



คู่มือการจัดการความรู้

เรื่อง การบริหารจัดการพ่อแม่พันธุ์สัตว์น้ำปรับปรุงพันธุ์

ประจำปีงบประมาณ 2561

กองวิจัยและพัฒนาพันธุ์กรรมสัตว์น้ำ

กรมประมง

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

คำนำ

การจัดการพ่อแม่พันธุ์ (broodstock management) เป็นกระบวนการที่มีความสำคัญในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและการปรับปรุงพันธุ์เป็นการวางแผนการผสมพันธุ์และการดำรงรักษาสายพันธุ์ที่เหมาะสม โดยควบคุมกิจกรรมในโรงเพาะฟักทั้งหมด เพื่อจัดการพันธุกรรมของประชากร/สายพันธุ์ ให้คงไว้ซึ่งความหลากหลายทางพันธุกรรมในระดับที่เหมาะสม อีกทั้งควบคุมการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมให้เป็นไปในทิศทางที่ดี ซึ่งจะส่งผลให้กระบวนการปรับปรุงพันธุ์ประสบผลสำเร็จและมีความก้าวหน้าของการปรับปรุงพันธุ์อย่างรวดเร็ว สามารถผลิตสัตว์น้ำพันธุ์ดีที่มีคุณภาพทั้งในด้านพันธุกรรมและลักษณะปรากฏ

ดังนั้น เพื่อให้หน่วยผลิตสัตว์น้ำปรับปรุงพันธุ์ของกรมประมง สามารถผลิตพันธุ์สัตว์น้ำที่ยังคงดำรงไว้ซึ่งลักษณะที่ดี มีคุณภาพทั้งด้านลักษณะทางพันธุกรรมและลักษณะที่แสดงออกเหมือนในรุ่นพ่อแม่ กองวิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำจึงได้จัดทำคู่มือการบริหารจัดการพ่อแม่พันธุ์สัตว์น้ำปรับปรุงพันธุ์ฉบับนี้ เพื่อใช้เป็นแนวทาง ที่สำคัญในการจัดการพ่อแม่พันธุ์ และสามารถรักษาลักษณะของประชากร/สายพันธุ์ โดยเฉพาะลักษณะทางเศรษฐกิจไว้ได้ต่อไป

กองวิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำ

2561

สารบัญ

	หน้า
ความสำคัญของความหลากหลายทางพันธุกรรม	1
Effective population size (N_e)	2
การสูญเสียความหลากหลายทางพันธุกรรมในโรงเพาะฟัก	8
หลักการจัดการพันธุกรรมพ่อแม่พันธุ์สัตว์น้ำปรับปรุงในโรงเพาะฟัก	11
วิธีการดำเนินการบริหารจัดการพ่อแม่พันธุ์สัตว์น้ำปรับปรุงพันธุ์	19
ภาคผนวก	
1 การบริหารจัดการภายในหน่วยเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	24
2 ตารางบันทึกข้อมูล	30
3 รหัสมาตรฐานสัตว์น้ำพันธุ์ปรับปรุง	42

การบริหารจัดการพ่อแม่พันธุ์สัตว์น้ำปรับปรุงพันธุ์

สัตว์น้ำปรับปรุงพันธุ์ หมายถึง สัตว์น้ำที่ผ่านกระบวนการคัดเลือกและผสมพันธุ์ เพื่อให้ได้ลักษณะที่ดีตามที่ต้องการ การที่จะดำรงสายพันธุ์สัตว์น้ำปรับปรุงพันธุ์ให้คงอยู่ต่อไปนั้น จำเป็นต้องมีการบริหารจัดการพ่อแม่พันธุ์ ซึ่งเริ่มตั้งแต่กระบวนการในการวางแผนการผสมพันธุ์ ทั้งในด้านจำนวนพ่อแม่พันธุ์ วิธีการผสม การทดแทนปลารุ่นพ่อแม่ในชุดเก่า รวมไปถึงการควบคุมกิจกรรมภายในโรงเพาะฟักทั้งหมด เพื่อรักษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของสายพันธุ์สัตว์น้ำปรับปรุงพันธุ์ และหลีกเลี่ยงการผสมเลือดชิดที่อาจเกิดขึ้น

1. ความสำคัญของความหลากหลายทางพันธุกรรม

ความหลากหลายทางพันธุกรรม (genetic diversity) เป็นรากฐานที่สำคัญของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด หมายถึงความผันแปรของยีนหรือหน่วยพันธุกรรมความผันแปรนี้สามารถตรวจสอบได้จากความหลากหลายของอัลลีล (allele) และจีโนไทป์ (genotype) ในกลุ่มของประชากรหรือในสิ่งมีชีวิตชนิดนั้นๆ โดยความหลากหลายทางพันธุกรรมของประชากรมักได้รับการพิจารณาใน 2 ระดับคือความหลากหลายทางพันธุกรรมภายในประชากรและความหลากหลายทางพันธุกรรมระหว่างประชากร (หรือความแตกต่างทางพันธุกรรมระหว่างประชากร, genetic differentiation) ความหลากหลายทางพันธุกรรมทั้งสองระดับมีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมของประชากรและการจัดการพันธุกรรมของประชากร

ประชากรหมายถึงกลุ่มของสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกันและมีการผสมพันธุ์และแลกเปลี่ยนยีนกันภายในกลุ่ม ดังนั้นประชากรจึงเป็นแหล่งรวมของยีนหรือจีโนไทป์ชนิดต่างๆของประชากรการศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมเป็นการศึกษาพันธุศาสตร์ประชากรโดยตั้งอยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีสมดุลของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก (Hardy-Weinberg equilibrium) ที่ว่า “ประชากรที่มีขนาดใหญ่มีการผสมพันธุ์แบบสุ่มไม่มีการกลายไม่มีการคัดเลือกและไม่มีการอพยพย้ายถิ่นในประชากรนั้นความถี่ของยีนและความถี่ของจีโนไทป์จะคงที่ในทุกชั่วอายุ”

ความหลากหลายทางพันธุกรรมภายในประชากรเป็นความแปรปรวนที่เกิดขึ้นระหว่างสมาชิกในประชากรเดียวกันโดยอาศัยกลไกการแลกเปลี่ยนและสลับที่ในการรวมตัวของยีนเพื่อสร้างประชากรรุ่นใหม่ ที่เรียกว่ารีคอมบิเนชัน (recombination) ซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส (meiosis) ในสิ่งมีชีวิตที่มีการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศรวมทั้งการกลาย (mutation) สามารถประเมินได้จากเครื่องหมายพันธุกรรมหลายประเภทเช่นเครื่องหมายพันธุกรรมระดับโปรตีน (อัลโลไซม์) หรือเครื่องหมายพันธุกรรมระดับดีเอ็นเอ (ไมโคร-แซตเทลไลต์ดีเอ็นเอ)

ค่าที่ใช้วัดระดับความหลากหลายทางพันธุกรรมภายในประชากรอย่างแพร่หลายคือค่าเฮเทอโรไซโกซิตี (heterozygosity, H) ซึ่งเป็นสัดส่วนของจีโนไทป์ที่มีอัลลีลไม่เหมือนกัน (heterozygotes) เมื่อเทียบกับจำนวนจีโนไทป์ทั้งหมดและค่าจำนวนอัลลีลเฉลี่ยต่อตำแหน่ง (average number of alleles per locus, A) ค่าเฮเทอโรไซโกซิตีประกอบด้วยค่าจากการสังเกต (observed heterozygosity, H_o) และค่าจากการคำนวณ (expected heterozygosity, H_e) ซึ่งค่าที่มีความหมายในแง่ที่จะสะท้อนถึงระดับของ effective population size (N_e) คือค่า H_e ส่วนค่า A นี้เป็นค่าที่เปรียบเสมือนข้อมูลดิบเพราะนับทุกอัลลีลไม่ว่าจะมีมากหรือน้อยดังนั้นจึงมีการปรับค่านี้ให้สะท้อนความเป็นจริงมากขึ้นโดยการนำความถี่อัลลีลมาถ่วงด้วยค่าที่

เรียกว่า effective number of alleles per locus (A_e) อย่างไรก็ตามค่านี้อยู่ภายใต้อิทธิพลของจำนวนปลาที่ศึกษาต่อประชากร (sample size) เพราะถ้าเก็บตัวอย่างมาน้อยจำนวนอัลลีลที่เป็นไปได้ก็จะน้อยตามไปด้วยในระยะหลังจึงมีแนวโน้มจะใช้ค่า allelic richness (A_r) ซึ่งเป็นจำนวนอัลลีลต่อตำแหน่งที่เป็นอิสระจากจำนวนตัวอย่างแทน A และ A_e

เป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่าความหลากหลายทางพันธุกรรมสำคัญต่อศักยภาพในการวิวัฒนาการและการอยู่รอด (fitness) ของประชากรโดยความผันแปรทางพันธุกรรมเป็นปัจจัยสำคัญอันเป็นพื้นฐานสำหรับกระบวนการคัดเลือกตามธรรมชาติแล้วแต่ในตัวในประชากรหนึ่งอาจมีความแตกต่างกันทางด้านความสามารถในการสืบพันธุ์และการอยู่รอดได้ดีกว่าสัตว์ตัวอื่นๆเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมโดยค่าเฮเทอโรไซโกซิตี (H) สัมพันธ์กับการตอบสนองต่อการคัดเลือกทั้งโดยมนุษย์และการคัดเลือกตามธรรมชาติสำคัญต่อการปรับตัวในระยะสั้นในขณะที่ความหลากหลายของอัลลีลจะเกี่ยวข้องกับความสามารถในระยะยาวเช่นความสามารถในการบินทนของนกสมมุติว่ามียืนควบคุมอยู่ 1 คู่โดยประชากร A มี 2 อัลลีลความถี่เท่ากับ 0.5 เท่ากันโดยทั้งสองอัลลีลควบคุมความสามารถในการบินทนในระดับ 1 และ 1.1 หน่วยประชากร B มีอัลลีล 3 อัลลีลโดย 2 อัลลีลแรกมีความถี่เท่ากันและควบคุมความสามารถในการบินในระดับ 1 และ 1.1 หน่วยเช่นเดียวกับประชากร A และมีอัลลีลที่ 3 ซึ่งมีความถี่ 0.01 และควบคุมความสามารถในการบินทน 1.2 หน่วยประชากร C มีเพียง 2 อัลลีลคืออัลลีลที่ควบคุมความสามารถในการบินทน 1 หน่วย (ความถี่ 0.99) และ 1.2 หน่วย (ความถี่ 0.01) หากนาประชากรนี้ปล่อยไปในป่าความสามารถในการบินทนจะช่วยให้สามารถหลบหลีกศัตรูได้ดังนั้นจะเกิดการคัดเลือกในระยะแรกประชากร A และ B จะตอบสนองต่อการคัดเลือกในระยะเริ่มต้นได้ดีเพราะทั้งสองประชากรนี้จะมีความสามารถในการบินทนดีเท่าๆกันเพราะมีค่า H สูง $\{H(A)=1-(p_1^2+p_2^2)=1-(0.5^2+0.5^2); H(B)=1-[(0.45)^2+(0.45)^2+(0.1)^2]; H(C)=1-[(0.99)^2+(0.01)^2]\}$ ส่วนประชากร C เนื่องจากมีค่า H ต่ำในระยะแรกจะตอบสนองต่อการคัดเลือกไม่ดีนักและอัลลีลที่แสดงความสามารถในการบินทนระดับสูงก็ยังไม่แสดงผลมากนักเพราะมีในความถี่ต่ำแต่ในระยะยาว B และ C ซึ่งมีอัลลีลที่ 3 ซึ่งมีความสามารถในการบินทนในระดับสูงจะตอบสนองต่อการคัดเลือกได้ดีกว่า

