การปรับปรุงพันธุ์ปลานิลอินทรีย์ที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค
โดยการคัดเลือกจากค่าคุณค่าการผสมพันธุ์

กนกวรรณ นาคขำ

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2567

การปรับปรุงพันธุ์ปลานิลอินทรีย์ที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค
โดยการคัดเลือกจากค่าคุณค่าการผสมพันธุ์

กนกวรรณ นาคขำ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ
สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2567

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การปรับปรุงพันธุ์ปลานิลอินทรีย์ที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค
โดยการคัดเลือกจากค่าคุณค่าการผสมพันธุ์

กนกวรรณ นาคขำ

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ

พิจารณาเห็นชอบโดย **อาจารย์ที่ปรึกษา**

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิสรา กิจเจริญ)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.จงกล พรมยะ)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชนกันต์ จิตมนัส)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดาพร ตงศิริ)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยยศ สัมฤทธิ์สกุล)
รักษาการแทนรองอธิการบดี
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ชื่อเรื่อง การปรับปรุงพันธุ์ปลานิลอินทรีย์ที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอคโดยการคัดเลือกจากค่าคุณค่าการผสมพันธุ์

ชื่อผู้เขียน นางสาวกนกวรรณ นาคขำ

ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิสรา กิจเจริญ

บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินค่าพารามิเตอร์ทางพันธุกรรม และประเมินผลตอบสนองต่อการคัดเลือกของลักษณะการเจริญเติบโตของปลานิลเมื่อได้ทำการคัดเลือกได้ 1 รุ่น โดยมีประชากรปลานิลรุ่นที่ 2 จำนวน 70, 64 และ 63 ครอบครัว เมื่ออายุ 2 – 3 เดือน 3 – 4 เดือน และ 9 – 10 เดือน ตามลำดับ องค์ประกอบความแปรปรวนถูกประมาณค่าด้วยวิธี Restricted Maximum Likelihood (REML) โดยใช้ Average Information (AI) algorithm ร่วมกับแบบจำลองสัตว์ (animal model) ในช่วงอายุ 2-3 และ 3-4 เดือน โดยจะวิเคราะห์ข้อมูลทีละลักษณะ (Single trait analysis) ในแต่ละช่วงอายุ จากนั้นจึงนำค่าดังกล่าวไปคำนวณค่าอัตราพันธุกรรม ค่าคุณค่าการผสมพันธุ์ (Estimated Breeding Value, EBV) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ASREML พบว่าค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักปลาที่อายุ 2 – 3 เดือน มีค่าเท่ากับ 0.03 ± 0.06 ซึ่งมีค่าต่ำ ที่อายุ 3 - 4 เดือน มีค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักตัว เท่ากับ 0.16 ± 0.04 ซึ่งมีค่าอยู่ในระดับปานกลางแต่สูงกว่าช่วงอายุ 2-3 เดือน ในช่วงอายุ 9-10 เดือน วิเคราะห์ข้อมูลแบบ Bivariate trait analysis เพื่อพิจารณาค่าอิทธิพลร่วมระหว่างพันธุกรรมกับสิ่งแวดล้อม ค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักและความยาวปลาที่อายุ 9 – 10 เดือน ในระบบไบโอฟลอคมีค่าเท่ากับ 0.56 ± 0.10 และ 0.55 ± 0.10 ตามลำดับ ในบ่อดินมีค่าเท่ากับ 0.32 ± 0.09 และ 0.41 ± 0.10 ตามลำดับ พบว่าในระบบไบโอฟลอค มีค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักและความยาวสูงกว่าบ่อดิน ในขณะที่ค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรม (Genotypic Correlation) ของน้ำหนัก และความยาวของปลานิลที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอคและบ่อดิน มีค่าเท่ากับ 0.92 และ 0.94 ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าไม่มีปฏิกิริยาร่วมระหว่างพันธุกรรมกับสิ่งแวดล้อม

การประเมินผลตอบสนองต่อการคัดเลือกปลานิลเมื่อได้ทำการคัดเลือกได้ 1 รุ่น จากผลต่างของค่าเฉลี่ย least square mean ของน้ำหนักตัวปลานิลกลุ่มคัดเลือกกับค่าเฉลี่ย least square mean ของน้ำหนักตัวปลานิลกลุ่มควบคุม ที่อายุ 2 – 3 เดือน มีค่าเท่ากับ 0.98 กรัม/รุ่น หรือคิดเป็น 11.78 % ผลตอบสนองต่อการคัดเลือกของน้ำหนักและความยาว ที่อายุ 9 – 10 เดือน มี

ค่าเท่ากับ 15.68 กรัม/รุ่น หรือคิดเป็น 15.34 % ความยาว มีค่าเท่ากับ 10.21 เซนติเมตร/รุ่น หรือคิดเป็น 5.43 % ซึ่งมีความก้าวหน้าในระดับค่อนข้างดี แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้วิธีการคัดเลือกจากค่าคุณค่าการผสมพันธุ์ในการปรับปรุงพันธุ์ปลานิลอินทรีย์ได้

คำสำคัญ : ปลานิล, การปรับปรุงพันธุ์, การตอบสนองต่อการคัดเลือก, อินทรีย์, ไบโอฟลอค

Title GENETIC IMPROVEMENT OF ORGANIC NILE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) UNDER BIOFLOC SYSTEM BY EBV SELECTION

Author Miss Kanokwan Nakkham

Degree Master of Science in Fisheries Technology and Aquatic Resources

Advisory Committee Chairperson Assistant Professor Dr. Nissara Kitcharoen

ABSTRACT

This study aimed to estimate genetic parameters and the response to selection. There were 70, 64, and 63 families of second-generation tilapia at ages 2 - 3 months, 3 - 4 months, and 9 - 10 months, respectively. The analysis of variance was perform by a univariate mixed linear animal model BLUP. Variance component were analyze following the animal model using Restricted Maximum Likelihood (REML) employing Average Information (AI) algorithm. The heritability estimates of weight at 2–3 months of age was 0.03 ± 0.06, indicating a low value. At 3-4 months of age revealed a moderate heritability value for body weight (0.16 ± 0.04), greater than aged 2-3 months. Bivariate trait analysis was used to estimate the Genotype by environment interaction; GxE at 9-10 month of age. The Heritability estimates for weight and length at 9-10 months of age cultured in the biofloc system were 0.56 ± 0.10 and 0.55 ± 0.10, respectively. In earthen ponds, they were 0.32 ± 0.09 and 0.41 ± 0.10, respectively. The results showed that tilapia cultured in the biofloc system had heritability higher for weight and length than those cultured in earthen ponds. Furthermore, the genotypic correlation values for the weight and length of tilapia cultured in biofloc systems and earthen ponds were 0.92 and 0.94, showing that there was no interaction between genetics and environmental factors.

The response to selection of tilapia was evaluated by considering the difference between the least square mean of the selection group and the control group at 2 - 3 months of age, which was a value of 0.98 grams/group, or 11.78 %.

While the weight and length of tilapia at the age of 9 - 10 months were 15.68 grams/group, or 15.34 %, the length was 10.21 centimeters/group, or 5.43 %, indicating a relatively strong rate of advancement. This result imply that selection to improve growth traits perform on organic tilapia by EBV section.

Keywords : Nile tilapia, Response to selection, Genetic improvement, Organic, Biofloc

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความกรุณาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิสรา กิจเจริญ ประธานกรรมการที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.จงกล พรมยะ และรองศาสตราจารย์ ดร.ชนกันต์ จิตมนัส กรรมการที่ปรึกษา ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และแก้ไขปัญหาและอุปสรรคระหว่างดำเนินงาน ตลอดจนตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ อีกทั้งขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มินตรา ศีลอุดม ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้ข้อคิดเห็นในการแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดา และญาติพี่น้อง ที่ให้การสนับสนุนด้านกำลังใจและสนับสนุนค่าใช้จ่ายระหว่างการศึกษา จนสำเร็จลุล่วงตามเป้าหมาย วิทยานิพนธ์เล่มนี้ขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณดังที่กล่าวมาข้างต้น และหวังว่าจะเป็นประโยชน์แก้ผู้ที่สนใจไม่มากก็น้อย

กนกวรรณ นาคขำ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ช
สารบัญ ..... ซ
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญภาพ ..... ฎ
สารบัญภาพผนวก ..... ฏ
บทที่ 1 บทนำ 1
ความสำคัญของปัญหา 1
วัตถุประสงค์งานวิจัย 2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
บทที่ 2 ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร 3
ปลานิล 3
การคัดเลือก (Selection) 4
การจับคู่ผสมพันธุ์ปลานิลในการปรับปรุงพันธุ์ปลานิล 6
การปรับปรุงพันธุ์ปลานิลในประเทศไทย 8
อัตราพันธุกรรม (Heritability) และการประเมินค่าอัตราพันธุกรรม 9
การตอบสนองต่อการคัดเลือก (Response to selection ; R) 11
ความก้าวหน้าทางพันธุกรรม 11
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 13
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ 18

วัสดุและอุปกรณ์ 18
วิธีการดำเนินการวิจัย 18
ระยะเวลาการวิจัยและสถานที่ดำเนินงาน 22
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล 23
บทที่ 5 สรุปผล 35
บรรณานุกรม 36
ภาคผนวก 39
ประวัติผู้วิจัย 57

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แสดงความแตกต่างระหว่างการผสมพันธุ์ในระบบดั้งเดิมกับระบบผสมพันธุ์ปลานิล 7

ตารางที่ 2 ความแปรปรวนของน้ำหนักปลานิลที่อายุ 3 – 4 เดือน 25

ตารางที่ 3 ความแปรปรวนของน้ำหนักปลานิลที่อายุ 9 – 10 เดือน 25

ตารางที่ 4 ความแปรปรวนของความยาวปลานิลที่อายุ 9 – 10 เดือน 26

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ย และค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักปลานิลที่อายุ 2 - 3 และ 3 - 4 เดือน ของปลานิลรุ่นที่ 2 26

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ย และค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนัก และความยาวปลานิลอายุ 9 - 10 เดือน ที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอคและบ่อดิน 27

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก และความยาว ของปลานิลอินทรีย์เพศผู้ และเพศเมียที่อายุ 9-10 เดือน 29

ตารางที่ 8 แสดงค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของน้ำหนัก และความยาว ปลานิลที่เลี้ยงในระบบ ไบโอฟลอคและบ่อดิน 31

ตารางที่ 9 แสดงค่าเฉลี่ยของประชากรรุ่นที่ 1 และค่าเฉลี่ยของพ่อแม่พันธุ์ที่คัดเลือกไว้ เพื่อทำนายค่าผลตอบสนองต่อการคัดพันธุ์ 32

ตารางที่ 10 แสดงผลตอบสนองต่อการคัดเลือกของน้ำหนักตัว (กรัม) ของปลานิลอินทรีย์รุ่นที่ 2 ที่อายุ 3 - 4 เดือน 32

ตารางที่ 11 ค่าผลตอบสนองต่อการคัดเลือกน้ำหนัก (กรัม) และความยาว (มิลลิเมตร) ของปลานิลอินทรีย์รุ่นที่ 2 ที่อายุ 9 – 10 เดือน 33

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 การกระจายตัวของน้ำหนักปลานิลกลุ่มคัดเลือก (selected) และกลุ่มควบคุม (control) ที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค (1) กับบ่อดิน (2) ที่อายุ 9- 10 เดือน 28

ภาพที่ 2 การกระจายตัวของความยาวปลานิลกลุ่มคัดเลือก (selected) และกลุ่มควบคุม(control) ที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค (1) กับ บ่อดิน (2) ที่อายุ 9- 10 เดือน 29

ภาพที่ 3 การกระจายตัวของน้ำหนักปลานิลเพศผู้ (1) และเพศเมีย (2) ที่อายุ 9- 10 เดือน..... 30

ภาพที่ 4 การกระจายตัวของความยาวปลานิลเพศผู้ (1) และเพศเมีย (2) ที่อายุ 9- 10 เดือน 30

สารบัญภาพผนวก

หน้า

ภาพผนวกที่ 1 ภาพกระชังจับคู่ผสมพันธุ์ 40
ภาพผนวกที่ 2 ภาพระบบฟักไข่ปลานิล 40
ภาพผนวกที่ 3 ภาพกระชังอนุบาล 1 x 1 ตารางเมตร เพื่อใช้อนุบาลลูกปลา 41
ภาพผนวกที่ 4 ภาพติดเครื่องหมายไมโครชิฟ 41
ภาพผนวกที่ 5 ภาพกระชังเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค 42
ภาพผนวกที่ 6 ภาพกระชังเลี้ยงปลานิลในบ่อดิน 42

บทที่ 1
บทนำ

ความสำคัญของปัญหา

ปลานิล (*Oreochromis niloticus*) เป็นปลาน้ำจืดชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย เป็นที่นิยมบริโภคและเลี้ยงกันอย่างมากทั้งในภาคอุตสาหกรรมและในระดับครัวเรือน เนื่องจากมีการเจริญเติบโตเร็ว ใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงสั้น ปลานิลจัดเป็นสัตว์น้ำจืดเศรษฐกิจที่มีผลผลิตมากที่สุด โดยมีผลผลิตเฉลี่ยในปี พ.ศ. 2561 ปริมาณ 216,602 ตัน คิดเป็นมูลค่า 9,981,278 ล้านบาท (กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง, 2563) ตลาดผู้บริโภคยังให้ความสนใจและมีความต้องการผลผลิตปลานิลเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง กลุ่มผู้บริโภคอาหารเพื่อสุขภาพเช่นกันมีแนวโน้มต้องการอาหารที่ปลอดภัยผ่านการเลี้ยงด้วยระบบการเลี้ยงที่ดีหรืออินทรีย์เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับแผนพัฒนาประเทศปี พ.ศ. 2560-2564 รัฐได้ให้ความสำคัญกับการพัฒนาการเกษตรสู่ความเป็นเลิศด้านอาหารที่ครอบคลุมประเด็นปริมาณการผลิตสินค้าเกษตรและอาหารเพียงพอและความหลากหลายต่อความต้องการในการบริโภคมีคุณภาพมาตรฐานเทียบเท่าระดับสากล และมีความปลอดภัยอย่างต่อเนื่อง แต่ปัจจุบันการเพาะเลี้ยงปลานิลส่วนมากไม่ได้เลี้ยงในระบบอินทรีย์ จึงทำให้ไม่มีลูกพันธุ์และผลผลิตปลานิลอินทรีย์ที่ดีมีคุณภาพตามมาตรฐาน

การเลี้ยงสัตว์น้ำอินทรีย์ พันธุ์สัตว์น้ำที่ใช้ในการเลี้ยงควรมาจากระบบการผลิตสัตว์น้ำแบบอินทรีย์ หรือโรงเพาะฟักที่ได้มาตรฐานการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ดี (GAP) ไม่มีการดัดแปลงพันธุกรรม ไม่ใช้ฮอร์โมนแปลงเพศ และไม่ใช้ยาปฏิชีวนะหรือสารเคมีต้องห้ามตามประกาศราชการ (กองวิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำจืด, 2561) ปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีไบโอฟลอคเข้ามาใช้ในการเลี้ยงปลานิล เพื่อลดปัญหาการเปลี่ยนถ่ายน้ำ โดยใช้จุลินทรีย์ในกลุ่มของ Heterotrophic bacteria ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนของเสียในระบบให้เป็น biomass ของสิ่งมีชีวิตและจุลินทรีย์ เพื่อลดการใช้ยาปฏิชีวนะหรือสารเคมี จึงนำไปสู่การเลี้ยงสัตว์น้ำแบบอินทรีย์

ในการคัดพันธุ์ปลานิลอินทรีย์นั้นสามารถทำได้โดยการคัดเลือกที่แม่นยำจากการประมาณค่าคุณค่าการผสมพันธุ์ โดยงานวิจัยนี้มีการคัดเลือกปลานิลอินทรีย์ที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค รุ่นที่ 1 จากการประเมินค่าทางพันธุกรรมของ ศุภกิติ์ และคณะ (2563) โดยคัดเลือกจากค่าคุณค่าการผสมพันธุ์ (EBV) ของน้ำหนักตัวที่อายุ 6-8 เดือน เพื่อยกระดับค่าเฉลี่ยของปลาในรุ่นถัดไป และหลังจากการคัดเลือกแล้ว วิธีการจับคู่ผสมพันธุ์ปลานิลยังเป็นอีกขั้นตอนที่สำคัญในการประเมินความสามารถทางพันธุกรรม และเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดเลือดชิด จึงจำเป็นต้องมีการวางแผนจับคู่

พ่อแม่พันธุ์เพื่อสร้างประชากรรุ่นถัดไปให้มีการเจริญเติบโตดีตามที่คาดการณ์ไว้ และมีลักษณะตรงตามที่ตลาดต้องการ หลังจากคัดพันธุ์จำเป็นต้องมีการประเมินค่าพารามิเตอร์ทางพันธุกรรมและประเมินผลตอบสนองต่อการคัดเลือกของลักษณะการเจริญเติบโตของปลานิลเมื่อได้ทำการคัดเลือก

วัตถุประสงค์งานวิจัย

1. เพื่อประเมินค่าพารามิเตอร์ทางพันธุกรรมที่จำเป็นต่อการปรับปรุงพันธุ์ปลานิลอินทรีย์โดยการคัดเลือกให้มีการเจริญเติบโตดีเมื่อเลี้ยงด้วยระบบโบโอฟลอคและบ่อดิน
2. เพื่อประเมินผลตอบสนองต่อการคัดเลือกของลักษณะการเจริญเติบโตของปลานิลเมื่อได้ทำการคัดเลือกไปได้ 1 รุ่น

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้สายพันธุ์ปลานิลอินทรีย์ที่ได้จากการปรับปรุงพันธุ์ในระบบไบโอฟลอค
2. เกษตรกรและฟาร์มเลี้ยงปลา สามารถนำพันธุ์ปลานิลอินทรีย์หรือลูกพันธุ์ไปเลี้ยงเพื่ออุปโภคและบริโภค หรือสร้างอาชีพเพื่อให้เกิดรายได้
3. สามารถนำข้อมูลมาใช้ในการวางแผนพัฒนาสายพันธุ์ปลานิลอินทรีย์ต่อไป

