกและ เพิ่มการสะสมแคลเซียมของเซลล์สร้างกระดูก สามารถลดน้ำตาลในเลือด และมีสมบัติของการต่อต้านสารอนุมูลอิสระ การศึกษาครั้งนี้ที่พบว่าปลาส้มสูตร 1-3 ที่ใช้เกลือและ/หรือกระเทียมต่ำกว่าสูตร 4 ไม่สามารถหมักในระยะเวลานานถึง 60 วันผลิตภัณฑ์ก็เกิดการเสื่อมเสีย แสดงว่าทั้งชนิดและจำนวนของจุลินทรีย์ที่เจริญในสูตร 1-3 มีความแตกต่างจากของสูตร 4 ผลผลิตที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักจึงมีความแตกต่างกันการเสื่อมเสียก็ต่างกันด้วย ดังนั้นในกระบวนการหมักปลาส้มจากวัสดุเศษเหลือจากปลานั้นต้องใช้ปริมาณเกลือและกระเทียมที่เหมาะสม จึงจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเสื่อมเสียหรือมีเชื้อที่ไม่พึงประสงค์เจริญขึ้นมาบนผลิตภัณฑ์ และจะเห็นได้ว่าเกลือและกระเทียมนั้นมีผลทำงานร่วมกันในกระบวนการหมักตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดกระบวนการหมักปลาส้มจากวัสดุเศษเหลือของปลา และการที่ปลาส้มสูตร 4 ได้ใช้เวลาในกระบวนการหมักนาน 60 วัน เนื่องจากคาดว่าเป็นระยะการหมักที่เข้าสู่สภาวะคงที่และทำให้เกิดการย่อยสารอาหารจากโครงปลาให้เปลี่ยนเป็นสารสำคัญที่มีมูลค่าสูงได้ ซึ่งใกล้เคียงกับรายงานของ Wanga *et al.* (2017) ที่หมัก Suanyu โดยนำปลาน้ำจืดหมักกับข้าวสุก เกลือ และเครื่องเทศนาน 1 เดือนขึ้นไปจะได้ปลาหมักที่มีกลิ่นและรสชาติที่ดีจากการย่อยสลายของโปรตีนในปลาออกมาเป็นเปปไทด์และกรดอะมิโน ดังนั้นจึงเลือกปลาส้มสูตร 4 เพื่อตรวจวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

3.2 ผลการตรวจเชื้อก่อโรค พยาธิ คุณภาพทางเคมีของปลาส้มสูตร 4

หลังจากหมักปลาส้มสูตร 4 เป็นเวลา 60 วัน ตรวจไม่พบเชื้อแบคทีเรียก่อโรค *Salmonella* spp., *Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens*, *Coliforms*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* และไม่พบตัวอ่อนของพยาธิตัวจี๊ด และตัวอ่อนระยะติดต่อของพยาธิใบไม้ ผลการตรวจเชื้อก่อโรคและพยาธิดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ Singh *et al.* (2015) ที่รายงานว่า เปปไทด์สายสั้นที่ได้จากการหมักนมถั่วเหลืองด้วยเชื้อ *Lactobacillus plantarum* C2 ยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Escherichia coli* (12±0.57 mm.) เชื้อ *Listeria monocytogenous* (10±0.57 mm.) และเชื้อ *Bacillis cereus* (10±0.57 mm.) และปลาส้มที่หมักจนได้ที่แล้วจะไม่พบพยาธิตัวจี๊ด และตัวอ่อนระยะติดต่อของพยาธิใบไม้ (Prachasitthisak *et al.*, 2009: online)

3.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพปลาส้มทางเคมี

หลังจากหมักปลาส้มสูตร 4 เป็นเวลา 60 วัน อบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียสจนแห้งสนิท วิเคราะห์คุณภาพทางเคมี พบว่า ปลาส้มสูตร 4 มีค่า pH ปริมาณกรดทั้งหมด และฤทธิ์การยับยั้งอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH แตกต่างจากก่อนการหมักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) (Table 2) ในขณะที่ค่าร้อยละของความชื้น โปรตีน ไขมัน แคลเซียม และฟอสฟอรัสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) (Table 2) ค่า pH และปริมาณกรดทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นอย่างแตกต่างนี้บ่งชี้ว่ามีกระบวนการหมักวัสดุเศษเหลือจากปลาแบบปลาส้ม และพบสารที่ออกฤทธิ์ทางเภสัชมากขึ้นโดยเห็นได้จากค่าฤทธิ์การยับยั้งอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH ที่เพิ่มจากร้อยละ 39.02±1.10 เป็นร้อยละ 69.42±0.35 ซึ่งสูงขึ้นร้อยละ 77.9 โดยคาดว่าสารที่ออกฤทธิ์ดังกล่าวอาจจะเป็นกลุ่มเปปไทด์สายสั้นที่ได้จากการหมักย่อยโปรตีนในวัสดุเศษเหลือจากปลาสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Wu *et al.* (2017) ที่ทดลองใช้แบคทีเรียผลิตโปรตีเอสหมักเศษเหลือทิ้งจากปลาแซลมอล และ

พบว่าไฮโดรไลเสตเปปไทด์จากส่วนที่เป็นเนื้อปลาให้สารที่มีฤทธิ์ยับยั้งอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH เป็นร้อยละ 74.06±1.14 ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ แต่การสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่เศษเหลือของปลาในแง่ของการผลิตสารต้านอนุมูลอิสระนี้คุ้มค่ากว่าการสกัดจากเนื้อปลา

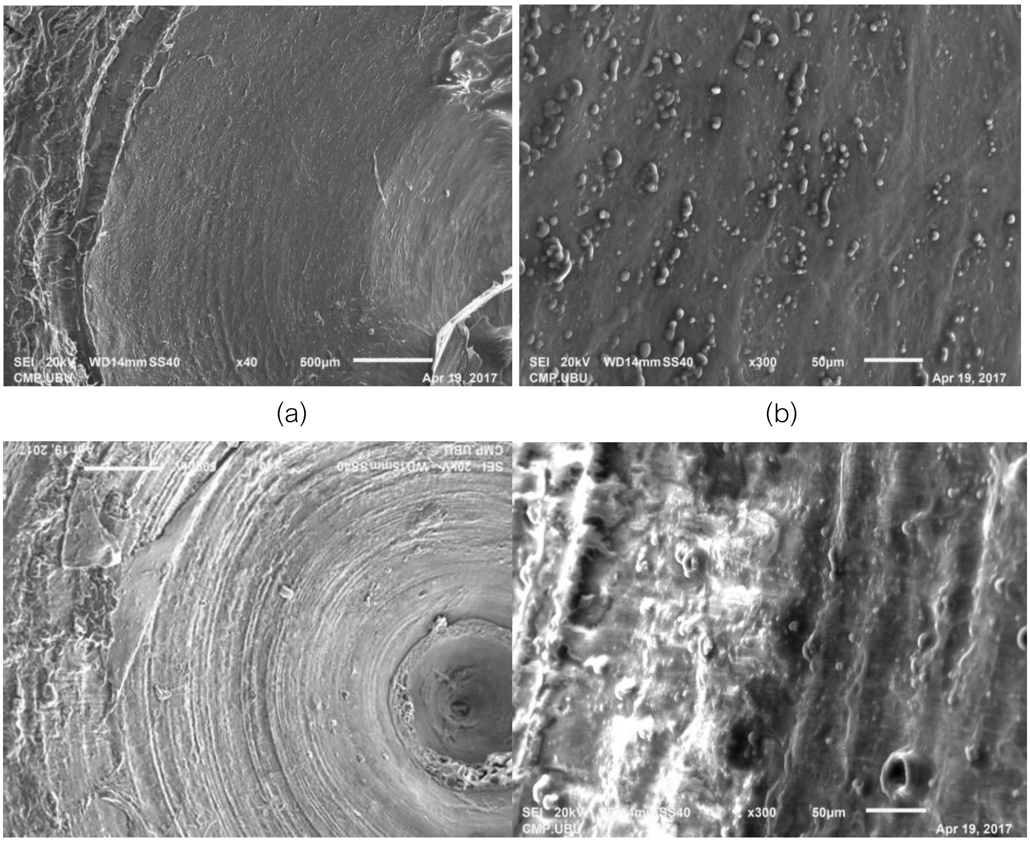
Table 2 pH value, moisture, acidity, protein, fat, ash, Calcium, Phosphorus, and %DPPH Inhibition of Plaa-som (formula 4) which was fermented for 60 days

Parameters	At day 0 of fermentation	At day 60 of fermentation
pH	6.52±0.21[a]	4.80±0.11[b]
Moisture content (%)	5.31±0.10[a]	5.12±0.23[a]
Acidity (%)	0.0[a]	1.57±0.50[b]
Protein (%)	25.88±0.22[a]	25.15±0.54[a]
Fat (%)	29.39±0.65[a]	27.62±0.37[a]
Calcium (%)	0.89±0.3[a]	1.82±0.37[a]
Phosphorus (%)	3.36±0.25[a]	2.21±0.63[a]
%DPPH Inhibition	39.02±1.10[a]	69.42±0.35[b]

[ab] Means with different superscript in same row are significantly different (p<0.05)

3.4 ผลการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างสามมิติพื้นผิวของกระดูกปลาที่สึกกร่อนระดับจุลภาค

เลือกส่วนกระดูกปลาส้มที่เป็นส่วนของกระดูกสันหลังมาล้างทำความสะอาด อบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ตรวจลักษณะโครงสร้างระดับจุลภาคของพื้นผิวกระดูกปลาส้มโดยใช้กล้องจุลทรรศอิเลคตรอนแบบส่องกราด พบว่า ลักษณะโครงสร้างสามมิติของพื้นผิวกระดูกปลาที่เป็นกลุ่มควบคุม คือ กระดูกปลาก่อนการหมักนั้น มีพื้นผิวของกระดูกที่เรียบ (Fig. 1: a, b) ในขณะที่ลักษณะโครงสร้างสามมิติพื้นผิวของกระดูกปลาที่ผ่านการหมักเป็นเวลา 60 วัน มีพื้นผิวของกระดูกที่สึกกร่อน (Fig. 1: c, d) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการสึกกร่อนของโครงสร้างในระดับจุลภาคของพื้นผิวกระดูกปลาที่ผ่านการหมัก และยืนยันผลการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมที่เพิ่มจากร้อยละ 0.89±0.33 เป็นร้อยละ 1.82±0.37 (Table 2) ซึ่งบ่งชี้ว่ากระบวนการหมักปลาส้มที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ทำให้เกิดการย่อยสลายโครงสร้างแข็งของกระดูกปลาได้ และคาดว่าเป็นการทำให้แคลเซียมที่เดิมเป็นโครงสร้างแข็งจะละลายออกมาเป็นแคลเซียมที่ร่างกายสามารถดูดซึมไปใช้ได้มากขึ้นไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มจำนวนเซลล์สร้างกระดูกและการสะสมแคลเซียม



(a) (b)

(c) (d)

Fig. 1: Scanning electron microscopy of Tilapia fish bone before the fermentation of Plaa-som (a, b) and after 60 days of the fermentation of Plaa-som (c, d) Bar: 500 μ x40 (a, c) and 50 μ x300 (b, d)

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สูตรการผลิตปลาส้มจากเศษเหลือทิ้งของปลาที่ใช้โครงปลานิลสับต่อข้าวเหนียวนึ่งสุกต่อเกลือต่อกระเทียมในอัตราส่วน 100:20:10:10 หมักนาน 60 วัน เป็นสูตรที่เหมาะสมสำหรับหมักเศษเหลือของปลาเนื่องจากไม่เกิดการเน่าเสียหรือปนเปื้อนด้วยจุลินทรีย์ที่ไม่พึงประสงค์ และเป็นสูตรที่ให้สารที่ออกฤทธิ์การยับยั้งอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH สูงถึงร้อยละ 69.42$\pm$0.35 ซึ่งควรศึกษาต่อไปว่าเป็นการออกฤทธิ์ของสารใดและใช้เป็นจุดขายในการพัฒนาเป็นอาหารทางเลือกเพื่อสุขภาพต่อไป

เอกสารอ้างอิง

AOAC. 2000. Official Methods of Analysis. 17th Edition, The Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA.

Armin, M.K., and Marzieh, M-N. 2018. BioActive peptides derived from fish by-product collagen. International Journal of Environmental Science Natural Resources. 13(2): 555-859.

Chadong, K, Yunchalard, S., and Piyatheerawong, W. 2015. Physicochemical characteristics and protein degradation during fermentation of Plaa-som, A traditional fermented fish product of North-Eastern Thailand. Indian Journal of Traditional Knowledge. 14(2): 220-225.

Chantharasophon, K., Moonsin, P., and Prawitthana, S. 2010. The potential of using and producing selective *Bacillus* sp. and *Saccharomyces* sp. from Tilapia (*Oreochromis niloticus*) gastrointestinal flora as probiotics. Full report, Ubon Ratchathani Rajabhat University. 116 p. [in Thai]

Chompuming, U., Chatsungnoen, T., and Chaithawatwithi, T. 2009. The quality improvement of Plaa-som products by biotechnological processes: A case study of Phrae and Pha Yao province. Full report, Maejo University Phrae Campus. 112 p. [in Thai]

Iamkampang, P. 2016. Effect of salt on fermentation and sensory characteristics of Kung-Jom. The journal of KMUTNB. 26(1): 105-112. [in Thai]

Jittrepotch, N., Rojsuntornkitti, K. and Kongbangkerd, T. 2015. Physico-chemical and sensory properties of Plaa-som, a Thai fermented fish product prepared by using low sodium chloride substitutes. International Food Research Journal. 22(2): 721-730.

Jodnak, S. 2013. Biological activity of Tilapia bone protein hydrolysate and its effect on osteoblasts. Master Degree of Nutraceuticals and Functional Foods, Prince of Songkla University. 76 p. [in Thai]

Kutako, M., Tocharoen, T., Sonthi, M., Hiransuchalert, R., and Watanachote, J. 2015. Yield and protein pattern of collagen extracted from Greenback mullet (*Liza subviridis*) scale by different pepsin concentrations. Khon Kaen Agriculture Journal. 43(SUPPL. 1): 562-567. [in Thai]

Laohakunjit, N., Phetaveeporndet, P., Kerdchoechuen, O., and Ratanakhanokchai, K. 2011. Flavoring agent produced from mungbean meal by protease. KMUTT Research and Development Journal. 34(2): 129-145.

Lim, S.B., Shin, SY., Moon, J.S., Otgonbayar, G., Joo, W., Lee, S.J., Jeon, C.O., and Han, N.S. 2015. Garlic is a source of major lactic acid bacteria for early-stage fermentation of cabbage-kimchi. Food Science and Biotechnology. 24(4): 1437–1441.

Limhang, K., Hiranvattanasuk, J., and Inthawat, M. (2016). Effect of garlic extract on inhibition of *Vibrio parahaemolyticus* and *Vibrio harveyi*. Khon Kaen Agriculture Journal. 44(SUPPL. 1): 650-655. [in Thai]

Mahboob, S., Haider, S., Sultana, S., Al-Ghanim, K.A., Al-Misned, F., Al-Balawi, H.F.A., and Ahmad, Z. 2014. Isolation and characterization of collagen from the waste material of two important freshwater fish species. The Journal of Animal & Plant Sciences. 24(6): 1802-1810.

Nie, R., Liu, Y., and Liu, Z. 2014. The calcium-binding activity of fish scale protein hydrolysates. Journal of Agricultural Chemistry and Environment. 3(1B): 11-15.