ในแง่ของนักเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำความหลากหลายทางพันธุกรรมระหว่างประชากรย่อยจะเป็นแหล่งของสายพันธุ์ที่นักเพาะเลี้ยงจะสามารถเลือกมาใช้ในการเลี้ยงให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่และเป็นแหล่งของพันธุกรรมที่นักปรับปรุงพันธุ์จะสามารถเลือกมาใช้เพื่อปรับปรุงพันธุ์ต่อไปได้

2. Effective population size (N_e)

ในประชากรอุดมคติ ถือว่าสมาชิกทุกตัวในประชากรจะร่วมในการผสมพันธุ์ และส่งต่ออัลลีลไปให้รุ่นลูก แต่ในสภาพที่เป็นจริง สมาชิกจำนวนหนึ่งเท่านั้นที่มีส่วนร่วมในการส่งต่ออัลลีลไปให้รุ่นลูก ซึ่งอาจเป็นเพราะ สมาชิกบางตัวไม่สามารถสืบพันธุ์ได้ หรือผสมพันธุ์แต่ลูกตายหมด หรืออาจให้ลูกจำนวนน้อยกว่าพ่อแม่คู่อื่นๆ ดังนั้นในการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้น จึงใช้คำว่า Effective population size หรือ N_e แทนจำนวนพ่อแม่พันธุ์ โดย N_e หมายถึงจำนวนสมาชิกบางส่วนในประชากรที่สามารถสืบพันธุ์ได้ และส่งต่ออัลลีลไปยังประชากรรุ่นต่อไป

N_e เป็นค่าที่สำคัญมาก เพราะในประชากรโรงเพาะฟักซึ่งมักเป็นประชากรขนาดเล็ก มีจำนวนพ่อแม่พันธุ์ไม่มาก แม้จะพยายามหลีกเลี่ยงการผสมเลือดชิด แต่ถ้าไม่มีการติดตามพันธุ์ประวัติ การผสมพันธุ์แบบสุ่มอย่างเดียวย่อมทำให้เกิดการผสมเลือดชิดอย่างแน่นอน ทั้งนี้ด้วยความจริงที่ว่า N_e มีความสัมพันธ์ในทางกลับกันกับระดับการผสมเลือดชิด ดังนั้นถ้าต้องการหลีกเลี่ยงการผสมเลือดชิดจึงจำเป็นต้องทำความเข้าใจกับค่านี้ให้ดี

ปัจจัยและการปฏิบัติบางประการที่ทำให้ขนาด N_e ในประชากรเปลี่ยนแปลง และส่งผลกระทบต่ออัตราการผสมเลือดชิดในประชากร ได้แก่

1) การใช้พ่อแม่พันธุ์ในสัดส่วนต่างกันในการเพาะพันธุ์ปลา

ในโรงเพาะฟักส่วนใหญ่ มักผสมพันธุ์ปลาโดยใช้พ่อพันธุ์จำนวนน้อยกว่าแม่พันธุ์ ซึ่งการใช้พ่อพันธุ์และแม่พันธุ์จำนวนไม่เท่ากันนี้เป็นการเพิ่มโอกาสการผสมเลือดชิด โดยทำให้ค่า N_e ลดลง ถ้าสมมติให้ N_m เป็นจำนวนพ่อพันธุ์ และ N_f เป็นจำนวนแม่พันธุ์ เมื่อใช้พ่อแม่พันธุ์สัดส่วนเท่ากัน N_e จะเท่ากับ N_m บวก N_f แต่ถ้าจำนวนพ่อพันธุ์ และแม่พันธุ์ที่ใช้เพาะพันธุ์ไม่เท่ากัน N_e จะลดลง โดยคำนวณได้จากสูตร

$$\frac{1}{N_e} = \left(\frac{1}{4N_m} + \frac{1}{4N_f} \right)$$

หรือ

$$N_e = \frac{(4N_m N_f)}{N_m + N_f}$$

จะเห็นว่าอัตราการผสมเลือดชิดที่เพิ่มขึ้นในหนึ่งชั่วอายุมีค่าเท่ากับ

$$\Delta F = \frac{1}{2N_e} = \left(\frac{1}{8N_m} + \frac{1}{8N_f} \right)$$

ถ้าจำนวนพ่อพันธุ์เท่ากับจำนวนแม่พันธุ์หรือ $N/2$ แล้ว $N_e = N$

ปัจจัยที่เป็นตัวกำหนด N_e คือจำนวนของเพศปลาที่น้อยกว่า เช่น ถ้า ใช้แม่พันธุ์ปลา 1 ตัวผสมกับน้ำเชื้อจากพ่อปลา 10 ตัว N_e มีค่าประมาณ 4 ซึ่งเท่ากับการใช้แม่พันธุ์และพ่อพันธุ์อย่างละ 2 ตัว

$$N_e = \frac{4(10)(1)}{10+1} \approx 4$$

ตัวอย่างถ้าใช้พ่อปลา 2 ตัว ผสมกับแม่ปลา 50 ตัว

$$N_e = \frac{4(2)(50)}{50 + 2} = 7.7 \approx 8$$

$$\Delta F = \frac{1}{2(7.7)} = 0.065$$

เมื่อพิจารณาอัตราการผสมเลือดชิด ในกรณีนี้ การใช้พ่อแม่พันธุ์จำนวน 52 ตัว เสมือนใช้พ่อแม่ปลาและแม่ปลาอย่างละ 4 ตัว ค่าประมาณของ N_e สามารถคำนวณได้จากใช้จำนวนปลาเพศที่น้อยกว่าโดยไม่ต้องนำจำนวนปลาเพศมากกว่ามาคิด ตามตัวอย่างข้างบน คำนวณเฉพาะจำนวนพ่อแม่ปลาได้ดังนี้

$$\frac{1}{N_e} = \frac{1}{4N_m} = \frac{1}{4(2)} = \frac{1}{8}$$

$$\Delta F = \frac{1}{2(8)} = 0.0625$$

2) ความผันแปรของขนาดครอบครัวปลา (Variance in family sizes)

ขนาดครอบครัว ในที่นี้หมายถึงจำนวนของรุ่นลูกที่สามารถเจริญพันธุ์ ไปเป็นพ่อแม่พันธุ์ในชั่วอายุต่อไป ตามข้อกำหนดของประชากรอุดมคติ พ่อแม่แต่ละตัวมีโอกาสเท่าเทียมกันในการสร้างเซลล์สืบพันธุ์เพื่อเกิดลูกในชั่วอายุถัดมา แต่ในสภาพความเป็นจริง ลูกจากพ่อแม่แต่ละคู่มีโอกาสรอดชีวิตถึงวัยเจริญพันธุ์แตกต่างกัน ทำให้เกิดความผันแปรของขนาดครอบครัว ตามข้อกำหนดของประชากรอุดมคติที่ว่าพ่อแม่จะถูกแทนที่ในทุกชั่วอายุและเพื่อให้จำนวนพ่อแม่เท่ากันทุกชั่วอายุนั้น จำนวนเฉลี่ยของลูกต่อพ่อหรือแม่แต่ละตัวต้องเท่ากับ 1 ทำให้ค่าเฉลี่ยลูกต่อครอบครัวเท่ากับ 2 แม้ว่าในความเป็นจริงจำนวนลูกในแต่ละครอบครัวมีจำนวนมากกว่า 2 ซึ่งตัวอย่างที่ชัดเจนคือ สัตว์น้ำ แต่ข้อกำหนดนี้ยังใช้ได้ในประชากรสัตว์น้ำเมื่อคำนึงถึงว่าลูกส่วนใหญ่มีโอกาสน้อยในการรอดตายจนถึงวัยเจริญพันธุ์

ตามข้อกำหนดขนาดครอบครัวที่เท่ากันในประชากรและการผสมพันธุ์แบบสุ่ม ค่า N_e ที่เป็นฟังก์ชันของขนาดครอบครัวสามารถประมาณได้ดังนี้

$$N_e \approx \frac{4N}{2 + V_k}$$

โดย N = จำนวนพ่อแม่ และ V_k คือ variance ของขนาดครอบครัว เมื่อ $V_k = 2$ แล้ว N_e มีค่าเท่ากับขนาดประชากรที่แท้จริง ความสัมพันธ์นี้เป็นจริงสำหรับครอบครัวปลาที่มีการผสมพันธุ์โดยผสมเป็นคู่ๆ (Single-pair mating) เมื่อความผันแปรขนาดครอบครัวมีค่าเท่ากันในปลาทั้งสองเพศ

ความผันแปรของขนาดครอบครัวในประชากรปลาจากโรงเพาะฟักเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น การคัดพันธุ์โดยการเลือกปลาบางครอบครัวมาเพาะ หรือการเลี้ยงปลาต่างครอบครัวในบ่อเดียวกัน เมื่อนำรุ่น

ลูกไปเป็นพ่อแม่พันธุ์ มีโอกาสจะได้ลูกจากแต่ละครอบครัวจำนวนไม่เท่ากัน ในธรรมชาติความผันแปรของขนาดครอบครัวเกิดขึ้นเนื่องจากการที่ไข่หรือตัวอ่อนเป็นเหยื่อปลาชนิดอื่น เช่น ปลาแซลมอน ในธรรมชาติจะมีแหล่งวางไข่เฉพาะที่ ถ้าถูกศัตรูเข้ามากินไข่ ก็อาจจะไม่เหลือลูกสำหรับชั่วอายุถัดไป