บทที่ 2
ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร

ปลานิล

ปลานิล (*Oreochromis niloticus*) เป็นปลาน้ำจืดชนิดหนึ่ง มีถิ่นกำเนิดอยู่ทวีปแอฟริกา พบได้ทั่วไปตามหนอง บึง และทะเลสาบ ในประเทศซูดาน ยูกันดา แทนแกนยีกา ปลานิลสามารถเลี้ยงได้ทุกสภาพแวดล้อม เลี้ยงง่าย เจริญเติบโตเร็ว ในประเทศไทยมีผลผลิตปลานิลจากการเพาะเลี้ยงในปี 2562 ประมาณ 208,635 ตัน ซึ่งลดลงจากปี 2561 ประมาณ 2,733 ตัน คิดเป็น 1.3 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณการส่งออกผลผลิตปลานิล 9,717.8 ตัน คิดเป็นมูลค่า 340.4 ล้านบาท ทั้งปริมาณการผลิตและมูลค่าลดลง 10.4% และ 13.4% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับปี 2561 (เกวลิน, 2564) เนื่องจากปี พ.ศ. 2562 ประเทศไทยประสบปัญหาภัยแล้งในช่วงต้นปี ส่งผลให้น้ำในเขื่อน อ่างเก็บน้ำ และแหล่งน้ำธรรมชาติมีน้อย ประกอบกับเกิดสถานการณ์ภัยพิบัติธรรมชาติ ทำให้กลุ่มผู้เพาะเลี้ยงปลานิลได้รับความเสียหาย ส่งผลให้ผลผลิตปลานิลลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากมีสายพันธุ์ปลาที่ไม่มีคุณภาพ และขาดมาตรฐานการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ดี มีการใช้ยาปฏิชีวนะและสารเคมีในการเพาะเลี้ยง ในขณะที่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอินทรีย์เป็นการรวมกระบวนการตั้งแต่พ่อแม่พันธุ์ ลูกพันธุ์ การเลี้ยง การจับ การขนส่ง และการผลิตเพื่อให้ได้ผลผลิตและผลิตภัณฑ์ที่ดีและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ปลอดภัยทั้งผู้ผลิตและผู้ผลิต (จงกล, 2558) ดังนั้นการปรับปรุงพันธุ์ปลานิลอินทรีย์โดยการคัดเลือกเพื่อให้ได้ลูกพันธุ์ปลานิลอินทรีย์จึงเป็นสิ่งที่สำคัญในการเพาะเลี้ยงปลานิลอินทรีย์

การปรับปรุงพันธุ์สัตว์น้ำ

การปรับปรุงพันธุ์สัตว์น้ำ คือ การทำให้สัตว์น้ำนั้น ๆ มีลักษณะที่ดีขึ้นตรงตามเป้าหมาย มีกลุ่มของค่าเฉลี่ยที่ดีกว่าพ่อแม่ และสามารถถ่ายทอดไปยังลูกหลานได้ วิธีการปรับปรุงพันธุ์สามารถแบ่งออกได้ 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

1. การปรับปรุงพันธุ์โดยใช้หลักทางพันธุศาสตร์ปริมาณ

ลักษณะปริมาณเป็นลักษณะที่ควบคุมโดยยีนหลายคู่ แต่ละคู่มีมีผลต่อการแสดงออกของลักษณะน้อย และยังอยู่ภายใต้อิทธิพลของสิ่งแวดล้อม ทำให้ไม่สามารถแยกลักษณะทางพันธุกรรมที่แท้จริงของสัตว์ออกได้ จึงต้องใช้ความรู้ทางสถิติเข้ามาแยกอิทธิพลของสิ่งแวดล้อมออกจากอิทธิพลของพันธุกรรม พันธุศาสตร์ปริมาณยังสามารถบอกสัดส่วนความแปรปรวนของยีนแบบบวกสะสม (additive genetic variance) ว่ามีมากน้อยแค่ไหน โดยดูจากค่าอัตราพันธุกรรม (heritability) ถ้ามี

ค่าอัตราพันธุกรรมสูง ก็สามารถปรับปรุงพันธุ์โดยใช้วิธีการคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์ที่ดีมาผสมพันธุ์กัน ส่งผลให้รุ่นลูกมีลักษณะที่ดีขึ้นอย่างแน่นอน เนื่องจากได้รับลักษณะที่ดีจากพ่อแม่ที่มีผลเชิงบวกต่อกัน ในทางตรงกันข้ามถ้ามีค่าอัตราพันธุกรรมต่ำ ถึงแม้จะคัดเลือกพ่อแม่ที่มีลักษณะที่ดีมาผสมพันธุ์กัน รุ่นลูกก็อาจจะมีลักษณะที่ด้อยกว่าพ่อแม่ได้

2. การปรับปรุงพันธุ์โดยใช้หลักทางเทคโนโลยีชีวภาพ

เทคโนโลยีชีวภาพในการตัดต่อยีน (genetic engineering) สามารถสร้างลำดับยีนใหม่ ๆ ที่ไม่เคยมีมาก่อนในธรรมชาติ และนำยีนใหม่ถ่ายเข้าสู่ไข่หรือคัพภะของปลา ทำให้ปลาแสดงลักษณะได้เกินขีดจำกัดในธรรมชาติ นอกจากนี้ยังมีเทคโนโลยีชีวภาพอื่น ๆ ที่ทำการเปลี่ยนแปลงพันธุกรรมของสัตว์น้ำ เช่นการเหนี่ยวนำ triploidy ซึ่งทำให้ปลาหรือสัตว์น้ำอื่น ๆ มีโครโมโซมเพิ่มเป็น 3 ชุด สัตว์น้ำเหล่านี้จะเป็นหมัน

การคัดเลือก (Selection)

การคัดเลือก หมายถึง การคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์ที่มีลักษณะที่ต้องการ เพื่อเพิ่มระดับค่าเฉลี่ยของประชากรในรุ่นถัดไป ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยประชากรรุ่นพ่อแม่และลูก เรียกว่า ค่าตอบสนองต่อการคัดเลือก (Selection response, R) และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของพ่อแม่พันธุ์และค่าเฉลี่ยของประชากรเรียกว่า ความแตกต่างของการคัดเลือก (Selection differential, S) ในการคัดเลือกนั้นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณา คือ กำหนดค่าความแตกต่างของการคัดเลือก และความเข้มข้นของการคัดเลือก (Selection intensity, i) ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดความก้าวหน้าของการคัดเลือก โดยจะบอกถึงค่าความแตกต่างในการคัดเลือก ในรูปของความเข้มในการคัดเลือก (Falconer, 1989) ในการคัดเลือกสัตว์นั้นจะต้องทำการเก็บข้อมูลชั่งวัดลักษณะที่ปรากฏแล้วเลือกสัตว์ที่ดีที่สุดมาเป็นพ่อแม่พันธุ์ ค่าลักษณะที่ปรากฏนั้นไม่เพียงแต่เป็นข้อมูลด้าน Breeding value หรือ Additive value หากมีการเก็บข้อมูลของแต่ละครอบครัวของสัตว์ในประชากร ก็จะสามารถทราบค่าเฉลี่ยของครอบครัวสัตว์ตัวนั้น ๆ ได้ ซึ่งข้อมูลจะนำมาพิจารณาในการวางแผนการคัดเลือกได้ โดยลักษณะที่ปรากฏของสัตว์ตัวนั้นเป็นผลรวมของความแตกต่างของค่าเฉลี่ยครอบครัวสัตว์ตัวนั้น จากค่าเฉลี่ยของประชากรกับความแตกต่างของสัตว์ตัวนั้นจากค่าเฉลี่ยของครอบครัวสัตว์ตัวนั้น ซึ่งได้แบ่งวิธีการคัดเลือกออกเป็น 3 วิธี Falconer (1989) คือ

1. การคัดเลือกโดยดูลักษณะตัวเอง (Individual หรือ mass selection) เป็นการคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์โดยพิจารณาจากลักษณะที่ปรากฏ (Phenotype) ของสัตว์น้ำตัวนั้น ๆ เพียงอย่างเดียว ซึ่งการพิจารณาลักษณะที่ปรากฏดังกล่าวอาจพิจารณาเพียงลักษณะเดียวหรือหลายลักษณะก็ได้

ลักษณะที่ปรากฏของสัตว์น้ำที่นำมาพิจารณาในการคัดเลือก ได้แก่ ขนาดลำตัว รูปร่าง ลักษณะการเจริญเติบโต เป็นต้น

การคัดเลือกโดยดูลักษณะตัวเอง จะทำโดยการเปรียบเทียบลักษณะที่ปรากฏของสัตว์น้ำที่ต้องการคัดเลือกกับค่าเฉลี่ยลักษณะของประชากรสัตว์น้ำนั้น ถ้าลักษณะที่ต้องการของสัตว์น้ำดังกล่าวสูงกว่าค่าเฉลี่ยของสัตว์น้ำในประชากร ก็จะคัดเลือกสัตว์น้ำตัวนั้นไว้เป็นพ่อแม่พันธุ์ แต่ในการเปรียบเทียบนี้ต้องอยู่ใต้สภาวะแวดล้อมที่มีการควบคุม สัตว์น้ำต้องมีอายุเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน และทำในช่วงเวลาเดียวกัน ที่สำคัญต้องมีการบันทึกข้อมูลที่แม่นยำ วิธีการคัดเลือกนี้เป็นวิธีการคัดเลือกที่ง่าย เนื่องจากเป็นการพิจารณาลักษณะของสัตว์น้ำที่ต้องการคัดเลือกโดยตรง ไม่ต้องไปค้นหาข้อมูลจากแหล่งอื่นมาประกอบ (นวลมณี และคณะ, 2552)

2. การคัดเลือกโดยดูลักษณะครอบครัว (Family selection) โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของครอบครัว คือ จะคัดไว้หรือคัดทิ้งทั้งครอบครัว โดยครอบครัวเหล่านั้นควรเป็น full - sib หรือ half – sib การคัดเลือกวิธีนี้อาศัยหลักที่ว่า พันธุกรรมของปลาครอบครัวเดียวกันย่อมคล้ายคลึงกัน ดังนั้นความแปรปรวนที่เกิดขึ้นภายในครอบครัวจะเป็นผลของสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่างกันในปลาแต่ละตัว จะผสมพันธุ์เพื่อสร้างประชากรรุ่นต่อไป จะสุ่มปลาจำนวนหนึ่งในครอบครัวหรือจะนำมาใช้ทั้งครอบครัวก็ได้

3. การคัดเลือกโดยดูลักษณะภายในครอบครัว (Within family selection) โดยคัดเลือกปลาที่มีลักษณะที่ดีที่สุดจากทุกครอบครัวไว้ วิธีการคัดเลือกนี้จะช่วยลดพื้นที่ในการเลี้ยงปลา แต่ยังติดปัญหาความแตกต่างของสิ่งแวดล้อมระหว่างปลาต่างครอบครัว (อุทัยรัตน์, 2543)

นอกจากการคัดเลือกโดยดูจากลักษณะที่ปรากฏแล้วในการปรับปรุงพันธุ์สัตว์ ยังสามารถคัดเลือกสัตว์จากคุณค่าการผสมพันธุ์ที่ได้จากผลการทำนาย (Expected Breeding Value, EBV) ของสัตว์แต่ละตัวมาจัดเรียงลำดับ (Ranking) เพื่อใช้เป็นหลักเกณฑ์ในการคัดเลือกที่มีพันธุกรรมที่ดีไว้เป็นพ่อแม่พันธุ์ โดยคุณค่าการผสมพันธุ์ (Breeding Value, BV) หมายถึง ค่าของพันธุกรรมที่ถูกถ่ายทอดจากชั่วอายุหนึ่งไปอีกชั่วอายุหนึ่งโดยอิทธิพลของพันธุกรรมแบบบวกสะสม (Additive genetic effect) เป็นอิทธิพลอย่างหนึ่งที่แสดงได้ด้วยคุณค่าการผสมพันธุ์ ซึ่งสามารถทำนายได้จากการคำนวณจากบันทึกจาก แหล่งต่าง ๆ ของลักษณะปรากฏของสัตว์ทำให้สามารถจัดลำดับได้ตามความดีเด่นของลักษณะทางพันธุกรรม ซึ่งค่าประมาณคุณค่าการผสมพันธุ์ของสัตว์แต่ละตัวจะมีค่าเท่ากับค่าประมาณของ additive genetic effect

การจับคู่ผสมพันธุ์ปลานิลในการปรับปรุงพันธุ์ปลานิล

ปัจจุบันในการปรับปรุงพันธุ์ปลานิลจำเป็นต้องมีการจับคู่ผสมพันธุ์ปลานิล ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการประเมินความสามารถทางพันธุกรรม จำเป็นต้องมีการวางแผนจับคู่พ่อแม่พันธุ์เพื่อสร้างประชากรตั้งต้น จากนั้นจะได้ประเมินค่าทางพันธุกรรม เพื่อใช้ในการคัดเลือกได้อย่างแม่นยำต่อไป และหลังจากคัดเลือกพันธุ์ปลานิลแล้วต้องมีการวางแผนจับคู่ผสมพ่อแม่พันธุ์ปลาที่คัดไว้เพื่อให้ได้ลูกปลาที่มีการเจริญเติบโตดีตามที่คาดการณ์ไว้ แต่เนื่องจากปลานิลเพศผู้มีนิสัยดุร้าย มักจะทำร้ายเพศเมีย หากจับคู่ผสมพันธุ์ตามที่วางแผน ตัวผู้จะกัดและทำร้ายเพศเมียได้ โดยทั่วไปมีการตัดจะงอยปากเพศผู้เพื่อป้องกันการกัดทำร้าย ซึ่งเป็นวิธีการที่ทารุณสัตว์ ดังนั้นหากต้องการจับคู่ผสมพันธุ์ปลานิลจึงจาเป็นต้องออกแบบระบบผสมพันธุ์ให้สามารถจับคู่ผสมพันธุ์ได้อย่างต่อเนื่อง และตัวผู้ไม่กัดทำร้ายเพศเมีย ระบบนี้จะทำให้ได้ลูกพันธุ์ปลานิลที่ทราบพ่อแม่พันธุ์ เป็นระบบที่สามารถใช้ในการจับคู่พ่อแม่พันธุ์ปลานิลได้จานวนมากเพียงพอในระยะเวลา 1 เดือน ซึ่งจะทำให้สามารถผลิตลูกพันธุ์ได้หลาย ๆ ครอบครัว ซึ่งจะทาให้การประเมินค่าความสามารถทางพันธุกรรมทำได้อย่างแม่นยำ เป็นระบบที่สามารถใช้ในการผลิตลูกพันธุ์ปลานิลอินทรีย์ให้เจริญเติบโตดีได้โดยไม่ต้องใช้ฮอร์โมนแปลงเพศ เนื่องจากสามารถประเมินความสามารถทางพันธุกรรมได้อย่างแม่นยำ (นิสรา และปุญชรัศมิ์, 2561) ซึ่งจากการใช้ระบบจับคู่ผสมพันธุ์ปลานิลนี้สามารถทำให้สามารถผลิตลูกปลานิลในบ่อดินที่รู้พันธุ์ประวัติได้จำนวนถึง 139 ครอบครัวในระยะเวลา 1 เดือน ทำให้สามารถประเมินความสามารถทางพันธุ์กรรมเพื่อการคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์ที่จะให้ลูกที่โตดีขึ้นได้อย่างแม่นยำ (ปุญชรัศมิ์, 2562)

ตารางที่ 1 แสดงความแตกต่างระหว่างการผสมพันธุ์ในระบบดั้งเดิมกับระบบผสมพันธุ์ปลานิล

รายการ	ระบบดั้งเดิม	ระบบผสมพันธุ์ปลานิล
1. กระชังจับคู่ผสมพันธุ์ปลานิล	ผสมพันธุ์หมู่/หลายคู่ในกระชัง ทำให้ไม่ทราบพ่อแม่พันธุ์/ พันธุ์ประวัติ	ใช้กระชังจับคู่ผสมพันธุ์ในการจับคู่ผสมพันธุ์ปลานิลเป็นคู่ ๆ ได้โดยที่เพศผู้ไม่ทำร้ายเพศเมีย โดยออกแบบที่หลบซ่อนให้ปลาเพศเมีย และมีบริเวณให้พ่อแม่พันธุ์ได้ผสมพันธุ์ทำให้ได้ลูกพันธุ์ที่ทราบพันธุ์ประวัติเพื่อการประมาณค่าความสามารถทางพันธุกรรมเพื่อการคัดเลือกได้ต่อไป
2. ต้นทุนของระบบผสมพันธุ์	ใช้พ่อแม่พันธุ์จำนวนมากในกระชังผสมขนาดใหญ่	ใช้พ่อแม่พันธุ์จำนวนน้อย ในกระชังผสมพันธุ์ขนาดเล็กที่มีประสิทธิภาพ ต้นทุนต่อการผลิตต่อคู่ผสมต่ำ
3. ลดปัญหาการทารุณกรรมสัตว์	มีการตัดจะงอยปากพ่อพันธุ์ปลานิลเพื่อไม่ให้กัดทำร้ายเพศเมีย ซึ่งเป็นการทารุณกรรมสัตว์	ออกแบบที่หลบซ่อนให้ปลาเพศเมีย และมีบริเวณให้พ่อแม่พันธุ์ได้ผสมพันธุ์กันได้โดยไม่ทำร้ายสัตว์
4. การนำไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์	ระบบเดิมให้แม่พันธุ์ที่มีไข่ที่ได้รับการผสมพันธุ์เพียง 30 % ของแม่พันธุ์ปลานิลในระยะเวลา 1 เดือน	ระบบสามารถให้แม่พันธุ์ที่ได้รับการผสมพันธุ์ถึง 50% ในระยะเวลา 1 เดือน
5. การนำไปใช้เชิงวิจัย	ระบบเดิมทำร้าย/ ทารุณกรรมสัตว์ ไม่ผ่านจรรยาบรรณสัตว์ทดลอง ไม่ผ่านมาตรฐานการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอินทรีย์	ระบบกระชังผสมพันธุ์ไม่ทำร้าย/ทารุณกรรมสัตว์ ซึ่งสามารถพัฒนางานวิจัยเพื่อผลิตสายพันธุ์ปลานิลอินทรีย์ได้ต่อไป

ที่มา: ปุญชรัศมิ์ และนิสรา (2562)