Prachasitthisak, Y., Eamsiri, J., Sajjabut, S., Rojekittikhun, W., and Pubumpen, S. 2009. Hygienic quality improvement of fermented fish (Pla-som). The 11st Nuclear Science and Technology Conference. [Online] Available from http://www.nst.or.th/nstconf/nst/nst11/BA/BA10_%20Yuthapong_%20Prachasitthisak.pdf. [2017, June 12] [in Thai]

Promchote, P.T. 2017. Chemical compositions and antioxidant properties of Pla-ra, Thai indigenous fermented fish product. Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University. 19(2): 159-172. [in Thai]

Slizytea, R., Rommib, K., Mozuraitytea, R., Eckc, P., Fived, K., and Rustad T. 2016. Bioactivities of fish protein hydrolysates from defatted salmon backbones. Biotechnology Reports. 11: 99-109.

Wanga, W., Xiaa, W., Gaoa, P., Xua, Y., and Jiang, Q. 2017. Proteolysis during fermentation of Suanyu as a traditional fermented fish product of China. International Journal of Food Properties. 20: S166–S176.

Wu, R., Chen, L., Liu, D., Huang, J., Zhang, H., Xiao, X., Lei, M., Chen, Y., and He, H. 2017. Preparation of antioxidant peptides from salmon byproducts with bacterial extracellular proteases. Marine drugs. 15(4): 1-19.

Yongsawatdigul, J. 2013. Utilization of fishery byproducts for gel-enhancing agent and ACE inhibitory and antioxidant peptides. Complete Research Report, Suranaree University of Technology. 91 p. [in Thai]

Zhang, F., Wang, A., Li, Z., He, S., and Shao, L. 2011. Preparation and characterization of collagen from freshwater fish scales. Food and Nutrition Sciences. 2: 818-823.

Zheng, M., Xia, Q., and Lu, S. 2015. Study on drying methods and their influence on effective component of loquat flower tea. Journal of LWT-Food Science and Technology. 63: 14-20.

การเปรียบเทียบการใช้ยีสต์สำเร็จรูปในการปรับปรุงคุณภาพกากมันสำปะหลังสูตรต่าง ๆ

Comparison of the use of finished yeast to improve the quality of cassava residue

วศิน วุฒิวิชญานันต์[1*] อรุณีพงศ์ ศรีสถาพร[1] บัณฑิต ยวงสร้อย[1] และสมสมร แก้วบริสุทธิ์[1]

Wasin Wuttiwichayanan[1*] Aruneepong Srisathaporn[1] Bundit Yuangsoi[1] and Somsamorn Kaewborisut[1]

[1]ภาควิชาประมง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย 40002

[1]Department of Fisheries, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen Thailand 40002

บทคัดย่อ

การเปรียบเทียบการใช้ยีสต์สำเร็จรูป 2 ชนิด คือ ยีสต์ขนมปังกับยีสต์หมักสำเร็จรูปสำหรับทำกากมันหมักเพื่อปรับปรุงคุณภาพกากมันสำปะหลังหมักรวมกับมันสำปะหลังบดและกากถั่วเหลืองที่อัตราส่วนแตกต่างกัน 4 สูตรคือ สูตรที่1 อัตราส่วน 100: 0: 0% สูตรที่2 อัตราส่วน 90: 5: 5% สูตรที่3 อัตราส่วน 80: 10: 10% และสูตรที่4 อัตราส่วน 70: 15: 15% พีเอชเริ่มต้น 5.1 – 5.2 ความชื้น 89 - 90% หมักที่อุณหภูมิห้อง และระยะเวลาการหมัก 14 วัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ชนิดของยีสต์และสูตรกากมันมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของโปรตีนของกากมันหมักแต่ละสูตรแตกต่างกัน ($P<0.05$) โดยยีสต์ขนมปังจะทำให้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของโปรตีนของกากมันหมักสูงกว่ายีสต์หมักสำหรับทำกากมันหมัก ประสิทธิภาพการย่อยได้โดยเอนไซม์เปปซินพบว่าชนิดของยีสต์ไม่มีผลทำให้ประสิทธิภาพการย่อยได้แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แต่สูตรของกากมันที่หมักด้วยยีสต์ขนมปังพบว่าประสิทธิภาพการย่อยได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยสูตรที่ 4 มีค่าการย่อยได้สูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบค่าความคุ้มทุน พบว่าชนิดของยีสต์และสูตรของกากมันมีปฏิกิริยาสัมพันธ์กันส่งผลทำให้ค่าความคุ้มทุนแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) โดยสูตรที่หมักด้วยยีสต์ขนมปังทุกสูตรจะให้ค่าความคุ้มทุนสูงกว่าสูตรที่หมักด้วยยีสต์หมักกากมัน จากผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้ยีสต์ขนมปังเป็นทางเลือกสำหรับทดแทนยีสต์หมักกากมันสำเร็จรูปที่มีจำหน่ายทางการค้าได้ดีเทียบเท่าถึงดีกว่าและกระบวนการหมักสามารถปรับปรุงคุณภาพกากมันสำปะหลังให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำใช้เป็นวัตถุดิบทางเลือกสำหรับสัตว์น้ำได้

คำสำคัญ: กากมันสำปะหลัง, ประสิทธิภาพการย่อยได้, ยีสต์

Abstract

Two types of finished yeasts, baker's yeast and fermented yeast were compared to improve the quality of 4 formulas of cassava residue mixed with cassava meal and soybean meal at different ratios. Formula1 100: 0: 0%, formula2 90: 5: 5%, formula3 80: 10: 10% and formula4 70: 15: 15%. Fermentation conditioning at initial, pH 5.1 - 5.2, moisture content at 89 - 90% and all formulas were kept at room temperature for 2 weeks. The yeast type and cassava formula resulted in a different increasing of percent protein in each formulas ($P<0.05$), the baker's yeast showed higher of percent

protein increase than that of the fermented yeast. Yeast types showed no different statistically significant (P>0.05) on pepsin digestibility, however the cassava formula fermented with baker's yeast had a significant difference in pepsin digestibility (P<0.05) by formula 4 showed higher pepsin digestibility than the others. The significantly different interaction (P<0.05) were found between yeast type and cassava formulation as considered the benefit return, the cost of protein (grams), the all recipe of finished baker's yeast formula showed higher benefit return than that of commercial fermented yeast. This study reveal that finished baker's yeast can be utilized as alternative yeast source to replace fermented yeast in improving cassava residue and fermentation process could improve the functional properties of cassava residue as alternative feed that suitable for aquatic animal.

Keyword: cassava residue, efficacy digestibility, fermentation

คำนำ

กากมันสำปะหลังเป็นสิ่งเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง หลังจากผ่านกระบวนการสกัดแป้งออกแล้วจะเหลือกากมันสำปะหลังในปริมาณมาก เปรียบเทียบคือเมื่อใช้หัวมัน 47.8 ตัน/ชั่วโมง จะได้แป้งมัน 12.43 ตัน/ชั่วโมง และจะได้กากมันถึง 12.86 ตัน/ชั่วโมง (Kasetsart University Research and Development Institute, 2556: online) ราคาของกากมันสำปะหลังมีราคาถูกประมาณ 0.2 - 0.4 บาทต่อกิโลกรัม โดยจากการนำมาวิเคราะห์หาคุณค่าทางโภชนะที่เหลืออยู่พบว่า มีแป้ง 53.55% เถ้า 2.83% โปรตีน 1.98% เยื่อใย 13.59% และไขมัน 0.13% (Khempaka *et al.*, 2009) และมีสารพิษคือกรดไฮโดรไซยานิคที่เหลืออยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์ ซึ่งสามารถนำมาผสมลงในอาหารสัตว์ได้ อย่างไรก็ตามแม้จะมีรายงานการนำกากมันสำปะหลังมาเป็นวัตถุดิบพลังงานในการใช้เลี้ยงสัตว์อย่างแพร่หลาย แต่ในสัตว์น้ำยังไม่พบรายงานการนำมาใช้ เนื่องจากกากมันสำปะหลังมีค่าโปรตีนที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับวัตถุดิบพลังงานตัวอื่น ดังนั้นหากมีการปรับปรุงกากมันสำปะหลัง โดยการใช้เทคโนโลยีการหมักโดยอาศัยกระบวนการหมักของจุลินทรีย์เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนะจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจที่ปรับปรุงคุณภาพของกากมันให้เป็นวัตถุดิบทางเลือกราคาถูกในการใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์น้ำได้

การปรับปรุงกากมันสำปะหลังด้วยวิธีการหมักเป็นอีกหนึ่งวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย การศึกษาในปัจจุบันพบว่าการหมักกากมันสำปะหลังด้วยยีสต์และเชื้อราเป็นวิธีที่เพิ่มปริมาณโปรตีนดีที่สุดโดยใช้ยูเรียเป็นแหล่งของไนโตรเจนสำหรับการเจริญเติบโตของยีสต์และเชื้อรา (Bayitse *et al.*, 2015) ซึ่งยีสต์ส่วนใหญ่สามารถเจริญได้ดีที่พีเอชเท่ากับ 3.5 และ 6.5 และสามารถเจริญได้ในช่วงกว้าง 3 - 11 อย่างไรก็ตามพีเอชไม่มีความสำคัญในการจัดจำแนกชนิดของยีสต์ เนื่องจากพีเอชขึ้นกับปัจจัยอื่น ๆ เช่น อุณหภูมิ ค่า water activity ทำให้ค่าพีเอชเปลี่ยนแปลงได้ง่าย ยีสต์สามารถเจริญในช่วงอุณหภูมิได้กว้าง ซึ่งยีสต์ส่วนใหญ่สามารถเจริญได้ที่ 0 องศาเซลเซียสหรือต่ำกว่านี้ได้แต่เจริญในอัตราที่ช้ามาก ในบางชนิดสามารถเจริญได้ในช่วง 46 - 47 องศาเซลเซียส แต่ส่วนใหญ่จะมีค่าที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 25 - 30 องศาเซลเซียส ยีสต์ที่นิยมนำมาใช้ในการหมักคือ

Seccharomyces cerevisiae ปัจจุบันมีการนำยีสต์ดังกล่าวมาผลิตเป็นยีสต์หมักสำเร็จรูปเพื่อใช้ในการหมักโดยเฉพาะ และจำหน่ายทางการค้าจนได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลายในกลุ่มเกษตรกร แต่มีราคาค่อนข้างสูง เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักพบว่าการหมักกากมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียวทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของโปรตีน เพิ่มขึ้น 48 เปอร์เซ็นต์ (Bayitse *et al*., 2015) แต่ยังไม่สูงเพียงพอต่อการนำไปใช้เป็นอาหารปลาโดยตรง จากการทดลองเบื้องต้นในรายวิชาปัญหาพิเศษของตัวผู้วิจัยเอง ที่ทดลองปรับปรุงกากมันสำปะหลังโดยการนำกากถั่วเหลืองมาผสมในสัดส่วนแตกต่างกันก่อนนำมาหมักด้วยยีสต์ขนมปังเปรียบเทียบกับการหมักกากมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียว ซึ่งพบว่าการหมักกากมันสำปะหลังร่วมกับกากถั่วเหลืองที่อัตราส่วน 85: 15 เปอร์เซ็นต์ ให้ปริมาณโปรตีนที่คุ้มต่อต้นทุนมากที่สุด จากผลการศึกษาดังกล่าวจึงนำมาต่อยอดในการปรับปรุงสูตรกากมันสำปะหลังก่อนการหมัก ด้วยการเสริมมันสำปะหลังบดลงในสูตรร่วมกับ กากถั่วเหลืองในสัดส่วนต่าง ๆ การเสริมด้วยมันสำปะหลังบดเพื่อเป็นการเพิ่มคาร์โบไฮเดรต (Saranlom,1985 cited in Pratoomchat, 2010) เพื่อให้ยีสต์เจริญเติบโตได้ดี ด้วยเหตุนี้จึงศึกษาปริมาณโปรตีน ประสิทธิภาพการย่อยได้โดยเอนไซม์เปปซิน และค่าความคุ้มทุนของกากมันสำปะหลังหมักรวมกับมันสำปะหลังบดและกากถั่วเหลืองที่ระดับต่างกันด้วยยีสต์สองชนิด คือ ยีสต์ขนมปังกับยีสต์หมักสำเร็จรูปสำหรับหมักกากมัน

วิธีดำเนินงานวิจัย

วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล กำหนดปัจจัย A เป็นชนิดยีสต์ 2 ชนิด คือยีสต์ขนมปังกับยีสต์หมักสำเร็จรูป และปัจจัย B เป็นสูตรของกากมันสำปะหลัง (cassava residue: CR) ที่รวมกับมันสำปะหลังบด (cassava meal: CM) และกากถั่วเหลือง (soybean meal :SB) ที่ระดับต่างกันทั้งหมด 4 สูตร คือ CR: CM: SB สูตรที่1 100: 0: 0%, สูตรที่2 90: 5: 5%, สูตรที่3 80: 10: 10% และสูตรที่4 70: 15: 15% จะได้ชุดการทดลองทั้งหมด 8 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ โดยทุกชุดการทดลองจะใช้ยีสต์ กากน้ำตาล เกลือแอมโมเนีย (แอมโมเนียมซัลเฟต) ที่อัตราส่วน 2: 40: 20 กรัม ตามลำดับ ต่อน้ำสะอาด 4 ลิตร สำหรับเตรียมน้ำหมักต่อสิ่งหมัก 2 กิโลกรัม และใช้ในปริมาณเท่ากันทุกสูตร (Kampha, 2010) เทส่วนผสมวัตถุดิบทั้งหมดลงในถังผสม ใช้ไม้คนให้วัตถุดิบละลายเข้ากันเพื่อเป็นการให้อากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นชั่งน้ำหนักกากมันสำปะหลัง มันสำปะหลังบด และกากถั่วเหลืองตามอัตราส่วนในแต่ละชุดการทดลอง โดยคำนวณจากน้ำหนักทั้งหมด 2 กิโลกรัม แล้วนำน้ำหมักที่เตรียมไว้จนครบ 1 ชั่วโมงมาผสมคลุกเคล้ากับวัตถุดิบให้เข้ากันดี หมักไว้ในถุงพลาสติกรีดอากาศออกแล้วปิดปากถุงให้มิดชิด ใช้ระยะเวลาการในหมัก 14 วัน ควบคุมความชื้นให้เท่ากันทุกชุดการทดลองที่ความชื้น 89 - 90 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิห้อง

หลังจากหมักกากมันสำปะหลังหมักทั้ง 8 ชุดการทดลองครบ 14 วัน นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แล้วนำไปวิเคราะห์โปรตีน ด้วยวิธี Proximate analysis ตามวิธีของ AOAC (1990) และวิเคราะห์การย่อยได้ของกากมันสำปะหลังหมักโดยใช้เอนไซม์เปปซิน ตามวิธีการของ Helrich, (1990) โดยการนำกากมันสำปะหลังหมักที่อบแห้งแล้วไปสกัดไขมันด้วย Petroleum ether แล้วนำไปอบให้แห้งอีกรอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จากนั้นสุ่มชั่งตัวอย่างที่สกัดไขมันและอบแห้งแล้วประมาณ 0.5 กรัม ใส่ลงในฟลาสก์ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลายเอนไซม์เปปซินที่ประกอบด้วยเอนไซม์เปปซินเข้มข้น 0.2

เปอร์เซ็นต์ ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.075 นอร์มอล 150 มิลลิลิตร (เตรียมใหม่ทุกครั้งก่อนใช้) จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส อัตราการเขย่า 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 16 ชั่วโมง แล้วนำมากรองด้วยกระดาษกรองวอร์ทแมนเบอร์ 4 (Whatman) ล้างด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง แล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยวิธี Kjeldah