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาขนาดครอบครัวในปลาเรนโบว์เทรา จากโรงเพาะฟักพบว่า V_k มีค่าเท่ากับ 6 ในปลาทั้งสองเพศ ที่มีการผสมพันธุ์โดยผสมเป็นคู่ๆ (Gall 1987) ถ้าในประชากรปลา 50 ตัว (สัดส่วนเพศ = 1:1)

$$N_e = \frac{4(50)}{2+6} = 25$$

3) การใช้พ่อแม่พันธุ์จำนวนไม่เท่ากันในแต่ละชั่วอายุ

เราสามารถหาค่าเฉลี่ยของ N_e ในประชากรโรงเพาะฟักที่มีการใช้พ่อแม่พันธุ์จำนวนแตกต่างกัน

ในแต่ละชั่วอายุ ได้จากค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิก (Harmonic mean) ของทุกๆชั่วอายุ ดังนี้

$$\frac{1}{N_e(\text{average})} = \frac{1}{t} \left[\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2} + \dots + \frac{1}{N_t} \right] \quad \text{โดย } t \text{ คือจำนวนชั่วอายุ}$$

เนื่องจากค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิก มีค่าผกผันกับขนาด N_e ในแต่ละชั่วอายุ ค่า N_e ที่น้อยที่สุดจะส่งผลกระทบต่อค่าเฉลี่ย N_e มากที่สุด แม้ว่าการเพาะฟักปลาบางรุ่นจะใช้พ่อแม่พันธุ์จำนวนมากก็ไม่สามารถกำจัดผลที่เกิดจากการใช้ N_e จำนวนน้อยในการเพาะฟักครั้งอื่นๆ ดังตัวอย่าง ในการเพาะพันธุ์ปลา 4 ชั่วอายุมีการใช้พ่อแม่พันธุ์ในแต่ละชั่วอายุดังนี้ 10, 10, 50, และ 10 ตัว ค่าเฉลี่ย N_e ต่อชั่วอายุในประชากรโรงเพาะฟักนี้เท่ากับ

$$\frac{1}{N_e(\text{average})} = \frac{1}{4} \left[\frac{1}{10} + \frac{1}{10} + \frac{1}{50} + \frac{1}{10} \right] = \frac{1}{4} (0.32) = 0.08 \quad N_e(\text{average}) = 13$$

ดังนั้นอัตราการผสมเลือดชิดในประชากรโรงเพาะฟักในเวลา 4 ชั่วอายุ มีค่าเท่ากับอัตราการผสมเลือดชิดที่เกิดจากการใช้พ่อแม่พันธุ์จำนวน 13 ตัวในทุกชั่วอายุ

ในที่นี้ขอสรุปข้อสังเกตเกี่ยวกับค่า N_e ของประชากรโรงเพาะฟัก เพื่อช่วยให้การจัดการพ่อแม่พันธุ์ทำได้ถูกต้อง ดังนี้

1. N_e ไม่เท่ากับจำนวนพ่อแม่พันธุ์ที่ใช้เพาะพันธุ์ทั้งหมด แต่จะรวมถึงพ่อแม่พันธุ์ที่นำลูกไปใช้เป็นพ่อแม่พันธุ์ต่อไปเท่านั้น

2. N_e จะเท่ากับจำนวนพ่อ+แม่ เมื่อมีการผสมพันธุ์แบบ 1:1 (พ่อ=แม่) เท่านั้น หากจำนวนพ่อไม่เท่ากับแม่ N_e คำนวณได้จากสูตร $N_e = 4N_m N_f / (N_m + N_f)$

3. N_e จะมีค่าลดลงเมื่อนำลูกจากแต่ละครอบครัวไปใช้เป็นพ่อแม่พันธุ์ไม่เท่ากัน (variance of family size) N_e คำนวณได้จาก $N_{eUR} = 4N_e / (V_k + 2)$

กรณีนี้เกิดขึ้นได้บ่อยมาก เมื่อพิจารณาจากความจริงที่ว่าถ้าการผสมพันธุ์ทำโดยปล่อยให้ไข่ปลาฟักรวมกัน อัตราฟักอาจไม่เท่ากัน นอกจากนั้นอัตราการรอดก็อาจไม่เท่ากัน วิธีการเดียวที่จะลดความแปรปรวนอันเนื่องจากจำนวนลูกต่อครอบครัว ก็โดยการเลี้ยงปลาแต่ละครอบครัวแยกกัน จนกว่าปลาจะแข็งแรงและมีอัตราการรอดตายสูง แล้วจึงนำลูกจำนวนเท่าๆกันจากแต่ละครอบครัว มาเลี้ยงเป็นพ่อแม่พันธุ์ต่อไป

4. ชั่วอายุที่มี N_e ต่ำจะมีอิทธิพลทำให้ค่าเฉลี่ย N_e สะสมจากหลายชั่วอายุลดลง เช่น ตลอดช่วงเวลา 5 ชั่วอายุของประชากรพ่อแม่พันธุ์ประชากรหนึ่งมีค่า N_e เท่ากับ 50, 10, 65, 85 และ 100 ตามลำดับ สามารถคำนวณค่า N_e เฉลี่ยได้จาก harmonic mean

$$\begin{aligned} 1/N_{e\text{ mean}} &= 1/5(1/50 + 1/10 + 1/65 + 1/85 + 1/100) \\ &= 0.2(0.02 + 0.10 + 0.01538 + 0.01176 + 0.01) \\ &= 0.031428 \end{aligned}$$

$$N_{e\text{ mean}} = 31.82$$

จะเห็นว่า เมื่อ N_e ลดลงเหลือ 10 ในชั่วอายุที่ 2 แม้จะเพิ่มขึ้นกว่า 6 เท่าใน 3 ชั่วอายุต่อมาก็ช่วยเพิ่ม N_e ได้ไม่มากนัก

การลดลงของ N_e ในสภาพการณ์จริง

แม้นักเพาะพันธุ์จะพยายามปฏิบัติตามคำแนะนำ เพื่อการทำค่า N_e ให้สูงที่สุด โดยการใช้พ่อแม่พันธุ์จำนวนมาก ใช้พ่อปลาจำนวนเท่ากับแม่ปลา ผสมพันธุ์ในสัดส่วน 1:1 และนำลูกจากทุกครอก จำนวนเท่าๆกันไปใช้เป็นพ่อแม่พันธุ์ ในบางกรณีข้อแนะนำเหล่านี้อาจถูกละเมิดโดยไม่ตั้งใจ มีผลให้ค่า N_e ต่ำกว่าที่คาด เช่น

การผสมพันธุ์แบบกลุ่ม (mass spawning) ปลาหลายชนิดผสมพันธุ์แบบกลุ่ม เช่น ปลากระพงขาว ปลาเก๋า ปลาตะเพียนขาว (ในกรณีปล่อยให้ผสมพันธุ์กันเอง) มักจะมี N_e ต่ำกว่าจำนวนพ่อแม่พันธุ์ที่ปล่อยไปเสมอ สาเหตุแรกคือ ปลาไม่ได้ผสมพันธุ์ทุกตัว สาเหตุต่อมาคือการที่สัดส่วนเพศผู้เพศเมียที่ผสมพันธุ์จริงๆอาจไม่เท่ากัน และสาเหตุสุดท้ายคือ สัดส่วนของลูกที่ได้จากพ่อแม่แต่ละคู่ไม่เท่ากัน เหล่านี้เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ N_e ลดลง

จากความก้าวหน้าของการศึกษาเครื่องหมายพันธุกรรม ทำให้สามารถศึกษาเรื่องดังกล่าวได้ Brown *et al.* (2005) ศึกษาในปลา gilthead seabream (*Sparus auratus*) โดยการผสมพันธุ์ปลาชนิดนี้ซึ่งเป็นปลาทะเลที่ผสมพันธุ์แบบกลุ่ม แล้วใช้เครื่องหมาย microsatellite แยกปลาแต่ละครอก ดังนั้นเขาจะทราบว่า

ลูกปลาที่ได้ เกิดจากปลาเพศผู้/เพศเมียตัวใด จากนั้นคำนวณค่า N_e ผลที่ได้แสดงว่า แม้จะใช้พ่อแม่ จำนวนระหว่าง 48-58 ตัว (ในการเพาะ 4 ครั้ง) แต่ค่า N_e ที่ได้มีค่าเพียง 14.00 -18.34 ซึ่งจะทำให้เกิดการผสมเลือดชิดถึง 2.7-3.6% ต่อชั่วอายุ

ปลานิลก็เป็นอีกชนิดหนึ่งที่มีแม่ในธรรมชาติจะไม่ได้ผสมพันธุ์แบบกลุ่ม แต่ในสภาพการเพาะพันธุ์ในโรงเพาะฟัก จะปล่อยปลาตัวผู้ตัวเมียรวมกันในบ่อ หรือในกระชัง แล้วเก็บลูกปลาขึ้นจากบ่อเพาะเป็นระยะๆ ทำให้การผสมพันธุ์เกิดขึ้นหลากหลายรูปแบบคล้ายการผสมพันธุ์แบบกลุ่ม จากการศึกษาปลาที่เพาะในกระชัง 2 ชุด โดยแต่ละชุดใช้ปลาเพศผู้ 12 ตัว ต่อปลาเพศเมีย 25 ตัว ศึกษาโดยใช้ microsatellite 11 ตำแหน่งเพื่อแยกแยะปลาแต่ละครอบครัว เก็บลูกปลาจากการผสมพันธุ์แต่ละรอบรวม 76 รอบ พบว่า การผสมพันธุ์แบบที่มีสัดส่วนเพศ 1:1 เกิดขึ้นเพียง 30% ของการผสมทั้งหมด การผสมแบบที่มีสัดส่วนพ่อแม่ไม่เท่ากัน มีถึง 70% โดยบางชุดพบการผสมที่พ่อปลา 4 ตัว ผสมพันธุ์กับแม่ปลาตัวเดียวกัน ในทางตรงกันข้ามก็พบว่าปลาตัวผู้ 1 ตัว อาจผสมกับเพศเมียหลายๆตัว ระดับความสำเร็จในการผสมพันธุ์ของปลาเพศผู้แต่ละตัวต่างกัน โดยขึ้นกับดัชนีความสมบูรณ์ (fecundity) ปลาที่มีดัชนีความสมบูรณ์สูงมีแนวโน้มจะผสมพันธุ์ได้มากกว่า สิ่งเหล่านี้มีผลให้ N_e ต่ำกว่าที่ควรจะเป็น โดยแทนที่จะมี $N_e = 32.43$ [ตามสูตร $4N_mN_f / (N_m + N_f)$] กลับมีค่าเพียง 15.6 และ 16.0 ในกระชังที่ 1 และ 2 ตามลำดับ (Fessehay et al., 2006)