การปรับปรุงพันธุ์ปลานิลในประเทศไทย

การปรับปรุงพันธุ์ปลานิลในประเทศไทย เริ่มจากพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงตระหนักถึงความสำคัญในด้านการอนุรักษ์และการปรับปรุงพันธุ์ปลา เพราะสังเกตเห็นปลานิลมีขนาดเล็กลงและโตช้า จึงมีพระราชดำริให้กรมประมงน้อมรับดำเนินการโดยใช้พ่อแม่พันธุ์จากสวนจิตรลดา โดยใช้วิธีการคัดเลือกแบบภายในครอบครัว (with–in family selection) จำนวน 5 ชั่วอายุ และได้ตั้งชื่อว่า “ปลานิลจิตรลดา 1” มีลักษณะประจำพันธุ์คือให้ผลผลิตสูงกว่าปลานิลสายพันธุ์ปกติ 22 เปอร์เซ็นต์ และอัตรารอดสูงกว่าปลาพันธุ์ปกติ 10 เปอร์เซ็นต์ ต่อมากรมประมงตระหนักถึงความสำคัญของปลานิลต่อธุรกิจการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของประเทศไทย จึงได้ให้การสนับสนุนงานวิจัยในการพัฒนาสายพันธุ์ปลานิลจนได้สายพันธุ์ปลานิลอีกสองสายพันธุ์ ได้แก่ “ปลานิลจิตรลดา 2” มีการพัฒนาพันธุ์มาจากปลานิลอียิปต์ ภายใต้การร่วมงานระหว่างสถาบันวิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำ University of Wales ประเทศสหราชอาณาจักร และ Central Luzon State University ประเทศฟิลิปปินส์ โดยการปรับเปลี่ยนพันธุกรรมในพ่อพันธุ์ให้มีโครโมโซมเพศเป็น “YY” ที่เรียกว่า “YY-male” หรือ “Supermale (ซูเปอร์เมล)” เมื่อนำพ่อพันธุ์ดังกล่าวไปผสมพันธุ์กับแม่พันธุ์ปกติ จะได้ลูกปลานิลเพศผู้ที่มีโครโมโซมเพศเป็น “XY” ที่เรียกว่า “Genetically Male Tilapia (GMT)” ซึ่งเรียกว่า “ปลานิลจิตรลดา 2” ในปี พ.ศ. 2531 หน่วยงาน International Center for Living Aquatic Resources Management (ICLARM) ณ สาธารรัฐฟิลิปปินส์ ได้พัฒนาสายพันธุ์ปลานิลให้มีความหลากหลายทางพันธุกรรม โดยรวบรวมสายพันธุ์ปลานิล จาก 8 ประเทศ ได้แก่ ไทย สิงค์โปร์ ไต้หวัน อิสราเอล อียิปต์ กานา เซเนกัล และเคนยา โดยผสมข้ามสายพันธุ์ จนได้ชื่อว่า ปลานิล “GIFT” ประเทศไทยได้มีการนำปลานิล “GIFT” รุ่นที่ 5 7 และ 9 เข้ามาปรับปรุงลักษณะการเจริญเติบโตโดยคัดเลือกแบบหมู่จำนวน 3 รุ่น ซึ่งผลจากการทดสอบพบว่าปลานิล GIFT รุ่นที่ 5 มีลักษณะเด่น หัวเล็ก เนื้อมาก และโตเร็ว จึงตั้งชื่อว่า “ปลานิลจิตรลดา 3” (กองวิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำจืด, 2561) และ “ปลานิลจิตรลดา 4” คัดพันธุ์มาจากปลานิลสายพันธุ์ GIFT รุ่นที่ 9 ของหน่วยงาน WorldFish โดยวิธีประเมินจากค่าการผสมพันธุ์ (EBV) ของน้ำหนัก จำนวน 2 ชั่วอายุและทดสอบการเลี้ยงในกระชัง ลักษณะเด่น คือ ส่วนหัวเล็ก ลำตัวกว้าง สันหนา มีการเจริญเติบโตเร็วและให้ผลผลิตสูง (นวลมณี และคณะ, 2552)

การปรับปรุงพันธุ์ปลานิลอินทรีย์ภายในประเทศไทย

ปัจจุบันลูกพันธุ์ส่วนใหญ่ที่นำมาเพาะเลี้ยงล้วนมาจากการแปลงเพศให้เป็นเพศผู้ทั้งสิ้น โดยระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำอินทรีย์นั้น มีความต้องการลูกพันธุ์ที่ดีโดยไม่มีการดัดแปลงทางพันธุกรรม ไม่มีการใช้ฮอร์โมนแปลงเพศ ตลอดจนไม่ใช้ยาและสารเคมีในระบบการผลิต ซึ่งกระบวนการพัฒนาลูกพันธุ์โดยวิธีการคัดเลือก/คัดพันธุ์ให้ได้สายพันธุ์ปลานิลอินทรีย์ที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในระบบไบโอฟลอคโดยไม่ต้องใช้ฮอร์โมนแปลงเพศ เป็นสิ่งสำคัญในการผลิตปลานิลอินทรีย์ด้วยระบบไบโอฟลอคที่มีคุณภาพโดย นิสรา และคณะ (2561) มีการประเมินค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักปลานิลอินทรีย์ภายใต้การเลี้ยงในระบบไบโอฟลอค จากการสร้างประชากรเริ่มต้น 109 ครอบครัว พบว่ามีค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักปลานิลต่างกันตามช่วงอายุ ที่อายุ 2- 3 เดือน 4 – 5 เดือน และ 6-8 เดือน มีค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักตัวเท่ากับ 0.05 ± 0.03, 0.40 ± 0.15 และ 0.46 ± 0.14 ตามลำดับ ซึ่งในช่วงอายุ 2-3 เดือน มีค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักตัวต่ำ แต่ในช่วงอายุ 4-5 เดือน และ 6-8 เดือน มีค่าอัตราพันธุกรรมสูง ค่าอัตราพันธุกรรมของความยาวทั้งหมด ที่ช่วงอายุ 6-8 เดือน มีค่าเท่ากับ 0.53 ± 0.14 มีค่าสูงเช่นเดียวกับน้ำหนักตัว แสดงให้เห็นว่าสามารถปรับปรุงพันธุ์โดยวิธีการคัดเลือกให้มีน้ำหนักตัวและความยาวเพิ่มขึ้นได้ และพบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อม ระหว่างปลานิลที่เลี้ยงด้วยแหนเป็ด และอาหารเม็ดสำเร็จรูป ซึ่งสามารถคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์ที่โตดีและน่าจะให้ลูกที่โตดีได้

อัตราพันธุกรรม (Heritability) และการประเมินค่าอัตราพันธุกรรม

ค่าอัตราพันธุกรรม (Heritability, h^2) คือ สัดส่วนความแปรปรวนของลักษณะที่ปรากฏอันเนื่องมาจากพันธุกรรม (Genetic) หรือเป็นค่าสัดส่วนความแปรปรวนของลักษณะที่ปรากฏที่สามารถถ่ายทอดจากพ่อแม่ไปสู่รุ่นลูกได้ (อุทัยรัตน์, 2543) อัตราพันธุกรรมสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท

อัตราพันธุกรรมทางแคบ (h^2 ; narrow-sense heritability) หาได้จาก $h^2 = V_A/V_P$ นำไปใช้ประโยชน์ในการวางแผนการคัดพันธุ์

อัตราพันธุกรรมทางกว้าง (h^2 ; broad-sense heritability) หาได้จาก $h^2 = V_G/V_P$ ค่านี้จะมีประโยชน์น้อยกว่า

ค่าอัตราพันธุกรรมจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1 และจะแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ

< 0.15	มีค่าอัตราพันธุกรรมต่ำ
0.15 – 0.3	มีค่าอัตราพันธุกรรมปานกลาง
>0.3	มีค่าอัตราพันธุกรรมสูง

ถ้ามีค่าอัตราพันธุกรรมปานกลางหรือสูง แสดงว่า ลักษณะที่ปรากฏนั้น ๆ เป็นผลมาจากการกำหนดพันธุกรรมของยีนบวก ดังนั้นควรคัดเลือกปลาที่มีลักษณะที่ดีมาเป็นพ่อแม่พันธุ์เพื่อจะได้ลูกที่มีลักษณะที่ดีด้วย ในทางกลับกันถ้ามีค่าอัตราพันธุกรรมต่ำ อาจเกิดจากผลของ V_D, V_I หรือผลจากสิ่งแวดล้อมที่ไม่สามารถปรับปรุงลักษณะที่ปรากฏนั้น ๆ ได้โดยการคัดเลือก นอกจากนี้อัตราพันธุกรรมยังมีประโยชน์ในการประเมินค่าการตอบสนองต่อการคัดเลือก (Response to Selection) และในกรณีที่ต้องการปรับปรุงลักษณะหลาย ๆ ลักษณะไปพร้อม ๆ กันจำเป็นที่จะต้องหาค่าดัชนีการคัดเลือก (Selection index) โดยใช้ค่าอัตราพันธุกรรมของลักษณะนั้น ๆ เป็นข้อมูลในการคำนวณร่วมกับข้อมูลอื่น ๆ เกี่ยวกับความสำคัญทางเศรษฐกิจ และสหสัมพันธ์ต่าง ๆ ที่เป็นเป้าหมายในการปรับปรุงพันธุ์ (อุทัยรัตน์, 2543)

การประเมินค่าอัตราพันธุกรรม สามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่

1. การวิเคราะห์ข้อมูลระหว่างเครือญาติ (Sib analysis) เป็นการผสมพันธุ์โดยการวางแผนให้ได้ปลาที่มีความสัมพันธ์ทางเครือญาตินะระดับที่ต่างกัน จะสามรถคำนวณหาค่า variance อันเนื่องมาจากปัจจัยต่าง ๆ ได้ แผนผสมพันธุ์ที่นิยมใช้ คือ nested design กำหนดให้พ่อพันธุ์แต่ละตัวผสมกับแม่พันธุ์หลาย ๆ ตัว และ diallel crossing ผสมแบบพบกันหมด

2. การวิเคราะห์สมการถดถอยของรุ่นลูกต่อรุ่นพ่อแม่ (Parent – offspring regression) คำนวณโดยอาศัยค่าเฉลี่ยของลูกที่ถูกกำหนดโดยค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ โดยการเก็บข้อมูลของพ่อหรือแม่ค่าเฉลี่ยระหว่างพ่อ-แม่ และค่าเฉลี่ยรุ่นลูกที่เกิดจากพ่อแม่แต่ละคู่ (อุทัยรัตน์, 2543)

3. การประเมินจากผลตอบสนองต่อการคัดพันธุ์ คำนวณจากอัตราพันธุกรรมจากผลการคัดพันธุ์จริง เรียกว่าอัตราพันธุกรรมประจักษ์ หากทำการคัดพันธุ์ไปแล้วสามารถศึกษาโดยการเปรียบเทียบประชากรที่ไม่ได้ผ่านการคัดเลือกเพาะพันธุ์กับประชาการที่ได้รับการคัดเลือกมาผสมพันธุ์ ซึ่งความแตกต่างของค่าเฉลี่ยสองประชากร คือ การตอบสนองต่อการคัดพันธุ์ (R) ส่วน ความแตกต่างในการคัดเลือก (S) สามารถคำนวณได้จากค่าเฉลี่ยของปลารุ่นที่คัดไว้ลบด้วยค่าเฉลี่ยของประชากรก่อนคัด

ปฏิกิริยาระหว่างพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อม (Genotype by environment interaction ; GxE)

คือ การแสดงออกของพันธุกรรมในสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน

ปฏิกิริยาระหว่างพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อม แบ่งออกได้ 2 ลักษณะ คือ เมื่อสิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลงส่งผลให้ระดับค่าการแสดงออกของพันธุกรรมเปลี่ยนแปลง และสิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลงส่งผลให้ลำดับการแสดงออกของพันธุกรรมเปลี่ยนแปลง การศึกษาปฏิกิริยาระหว่างพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อม สามารถศึกษาได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของพันธุกรรมสัตว์ที่ต่างกัน เมื่อนำมาเลี้ยงในสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน และจากค่าสหสัมพันธ์ของค่าการผสมพันธุ์ (อุทัยรัตน์, 2563)

การตอบสนองต่อการคัดเลือก (Response to selection ; R)

การตอบสนองต่อการคัดเลือก คือ ความแตกต่างระหว่างลักษณะของสัตว์ในประชากรรุ่นคัดพันธุ์กับประชากรรุ่นพ่อแม่ (Falconer, 1989) การศึกษาการตอบสนองต่อการคัดเลือกมีวิธีการที่นิยมปฏิบัติ 2 วิธี คือ

1. เปรียบเทียบกับปลากลุ่มควบคุม (Unselected control population) คือ สุ่มปลาจากประชากรพื้นฐาน โดยสุ่มทุกขนาดแล้วนำมาเลี้ยงแยกไว้ และทำการเพาะพันธุ์ปลาทั้งสองกลุ่ม คือ กลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ผ่านการคัดเลือก แล้วนำมาเลี้ยงในสภาพแวดล้อมเดียวกัน (อุทัยรัตน์, 2543)

2. การคัดเลือกแบบสองทิศทาง (Bidirectional selection) เพื่อที่จะลดปัญหาที่เกิดจากการใช้ประชากรควบคุม จึงใช้ประชากรที่ผ่านการคัดเลือกในทิศทางตรงกันข้ามกันเป็นประชากรเปรียบเทียบ โดยค่าการตอบสนองต่อการคัดเลือกเท่ากับความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประชากรที่คัดเลือกไว้ด้านบวกกับประชากรที่คัดเลือกไว้ด้านลบ แต่ในความเป็นจริง การตอบสนองต่อการคัดเลือกสองทิศทางนี้มักจะไม่เท่ากัน (Falconer, 1989) และการคัดเลือกทางลบมักจะตอบสนองดีกว่าการคัดเลือกทางบวก

ความก้าวหน้าทางพันธุกรรม

ผู้ผลิตมีความประสงค์พัฒนาพันธุกรรมสัตว์ให้ก้าวหน้า เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์และเป้าหมายของการปรับปรุงพันธุ์อย่างรวดเร็ว ซึ่งการพัฒนาจะมีความก้าวหน้าอย่างรวดเร็วหรือช้านั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก 4 ประการ ได้แก่ ความแม่นยำของการคัดเลือก (Accuracy of selection) ความเข้มของการคัดเลือก (Selection intensity) ความผันแปรทางพันธุกรรม (Genetic variation) และช่วงห่างระหว่างรุ่น (Generation interval)

1. ความแม่นยำของการคัดเลือก (Accuracy of selection) เป็นค่าที่แสดงประสิทธิภาพของการคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์เพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาศักยภาพทางพันธุกรรมในรุ่นลูก ถ้าค่าความแมนยำในการคัดเลือกมีค่าสูง ส่งผลให้ความก้าวทางพันธุกรรมเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว แต่ถ้าค่าความแม่นยำในการคัดเลือกต่ำ ส่งผลให้ความก้าวหน้าทางพันธุกรรมเกิดขึ้นช้า

ความแม่นยำของการคัดเลือกเป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พันธุกรรมที่แท้จริง กับพันธุกรรมที่ทำนายขึ้นของลักษณะนั้น ๆ ถ้าค่าทั้งสองมีความสัมพันธ์กันสูง การคัดเลือกก็จะมีความแม่นยำสูงด้วย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสัตว์ที่ถูกคัดเลือกมีความสามารถดีจริงตามที่เราได้คัดเลือกไว้ นอกจากนี้ ความแม่นยำของการคัดเลือกยังสามารถดูได้จากค่า อัตราพันธุกรรม ที่เกิดขึ้นในลักษณะของสัตว์นั้น ๆ ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของลักษณะที่ปรากฏ (Phenotypic values) และความสามารถทางพันธุกรรม (Breeding values) ถ้าอัตราพันธุกรรมมีค่าสูง ข้อมูลความสามารถของลักษณะที่ปรากฏ จะสามารถนำมาใช้แทนการคัดเลือกแบบความสามารถทางพันธุกรรมได้ดีพอสมควร

2. ความเข้มของการคัดเลือก (Selection intensity) แสดงให้เห็นถึงสัดส่วนของ จำนวนสัตว์ที่มีลักษณะดีที่สุดที่ถูกคัดเลือก เปรียบเทียบกับ จำนวนสัตว์ที่นำมาคัดเลือกทั้งหมด ถ้าคัดเลือกสัตว์ที่มีลักษณะดีที่สุดไว้น้อยกว่า จำนวนสัตว์ที่นำมาคัดเลือกทั้งหมด แสดงว่า มีความเข้มข้นของการคัดเลือกสูง ในทางกลับกันหากคัดเลือกสัตว์ที่มีลักษณะดีที่สุดไว้มากกว่าจำนวนสัตว์ที่นำมาคัดเลือกทั้งหมด แสดงว่ามีความเข้มข้นของการคัดเลือกต่ำ

3. ความผันแปรทางพันธุกรรม (Genetic variation) เป็นค่าที่แสดงถึงความแตกต่างของความสามารถทางพันธุกรรมของลักษณะสัตว์แต่ละตัว ถ้าสัตว์แต่ละตัวมีความแตกต่างทางพันธุกรรมมาก ความผันแปรทางพันธุกรรมก็จะมาก จะทำให้การคัดเลือกสัตว์ที่ดีที่สุดได้ง่าย ซึ่งจะมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าประชากร และความก้าวหน้าทางพันธุกรรมก็จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ในทางกลับกันสัตว์แต่ละตัวที่มีความแตกต่างทางพันธุกรรมน้อย ความผันแปรทางพันธุกรรมก็จะน้อย จะส่งผลให้คัดสัตว์ตัวที่ดีที่สุดได้ค่อนข้างยาก เพราะจะมีค่าเฉลี่ยไม่ค่อยแตกต่างจากกลุ่มประชากร จึงทำให้ความก้าวหน้าทางพันธุกรรมเกิดขึ้นได้ช้า

4. ช่วงห่างระหว่างรุ่น (Generation interval) หมายถึง ช่วงเวลาที่ต้องใช้สัตว์รุ่นหนึ่งทดแทนสัตว์อีกรุ่นหนึ่ง หรือประชากรปิด หรืออาจสื่อถึงอายุเฉลี่ยของพ่อแม่พันธุ์ เมื่อออกลูกที่ถูกคัดเลือก ถ้าใช้ระยะเวลาช่วงนั้นสั้น ๆ ความก้าวหน้าทางพันธุกรมก็จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว (ศกร, 2560)

เทคโนโลยีไบโอฟลอค (Biofloc technology) กับการเพาะเลี้ยงปลานิลอินทรีย์

เทคโนโลยีไบโอฟลอค (Biofloc technology) คือ การนำตะกอนจุลินทรีย์ มาช่วยในการย่อยสลายของเสียที่เหลือจากสัตว์น้ำกิน และการขับถ่ายของสัตว์น้ำ ให้กลายเป็นของที่มีประโยชน์ต่อสัตว์น้ำ ซึ่งของเสียเหล่านั้น จะถูกเปลี่ยนไปเป็น ฟลอค ฟลอค คือ กลุ่มโปรตีนและกลุ่มตะกอนจุลินทรีย์ที่รวมตัวกันเป็นก้อนที่ลอยอยู่น้ำ มีขนาด 50 – 1,000 µm (ศุภณัฐ และคณะ, 2561) และเป็นอาหารแก่สัตว์น้ำได้เป็นอย่างดี ตะกอนจุลินทรีย์ ประกอบไปด้วยกลุ่มของสาหร่าย แพลงก์ตอน

พืช โปรโตซัว และแบคทีเรีย โดยเฉพาะกลุ่มเฮทเทอโรโทรฟิค แบคทีเรีย (Heterotrophic Bacteria) ซึ่งแบคทีเรียกลุ่มนี้ไม่สามารถสร้างอาหารเองได้ ต้องใช้อาหารจากสารอินทรีย์ โดยการเปลี่ยนสารประกอบไนโตรเจน โดยเฉพาะแอมโมเนีย ให้เปลี่ยนรูปเป็นโปรตีนและกลุ่มจุลินทรีย์

