วารสารแก่นเกษตร THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

Journal Home Page : https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj



ความผันแปรของลักษณะปรากฏและข้อเสนอเชิงการคัดเลือกพันธุ์ด้านการเจริญเติบโตและความทนเค็มของปลานิล (*Oreochromis niloticus*) ภายใต้ระบบการเลี้ยงในน้ำเค็ม

Phenotypic variation and breeding implications for growth and salinity tolerance in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) under saline water culture

ดนัย สมใจ[1,2], อมร เหลืองนฤมิตชัย[2]*, วาสนา สืบทรง[1,2], มาริสา มาหมวด ดี[2], กรรณิการ์ นิ่มนวล[2], ดนัย จัตวา[1], ธนาทิพย์ สุวรรณโสภี[1] และ ศกร คุณวุฒิฤทธิรณ[1]*

Danai Somjai[1,2], Amorn Luengnaruemitchai[2]*, Wasana Suebsong[1,2], Marissa Mamuad Dee[2], Kannikar Nimnual[2], Danai Jatawa[1], Thanathip Suwanasopee[1] and Skorn Koonawootrittriron[1]*

[1] *ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900*
[1] *Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok, 10900*
[2] *บริษัท มานิตย์ เจเนติกส์ จำกัด, 116/1 หมู่ 1 ตำบลหนองปลาไหล อำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี 76140*
[2] *Manit Genetics Co. Ltd., 116/1 Moo. 1 Nong Pla Lai Sub-district, Khao Yoi District, Phetchaburi Province 76140*

บทคัดย่อ: ปลานิล (*Oreochromis niloticus*) เป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจสำคัญของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยเฉพาะในประเทศไทยซึ่งมีการเพาะเลี้ยงในเขตน้ำเค็มบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกและภาคใต้คิดเป็นสัดส่วนมากกว่า 20% ของการผลิตปลานิลทั้งประเทศ อย่างไรก็ตาม ข้อมูลเชิงระบบเกี่ยวกับลักษณะฟีโนไทป์ของปลานิลภายใต้สภาวะน้ำเค็มยังมีจำกัด งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความผันแปรของลักษณะฟีโนไทป์ด้านการเจริญเติบโตและความทนเค็มของปลานิลสายพันธุ์ปรับปรุงภายใต้ความเค็ม 32 ส่วนในพัน (ppt) โดยใช้ประชากรปลา 4,232 ตัว จาก 213 ครอบครัว (full-sib family) ที่ได้รับการติดเครื่องหมายด้วยไมโครชิป PIT และเลี้ยงในระบบที่ใกล้เคียงกับการจัดการเชิงพาณิชย์จริง การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยแบบจำลองเชิงเส้นทั่วไปและลอจิสติก พบว่า ปลานิลมีอัตรารอดชีวิตเฉลี่ยสูง (92.4%) โดยปลาชุดที่ 1 (อายุเฉลี่ย 150.8 วัน) มีอัตรารอดสูงกว่า (96.1%) แต่น้ำหนักตัวเฉลี่ยต่ำกว่า (507.9 ± 100.3 กรัม) เมื่อเทียบกับชุดที่ 2 (528.0 ± 142.0 กรัม, อายุเฉลี่ย 161.5 วัน) เพศผู้มีน้ำหนักมากกว่าเพศเมียประมาณ 10% นอกจากนี้ยังพบความผันแปรของน้ำหนักตัวในระดับครอบครัวค่อนข้างสูง (ช่วง 46–909 กรัม) แสดงถึง ศักยภาพในการคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์เพื่อการปรับปรุงพันธุ์อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ ความสัมพันธ์ฟีโนไทป์ระหว่างน้ำหนักตัวและอัตรารอดชีวิตมีค่าต่ำมาก (0.02 ± 0.01) สะท้อนว่าทั้งสองลักษณะมีความเป็นอิสระต่อกัน การคัดเลือกพันธุ์จึงควรใช้ดัชนีแบบหลายลักษณะเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตในระบบเลี้ยงน้ำเค็มของประเทศไทยอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: ปลานิล; การเพาะเลี้ยงในน้ำเค็ม; ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต; ความทนเค็ม; ความผันแปรทางฟีโนไทป์

ABSTRACT: Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) is a key aquaculture species in Southeast Asia, particularly in Thailand, where brackish-water farming along the eastern and southern coasts accounts for over 20% of total national production. However, systematic phenotypic data for tilapia under saline-water conditions remain limited. This study evaluated phenotypic variation in growth and salinity tolerance of genetically improved Nile tilapia reared at 32 parts per thousand (ppt) salinity. A total of 4,232 fish from 213 full-sib families were individually tagged with passive integrated transponders (PIT) and reared under commercial-like management. Phenotypic records were analyzed

* Corresponding author: agrskk@ku.ac.th; amorn.l@manitgroup.co.th
Received: date; July 14, 2025 Revised: date; November 10, 2025
Accepted: date; November 19, 2025 Published: date; April 9, 2026

using general linear and logistic regression models. The overall survival rate was high (92.4%). Fish in batch 1 (mean age 150.8 days) showed higher survival (96.1%) but lower body weight (507.9 ± 100.3 g) than batch 2 (528.0 ± 142.0 g, mean age 161.5 days). Males exhibited approximately 10% greater body weight than females. Substantial family-level variation in body weight (range: 46–909 g) indicated strong potential for selective breeding. The phenotypic correlation between body weight and survival was very low (0.02 ± 0.01), suggesting these traits are largely independent. These findings underscore the need for multi-trait selection indices to simultaneously improve growth and salinity tolerance in tilapia breeding programs for sustainable saline-water aquaculture in Thailand.
Keywords: Nile tilapia; saline water aquaculture; growth performance; salinity tolerance; phenotypic variation

บทนำ

ปลานิล (*Oreochromis niloticus*) เป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในระดับโลก โดยเฉพาะในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งรวมถึงประเทศไทยซึ่งเป็นหนึ่งในประเทศผู้ผลิตปลานิลรายใหญ่ของโลก จากรายงานขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO, 2025) พบว่า ผลผลิตปลานิลทั่วโลกในปี พ.ศ. 2565 มีปริมาณสูงถึง 6.5 ล้านตัน ขณะที่ประเทศไทยมีปริมาณการผลิตปลานิลในปี พ.ศ. 2567 อยู่ที่ 275,958 ตัน คิดเป็น 58.9% ของการผลิตปลาน้ำจืดทั้งหมดของประเทศ (DOF, 2025)

พื้นที่ชายฝั่งทะเลตะวันออกและภาคใต้ของประเทศไทยมีลักษณะเป็นเขตน้ำเค็ม ซึ่งมีความเค็มแปรผันตามฤดูกาลและระบบน้ำ ทำให้มีบทบาทสำคัญในฐานะแหล่งผลิตปลานิล โดยคิดเป็นสัดส่วนมากกว่า 20% ของการผลิตปลานิลทั้งประเทศ (DOF, 2025) อย่างไรก็ตาม การเลี้ยงปลานิลในสภาพน้ำเค็มมีข้อจำกัดสำคัญในเรื่องประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและอัตราการรอดชีวิต โดยเฉพาะเมื่อต้องเลี้ยงในระดับความเค็มสูงกว่า 20–25 ส่วนในพัน (ppt) ซึ่งเป็นสภาวะที่พบได้ในหลายพื้นที่ของชายฝั่งทะเลไทย (Kamal and Mair, 2005; El-Zaeem et al., 2012)

ในระดับสากล มีการศึกษาหลายชิ้นที่พัฒนาสายพันธุ์ปลานิลให้สามารถเจริญเติบโตและทนต่อสภาวะน้ำเค็มได้ดีขึ้น เช่น โครงการ GIFT (Genetically Improved Farmed Tilapia) และการคัดเลือกพันธุ์ในเวียดนามและอินโดนีเซีย (Thodesen et al., 2013; Ninh et al., 2014; Setyawan et al., 2022) อย่างไรก็ตาม ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับลักษณะฟีโนไทป์ของปลานิลที่เลี้ยงในระบบน้ำเค็มภายใต้บริบทของประเทศไทยยังมีจำกัด ทั้งที่ระบบการเลี้ยงในประเทศมีความแตกต่างจากต่างประเทศอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งในด้านชนิดของแหล่งน้ำ การจัดการฟาร์มขนาดเล็ก การใช้กระชังในบ่อน้ำเค็ม การควบคุมอาหาร การเลือกสายพันธุ์ และความผันแปรของความเค็มตามฤดูกาล (Bentsen et al., 2012; Verdal et al., 2014; D'Agaro et al., 2021)