การผสมเทียมแบบไม่แยกคู่ผสม การผสมเทียมจะช่วยให้ผสมพันธุ์ปลาเป็นคู่ๆ ได้สะดวก และสามารถจับคู่ได้ตามต้องการ แต่ในฟาร์มส่วนมาก จะผสมเทียมโดยรีดไข่และน้ำเชื้อจากปลาหลายๆตัวรวมกัน โดยไม่แยกผสมเป็นคู่ๆ วิธีการแบบนี้มีผลในทางลด N_e เพราะความสามารถในการเข้าผสมของเชื้อตัวผู้จากปลาแต่ละตัวไม่เท่ากัน ทำให้ได้ลูกจากแต่ละครอบครัวในสัดส่วนไม่เท่ากันส่งผลให้เกิดความแปรปรวนของขนาดครอบครัว (variance of family size) ซึ่งจะทำให้ N_e ลดลง โดยมีผลการทดลองยืนยัน ในปลาซันค ซัลมอน (*Oncorhynchus tshawytscha*) ทั้งนี้ ความสามารถในการเข้าผสม ไม่ขึ้นกับระดับความสมบูรณ์ของน้ำเชื้อ แต่น่าจะเป็นเรื่องของโอกาสมากกว่า (Withler, 1988)

การผสมน้ำเชื้อรวม กับไข่ที่รีดมาจากแม่ปลาหลายๆตัวรวมกัน จะมีผลให้ระดับการผสมเลือดชิดเพิ่มขึ้นในชั่วอายุต่อมา เพราะการผสมรวมดังกล่าว ทำให้เกิดครอบครัวที่มีความสัมพันธ์ทางเครือญาติ เพิ่มขึ้น เช่น หากทำการผสมเทียมโดยใช้ไข่จากแม่ปลา 3 ตัว พ่อปลา 3 ตัว โดยผสมแบบแยกเป็นคู่ๆ ก็จะได้ลูกปลาฟูล-สิบ (full-sib) 3 ครอบครัวที่ไม่มีความสัมพันธ์ทางพันธุกรรม แต่ถ้ารวมน้ำเชื้อจากปลา 3 ตัว กับไข่จากปลา 3 ตัว จะได้ครอบครัวที่เป็นปลาฟูล-สิบ 9 ครอบครัว ที่มีความสัมพันธ์ในลักษณะเป็น ฮาล์ฟ-สิบ (half-sib) โดยรวมพ่อต่างแม่ และรวมแม่ต่างพ่อเพิ่มขึ้นอีก

สภาวะที่ N_e ลดลงในชั่วอายุหนึ่งๆ อาจเรียกว่า สภาวะคอขวด (genetic bottleneck) จะทำให้ heterozygosity ลดลง โดยสามารถคำนวณสัดส่วน H ที่ลดลงได้จากสูตร $H_t = (1 - \frac{1}{2N_e})^t \times H_o$. t = จำนวนชั่วอายุ, H_t = heterozygosity ในชั่วอายุ t และ H_o = heterozygosity เริ่มต้น

Allendorf (1986) ได้คำนวณสัดส่วน heterozygosity ที่จะคงเหลืออยู่ภายหลังการเกิดสภาวะคอขวดหลายระดับ เมื่อผ่านไป 1, 10 และ 100 ชั่วอายุ ดังแสดงในตาราง (กำหนดให้ $H_o = 1$)

จำนวนพ่อแม่/ชั่วอายุ (N)	ชั่วอายุ		
	1	10	100
2	0.75	0.06	0
4	0.88	0.26	0
10	0.95	0.60	0.01
25	0.98	0.82	0.13
50	0.99	0.90	0.37
100	1.00	0.95	0.61

ในทำนองเดียวกัน สภาวะคอขวดก็จะมีผลในทางลดความหลากหลายของอัลลีลเช่นเดียวกัน แต่ระดับความรุนแรงจะขึ้นกับจำนวน และความถี่อัลลีล

ทั้งนี้อาจกล่าวในภาพรวมว่า หากประชากรมีจำนวนอัลลีลน้อยอยู่แล้ว ความสูญเสียอัลลีลจะเกิดในอัตราไม่สูงนัก แต่ถ้าเริ่มจากประชากรที่มีจำนวนอัลลีลต่อตำแหน่งสูง อัตราการสูญหายของอัลลีลจะสูง

อย่างไรก็ตามการลดลงของ N_e เนื่องจากการเบี่ยงเบนของสัดส่วนเพศจาก 1:1 จะมีผลไม่มากนัก กับ ความหลากหลายของอัลลีล ตัวอย่างเช่น ถ้ามีแม่พันธุ์ 100 ตัว พ่อ 1 ตัว การสูญเสียความหลากหลายทางพันธุกรรมจะเท่ากับการที่มีพ่อแม่พันธุ์ประมาณ 4 ตัว ซึ่งอาจถูกต้องสำหรับค่า H แต่ความหลากหลายของ อัลลีลจะสูญเสียมากหรือน้อย ขึ้นกับจำนวนลูกที่จะนำไปใช้เป็นพ่อแม่พันธุ์ หากใช้ลูกจากแม่ทุกๆตัวเป็นพ่อแม่พันธุ์การสูญหายของอัลลีลจะเกิดขึ้นน้อยมาก

3. การสูญเสียความหลากหลายทางพันธุกรรมในโรงเพาะฟัก

จากการศึกษาในสัตว์น้ำ พบว่าประชากรโรงเพาะฟักส่วนใหญ่ จะมีความหลากหลายทางพันธุกรรมลดลงเมื่อเทียบกับประชากรธรรมชาติ สาเหตุหลักที่ทำให้สูญเสียความหลากหลายทางพันธุกรรม มี 3 สาเหตุ คือ การขาดช่วงทางพันธุกรรม (genetic drift) การผสมเลือดชิด (inbreeding) และการคัดเลือก (selection)

1. **การเกิดการขาดช่วงทางพันธุกรรมในประชากรโรงเพาะฟัก:** วิธีการอธิบายการขาดช่วงทางพันธุกรรมง่าย ๆ ก็คือ การที่ความถี่อัลลีลเปลี่ยนแปลงไปมาไม่มีทิศทางแน่นอน เนื่องจากเกิดความผิดพลาดในการสุ่ม (sampling error) หมายความว่า การนำสัตว์จำนวนน้อยมาเป็นพ่อแม่พันธุ์จะมีโอกาสทำให้พันธุกรรมที่ได้มาไม่เป็นตัวแทนของพันธุกรรมดั้งเดิมทั้งหมด และทำให้ความผันแปรทางพันธุกรรมของสายพันธุ์เปลี่ยนแปลงไป ผลเสียที่เห็นได้ชัดเจน คือ เกิดการสูญหายของอัลลีลที่มีความถี่ต่ำๆ

ถ้าอัลลีลมีความถี่ใกล้เคียงกัน ผลที่เกิดขึ้นเมื่อมีการขาดช่วงทางพันธุกรรมจะไม่รุนแรง แต่เมื่อมีอัลลีลความถี่ต่ำ ในประชากร การขาดช่วงทางพันธุกรรมอาจทำให้อัลลีลนั้นสูญหายไปตลอดกาล โดยโอกาสที่อัลลีลใดๆ จะสูญหายไปจากประชากรแปรผันตาม effective population size (N_e) จากการคำนวณพบว่าเมื่อ N_e ลดจาก 50 เป็น 10 โอกาสที่อัลลีลจะสูญหาย จะเพิ่มขึ้น 4,588 เท่า

ในสภาพโรงเพาะฟักจำนวนพ่อแม่พันธุ์อาจลดลงโดยไม่ตั้งใจ เนื่องจากไม่ได้ใส่ใจในเรื่องจำนวนพ่อแม่พันธุ์ หรืออาจเกิดจากโรคระบาดที่ทำให้พ่อแม่พันธุ์ตายไปเป็นจำนวนมาก หรืออาจเกิดระหว่างการรับพ่อแม่พันธุ์จากฟาร์มหนึ่งเพื่อไปใช้เป็นพ่อแม่พันธุ์ในอีกฟาร์มหนึ่ง ซึ่งมักไม่สะดวกที่จะขนพ่อแม่พันธุ์จำนวนมาก หรือฟาร์มที่เป็นผู้ให้อาจตั้งใจมอบให้ในจำนวนน้อย

จะเห็นได้ว่าการเกิดการขาดช่วงทางพันธุกรรม มีสาเหตุจากการใช้พ่อแม่พันธุ์จำนวนน้อย ซึ่งจะนำไปสู่การผสมเลือดชิดได้เช่นเดียวกัน

2. การผสมเลือดชิดในโรงเพาะฟัก:การผสมเลือดชิดหมายถึงการผสมพันธุ์ระหว่างสัตว์ที่มีความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมมากกว่าค่าเฉลี่ยของประชากร หรืออาจกล่าวง่ายๆ ว่าเป็นการผสมพันธุ์ระหว่างเครือญาตินั่นเอง โดยทั่วไป นักเพาะพันธุ์ปลาเข้าใจถึงผลเสียของการผสมเลือดชิด ที่ทำให้เกิดการเสื่อมถอยของลักษณะ (inbreeding depression) ซึ่งมักแสดงออกในลักษณะที่เกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์และระบบทางสรีรวิทยาของประชากร เช่น ความดกไข่ คุณภาพน้ำเชื้อ อัตราการรอดตาย อัตราการเจริญเติบโตหรือการสูญเสียความสมบูรณ์เพศและความแข็งแรงทั้งนี้เป็นเพราะการผสมเลือดชิดทำให้สมาชิกที่เป็น homozygote ในประชากรมีจำนวนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ยีนด้อยมีโอกาสแสดงออกมากขึ้น จึงได้พยายามหลีกเลี่ยง

อย่างไรก็ตามเนื่องจากประชากรพ่อแม่พันธุ์ที่ใช้ในโรงเพาะฟักเป็นประชากรขนาดเล็ก หากไม่มีการติดตามเครื่องหมายติดตามพันธุ์ประวัติอย่างถูกต้อง การผสมเลือดชิดจะเกิดขึ้นแน่นอน ทั้งนี้โดยมีระดับการเกิดแสดงได้ด้วยค่า สัมประสิทธิ์การผสมเลือดชิด (F-inbreeding coefficient) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับจำนวนพ่อแม่พันธุ์ ตามสูตร

$$F = \frac{1}{2N_e}$$

นอกจากนั้นการผสมเลือดชิดอาจเกิดขึ้นจากการเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์หลายรุ่นในบ่อเดียวกัน ทำให้มีโอกาสผสมระหว่างพ่อ-แม่ กับลูกได้