นำข้อมูลผลของการหมักกากมันสำปะหลังทั้ง 4 สูตรด้วยยีสต์ 2 ชนิด ได้แก่ เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของโปรตีน ประสิทธิภาพการย่อยได้ ความคุ้มทุนของโปรตีนที่ได้ (กรัม) ต่อเงิน 1 บาท วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง Treatment ด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

ผลการศึกษา

ข้อมูลการศึกษา แสดงใน Table 1. เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของโปรตีนในทุกชุดการทดลองอยู่ในช่วง 76.18 – 93.97 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่าชนิดของยีสต์ที่ใช้ในการหมักและสูตรของกากมันที่ใช้ มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของโปรตีนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กากมันสูตรเดียวกันหมักด้วยยีสต์ต่างชนิดกันมีผลทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มของโปรตีนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยสูตรกากมันที่หมักด้วยยีสต์ขนมปังมีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มของโปรตีนสูงกว่าสูตรที่หมักด้วยยีสต์หมักสำเร็จรูปในทุกสูตร โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของโปรตีนอยู่ในช่วง 84.84 – 93.97 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรที่หมักด้วยยีสต์ขนมปัง และ 76.18 – 90.93 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรที่หมักด้วยยีสต์หมักสำเร็จรูป ข้อมูลดังแสดงใน Table1., Figure1. ส่วนประสิทธิภาพการย่อยได้โดยเอนไซม์เปปซินทุกชุดการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 62 – 83.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งชนิดของยีสต์ไม่ทำให้ค่าการย่อยได้ด้วยเอนไซม์เปบซินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่พบว่าสูตรของกากมันที่ใช้มีผลทำให้ค่าการย่อยได้ด้วยเอนไซม์เปปซินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยสูตรที่มีประสิทธิภาพการย่อยได้โดยเอนไซม์เปปซินสูงที่สุดคือสูตรที่4 ที่หมักด้วยยีสต์ขนมปังและยีสต์หมักสำเร็จรูป มีค่าเท่ากับ 83.21±0.72เปอร์เซ็นต์ และ 83.50±0.35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และสูตรของกากมันที่มีค่าประสิทธิการภาพย่อยได้ต่ำที่สุดคือสูตรที่1 มีค่าเท่ากับ 62.00±0.98 และ 62.94±0.48 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรที่หมักด้วยยีสต์หมักสำเร็จรูปและยีสต์ขนมปัง ตามลำดับ (Table1., Figure2.) และค่าความคุ้มทุนที่คิดจากปริมาณโปรตีน (กรัม) ต่อเงิน 1 บาท พบว่าชนิดของยีสต์ที่ใช้หมักและสูตรกากมันมีปฏิกิริยาสัมพันธ์กันโดยพบว่ายีสต์ต่างชนิดกัน แม้จะใช้หมักกากมันสูตรเดียวกันก็มีผลต่อความคุ้มทุนแตกต่างกัน หรือแม้จะเป็นการใช้ยีสต์ชนิดเดียวกันแต่ใช้หมักกากมันต่างสูตรก็มีผลต่อความคุ้มทุนแตกต่างกัน โดยสูตรที่ 1 - 4 หมักด้วยยีสต์ขนมปังมีค่าความคุ้มทุนที่ 24.34 – 29.22 กรัมโปรตีนต่อเงิน 1 บาท ส่วนสูตรที่ 1 - 4 หมักด้วยยีสต์หมักสำเร็จรูปมีค่าความคุ้มทุนที่ 17.85 – 25.66 กรัมโปรตีนต่อเงิน 1 บาท (Table1., Figure3.)

Table 1. mean values comparison of Initial protein, Final protein, Protein increase (%), Pepsin digestibility (%) Cost and pH.

Treatment	Initial protein Day0	Final protein Day14	Protein[1] increase (%)	Pepsin digestibility (%)	Cost[2] G Protein/1 Baht	pH
Baker yeast						
Formula1	4.77±0.19[f]	8.81±0.13[h]	84.84±5.87[b]	62.94±0.48[e]	24.34±0.35[e]	4.91±0.01[a]
Formula2	6.90±0.09[e]	13.26±0.13[g]	92.24±1.15[a]	74.67±2.00[d]	28.09±0.29[b]	3.90±0.05[c]
Formula3	8.47±0.25[c]	16.39±0.26[c]	93.57±2.97[a]	77.74±0.89[bc]	28.16±0.45[b]	3.80±0.01[d]
Formula4	10.43±0.17[b]	20.22±0.12[a]	93.97±2.10[a]	83.21±0.72[a]	29.22±0.18[a]	3.81±0.01[d]
Fermented yeast						
Formula1	4.46±0.52[g]	7.86±0.11[i]	76.18±2.49[c]	62.00±0.98[e]	17.85±0.26[f]	4.34±0.08[b]
Formula2	7.20±0.34[d]	13.73±0.07[f]	90.87±0.15[a]	75.53±0.97[cd]	24.97±0.13[d]	3.91±0.09[c]
Formula3	8.43±0.01[c]	16.10±0.05[d]	90.93±0.77[a]	78.92±0.67[b]	24.40±0.08[e]	3.83±0.03[cd]
Formula4	10.76±0.13[a]	19.76±0.23[b]	83.62±0.65[b]	83.50±0.34[a]	25.66±0.30[c]	3.83±0.04[cd]
P-Values						
Yeast (A)	0.125	0.000	0.000	0.266	0.000	0.000
Formula (B)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
A × B	0.000	0.000	0.023	0.185	0.000	0.000

Mean values in the same column followed by different superscript are significantly ($P<0.05$). All values are means ± SD.

[1]Protein increase (%) = $\left\{\frac{\text{Final protein} \times 100}{\text{Initial protein}}\right\} - 100$, [2]Cost G Protein/1 Baht = $\frac{\text{Final Protein} \times 10}{\text{Cost per kilogram}}$

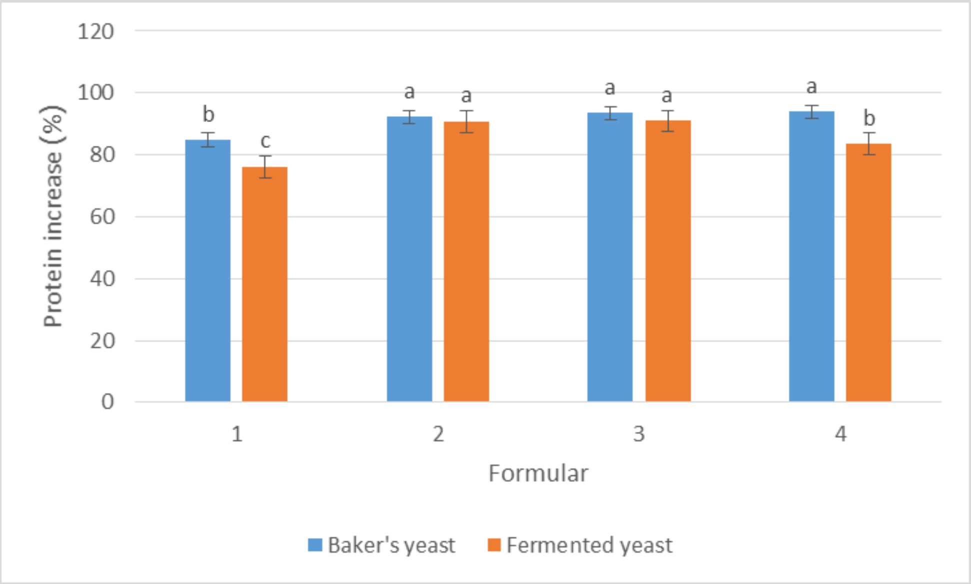


Figure 1 mean values of percent protein increase. The yeast type and cassava formula resulted in a different increasing of percent protein in each formulas (P<0.05), the baker's yeast showed higher of percent protein increase than that of the fermented yeast

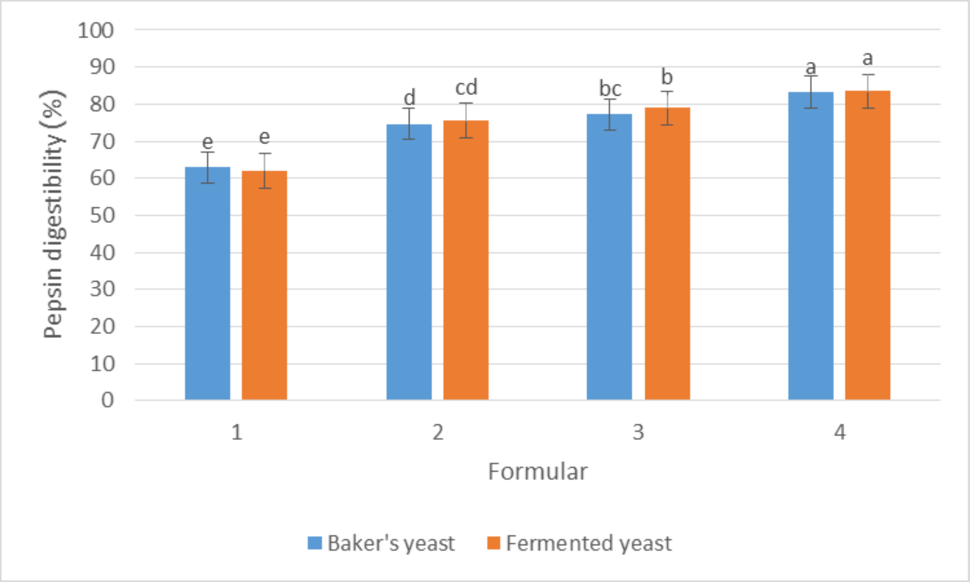


Figure 2 mean values of pepsin digestibility. Yeast types showed no different statistically significant (P>0.05) on pepsin digestibility, however the cassava formula fermented with baker's yeast had a significant difference in pepsin digestibility (P>0.05) by formula 4 showed higher pepsin digestibility than the others

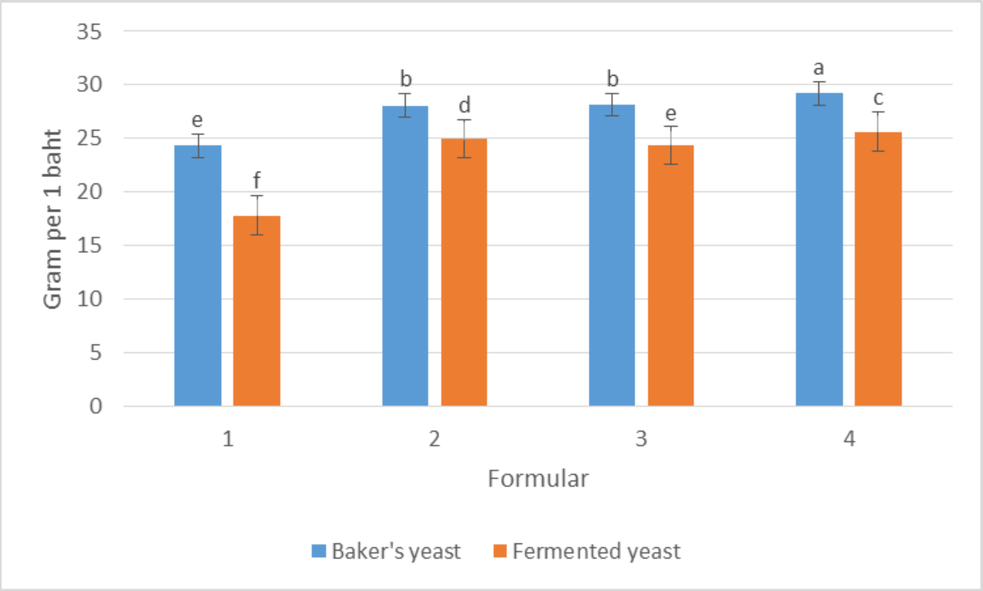


Figure 3 mean values of cost (grams of protein per 1 baht). The significantly different interaction (P<0.05) were found between yeast type and cassava formulation as considered the benefit return, the cost of protein (grams), the all recipe of finished baker's yeast formula showed higher benefit return than that of commercial fermented yeast

วิจารณ์ผลการศึกษา

จากการศึกษาการใช้ยีสต์ 2 ชนิด หมักกากมันสูตรต่าง ๆ ซึ่งแต่ละสูตรประกอบด้วย กากมันสำปะหลัง มันสำปะหลังบด และกากถั่วเหลืองในสัดส่วนที่แตกต่างกัน พบว่าทุกชุดการทดลองมีผลไปในทางเดียวกัน คือ มีปริมาณโปรตีนเพิ่มสูงขึ้นซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Suksombat and Launglawan (2010) และ Ganiyu (2006) พบว่าการหมักกากมันสำปะหลังโดยการใช้จุลินทรีย์สามารถเพิ่มโปรตีนได้ดีกว่าการหมักโดยไม่ใช่จุลินทรีย์ การหมักโดยการใช้จุลินทรีย์มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าการหมักโดยการไม่ใช้จุลินทรีย์เนื่องจากจุลินทรีย์จะเปลี่ยนแป้งที่อยู่ในกากมันสำปะหลังและมันสำปะหลังบดไปเป็นน้ำตาลเพื่อใช้ในการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ และสอดคล้องกับรายงานของ Bayitse *et al.*, (2015) ที่รายงานว่าการหมักสามารถทำให้การเพิ่มขึ้นของโปรตีนได้สูงสุด 48.1 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ยูเรียเป็นแหล่งของสารอาหารเพื่อการเจริญของเชื้อรา ในการศึกษาครั้งนี้ใช้แอมโมเนียมซัลเฟตเป็นแหล่งของไนโตรเจนและใช้ยีสต์ในการหมักพบว่ามีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของโปรตีนสูงถึง 76.18 – 93.97 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าที่ Bayitse *et al.*, (2015) รายงาน ทั้งนี้น่าจะเป็นผลเนื่องจากชนิดของจุลินทรีย์และวัสดุที่ใช้หมักต่างชนิดกัน โดยยีสต์เป็นจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตได้เร็วและมีโปรตีนสูงกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ รวมถึงเชื้อรา อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง การหมักด้วยยีสต์แต่ละชนิด ในการทดลองนี้พบว่าสูตรของกากมันสำปะหลังที่หมักด้วยยีสต์ขนมปังจะมีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของโปรตีนสูงกว่าในสูตรกากมันสำปะหลังที่หมักด้วยยีสต์หมักสำเร็จรูปทุกสูตร ซึ่งผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่ายีสต์ขนมปังสามารถใช้แป้งจากกากมันทุกสูตร ในการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนได้ดีกว่ายีสต์หมักในช่วงเวลาการหมักที่เท่ากันคือ 14 วัน และในการทดลองครั้งนี้พบว่าค่าประสิทธิภาพการย่อยได้ของกากมันหมักโดยเอนไซม์เปปซินแตกต่าง