ระบบไบโอฟลอค จะมีการคุมสัดส่วนของคาร์บอน และไนโตรเจน โดยการเติมอินทรีย์คาร์บอนลงในบ่อ เช่น กลูโคส แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด และกากน้ำตาล เป็นต้น ทำให้เกิดแบคทีเรียจำนวนมากในบ่อ และจะจำตัวรวมกันเกิดเป็นกลุ่มก้อนขนาดเล็ก และช่วยลดแอมโมเนียในน้ำ เปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่ไม่เป็นพิษ (ปรีดา และคณะ., 2554)

การนำเทคโนโลยีไบโอฟลอคมาใช้ในการเพาะเลี้ยงปลานิลอินทรีย์นั้น ช่วยลดการเปลี่ยนถ่ายน้ำ และมีการนำวัตถุดิบที่เป็นอินทรีย์ จากธรรมชาติหรือเกษตรอินทรีย์ไม่ต่ำกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ มาใช้ประโยชน์ และส่งผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด และปัจจุบันลูกพันธุ์ส่วนใหญ่ที่นำมาเพาะเลี้ยงล้วนมาจากการแปลงเพศให้เป็นเพศผู้ทั้งสิ้น ทั้งนี้เพื่อเป็นการยกระดับปลานิลเข้าสู่การเลี้ยงสัตว์น้ำอินทรีย์ โดยระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำอินทรีย์นั้น มีความต้องการลูกพันธุ์ที่ดีโดยไม่มีการดัดแปลงทางพันธุกรรม ไม่มีการใช้ฮอร์โมนแปลงเพศ ตลอดจนไม่ใช้ยาและสารเคมีในระบบการผลิต ซึ่งกระบวนการพัฒนาลูกพันธุ์โดยวิธีการคัดเลือก/คัดพันธุ์ให้ได้สายพันธุ์ปลานิลอินทรีย์ที่สามารถเติบโตดีได้ในระบบไบโอฟลอคโดยไม่ต้องใช้ฮอร์โมนแปลงเพศ เป็นสิ่งสำคัญในการผลิตปลานิลอินทรีย์ด้วยระบบไบโอฟลอคที่มีคุณภาพ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นวลมณี และคณะ (2552) ได้ศึกษาการคัดพันธุ์ปลานิลสายพันธุ์ GIFT โดยดูลักษณะตัวเองจากการเจริญเติบโต ระยะเวลา 2 ชั่วรุ่น โดยแบ่งประชากรออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มคัดพันธุ์และกลุ่มควบคุม พบว่าปลานิลสายพันธุ์ GIFT ที่อายุ 180 วัน กลุ่มคัดพันธุ์ รุ่นที่ 1 และ2 มีความยาวและน้ำหนักมากกว่ากลุ่มควบคุม มีค่าอัตราพันธุกรรมประจักษ์ของความยาวและน้ำหนักเท่ากับ 0.32 และ 0.35 ตามลำดับ ค่า Genetic gain ของความยาว รุ่นที่ 1 และ 2 อยู่ในช่วง 4.33 - 4.87 เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วอายุ ค่า Genetic gain ของน้ำหนัก รุ่นที่ 1 และ 2 อยู่ในช่วง 9.17 - 10.10 เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วอายุ

ศรีจรรยา และคณะ (2555) ได้ศึกษาการคัดเลือกปลานิลแดงสายพันธุ์อุตรดิตถ์ โดยดูลักษณะภายในครอบครัว (Within family selection) จำนวน 20 ครอบครัว ที่ได้คัดพันธุ์ไปได้ 2 รุ่น พบว่า ประชากรกลุ่มคัดเลือก มีความยาวและน้ำหนักมากกว่าประชากรกลุ่มควบคุม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.60 และ 14.68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีค่าตอบสนองของการคัดเลือกของความยาวและน้ำหนักตัวเท่ากับ 1.31 เซนติเมตร และ 38.52 กรัม ตามลำดับ และมีความแตกต่างของการคัดเลือกทั้งหมด

โดยความยาวและน้ำ หนัก มีค่า 5.89 เซนติเมตร และ 192.40 กรัม ตามลำดับ โดยในประชากรพื้นฐานก่อนการคัดเลือก อัตราพันธุกรรมของความยาวและน้ำหนัก มีค่าเท่ากับ 0.369 $\pm$ 0.064 และ 0.352 $\pm$ 0.021 ตามลำดับ ส่วนอัตราพันธุกรรมที่คำนวณได้จากค่าตอบสนองของการคัดเลือกของความยาวและน้ำหนักในรุ่นที่ 2 มีค่าเท่ากับ 0.136 และ 0.121 ตามลำดับ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการคัดเลือกโดยดูลักษณะภายในครอบครัวสามารถนำมาใช้คัดเลือกพันธุ์ เพื่อเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของปลานิลแดงสายพันธุ์อุตรดิตถ์ได้

Hamzah *et al.* (2014) ได้ศึกษาการคัดพันธุ์ปลานิลสายพันธุ์ GIFT โดยใช้วิธี Best Linear Unbiased Prediction (BLUP) เพื่อประเมินและคัดเลือกพันธุกรรม ทั้งสองกลุ่มถูกสร้างในปี 2545 กลุ่มคัดเลือกถูกเลือกตามคุณค่าการผสมพันธุ์ที่สูง และกลุ่มควบคุมถูกเลือกโดยค่าเฉลี่ยการผสมพันธุ์ของน้ำหนัก มีการประเมินค่าอัตราพันธุกรรมหลังการเก็บเกี่ยวของน้ำหนัก เท่ากับ 0.24 ± 0.031 ซึ่งแสดงว่ายังมีความหลากหลายทางพันธุกรรมและขอบเขตของการปรับปรุงพันธุ์ต่อไป การตอบสนองสะสมอยู่ที่ 107 % ในปี 2554 โดยเฉลี่ย 11.9% ต่อรุ่น สรุปได้ว่าการคัดเลือกปลานิลในนิวเคลียสของสายพันธุ์ GIFT ในมาเลเซีย ส่งผลให้มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นหลังการเก็บเกี่ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ยังคงมีความหลากหลายทางพันธุกรรมซึ่งเป็นขอบเขตสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพในการปรับปรุงของประชากรกลุ่มนี้

ปุญชรัศมิ์ (2562) และ ปุญชรัศมิ์ และนิสรา (2562) ได้ดำเนินการการปรับปรุงพันธุ์ปลานิลในเชิงพาณิชย์ ซึ่งจากการใช้ระบบจับคู่ผสมพันธุ์ปลานิลนี้สามารถทำให้สามารถผลิตลูกปลานิลที่รู้พันธุ์ประวัติได้จำนวนถึง 139 ครอบครัวในระยะเวลา 1 เดือนทำให้สามารถประเมินความสามารถทางพันธุ์กรรมเพื่อการคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์ที่จะให้ลูกที่โตดีขึ้นได้อย่างแม่นยำ ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการประมาณค่าอัตราพันธุ์กรรมของน้ำหนักปลานิลที่อายุ 2 และ 3 เดือนหลังจากฟัก โดยการประมาณค่าประชากรปลานิลเริ่มต้น 139 ครอบครัว องค์ประกอบความแปรปรวนถูกประมาณค่าด้วยด้วยวิธี Restricted maximum likelihood โดยใช้ Average information (Al) algorithm ร่วมกับแบบจำลองสัตว์ พบว่าค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักปลานิลมีความแตกต่างกันไปตามช่วงอายุ โดยที่อายุ 2 เดือนค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักตัวมีค่าเท่ากับ 0.014 ± 0.189 ที่อายุ 3 เดือนค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักตัวมีค่าเท่ากับ 0.197 ± 0.136 ซึ่งมีค่าปานกลางและมีค่ามากกว่าที่อายุ 2 เดือนและมีค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของน้ำหนักปลาที่ถูกเลี้ยงด้วยอาหารต่างชนิด มีค่าเท่ากับ 0.91 แสดงให้เห็นว่าไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อม

ศุภกิติ์ และคณะ (2563) ก็ได้ดำเนินการประมาณค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักปลานิลอินทรีย์ภายใต้การเลี้ยงในระบบไบโอฟลอค ที่อายุ 2 - 3 และ 4 - 5 เดือนหลังจากฟัก โดยมีประชากรทั้งหมด 100 ครอบครัว องค์ประกอบความแปรปรวนถูกประมาณค่าด้วยด้วยวิธี Restricted maximum likelihood โดยใช้ Average information (AI) algorithm ร่วมกับแบบจำลองสัตว์ พบว่าค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักตัวมีความแตกต่างไปตามช่วงอายุ ที่อายุ 2 - 3 เดือน มีค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักตัวเท่ากับ 0.05 ± 0.03 ซึ่งมีค่าต่ำ ส่วนที่อายุ 4 - 5 เดือน มีค่าอัตราพันธุกรรม เท่ากับ 0.58 ± 0.44 ซึ่งมีค่าสูง ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าสามารถปรับปรุงพันธุ์โดยวิธีการคัดเลือกให้มีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นได้

ยงยุทธ และคณะ (2554) ได้ศึกษาการประเมินค่าตอบสนองของการคัดเลือกของปลานิลจิตรลดาที่ปรับปรุงลักษณะการเจริญเติบโต โดยวิธีการคัดเลือกแบบหมู่ (Mass selection) ระยะเวลา 2 รุ่น พบว่า ปลานิลจิตรลดาอายุ 210 วัน ที่ผ่านการคัดเลือกมีค่าเฉลี่ยความยาว น้ำหนัก น้ำหนักเพิ่ม ต่อวัน และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงกว่าปลากลุ่มควบคุม มีค่าเท่ากับ 12.33 %, 35.62 %, 35.67 % และ 4.80 % ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (*P<0.05*) และการประเมินค่าตอบสนองของการคัดเลือกทั้งหมด (R) โดยความยาวและน้ำหนักมีค่าเท่ากับ 3.14 เซนติเมตร และ 123.85 กรัม ตามลำดับ และอัตราพันธุกรรมประจักษ์ (h^2_R) ที่เป็นผลมาจากการคัดพันธุ์มีค่าความยาวและน้ำหนักเท่ากับ 0.79 และ 0.59 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงแสดงถึงความเป็นไปได้ในการปรับปรุงพันธุ์ด้วยวิธีการคัดเลือกแบบหมู่ เพื่อปรับปรุงลักษณะการเจริญเติบโตของปลานิลจิตรลดา

Bentsen *et al.* (2017) ได้ศึกษาการคัดเลือกน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นของปลานิล ได้คัดจำนวน 5 รุ่น ตั้งแต่ พ.ศ. 2534 - 2539 ประชากรพื้นฐานสำหรับการคัดเลือกประกอบด้วยการผสมข้ามระหว่าง 3 และ 4 ทาง ซึ่งมาจากสายพันธุ์แอฟริกันในธรรมชาติ และสายพันธุ์เอเชียจากฟาร์มเลี้ยงโดยใช้วิธีผสมพันธุ์แบบเดี่ยว เลี้ยงแบบแยกกลุ่มและติดแท็กและบันทึกสายพันธุ์แยกกัน พ่อแม่คัดเลือกจากค่าดัชนีการคัดเลือกรวมถึงอายุ น้ำหนักตัวในช่วงเก็บเกี่ยว ของ full- sibs และ half-sibs ใช้ตัวผู้ 512 ตัวผสมกับตัวเมีย 941 ตัว โดยใช้การผสมพันธุ์แบบ nested design เพื่อให้ได้ลูก 81,429 ตัว เมื่อบันทึกน้ำหนักหลังจากการเก็บเกี่ยวมีลูกปลาเหลือ 56,633 ตัว การประมาณค่าของการตอบสนองต่อการคัดเลือกภายในรุ่นในสภาพแวดล้อมการทำฟาร์ม มีการตอบสนองต่อการคัดเลือกต่อรุ่น คือ 13.6% (ช่วง 9 - 20.1 %) ส่งผลให้มีการตอบสนองสะสมมากกว่า 5 รุ่น 88 % เมื่อเทียบกับประชากรพื้นฐาน วิเคราะห์แนวโนมทางพันธุกรรมตามคุณค่าการผสมพันธุ์ของ BLUP มีการตอบสนองสะสม 67 % องค์ประกอบทางพันธุกรรมเปลี่ยนไประหว่างการคัดเลือก สัดส่วนของบรรพบุรุษจากสามสายพันธุ์จากแอฟริกาเพิ่มขึ้น 59.7 เป็น 76.3 % ค่าสัมประสิทธิสะสมของการผสมพันธุ์เท่ากับ 7.1 % แสดงให้เห็นว่าการคัดเลือกซ้ำห้าชั่วอายุคนโดยอาศัยการตรวจสอบ

แบบรายตัวที่ติดแท็กและสายเลือดจากประชากรปลานิลที่เลี้ยงในฟาร์มจะค่อย ๆ เพิ่ม น้ำหนักตัวเมื่อเก็บเกี่ยว เพิ่มขึ้นทั้งหมด 67 – 88 % รายงานจากประชากรจากมากไปหาน้อยแสดงให้เห็นว่าการตอบสนองต่อการเลือกยังคงดำเนินต่อไปในช่วง N10 – 15 รุ่นต่อ ๆ ไป

Bolivar and Newkirk (2002) ได้ศึกษาการคัดเลือกภายในครอบครัว เพื่อการเจริญเติบโตของปลานิลที่ 16 สัปดาห์ ข้อมูลจากการคัด 12 รุ่น ถูกวิเคราะห์โดย RMLF ร่วมกับ แบบจำลองสัตว์ มีอัตราพันธุกรรมในประชากร เท่ากับ 0.385 มีการตอบสนองทางพันธุกรรมของน้ำหนักมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 2.2 กรัมต่อรุ่นหรือประมาณ 12.4 % มีค่าอัตราพันธุกรรมประจักษ์ 0.14 มีค่าสัมประสิทธิ์การผสมเลือดชิด 6.3 % หลังจาก 12 รุ่น ค่าเฉลี่ยการผสมพันธุ์ 0.525 % ต่อรุ่น มีการผสมพันธุ์แบบสลับครอบครัวมีประสิทธิภาพอัตราการผสมพันธุ์ต่ำถึงแม้จะมีความเข้มข้นในการคัดเลือกสูง มีความเข้มในการคัดเลือกและอัตราพันธุกรรมค่อนข้างสูงในช่วง 16 สัปดาห์ ทำให้เกิดการตอบสนองอย่างมากโดยใช้วิธีการคัดเลือกภายในครอบครัว

Charo-Karisa *et al.* (2006) ได้ศึกษาการประมาณค่าอัตราพันธุกรรมและการตอบสนองต่อการคัดเลือกปลานิลในบ่อดินที่มี low-input โดยคัดพันธุ์ปลานิล 2 รุ่น เพื่อดูการเจริญเติบโตในสภาพแวดล้อมที่มีโปรตีนต่ำ โดยใส่ปุ๋ยขี้ไก่แห้ง 50 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ทุกวันและไม่ให้อาหารเสริม ในการทดลองนี้ใช้ปลาทั้งหมด 6,429 ตัว มีอัตราการรอดจนถึงวันที่เก็บเกี่ยว 35 – 77% โดยมีผลจากน้ำหนักเริ่มต้น บ่อ และอายุ มีน้ำหนักเมื่อเก็บเกี่ยวในรุ่นปู่ย่าตายาย (G_0) เท่ากับ 67.4 กรัม ในรุ่น G_2 เท่ากับ 129.5 กรัม โดยได้รับผลจากน้ำหนักเริ่มต้น บ่อ เพศ และอายุ เนื่องจากรุ่นไม่ต่อเนื่องกันการประเมินค่าพารามิเตอร์ทางพันธุกรรมจึงถูกประเมินแยกในแต่ละปี ค่าการประมาณค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักเมื่อเก็บเกี่ยว อยู่ระหว่าง 0.38 - 0.60 และมีอัตราพันธุกรรมของอัตรารอดระหว่าง 0.03 – 0.14 มีผลตอบสนองต่อการคัดเลือกระหว่าง G_0 กับ G_1 เท่ากับ 23.4 กรัม (34.7%) G_1 กับ G_2 เท่ากับ 13.0 กรัม (14.9%)

Ponzoni *et al.* (2005) ได้ศึกษาพารามิเตอร์ทางพันธุกรรมและการตอบสนองต่อการเลือกน้ำหนักของปลานิล (Oreochromis niloticus) สายพันธุ์ GIFT รุ่นที่ 6 ที่เกิดลูกหลานในฤดูวางไข่ ปี 2545 และ 2546 โดยใช้แบบจำลองทางสถิติเพื่อประเมินคุณค่าการผสมพันธุ์ (EBV) องค์ประกอบของความแปรปรวน และการตอบสนองต่อการคัดเลือก พ่อแม่พันธุ์ที่ใช้ในปี 2546 จะคัดเลือกจากคุณค่าการผสมพันธุ์ (EBV) ของน้ำหนักตัวที่อายุ 7 เดือน ให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยมากที่สุด โดยงานวิจัยนี้จะแบ่งออก 2 กลุ่มคือกลุ่มคัดเลือกกับกลุ่มควบคุม มีอัตราพันธุกรรมที่ประเมินจากองค์ประกอบของความแปรปรวนตัวของสัตว์ เท่ากับ 0.34 (s.e. 0.069) มีอิทธิพลสุ่มของสิ่งแวดล้อมร่วมสำหรับเครือญาติของแม่ที่ประเมินจากความแปรปรวนของแม่เท่ากับ 0.15 (s.e. 0.031) การประเมินผลตอบสนองต่อการคัดเลือกแบ่งออกเป็น 3 วิธี ได้แก่ เปรียบเทียบ least squares means ของน้ำหนักตัวระหว่างกลุ่มคัดเลือกกับกลุ่มควบคุมของรุ่นลูกในปี 2546 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 8.4

เปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบคุณค่าการผสมพันธุ์ของน้ำหนักตัวระหว่างรุ่นลูกในปี 2545 กับกลุ่มคัดเลือกในปี 2546 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 8.7 เปอร์เซ็นต์และเปรียบเทียบคุณค่าการผสมพันธุ์ระหว่างกลุ่มคัดเลือกกับกลุ่มควบคุมของรุ่นลูกในปี 2546 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 11.4 เปอร์เซ็นต์สรุปได้ว่า ปลานิลสายพันธุ์ GIFT ถึงแม้จะผ่านการคัดเลือกมาหลายชั่วอายุแต่ก็ยังคงมีความแปรปรวนเนื่องจากพันธุกรรมแบบบวกสะสมและสามารถตอบสนองต่อการคัดเลือกต่อไปได้

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุและอุปกรณ์

1. กระชัง ขนาด 2 x 2 เมตร
2. กระชัง ขนาด 1 x 1 เมตร
3. กระชัง ขนาด 4 x 6 เมตร
4. ระบบเครื่องให้อากาศ (ปั้มลม ท่อลม แอร์ฟลอค)
5. ตาข่ายพรางแสง
6. บ่อผ้าใบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 เมตร
7. ไมโครชิฟ และเครื่องอ่านไมโครชิฟ
8. เครื่องชั่งดิจิตอล
9. อาหารปลานิลสำเร็จรูป (อินทรีย์)
10. สวิง ถังน้ำ สายยาง และอุปกรณ์ขนาดเล็ก
11. ระบบฟักไข่ปลานิล (กระบะพลาสติก ท่อพีวีซี แก้วพลาสติก)
12. อุปกรณ์ทำไบโอฟลอค (หัวเชื้อจุลินทรีย์ รำละเอียด กากน้ำตาล)
13. สวิง ถังน้ำ ขันตักน้ำ