3. การสูญเสียความหลากหลายทางพันธุกรรมเนื่องจากการคัดเลือก:ในโรงเพาะฟักการคัดเลือกซึ่งอาจเกิดโดยตั้งใจหรือไม่ตั้งใจ มีผลให้สูญเสียความหลากหลายทางพันธุกรรม โดยในระยะแรกอัลลีลที่มีความถี่ต่ำมักจะสูญหายไปก่อน โดยระดับ heterozygosity จะเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก เพราะอัลลีลที่มีความถี่ต่ำ มีอิทธิพลต่อค่า heterozygosity น้อย ตัวอย่างการศึกษาของ Appleyard and Ward

(2006) ศึกษาประชากรหอยนางรม (*Crassostrea gigas*) ในทัสเมเนีย ที่ผ่านการคัดเลือกแบบ mass selection 3 ชั่วอายุ ได้ผลยืนยันความเปลี่ยนแปลงดังกล่าว โดยพบว่าการคัดเลือกมีผลให้จำนวนอัลลีลของ microsatellite ต่อตำแหน่ง (allelic richness) ลดลงจาก 5.91-6.56 เป็น 4.15-5.76 ในขณะที่ค่า heterozygosity เปลี่ยนแปลงไม่มากนัก (0.315-0.444 ในประชากรธรรมชาติ และ 0.31-0.445 ในประชากรปรับปรุงพันธุ์)

ผลของการคัดเลือกต่อ heterozygosity จะเกิดขึ้นชัดเจนเมื่ออัลลีลที่มีความถี่สูงๆ มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ โดยถ้าอัลลีลที่มีอยู่ มีความถี่ใกล้เคียงกัน heterozygosity ก็สูง แต่เมื่อความถี่อัลลีลเริ่มเปลี่ยนแปลง จะทำให้ความถี่อัลลีลแตกต่างกันมากขึ้น มีผลให้ระดับ heterozygosity ลดลง (Beaumont and Hoare, 2003)

วิธีปฏิบัติหลายๆอย่างในโรงเพาะฟัก อาจส่งผลให้เกิดการคัดเลือกทางอ้อม เช่น นักเพาะปลาจำนวนหนึ่งชนิดที่จะใช้แม่ปลาขนาดเล็ก มาเป็นแม่พันธุ์ เนื่องจากรีดไข่ได้สะดวก เมื่อปฏิบัติติดต่อกันไปหลายๆชั่วอายุ ก็จะมีผลเท่ากับการคัดเลือกให้ได้ปลาขนาดเล็ก การเจริญเติบโตของปลาจากฟาร์มนั้นก็ลดลง การคัดปลาที่เจริญพันธุ์เป็นรุ่นแรกมาเป็นพ่อแม่พันธุ์ ในที่สุดก็จะทำให้เกิดสายพันธุ์ที่เจริญพันธุ์เร็ว ซึ่งในปลาส่วนใหญ่จะมีผลให้ปลามีขนาดเล็กลง

ในปลา brook trout ที่ได้รับอาหารเพียงครั้งเดียว ขนาดของแม่ปลาจะสัมพันธ์กับความดกของไข่ มาก ในขณะที่ความสัมพันธ์ดังกล่าวต่ำในปลาที่ได้รับอาหารเต็มที่ดังนั้นหากเลี้ยงปลา brook trout โดยให้อาหารเพียงครั้งเดียว ปลาที่เจริญเติบโตเร็ว จะมีลูกมากกว่า และทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงในชั่วอายุต่อไป เหมือนกับการคัดเลือกเพื่อเพิ่มอัตราการเจริญเติบโต เท่ากับการคัดปลาที่โตช้าทิ้ง 25% (Doyle, 1983)

จากการศึกษาโดย Eknath and Doyle (1985) ในฟาร์มเพาะปลายี่สกเทศ (*Labeo rohita*) ฟาร์มหนึ่งในประเทศอินเดีย พบว่าเกษตรกรคัดพ่อแม่พันธุ์ โดยจะเลือกปลาที่เจริญพันธุ์มา จากนั้นก็คัดตัวที่มีขนาดใหญ่เป็นพ่อแม่พันธุ์ วิธีปฏิบัตินี้ดูเผินๆคล้ายกับจะถูกต้อง แต่เนื่องจากเกษตรกร เก็บปลาหลายๆรุ่นไว้ในบ่อ ประกอบกับพบว่า ปลาที่เจริญพันธุ์เร็วมักเป็นปลาที่โตเร็ว ส่วนปลาโตช้าก็จะเจริญพันธุ์ช้า ดังนั้นเมื่อนำปลาที่เจริญพันธุ์ออกมาคัดขนาด ก็จะประกอบด้วยปลา 2 ประเภทคือ

1. ปลาอายุน้อยที่โตเร็ว (จึงเจริญพันธุ์เร็ว)แต่มีขนาดไม่ใหญ่มากเมื่อเปรียบเทียบกับปลาประเภทที่ 2
2. ปลาอายุมาก ขนาดใหญ่ เนื่องจากไม่ถูกคัดไปในปีแรก เพราะยังไม่เจริญพันธุ์ (โตช้า)

เมื่อเกษตรกรคัดพันธุ์ จึงได้ปลาประเภทที่ 2 ในสัดส่วนที่มากกว่าประเภทแรกไปเพาะ จึงทำให้เกิดการคัดเลือกทางอ้อม ที่ให้ผลเหมือนกับการคัดปลาโตช้าไปเพาะพันธุ์

สัตว์น้ำหลายชนิดตัวที่เจริญเติบโตเร็วกว่า จะเจริญพันธุ์เร็วกว่า โดยมีรายงานในปลา Atlantic salmon (Moller et al., 1979) ปลาไน (Hulata et al., 1974) ปลาเทราท์ (Gall and Gross, 1978) ในกุ้งก้ามกรามก็เช่นเดียวกัน การศึกษาโดยการคำนวณ พบว่าการที่เกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกรามในประเทศไทย ใช้กุ้งเพศเมียที่เจริญพันธุ์เป็นชุดแรกไปเป็นแม่พันธุ์ จะมีผลเหมือนมีการคัดเลือกเพื่อเพิ่มการเจริญเติบโต (เท่ากับการคัดกุ้งโตช้าทิ้ง 55%) แต่ถ้าใช้แม่พันธุ์รุ่นหลังมาเป็นแม่พันธุ์ จะได้ผลเหมือนการคัดเลือกทางลบต่อลักษณะ

การเจริญเติบโต ทั้งนี้เพราะกึ่งกำมกการที่เจริญพันธุ์เร็วจะเจริญเติบโตเร็วด้วย (Doyle et al., 1983) อย่างไรก็ตามข้อมูลนี้ควรจะมีการทดลองจริงๆเพื่อพิสูจน์ต่อไป

4. หลักการจัดการพันธุกรรมพ่อแม่พันธุ์สัตว์น้ำปรับปรุงในโรงเพาะฟัก

การจัดการพันธุกรรมพ่อแม่พันธุ์ประชากรเพื่อการเพาะเลี้ยงในโรงเพาะฟักมีวัตถุประสงค์หลัก คือ ต้องการให้ได้สายพันธุ์ปลาที่ปรับตัวได้ดีในสภาพการเลี้ยงในที่กักขัง ในขณะที่สามารถรักษาระดับความหลากหลายทางพันธุกรรมไว้ ควบคุมการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมให้เป็นไปในทิศทางที่ดี และจำกัดการผสมเลือดชิดให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด ทั้งนี้โดยยอมให้มีการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม ซึ่งเกิดจากการคัดเลือก (โดยธรรมชาติ หรือโดยมนุษย์) เพื่อให้ได้ลักษณะที่ต้องการโดยมีหลักการในเรื่องต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. การป้องกันการผสมเลือดชิด

ในความเป็นจริง การผสมเลือดชิดมีทั้งประโยชน์และโทษ โดยสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการปรับปรุงพันธุ์อีกวิธีหนึ่ง เป็นประโยชน์ในการสร้างประชากรเพื่อการผสมข้าม หรือเพื่อกำจัดลักษณะไม่ดีที่เกิดจากยีนแฝงออกไป แต่ถ้าปล่อยให้การผสมเลือดชิดเกิดขึ้นโดยไม่มีการควบคุม ก็จะทำให้เกิดผลเสียจากการผสมเลือดชิดได้

แม้จะมีหลักการอยู่ว่าการผสมเลือดชิดสามารถหลีกเลี่ยงได้ในประชากรขนาดใหญ่ แต่ค่อนข้างจะเป็นไปไม่ได้ที่จะเลี้ยงประชากรพ่อแม่พันธุ์จำนวนมากขนาดนั้น จึงมาถึงคำถามที่ว่า จะยอมให้มีการผสมเลือดชิดได้ในปริมาณเท่าไร จึงจะไม่กระทบกระเทือนการผลิต การศึกษาในเรื่องนี้มีน้อย โดยเฉพาะในปลา บางการศึกษาที่ใช้ประชากรโรงเพาะฟักซึ่งอาจสะสมของปริมาณการผสมเลือดชิดมาแล้วระยะหนึ่ง ผลที่ได้จึงอาจไม่ถูกต้องนัก นอกจากนั้นผลกระทบของการผสมเลือดชิดยังแตกต่างกันไปตามชนิด ประชากร และลักษณะ

จากการศึกษาในปลา rainbow trout พบว่าถ้าระดับการผสมเลือดชิดเท่ากับ หรือมากกว่า 18% จะเกิดผลเสียต่อลักษณะต่างๆอย่างรุนแรง อย่างไรก็ตามไม่มีข้อมูลที่แสดงว่า ระดับ inbreeding เท่าไรจึงจะเริ่มเกิดผลเสีย Tave (1999) แนะนำว่าเกษตรกรควรกำหนดระดับการผสมเลือดชิด ที่ประมาณ 5-10% เป็นระดับที่ยอมรับได้ แต่ต้องยอมรับว่า ถ้าตั้งค่าที่สามารถยอมรับได้ต่ำ ก็จะต้องใช้วิธีการจัดการพ่อแม่พันธุ์ที่ยุ่งยาก และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย ในขณะที่ถ้ายอมรับ inbreeding ในระดับสูงการจัดการจะง่าย ไม่สิ้นเปลืองมาก แต่ผลเสียทางพันธุกรรมก็จะเกิดขึ้นแน่นอน

การจัดการเพื่อป้องกันการผสมเลือดชิด สามารถปฏิบัติได้ต่างกัน ขึ้นกับว่ามีการเก็บข้อมูลพันธุ์ประวัติของพ่อแม่พันธุ์หรือไม่