กัน เป็นผลจากวัสดุที่ใช้หมักหรือสูตรของกากมันที่แตกต่างกัน ซึ่งประสิทธิภาพการย่อยได้จะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของกากมัน มันสำปะหลังบดและกากถั่วเหลืองที่เสริมเข้าไปในแต่ละสูตรของกากมัน โดยกากมันสูตรที่4 ที่วัสดุหมักประกอบด้วย กากมันสำปะหลัง มันสำปะหลังบด และกากถั่วเหลือง ในสัดส่วน 70: 15: 15 ที่หมักด้วยยีสต์ทั้งสองชนิดนั้นมีค่าสูงกว่าทุกสูตร คือมีค่าระหว่าง 83.2 – 83.5 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่สูตรที่ 1 ซึ่งวัสดุหมักมีเพียงกากมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียวมีค่าประสิทธิภาพการย่อยได้โดยเอนไซม์เปปซินต่ำสุดคือมีค่าระหว่าง 62.00 – 62.94 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่ากระบวนการหมักด้วยยีสต์สามารถย่อยสลายส่วนโครงสร้างที่มีความซับซ้อนของวัสดุหมักเช่นกากถั่วเหลืองทำให้โปรตีนถูกปลดปล่อยออกมาให้อยู่ในรูปขนาดโมเลกุลเล็กลงหรืออยู่ในรูปกรดอะมิโนอิสระมากขึ้น จึงทำให้ค่าการย่อยได้ของโปรตีนเพิ่มขึ้นนั่นเอง ผลการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับรายงานของ Teng *et al*., (2012) ที่ศึกษาการหมักกากถั่วเหลืองด้วยแบคทีเรีย (*Bacillus subtilis*) และ เชื้อรา (*Aspergillus oryzae*) เปรียบเทียบกับกากถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการหมัก พบว่าการย่อยได้ในหลอดทดลองด้วยเอนไซม์เปปซิน ของกากถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการหมักด้วยแบคทีเรียและเชื้อรามีค่าสูงกว่ากากถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการหมัก เท่ากับ 76.06, 67.36 และ 60.40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และการหมักกากถั่วเหลืองจะช่วยเพิ่มความสามารถในการย่อยสารอาหาร ซึ่งระหว่างการหมักส่วนประกอบที่ย่อยยากจะถูกทำให้อยู่ในรูปที่ย่อยง่าย และมีประโยชน์ต่อร่างกายมากขึ้น เนื่องจากปริมาณสารอาหารที่ละลายน้ำได้จะมีมากขึ้น (water soluble nutrients) ส่งผลให้การทำงานของเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารทำงานได้ดีขึ้น (Penalvo *et al*., 2004) และ Hidayat *et al*., (2018) ศึกษาการหมักมันสำปะหลังเปรียบเทียบกับมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านกระบวนการหมัก พบว่ามันสำปะหลังที่ผ่านการหมักจะเพิ่มปริมาณโปรตีนได้จาก 0.92 ถึง 6.98 เปอร์เซ็นต์ Sulistyo and Nakahara (2013) รายงานว่าการหมักมันสำปะหลังมีผลต่อการย่อยแป้งของเอนไซม์ ซึ่งสูตรที่1 จากการหมักด้วยยีสต์ทั้งสองชนิดมีค่าต่ำกว่าทุกสูตร ซึ่งต่ำกว่า 63 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากในตัวของกากมันสำปะหลังนั้นมีเยื่อใยชนิดที่ไม่ละลายน้ำ มีคุณสมบัติในการดูดน้ำ ทำให้เอมไซม์เปปซินย่อยไม่สมบูรณ์

สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาพบว่ากากมันหมักที่มีการปรับปรุงด้วยการเสริมมันสำปะหลังบด และกากถั่วเหลือง (สูตรที่ 2, 3 และ 4) ที่หมักด้วยยีสต์ ขนมปังหรือยีสต์หมักสำเร็จรูป มีค่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของโปรตีน ค่าประสิทธิภาพการย่อยได้โดยเอนไซม์เปปซินและ ความคุ้มทุนของปริมาณโปรตีนต่อเงิน 1 บาท ดีกว่า สูตรกากมันที่ไม่ได้ปรับปรุง (สูตรที่1) การหมักด้วยยีสต์หมักขนมปัง มีค่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของโปรตีน ค่าประสิทธิภาพการย่อยได้โดยเอนไซม์ เปปซิน และความคุ้มทุนของปริมาณโปรตีนต่อเงิน 1 บาท สูงกว่าการหมักด้วยยีสต์หมักสำเร็จรูป และสูตรกากมันปรับปรุงสูตรที่4 ที่หมักด้วยยีสต์ขนมปังมีค่าความคุ้มทุนสูงที่สุดเท่ากับ 29.22 กรัมต่อเงิน 1 บาท จากการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้ยีสต์ขนมปังเป็นทางเลือกสำหรับทดแทนยีสต์หมักกากมันสำเร็จรูปที่มีจำหน่ายทางการค้าได้ดีเทียบเท่าถึงดีกว่า และกระบวนการหมักสามารถปรับปรุงคุณภาพกากมันสำปะหลังให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำใช้เป็นวัตถุดิบทางเลือกสำหรับสัตว์น้ำได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2562 ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยภายใต้แผนงานเสริมสร้างศักยภาพและพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่ ตามทิศทางยุทธศาสตร์การวิจัยและนวัตกรรม

เอกสารอ้างอิง

AOAC. 1990. Official Method of Analysis of the Association of official Analysis Chemists. 15th Ed. Edited by Helrich. Association of official Analytical Chemists Inc. Suite 400, 2200 Wilson Boulevard, Arlington, Virginia 22201 USA.

Bayitse R., Hou X., Laryea G. and Bjerre AB. 2015. Protein enrichment of cassava residue using *Trichoderma pseudokoningii* (ATCC 26801). AMB Express a Springer Open Journal 5:80p.

Ganiyu Oboh. 2006. Nutrient enrichment of cassava peels using a mixed culture of *Saccharomyces cerevisae* and *Lactobacillus* spp solid media fermentation techniques. Electronic Journal of Biotechnology ISSN: 0717 – 3458p.

Helrich, K. (1990) Method 988.05. Official Methods of Analysis, 15th Edition, The Association of Official Analytical Chemists Inc., Arlington.

Hidayat B., Hasanudin U., Nurjanah S. and Yuliana N. 2018. Improvement of cassava bagasse flour characteristics to increase their potential use as food. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 209: 012-006.

Kasetsart University Research and Development Institute. 2013. Tapioca: Utilization of products from cassava. Available from: URL: http://www3.rdi.ku.ac.th/?p=17866 [2016, April 1]

Kampha S. 2010. Cassava residue fermentation by yeast. Publication documents. Faculty of Agricultural Technology Rajabhat Maha Sarakham University.

Khempaka, S., W. Molee, and M. Guillaume. 2009. Dried cassava pulp as an alternative feedstuff for broilers: Effect on growth performance, carcass traits, digestive organs, and nutrient digestibility. Poulty Science Association: 488 – 493p.

Penalvo, J. L., Castilho, M. C., Silveira, M. I. N., Matallana, M. C. and Torija, M. E. 2004. Fatty acid profile of traditional soymilk. Eur. Food Res. Technol. 219: 251-253p.

Saranlom P. 1985. Basic knowledge about cassava. For a degree education. Chanthaburi Teachers College. Chanthaburi. 417p. cited in Pratoomchat B. 2010. Burapha Sci. J.15. Effect of Cassava Starch Replacement as Carbohydrate Source in Shrimp Feed on Growth, Size Variation, Feed Conversion Ratio, Molting Frequency, Survival Rate and Hepatopancreatic Index of *Litopenaeus vannamei* Juvenile. 29-36p.

Suksombat W. and Launglawan P. 2010. Increasing protein content in cassava pulp and cassava peel using microorganisms. 50: 43 – 50p.

Sulistyo J. and Nakahara K. 2013. Cassava Flour Modification by Microorganism. Conference: The 1st International Symposium on Microbial Technology for Food and Energy Security, At Kasetsart University, Bangkok, Thailand.

Teng D., Gao M., Yang Y., Liu B., Tian Z. and Wang J. 2012. Bio-modification of soybean meal with *Bacillus subtilis* or *Aspergillus oryzae.* Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 1:32–38p.

ผลของสารผสมจากสารสกัดสาหร่ายน้ำจืด *Rhizoclonium hieroglyphicum* และ *Spirogyra neglecta* ต่อการลดระดับน้ำตาลและไขมันในเลือดหนูเบาหวาน

Effect of mixed freshwater algae extracts, *Rhizoclonium hieroglyphicum* and *Spirogyra neglecta*, on hyperglycemia and hyperlipidemia in diabetic rats

รัตนาภรณ์ จันทร์ทิพย์[1] นริศรา ไล้เลิศ[2] เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน[3,4] วิวัฒน์ หวังเจริญ[5] และ ดวงพร อมรเลิศพิศาล[3,4*]

Janthip R.[1], Lailerd N.[2], Mangumphan K.[3,4], Wangchareon W.[5] and Amornlerdpison D.[3,4*]

[1]สาขาสหวิทยาการเกษตร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

[1]Agricultural Interdisciplinary Program, Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

[2]ภาควิชาสรีรวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

[2]Department of Physiology, Faculty of Medicine, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand 50200

[3]คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

[3]Faculty of Fisheries Technology and Aquatic Resources, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

[4]ศูนย์ความเป็นเลิศด้านนวัตกรรมทางการเกษตรสำหรับบัณฑิตผู้ประกอบการ

[4]Center of Excellence in Agricultural Innovation for Graduate Entrepreneur, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

[5]คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

[5]Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

*Corresponding author: doungpornfishtech@gmail.com

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์หลักในการศึกษาครั้งนี้คือ การประเมินฤทธิ์ชีวภาพสารสกัดผสมของสาหร่ายไก (*Rhizoclonium hieroglyphicum*) และสาหร่ายเตา (*Spirogyra neglecta*) เพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพการออกฤทธิ์ของสารสกัดผสม (RSE) และช่วยลดต้นทุนของวัตถุดิบ โดยนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในหลอดทดลอง และทดสอบประสิทธิภาพของ RSE ในการลดระดับน้ำตาล ไตรกลีเซอไรด์ และคลอเลสเตอรอลในเลือดของหนูขาวเพศผู้ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดภาวะเบาหวานด้วยสเตรปโทโซโทซิน ผลการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม พบว่า RSE 1 กรัมมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม 42.31 มิลลิกรัมสมมูลของแกลลิก (mgGAE/ g extract) และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเอบีทีเอส เท่ากับ 1115.28 มิลลิโมลาร์สมมูลของโทรลอกซ์ (mM TEAC/ g extract) ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอช และอนุมูลอิสระซุปเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ 33.17 และ 139.44 mgGAE/ g extract ตามลำดับ ผลการทดสอบในกลุ่มหนูขาวที่มีภาวะเบาหวานและได้รับการป้อน RSE ขนาด 500 มก./กก. เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าระดับน้ำตาลและคอเลสเตอรอลรวมในเลือดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (36.82% และ 29.38% ตามลำดับ) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มหนูขาวควบคุมที่มีภาวะเบาหวาน ผลจากการศึกษาเป็นแนวทางในการพัฒนาสารสกัดสาหร่ายน้ำจืดเป็นผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพ เพื่อช่วยบรรเทาภาวะระดับน้ำตาลและไขมันในเลือดสูงในผู้ที่มีภาวะการเป็นโรคเบาหวานได้

คำสำคัญ: สาหร่ายไก สาหร่ายเตา ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ลดน้ำตาลในเลือด ฤทธิ์ลดไขมันในเลือด

Abstract

The main purpose of this study was to evaluate the bioactivity of the mixed algae extracts (RSE) which consisted of alga extracts of *Rhizoclonium hieroglyphicum* and *Spirogyra neglecta* in order to increase biological efficiency of RSE and reduce the cost of alga materials. The RSE was determined the total phenolic content and *in vitro* antioxidant activities. The effects of RSE on lowering blood glucose, triglycerides and cholesterol were studied in streptozotocin-induced diabetic rats. The results showed that the total phenolic content of RSE contained 42.31 mg GAE/ g extract and also presented the antioxidant activities were 1115.28 mM TEAC/ g extract, 33.17 and 139.44 mg GAE/ g extract in ABTS, DPPH and Superoxide radical scavenging assays, respectively. In animal study, the RSE at the concentration of 500 mg/kg was fed to the streptozotocin-induced diabetic rats for 8 weeks and showed the significant decrease of blood glucose and total cholesterol levels (36.82% and 29.38%, respectively) when compared with control group of diabetic rats. From the result of this study is a guideline for the development of freshwater algae extract as a supplement for hyperglycemia and hyperlipidemia in diabetic people.

Keywords: *R. hieroglyphicum*, *S. neglecta*, antioxidant, anti-hyperglycemia, anti-hyperlipidemia

บทนำ

โรคเบาหวานชนิดที่ 2 เป็นโรคที่เกิดจากตับอ่อนผลิตออร์โมนอินซูลินได้ลดลงหรือผลิตได้แต่มีประสิทธิภาพการลดน้ำตาลในเลือดลดลง ส่งผลให้มีระดับน้ำตาลในเลือดสูง และมีอาการกระหายน้ำบ่อย ปัสสาวะบ่อย อ่อนเพลีย และเหนื่อยง่าย จากสถิติผู้ป่วยด้วยโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (Non-Communicable Diseases, NCDs) พบว่าโรคเบาหวานเป็นโรคอันดับต้นๆ ที่คนไทยเป็นกันมากที่สุด โดยเฉพาะโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ซึ่งพบว่าเป็นชนิดที่คนไทยเป็นกันมากกว่า 90% (Aekplakorn *et al.*, 2018) สาเหตุของการเกิดโรคเบาหวานชนิดที่ 2 มักมาจากพฤติกรรมการบริโภคอาหารที่มีแคลอรี่สูง เกิดภาวะอ้วน และขาดการออกกำลังกาย ซึ่งในการรักษาโรคเบาหวานชนิดที่ 2 โดยยาลดระดับน้ำตาลชนิดรับประทานจำแนกตามกลไกการออกฤทธิ์มี 4 กลุ่ม ได้แก่ 1) ยาที่กระตุ้นการหลั่งอินซูลินจากเบต้าเซลล์ของตับอ่อน 2) ยาที่ลดภาวะดื้อต่ออินซูลิน 3) ยาที่ออกฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ alpha-glucosidase ที่ผนังลำไส้ ทำให้การดูดซึมกลูโคสจากทางเดินอาหารเกิดขึ้นช้าลง 4) ยาที่ยับยั้งเอนไซม์ที่ใช้ในการทำลายฮอร์โมนที่หลั่งจากลำไส้ ผู้ป่วยเบาหวานของไทยส่วนใหญ่ใช้ยาเมทฟอร์มิน (metformin) ซึ่งอยู่ในกลุ่มยาที่ลดภาวะดื้อต่ออินซูลิน ในการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วย (Aroda *et al.*, 2015) โดยมีกลไกกระตุ้นความไวต่ออินซูลินในร่างกาย ทำให้มีการนำกลูโคสกลับเข้าไปในเซลล์และนำกลูโคสไปใช้เพิ่มขึ้น ลดการดูดซึมกลูโคสภายในลำไส้ และลดภาวะไขมันในเลือดหรือภาวะน้ำหนักตัวเกิน (Schofield *et al.*, 2016)ได้อีกด้วย