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์

คัดเลือกพ่อแม่พันธุ์กลุ่มคัดเลือก (selection) จากการเรียงลำดับค่าคุณค่าผสมพันธุ์ (EBV) ของน้ำหนักตัวปลาในรุ่นที่ 1 จากการประเมินค่าทางพันธุกรรมจาก ศุภกิตติ์ และคณะ (2563) โดยคัดเลือกปลานิลเพศผู้จำนวน 50 ตัว เพศเมีย 200 ตัว ส่วนกลุ่มควบคุม (control) จะสุ่มปลานิลเพศผู้จำนวน 50 ตัว เพศเมีย 200 ตัวจากประชากรปลาในรุ่นที่ 1 เช่นเดียวกัน

2. การจับคู่ผสมพันธุ์

กลุ่มคัดเลือก (Selection) ใส่พ่อพันธุ์ 1 ตัวต่อ แม่พันธุ์ 4 ตัว โดยที่ไม่มีความสัมพันธ์ทางเครือญาติ ลงในกระชังขนาด 2 x 2 เมตร จำนวน 50 กระชัง ที่กางอยู่ในบ่อดิน โดยใช้วิธีการผสมพันธุ์แบบธรรมชาติ ในระบบจับคู่ผสมพันธุ์ปลานิล อนุสิทธิบัตรเลขที่คำขอ 1803001978. วันที่ขอ 31 สิงหาคม 2561 (นิสรา และปุญชรัศมิ์, 2561) ส่วนกลุ่มควบคุม (Control) ใส่พ่อพันธุ์ 50 ตัวต่อแม่พันธุ์ 200 ตัว ในกระชัง ขนาด 4 x 6 เมตร จำนวน 2 กระชัง โดยใช้วิธีการผสมพันธุ์แบบธรรมชาติเช่นเดียวกัน และให้อาหาร 2 มื้อต่อวัน โดยใช้อาหารปลานิลสำเร็จรูปแบบเม็ด (อินทรีย์)

3. การฟักและการอนุบาลลูกปลา

หลังจากจับคู่ผสมพันธุ์เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ ทำการเช็คแม่ปลาสัปดาห์ละ 1 ครั้ง โดยใช้วิธีการเคาะไข่จากปากแม่ปลา และนำมาฟักในระบบฟัก โดยให้ไข่เคลื่อนที่ตลอดเวลาจนฟักและเป็นลูกปลาเต็มวัย (swim-up) จึงนำลูกปลามานับให้ครบ 400 ตัว ชั่งน้ำหนัก และนำมาอนุบาลกระชังขนาด 1 x 1 เมตร ในบ่อผ้าใบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 เมตร ซึ่งเตรียมและสร้างระบบไบโอฟลอคไว้ โดยใส่ลูกปลา 1 ครอบครัวต่อ 1 กระชัง และให้อาหารปลานิลสำเร็จรูปแบบเกล็ด (อินทรีย์) 2 มื้อต่อวัน และเลี้ยงจนลูกปลามีน้ำหนักเฉลี่ย 5 กรัม (อายุประมาณ 2 - 3 เดือน) เพื่อนำมาติดเครื่องหมายไมโครชิฟ

4. การติดเครื่องหมายไมโครชิฟและการเลี้ยง

นำลูกปลาขนาดเฉลี่ย 5 กรัม (ลูกปลาอายุประมาณ 2 - 3 เดือน) จำนวน 50 - 100 ตัวต่อครอบครัวที่อนุบาลแยกในกระชัง 1 x 1 เมตร มาติดเครื่องหมาย ด้วย PIT tag (Microchip) และชั่งน้ำหนักแล้วนำไปเลี้ยงรวมกันตามชุดที่ติดเครื่องหมายในวันเดียวกัน ส่วนลูกปลากลุ่มควบคุม จำนวน 50 - 100 ตัว จะไม่ติดเครื่องหมายและนำไปเลี้ยงรวมกันตามชุดที่เคาะไข่ในวันเดียวกันหรือฟักในสัปดาห์เดียวกัน เลี้ยงต่อจนติดเครื่องหมายครบทุกครอบครัว จะมีอายุ 3 - 4 เดือน นำมาชั่งน้ำหนักและแยกใส่กระชัง 2 x 2 เมตร จำนวน 8 กระชัง ทั้งกลุ่มคัดเลือกและกลุ่มควบคุม จากนั้นย้ายมาใส่กระชัง 4 x 6 เมตร จำนวน 8 กระชัง โดยแบ่งเลี้ยงในระบบไบโอฟลอค และกระชังในบ่อดินอย่างละ 4 กระชัง โดยปล่อยกระชังละ 400 – 500 ตัว ให้อาหาร 2 มื้อ 3 - 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว โดยใช้อาหารปลานิลสำเร็จรูป (อินทรีย์) โปรตีน 35 เปอร์เซ็นต์ เลี้ยงเป็นเวลา 5 - 6 เดือน จากนั้นเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผล

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

การประเมินค่าทางพันธุกรรม

ปลาที่ทดลองจะถูกเก็บข้อมูล เพื่อการประเมินค่าทางพันธุกรรม ได้แก่ ค่าอัตราพันธุกรรม ค่าคุณค่าการผสมพันธุ์ (EBV) ของลักษณะที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต ซึ่งได้แก่ น้ำหนักตัว ความยาวตัว จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติเบื้องต้นด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS (SAS statistical computer package) และวิเคราะห์องค์ประกอบความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้แบบจำลองสัตว์ (animal model) ซึ่งโมเดลที่ใช้เขียนอธิบายได้ในรูปเมทริกซ์ ดังนี้

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\,\mathbf{b} + \mathbf{Z}\,\mathbf{a} + \mathbf{W}\,\mathbf{c} + \mathbf{e}$$

เมื่อ **y** คือ เวกเตอร์ของลักษณะที่ทำการศึกษาในแต่ละช่วงอายุ

อายุ 2-3 และ 3-4 เดือน ได้แก่ น้ำหนักตัว

อายุ 9-10 เดือน ได้แก่ น้ำหนักตัว และความยาว

b คือ เวกเตอร์ของอิทธิพลคงที่ (Fixed effect) ในแต่ละช่วงอายุ

อายุ 2 -3 เดือน ได้แก่ ความหนาแน่น วันที่ฟักและอายุที่ติดเครื่องหมายไมโครชิป

อายุ 3-4 เดือน ได้แก่ ความหนาแน่น ชุดที่ติดเครื่องหมายไมโครชิฟ และอายุ

อายุ 9-10 เดือน ได้แก่ เพศของปลา สายคัดเลือกและสายควบคุม

a คือ เวกเตอร์ของอิทธิพลสุ่มสำหรับตัวสัตว์ (Animal additive genetic effects)

c คือ เวกเตอร์ของอิทธิพลสุ่มของสภาพแวดล้อมร่วมสำหรับสัตว์ครอบครัวเดียวกัน (Common environmental effect) ได้แก่ สภาพสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระชังที่ใช้เลี้ยงปลาแยกกันในแต่ละครอบครัว

e คือ เวกเตอร์ของอิทธิพลสุ่มส่วนที่เหลือ (Random residual effects) และ **X, Z** และ **W** เป็นอินซิเดนซ์เมทริกที่เชื่อมโยงกับข้อมูลกับอิทธิพลคงที่ ในเวกเตอร์ **b** อิทธิพลสุ่มสำหรับสัตว์ ในเวกเตอร์ **a** และอิทธิพลสุ่มในเวกเตอร์ **c** ตามลำดับ

โดยมีสมมติฐานดังนี้

$$\begin{bmatrix} y \\ a \\ c \\ e \end{bmatrix} \sim \text{NID}, \left(\begin{bmatrix} X\beta \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} Z\,G\,Z' + W\,C\,W' + R & Z\,G' & WC' & R \\ G\,Z' & G & 0 & 0 \\ C\,W' & 0 & C & 0 \\ R & 0 & 0 & R \end{bmatrix} \right)$$

เมื่อ $G = A\sigma_a^2$

ซึ่ง A คือ numerator relationship matrix (Henderson, 1976)

C คือ common environmental matrix โดย C = $I\sigma_c^2$

R คือ residual variance matrix โดย R= $I\sigma_e^2$

องค์ประกอบของความแปรปรวน สำหรับลักษณะแต่ละลักษณะ ถูกประมาณค่าโดยใช้วิธี restricted maximum likelihood procedure (REML) โดยใช้ average information (AI) algorithm ร่วมกับแบบจำลองสัตว์ (animal model) ที่กล่าวมาข้างต้น ในช่วงอายุ 2-3 และ 3-4 เดือน วิเคราะห์ข้อมูลทีละลักษณะ (Single trait analysis) ในแต่ละช่วงอายุ จากนั้นจึงนำค่าดังกล่าวไปคำนวณค่าอัตราพันธุกรรม ค่าคุณค่าการผสมพันธุ์ (EBV) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ASREML (Gilmour *et al*., 2002)

ในขณะที่ ช่วงอายุ 9-10 เดือน วิเคราะห์ข้อมูลแบบ Bivariate trait analysis เพื่อพิจารณาค่าอิทธิพลร่วมระหว่างพันธุกรรมกับสิ่งแวดล้อมที่ถูกนำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ การวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรม (genotypic correlation) ของปลาแต่ละครอบครัวที่ถูกเลี้ยงด้วยสภาพแวดล้อมต่างกัน ได้แก่ ในระบบไบโอฟลอค และกระชังที่แขวนในบ่อดิน การคำนวณค่าอัตราพันธุกรรม ค่าคุณค่าการผสมพันธุ์ (EBV) และสหสัมพันธุ์ทางพันธุกรรมโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ASREML (Gilmour *et al*., 2002)

ประเมินผลตอบสนองต่อการคัดเลือกของลักษณะการเจริญเติบโตของปลานิล

นำข้อมูลปลานิลที่ทำการคัดเลือกมาคำนวณความเข้มข้นของการคัดเลือก (Selection intensity, i) ตามสูตร

$$i = S / \sigma_p$$

โดย S = ความแตกต่างในการคัดเลือก

σ_p = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของลักษณะปรากฏ

ค่าทำนายผลตอบสนองต่อการคัดเลือก (Response to selection, R) คำนวนได้จาก

$$R = Sh^2$$

โดย S = ความแตกต่างในการคัดเลือก

h^2 = ค่าอัตราพันธุกรรม (heritability)

ค่าผลตอบสนองต่อการคัดเลือก หลังจากคัดพันธุ์ไปแล้ว 1 รุ่น คำนวณได้จาก

R = LsMean กลุ่มคัดเลือก – LsMean กลุ่มควบคุม

ระยะเวลาการวิจัยและสถานที่ดำเนินงาน

ระยะเวลา ระยะเวลา 15 เดือน ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2563 – เดือนมิถุนายน 2564

สถานที่ดำเนินงาน คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

การจับคู่ผสมพันธุ์

จากการจับคู่ผสมพันธุ์ปลานิลอินทรีย์ในรุ่นที่ 2 ที่ได้จากคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์รุ่นที่ 1 จากงานวิจัยของศุภกิติ์ (2567) เพื่อนำมาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตกับกลุ่มควบคุม โดยกลุ่มคัดเลือกจะคัดเลือกแม่พันธุ์จำนวน 200 ตัว และพ่อพันธุ์ 50 ตัว จับคู่ผสมพันธุ์ในกระชัง 50 กระชัง แต่ละกระชังใส่เพศผู้ 1 ตัวต่อเพศเมีย 4 ตัวและกลุ่มควบคุม (ไม่คัดเลือก) สุ่มแม่พันธุ์จำนวน 100 ตัว และพ่อพันธุ์จำนวน 25 ตัวต่อกระชัง จำนวน 2 กระชัง และปล่อยให้ผสมพันธุ์แบบสุ่ม โดยใช้ระยะเวลาในการผสมพันธุ์ 4 เดือน (จากเดือนกรกฎาคม – ตุลาคม 2563) พบแม่ปลาที่มีไข่จำนวน 340 คู่ แบ่งเป็นคู่ผสมที่มาจากกลุ่มคัดเลือกจำนวน 113 ตัวคิดเป็น 56.5 เปอร์เซ็นต์ จากจำนวนแม่ปลา 200 ตัว โดยจะมาจากการผสมจากพ่อพันธุ์จำนวน 45 ตัวคิดเป็น 90 เปอร์เซ็นต์ จากพ่อปลาจำนวน 50 ตัวซึ่งประกอบไปด้วย

คู่ผสมที่มาจากพ่อพันธุ์ 1 ตัวผสมกับแม่พันธุ์ 1 ตัวเท่ากับ 6 คู่ (6 full sib families)

คู่ผสมที่มาจากพ่อพันธุ์ 1 ตัวผสมกับแม่พันธุ์ 2 ตัวเท่ากับ 16 คู่ (16 half sib/32 full sib families)

คู่ผสมที่มาจากพ่อพันธุ์ 1 ตัวผสมกับแม่พันธุ์ 3 ตัวเท่ากับ 17 คู่ (17 half sib/51 full sib families)

คู่ผสมที่มาจากพ่อพันธุ์ 1 ตัวผสมกับแม่พันธุ์ 4 ตัวเท่ากับ 6 คู่ (18 half sib/ 24 full sib families)

คู่ผสมที่มาจากกลุ่มควบคุม กระชังที่ 1 จำนวน 72 คู่ และกระชังที่ 2 จำนวน 23 คู่

เมื่อนำปลาขึ้นมาฟักในระบบฟักไข่โดยแยก 1 แม่ ต่อ 1 กรวยฟัก ระยะเวลาในการฟัก 5 – 7 วัน จึงนำลูกปลาลงกระชังอนุบาล พบว่า มีลูกปลาที่ฟักเป็นตัวจำนวน 110 ครอบครัว คิดเป็น 42.25 % เนื่องจากไข่ที่ฟักส่วนมากอยู่ในระยะ no development visible และระยะ eyed egg อีกทั้งระบบฟักไข่มีปัญหาเรื่องการอุดตันของตะกอน ระบบจ่ายน้ำ และมีไฟฟ้าดับในบางช่วง ทำให้ไข่เสียจึงไม่สามารถพัฒนาเป็นระยะ swim-up ได้จึงทำให้ลูกปลาเหลือรอดเพียง 110 ครอบครัว จาก 261 ครอบครัว

การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา

จากการอนุบาลลูกปลาจนอายุ 2–3 เดือน พบว่าจำนวนปลาทั้งหมด 70 ครอบครัว มีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 4.70 กรัม และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.13 กรัม ซึ่งปลามีขนาดที่แตกต่างกันมากเนื่องจากมีอายุที่แตกต่างกัน โดยอายุเมื่อติดเครื่องหมายจึงถูกพิจารณาเป็นปัจจัยกำหนดในการประเมินค่าในโมเดลด้วย

หลังจากติดเครื่องหมายครบแล้วจึงเลี้ยงปลารวมกันเป็นชุด ๆ (จำนวน 17 ชุด) ตามชุดที่ติดเครื่องหมายไมโครชิพในวันเดียว เป็นระยะเวลา 6-8 สัปดาห์ จนปลามีอายุ 3-4 เดือน มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 12.28 กรัม และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.13 กรัม จากนั้นจึงสุ่มปลาที่เกิดจากกลุ่มคัดเลือกจากทุก ๆ ครอบครัว และนำมาแยกใส่กระชัง และเลี้ยงรวมกับกลุ่มควบคุม จำนวน 8 กระชัง โดยเลี้ยงในบ่อดิน 4 กระชัง และในระบบไบโอฟลอค 4 กระชัง เลี้ยงต่อจนมีอายุ 9-10 เดือน เหลือปลาจำนวน 63 ครอบครัว ซึ่งมีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 123.16 กรัม มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 46.79 กรัม และมีความยาวเฉลี่ย 201.64 กรัม และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 26.62 กรัม

การวิเคราะห์ความแปรปรวน

เมื่อเลี้ยงปลาอายุครบ 2 - 3 เดือน จำนวน 70 ครอบครัว พบว่าอิทธิพลที่มีผลต่อน้ำหนักปลานิลที่อายุ 2-3 เดือน ได้แก่ แม่พันธุ์ (Dam No), พ่อพันธุ์ (Sire No), กระชังที่ใช้เลี้ยงปลาแต่ละครอบครัว (Hapa No), กลุ่มความหนาแน่น (Density Group) และกลุ่มระยะเวลาที่ปล่อยลงเลี้ยงในกระชัง (Hatching Group) หลังจากติดเครื่องหมายแล้วจะเลี้ยงปลารวมแต่ละครอบครัวในแต่ละชุดรวมกันเป็นชุด ๆ ตามชุดที่ติดเครื่องหมายไมโครชิพในวันเดียวกัน

หลังจากเลี้ยงปลาจนอายุ 3 - 4 เดือน จำนวน 64 ครอบครัว พบว่าอิทธิพลที่มีผลต่อน้ำหนักปลานิลที่อายุ 3 - 4 เดือน ได้แก่ กลุ่มคัดเลือกและกลุ่มควบคุม (Line) ลำดับกระชังที่เลี้ยงรวมระหว่างติดเครื่องหมาย (CageNo) อายุ (Age) และกลุ่มที่เลี้ยงในกระชัง (CageBatch) หลังจากนั้นนำมาแยกใส่กระชังละเท่า ๆ กัน โดยจะเลี้ยงรวมกับกลุ่มควบคุม จำนวน 8 กระชัง โดยเลี้ยงในบ่อดิน 4 กระชัง และในระบบไบโอฟลอค 4 กระชัง จนมีอายุ ครบ 9 - 10 เดือน พบว่าอิทธิพลที่มีผลต่อน้ำหนักและความยาวปลานิลที่อายุ 9 - 10 เดือน ได้แก่ อายุวันที่เก็บผลผลิตสุดท้าย (Harvest Age) กระชังที่ใช้เลี้ยงปลา (Cage) สิ่งแวดล้อม (Env) กลุ่มคัดเลือกและกลุ่มควบคุม (Line) และเพศ (Sex) ซึ่งแสดงในตาราง ดังนี้

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (PROC GLM) พบว่าอิทธิพลที่มีผลต่อน้ำหนักปลานิลที่อายุ 3 – 4 เดือนได้แก่ กลุ่มคัดเลือกและกลุ่มควบคุม (Line) ลำดับกระชังที่เลี้ยงรวมระหว่างติดเครื่องหมาย (CageNo) อายุ (Age) และกลุ่มที่เลี้ยงในกระชัง (CageBatch) (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ความแปรปรวนของน้ำหนักปลานิลที่อายุ 3 – 4 เดือน