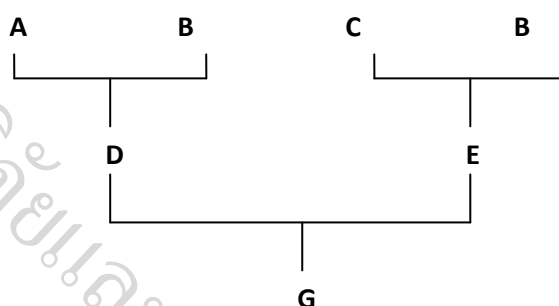
กรณีติดเครื่องหมายพ่อแม่พันธุ์ และมีข้อมูลพันธุ์ประวัติสามารถวางแผนการผสมพันธุ์ได้โดยการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การผสมเลือดชิด โดยคำนวณได้ 2 วิธี คือ คำนวณจากค่า covariance และการคำนวณจากแผนภูมิแสดงการถ่ายทอดพันธุกรรม (path diagram) จากนั้นเลือกคู่ผสมที่จะทำให้เกิดการผสม

เลือดชิดน้อยที่สุด การจัดการในลักษณะนี้ เหมาะที่จะใช้กับปลาที่มีอายุยืนยาว และอาจเป็นปลาขนาดใหญ่ที่ไม่สามารถเลี้ยงพ่อแม่จำนวนมากๆได้

วิธีการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การผสมเลือดชิด

สามารถคำนวณได้ 2 วิธีดังต่อไปนี้

1. **คำนวณจากค่า covariance** สมมติว่าในฟาร์มฟาร์มหนึ่ง มีพ่อแม่ปลาอยู่ 6 ตัว (A, B, C, D, E และ G) โดยปลาแต่ละตัวมีความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมตามพันธุ์ประวัติดังแสดงในภาพ ปลาทุกตัวมีการติดเครื่องหมายจึงสามารถแยกได้ว่าเป็นปลาตัวใด



เมื่อนำปลาแต่ละตัวมาใส่ในตารางเพื่อจับคู่ จะได้รูปแบบตามตารางโดยช่องพ่อ/แม่แสดงพ่อแม่ของปลาในแถวนั้น โดยดูจากพันธุ์ประวัติ เช่นช่องปลา D พ่อแม่คือปลา A และ B ส่วนปลา A ไม่รู้พ่อแม่ จึงใส่เครื่องหมาย - แทน

พ่อ/แม่	A	B	C	D	E	G
-/- A	ช่องที่ 1					
-/- B	ช่องที่ 2	ช่องที่ 7				
-/- C	ช่องที่ 3	ช่องที่ 8	ช่องที่ 12			
A/B D	ช่องที่ 4	ช่องที่ 9	ช่องที่ 13	ช่องที่ 16		
C/B E	ช่องที่ 5	ช่องที่ 10	ช่องที่ 14	ช่องที่ 17	ช่องที่ 19	
D/E G	ช่องที่ 6	ช่องที่ 11	ช่องที่ 15	ช่องที่ 18	ช่องที่ 20	ช่องที่ 21

ค่า Covariance ระหว่างคู่ผสมแต่ละคู่ สามารถคำนวณได้ตามสูตรข้างล่างนี้ และนำไปกรอกลงในช่องตารางที่ตรงกับคู่ผสมนั้นๆ โดยเลือกกรอกเฉพาะตารางชุดด้านบน หรือด้านล่างของเส้นทะแยงเท่านั้น

สูตรที่ใช้คำนวณ คือ

$$COV_{BI} = \frac{COV \text{ IND 1 with SIRE IND 2} + COV \text{ IND 1 with DAM IND 2}}{2}$$

เมื่อ COV_{BI} = Covariance ของปลา 2 ตัว

$COV \text{ IND 1 with SIRE IND 2}$ = Covariance ของปลาตัวที่ 1 กับพ่อของปลาตัวที่ 2

$COV \text{ IND 1 with DAM IND 2}$ = Covariance ของปลาตัวที่ 1 กับแม่ของปลาตัวที่ 2

เช่น $COV_{AB} = \frac{COV \text{ ของ A กับพ่อของ B} + COV \text{ ของ A กับแม่ของ B}}{2}$

แต่เราไม่มีข้อมูลของพ่อและแม่ของ B

ดังนั้น $COV_{AB} = \frac{COV A/- + COV A/-}{2} = \frac{0+0}{2} = 0$

$COV_{BD} = \frac{COV \text{ ของ B กับพ่อของ D (ซึ่งได้แก่ A)} + COV \text{ ของ B กับแม่ของ D (ซึ่งได้แก่ B)}}{2}$

$$= \frac{COV B/A + COV B/B}{2}$$

$$COV_{BA} = COV_{AB} = 0$$

ส่วน COV_{BB} คำนวณจากสูตร COV_{Ind}

ช่องที่เป็นสี่เหลี่ยม แสดงถึงค่า COV ของปลาแต่ละตัว คำนวณได้จากสูตร

$$COV_{Ind} = 1 + \frac{COV \text{ of the parents}}{2}$$

เมื่อ COV_{Ind} = Covariance ของปลาตัวหนึ่ง

$COV \text{ of the parents}$ = COV_{BI} ของพ่อแม่

จากตัวอย่างคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{COV}_{\text{Ind}} \text{ ของปลา A} &= 1 + \frac{\text{COV}_{-/-}}{2} \\ &= 1 + 0 = 1.00 \text{ นำไปเติมในช่องที่ 1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{COV}_{\text{AB}} &= \frac{\text{COV}_{\text{A/-}} + \text{COV}_{\text{A/-}}}{2} \\ &= \frac{0 + 0}{2} = 0 \text{ นำไปเติมในช่องที่ 2} \end{aligned}$$

$$\text{COV}_{\text{DD}} = 1 + \frac{\text{COV}_{\text{A/B}}}{2} = 1 + \frac{0}{2} = 1$$

คำอธิบาย: COV of the parents ของ A

=COV(-/-)=0 เพราะไม่มีข้อมูล

เมื่อคำนวณทุกคู่แล้ว จะได้ตารางดังนี้

พ่อ/แม่		A	B	C	D	E	G
-/-	A	1.00					
-/-	B	0.0	1.00				
-/-	C	0.0	0.0	1.00			
A/B	D	0.5	0.5	0.0	1.00		
C/B	E	0.0	0.5	0.5	0.25	1.00	
D/E	G	0.25	0.5	0.25	0.625	0.625	1.125

COV_{Ind} ใช้คำนวณค่า สัมประสิทธิ์การผสมเลือดชิดได้จากสูตร

$$F_{\text{Ind}} = \text{COV}_{\text{Ind}} - 1.0$$

ในกรณี F ที่เกิดจากแต่ละคู่ผสม คำนวณได้จากสูตร

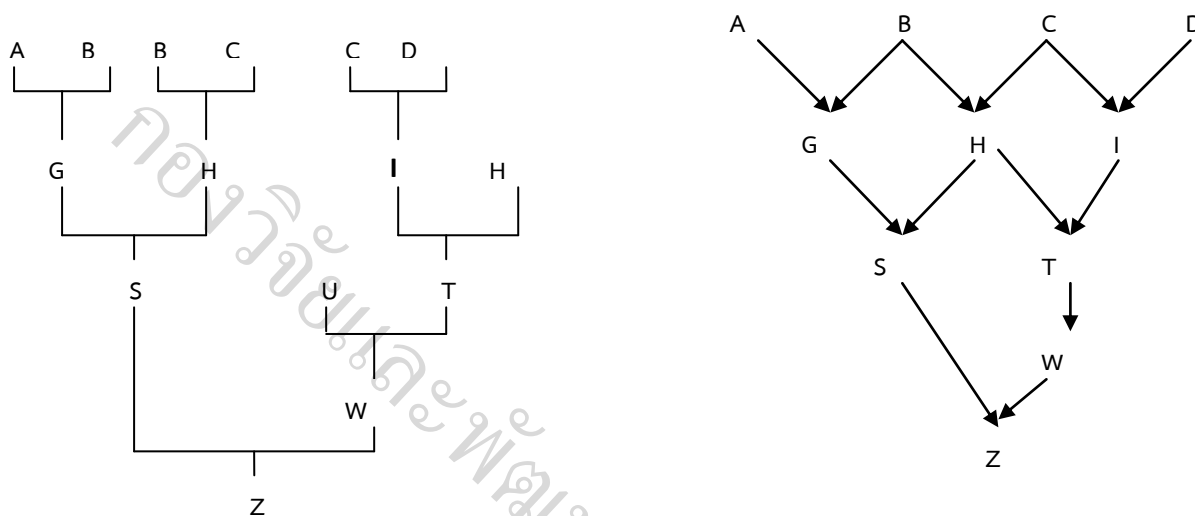
$$F_{\text{BI}} = \frac{\text{COV}_{\text{BI}}}{2}$$

เช่น การผสมระหว่าง C กับ G จะเกิดการผสมเลือดชิดในระดับ $(0.25)/2 = 0.125$ หรือ 12.5%

ดังนั้นก็จะสามารถวางแผนการผสมได้จากตาราง หากไม่ต้องการให้เกิดการผสมเลือดชิดเลย ก็ต้องผสมระหว่าง A-B, A-C, B-C, C-D, A-E คู่ผสมที่ทำให้เกิดการผสมเลือดชิด แต่มีค่าสัมประสิทธิ์ต่ำที่สุด คือคู่ระหว่าง A-G, C-G และ D-E

2.คำนวณจาก path diagram (แผนภูมิแสดงการถ่ายทอดพันธุกรรม)

จากพันธุ์ประวัติสามารถแปลงเป็น path diagram ได้ โดยยึดหลักว่า ลูกศรจะเริ่มจากพ่อหรือแม่ ไปยังลูก ดังนั้นลูก 1 ตัวจะมีลูกศรที่พุ่งมาหา 2 อันคือจากพ่อและจากแม่ ดังภาพ