สาหร่ายไก [*Rhizoclonium hieroglyphicum* (C. Agardh) Kützing] และสาหร่ายเตา [*Spirogyra neglecta* (Hassall) Kützing] ถูกนำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ สาหร่ายไกเป็นสาหร่ายน้ำจืดที่มีการนำมาแปรรูปเป็นอาหารหลายรูปแบบ เช่น ไกทอด ไกยี ห่อนึ่งไก มีการเก็บเกี่ยวสาหร่ายไกจากแหล่งน้ำธรรมชาติ และนำมาทำให้แห้งเพื่อจำหน่ายราคา 500-600 บาทขึ้นกับฤดูกาล โดยเฉพาะกลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านหนองบัวที่มีการนำเอาสาหร่ายไกมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจนกลายเป็นสินค้าเด่นของชุมชน นอกจากนี้ยังมีรายงานการวิจัยถึงฤทธิ์ทางชีวภาพของสาหร่ายไก เช่น ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ป้องกันการอักเสบ และการเกิดแผลในกระเพาะอาหาร (Amornlerdpison *et al*., 2011) สารสกัดน้ำของสาหร่ายไกขนาด 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมช่วยลดน้ำตาลและไตรกลีเซอไรด์ในสัตว์ทดลองที่มีภาวะเบาหวานได้ (Srimaroeng *et al*., 2015) นอกจากนี้เมื่อทดสอบในมนุษย์ที่ได้รับสารสกัดสาหร่ายไกขนาด 1,000 มิลลิกรัมต่อวัน พบว่า ไม่เป็นอันตรายและไม่มีผลต่ออัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (Sawangpak *et al*., 2016) ส่วนสาหร่ายเตา เป็นสาหร่ายน้ำจืดอีกชนิดหนึ่งที่มีคุณค่าทางโภชนาการ นิยมนำมาทำเป็นอาการพื้นบ้านและแปรรูปเป็นอาหาร สาหร่ายเตาต้องเพาะเลี้ยงในบ่อดินและมีการควบคุมคุณภาพน้ำเพื่อการเจริญเติบโต และเมื่อนำมาทำให้แห้งจะได้ผลผลิตสาหร่ายแห้งเหลือเพียงร้อยละ 10 ทำให้สาหร่ายเตามีราคาสูงถึง 3,000-3,500 บาทต่อกิโลกรัมแห้ง มีรายงานการวิจัยของสาหร่ายเตา พบว่ามีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา และมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ(Peerapornpisal *et al*., 2012) โดยมีสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารออกฤทธิ์ที่สำคัญ (Janthip *et al*., 2013) มีคุณสมบัติช่วยเพิ่มความไวในการตอบสนองต่ออินซูลิน และลดการเกิดภาวะเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) สาหร่ายเตาขนาด 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ช่วยเพิ่มระดับเอนไซม์ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและลดระดับน้ำตาลในสัตว์ทดลองได้ (Ontawong *et al*., 2013;) และยังมีฤทธิ์ควบคุมภาวะความดันโลหิตสูงในหนูขาวได้ด้วย (Kamkaew *et al*., 2016)

จากการวิจัยก่อนหน้านี้ได้ศึกษาปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกและคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระของสาหร่ายไกและสาหร่ายเตาแต่ละชนิดพบว่า สารสกัดด้วยน้ำของสาหร่ายทั้ง 2 ชนิดมีสารประกอบฟีนอลิกชนิดไอโซเควอซิทินเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ และสามารถขจัดอนุมูลอิสระได้ (Janthip *et al*., 2017) จากรายงานการวิจัยดังกล่าว ทีมวิจัยมีแนวคิดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่เพื่อนำมาใช้ในการป้องกันโรค NCDs โดยเฉพาะโรคเบาหวาน โดยการพัฒนาสูตรสารสกัดใหม่ที่มีการผสมสารสกัดสาหร่ายทั้ง 2 ชนิดอาศัยคุณสมบัติการก่อเจลที่ดีจากสาหร่ายไกและฤทธิ์ทางชีวภาพในการลดระดับน้ำตาลจากสาหร่ายเตาและสาหร่ายไก เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการออกฤทธิ์ของสารสกัดที่ดีขึ้นกว่าการใช้สาหร่ายเพียงชนิดเดียว และมีต้นทุนของวัตถุดิบเหมาะสม จากนั้นศึกษาสารสำคัญและฤทธิ์ทางชีวภาพทั้งในหลอดทดลองและสัตว์ทดลองที่ช่วยสนับสนุนการใช้ประโยชน์ในการเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารสำหรับป้องกันภาวะเบาหวานต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

1.การเตรียมสารสกัดสาหร่ายไกและสาหร่ายเตาด้วยน้ำ

นำสาหร่ายไกมาจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านหนองบัว ที่เก็บจากแม่น้ำน่าน ตำบลท่าวังผา จังหวัดน่าน ในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงมีนาคม ปี 2560 ส่วนสาหร่ายเตา นำมาจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผู้เพาะเลี้ยงสาหร่ายเตา บ้านนาคูหา อำเภอเมือง จังหวัดแพร่ ที่เก็บในช่วงเดือนมิถุนายนถึงตุลาคม ปี 2559 นำสาหร่ายแห้ง (Figure 1) แต่ละชนิดมาสกัดด้วยน้ำ ในอัตราส่วนสาหร่ายแห้ง 100 กรัม ต้มในน้ำกลั่นปริมาตร 2 ลิตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นกรองแยกกากสาหร่ายออก นำส่วนสารละลายไประเหยเอานำออกด้วยเครื่องกลั่นระเหยแบบหมุนสุญญากาศ จนได้สารละลายเข้มข้น จากนั้นนำไปทำให้แห้งด้วยเครื่องระเหิดแห้งแบบแช่แข็ง (freeze dryer) จนได้สารสกัดน้ำสาหร่าย โดยการสกัดสาหร่ายไกและเตาทำวิธีสกัดเดียวกัน นำสารสกัดสาหร่ายไกและสาหร่ายเตามาผสมกันในอัตราส่วน 1:1 (สารสกัดสาหร่ายไก 100 กรัมผสมกับสารสกัดสาหร่ายเตา 100 กรัม) ผสมสารสกัดให้เข้ากันก่อนนำไปทดสอบต่อไป

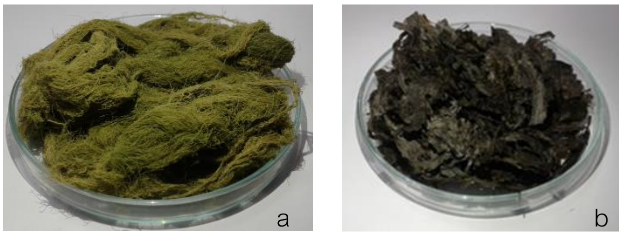


Figure 1 Dried *R. hieroglyphicum* (a) and *S. neglecta* (b)

2.การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม

การวิเคราะห์ปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกรวม ตามวิธีการของ Sachindra และคณะ (2010) ซึ่งดัดแปลงจาก Folin-Ciocalteu method โดยการผสมสารสกัดสาหร่ายที่ความเข้มข้น 1-5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (มก./มล.) ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร (มล.)กับ 10% Folin-Ciocalteu solution 1 มล. และ 7.5% sodium carbonate solution 0.8 มล. ทิ้งไว้นาน 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง วัดค่าดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร คำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยเทียบกับสารมาตรฐานกรดแกลลิก (gallic acid) ในหน่วยมิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดตัวอย่าง หรือสมมูลของกรดแกลลิก (mg GAE/g extract)

3.การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

3.1 ฤทธิ์ขจัดอนุมูลอิสระเอบีทีเอส

ฤทธิ์ขจัดอนุมูลอิสระเอบีทีเอส ($ABTS^{\bullet+}$ radical scavenging activity) ใช้วิธีทดสอบตามวิธีการของ Re *et al*. (1999) มีขั้นตอนดังนี้ เตรียมน้ำยา 2, 2'-azino-bis 3-ethylbenzthiazoline -6-sulfonic acid (ABTS) โดยการผสม 7 ไมโครโมลาร์ของ ABTS 5 มล.กับ 140 ไมโครโมลาร์ของโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ($K_2S_2O_8$) 88 ไมโครลิตร เก็บในที่มืด 16 ชั่วโมง นำมาเจือจางด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน (deionized water) ในการทดสอบฤทธิ์ขจัดอนุมูล $ABTS^{\bullet+}$ หยดน้ำยา 1.8 มล. ลงในหลอดที่มีสารทดสอบหรือน้ำที่ปราศจากไอออน ผสม

ให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 6 นาที วัดค่าดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตร คำนวณฤทธิ์ขจัดอนุมูล $ABTS^{\bullet+}$ เป็นร้อยละจาก สมการดังนี้

ฤทธิ์ขจัดอนุมูล $ABTS^{\bullet+}$ (%) = [1- (A734 sample / A734 control] x 100

เมื่อ A734 sample และ A734 control เป็นค่าดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตร ของสารทดสอบและน้ำที่ปราศจากไอออน ตามลำดับ เปรียบเทียบความเข้มข้นของสารทดสอบกับความเข้มข้นของโทรลอกซ์ ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของวิตามินอี ที่แสดงฤทธิ์เท่ากัน (Trolox equivalent antioxidant capacity, TEAC) หรือสมมูลของโทรลอกซ์

3.2 ฤทธิ์ขจัดอนุมูลอิสระดีพีพีเอช

ฤทธิ์ขจัดอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH radical scavenging assay) ตามวิธีของ Zhang *et al*. (2007) โดยผสมสารสกัดสาหร่าย 0.4 มล. กับสารละลายอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (diphenyl-picryhydrazyl radical, $DPPH^{\bullet}$) 1.6 มล. ตั้งทิ้งไว้ที่มืดเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร คำนวณการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH สูตรคำนวณได้จากการนำค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลงจากการเติมตัวอย่างเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงตั้งต้น ดังนี้

DPPH radical scavenging (%) = ((Ao – As) /Ao) x100

โดย Ao และ As คือ ค่าการดูดกลืนแสงเริ่มต้น และค่าการดูดกลืนแสงภายหลังจากเติมสารตัวอย่าง

สารมาตรฐานที่ใช้ในการเทียบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอช คือ กรดแกลลิก มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดตัวอย่าง (mg GAE/g extract)

3.3การศึกษาฤทธิ์ขจัดอนุมูลอิสระซุเปอร์ออกไซด์

ฤทธิ์การขจัดอนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์ ตามวิธีการของ Nishikimi *et al*. (1972) โดยนำ 156 ไมโครโมลาร์ของสารละลาย nitroblue tetrazolium (NBT) ปริมาตร 1 มล. และ 468 ไมโครโมลาร์ของสารละลาย nicotinamide adeninedinucleotide (NADH) ปริมาตร 1 มล. ผสมกับสารสกัดสาหร่ายปริมาตร 0.1 มล. แล้วเติม 60 ไมโครโมลาร์ของสารละลาย phenazine methosulphate (PMS) ปริมาตร 0.1 มล. ผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 5 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร โดยใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน

4.การเตรียมสัตว์ทดลอง

การทดลองได้รับการอนุมัติการใช้สัตว์จากคณะกรรมการกำกับดูแลการเลี้ยงสัตว์และการใช้สัตว์ทดลอง คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ หมายเลขโครงการ 30/2561 โดยใช้หนูขาวเพศผู้ สายพันธุ์ Wistar สั่งซื้อจากศูนย์สัตว์ทดลองแห่งชาติ มหาวิทยาลัยมหิดล นำมาปรับตัวในห้องสัตว์ทดลองที่มีการควบคุมอุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน มีการให้อาหารและน้ำตลอดเวลา แบ่งหนูขาวน้ำหนักในช่วง 180-220 กรัม ออกเป็น 4 กลุ่มๆ ละ 6 ตัว ดังนี้

กลุ่มที่ 1: กลุ่มหนูได้รับอาหารปกติควบคุมและป้อนน้ำกลั่น (normal dietary control; NDC)

กลุ่มที่ 2: กลุ่มหนูน้ำตาลในเลือดสูงควบคุมและป้อนน้ำกลั่น (diabetes mellitus control rat; DMC)

กลุ่มที่ 3: กลุ่มหนูน้ำตาลในเลือดสูงและป้อนสารสกัดสูตรสาหร่ายผสม (RSE) ขนาด 500 มก./กก. (diabetes mellitus extract rat; DME)

กลุ่มที่ 4: กลุ่มหนูน้ำตาลในเลือดสูงและป้อนยาลดภาวะเบาหวาน (metformin) ขนาด 50 มก./กก. (diabetes mellitus metformin rat; DMM)

โดยกลุ่มที่ 2-4 จะถูกเหนี่ยวนำให้เกิดภาวะน้ำตาลในเลือดสูง (hyperglycemia) ด้วยการฉีด streptozotocin เข้าทางช่องท้อง ในขนาด 40 มก./กก. (Srinivasan *et al.*, 2005) หลังจากนั้น 10 วัน วัดระดับน้ำตาลในเลือดหนู หากมีค่าสูงกว่า 200 มก./ดล. (mg/dl) แสดงถึงการมีภาวะเบาหวาน เมื่อเริ่มป้อนสารทดสอบกลุ่มที่ได้รับการป้อน RSE และเมทฟอร์มิน จะถูกนำมาละลายด้วยน้ำกลั่นก่อนป้อน โดยจะป้อนในสารเวลา 8.00 น.ของทุกวัน ตลอด 8 สัปดาห์ สัตว์ทดลองทุกกลุ่มจะได้รับอาหารและน้ำอย่างเพียงพอ ทำการบันทึกน้ำหนัก และมีการเก็บตัวอย่างเลือดที่บริเวณปลายหางหนูปริมาตร 0.5 มล. เพื่อวิเคราะห์ค่าชีวเคมีในพลาสมาต่อไป

5.การตรวจวัดค่าชีวเคมีในพลาสมา

การตรวจวัดค่าชีวเคมีในพลาสมา ได้แก่ ระดับน้ำตาลกลูโคส ไตรกลีเซอไรด์ และคอเลสเตอรอล โดยน้ำยาทดสอบสำเร็จรูป (Biotech, Bangkok, Thailand)

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์

ข้อมูลการวิจัยฤทธิ์ขจัดอนุมูลอิสระจะถูกแสดงในรูปค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean±S.D.) ข้อมูลการวิจัยในสัตว์ทดลองจะถูกแสดงในรูปค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean±S.E.) การวิเคราะห์ความแตกต่างของกลุ่มทดลอง ใช้ One-Way ANOVA ตามด้วย Post Hoc Test ของ Duncan

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

สารสกัดน้ำและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม

จากการสกัดสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด ด้วยน้ำ พบปริมาณสารสกัดสาหร่ายไกและสาหร่ายเตา คิดเป็นเปอร์เซ็นต์สารสกัดที่ได้ (%yield) เท่ากับ 44.36% และ 36.20% ของน้ำหนักสาหร่ายแห้ง ตามลำดับ สารสกัดสาหร่ายไกมีลักษณะเป็นผงแห้งสีน้ำตาลเข้ม ส่วนสารสกัดสาหร่ายเตาเป็นผงแห้งสีเขียวเข้ม เมื่อนำสารสกัดทั้งสองชนิดมาพัฒนาสูตรใหม่ในอัตราส่วน 1:1 เรียกว่า RSE แล้วนำไปวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม พบว่า RSE มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก 42.31±0.30 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อสารสกัด 1 กรัม (mg GAE/ g extract) เมื่อเปรียบเทียบปริมารสารประกอบฟีนอลิกที่พบในสาหร่ายเตา 107.02 mg GAE/ g extract และสาหร่ายไกมีค่า 8.58 mg GAE/ g extract (Janthip *et al.*, 2017) แสดงให้เห็นว่า RSE ที่มาจากการผสมสารสกัดสาหร่าย 2 ชนิด ทำให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับสาหร่ายไกเพียง

ชนิดเดียว และในการศึกษาครั้งนี้ RSE ยังแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเอบีทีเอส ดีพีพีเอชและซุปเปอร์ออกไซด์ได้อีกด้วย (Table 1)