ช่องว่างทางองค์ความรู้ที่สำคัญในปัจจุบัน คือ การขาดข้อมูลฟีโนไทป์ในระดับประชากรที่มีขนาดใหญ่และได้รับการควบคุมปัจจัยร่วมอย่างเป็นระบบ ซึ่งสามารถสะท้อนศักยภาพที่แท้จริงของปลานิลภายใต้สภาวะน้ำเค็มอย่างเข้มข้น (ความเค็ม 32 ppt) ข้อมูลที่มีอยู่ส่วนใหญ่ยังคงจำกัดอยู่ในระดับห้องปฏิบัติการ หรือ มาจากสภาพการเลี้ยงที่ไม่สอดคล้องกับระบบฟาร์มจริงของไทย นอกจากนี้ การศึกษาในบริบทของประเทศไทยยังไม่เคยมีการรายงานความผันแปรเชิงระบบของน้ำหนักตัว อัตราการรอดชีวิต และผลของเพศต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตในปลานิลที่เลี้ยงในน้ำเค็มระดับ 30–32 ppt ในประชากรขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญในการวางแผนการผลิตและออกแบบการจัดการในระบบฟาร์มจริง (Falconer and Mackay, 1996; Gjedrem and Rye, 2016)

งานวิจัยที่ผ่านมายังมีข้อจำกัดในด้านการวิเคราะห์แยกตามชุดของการผลิต (production bath) และผลของอายุเฉลี่ยของปลาในแต่ละชุดต่อประสิทธิภาพการเลี้ยง รวมถึงผลของความแตกต่างระหว่างครอบครัว (family effect) ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการวางแผนคัดเลือกในเชิงการค้า โดยเฉพาะเมื่อใช้วิธีการเลี้ยงที่จำลองสภาพแวดล้อมจริงของฟาร์มอย่างใกล้เคียง เช่น การให้อาหารแบบไม่จำกัดและการเลี้ยงในกระชังในระบบบ่อขนาดใหญ่ (Gjerde et al., 2012; Thoa et al., 2016)

จากประเด็นข้างต้น การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความผันแปรของลักษณะฟีโนไทป์ด้านการเจริญเติบโตและความทนเค็มของปลานิลสายพันธุ์ปรับปรุงในระบบการเลี้ยงน้ำเค็มที่มีระดับความเค็ม 32 ppt โดยใช้ข้อมูลจากประชากรขนาดใหญ่ที่มีการควบคุมปัจจัยแวดล้อมร่วมอย่างเป็นระบบ ประกอบด้วยข้อมูลจาก 213 ครอบครัว รวมทั้งสิ้น 3,912 ตัว ที่ได้รับการติดเครื่องหมายรายตัวด้วย PIT tag และบันทึกข้อมูลรายตัวในสภาพแวดล้อมที่ใช้เลี้ยงในเชิงการค้า ผลลัพธ์ที่ได้จะช่วยเติมเต็มองค์ความรู้เกี่ยวกับความผัน

แปรของลักษณะฟีโนไทป์ในบริบทการเลี้ยงจริงในประเทศไทย และสามารถใช้เป็นฐานข้อมูลสำคัญในการออกแบบระบบการผลิตที่เหมาะสมกับพื้นที่ชายฝั่ง รวมถึงเป็นข้อมูลสำหรับการตัดสินใจในเชิงนโยบายการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและสร้างความมั่นคงด้านอาหารในระยะยาว (Falconer and Mackay, 1996; Gjedrem and Rye, 2016; Setyawan et al., 2022)

วิธีการศึกษา

ประชากรสัตว์และการจัดการ

ประชากรปลานิลที่ใช้ในการศึกษานี้ได้รับการคัดเลือกจาก บริษัทมานิตย์ เจเนติกส์ จำกัด ซึ่งเป็นหน่วยงานเอกชนที่ดำเนินโครงการปรับปรุงพันธุกรรมปลานิลมาอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อยกระดับสมรรถภาพด้านการเจริญเติบโตและการรอดชีวิตของปลานิลภายใต้สภาพแวดล้อมที่หลากหลาย ข้อมูลพันธุ์ประวัติ (pedigree) และข้อมูลสมรรถภาพการแสดงออก (performance data) ของปลานิลแต่ละรุ่น ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการประเมินความสามารถทางพันธุกรรมของลักษณะเชิงเศรษฐกิจที่มีความสำคัญ

เพื่อให้สามารถประเมินศักยภาพการแสดงออกภายนอก (phenotypic performance) ของปลานิลในแต่ละครอบครัวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตัวแทนจากแต่ละครอบครัวจึงได้รับการสุ่มคัดเลือกเข้าสู่การทดสอบภายใต้สภาพแวดล้อมจำลองที่ออกแบบให้ใกล้เคียงกับระบบการเลี้ยงเชิงพาณิชย์ในประเทศไทย โดยเฉพาะการทดสอบภายใต้สภาพน้ำเค็ม ซึ่งเป็นบริบทที่มีความสำคัญต่อการเลี้ยงปลานิลในหลายพื้นที่ชายฝั่งของประเทศ ทั้งนี้ การศึกษาได้รับการออกแบบให้สามารถวัดลักษณะการเจริญเติบโตและความสามารถในการทนเค็ม (salinity tolerance) ของปลาได้อย่างแม่นยำและเป็นระบบ

ประชากรปลาที่ศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ชุด (batch) ได้แก่ ชุดที่ 1 และชุดที่ 2 เพื่อควบคุมความผันแปรด้านอายุภายในกลุ่ม โดยรายละเอียดของแต่ละชุดแสดงไว้ใน **Table 1** ซึ่งแสดงจำนวนปลาทั้งหมด จำนวนครอบครัว และจำนวนตัวแทนต่อครอบครัว ตลอดจนข้อมูลช่วงอายุและน้ำหนักตัวของปลา ณ วันเริ่มการศึกษา สำหรับชุดที่ 1 ประกอบด้วยปลาจำนวน 2,145 ตัว จาก 116 ครอบครัว โดยมีจำนวนตัวแทนต่อครอบครัวเฉลี่ยอยู่ที่ 19 ตัว (ช่วง 10–21 ตัว) อายุเฉลี่ยของปลาอยู่ระหว่าง 59–72 วัน และมีน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ที่ 20 ± 6 ก. (ช่วง 3–58 ก.) ส่วนชุดที่ 2 ประกอบด้วยปลาจำนวน 2,087 ตัว จาก 112 ครอบครัว จำนวนตัวแทนเฉลี่ยต่อครอบครัวเท่ากับ 19 ตัว (ช่วง 9–20 ตัว) อายุเฉลี่ยระหว่าง 66–88 วัน และมีน้ำหนักเฉลี่ย 31 ± 11 ก. (ช่วง 4–68 ก.)