วิธีการคำนวณ สัมประสิทธิ์การผสมเลือดชิด ใช้สูตร

$$\text{สัมประสิทธิ์การผสมเลือดชิด (F)} = \sum (0.5)^{(m+n+1)} (1+F_A)$$

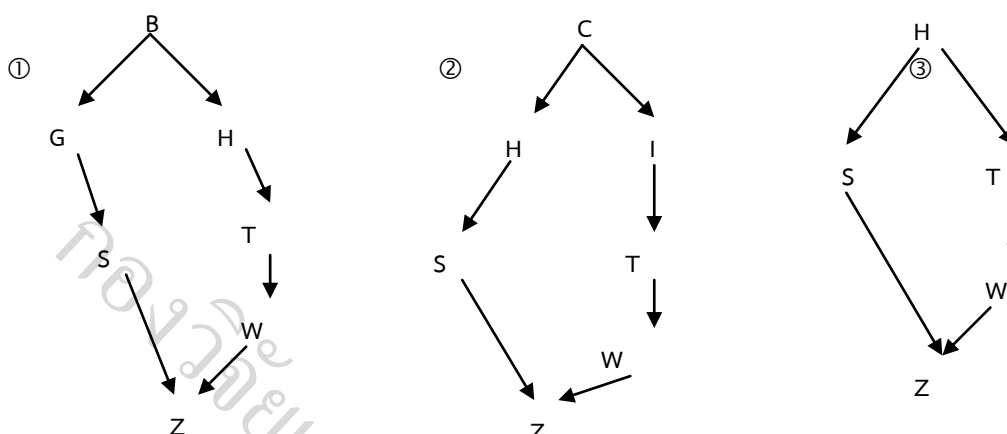
โดย m = จำนวนชั่วอายุจากแม่ไปยังบรรพบุรุษร่วม

n = จำนวนชั่วอายุจากพ่อไปยังบรรพบุรุษร่วม

F_A = สัมประสิทธิ์การผสมเลือดชิดของบรรพบุรุษร่วม

การคำนวณสัมประสิทธิ์การผสมเลือดชิดของ Z สามารถทำได้ง่าย ๆ ตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. หาบรรพบุรุษร่วม ซึ่งก็คือสัตว์ตัวที่มีลูกสรพุงจากตัว 2 อัน ในที่นี้คือ B, C และ H และทุกตัวไม่มีประวัติการผสมเลือดชิดดังนั้น F_B, F_C และ $F_H = 0$
2. ดึง path diagram ของบรรพบุรุษร่วมแต่ละตัว (ที่สามารถลากเส้นต่อเนื่องจากลูกผ่านแม่ขึ้นไปถึงบรรพบุรุษร่วมแต่ละตัว และโยงกลับมาถึงพ่อได้) ได้แก่



ดังนั้นจากสูตร

$$F_Z \text{ ที่เกิดจาก path diagram สายที่ ①} = (0.5)^{(2+3+1)}(1+0) = 0.0156$$

$$F_Z \text{ ที่เกิดจาก path diagram สายที่ ②} = (0.5)^{(2+3+1)}(1+0) = 0.0156$$

$$F_Z \text{ ที่เกิดจาก path diagram สายที่ ③} = (0.5)^{(1+2+1)}(1+0) = 0.0625$$

$$\begin{aligned} F_Z &= 0.0156 + 0.0156 + 0.0625 \\ &= 0.0937 \end{aligned}$$

จากวิธีการคำนวณดังกล่าวนี้ก็จะทราบว่า เมื่อจะผสมปลาคู่ใดๆ จะทำให้เกิดการผสมเลือดชิดเท่าใด

กรณีไม่ติดเครื่องหมายพ่อแม่พันธุ์ ถ้าไม่ติดเครื่องหมายพ่อแม่พันธุ์ ก็ไม่สามารถจัดการโดยการติดตามพันธุ์ประวัติได้ การจัดการเพื่อป้องกันปัญหาจากการผสมเลือดชิด ทำได้โดยการบริหารเพื่อให้มีค่า N_e สูงสุดเพียงอย่างเดียว

N_e เท่าไรจึงจะไม่ทำให้เกิดการผสมเลือดชิด แม้หลักการในการรักษา N_e ให้สูงเพื่อลดระดับการผสมเลือดชิด จะเป็นที่ยอมรับกันทั่วไป แต่เนื่องจากปัญหาด้านต้นทุนและการที่มีทรัพยากรจำกัด ทำให้โรงเพาะฟักส่วนใหญ่มีแนวโน้มจะใช้พ่อแม่พันธุ์จำนวนไม่มาก

มีผู้เสนอแนะระดับ N_e ที่ยอมรับได้ไว้ต่าง ๆ กัน Tave (1993) แนะนำว่า ประชากรสำหรับการเพาะเลี้ยงควรมีค่า N_e ระหว่าง 45-50 ในขณะที่ Gjerd (1993) และ Jørstad and Naevdal (1996) แนะนำว่าในการ

จัดการประชากรปลากลุ่มซิลโมนิดส์ ควรรักษาระดับ N_e ไว้ไม่ต่ำกว่า 100 ต่อชั่วอายุ ส่วน Pante *et al.* (2001) แนะนำว่าในการจัดการพันธุ์กรรมปลาเรนโบว์เทราท์ (*Oncorhynchus mykiss*) ควรรักษาค่า N_e ในระดับปานกลาง(25-94) พร้อมไปกับการจับคู่ผสมพันธุ์อย่างเข้มงวด เพื่อไม่ให้เกิดการผสมเลือดชิด

Tave (1999) ได้คำนวณ N_e ที่ต้องการ เพื่อจะรักษาระดับการผสมเลือดชิดให้ต่ำเท่าที่ยอมรับได้ (1-15%) ในชั่วอายุต่างๆ (1-60) (N_e ปัดให้เป็นเลขลงตัว) ดังแสดงในตาราง

จำนวน ชั่วอายุ	ระดับการผสมเลือดชิดที่ยอมรับได้														
	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%	11%	12%	13%	14%	15%
1	50	25	17	13	10	9	8	7	6	5	5	5	4	4	4
2	100	50	34	25	20	17	15	13	12	10	10	9	8	8	7
3	150	75	50	38	30	25	22	19	17	15	14	14	12	11	10
4	200	100	67	50	40	34	29	25	23	20	19	17	16	15	14
5	250	125	84	63	50	42	36	32	28	25	23	21	20	18	17
6	300	150	100	75	60	50	43	38	34	30	28	25	24	22	20
7	350	175	117	88	70	59	50	43	39	35	32	30	27	25	24
8	400	200	134	100	80	67	58	50	45	40	37	34	31	29	27
9	450	225	150	113	90	75	65	57	50	45	41	38	35	33	30
10	500	250	167	125	100	84	72	63	56	50	46	42	39	36	34
15	750	375	250	188	150	125	108	94	84	75	69	63	58	54	50
20	1000	500	334	250	200	167	143	125	112	100	91	84	77	72	67
25	1250	625	417	313	250	209	179	157	139	125	114	105	97	90	84
30	1500	750	500	375	300	250	215	188	167	150	137	125	116	108	100
35	1750	875	584	438	350	292	250	219	195	175	160	146	135	125	117
40	2000	1000	667	500	400	334	286	250	223	200	182	167	154	143	134
45	2250	1125	750	563	450	375	322	282	250	225	205	186	174	161	150
50	2500	1250	834	625	500	417	358	313	278	250	228	209	193	179	167
55	2750	1375	917	688	550	459	393	344	306	275	250	230	212	197	184
60	3000	1500	1000	750	600	500	429	375	334	300	273	250	231	215	200

2. การป้องกันการขาดช่วงทางพันธุกรรม

ดังได้กล่าวมาแล้วว่าการขาดช่วงทางพันธุกรรม เป็นสาเหตุของการสูญเสียความหลากหลายทางพันธุกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทำให้อัลลีลสูญหายไปจากประชากร ดังนั้นจึงต้องป้องกันให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด การป้องกันการขาดช่วงทางพันธุกรรม ทำได้โดยการรักษาระดับ N_e ให้สูง อย่างไรก็ตาม เนื่องจากสภาพทรัพยากรที่ค่อนข้างจำกัด เกษตรกรจึงต้องวางแผนในเรื่องนี้อย่างรัดกุม และจะต้องยอมรับว่าเป็นไปไม่ได้ที่จะรักษาทุกอัลลีลไว้ตลอดไป โดยเฉพาะการใช้ประชากรขนาดจำกัดในการเพาะพันธุ์ จึงต้องกำหนดว่าจะยอมรับการสูญเสียอัลลีลได้ในระดับใด และจะยอมสูญเสียอัลลีลที่มีความถี่น้อยที่สุดเท่าใด จากนั้นก็จะสามารถคำนวณ N_e ที่ต้องการได้ซึ่ง Tave (1999) ได้คำนวณค่า N_e ที่ต้องการในแต่ละชั่วอายุเพื่อรักษาอัลลีลที่มีความถี่ (f) ต่างๆกันระหว่าง 0.1-0.001 โดยมีประสิทธิภาพในการรักษาอัลลีลนั้นๆ ได้ 95 และ 99% (ถ้ามี 100 อัลลีล จะสามารถรักษาไว้ได้ 95 และ 99 อัลลีล ตามลำดับ) (N_e ปัดให้เป็นเลขลงตัว) ดังแสดงในตาราง

จำนวน ชั่วอายุ	f = 0.1		f = 0.05		f = 0.01		f = 0.005		f = 0.001	
	95%	99%	95%	99%	95%	99%	95%	99%	95%	99%
1	15	22	30	45	150	230	299	460	1498	2302
2	18	26	36	52	183	264	367	529	1838	2647
3	20	28	40	56	203	284	407	569	2038	2847
4	21	29	43	59	218	298	436	598	2181	2993
5	22	30	45	61	229	309	458	620	2292	3104
6	23	31	47	63	238	319	476	638	2382	3195
7	24	32	48	64	245	326	491	654	2459	3272
8	24	32	50	66	252	333	505	667	2526	3339
9	25	33	51	67	258	339	516	679	2584	3398
10	26	33	52	68	263	344	527	689	2637	3450
15	27	35	56	72	283	364	567	730	2839	3653
20	29	37	59	75	297	378	596	758	2983	3797
25	30	38	61	77	308	390	618	780	3094	3908
30	31	38	63	78	318	399	636	799	3185	3999
35	31	39	64	80	325	406	651	814	3262	4076
40	32	40	65	81	332	413	665	827	3329	4143
45	33	40	67	82	338	419	677	839	3388	4202
50	33	41	68	83	343	424	687	850	3440	4255
55	34	41	69	84	348	429	697	859	3488	4302
60	34	42	69	85	352	433	705	868	3531	4346

การป้องกันการคัดเลือกทางลบ

ดังได้กล่าวมาแล้วว่า วิธีการปฏิบัติในโรงเพาะฟัก อาจมีผลให้เกิดการคัดเลือกโดยไม่ตั้งใจ ซึ่งมักทำให้เกิดผลเสียต่อลักษณะสำคัญๆ เช่น ลดการเจริญเติบโตเจริญพันธุ์เร็วขึ้น ดังนั้นจึงต้องสังเกต และติดตามผลของการจัดการในโรงเพาะฟัก เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการคัดเลือกทางลบ นอกจากนั้นเมื่อทำการคัดเลือกเพื่อปรับปรุงพันธุ์ นอกจากลักษณะที่เป็นเป้าหมายแล้ว จะต้องติดตามความเปลี่ยนแปลงของลักษณะอื่นๆ ที่สำคัญด้วย เพราะอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ไม่ต้องการได้