การศึกษาฤทธิ์ขจัดอนุมูลอิสระของสารสกัดสาหร่ายน้ำจืด

การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดสาหร่ายน้ำจืด โดยใช้วิธีทดสอบการขจัดอนุมูลอิสระ 3 ชนิด คือ อนุมูลเอบีทีเอส ดีพีพีเอช และอนุมูลอิสระซุปเปอร์ออกไซด์ แสดงใน Table 1 พบว่า RSE ปริมาณ 1 กรัมมีฤทธิ์ขจัดอนุมูลอิสระเอบีทีเอส 1,115.28 mM TEAC/ g extract ซึ่งสูงกว่าฤทธิ์ขจัดอนุมูลอิสระของสารสกัดสาหร่ายเตา 3 เท่า และสาหร่ายไกประมาณ 223 เท่า ตามรายงานการวิจัยของ Janthip *et al*. (2017) ที่รายงานไว้ก่อนหน้านี้ โดยสาหร่ายเตาและสาหร่ายไกแต่ละชนิดสามารถขจัดอนุมูลอิสระเอบีทีเอสได้ 379.01 และ 4.95 mM TEAC/ g extract ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า RSE มีฤทธิ์ขจัดอนุมูลอิสระดีพีพีเอช และฤทธิ์ขจัดอนุมูลอิสระซุปเปอร์ออกไซด์ 33.17 และ 139.44 mg GAE/ g extract ตามลำดับ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับรายงานวิจัยของ Janthip *et al*. (2013) ที่พบว่าสารสกัดน้ำของสาหร่ายเตาสามารถขจัดอนุมูลอิสระดีพีพีเอช 3,446 mg GAE/ g extract ทำให้เห็นว่า RSE มีฤทธิ์ขจัดอนุมูลดีพีพีเอชได้น้อยกว่าสารสกัดสาหร่ายเตาเพียงชนิดเดียวอยู่มาก

ผลจากการทดลองดังกล่าวพอสรุปได้ว่า RSE สูตรสารสกัดนี้ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระทั้ง 3 ชนิด สูงกว่าสารสกัดน้ำสาหร่ายไก แต่ต่ำกว่าสารสกัดน้ำสาหร่ายเตา อย่างไรก็ตามหากพิจารณาต้นทุนของสาหร่าย พบว่า สาหร่ายเตา (3,500 บาทต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง) มีราคาสูงกว่าสาหร่ายไก (600 บาทต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง) ถึง 6 เท่า ดังนั้นสูตร RSE จะสามารถลดต้นทุนของวัตถุดิบได้สูงถึง 50% (ต้นทุนลดลง 2,050 บาทต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง) จึงน่าจะเป็นทางเลือกในการนำไปพัฒนาต่อในเชิงพาณิชย์ได้ นอกจากมีฤทธิ์ขจัดอนุมูลเอบีทีเอสและดีพีพีเอชแล้ว ยังสามารถขจัดอนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระที่พบได้ในร่างกายที่เป็นสาเหตุของการเกิดภาวะ oxidative stress เข้าไปทำลายเซลล์ในร่างกายจนนำไปสู่การเกิดโรคได้ (Rahman *et al*., 2012) จึงเป็นไปได้ว่าสูตร RSE จะช่วยลดระดับอนุมูลอิสระในร่างกายได้ด้วยเช่นกัน

Table1 The antioxidant activities of RSE (*S. neglecta* and *R. hieroglyphicum*)

Assays for antioxidant activity	Values
ABTS radical scavenging activity (mM TEAC/ g extract)	1,115.28 ± 23.11
DPPH radical scavenging activity (mg GAE/ g extract)	33.17 ± 0.62
Superoxide anion radical scavenging activity (mg GAE/ g extract)	139.44 ± 3.39

Data are expressed as Mean ± S.D. (n=3)

ผลวิเคราะห์ค่าชีวเคมีในพลาสมา

การทดสอบประสิทธิภาพของ RSE ในหนูขาวที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดภาวะเบาหวาน โดยทำให้มีระดับน้ำตาลในเลือดก่อนการทดสอบมากกว่า 200 mg/dl หรือมีภาวะ hyperglycemia ด้วย streptozotocin ซึ่งจะเข้าไปทำลายเบต้าเซลล์ในตับอ่อนซึ่งทำหน้าที่สังเคราะห์และผลิตฮอร์โมนอินซูลิน จึงทำให้เกิดภาวะเบาหวาน

ขึ้น ผลการทดสอบพบว่า กลุ่มหนูปกติ (NDC) และกลุ่มหนูที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดภาวะเบาหวานกลุ่มควบคุม (DMC) กลุ่มที่ได้รับการป้อนสารสกัด RSE (DME) และกลุ่มที่ได้รับการป้อนยาเมทฟอร์มิน (DMM) มีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักตัวไม่ต่างกันทางสถิติ (p>0.05) เนื่องจากในการทดลองเป็นการเหนี่ยวนำให้เกิดภาวะน้ำตาลในเลือดสูงเพียงอย่างเดียว แต่ไม่เหนี่ยวนำให้เกิดภาวะอ้วน ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักจึงไม่แตกต่างกันมาก ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับระดับไตรกลีเซอไรด์ (Table 2) ผลการป้อนสารสกัด RSE และยาเมทฟอร์มินในกลุ่มหนูเบาหวาน ติดต่อกันเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า หนูเบาหวานกลุ่ม DME มีระดับน้ำตาลในเลือดลดลง 36.82% และคอเลสเตอรอลรวมในเลือดลดลง 29.38% เมื่อเทียบกับหนูเบาหวาน DMC เช่นเดียวกับกลุ่มหนูที่ได้รับยาเมทฟอร์มิน (DMM) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยกลไกการออกฤทธิ์ของ RSE ในการลดน้ำตาลในเลือดน่าจะเกี่ยวข้องกับฮอร์โมนอินซูลิน เพราะมีรายงานการวิจัยพบว่า สารสกัดน้ำสาหร่ายเตาขนาด 1,000 มก./กก. มีผลต่อการเพิ่มความไวในการตอบสนองฮอร์โมนอินซูลิน และช่วยเพิ่มระดับเอนไซม์ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Ontawong *et al.*, 2013) ในขณะที่สารสกัดสาหร่ายไกด้วยน้ำขนาด 1,000 มก./กก.สามารถลดระดับน้ำตาลและไตรกลีเซอไรด์ได้ด้วยเช่นกัน (Srimaroeng *et al.*, 2015) แสดงให้เห็นว่าสาร RSE ขนาด 500 มก./กก. สามารถลดระดับน้ำตาลได้เช่นเดียวกับสาหร่ายเตาและสาหร่ายไก นอกจากนี้ทั้งสาหร่ายไกและสาหร่ายเตามีสารต้านอนุมูลอิสระ โดยเฉพาะสารฟีนอลิก ชนิดไอโซเควอซิทินที่พบในสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด (Janthip *et al.*, 2017) จะช่วยลดการเกิดภาวะเครียดออกซิเดชัน และส่งผลทำให้ลดระดับน้ำตาล ไตรกลีเซอไรด์ และคอเลสเตอรอลในผู้ที่มีภาวะเบาหวานได้

Table 2 Effect of RSE on body weight, glucose, triglyceride and cholesterol levels in diabetic rats at 8th week

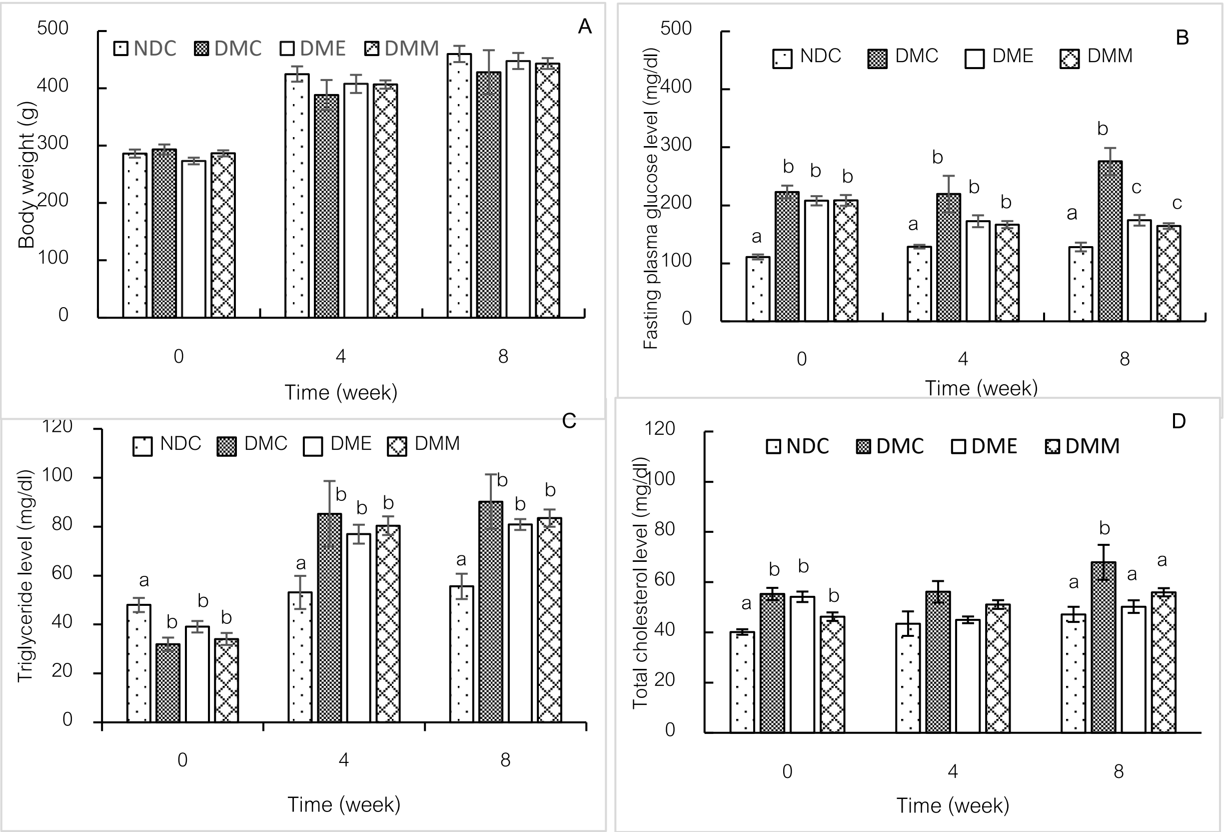
Group	NDC	DMC	DME	DMM
Body weight (g)	460.00 ± 14.14	428.33 ± 38.25	447.78 ± 14.02	443.33 ± 9.43
Plasma glucose level (mg/dl)	128.14 ± 7.50^{a}	275.72 ± 23.21^{b}	174.19 ± 9.16^{c}	164.30 ± 4.78^{c}
Triglyceride level (mg/dl)	55.59 ± 5.18^{a}	90.23 ± 11.15^{b}	80.88 ± 2.22^{b}	83.50 ± 3.53^{b}
Total cholesterol level (mg/dl)	47.18 ± 3.01^{a}	67.90 ± 6.96^{b}	47.95 ± 2.52^{a}	55.98 ± 1.63^{a}

Data are expressed as Mean ± S.E. (n=6)

a, b, c Means with different superscript in same row are significantly different (p < 0.05)

จาก Figure 2 แสดงน้ำหนักตัวและค่าชีวเคมีในเลือดของหนูกลุ่มปกติและกลุ่มเบาหวานทุกกลุ่ม ในสัปดาห์ที่ 0, 4 และ 8 พบว่า มีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักตัวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (A) ส่วนค่าระดับน้ำตาลในเลือดของกลุ่มหนูเบาหวานควบคุมมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นกว่าเดิมทุก 4 สัปดาห์ ในขณะที่กลุ่มที่ได้รับ

การป้อนสารสกัด RSE (DME)) เริ่มมีแนวโน้มของระดับน้ำตาลที่ลดลงในสัปดาห์ที่ 4 (ลดลง 21.38%) และลดลงอย่างชัดเจนในสัปดาห์ที่ 8 (ลดลง 36.82%) อย่างมีความแตกต่างกันทางสถิติ (B) ซึ่งให้ผลการทดสอบเช่นเดียวกับกลุ่มที่ได้รับยาเมทฟอร์มิน (DMM) ส่วนค่าไตรกลีเซอไรด์ของหนูเบาหวานทุกกลุ่ม พบว่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญจากกลุ่มหนูปกติ อาจเนื่องมาจากการเกิดภาวะเบาหวานทำให้ระดับของไตรกลีเซอไรด์เพิ่มขึ้น แม้ในกลุ่มที่ได้รับยาเมทฟอร์มิน ในขณะที่ระดับคอเลสเตอรอลในหนูเบาหวานลดลงอย่างต่อเนื่องตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4 และ 8 ซึ่งสอดคล้องกับรายงานก่อนหน้านี้ที่พบว่า สารสกัดน้ำของสาหร่ายไกและสาหร่ายเตาที่ขนาด 1,000 มก./กก. มีคุณสมบัติลดน้ำตาลในเลือด ช่วยเพิ่มความไวในการตอบสนองต่ออินซูลิน และลดการเกิดภาวะเครียดออกซิเดชัน (Ontawong *et al*., 2013; Srimaroeng *et al*., 2015) และสารสกัดสาหร่ายเตายังมีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ HMG-CoA reductase ทำให้การสังเคราะห์คอเลสเตอรอลในตับลดลง และลดการดูดซึมคอเลสเตอรอลในลำไส้อีกด้วย (Doungjai *et al*., 2016) โดยกลไกการออกฤทธิ์ลดน้ำตาลในเลือดเหมือนกับยาเมทฟอร์มินที่ใช้ในการรักษาโรคเบาหวาน ดังนั้นจึงพบว่าในกลุ่มที่ได้รับ RSE จึงลดระดับคอเลสเตอรอลในหนูเบาหวานลงได้



Data are expressed as Mean ± S.E. (n=6)

a, b, c Means with different superscript in same row are significantly different ($p < 0.05$)

NDC= normal dietary control, DMC= diabetes mellitus control, DME= diabetes mellitus extract 500 mg/kg, DMM= diabetes mellitus metformin 50 mg/kg

Figure 2 Effect of RSE on body weight and blood chemistry in diabetic rats during 8 weeks

สรุปผลการทดลอง

สารสกัดสาหร่ายไกและสาหร่ายเตาถูกนำมาพัฒนาสูตรใหม่เรียกว่า RSE พบว่า มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเป็นองค์ประกอบสำคัญ มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเอบีทีเอส ดีพีพีเอช และอนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์ เมื่อนำ RSE ไปทดสอบในหนูเบาหวาน สามารถแสดงฤทธิ์ลดระดับน้ำตาล (anti-hyperglycemia) และฤทธิ์ลดระดับคอเลสเตอรอล (anti-hypercholesterolemia) ในเลือดสูงในหนูที่มีภาวะเบาหวานชนิดที่ 2 ได้ ถึงแม้ว่าการนำสารสกัดสาหร่ายทั้ง 2 ชนิดมาพัฒนาสูตรใหม่เป็น RSE จะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่น้อยกว่าสาหร่ายเตาชนิดเดียว แต่สูตร RSE สามารถลดต้นทุนวัตถุดิบและแสดงฤทธิ์ชีวภาพได้ดี นอกจากนี้สาหร่ายไกยังแสดงคุณสมบัติในการก่อเจลให้กับผลิตภัณฑ์อีกด้วย โดยสูตรดังกล่าวมีความเป็นไปได้ในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารเชิงพาณิชย์ เพื่อป้องกันภาวะเบาหวานซึ่งเป็นหนึ่งในโรคไม่ติดต่อเรื้อรังที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องต่อประชากรในประเทศไทย

กิตติกรรมประกาศ

ทีมผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สำหรับทุนสนับสนุนการวิจัยระดับปริญญาเอกภายใต้โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) รหัสโครงการ PHD59I0010 ร่วมกับบริษัทอำพลฟูดส์ โพรเซสซิ่ง จำกัด และขอขอบคุณภาควิชาสรีรวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้สำหรับการสนับสนุนด้านสถานที่และอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Aekplakorn, W., Chariyalertsak, S., Kessomboon, P., Assanangkornchai, S., Taneepanickskul, S. and Putwatana, P. 2018. Prevalence of Diabetes and Relationship with Socioeconomic Status in the Thai Population: National Health Examination Survey. 2004-2014. 1-9. (in Thai)

Amornlerdpison, D., Mengumphan, K., Thumvijit, S. and Peerapornpisal, Y. 2011. Antioxidant and anti-inflammatory activities of freshwater macroalga, *Cladophora glomerata* Kutzing. Thai Journal of Agricultural Science. 44(5): 283-290. [in Thai]

Amornlerdpison, D., Ngernjan, M., Mengumphan, K. Janthip, R. and Srimaroeng, C. 2015. Active Compounds and Oxidative Defense of *Cladophora* spp. in Hybrid Catfish. KMUTT Research and Development Journal. 38(4): 393-405. [in Thai]

Aroda V.R, Christophi C.A, Edelstein S.L, Zhang P, Herman W.H, Barrett-Connor E, Delahanty L.M., Montez M.G., Ackermann R.T., Zhuo X., Knowler W.C. and Ratner R.E. 2015. The effect of lifestyle intervention and metformin on preventing or delaying diabetes among women with and without gestational diabetes: the Diabetes Prevention Program outcomes study 10-year follow-up. Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism. 100:1646–1653.