Table 1 Stocking summary of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) tested under saline water conditions (32 ppt)

Batch	No. of fish	No. of family	No. per family (range)	Age (range, days)	Body weight (g)	
					Mean ± SD	Range
1	2,145	116	19 (10-21)	66 (59-72)	20 ± 6	3-58
2	2,087	112	19 (9-20)	78 (66-88)	31 ± 11	4-68

ปลาทั้งหมดได้รับการเลี้ยงในกระชังขนาด กว้าง x ยาว x สูง 22 ม. x 9 ม. x 2.5 ม. จำนวน 2 กระชัง ซึ่งกางไว้ในบ่อทดลองของศูนย์ผสมพันธุ์ ขนาด กว้าง x ยาว x สูง 60 ม. x 9 ม. x 2.5 ม. และมีระบบเติมอากาศอย่างต่อเนื่องตลอดการศึกษา โดยให้อาหารแบบไม่จำกัด (*ad libitum*) ภายใต้การควบคุมความหนาแน่นของประชากรที่ 4-5 ตัว/ลบ.ม. และการจัดการตามมาตรฐานของฟาร์มเชิงพาณิชย์ การบันทึกน้ำหนักตัวรายตัวของปลาในแต่ละชุดดำเนินการหลังจากการทดสอบเป็นเวลา 84 วันโดยประมาณ หรือเมื่อปลามีอายุตั้งแต่แรกเกิดเฉลี่ยประมาณ 157 วัน พร้อมกับการตรวจสอบเพศในช่วงการเก็บเกี่ยว เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ผลของเพศต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สำหรับการทดสอบภายใต้สภาพน้ำเค็มนั้น ได้มีการสุ่มปลา 20 ตัวจากแต่ละครอบครัวให้เข้าร่วมการศึกษาในแต่ละชุดย่อย โดยเริ่มต้นจากน้ำจืด (0 ppt) แล้วค่อย ๆ เพิ่มระดับความเค็มวันละ 5 ppt จนถึงระดับเป้าหมายที่ 32 ppt โดยการเติมน้ำที่มีความเค็ม

สูงถึง 250 ส่วนในพัน (ppt) จนได้ระดับความเค็มที่ต้องการในแต่ละวัน ซึ่งกระบวนการปรับความเค็มนี้ใช้ระยะเวลาประมาณ 7 วัน และคงระดับนี้ไว้ตลอดระยะเวลาการทดสอบ การตรวจสอบการตายของปลาจะดำเนินการวันละ 2 ครั้ง ตลอดระยะเวลาการศึกษา เพื่อให้ได้ข้อมูลการรอดชีวิต (survival) ที่ถูกต้อง ครบถ้วน และสามารถนำไปวิเคราะห์ความสามารถในการทนต่อความเค็มของปลาจากแต่ละครอบครัวได้อย่างแม่นยำ

การคัดเลือก การจับคู่ผสมพันธุ์ และการอนุบาลลูกปลานิล

การผลิตประชากรปลานิลในการศึกษา เริ่มจากการคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์จากรุ่นก่อนหน้า โดยใช้ค่าความสามารถทางพันธุกรรม (genetic merit) ที่ประเมินจากข้อมูลการเจริญเติบโตและอัตราการรอดชีวิตภายใต้สภาวะน้ำเค็ม ซึ่งเป็นลักษณะเชิงเศรษฐกิจที่สำคัญต่อระบบการเพาะเลี้ยงปลานิลในพื้นที่ชายฝั่งของประเทศไทย พ่อแม่พันธุ์ที่ผ่านการคัดเลือกมีจำนวนรวมทั้งสิ้น 340 ตัว เป็นเพศผู้ 127 ตัว และเพศเมีย 213 ตัว ถูกจับคู่ผสมพันธุ์ในอัตราส่วน 1:2 ตามหลักการวางแผนการผสมพันธุ์เชิงระบบเพื่อให้ได้ความหลากหลายทางพันธุกรรมและสร้างความสมดุลระหว่างการคัดเลือก

ในกระบวนการผสมพันธุ์มีการสร้างครอบครัว รวม 213 ครอบครัว (full-sib families) โดยการเก็บไข่จากแม่พันธุ์ในแต่ละครอบครัว และนำไปฟักในสภาพควบคุมเป็นระยะเวลา 3 ถึง 10 วัน จนพัฒนาเป็นลูกปลา (fry stage) หลังการฟัก ลูกปลาแต่ละครอบครัวถูกย้ายไปอนุบาลในหน่วยอนุบาลเฉพาะ (family-specific nursing unit) ซึ่งออกแบบให้เลี้ยงแยกตามครอบครัวอย่างเป็นระบบ เพื่อลดผลกระทบจากปัจจัยแวดล้อมร่วม (common environmental effects) ในระยะต้นของการเจริญเติบโต และควบคุมความแปรผันที่ไม่ได้เกิดจากพันธุกรรมโดยตรง เช่น ความแตกต่างในการเข้าถึงอาหารหรือพื้นที่ในระยะเริ่มต้น (Gjerde et al., 2012; Thoa et al., 2016) ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อความแม่นยำในการวิเคราะห์ฟีโนไทป์ในระยะปลาย

การอนุบาลลูกปลาดำเนินการภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีการควบคุมอย่างเข้มงวด โดยมีการให้อาหารวันละ 5 ครั้ง เพื่อให้ปลาทุกตัวได้รับสารอาหารอย่างเพียงพอและลดการแข่งขันภายในกลุ่ม มีการดูแลคุณภาพน้ำอย่างใกล้ชิด ได้แก่ การกำจัดตะกอนเพื่อป้องกันการสะสมของของเสีย การวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำและอุณหภูมิวันละ 2 ครั้ง รวมถึงการวัดค่า pH และแอมโมเนียรวมสัปดาห์ละ 2 ครั้ง เพื่อติดตามความเหมาะสมของสภาพแวดล้อมอย่างต่อเนื่อง เพื่อรักษาสภาพการอนุบาลที่สม่ำเสมอ ลดความเครียด และส่งเสริมการเจริญเติบโตอย่างเต็มศักยภาพ

การระบุตัว การติดเครื่องหมาย และการปล่อยเลี้ยง

ปลานิลที่ผ่านกระบวนการอนุบาลเบื้องต้น ถูกแบ่งประชากรออกเป็น 2 ชุด (batch) เพื่อควบคุมและลดผลกระทบจากความแปรปรวนด้านอายุและขนาดระหว่างกลุ่มปลา โดยปลาชุดที่ 1 และ ชุดที่ 2 ใช้ระยะเวลาในการอนุบาล 66 และ 78 วัน โดยเฉลี่ย และมีน้ำหนักเฉลี่ยก่อนเข้าสู่กระบวนการคัดเลือกเพื่อปล่อยเลี้ยงในสภาพน้ำเค็ม อยู่ที่ 20 และ 31 ก. ตามลำดับ โดยสุ่มเลือกจำนวน 15 ครอบครัวให้กระจายเข้าสู่ทั้ง 2 ชุด เพื่อสร้างความเชื่อมโยงระหว่างชุด (batch connectedness) ซึ่งเป็นแนวทางที่ช่วยให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติได้อย่างแม่นยำในภายหลัง ลดอคติที่อาจเกิดจากการเปรียบเทียบระหว่างชุดที่ไม่ต่อเนื่องกัน (non-connected batches)

ในการทดสอบแต่ละชุด ปลาจากแต่ละครอบครัวถูกสุ่มเลือกจำนวน 9–21 ตัว ขึ้นอยู่กับขนาดครอบครัวและความพร้อมของตัวปลา โดยปลาแต่ละตัวได้รับการติดเครื่องหมายไมโครชิปแบบ Passive Integrated Transponder (PIT tag) เพื่อระบุตัวตนรายบุคคล ซึ่งช่วยให้สามารถติดตามสมรรถภาพรายตัว (individual performance) ได้อย่างถูกต้องแม่นยำตลอดช่วงการศึกษา การติดเครื่องหมายดำเนินการภายหลังการวางยาสลบด้วยน้ำมันกานพลู (clove oil) ในอัตราส่วนที่เหมาะสม เพื่อช่วยลดความเครียดและป้องกันการบาดเจ็บจากการเคลื่อนไหวของปลาในระหว่างกระบวนการ

ข้อมูลรหัสประจำตัวสัตว์ (PIT ID) รหัสครอบครัว (family ID) และข้อมูลสิ่งแวดล้อมในการเลี้ยงถูกบันทึกไว้อย่างละเอียดครบถ้วน รวมถึงการระบุสภาพแวดล้อมร่วม (contemporary groups) และรายละเอียดของชุดที่ศึกษา (batch information) เพื่อให้สามารถใช้ข้อมูลในการวิเคราะห์ฟีโนไทป์เชิงลึกต่อไปได้ เช่น การวิเคราะห์การกระจายตัวของลักษณะการเจริญเติบโตและความแปรปรวนระหว่างกลุ่มครอบครัว