Source of Variance	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Line	1	7848.40078	7848.40078	257.35	<.0001
CageNo	29	22140.55096	763.46727	25.03	<.0001
Age	9	1142.93344	126.99260	4.16	<.0001
CageBatch	8	433.64948	54.20618	1.78	0.0768

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (PROC GLM) พบว่าอิทธิพลที่มีผลต่อน้ำหนัก และความยาวปลานิลที่อายุ 9 – 10 เดือน ได้แก่ อายุวันที่เก็บผลผลิตสุดท้าย (Harvest Age) กระชังที่ใช้เลี้ยงปลา (Cage) สิ่งแวดล้อม (Env) กลุ่มคัดเลือกและกลุ่มควบคุม (Line) และเพศ (Sex) (ตารางที่ 3 - 4)

ตารางที่ 3 ความแปรปรวนของน้ำหนักปลานิลที่อายุ 9 – 10 เดือน

Source of Variance	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Harvest Age	36	328884.5304	9135.6814	4.78	<.0001
Cage	7	115734.1376	16533.4482	8.65	<.0001
Env	1	10030.6376	10030.6376	5.25	0.0221
Line	1	50286.9410	50286.9410	26.31	<.0001
Sex	1	47085.4773	47085.4773	24.63	<.0001

ตารางที่ 4 ความแปรปรวนของความยาวปลานิลที่อายุ 9 – 10 เดือน

Source of Variance	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
HarAge	36	128672.6583	3574.2405	5.33	<.0001
Cage	7	33881.8785	4840.2684	7.21	<.0001
Env	1	1319.7050	1319.7050	1.97	0.1609
Line	1	21293.7262	21293.7262	31.74	<.0001
Sex	1	12400.1616	12400.1616	18.48	<.0001

การประเมินค่าอัตราพันธุกรรม

ค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักปลาที่อายุ 2 – 3 เดือน มีค่าเท่ากับ 0.03 ± 0.06 ซึ่งมีค่าต่ำ ที่อายุ 3 - 4 เดือน มีค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักตัว เท่ากับ 0.16 ± 0.04 ซึ่งมีค่าอยู่ในระดับปานกลางแต่สูงกว่าช่วงอายุ 2-3 เดือน (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ย และค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักปลานิลที่อายุ 2 - 3 และ 3 - 4 เดือน ของปลานิลรุ่นที่ 2

อายุ	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม) ± S.D.	ค่าอัตราพันธุกรรม ± S.E.
2-3 เดือน	4.67 ± 4.13	0.03 ± 0.06
3-4 เดือน	9.55 ± 6.66	0.16 ± 0.04

จากการประเมินค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักปลานิลอินทรีย์ภายใต้การเลี้ยงในระบบไบโอฟลอค โดยการประมาณค่าจากประชากรปลานิลรุ่นที่ 2 จำนวน 70 ครอบครัว (อายุ 2 – 3 เดือน) และ 64 ครอบครัว (อายุ 3 - 4 เดือน) พบว่ามีค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักตัวแตกต่างกันไปตามช่วงอายุ ที่อายุ 2 – 3 เดือน มีค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนัก เท่ากับ 0.03 ± 0.06 ซึ่งมีค่าต่ำ ที่อายุ 3 - 4 เดือน มีค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนัก เท่ากับ0.16 ± 0.04 ซึ่งมีค่าอยู่ในระดับปานกลาง แต่สูงกว่าช่วงอายุ 2-3 เดือน เช่นเดียวกับการศึกษาของปุญชรัศมิ์ และนิสรา (2562) ที่อายุ 2 เดือน มีค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักตัว เท่ากับ 0.09 ± 0.03 ที่อายุ 3 เดือน มีค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักตัว เท่ากับ 0.57 ± 0.30 ซึ่งมีค่าสูง และสูงกว่าช่วงอายุ 2 เดือน เช่นเดียวกับงานวิจัยของศุภกิตติ์ และคณะ (2563) ได้ศึกษาการประมาณค่าอัตราพันธุกรรมของปลานิลอินทรีย์

ภายใต้การเลี้ยงในระบบไบโอฟลอค พบว่าค่าอัตราพันธุกรรมมีแตกต่างกันไปตามแต่ละช่วงอายุ ค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักที่อายุ 2 – 3 เดือน มีค่าเท่ากับ 0.05 ± 0.03 ซึ่งมีค่าต่ำ ที่อายุ 4 – 5 เดือน มีค่าเท่ากับ 0.40 ± 0.15 ซึ่งมีค่าสูง และมีค่ามากว่าอายุ 2 – 3 เดือน เช่นเดียวกับการประมาณค่าอัตราพันธุกรรมของ Charo-Karisa *et al.* (2006) ที่ได้ประมาณค่าอัตราพันธุกรรมของลักษณะน้ำหนักตัวปลาที่อายุ 42 วัน มีค่าต่ำซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.01 ± 0.06 และพบว่าความแปรปรวนเนื่องมาจาก สภาพแวดล้อมสำหรับสัตว์ครอบครัวเดียวกัน (common environmental effect; c2) มีค่าสูงซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.36 ± 0.05 และอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักเมื่อเก็บเกี่ยวมีค่าสูงขึ้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.38 - 0.60

ค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักและความยาวปลาที่อายุ 9 – 10 เดือน ในระบบโอฟลอคมีค่าเท่ากับ 0.56 ± 0.10 และ 0.55 ± 0.10 ตามลำดับ ในบ่อดินมีค่าเท่ากับ 0.32 ± 0.09 และ 0.41 ± 0.10 ตามลำดับ พบว่าในระบบไบโอฟลอค มีค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักและความยาวสูงกว่าบ่อดิน (ตารางที่ 6) โดยการกระจายตัวของน้ำหนักและความยาวในกลุ่มคัดเลือกและกลุ่มควบคุม (ภาพที่ 1 - 2)

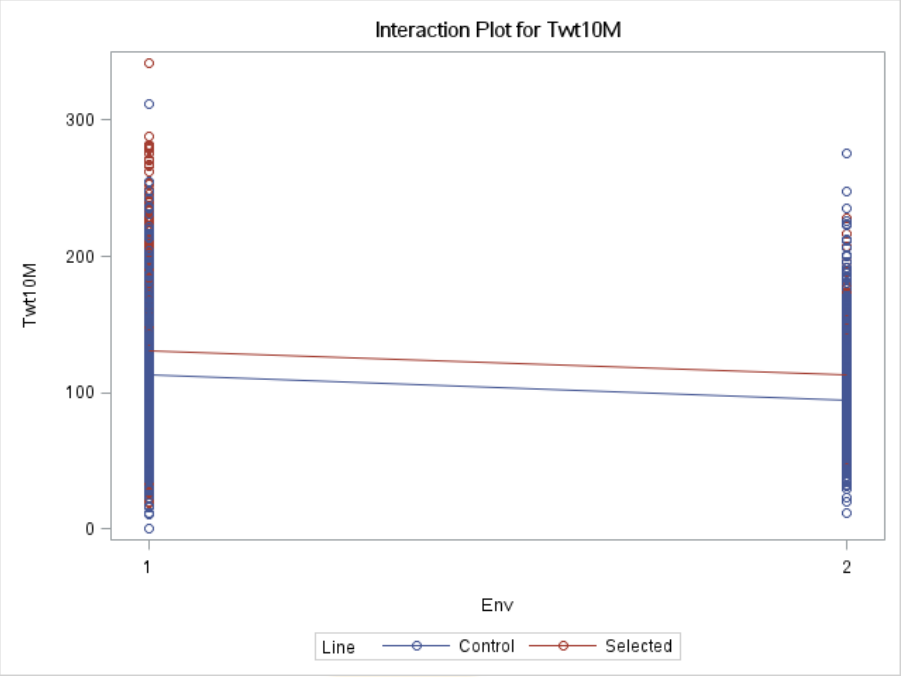
ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ย และค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนัก และความยาวปลานิลอายุ 9 - 10 เดือน ที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอคและบ่อดิน

ลักษณะ	สิ่งแวดล้อม	ค่าเฉลี่ย ± S.D.	ค่าอัตราพันธุกรรม ± S.E.
น้ำหนัก	ระบบไบโอฟลอค	125.55 ± 54.20[a]	0.56 ± 0.10
	บ่อดิน	105.71 ± 37.13[b]	0.32 ± 0.09
ความยาว	ระบบไบโอฟลอค	201.76 ± 30.82[a]	0.55 ± 0.10
	บ่อดิน	192.06 ± 24.30[b]	0.41 ± 0.10

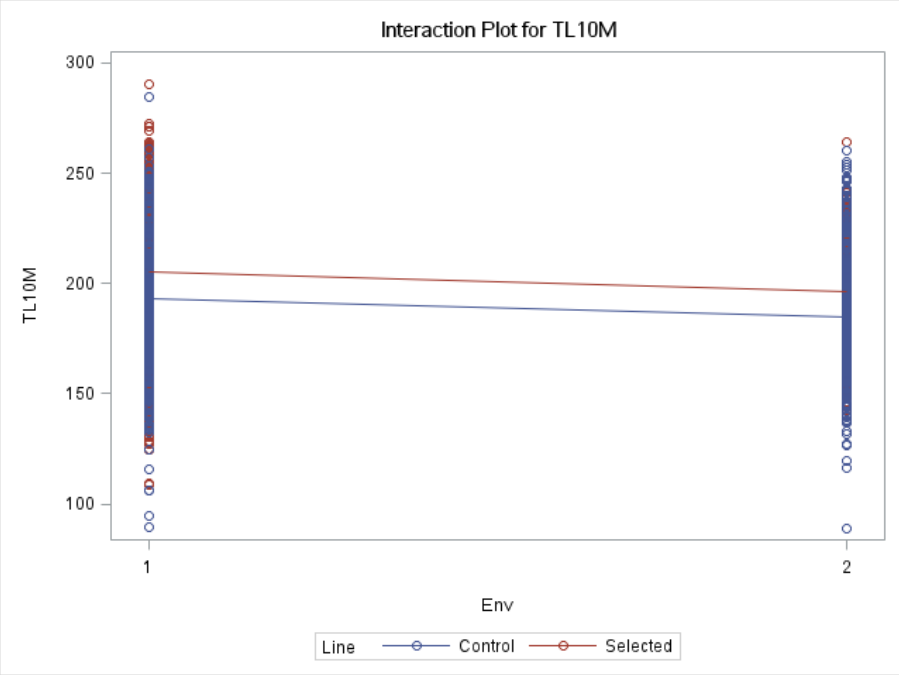
หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$)

การประเมินค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนัก และความยาวปลานิลอินทรีย์ที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค และบ่อดิน จำนวน 63 ครอบครัว (อายุ 9 – 10 เดือน) พบว่ามีค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนัก และความยาวในระบบไบโอฟลอค เท่ากับ 0.56 ± 0.10 และ 0.55 ± 0.10 ตามลำดับ ในบ่อดิน มีค่าเท่ากับ 0.32 ± 0.09 และ 0.41 ± 0.10 ตามลำดับ พบว่าในระบบไบโอฟลอค มีค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักและความยาวสูงกว่าบ่อดิน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Trọng *et al.* (2013) ได้ทดลองเลี้ยงปลานิลสายพันธุ์ GIFT ในบ่อดินศูนย์เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด (Nucleus) บ่อดิน

ของเกษตรกร (VAC) และกระชังในแม่น้ำ (Cage) มีค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักเก็บเกี่ยวสุดท้าย เท่ากับ 0.55 ± 0.09, 0.52 ± 0.12 และ 0.49 ± 0.12 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูง เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Khaw *et al*. (2012) ได้ศึกษาการเลี้ยงปลานิลสายพันธุ์ GIFT ในบ่อและในกระชัง มีค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักเก็บเกี่ยวสุดท้าย ที่อายุ 120 วัน ในกระชังมีค่าเท่ากับ 0.34 ± 0.061 และในบ่อมีค่าเท่ากับ 0.40 ± 0.067 ซึ่งมีค่าสูง และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mengistu *et al.* (2020) ได้ศึกษาผลกระทบของการเติมอากาศต่อพารามิเตอร์ทางพันธุกรรมในปลานิล พบว่า มีค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักเมื่อเก็บเกี่ยว ในบ่อที่เติมอากาศ และไม่เติมอากาศ เท่ากับ 0.23 และ 0.18 มีอัตราพันธุกรรมของความยาว ในบ่อที่เติมอากาศ และไม่เติมอากาศ เท่ากับ 0.23 และ 0.08 ซึ่งมีค่าอยู่ในระดับปานกลาง



ภาพที่ 1 การกระจายตัวของน้ำหนักปลานิลกลุ่มคัดเลือก (selected) และกลุ่มควบคุม (control) ที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค (1) กับบ่อดิน (2) ที่อายุ 9- 10 เดือน



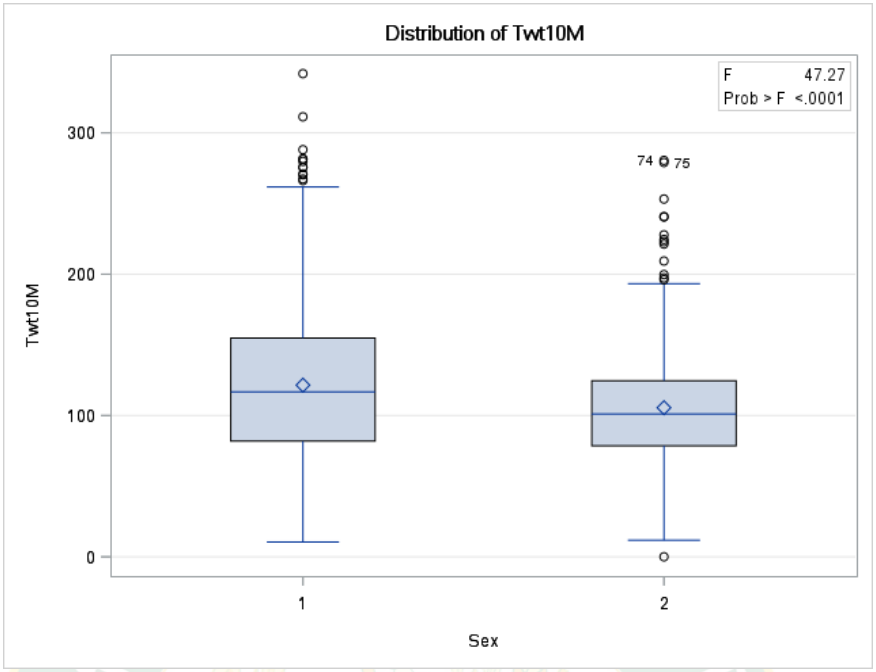
ภาพที่ 2 การกระจายตัวของความยาวปลานิลกลุ่มคัดเลือก (selected) และกลุ่มควบคุม(control) ที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค (1) กับ บ่อดิน (2) ที่อายุ 9- 10 เดือน

จากการเลี้ยงปลานิลอินทรีย์เพศผู้และเพศเมีย ที่อายุ 9- 10 เดือน พบว่าน้ำหนักของปลานิลเพศผู้มีค่าสูงกว่าปลานิลเพศเมียอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีค่าเท่ากับ 121.50 ± 51.60 [a] และ 105.51 ± 37.48 [b] กรัม ความยาวปลานิลเพศผู้ มีค่าสูงกว่าปลานิลเพศเมียอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีค่าเท่ากับ 200.06 ± 30.22 [a] และ 191.34 ± 22.96 [b] มิลลิเมตร (ตารางที่ 8) โดยการกระจายตัวของน้ำหนักและความยาวในกลุ่มคัดเลือกและกลุ่มควบคุม (ภาพที่ 3 - 4)

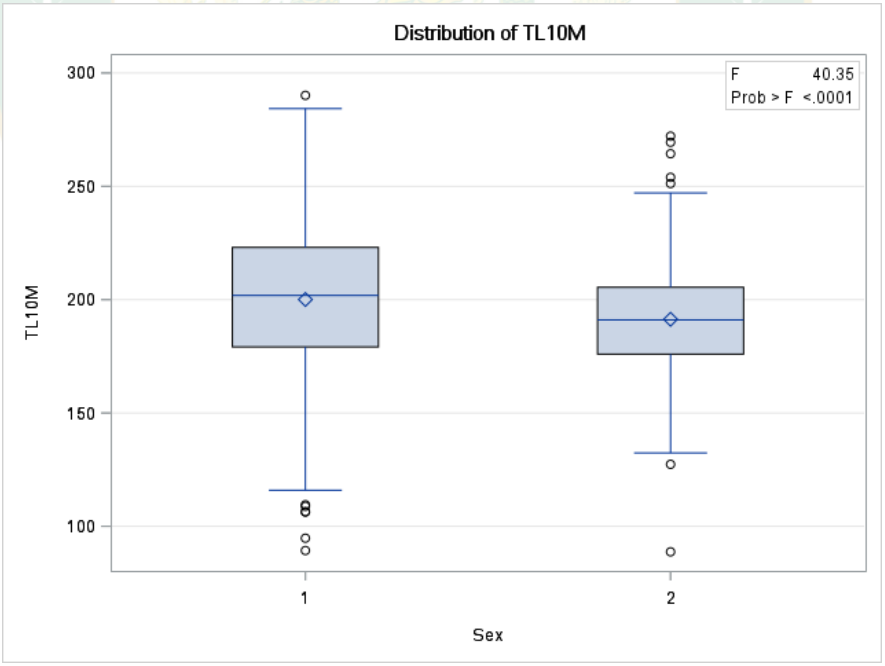
ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก และความยาว ของปลานิลอินทรีย์เพศผู้ และเพศเมียที่อายุ 9-10 เดือน

ลักษณะ	เพศผู้	เพศเมีย
น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)	121.50± 51.60 [a]	105.51± 37.48 [b]
ความยาวเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	200.06± 30.22 [a]	191.34 ± 22.96 [b]

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$)



ภาพที่ 3 การกระจายตัวของน้ำหนักปลานิลเพศผู้ (1) และเพศเมีย (2) ที่อายุ 9- 10 เดือน



ภาพที่ 4 การกระจายตัวของความยาวปลานิลเพศผู้ (1) และเพศเมีย (2) ที่อายุ 9- 10 เดือน

ปฏิกิริยาระหว่างพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อม

ค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรม (Genotypic Correlation) ของน้ำหนัก และความยาวของปลานิลที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอคและบ่อดิน มีค่าเท่ากับ 0.92 และ 0.94 ตามลำดับ แสดงว่าไม่มีปฏิกิริยาร่วมระหว่างพันธุกรรมกับสิ่งแวดล้อม (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 แสดงค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของน้ำหนัก และความยาว ปลานิลที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอคและบ่อดิน

ลักษณะ	ค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรมระหว่างปลาที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอคและบ่อดิน
น้ำหนักเฉลี่ย	0.92
ความยาวเฉลี่ย	0.94