Doungjal, A., Limpeanchobb, N., Trisatb, K. and Amornlerdpison, D. 2016. *Spirogyra neglecta* inhibits the absorption and synthesis of cholesterol in vitro. Integrative Medicine Research. 5(4):301-308.

Janthip, R., Amornlerdpison, D. and Chimsook, T. 2013. Phytochemical Screening, Antioxidant Activity and Total Phenolic Content of *Spirogyra* spp. Advance Material Research. 699: 693-697.

Janthip, R., Lailerd, N., Wangchareon, W., Mangumphan, K. and Amornlerdpison, D. 2017. Chemical Compound and Biological Properties of Freshwater Macroalgae Extracts from *Spirogyra neglecta* and *Rhizoclonium hieroglyphicum*. In 2nd National Graduate Research Conference and Creative Innovation Competition. 189-195. Maejo University. Chiang Mai, Thailand.

Kamkaew, N., Amornlerdpison, D., Chootip, K. and Doungjai, A. 2016. Acute effect of *Spirogyra neglecta* extract on arterial blood pressure in rats. The 12th National Naresuan Conference: Research and Innovation to Develop the Country.21-22 July 2016. Naresuan University. Phitsanulok, Thailand. [in Thai]

Nishikimi, M., Rao, N.A. and Yagi, K. 1972. The Occurrence of Superoxide Anion in the Reaction of Reduced Phenazine Methosulfate and Molecular Oxygen. Biochemical and Biophysical Research Communications. 46: 849-854.

Ontawong, A., Saowakon, N. Vivithanaporn, P., Pongchaidecha, A., Lailerd, N. Amornlerdpison, D. Lungkaphin, A. and Srimaroeng, C. 2013. Antioxidant and Renoprotective Effects of *Spirogyra neglecta* (Hassall) Kutzing Extract in Experimental Type 2 Diabetic Rats. BioMed Research International. 1-15.

Peerapornpisal, Y. Panyoyai, T. and Amornlerdpison, D. 2012. Antioxidant and anti-inflammatory activities of *Spirogyra neglecta* (Hassall) Kützing" KKU Science Journal. 40(1); 228-235.

Rahman, T., Hosen, I., Islam, M. and Shekhar H. 2012. Oxidative stress and human health. Advances in Bioscience and Biotechnology. 3: 997-1019.

Rattanapot, T. Mengumphan, K. Srimaroeng, C. Janthip R. and Amornlerdpison, D. 2012. Antioxidant activity of *Spirogyra* sp. and effect of its supplementation on growth performance of tilapia in cage culture. Journal of Fisheries Technology Research. 6(2): 23-34. [in Thai]

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A. Pannala, A., Yang, M. and Rice-Evans, C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. Free Radical Biology and Medicine. 26(9): 1231-1237.

Sachindra, N.M., Airanthi, M.K.W.A., Hosokawa, M. and Miyashita, K. 2010. Radical Scavenging and Singlet Oxygen Quenching Activity of Extracts from Indian Seaweeds. Journal of Food Science and Technology. 47(1): 94-99.

Sawangpak, A., Thongsri, T. and Chidnok, W. 2016. Acute Effects of *Cladophora glomerata* Extract on Time to Exhaustion during Severe Intensity Exercise. The 39th National Graduate Research Conference. Assumption University. Samuthprakarn, Thailand. [in Thai]

Srimaroeng, C., Ontawong, A., Saowakon, N., Vivithanaporn, P., Pongchaidecha, A., Amornlerdpison, D., Soodvilai, S. and Chatsudthipong, V. 2015. Antidiabetic and Renoprotective Effects of *Cladophora glomerata* Kützing Extract in Experimental Type 2 Diabetic Rats: A Potential Nutraceutical Product for Diabetic Nephropathy. Journal of Diabetes Research. 1-15.

Srinivasan, K., Viswanad, B., Asrat, L., Kaul, C.L. and Ramarao, P. 2005. Combination of high-fat diet-fed and low-dose streptozotocin-treated rat: A model for type 2 diabetes and pharmacological screening. Pharmacological Research. 52: 313–320.

Schofield J.D., Liu, Y., Rao-Balakrishna, P., Malik, R.A. and Soran H. 2016. Diabetes Dyslipidemia. Diabetes Therapy. 7: 203-219.

Zhang, W., Duan X., Huang H., Zhang, Y. and Wang, B. 2007. Evaluation of 28 marine algae from the Qingdao coast for antioxidative capacity and determination of antioxidant efficiency and total phenolic content of fractions and subfractions derived from *Symphyocladia latiuscula* (Rhodomelaceae) Journal of Applied Physiology. 19:97–108.

การเตรียมต้นฉบับ
เรื่องเต็มวารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง

1. **ต้นฉบับ** พิมพ์ด้วยคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟเวิร์ด (Microsoft word) และส่งต้นฉบับ พร้อมสำเนา 1 ชุด และแผ่นบันทึกข้อมูล (CD) 1 แผ่น มาที่บรรณาธิการวารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290 (หรือส่งไพล์ Word และ PDF มาที่อีเมล์ jfishtech.mju.ac.th ; ซึ่งจะได้อีเมล์ยืนยันการได้รับเอกสารผลงานจากกองบรรณาธิการแล้วเท่านั้น)

1.1 **บทคัดย่อ** มีทั้งภาษาไทย และภาษาอังกฤษ ความยาวไม่เกิน 1 หน้ากระดาษ A4 หรือไม่เกิน 250 คำ

1.2 **เรื่องเต็ม** ความยาวไม่เกิน 10 หน้ากระดาษ A4 (รวมบทคัดย่อภาษาไทย ภาษาอังกฤษ รูปภาพ ตารางและอื่น ๆ)

2. รูปแบบ

2.1 **ตัวอักษร** ใช้ตัวอักษร Cordia New

2.2 **ชื่อเรื่อง** มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ พิมพ์ตัวหนาขนาด 18 pt จัดให้อยู่กึ่งกลางหน้า

2.3 **ชื่อผู้วิจัยและผู้ร่วมวิจัย** ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ พิมพ์ตัวอักษรหนาขนาด 14 pt จัดให้อยู่กึ่งกลางหน้า

2.4 **หมายเหตุข้างท้าย** (footnote) ใช้ตัวอักษรขนาด 12 pt

2.5 **หัวข้อเรื่อง** (บทคัดย่อ Abstract คำนำ อุปกรณ์ และวิธีการ ฯลฯ) ใช้ตัวอักษรหนาขนาด 16 pt จัดให้อยู่กึ่งกลางหน้า

2.6 **เนื้อหาในบทคัดย่อและเรื่องเต็ม** ให้ใช้ตัวอักษรขนาด 15 pt

2.7 **เนื้อหาในเรื่องเต็ม**

- ชื่อเรื่อง ต้องมีทั้งภาษาไทย และภาษาอังกฤษ
- ชื่อ – ที่อยู่ ผู้วิจัยและผู้ร่วมวิจัย ให้บอกรายละเอียด (footnote) โดยใช้หมายเลขกำกับ
- บทคัดย่อ เป็นการเขียนสรุปสาระสำคัญของเรื่อง โดยเฉพาะวัตถุประสงค์ วิธีการและผลการวิจัย
- คำนำ อธิบายถึงปัญหาและวัตถุประสงค์ของการวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ โดยรวมการตรวจเอกสาร (Literature review) ถึงผลงานวิจัยที่เกี่ยวกับผู้อื่นได้ทำไว้ด้วย
- อุปกรณ์และวิธีการ ควรจะประกอบด้วยคำอธิบายเกี่ยวกับเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง และคำอธิบายถึงขอบเขตของการวิจัย วิธีการที่ใช้ในการทดลอง แต่ไม่จำเป็นต้องอธิบายวิธีการที่เป็นแบบฉบับซึ่งเป็นที่ทราบกันโดยทั่วไป

- ผลการวิจัย ควรเขียนให้กระชับและเป็นขั้นตอนที่เหมาะสม ถ้าเป็นไปได้ควรเสนอในรูปของตาราง กราฟ หรือรูปภาพ

- กราฟ รูปภาพและตาราง ให้เขียนคำอธิบายเป็นภาษาอังกฤษทั้งหมด

- วิจารณ์ผล ควรประกอบด้วยหลักการที่แสดงออกมาจากผลการทดลองที่อาจสนับสนุนหรือคัดค้านทฤษฎีที่มีผู้เสนอมาก่อน ควรเน้นถึงปัญหาหรือโต้แย้งในสาระสำคัญของเรื่องที่วิจัยตลอดจนข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยในอนาคต และแนวทางการนำไปใช้ประโยชน์

- สรุปผล อาจรวมกับวิจารณ์ผล โดยสรุปสาระสำคัญของเนื้อหาเพียงสั้น ๆ

- คำขอบคุณ/กิตติกรรมประกาศ อาจมีหรือไม่มีก็ได้

- เอกสารอ้างอิง: วิธีเขียนดูตามตัวอย่าง 2.9

2.8 การตั้งค่าขอบกระดาษ ขอบบน (top) 3.0 ซม. ขอบล่าง (bottom) 2 ซม. ขอบซ้าย (left) 3.0 ซม. ขอบขวา (right) 2.5 ซม.

2.9 เอกสารอ้างอิง ซึ่งได้อ้างอิงในเนื้อเรื่องและบรรณานุกรม ให้เขียนเป็น**ภาษาอังกฤษทั้งหมด** ดังนี้

2.9.1 **การอ้างอิงในเนื้อเรื่อง** ใช้ระบบ ชื่อสกุลเป็นภาษาอังกฤษ และตามด้วยปี ค.ศ. เช่น Chitmanat (2010) รายงานว่า............หรือ (Thomas and James, 1999) ในกรณีที่มีผู้วิจัยตั้งแต่สามคนขึ้นไปให้ใช้ *et al.* ต่อท้ายผู้แต่งคนแรก แต่ในบรรณานุกรมให้ใส่ชื่อหมดทุกคน

- **การอ้างอิงเอกสารที่อ้างอิงถึงในเอกสารอื่น** ระบุนามผู้แต่งและปีพิมพ์ของเอกสารแรก ตามด้วย “cited in” และนามผู้แต่งและปีพิมพ์ของเอกสารอันดับรอง เช่น (Choi *et al*., 2004 cited in Kaewipitoon *et al*., 2008)

- **ระบบออนไลน์** เช่น (Singh, 2002: online)

2.9.2 **การอ้างอิงในบรรณานุกรม**

- ไม่ต้องใส่เลขที่ **หากเป็นเอกสารภาษาไทยให้พิมพ์คำว่า [in Thai] ต่อท้าย**

Peerapornpisal, Y. 2008. Edible freshwater Macroalgae in Northern Thailand. Journal of Fisheries Technology Research (2)178 – 189. [in Thai]

- เรียงลำดับตัวอักษรและสระ ตามด้วยจำนวนผู้วิจัย/ผู้เขียน กรณีเป็นคนเดียวกันให้เรียงตามปี

- วารสาร (Journal) ควรเรียงลำดับดังนี้ ชื่อ-สกุล ผู้เขียน. ปี. ชื่อเรื่อง. ชื่อวารสาร. ปีที่.(ฉบับที่):หน้าแรก-หน้าสุดท้าย.

- ตำรา (text books) หรือหนังสือที่ออกไม่เป็นวาระ ควรเรียงลำดับดังนี้ ชื่อ-สกุล ผู้เขียน. ปี. ชื่อหนังสือ. สำนักพิมพ์หรือหน่วยงานที่พิมพ์. เมืองที่พิมพ์. จำนวนหน้า.

- เอกสารวิชาการอื่น ๆ ชื่อ-สกุล ผู้เขียน. ปี. ชื่อหนังสือหรือชื่อเรื่อง. ประเภทของเอกสาร. หน่วยงานหรือสถาบันที่จัดพิมพ์. เมืองที่พิมพ์. หน้าแรก-หน้าสุดท้าย.

- ปัญหาพิเศษ/วิทยานิพนธ์ ชื่อ-สกุล ผู้เขียน. ปี. ชื่อเรื่อง. ปัญหาพิเศษ/วิทยานิพนธ์ (ตรี, โท, เอก) ชื่อมหาวิทยาลัย เมืองที่มหาวิทยาลัยตั้งอยู่. จำนวนหน้า.

- เอกสารที่อ้างถึงในเอกสารอื่น ให้ระบุข้อมูลของเอกสารทั้ง 2 รายการ โดยระบุข้อมูลของเอกสารอันดับแรก ตามด้วยคำว่า "cited in" แล้วระบุข้อมูลของเอกสารอันดับรอง เช่น

Wallis, O.A. 1997. Introduction to Aquaculture. Berfley, Calif.: Adam Osborne&Assoc. 198 p. cited in Morris, M. 1991. Aquaculture in Asian. White Plains, NY: Lndustry Publications. 144 p.

- สื่ออิเล็กทรอนิกส์ ชื่อผู้รับผิดชอบหลัก. ชื่อแฟ้มข้อมูล. [Online] ปีที่จัดทำ (ถ้ามี). แหล่งที่มา: ชื่อของแหล่งที่มา [ปี, วัน เดือน ที่เข้าถึงข้อมูล]. เช่น Bangkokhealth.com. Omega-3 in freshwater fish. [Online] Available from http://www.oknation.net/blog/print.php?id=278133 [2011, February 28]

2.10 **ต้นฉบับที่ไม่ได้จัดเตรียมตามคำแนะนำจะถูกส่งคืนกลับเพื่อให้แก้ไขทันที**

3. งานเขียนที่จะได้รับการตีพิมพ์ต้องผ่านการกลั่นกรองและประเมินคุณภาพจากกองบรรณาธิการและผู้ทรงคุณวุฒิ

4. งานเขียนที่เสนอเพื่อการตีพิมพ์ในวารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง ต้องไม่อยู่ในระหว่างการเสนอเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่น หรือตีพิมพ์ที่ใดมาก่อนแล้ว

Guide for Authors

The Journal of Fisheries Technology Research (J. Fish. Tech. Res.) Welcomes the submission of manuscripts that meet the general criteria of significance and scientific excellence.

Preparation and Submission of Manuscripts

Authors submitting manuscripts for publication must follow the following guidelines.

1. Manuscript texts must be written using high-quality language in Microsoft Word. The cover letter and two copies of manuscript with CD will be sent to the editorial office, The Journal of Fisheries Technology Research, Faculty of Fisheries Technology and Aquatic Resources, Maejo University, Chiangmai, 50290 THAILAND

1.1 The Title should be a brief phrase describing the contents of the paper. The Title Page should include the author(s)'s full names and affiliations, the name of the corresponding author along with phone, fax and e-mail information. Present address of authors should appear as a footnote.