หลังจากการติดเครื่องหมายและบันทึกข้อมูล ปลาจากแต่ละครอบครัวที่ติดเครื่องหมายจะถูกปล่อยรวมกัน และถูกนำไปพักฟื้นในถังพัก (recovery tanks) เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ เพื่อให้ปลาปรับตัวและฟื้นตัวจากการติดเครื่องหมาย ในขั้นตอนนี้ ได้ชั่งน้ำหนักเริ่มต้นรายตัว (initial body weight) โดยใช้เครื่องชั่งดิจิทัล Mettler Toledo IND 425 ซึ่งมีความแม่นยำสูง เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการเปรียบเทียบและวิเคราะห์อัตราการเจริญเติบโต ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง

สภาพแวดล้อมในการทดสอบและการเก็บข้อมูล

ปลานิลที่ผ่านการติดเครื่องหมายและพักฟื้นถูกปล่อยลงเลี้ยงในกระชังขนาด กว้าง x ยาว x สูง 22 ม. × 9 ม. × 2.5 ม. ภายในระบบบ่อเลี้ยงน้ำเค็มที่ออกแบบให้สามารถควบคุมปัจจัยแวดล้อมได้อย่างใกล้ชิด ซึ่งเป็นระบบจำลองที่สะท้อนสภาพการเลี้ยงเชิงพาณิชย์ของฟาร์มในเขตชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกและภาคใต้ของประเทศไทยที่มีความเค็มแปรผันตามฤดูกาล การศึกษาครั้งนี้จึงมีความสำคัญในการให้ข้อมูลที่สอดคล้องกับระบบการผลิตจริงของประเทศ

การทดสอบถูกออกแบบให้เริ่มต้นจากการเลี้ยงปลาทุกตัวในสภาพน้ำจืด (0 ส่วนในพัน; ppt) จากนั้นค่อย ๆ เพิ่มระดับความเค็มวันละ 5 ppt จนกระทั่งถึงระดับเป้าหมายที่ 32 ppt ซึ่งถือเป็นระดับที่พบได้ในหลายพื้นที่น้ำเค็มของประเทศไทย และมีนัยสำคัญต่อการขยายพื้นที่การผลิตปลานิลเข้าสู่ระบบน้ำเค็มในเชิงอุตสาหกรรม การควบคุมระดับความเค็มอย่างค่อยเป็นค่อยไปในลักษณะนี้ มีวัตถุประสงค์ เพื่อลดความเครียดเฉียบพลัน (acute stress) และประเมินศักยภาพการปรับตัวต่อสภาวะน้ำเค็มได้อย่างแม่นยำและเป็นธรรมชาติ

ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง ปลานิลได้รับการให้อาหารแบบไม่จำกัด (*ad libitum*) เพื่อขจัดอิทธิพลจากข้อจำกัดด้านปริมาณอาหารซึ่งอาจส่งผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโต รวมถึงลดความเอนเอียงจากพฤติกรรมการแข่งขันภายในฝูง อย่างไรก็ตาม แม้จะควบคุมปัจจัยแวดล้อมอย่างเข้มงวด แต่ในการเลี้ยงจริงยังคงมีความแตกต่างของการเข้าถึงอาหารในระดับปัจเจก (individual feeding opportunity) ซึ่งสะท้อนถึงความท้าทายในการเลี้ยงระบบเปิดในเชิงพาณิชย์

เมื่อปลาในแต่ละชุดมีอายุเฉลี่ยประมาณ 157 วัน ซึ่งครอบคลุมระยะเวลาเลี้ยงตั้งแต่ปล่อยจนถึงขนาดปลาตลาด (market size) ได้ดำเนินการเก็บเกี่ยวโดยใช้ยาสลบ (clove oil anesthesia) เพื่อลดการเคลื่อนไหว ลดความเครียด และป้องกันการบาดเจ็บของปลาในระหว่างการจับขึ้นจากกระชัง การเก็บข้อมูลภาคสนามประกอบด้วยการชั่งน้ำหนักตัวรายตัวด้วยเครื่องชั่งดิจิทัลที่มีความแม่นยำสูง (Mettler Toledo IND425) การตรวจสอบเพศ และ การบันทึกสถานะการรอดชีวิต โดยกำหนดรหัส 0 สำหรับปลาที่ตาย และรหัส 1 สำหรับปลาที่รอดชีวิต

การเตรียมข้อมูล

ภายหลังการเก็บข้อมูลภาคสนามจากการทดสอบในสภาพน้ำเค็มแล้ว ข้อมูลทั้งหมดได้รับการตรวจสอบและจัดการอย่างเป็นระบบ โดยมุ่งเน้นการระบุและแก้ไขค่าผิดปกติ (outliers) และข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในข้อมูลฟีโนไทป์ เพื่อให้มั่นใจในความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของผลการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป การดำเนินการทั้งหมดใช้โปรแกรม R (R Core Team) ซึ่งเป็นเครื่องมือมาตรฐานในการประมวลผลข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วยสองส่วนหลัก ได้แก่ (1) ข้อมูลพันธุ์ประวัติ (pedigree) ซึ่งระบุรหัสประจำตัวสัตว์แต่ละตัว (animal ID) รวมถึงรหัสของพ่อพันธุ์ (sire ID) และแม่พันธุ์ (dam ID) และ (2) ข้อมูลสมรรถภาพการแสดงออก (performance data) ของลักษณะที่สนใจ ได้แก่ น้ำหนักตัว อัตรารอดชีวิต เพศ อายุ และชุดที่ศึกษา (batch) โดยจัดกลุ่มตามสภาพแวดล้อมร่วม (contemporary groups) เพื่อควบคุมอิทธิพลจากปัจจัยภายนอก

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติดำเนินการโดยใช้แบบจำลองเชิงเส้นทั่วไป (General Linear Model: GLM) เพื่อประเมินผลของปัจจัยหลักที่มีต่อค่าถัวเฉลี่ยของน้ำหนักตัว ได้แก่ ชุดที่ศึกษา เพศ อายุ และครอบครัว โดยมีการใช้การวิเคราะห์ความผันแปร (Analysis of Variance: ANOVA) เพื่อตรวจสอบความแตกต่างเชิงสถิติระหว่างกลุ่มต่าง ๆ แบบจำลองที่ใช้มีรูปแบบพื้นฐานดังนี้:

$$y_{ijkl} = \mu + Batch_i + Sex_j + Age_k + Family_l + e_{ijkl}$$

โดยที่ y_{ijkl} คือ น้ำหนักตัว, μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของประชากร, $Batch_i$ คือ ผลของชุดที่ศึกษา (batch 1 หรือ 2), Sex_j คือ ผลของเพศ, Age_k คือ ผลของอายุ (ตัวแปรร่วม), $Family_l$ คือ ผลสุ่มของครอบครัว, และ e_{ijkl} คือ ค่าคลาดเคลื่อนสุ่ม ซึ่งสมมติให้มีการแจกแจงแบบปกติ $e \sim N(0, \boldsymbol{\sigma}^2)$

สำหรับการวิเคราะห์อัตรารอดชีวิต ซึ่งถือเป็นตัวแทนของความสามารถในการทนเค็ม (salinity tolerance) และเป็นข้อมูลในรูปแบบไบนารี (binary response: 0 = ตาย, 1 = รอด) ได้มีการใช้แบบจำลองลอจิสติก (logistic regression) ภายใต้กรอบของ GLM เพื่อประเมินความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยแวดล้อมและความน่าจะเป็นของการรอดชีวิต โดยใช้การประมาณค่า log-odds เป็นดัชนีการวิเคราะห์ การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่ม ได้รับการควบคุมความคลาดเคลื่อนจากการเปรียบเทียบหลายกลุ่ม (multiple comparisons) โดยใช้การทดสอบ Tukey HSD หรือ Bonferroni ตามความเหมาะสม ทั้งนี้ การวิเคราะห์ทั้งหมดดำเนินการด้วยโปรแกรม R

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลการศึกษาเบื้องต้นของลักษณะฟีโนไทป์ในสภาพน้ำเค็ม