จากค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรม (Genotypic Correlation) ของน้ำหนัก และความยาวปลานิลที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอคและบ่อดิน มีค่าเท่ากับ 0.92 และ 0.94 พบว่าไม่มีปฏิกิริยาร่วมระหว่างพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อม เพราะมีค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรมสูง สอดคล้องกับการศึกษาของ Mengistu *et al.* (2020) ได้ทดลองเลี้ยงปลานิลในบ่อที่เติมอากาศ และไม่เติมอากาศ มีค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของน้ำหนัก และความยาว เท่ากับ 0.81 ± 0.30 และ 0.80 ± 0.27 ซึ่งไม่มีปฏิกิริยาร่วมระหว่างพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อม เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Trọng *et al.* (2013) ได้ทดลองเลี้ยงปลานิลสายพันธุ์ GIFT ในบ่อดินของศูนย์เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด (Nucleus) บ่อดินของเกษตรกร (VAC) และกระชังในแม่น้ำ (Cage) มีค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของน้ำหนักสุดท้าย และความยาว ระหว่าง Nucleus–cage Nucleus–VAC และ Cage–VAC เท่ากับ 0.86 ± 0.07 0.94 ± 0.05 และ 0.94 ± 0.05 ตามลำดับ ความยาว 0.85 ± 0.09 0.97 ± 0.05 และ 0.99 ± 0.06 ตามลำดับ มีค่าสูง ซึ่งไม่มีปฏิกิริยาร่วมระหว่างพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อมเช่นเดียวกัน

ค่าทำนายผลตอบสนองต่อการคัดเลือก (Response to selection, R)

จากการคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์จำนวน พ่อพันธุ์ 50 ตัวและแม่พันธุ์ 200 ตัว และจับคู่ในกระชังผสมพันธุ์ โดยสามารถคำนวณค่า selection differential (S) ของน้ำหนักและความยาว ได้เท่ากับ 10.63 กรัม และ 1.45 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยสามารถทำนายค่าผลตอบสนองต่อการคัดพันธุ์ (Response to selection; R) ได้ ของน้ำหนักและความยาว ได้เท่ากับ 4.89 กรัม และ 0.75 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 แสดงค่าเฉลี่ยของประชากรรุ่นที่ 1 และค่าเฉลี่ยของพ่อแม่พันธุ์ที่คัดเลือกไว้ เพื่อทำนายค่าผลตอบสนองต่อการคัดพันธุ์

ลักษณะ	ค่าเฉลี่ยของประชากร	ค่าเฉลี่ยของพ่อแม่พันธุ์ที่คัดไว้	S	R จากการทำนาย
TW (กรัม)	29.28[b]	39.91[a]	10.63	4.89
TL (เซนติเมตร)	12.24[b]	13.69[a]	1.45	0.75

การประเมินผลการตอบสนองต่อการคัดเลือก

การประเมินผลการตอบสนองต่อการคัดเลือกของน้ำหนักตัว (กรัม) ของปลานิลอินทรีย์รุ่นที่ 2 ที่อายุ 3 - 4 เดือน ได้จากผลต่างของค่าเฉลี่ย least square mean ของปลานิลกลุ่มคัดเลือกกับค่าเฉลี่ย least square mean ของปลานิลกลุ่มควบคุม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.98 กรัมต่อรุ่น หรือคิดเป็น 11.77 % (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 แสดงผลตอบสนองต่อการคัดเลือกของน้ำหนักตัว (กรัม) ของปลานิลอินทรีย์รุ่นที่ 2 ที่อายุ 3 - 4 เดือน

	กลุ่มคัดเลือก	กลุ่มควบคุม	R	R%
น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)	9.55[a]	5.88[b]	3.67	62.42
Least square Mean (g)	9.30[a]	8.32[b]	0.98	11.78

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$)

การประเมินผลตอบสนองต่อการคัดเลือกของน้ำหนัก และความยาวปลานิลในรุ่นที่ 2 พบว่า ผลต่างของค่าเฉลี่ย Least square Mean ของปลานิลกลุ่มคัดเลือกกับค่าเฉลี่ย least square mean ของปลานิลกลุ่มควบคุม ที่อายุ 9-10 เดือน มีค่าเท่ากับ 15.68 กรัมต่อรุ่น หรือคิดเป็น 15.34 % ความยาว 10.21 มิลลิเมตรต่อรุ่น คิดเป็น 5.43 % ตามลำดับ (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 11 ค่าผลตอบสนองต่อการคัดเลือกน้ำหนัก (กรัม) และความยาว (มิลลิเมตร) ของปลานิลอินทรีย์รุ่นที่ 2 ที่อายุ 9 – 10 เดือน

	กลุ่มคัดเลือก	กลุ่มควบคุม	R	R%
น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)	123.16[a]	103.33[b]	19.83	19.19
Least square Mean (g)	117.91[a]	102.23[b]	15.68	15.34
ความยาวเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	201.64[a]	188.82[b]	12.82	6.79
Least square Mean (mm.)	198.11[a]	187.90[b]	10.21	5.43

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$)

จากการทำนายค่าผลตอบสนองต่อการคัดพันธุ์ของประชากรในรุ่นที่ 1 โดยมีค่าผลตอบสนองต่อการคัดพันธุ์ (Response to selection; R) ของน้ำหนักและความยาว เท่ากับ 4.89 กรัม และ 0.75 เซนติเมตร (ตารางที่ 7) ซึ่งการประเมินผลตอบสนองต่อการคัดเลือกน้ำหนักปลานิล รุ่นที่ 2 ที่อายุ 3 – 4 เดือน เท่ากับ 3.67 กรัม ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่าทำนายผลตอบสนองต่อการคัดพันธุ์ของประชากรในรุ่นที่ 1 เนื่องจากปลานิลที่ใช้ในการทำนายค่าการตอบสนองต่อการคัดพันธุ์มีอายุ 8-10 เดือน ในการประเมินค่าตอบสนองต่อการคัดพันธุ์จึงต่ำกว่าค่าทำนาย แต่อย่างไรก็ตาม พบว่าผลตอบสนองต่อการคัดเลือกของน้ำหนักระหว่างกลุ่มคัดเลือกและกลุ่มควบคุมแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) ซึ่งค่าเฉลี่ย least square mean ของปลานิลกลุ่มคัดเลือกกับค่าเฉลี่ย least square mean ของปลานิลกลุ่มควบคุม เท่ากับ 0.98 กรัมต่อรุ่น หรือคิดเป็น 11.77 % (ตารางที่ 8) ที่อายุ 9 – 10 เดือน มีค่าผลตอบสนองต่อการคัดเลือกของน้ำหนักตัวสูงกว่า อายุ 3 - 4 เดือน และมีผลตอบสนองต่อการคัดเลือกของน้ำหนัก และความยาวปลานิล ระหว่างกลุ่มคัดเลือกและกลุ่มควบคุมแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) ค่าเฉลี่ย Least square Mean ของน้ำหนัก และความยาวระหว่างกลุ่มคัดเลือกกับกลุ่มควบคุม มีค่าเท่ากับ 15.68 กรัมต่อรุ่น หรือคิดเป็น 15.34 % ความยาว 10.21 มิลลิเมตรต่อรุ่น คิดเป็น 5.43 % ตามลำดับ ซึ่งนับว่ามีความก้าวหน้าในระดับที่ค่อนข้างดีและมีค่าสูงกว่าค่าทำนาย อย่างไรก็ตามการวัดความก้าวหน้าของ

การคัดพันธุ์โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างปลากลุ่มคัดเลือก และปลากลุ่มควบคุมที่มีจำนวนครอบครัวที่แตกต่างกัน จำนวนปลาในแต่ละกลุ่มจึงมีจำนวนต่างกัน จึงจำเป็นต้องเปรียบเทียบผลตอบสนองต่อการคัดเลือก (realized response) ด้วยค่าเฉลี่ย least square mean (อุทัยรัตน์, 2563) ซึ่งสอดคล้องการศึกษาของ Gall and Bakar (2002) ได้คัดเลือกปลานิล โดยการประยุกต์ใช้ Mixed Model Equation (MME) เพื่อทำนายค่าคุณค่าการผสมพันธุ์ (Expected Breeding Value, EBV) เพื่อคัดเลือกปลานิลที่อายุ 98 วัน ให้มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น โดยวิธีดูลักษณะตัวเอง (mass selection) จากการเรียงลำดับคุณค่าการผสมพันธุ์ไปได้ 3 รุ่น พบว่าสามารถปรับปรุงลักษณะดังกล่าวได้อย่างรวดเร็ว กล่าวคือ ผลการตอบสนองต่อการคัดเลือกคิดเป็น 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยของ Thodesen *et al.* (2011) ได้ศึกษาการคัดเลือกลักษณะเพื่อการเจริญเติบโตของปลานิล จำนวน 6 รุ่น มีผลตอบสนองต่อการคัดเลือกเฉลี่ย 11.4 เปอร์เซ็นต์ มีค่าผลตอบสนองต่อการคัดเลือกในรุ่นที่ 2 เท่ากับ 18.7 เปอร์เซ็นต์ และในการศึกษาของ ศรีจรรยา และคณะ (2555) ได้ศึกษาการปรับปรุงพันธุ์ปลานิลแดงสายพันธุ์อุตรดิตถ์ด้วยวิธีการคัดเลือกโดยดูลักษณะภายในครอบครัว ในรุ่นที่ 2 พบว่าค่าเฉลี่ยของความยาวและน้ำหนักประชากรกลุ่มคัดเลือกมีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุม 5.60 และ 14.68 เปอร์เซ็นต์ และสอดคล้องกับการศึกษาของ Bolivar and Newkirk (2002) ได้ศึกษาการคัดเลือกภายในครอบครัว เพื่อการเจริญเติบโตที่ของปลานิลที่ 16 สัปดาห์ ข้อมูลจากการคัด 12 รุ่น ถูกวิเคราะห์โดย RMLF ร่วมกับ แบบจำลองสัตว์ พบว่ามีการตอบสนองทางพันธุกรรมของน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 2.2 กรัมต่อรุ่นหรือประมาณ 12.4 %

บทที่ 5
สรุปผล

การประเมินค่าอัตราพันธุกรรมจากประชากรปลานิลอินทรีย์จำนวน 70, 64 และ 63 ครอบครัว เมืออายุ 2 – 3 เดือน 3 – 4 เดือน และ 9 – 10 เดือน ตามลำดับ พบว่าค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักมีค่าแตกต่างกันตามช่วงอายุ ที่อายุ 2 – 3 เดือน มีค่าเท่ากับ 0.03 ± 0.06 ซึ่งมีค่าต่ำที่อายุ 3 - 4 เดือน มีค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักตัว เท่ากับ 0.16 ± 0.04 ซึ่งมีค่าอยู่ในระดับปานกลาง แต่สูงกว่าช่วงอายุ 2-3 เดือน ค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักและความยาวปลาที่อายุ 9 – 10 เดือน ในระบบโอฟลอคมีค่าเท่ากับ 0.56 ± 0.10 และ 0.55 ± 0.10 ตามลำดับ ในบ่อดินมีค่าเท่ากับ 0.32 ± 0.09 และ 0.41 ± 0.10 ตามลำดับ พบว่าในระบบไบโอฟลอค มีค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักและความยาวสูงกว่าบ่อดิน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารปรับปรุงพันธุ์โดยวิธีการคัดเลือกให้มีน้ำหนักและความยาวเพิ่มขึ้นได้

การประเมินผลตอบสนองต่อการคัดเลือกปลานิลรุ่นที่ 2 จากผลต่างของค่าเฉลี่ย least square mean ของปลานิลกลุ่มคัดเลือกกับค่าเฉลี่ย least square mean ของปลานิลกลุ่มควบคุม ที่อายุ 2 – 3 เดือน มีค่าเท่ากับ 0.98 กรัม/รุ่น หรือคิดเป็น 11.78 % น้ำหนักและความยาว ที่อายุ 9 – 10 เดือน มีค่าเท่ากับ 15.68 กรัม/รุ่น หรือคิดเป็น 15.34 % ความยาว มีค่าเท่ากับ 10.21 มิลลิเมตร/รุ่น หรือคิดเป็น 5.43 % ซึ่งมีความก้าวหน้าในระดับค่อนข้างดี แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้วิธีการคัดเลือกจากค่าคุณค่าการผสมพันธุ์ในการปรับปรุงพันธุ์ปลานิลอินทรีย์ได้

บรรณานุกรม

กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง. 2563. **สถิติผลผลิตการเลี้ยงสัตว์น้ำจืด ประจำปี 2561 เอกสารฉบับที่ 7/2563**. กรุงเทพฯ: กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง กองนโยบายและยุทธศาสตร์พัฒนาการประมง กรมประมง.

กองวิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำจืด. 2561. **คู่มือการเพิ่มประสิทธิภาพและการลดต้นทุนการเลี้ยงปลานิล**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์ การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

เกวลิน หนูฤทธิ์. 2564. สถานการณ์การผลิต ตลาดและการค้าปลานิลโลก ปี 2563. **วารสารการประมงอิเล็กทรอนิกส์**, 4(1), 188-190.

จงกล พรมยะ. 2558. ต้นแบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอินทรีย์ ภายใต้โครงการ AEC มหาวิทยาลัยแม่โจ้. **แม่โจ้ปริทัศน์**, 16(1), 56-60.

นวลมณี พงศ์ธนา, นนท์ปวิธ ออกแดง, มัลลิกา ทองสง่า และ ประจักษ์ บัวเนียม. 2552. การคัดพันธุ์ปลานิลสายพันธุ์ GIFT. น.. 147-158. ใน **การประชุมวิชาการประมง ประจำปี 2552**. 22-24 มิถุนายน 2552 กรมประมง, กรุงเทพฯ.

นิสรา กิจเจริญ และ ปุญชรัศมิ์ มีแก้ว. 2561. **ระบบจับคู่ผสมพันธุ์ อนุสิทธิบัตรเลขที่คำขอ 1803001978**. วันที่ขอ 31 สิงหาคม 2561.

ปรีดา ภูมี, สุวัจน์ ธัญรส และ มาโนช ขำเจริญ. 2554. **การใช้เทคโนโลยี bio-flocs ในการเลี้ยงกุ้งขาวและปลานิลแบบผสมผสาน**. ตรัง: รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง.

ปุญชรัศมิ์ มีแก้ว. 2562. **การประเมินค่าพารามิเตอร์ทางพันธุกรรมเพื่อใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ปลานิลเชิงพาณิชย์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ปุญชรัศมิ์ มีแก้ว และ นิสรา กิจเจริญ. 2562. การประมาณค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักปลานิลในสภาพการเลี้ยงในฟาร์มเชิงพาณิชย์ น. 53-60. ใน **การประชุมสัมมนาวิชาการระดับชาติเครือข่ายบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏภาคเหนือ ครั้งที่ 19**. 10 พฤษภาคม 2562 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ยงยุทธ ทักษิญ, วิศณุพร รัตนตรัยวงศ์, สุภัทรา อุไรวรรณ์, ศรีจรรยา สุขมโนมนต์, อนงค์ นิ่มละมัย, ทองอยู่ อุดเลิศ และ สุภาพร จันทร์อินทร์. 2554. การปรับปรุงลักษณะการเจริญเติบโตปลานิลจิตรลดา. น. 150 - 158. ใน **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49: สาขาประมง**. 1 - 4 กุมภาพันธ์ 2554 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศกร คุณวุฒิฤทธิรณ. 2560. **การปรับปรุงพันธุ์สัตว์**. กรุงเทพฯ: บริษัท เมจิค พับบลิเคชั่น จำกัด.

ศรีจรรยา สุขมโนมนต์, วิศณุพร รัตนตรัยวงศ์, สุภัทรา อุไรวรรณ์, สุภาพร จันทร์อินทร์ และ ทองอยู่ อุดเลิศ. 2555. การปรับปรุงลักษณะการเจริญเติบโตปลานิลแดงสายพันธุ์อุตรดิตถ์. **วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง**, 6(2), 1-11.

ศุภกิติ์ กลั่นจังหรีด. 2567. **การประเมินค่าพารามิเตอร์ทางพันธุกรรมเพื่อใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ปลานิลอินทรีย์ในระบบไบโอฟลอคเชิงพาณิชย์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ศุภกิติ์ กลั่นจังหรีด, ปุญชรัศมิ์ มีแก้ว และ นิสรา กิจเจริญ. 2563. การประมาณค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักปลานิลอินทรีย์ภายใต้การเลี้ยงในระบบไบโอฟลอค. ใน **งานประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 12 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม**. 9 - 10 กรกฎาคม 2563 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, นครปฐม.

ศุภณัฐ วัฒิธรรม, ณัฏนิชา เมืองกาญจน, ธีรวุฒิ เลิศสุทธิชวาล, นิอร จิรพงศธรกุล และ กิตติชนม อุเทนะพันธุ์. 2561. ผลของไบโอฟลอคที่ผลิตจากแหล่งคาร์บอนที่แตกต่างกันต่อการตอบสนองของภูมิคุ้มกันในปลานิล (*Oreochromis niloticus*). **วารสารวิทยาศาสตร์ และ เทคโนโลยี มหาวิทยาลัย อุบลราชธานี**, 20(2), 1-13.

อุทัยรัตน์ ณ นคร. 2543. **พันธุศาสตร์สัตว์น้ำ**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Bentsen, H. B., Gjerde, B., Eknath, A. E., de Vera, M. S. P., Velasco, R. R., Danting, J. C., Dionisio, E. E., Longalong, F. M., Reyes, R. A., Abella, T. A., Tayamen, M. M. & Ponzoni, R. W. 2017. Genetic improvement of farmed tilapias: Response to five generations of selection for increased body weight at harvest in Oreochromis niloticus and the further impact of the project. **Aquaculture**, 468, 206-217.

Bolivar, R. B. & Newkirk, G. F. 2002. Response to within family selection for body weight in Nile tilapia (Oreochromis niloticus) using a single-trait animal model. **Aquaculture**, 204(3), 371-381.

Charo-Karisa, H., Komen, H., Rezk, M. A., Ponzoni, R. W., van Arendonk, J. A. M. & Bovenhuis, H. 2006. Heritability estimates and response to selection for growth of Nile tilapia (Oreochromis niloticus) in low-input earthen ponds. **Aquaculture**, 261(2), 479-486.

Falconer, D. S. 1989. **Introduction to Quantitative Genetics**. New York: Longman Scientific and Technical, Co. United States with John and Son, Inc.

Gall, G. & Bakar, Y. 2002. Application of mixed-model techniques to fish breed

improvement: Analysis of breeding-value selection to increase 98-day body weight in tilapia. **Aquaculture**, 212(1-4), 93-113.

Gilmour, A. R., Gogel, B. J., Cullis, B. R., Welham, S. J. & Thompson, R. 2002. **ASREML User Guide Release 1.0**. UK: VSN International Ltd, Hemel Hempstead, HP11ES.

Hamzah, A., Ponzoni, R. W., Nguyen, N. H., Khaw, H. L., Yip Yee, H. & Nor, S. A. M. 2014. Performance of the Genetically Improved Farmed Tilapia (GIFT) Strain over Ten Generations of Selection in Malaysia. **Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science**, 37(4), 411-429.