1.2 Abstracts should not exceed than 250 words. The Abstract should be informative and completely self-explanatory, briefly state the scope of the experiments, indicate significant data, and point out major findings and conclusions. No literature should be cited. About 5 keywords should also be provided.

1.3 Manuscript texts should not exceed than 10 pages including abstract, figures, and tables.

2. Format

2.1 Cordia New font must be applied.

18 pt Cordia New Bold fonts must be used for title and set in the middle of the page.

14 pt Cordia New Bold fonts must be used for authors and set in the middle of the page.

16 pt Cordia New Bold fonts must be used for all headings including Abstract, Introduction, Materials and Methods, etc.

15 pt Cordia New fonts should be used throughout manuscript and all pages numbered consecutively.

12 pt Cordia New Bold fonts must be used for footnote.

2.2 Manuscript texts should be prepared single column, with margins (right = 2.5 cm; left = 3.0 cm; top = 3.0 cm; bottom = 2 cm).

2.3 The Introduction should provide a clear statement of the problem, the relevant literature on the subject, and the proposed approach or solution. It should be understandable to colleagues from a broad range of scientific disciplines.

2.4 Materials and Methods should be complete enough to allow experiments to be reproduced. However, only new procedures should be described in detail; previously published procedures should be cited, and important modifications of published procedures should be mentioned briefly. Capitalize trade names and include the manufacturer's name and address. Subheadings should be used. Methods in general use need not be described in detail.

2.5 Results should be presented with clarity and precision. The results should be written in the past tense when describing findings. Results should be explained, but largely without referring to the literature. Discussion, speculation and detailed interpretation of data should not be included in the results but should be put into the discussion section.

2.6 The Discussion should interpret the findings in view of the results obtained in this and in past studies on this topic. State the conclusions in a few sentences at the end of the paper.

2.7 Acknowledgment is optional and should be as brief as possible.

2.8 Tables, figures, and references must be written in English.

2.9 Citations of published literature in the text and at the end of the manuscript must be written in English.

2.9.1 **Citations in the text** should be given in the form of author and year in parentheses; (James *et al*., 2011), or, if the name forms part of a sentence, it should be followed by the year in parenthesis; Tomas and James (2010).

Citing two or more documents by multiple authors; List authors' names by alphabetical order, followed by year of publication, link each document with ";"(Keiser and Utzinger, 2005; McCarthy and Moore, 2000; Nawa, *et al*., 2005)

Citing documents cited in other documents; Put author's name and year of original document's publication, followed by "cited in" and secondary document's author's name and year of publication; (Choi *et al*., 2004 cited in Kaewipitoon *et al*., 2008) Online materials; (Yu and Mott, 1994: online)

2.9.2 **Citation in reference list**;

All references mentioned in the reference list must be cited in the text, and vice versa. The references section at the end of the manuscript should list all. For papers printed in a language other than English, indicate the language in parentheses at the end of that reference. The following are examples of reference writing.

Reference to a journal article:

Khuantrairong, T., and Traichaiyaporn, S. 2010. Efficiency of carotenoid and nutritional values of an alga Kai (*Cladophora* sp.) for economic utilization. J. Fish. Tech. Res. 4: 54 – 64. [in Thai]

Reference to article or abstract in conference proceedings:

Cliche, G., Hébert, D., and Bourgeois, M. 2007. Evaluation of different parameters to optimize the collection strategy of the sea scallop (*Placopecten magellanicus*) in commercial operations. Proceedings of the 16th International Scallop Aquaculture Workshop. Canada, May 11 – 18, 2007. 24 – 28.

Reference to a book:

Boyd, C.E., and Tucker, C.S. 1998. Pond aquaculture water quality management. Kluwer Academic Publishers, Massachusetts. USA. 700 p.

Reference to an edited book:

Shotts, E.B. 1994. Flow chart for the presumptive identification of selected bacteria from fish. In: Bacterial Diseases of Fish. 4th ed., edited by Thoesen, J.C. Chapman & Hall, London. pp. 131 -135 .

Reference to an electronic data source):

Yi, Y., Yang, Z., and Zhang, S. Ecological risk assessment of heavy metals in sediment and human health risk assessment of heavy metals in fishes in the middle and lower reaches of the Yangtze River basin. Environmental Pollution [Online]. Available from http://www.sciencedirect.com/science/article/S029911100337X[2011, December 12].

2.10 **Manuscript must be followed the guidelines of manuscript preparation, otherwise they will be sent back or even rejected.**

3. All manuscripts considered for publication will be peer-reviewed by qualified editors and independent referees.

4. The submitted manuscripts are not already published or are not currently under consideration for publication elsewhere. Manuscripts, parts of which have been previously published in conference proceedings, may be accepted if they contain additional material not previously published.

ประกาศมหาวิทยาลัยแม่โจ้

เรื่อง แต่งตั้งคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิเพื่ออ่านผลงานทางวิชาการ

อนุสนธิตามประกาศมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ลงวันที่ ๔ กันยายน พ.ศ. ๒๕๕๘ ได้แต่งตั้งคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิเพื่ออ่านผลงานทางวิชาการ ไปแล้ว นั้น

เพื่อให้การตีพิมพ์ผลงานทางวิชาการสำหรับตีพิมพ์ลงในวารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมงเป็นไปด้วยความเรียบร้อย จึงให้ยกเลิกประกาศมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ลงวันที่ ๔ กันยายน พ.ศ. ๒๕๕๘ และแต่งตั้งคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิเพื่ออ่านผลงานทางวิชาการ ดังต่อไปนี้

๑. ศาสตราจารย์ ดร.ทวนทอง จุฑาเกตุ
๒. ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต
๓. ศาสตราจารย์ ดร.สุทธวัฒน์ เบญจกุล
๔. ศาสตราจารย์ ดร.สุภาวดี จุลละศร
๕. ศาสตราจารย์ ดร.เสาวภา อังสุภานิช
๖. ศาสตราจารย์ ดร.สายสมร ลำยอง
๗. ศาสตราจารย์ ดร.อุทัยรัตน์ ณ นคร
๘. รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน
๙. รองศาสตราจารย์ ดร.คเชนทร เฉลิมวัฒน์
๑๐. รองศาสตราจารย์ ดร.จำเนียร บุญมาก
๑๑. รองศาสตราจารย์ ดร.จารุมาศ เมฆสัมพันธ์
๑๒. รองศาสตราจารย์ ดร.ชโลบล วงศ์สวัสดิ์
๑๓. รองศาสตราจารย์ณิฏฐารัตน์ ปภาวสิทธิ์
๑๔. รองศาสตราจารย์ ดร.ธำรงค์ อมรสกุล
๑๕. รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิษฐา ทรรพนันทน์ ใจดี
๑๖. รองศาสตราจารย์ ดร.นงนุช เลาหะวิสุทธิ์
๑๗. รองศาสตราจารย์ ดร.นิวุฒิ หวังชัย
๑๘. รองศาสตราจารย์ ดร.ปราณีต งามเสน่ห์

๑๙. รองศาสตราจารย์...

๑๙. รองศาสตราจารย์ ดร.เผดิมศักดิ์ จารยะพันธุ์
๒๐. รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญพรรณ ศรีสกุลเตียว
๒๑. รองศาสตราจารย์ ดร.พรศิลป์ ผลพันธุ์ทิน
๒๒. รองศาสตราจารย์ ดร.มาริสา จาตุพรพัฒน์
๒๓. รองศาสตราจารย์ ดร.ยุวดี พีรพรพิศาล
๒๔. รองศาสตราจารย์ ดร.วิภูษิต มัณฑะจิตร
๒๕. รองศาสตราจารย์ ดร.วุฒิพร พรหมขุนทอง
๒๖. รองศาสตราจารย์ ดร.วิจิตรา แดงปรก
๒๗. รองศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ หวังเจริญ
๒๘. รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ชัย ชูโชติ
๒๙. รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภมิตร เมฆฉาย
๓๐. รองศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ ดุลจินดาชบาพร
๓๑. รองศาสตราจารย์ ดร.อัจฉราภรณ์ เปี่ยมสมบูรณ์
๓๒. รองศาสตราจารย์ ดร.อลงกลด แทนออมทอง
๓๓. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา พยุหะ
๓๔. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัญญาณัฐ สุนทรประสิทธิ์
๓๕. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์
๓๖. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ครศร ศรีกุลนาถ
๓๗. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จงกล พรมยะ
๓๘. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิราพร โรจน์ทินกร
๓๙. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรพงษ์ สุขเกื้อ
๔๐. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชิตชล ผลารักษ์
๔๑. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนกันต์ จิตมนัส
๔๒. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชยากร ภูมาศ
๔๓. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไชยยง รุจจนเวท
๔๔. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ช่อทิพา สกูลสิงหาโรจน์
๔๕. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงพร อมรเลิศพิศาล
๔๖. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทพรัตน์ อึ้งเศรษฐพันธ์
๔๗. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรวุฒิ เลิศสุทธิชวาล
๔๘. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นเรศ ซ่วนยุก

๔๙. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัญญัติ มนเทียรอาสน์
๕๐. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญรัตน์ ประทุมชาติ
๕๑. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ ฉายบุ
๕๒. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีณา ทวีกิจการ
๕๓. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ศักดิ์ เหล่าดี
๕๔. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เมธี แก้วเนิน
๕๕. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.รัชต์ ขัดติยะ
๕๖. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชริยา ภูรีวิโรจน์กุล
๕๗. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันชัย วรวัฒนเมธีกุล
๕๘. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศราวุธ เจ๊ะโส๊ะ
๕๙. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.แสงทอง พงษ์เจริญกิจ
๖๐. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สันธิวัฒน์ พิทักษ์พล
๖๑. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิทย์ วุฒิสุทธิเมธาวี
๖๒. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพัตรา เดวิดสัน
๖๓. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สถาพร ดิเรกบุษราคม
๖๔. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สำเนาว์ เสาวกูล
๖๕. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สัมพันธ์ จันทร์ดี
๖๖. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภินันท์ สุวรรณรักษ์
๖๗. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ สงรักษ์
๖๘. ดร.พุทธ ส่องแสงจินดา
๖๙. ดร.ทัตพร คุณประดิษฐ์
๗๐. ดร.สุดาพร ตงศิริ
๗๑. ดร.อุดมลักษณ์ สมพงษ์

ประกาศ ณ วันที่ ๙ มีนาคม พ.ศ. ๒๕๖๐

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จำเนียร ยศราช)
อธิการบดีมหาวิทยาลัยแม่โจ้

JOURNAL OF FISHERIES TECHNOLOGY RESEARCH

(J. Fish. Tech. Res.)

ISSN 1905-7393

ISSN Online 2730-146X

Honorable Consultants:

Maejo University President

Maejo University Vice President for Research

Dean of the Faculty of Fisheries Technology and Aquatic Resources

Editor-in Chief: Asst. Prof. Dr. Prachuab Chaibu Maejo University

Editorial Board:

Prof. Dr. Piamsak Menasveta	Chulalongkorn University
Prof. Dr. Tuanthong Jutagate	Ubonratchatani university
Assoc. Prof. Dr. Vipoosit Manthachitra	Burapha University
Assoc. Prof. Dr. Kriangsak Meng-umphan	Maejo University
Assoc. Prof. Dr. Niwooti Wangchai	Maejo University
Asst. Prof. Dr. Samnao Saowakoon	Rajamangala University of Technology Isan
Asst.Prof.Dr. Pongsak Luadee	Prince of Songkla University
Asst. Prof. Dr. Chayakorn Pumas	Chiangmai University

Editorial Secretary: Asst. Prof. Dr. Chanagun Chitmanat Maejo University

Journal of Fisheries Technology Research is a publication of the Faculty of Fisheries Technology and Aquatic Resources, Maejo University and is intended to make available the results of technical work in the fisheries, aquaculture, aquatic resources and related biological sciences. It is published twice a year. Contact with the Journal should be addressed

TO……The Editor,

Journal of Fisheries Technology Research, Faculty of Fisheries Technology and Aquatic Resources, Maejo University, Sansai, Chiang Mai 50290, Thailand

Tel: +66-53-87-5100 – 2 Fax: +66-53-87-5103 – 2

E-mail: jfishtech.mju@gmail.com

Web site: http://http://www.fishtech.mju.ac.th/WEB/Journal_FT/main/index.php

ISSN 1905-7393
ISSN Online 2730-146X

วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง
JOURNAL OF FISHERIES TECHNOLOGY RESEARCH

ปีที่ 14 เล่มที่ 2 (Volume 14 Number 2)
กรกฎาคม - ธันวาคม 2563 (July - December 2020)

สารบัญวารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง ปีที่ 14 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม พ.ศ. 2563

สารบัญ

บรรณาธิการ

บทความวิจัย หน้า

การประยุกต์ใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO2) ในการบำบัดน้ำทิ้งจากตู้เลี้ยงปลาน้ำจืด 1

วิณากร ที่รัก

การผลิตไรแดงและไรน้ำนางฟ้าไทยโดยใช้คลอเรลลาที่เลี้ยงจากน้ำทิ้งของระบบไฮโดรโปนิกส์ 10

จามรี เครือหงษ์ จงดี ศรีนพรัตน์วัฒน และสุรภี ประชุมพล

การติดหนอนพยาธิในปลาหมอช้างเหยียบจากอ่างเก็บน้ำหนองญาติอำเภอเมือง จังหวัดนครพนม ปี 2560 19

อดิเทพชัยย์การณ์ ภาชนะวรรณ อนวัทย์ พาลี จิราวรรณ คำธร ณัฐนันท์ เทียงธรรม และวิจิตรตา อรรถสาร

การศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรม และสมรรถนะของประชากรปลาดุกอุย(*Clarias macrocephalus*) จากโรงเพาะฟัก 32

วิศรุต ชัยเลิศฤทธิ์ สมบูรณ์ สุนทรโชติ คงภพ อำพลศักดิ์ พุทธรัตน์ เบ้าประเสริฐกูล ธชาทัช ธีรติเดชากุล

ประจักษ์ บัวเนียม และชัยติศักดิ์ บริบูรณ์

ผลกระทบจากการงดทำประมงปูม้าที่มีไข่นอกกระดองต่อชาวประมงขนาดเล็ก กรณีศึกษาจังหวัดตรัง 48

ธงชัย นิติรัฐสุวรรณ และจันทร์สว่าง งามผ่องใส

การประยุกต์ใช้แบบจำลองการเลือกจับสำหรับการทำประมงอวนล้อมจับปลาทูน่าของไทย: กรณีปลาทูน่าท้องแถบ 60

(*Katsuwonus pelamis* (Linnaeus, 1758))

วัชรพงศ์ ชุ่มชื่น

การศึกษาการผลิตปลาส้มจากวัสดุเศษเหลือในอุตสาหกรรมแปรรูปปลาส้มแบบครัวเรือน 77

เกศินี จันทรโสภณ วรพล สุรพัฒน์ และเสรี จันทรโสภณ

การเปรียบเทียบการใช้ยีสต์สำเร็จรูปในการปรับปรุงคุณภาพกากมันสำปะหลังสูตรต่าง ๆ 87

วศิน วุฒิวิชญานันต์ อรุณีพงศ์ ศรีสกาพร บัณฑิต ยวงสร้อย และสมสมร แก้วบริสุทธิ์

ผลของสารผสมจากสารสกัดสาหร่ายน้ำจืด *Rhizoclonium hieroglyphicum* และ *Spirogyra neglecta* 97

ต่อการลดระดับน้ำตาล และไขมันในเลือดหนูเบาหวาน

รัตนาภรณ์ จันทร์ทิพย์ นริศรา ไล้เลิศ เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน วิวัฒน์ หวังเจริญ และดวงพร อมรเลิศพิศาล