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลใน **Table 2** พบว่า ปลานิลชุดที่ 2 มีอายุเฉลี่ยมากกว่าชุดที่ 1 ประมาณ 10.7 วัน (161.5 เทียบกับ 150.8 วัน) และมีน้ำหนักตัวเฉลี่ยสูงกว่า (528.0 ก. เทียบกับ 507.9 ก.) อย่างไรก็ตาม ชุดที่ 2 มีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักตัวสูงกว่าชุดที่ 1 (142.0 เทียบกับ 100.3 ก.) ซึ่งสะท้อนถึงความไม่สม่ำเสมอในการเจริญเติบโตภายในฝูง แม้ทั้งสองชุดจะได้รับการเลี้ยงในสภาพแวดล้อมเดียวกัน

Table 2 Summary of survival, body weight, and age at harvest of genetically improved Nile tilapia reared under saline water conditions (32 ppt)

Batch	Number	Survival (%)	Age (day)	Mean (g)	SD	Minimum	Maximum
1	2,062	96.1	150.8	507.9	100.3	107	740
2	1,850	88.6	161.5	528.0	142.0	46	909
Total	3,912	92.4	155.9	517.4	122.2	46	909

เมื่อพิจารณาการแจกแจงของน้ำหนักตัวในแต่ละชุด **(Figure 1)** พบว่า ทั้งสองชุดมีรูปแบบการกระจายคล้ายปกติ แต่ชุดที่ 2 มีช่วงน้ำหนักกว้างกว่า โดยมีค่าต่ำสุดถึง 46 ก. และค่าสูงสุดถึง 909 ก. ในขณะที่ชุดที่ 1 มีช่วงระหว่าง 107–740 ก. ความแตกต่างนี้อาจเกิดจากหลายปัจจัย เช่น อายุเฉลี่ยที่มากกว่าในชุดที่ 2 การแข่งขันในการเข้าถึงอาหารแม้จะให้อาหารแบบ *ad libitum* รวมถึงความแตกต่างของสภาพการอนุบาลในช่วงต้น (Gjedrem and Rye, 2016)

ประเด็นดังกล่าวมีนัยสำคัญต่อการวางแผนการจัดการฝูงปลาในระดับฟาร์ม โดยเฉพาะการแบ่งกลุ่มฝูงตามสมรรถภาพการเติบโตและการทนเค็ม เพื่อเพิ่มความสม่ำเสมอของผลผลิตและลดต้นทุนการคัดแยกขนาดปลาก่อนจำหน่าย (Bentsen et al., 2012; Verdal et al., 2014) นอกจากนี้ ยังสะท้อนถึงโอกาสในการพัฒนาสายพันธุ์ที่มีสมรรถภาพการเติบโตสม่ำเสมอมากขึ้นสำหรับระบบการเลี้ยงน้ำเค็ม

ในด้านอัตราการรอดชีวิต พบว่า ปลานิลชุดที่ 1 มีอัตรารอดสูงกว่า (96.1%) เมื่อเทียบกับชุดที่ 2 (88.6%) แม้จะเลี้ยงในระดับความเค็มเดียวกัน (32 ppt) ข้อมูลนี้สะท้อนถึงศักยภาพของสายพันธุ์ที่สามารถปรับตัวต่อสภาพน้ำเค็มได้ดี (Ninh et al., 2014; Setyawan et al., 2022) อย่างไรก็ตาม การที่ชุดที่ 2 มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยสูงกว่าแต่มีอัตราการรอดต่ำกว่า นอกเหนือจากความผันแปรของอายุระหว่างชุดแล้ว อาจเป็นผลจากปรากฏการณ์ trade-off ระหว่างการเติบโตกับการอยู่รอด (Rezk et al., 2009; Hamzah et

al., 2017) โดยเฉพาะเมื่อปลาอายุมากขึ้น ความเครียดสะสมจากความเค็มอาจเพิ่มความเสี่ยงต่อการตาย (Falconer and Mackay, 1996)

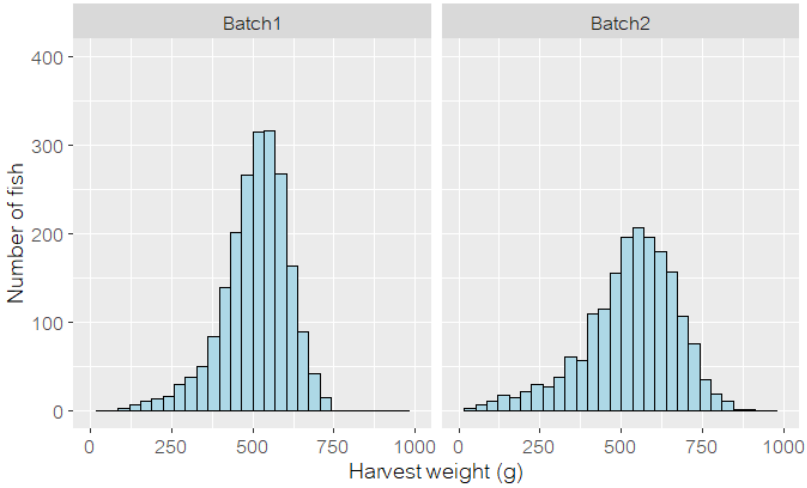


Figure 1 Distribution of harvest body weight of Nile tilapia reared in saline water (32 ppt), grouped by batch

ข้อค้นพบนี้มีความสำคัญต่อการออกแบบโปรแกรมคัดเลือกพันธุ์และการจัดการในระบบการเลี้ยงน้ำเค็ม กล่าวคือ ควรใช้แนวทางการคัดเลือกแบบหลายลักษณะ (multi-trait selection) ที่พิจารณาทั้งสมรรถภาพการเจริญเติบโตและความสามารถในการทนเค็มร่วมกัน แทนการคัดเลือกเฉพาะลักษณะใดลักษณะหนึ่งเพียงอย่างเดียว เพื่อป้องกันผลกระทบเชิงลบที่อาจเกิดขึ้นต่อสมรรถภาพโดยรวมในระยะยาว (Rezk et al., 2009; Gjedrem and Rye, 2016; Hamzah et al., 2017)

ในเชิงการจัดการฟาร์ม การใช้ข้อมูลการกระจายน้ำหนักและอัตรารอดที่ได้จากการศึกษานี้ สามารถนำไปใช้วางแผนการเลี้ยงให้เหมาะสมกับเพศ อายุ และชุดของปลา เพื่อลดความไม่สม่ำเสมอของผลผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตในสภาพฟาร์มจริง รวมถึงเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการออกแบบดัชนีคัดเลือกที่ตอบโจทย์ ทั้งด้านเศรษฐกิจและความยั่งยืนของอุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงปลานิลในน้ำเค็มของประเทศไทยในอนาคต (Gjedrem and Rye, 2016; Setyawan et al., 2022)

ผลของเพศต่อน้ำหนักตัวภายใต้สภาพน้ำเค็ม

การศึกษานี้พบว่า ปลานิลเพศผู้มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยสูงกว่าเพศเมียอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (542.3 ± 120.4 ก. เทียบกับ 491.3 ± 112.7 ก., $p < 0.01$) คิดเป็นความแตกต่างประมาณร้อยละ 10 **(Figure 2)** ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับงานของ Bentsen et al. (2012) และ Hamzah et al. (2017) ที่ระบุว่าเพศผู้ของปลานิลมักมีอัตราการเติบโตเร็วกว่าเพศเมีย อันเป็นผลจากความแตกต่างทางสรีรวิทยาและฮอร์โมน โดยเฉพาะในระยะก่อนเข้าสู่ภาวะเจริญพันธุ์ อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างของน้ำหนักระหว่างเพศในการศึกษานี้อยู่ในระดับปานกลาง เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ Bentsen et al. (2012) รายงานไว้ในช่วง 19.2–72.7% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสภาพแวดล้อมและพันธุกรรมของแต่ละสายพันธุ์มีผลต่อระดับความแตกต่างดังกล่าว