Henderson, C. R. 1976. A Simple Method for Computing the Inverse of a Numerator Relationship Matrix Used in Prediction of Breeding Values. **Biometrics**, 32(1), 69-83.

Khaw, H. L., Ponzoni, R. W., Hamzah, A., Abu-Bakar, K. R. & Bijma, P. 2012. Genotype by production environment interaction in the GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, 326-329, 53-60.

Mengistu, S. B., Mulder, H. A., Benzie, J. A. H., Khaw, H. L., Megens, H.-J., Trinh, T. Q. & Komen, H. 2020. Genotype by environment interaction between aerated and non-aerated ponds and the impact of aeration on genetic parameters in Nile tilapia (Oreochromis niloticus). **Aquaculture**, 529, 735704.

Ponzoni, R. W., Hamzah, A., Tan, S. & Kamaruzzaman, N. 2005. Genetic parameters and response to selection for live weight in the GIFT strain of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, 247(1), 203-210.

Thodesen, J., Rye, M., Wang, Y.-X., Yang, K.-S., Bentsen, H. B. & Gjedrem, T. 2011. Genetic improvement of tilapias in China: Genetic parameters and selection responses in growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) after six generations of multi-trait selection for growth and fillet yield. **Aquaculture**, 322-323, 51-64.

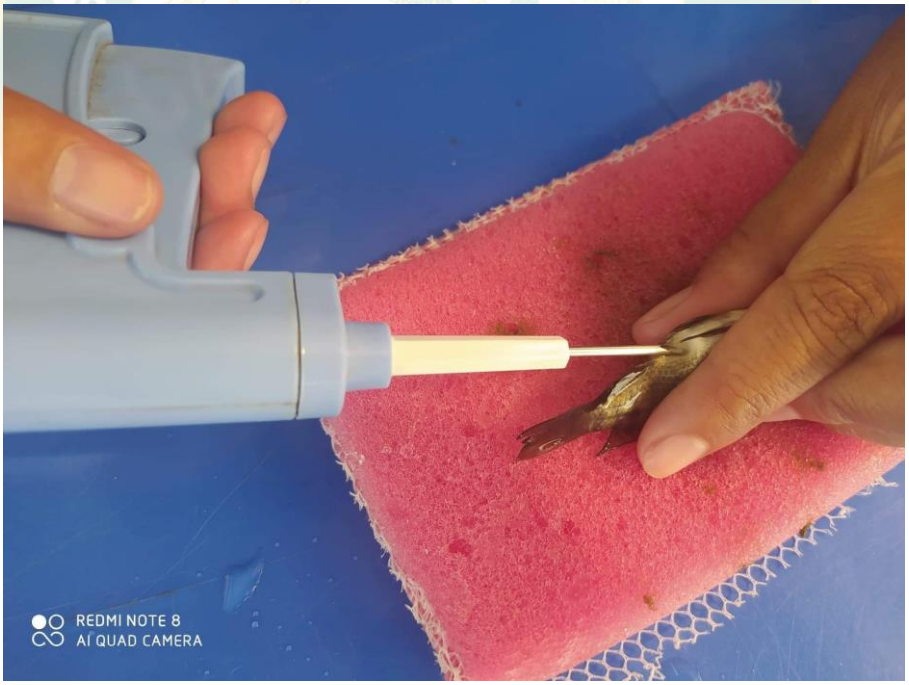
Trọng, T. Q., Mulder, H. A., van Arendonk, J. A. M. & Komen, H. 2013. Heritability and genotype by environment interaction estimates for harvest weight, growth rate, and shape of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) grown in river cage and VAC in Vietnam. **Aquaculture**, 384-387, 119-127.

ภาคผนวก

ภาพผนวกที่ 1 ภาพกระชังจับคู่ผสมพันธุ์

ภาพผนวกที่ 2 ภาพระบบฟักไข่ปลานิล

ภาพผนวกที่ 3 ภาพกระชังอนุบาล 1 x 1 ตารางเมตร เพื่อใช้อนุบาลลูกปลา



ภาพผนวกที่ 4 ภาพติดเครื่องหมายไมโครชิฟ

ภาพผนวกที่ 5 ภาพกระชังเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค

ภาพผนวกที่ 6 ภาพกระชังเลี้ยงปลานิลในบ่อดิน

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนัก เมื่ออายุ 3-4 เดือน

The UNIVARIATE Procedure

Variable: Twt4Months

Moments

N	2674	Sum Weights	2674
Mean	8.37756171	Sum Observations	22401.6
Std Deviation	6.4629212	Variance	41.7693504
Skewness	2.03616852	Kurtosis	6.53500694
Uncorrected SS	299320.26	Corrected SS	111649.474
Coeff Variation	77.1456114	Std Error Mean	0.1249822

Basic Statistical Measures

Location		Variability	
Mean	8.377562	Std Deviation	6.46292
Median	7.000000	Variance	41.76935
Mode	4.000000	Range	55.00000
		Interquartile Range	7.00000

Tests for Location: Mu0=0

Test	-Statistic-		-----p Value------
Student's t	t	67.03004	Pr > |t| <.0001
Sign	M	1337	Pr >= |M| <.0001
Signed Rank	S	1788238	Pr >= |S| <.0001

Quantiles (Definition 5)

Quantile	Estimate
100% Max	56
99%	34
95%	21
90%	16
75% Q3	11
50% Median	7
25% Q1	4
10%	2
5%	2
1%	1
0% Min	1

The SAS System 04:16 Saturday, December 18, 2023 2

The UNIVARIATE Procedure

Variable: Twt4Months

Extreme Observations

----Lowest----		----Highest---	
Value	Obs	Value	Obs
1	2674	43	2476
1	2673	44	1335
1	2671	45	1389
1	2670	53	1293
1	2667	56	1299

Number of observations 2674

The SAS System 04:16 Saturday, December 18, 2023 7

The GLM Procedure

Dependent Variable: Twt4Months

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	47	31565.5347	671.6071	22.02	<.0001
Error	2626	80083.9390	30.4965		
Corrected Total	2673	111649.4737			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Twt4Months Mean
0.282720	65.91856	5.522368	8.377562

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Line	1	7848.40078	7848.40078	257.35	<.0001
CageNo	29	22140.55096	763.46727	25.03	<.0001
Age	9	1142.93344	126.99260	4.16	<.0001
CageBatch	8	433.64948	54.20618	1.78	0.0768

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Line	0	0.000000	.	.	.
CageNo	20	5948.640200	297.432010	9.75	<.0001
Age	9	1145.122594	127.235844	4.17	<.0001
CageBatch	8	433.649479	54.206185	1.78	0.0768

The SAS System 04:16 Saturday, December 18, 2023 8

The GLM Procedure

Least Squares Means

	Twt4Months
Line	LSMEAN
Control	Non-est
Selectio	Non-est

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักและความยาว เมื่ออายุ 9-10 เดือน

The UNIVARIATE Procedure

Variable: Twt10M

Moments			
N	1969	Sum Weights	1969
Mean	116.551854	Sum Observations	229490.6
Std Deviation	48.2441882	Variance	2327.50169
Skewness	0.69394675	Kurtosis	0.53099985
Uncorrected SS	31328078.2	Corrected SS	4580523.33
Coeff Variation	41.3928965	Std Error Mean	1.0872318

Basic Statistical Measures			
Location		Variability	
Mean	116.5519	Std Deviation	48.24419
Median	110.5800	Variance	2328
Mode	105.7600	Range	341.89000
		Interquartile Range	64.07000

Tests for Location: Mu0=0				
Test	Statistic		p Value	
Student's t	t	107.2006	Pr > |t|	<.0001
Sign	M	984.5	Pr >= |M|	<.0001
Signed Rank	S	969732.5	Pr >= |S|	<.0001

Quantiles (Definition 5)	
Level	Quantile
100% Max	341.91
99%	248.35

Quantiles (Definition 5)	
Level	Quantile
95%	206.28
90%	182.05
75% Q3	144.66
50% Median	110.58
25% Q1	80.59
10%	61.91
5%	49.79
1%	28.82
0% Min	0.02

Extreme Observations			
Lowest		Highest	
Value	Obs	Value	Obs
0.02	1835	281.40	78
10.49	1920	281.58	1125
11.27	1954	288.08	751
11.77	1346	311.38	1905
15.81	1432	341.91	55

The GLM Procedure

Dependent Variable: Twt10M

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	46	906548.268	19707.571	10.31	<.0001
Error	1922	3673975.067	1911.537		
Corrected Total	1968	4580523.335			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Twt10M Mean
0.197914	37.51217	43.72113	116.5519

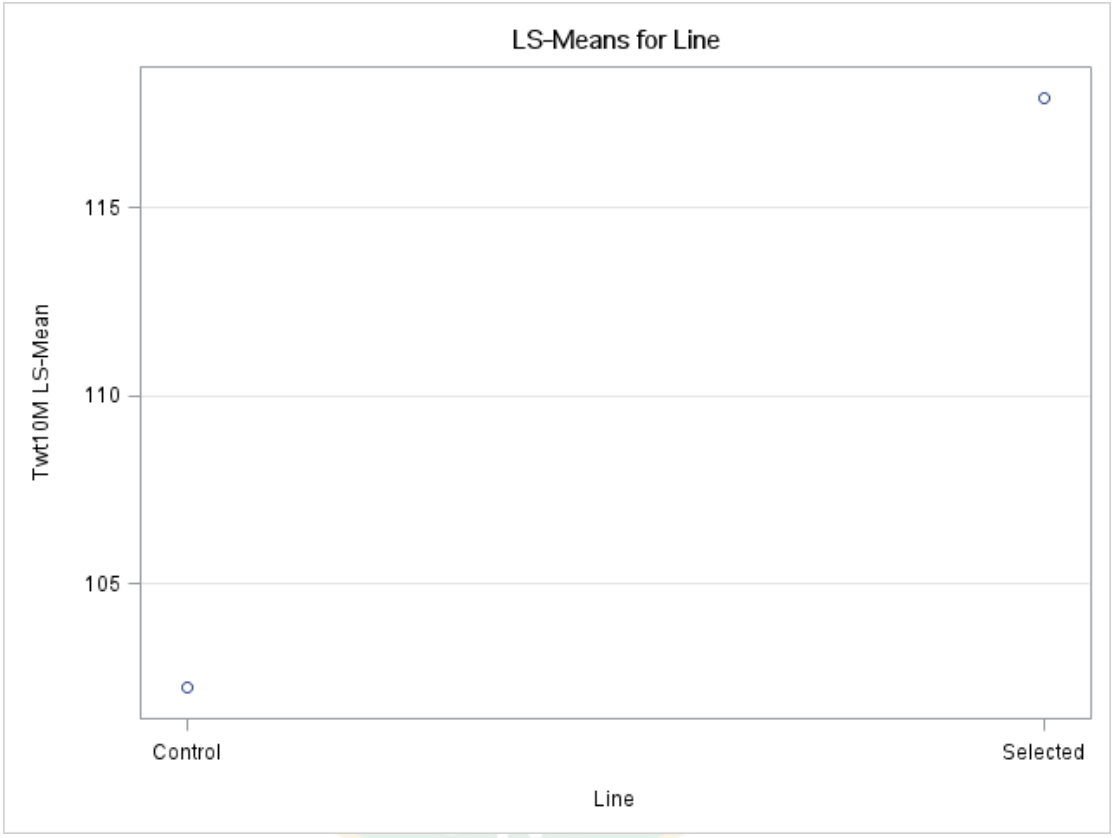
Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
HarAge	36	579938.5813	16109.4050	8.43	<.0001
Cage	7	208744.2480	29820.6069	15.60	<.0001
Env	1	4217.7921	4217.7921	2.21	0.1376
Line	1	66562.1689	66562.1689	34.82	<.0001
Sex	1	47085.4773	47085.4773	24.63	<.0001

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
HarAge	36	328884.5304	9135.6814	4.78	<.0001
Cage	7	115734.1376	16533.4482	8.65	<.0001
Env	1	10030.6376	10030.6376	5.25	0.0221
Line	1	50286.9410	50286.9410	26.31	<.0001
Sex	1	47085.4773	47085.4773	24.63	<.0001

The GLM Procedure

Least Squares Means

Line	Twt10M LSMEAN
Control	102.228235
Selected	117.909894



The GLM Procedure

Dependent Variable: Twt10M

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	263354.952	131677.476	59.96	<.0001
Error	1966	4317168.383	2195.915		
Corrected Total	1968	4580523.335			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Twt10M Mean
0.057495	40.20579	46.86059	116.5519

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Sex	1	107491.5922	107491.5922	48.95	<.0001
Line	1	155863.3596	155863.3596	70.98	<.0001

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Sex	1	91360.8366	91360.8366	41.60	<.0001
Line	1	155863.3596	155863.3596	70.98	<.0001

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักและความยาว เมื่ออายุ 9-10 เดือน

The UNIVARIATE Procedure

Variable: TL10M

Moments			
N	1969	Sum Weights	1969
Mean	197.364007	Sum Observations	388609.73
Std Deviation	28.453367	Variance	809.594092
Skewness	-0.1337868	Kurtosis	-0.0257666
Uncorrected SS	78290854.7	Corrected SS	1593281.17
Coeff Variation	14.416695	Std Error Mean	0.64122553

Basic Statistical Measures			
Location		Variability	
Mean	197.3640	Std Deviation	28.45337
Median	197.3736	Variance	809.59409
Mode	.	Range	201.39504
		Interquartile Range	39.40831

Tests for Location: Mu0=0				
Test	Statistic		p Value	
Student's t	t	307.7919	Pr > |t|	<.0001
Sign	M	984.5	Pr >= |M|	<.0001
Signed Rank	S	969732.5	Pr >= |S|	<.0001

Quantiles (Definition 5)	
Level	Quantile
100% Max	290.1308
99%	259.3397

Quantiles (Definition 5)	
Level	Quantile
95%	243.3187
90%	234.6796
75% Q3	217.1136
50% Median	197.3736
25% Q1	177.7053
10%	161.5598
5%	150.9777
1%	128.4338
0% Min	88.7358

Extreme Observations			
Lowest		Highest	
Value	Obs	Value	Obs
88.7358	1346	270.851	1125
89.3153	1954	271.275	751
94.7604	1920	272.144	74
106.2890	1428	284.286	1905
106.4341	1432	290.131	55

The GLM Procedure

Dependent Variable: TL10M

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	46	303685.356	6601.856	9.84	<.0001
Error	1922	1289595.816	670.966		
Corrected Total	1968	1593281.172			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	TL10M Mean
0.190604	13.12448	25.90300	197.3640

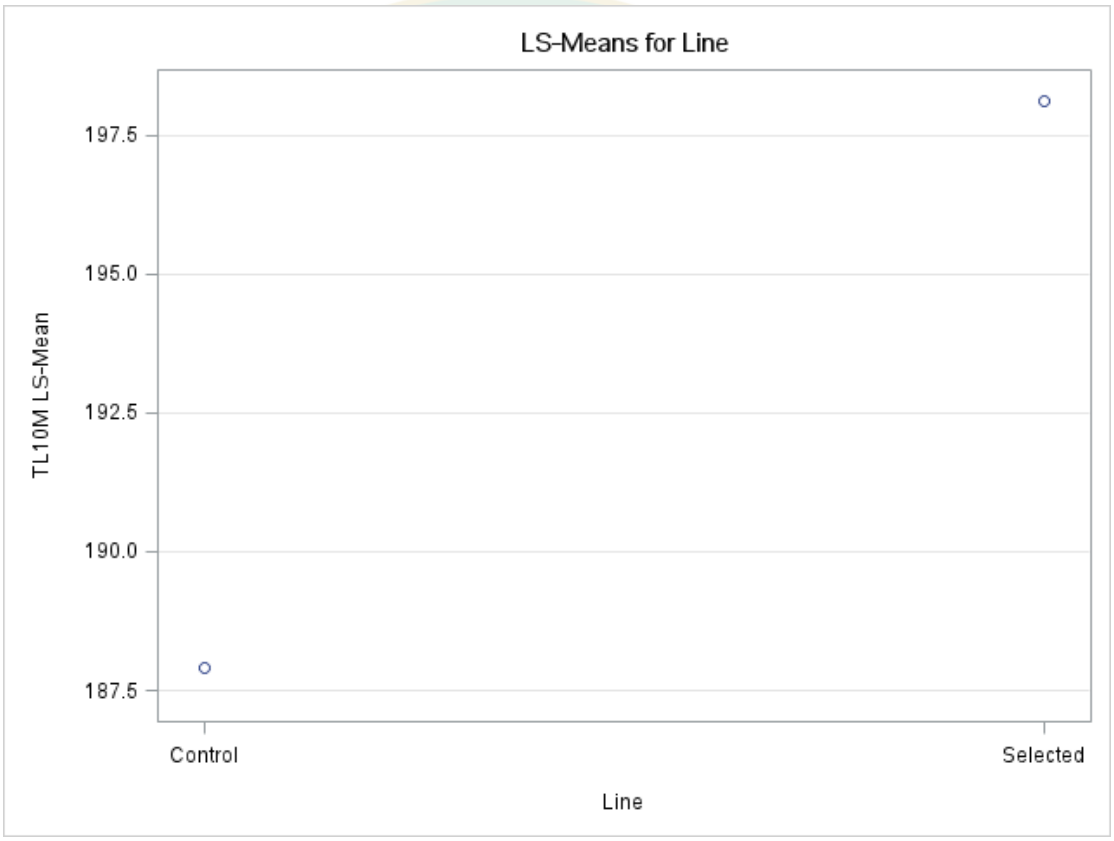
Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
HarAge	36	207268.5923	5757.4609	8.58	<.0001
Cage	7	56799.6863	8114.2409	12.09	<.0001
Env	1	463.5694	463.5694	0.69	0.4060
Line	1	26753.3469	26753.3469	39.87	<.0001
Sex	1	12400.1616	12400.1616	18.48	<.0001

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
HarAge	36	128672.6583	3574.2405	5.33	<.0001
Cage	7	33881.8785	4840.2684	7.21	<.0001
Env	1	1319.7050	1319.7050	1.97	0.1609
Line	1	21293.7262	21293.7262	31.74	<.0001
Sex	1	12400.1616	12400.1616	18.48	<.0001

The GLM Procedure

Least Squares Means

Line	TL10M LSMEAN
Control	187.906752
Selected	198.111216



The GLM Procedure

Dependent Variable: TL10M

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	98250.691	49125.345	64.60	<.0001
Error	1966	1495030.481	760.443		
Corrected Total	1968	1593281.172			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	TL10M Mean
0.061666	13.97222	27.57613	197.3640

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Sex	1	32026.08063	32026.08063	42.12	<.0001
Line	1	66224.61029	66224.61029	87.09	<.0001

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Sex	1	26354.62370	26354.62370	34.66	<.0001
Line	1	66224.61029	66224.61029	87.09	<.0001

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นางสาวกนกวรรณ นาคขำ

เกิดเมื่อ 19 กุมภาพันธ์ 2539

ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2561 ปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต
คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ
มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่