เมื่อแยกวิเคราะห์ตามชุดที่ศึกษา (batch) พบว่า แนวโน้มการเติบโตที่เหนือกว่าของเพศผู้มีความสม่ำเสมอในทั้งสองชุดการศึกษา และไม่พบปฏิสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างเพศและชุดที่ศึกษา ($p > 0.05$) แสดงว่าอิทธิพลของเพศต่อการเจริญเติบโตมีความเสถียรภายใต้ช่วงอายุและสภาพแวดล้อมการเลี้ยงที่ต่างกัน ลักษณะการเติบโตที่เหนือกว่าของเพศผู้ไม่ได้เกิดจาก outlier หรือปลาขนาดใหญ่ผิดปกติ แต่เป็นแนวโน้มในระดับประชากร (consistent population-wide trend) ซึ่งมีความสำคัญต่อการคัดเลือกพันธุ์ในเชิงพาณิชย์ เพราะช่วยให้ได้ผลผลิตที่มีขนาดสม่ำเสมอ ลดต้นทุนการคัดแยก และตรงตามความต้องการของตลาด (Gjedrem and Rye, 2016)

ในเชิงการจัดการฟาร์ม ข้อมูลนี้ชี้ให้เห็นถึงโอกาสในการประยุกต์ใช้ระบบการเลี้ยงแบบแยกเพศ (monosex culture) โดยเฉพาะการเลี้ยงเพศผู้ในสภาพน้ำเค็ม ซึ่งอาจช่วยเพิ่มผลตอบแทนจากน้ำหนักตัว ลดระยะเวลาเลี้ยง และเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต

อย่างไรก็ตาม ควรพิจารณาถึงข้อจำกัด เช่น ความแม่นยำของการแยกเพศ ต้นทุนการผลิต และผลกระทบต่อความหลากหลายทางพันธุกรรมในระยะยาว (Gjedrem and Rye, 2016; Hamzah et al., 2017)

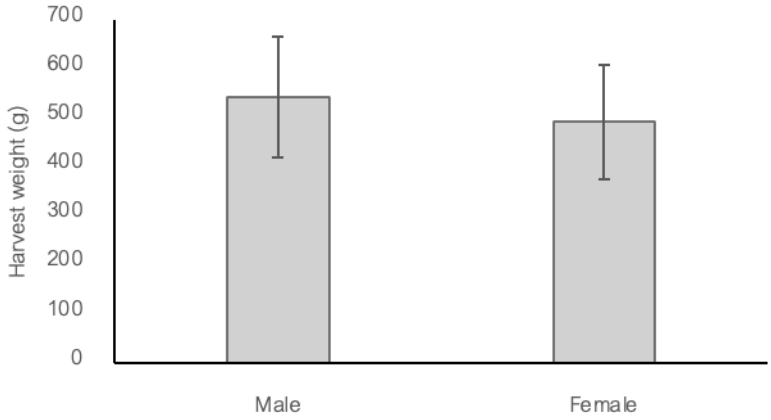


Figure 2 Average body weight (± SD) of male and female Nile tilapia harvested under saline water conditions (32 ppt)

ในมิติการปรับปรุงพันธุ์ ผลการศึกษานี้สะท้อนศักยภาพของการพัฒนาแนวทางคัดเลือกพันธุ์แบบเน้นเพศ (sex-specific selection) หรือการใช้ข้อมูลเพศเป็นตัวปรับในดัชนีคัดเลือก (selection index) เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการประเมินค่าพันธุกรรมในแต่ละเพศอย่างเหมาะสม ทั้งนี้ การคัดเลือกให้ได้สายพันธุ์ที่ตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมน้ำเค็มได้ดีทั้งในแง่การเจริญเติบโตและการอยู่รอดจะช่วยรองรับการขยายการผลิตปลานิลในพื้นที่ชายฝั่งของประเทศไทยได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน (Gjedrem and Rye, 2016; Setyawan et al., 2022)

ความผันแปรของน้ำหนักตัวในระดับครอบครัวของปลานิลที่เลี้ยงในน้ำเค็ม

การวิเคราะห์ข้อมูลจาก **Figure 3** พบว่า มีความแตกต่างของน้ำหนักตัวระหว่างครอบครัวอย่างชัดเจน แม้ปลาจะได้รับการเลี้ยงภายใต้สภาพแวดล้อมเดียวกัน โดยบางครอบครัวมีน้ำหนักตัวเฉลี่ยต่ำกว่า 400 ก. ขณะที่บางครอบครัวมีน้ำหนักเฉลี่ยเกิน 600 ก. อย่างสม่ำเสมอ ความแตกต่างดังกล่าวสะท้อนถึงความหลากหลายของสมรรถภาพการเจริญเติบโตในระดับครอบครัว ซึ่งอาจเกิดจากทั้งปัจจัยทางพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อมร่วม (Gjedrem and Rye, 2016; D'Agaro et al., 2021)

การที่บางครอบครัวมีการกระจุกตัวของน้ำหนักตัวในช่วงแคบ แสดงถึง ความสม่ำเสมอในการเจริญเติบโต ขณะที่บางครอบครัวมีช่วงการกระจายของน้ำหนักกว้าง (เช่น 250–800 ก.) อาจบ่งชี้ถึงความไม่สม่ำเสมอในการเข้าถึงอาหารหรือพฤติกรรมการแข่งขันภายในฝูง ทั้งนี้ การเลือกครอบครัวที่แสดงสมรรถภาพการเติบโตดีและมีความสม่ำเสมอภายในฝูง จึงมีความสำคัญต่อการปรับปรุงพันธุ์และการบริหารจัดการในเชิงพาณิชย์ เพราะช่วยลดต้นทุนในการคัดแยกและเพิ่มความสามารถในการตอบสนองความต้องการของตลาด (Gjedrem and Rye, 2016)

แม้ว่าการศึกษานี้ยังไม่ได้ประมาณค่าพันธุกรรม (heritability) หรือค่าประมาณพันธุกรรมรายตัว (EBV) แต่ข้อมูลเชิงฟีโนไทป์จากครอบครัวที่แสดงใน **Figure 3** เป็นฐานข้อมูลสำคัญที่สามารถใช้วางแผนคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์ในรุ่นถัดไปได้อย่างเป็นรูปธรรม โดยเฉพาะการคัดเลือกกลุ่มครอบครัวที่มีสมรรถภาพเด่น (high-performing families) สำหรับการใช้ในโครงการคัดเลือกพันธุ์ที่เหมาะสมกับสภาพน้ำเค็ม (Gjedrem and Rye, 2016; D'Agaro et al., 2021)

อย่างไรก็ตาม ความแปรผันภายในครอบครัวบางกลุ่มที่มีช่วงน้ำหนักกว้าง อาจสะท้อนถึงอิทธิพลของปัจจัยแวดล้อมในช่วงก่อนการติดเครื่องหมาย เช่น การอนุบาลหรือการเข้าถึงอาหารในระยะต้น ซึ่งอาจไม่สะท้อนถึงพันธุกรรมโดยตรง (Gjerde et al., 2012; Thoa et al., 2016) ดังนั้น การควบคุมปัจจัยดังกล่าวในการเลี้ยงรุ่นถัดไปจึงมีความสำคัญต่อการเพิ่มความแม่นยำในการประเมินสมรรถภาพฟีโนไทป์ให้ใกล้เคียงศักยภาพจริงของสัตว์

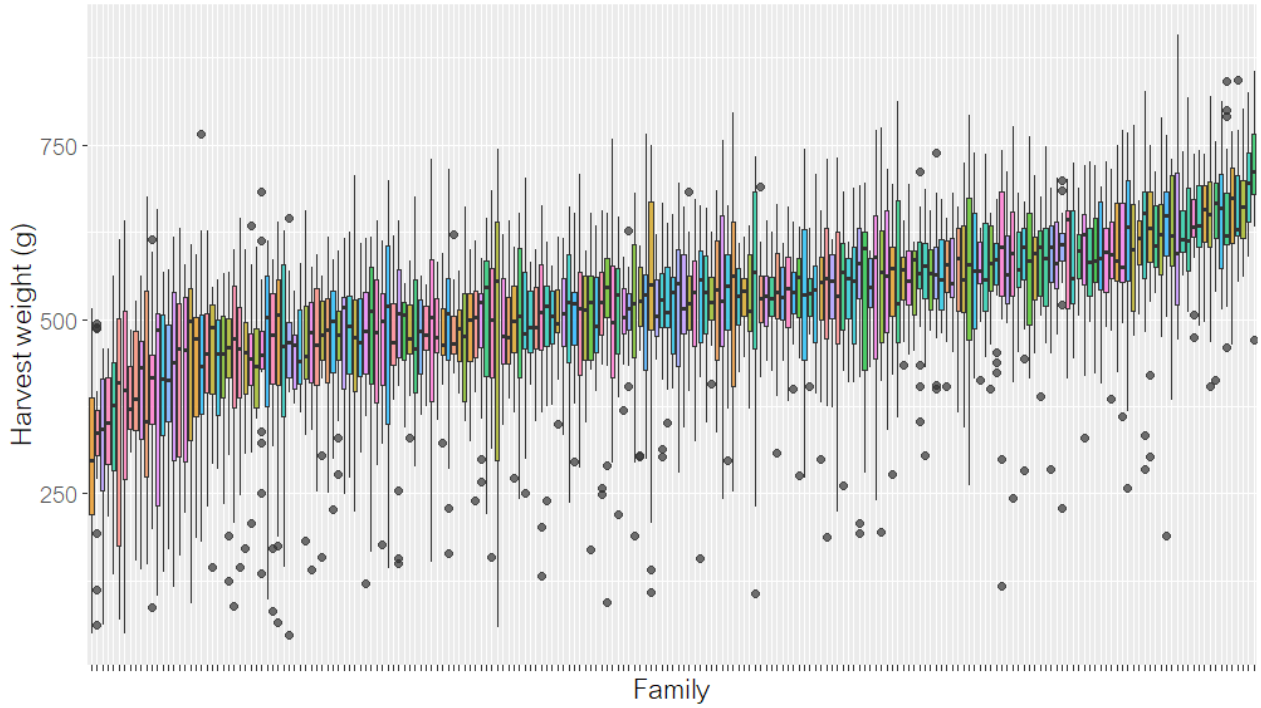


Figure 3 Distribution of harvest body weight of genetically improved Nile tilapia across 213 full-sib families reared under saline water conditions (32 ppt)

ข้อค้นพบนี้สามารถนำไปสู่การออกแบบโปรแกรมคัดเลือกพันธุ์แบบเฉพาะครอบครัว (family-based breeding program) ที่เน้นทั้งสมรรถภาพการเติบโตและความสม่ำเสมอของผลผลิตในระบบฟาร์มชายฝั่งของไทย เป้าหมายหลักคือ การลดความแปรผันของน้ำหนักตัวภายในฝูง เพิ่มผลผลิตที่ได้มาตรฐาน และยกระดับประสิทธิภาพการผลิตให้สามารถแข่งขันได้ในระยะยาว (Gjedrem and Rye, 2016; D'Agaro et al., 2021)

ความสัมพันธ์ฟีโนไทป์ระหว่างน้ำหนักตัวและความสามารถในการทนเค็ม

ผลการวิเคราะห์พบว่าค่าสหสัมพันธ์เชิงฟีโนไทป์ระหว่างน้ำหนักตัวและอัตราการรอดชีวิตภายใต้สภาพน้ำเค็มระดับ 32 ส่วนในพัน (ppt) มีค่าต่ำมาก (0.02 ± 0.01) แสดงถึงความเป็นอิสระของลักษณะทั้งสอง กล่าวคือ ปลาที่มีน้ำหนักตัวสูง ไม่ได้มีโอกาสรอดชีวิตในสภาพน้ำเค็มสูงกว่าปลาที่มีน้ำหนักต่ำเสมอไป ข้อค้นพบนี้สอดคล้องกับรายงานของ Ninh et al. (2014) และ Hamzah et al. (2017) ที่พบว่า ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตและการรอดชีวิตในปลานิลภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีความเค็มสูงมักอยู่ในระดับต่ำ เช่นเดียวกับงานของ Rezk et al. (2009) และ Thodesen et al. (2013) ที่ระบุว่าการคัดเลือกพันธุ์โดยใช้ลักษณะการเติบโตเพียงอย่างเดียวไม่สามารถเพิ่มสมรรถภาพด้านการรอดชีวิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากไม่มีความสัมพันธ์กันในเชิงพันธุกรรมหรือฟีโนไทป์อย่างชัดเจน

ข้อมูลจาก **Figure 1** และ **Table 2** สนับสนุนข้อสังเกตนี้ โดยแม้เพศผู้จะมีน้ำหนักตัวเฉลี่ยสูงกว่าเพศเมีย (542.3 เทียบกับ 491.3 ก.) แต่ไม่มีความแตกต่างด้านอัตรารอดชีวิตระหว่างเพศอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ การวิเคราะห์ในระดับครอบครัว **(Figure 3)** พบว่า ครอบครัวที่มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยสูงไม่ได้มีอัตรารอดชีวิตสูงกว่าเสมอไป ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Moses et al. (2021) ที่พบว่าไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการรอดและอัตราการเจริญเติบโตระหว่างปลาที่มีพันธุกรรมแตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าการเจริญเติบโตและการทนเค็มเป็นลักษณะที่เป็นอิสระต่อกันในเชิงฟีโนไทป์

ในเชิงการคัดเลือกพันธุ์และการวางแผนการผลิต ผลลัพธ์นี้มีความหมายสำคัญ กล่าวคือ หากมุ่งคัดเลือกพันธุ์ปลานิลที่โตเร็วเพียงอย่างเดียว อาจไม่ส่งผลให้ได้สายพันธุ์ที่สามารถอยู่รอดในสภาพน้ำเค็มได้ดี จึงควรใช้ดัชนีคัดเลือกแบบหลายลักษณะ (multi-trait selection index) ที่รวมทั้งลักษณะการเติบโตและการทนเค็มเข้าด้วยกัน เพื่อลดความเสี่ยงจากการคัดเลือกพันธุ์แบบลักษณะเดียว

(single-trait selection) ที่อาจส่งผลกระทบเชิงลบต่อสมรรถภาพโดยรวมในระยะยาว (Rezk et al., 2009; Thodesen et al., 2013; Gjedrem and Rye, 2016)

ค่าสหสัมพันธ์ที่ต่ำอาจสะท้อนอิทธิพลของปัจจัยแวดล้อมระหว่างการเลี้ยง เช่น ความแตกต่างในช่วงการอนุบาล การตอบสนองต่อความเครียดจากความเค็ม หรือความไม่สม่ำเสมอในการเข้าถึงอาหารในสภาวะที่มีการแข่งขัน (Gjerde et al., 2012; Thoa et al., 2016) ปัจจัยเหล่านี้อาจทำให้พฤติกรรมการเติบโตและการอยู่รอดไม่สัมพันธ์กันในแต่ละตัวปลา ดังนั้น ฟาร์มที่เลี้ยงปลานิลในสภาพน้ำเค็มควรตระหนักว่าการคัดเลือกสัตว์ที่โตเร็วอาจไม่ได้ช่วยเพิ่มอัตรารอดชีวิตโดยตรง การคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์ในระบบน้ำเค็มควรแยกพิจารณาทั้งสองลักษณะอย่างมีระบบและวางแผนอย่างรอบคอบ

ผลการศึกษานี้ยืนยันถึงความจำเป็นในการพัฒนาแนวทางการคัดเลือกพันธุ์ที่มีความละเอียดและครอบคลุมหลายลักษณะ โดยอิงจากข้อมูลฟีโนไทป์ขนาดใหญ่ในสภาวะจริง เพื่อตอบสนองทั้งการเพิ่มผลผลิตและการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมที่ท้าทายในระบบการเลี้ยงน้ำเค็มอย่างยั่งยืน โดยเฉพาะสำหรับการขยายการผลิตปลานิลในพื้นที่ชายฝั่งของประเทศไทยที่มีข้อจำกัดด้านสิ่งแวดล้อมเฉพาะ (Ninh et al., 2014; Thoa et al., 2016; Hamzah et al., 2017)

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ยังมีข้อจำกัดสำคัญที่ควรพิจารณาโดยเฉพาะความแตกต่างของสภาพการอนุบาลในช่วงต้นของแต่ละครอบครัว ซึ่งแม้จะมีการควบคุมสิ่งแวดล้อมร่วมอย่างเป็นระบบ แต่ความแปรผันในการเข้าถึงอาหาร ความหนาแน่น หรือปฏิสัมพันธ์ระหว่างลูกปลาในระยะก่อนการติดเครื่องหมาย (tagging) อาจส่งผลต่อความแปรผันภายในครอบครัว (within-family variance) และกระทบความแม่นยำของการประเมินสมรรถภาพฟีโนไทป์ในระยะปลายได้ ดังนั้น การออกแบบการศึกษาในอนาคตควรพิจารณากลไกการควบคุมปัจจัยแวดล้อมในช่วงต้นอย่างละเอียดรอบคอบ เพื่อให้สามารถแยกแยะอิทธิพลจากพันธุกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพและชัดเจนยิ่งขึ้น (Gjerde et al., 2012; Thoa et al., 2016)

สรุป

การศึกษานี้ได้วิเคราะห์ความแปรผันของลักษณะฟีโนไทป์ด้านการเจริญเติบโตและความสามารถในการทนเค็มของปลานิล ที่เลี้ยงในสภาพน้ำเค็มระดับความเค็ม 32 ส่วนในพัน (ppt) ภายใต้การจัดการแบบเชิงพาณิชย์ ผลการศึกษาพบว่า เพศผู้มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยสูงกว่าเพศเมียประมาณร้อยละ 10 ขณะที่อัตราการรอดชีวิตโดยรวมของประชากรอยู่ในระดับสูงมาก (92.4%) สะท้อนถึงศักยภาพของสายพันธุ์ในการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมที่มีความเค็มสูง นอกจากนี้ ยังพบความผันแปรของน้ำหนักตัวในระดับครอบครัวอย่างชัดเจน ซึ่งเป็นข้อบ่งชี้ถึงความหลากหลายทางพันธุกรรมที่สามารถใช้ประโยชน์ในการคัดเลือกพันธุ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม ค่าความสัมพันธ์ฟีโนไทป์ระหว่างน้ำหนักตัวและอัตรารอดชีวิตมีค่าเพียง 0.02 ± 0.01 ซึ่งอยู่ในระดับต่ำมาก แสดงให้เห็นว่าลักษณะทั้งสองมีความเป็นอิสระต่อกันในระดับฟีโนไทป์ จากข้อค้นพบดังกล่าว ข้อเสนอเชิงกลยุทธ์ที่สำคัญ คือ การใช้ดัชนีคัดเลือกแบบหลายลักษณะในกระบวนการปรับปรุงพันธุ์ เพื่อให้สามารถพัฒนาสายพันธุ์ที่มีทั้งสมรรถภาพการเจริญเติบโตและความสามารถในการทนเค็มในระดับสูงได้อย่างสมดุล ผลการศึกษานี้จึงมีคุณค่าเชิงวิทยาศาสตร์และเชิงประยุกต์อย่างยิ่ง โดยสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบโปรแกรมการคัดเลือกพันธุ์ปลานิลที่เหมาะสมกับสภาพน้ำเค็ม และสนับสนุนการขยายการผลิตในพื้นที่ชายฝั่งของประเทศไทยอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

การอนุญาตวิจัยในสัตว์

การทดลองนี้ได้รับอนุญาตใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ ตามเอกสารอนุญาตเลขที่ (approval number) ACKU64-AGR-024 ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณการสนับสนุน จาก หน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของประเทศ (บพข.; PMUC; C10F640086) คณะกรรมการนโยบายการวิจัยและนวัตกรรมวิทยาศาสตร์อุดมศึกษาแห่งชาติ บริษัท มานิตย์ เจเนติกส์ จำกัด และ สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ [FF(KU)3.65]

เอกสารอ้างอิง

Bentsen, H. B., B. Gjerde, N. H. Nguyen, M. Rye, R. W. Ponzoni, M. S. Palada de Vera, H. L. Bolivar, R. R. Velasco, J. C. Danting, E. E. Dionisio, F. M. Longalong, R. A. Reyes, T. A. Abella, M. M. Tayamen, and A. E. Eknath. 2012. Genetic improvement of farmed tilapias: Genetic parameters for body weight at harvest in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) during five generations of testing in multiple environments. Aquaculture. 338-341: 56-65.

D'Agaro, E., A. Favaro, S. Matiussi, P. P. Gibertoni, and S. Esposito. 2021. Genomic selection in salmonids: new discoveries and future perspectives. Aquaulture International. 29: 2259-2289.

DOF. 2025. Statistics of Freshwater Aquaculture Production. 2024. Available: https://www4.fisheries.go.th/doffile/fkey/ref142638. Accessed Oct.1, 2025.

El-Zaeem, S. Y., M. M. M. Ahmed, M. E. S. Salama, and D. M. F. Darwesh. 2012. Production of salinity tolerant tilapia through interspecific hybridization between Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and red tilapia (*Oreochromis* sp.). African Journal of Agricultural Research. 7: 2955-2961.

Falconer, D. S., and T. F. C. Mackay. 1996. Introduction to Quantitative Genetics, 4th Edition. Longman Group Limited, Harlow, Essex, UK.

FAO, 2025. FAO Yearbook. Fishery and Aquaculture Statistics 2023. Available: https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cd6788en. Accessed Oct.1, 2025.

Gjedrem, T., and M. Rye. 2016. Selection response in fish and shellfish: a review. Review in Aquaculture. 10: 168-179.

Gjerde, B., S. B. Mengistu, J. Ødegård, H. Johansen, and D. S. Altamirano. 2012. Quantitative genetics of body weight, fillet weight and fillet yield in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquaculture. 342-343: 117-124.

Hamzah, A., W. Mekkawy, H. L. Khaw, N. H. Nguyen, H. Y. Yee, K. R. Abu Bakar, S. A. Mohd Nor, and R. W. Ponzoni. 2017. Genetic parameters for survival during the grow-out period in the GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and correlated response to selection for harvest weight. Aquaculture Research. 48: 47-55.

Kamal, A. H. M. M., and G. C. Mair. 2005. Salinity tolerance in superior genotypes of tilapia, *Oreochromis niloticus*, *Oreochromis mossambicus* and their hybrids. Aquaculture. 247: 189-201.

Moses, M., C. Leonard, K. Dirk, P. Christos, and M. Matern. 2021. Growth performance of five different strains of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) introduced to Tanzania reared in fresh and brackish waters. Scientific Reports. 11: 11147.

Ninh, N. H., N. P. Thoa, W. Knibb, and N. H. Nguyen. 2014. Selection for enhanced growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in brackish water (15–20 ppt) in Vietnam. Aquaculture. 428-429: 1-6.

Rezk, M. A., R. W. Ponzoni, H. L. Khaw, E. Kamel, T. Dawood, and G. John. 2009. Selective breeding for increased body weight in a synthetic breed of Egyptian Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*: Response to selection and genetic parameters. Aquaculture. 293: 187-194.

Setyawan, P., M. H. F. Aththar, I. Imron, B. Gunadi, J. Haryadi, J. W. M. Bastiaansen, M. D. Camara, and H. Komen. 2022. Genetic parameters and genotype by environment interaction in a unique Indonesian hybrid tilapia strain selected for production in brackish water pond culture. Aquaculture. 561: 738626.

Thoa, N. P., N. H. Ninh, W. Knibb, and N. H. Nguyen. 2016. Does selection in a challenging environment produce Nile tilapia genotypes that can thrive in a range of production systems? Scientific Report. 6: 21486.

Thodesen, J., M. Rye, Y. X. Wang, S. J. Li, H. B. Bentsen, M. H. Yazdi, and T. Gjedrem. 2013. Genetic improvement of tilapias in China: Genetic parameters and selection responses in growth, survival, and external color traits of red tilapia (*Oreochromis* spp.) after four generations of multi-trait selection. Aquaculture. 416-417: 354-366.

Verdal, H., W. Rosario, M. Vandeputte, N. Muyalde, P. Morissens, J. -F. Baroiller, and B. Chevassus. 2014. Response to selection for growth in an interspecific hybrid between *Oreochromis mossambicus* and *O. niloticus* in two distinct environments. Aquaculture. 430: 159-165.