5. วิธีการดำเนินการบริหารจัดการพ่อแม่พันธุ์สัตว์น้ำปรับปรุงพันธุ์

5.1. การบริหารจัดการภายในหน่วยเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (ภาคผนวก 1)

- ดำเนินการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับสัตว์น้ำ (Good Agriculture Practices: GAP)
- ดำเนินการปฏิบัติตามมาตรฐานฟาร์มเพาะเลี้ยงกุ้ง (Code of Conduct)
- ดำเนินการปฏิบัติการจัดการฟาร์มพ่อแม่พันธุ์สัตว์น้ำตามหลักพันธุศาสตร์

5.2. การดำรงรักษาสายพันธุ์ตามหลักพันธุศาสตร์

สัตว์น้ำที่ผ่านการปรับปรุงพันธุ์แล้วมีศักยภาพสูงกว่าสัตว์น้ำที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงพันธุ์ อย่างไรก็ตาม หากผู้ผลิตไม่มีการจัดการพ่อแม่พันธุ์ที่ผ่านการปรับปรุงพันธุ์ตามหลักพันธุศาสตร์ ศักยภาพของสัตว์น้ำอาจเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ปัจจัยหลักสองปัจจัยที่ผู้ผลิตต้องคำนึงถึง คือ อัตราการผสมเลือดชิด และ การป้องกันการคัดเลือก

ตามหลักพันธุศาสตร์ หากประชากรมีขนาดเล็ก อัตราการผสมเลือดชิดย่อมเกิดขึ้น ดังนั้นเป็นไปได้ยากที่จะป้องกันไม่ให้มีการผสมเลือดชิดเพิ่มขึ้นเลย สิ่งที่ผู้ผลิตสามารถทำได้คือการชะลออัตราการเพิ่มขึ้นของการผสมเลือดชิดเท่านั้น วิธีการที่สะดวกที่สุด คือการนำ effective population size มาใช้ในการควบคุมอัตราการผสมเลือดชิด ผู้ผลิตสามารถดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1 กำหนดอัตราการผสมเลือดชิดที่คาดหวัง เช่น อัตราการผสมเลือดชิด 1% ต่อรุ่น หรือ 5% เมื่อผ่านไป 5 รุ่น

2 หาค่า effective population size ที่สอดคล้องกับอัตราการผสมเลือดชิดที่คาดหวังไว้ โดยใช้ตารางของ Tave (1999) ในกรณีตัวอย่างในข้อ 1 นั้น effective population size ต้องมีค่าเท่ากับ 50

3 วิธีการจัดการการผสมพ่อแม่พันธุ์เพื่อให้ได้ effective population size เท่ากับ 50 นั้น สามารถทำได้โดยควบคุมการผสมพันธุ์ให้ได้อัตราส่วน 25:25 หรือ 1:1 เนื่องจากการผสมอัตราส่วน 1:1 นั้น effective

population size สามารถคำนวณได้จาก จำนวนพ่อรวมกับจำนวนแม่โดยตรง หากไม่สามารถจับคู่ผสมในอัตราส่วนนี้ได้ จำนวนพ่อแม่รวมกันต้องมากกว่า 50 จึงได้ effective population size เท่ากับ 50 ทั้งนี้ต้องใช้จำนวนพ่อแม่และอัตราส่วนการผสมพันธุ์แบบนี้ในทุกรุ่นจึงจะได้อัตราการผสมเลือดชิดตามเป้าหมายที่ยกตัวอย่างใน ข้อที่ 1

4 การผสมพันธุ์แบบรวมไขปลาจากหลายๆแม่และใช้น้ำเชื้อจากตัวผู้น้อยๆตัวจะส่งผลให้ effective population size ลดลง เช่นใช้ ไขปลาจากแม่ปลา 10 ตัว ผสมกับ น้ำเชื้อปลา 3 ตัว ส่งผลให้ effective population size น้อยกว่า 13 มากและทำให้อัตราการผสมเลือดชิดเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นผู้ผลิตควรหลีกเลี่ยงการผสมพันธุ์รูปแบบดังกล่าว

5 หากผู้ผลิตต้องการควบคุมอัตราการผสมเลือดชิดให้เพิ่มขึ้นช้าลงกว่าที่ยกตัวอย่างในข้อ 1 เช่น อัตราการผสมเลือดชิด 1% เมื่อผ่านไป 5 รุ่น หรือ 0.2% ต่อรุ่น จะส่งผลให้ effective population size เพิ่มขึ้น 250 ตัว หรือ 125 คู่ อาจเป็นจำนวนที่สูงมากเกินไปสำหรับการผลิต ในการกำหนดอัตราการผสมเลือดชิดที่คาดหวังไว้ ควรพิจารณาความพร้อมทางด้านงบประมาณและสถานที่ประกอบด้วย อนึ่ง อัตราการผสมเลือดชิดที่แนะนำต่อรุ่นไม่ควรเกิน 1%

6 นอกเหนือจากการพิจารณาค่า effective population size ในการควบคุมอัตราการผสมเลือดชิดแล้ว ยังสามารถพิจารณารูปแบบการผสมพันธุ์ประกอบด้วย เช่น การผสมพันธุ์รูปแบบสลับ (rotational mating) และ การหลีกเลี่ยงการผสมพันธุ์ระหว่างสัตว์น้ำที่มาจากครอบครัวเดียวกัน ทั้งนี้ หากผู้ผลิตต้องการดำเนินการในส่วนของการผสมพันธุ์ที่ยกตัวอย่างในข้างต้น จำเป็นต้องมีข้อมูลครอบครัวสัตว์น้ำเพื่อใช้ในการจัดการผสมพันธุ์

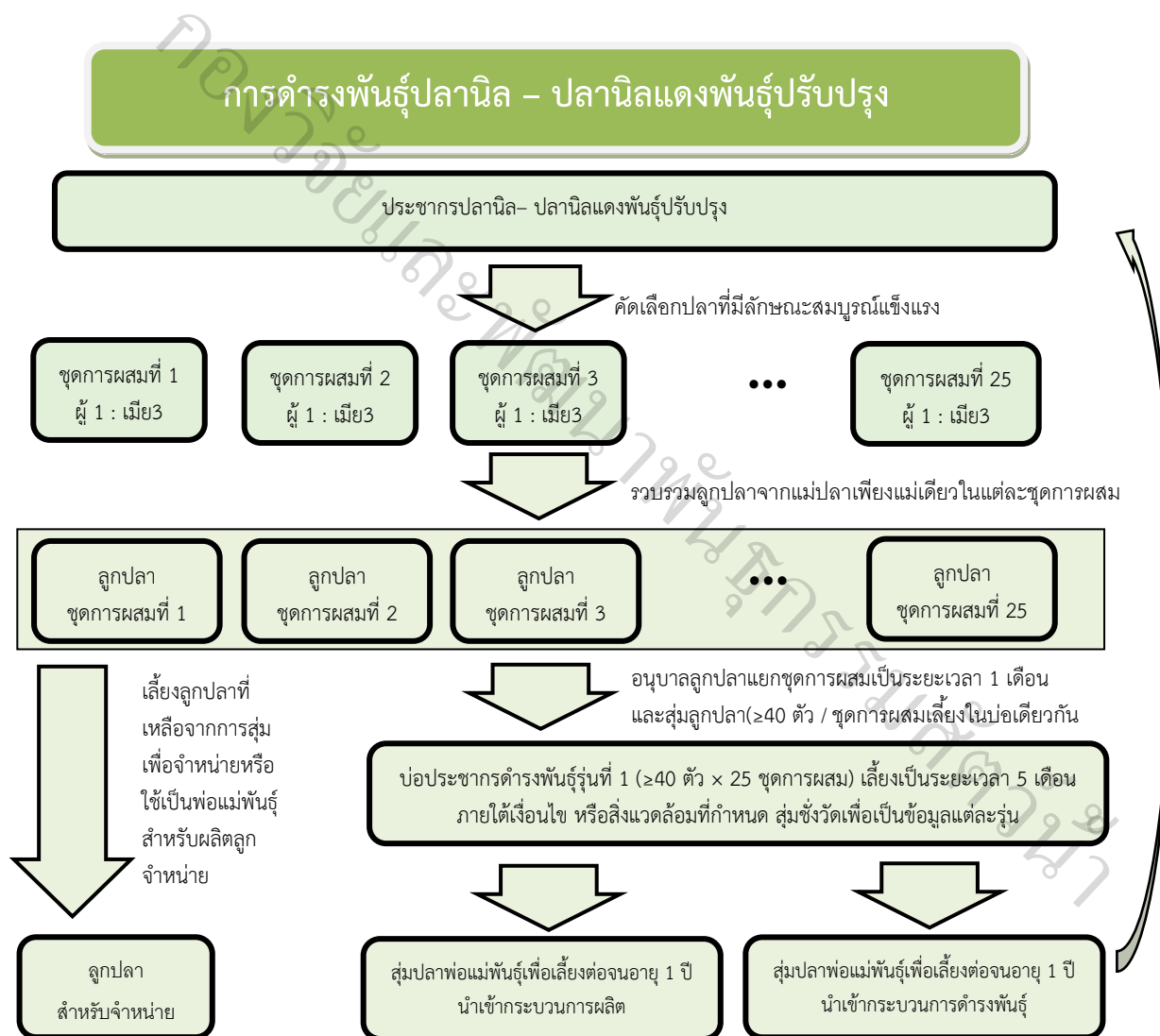
7 ในกรณีที่สัตว์น้ำมีข้อจำกัดเรื่องการจับคู่ผสม เช่นสัตว์น้ำบางชนิดจำเป็นต้องผสมแบบหมู่ (mass spawning) เท่านั้น วิธีการนี้อาจมีผลต่อค่า effective population size ลดลงกว่าจำนวนพ่อแม่ที่ใช้จริง วิธีการแก้ไขคือการกระจายกลุ่มสัตว์น้ำออกเป็นหลายๆบ่อ เช่น ใช้กระชังหรือบ่อหลายๆบ่อเพื่อจับกลุ่มการผสมพันธุ์แทนการใส่พ่อแม่และแม่ทุกตัวลงในบ่อเพียงบ่อเดียว ทำให้ effective population size เข้าใกล้ค่าที่คาดหวังมากขึ้น

การคัดเลือกเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลให้ศักยภาพสัตว์น้ำที่ผ่านการปรับปรุงพันธุ์เปลี่ยนแปลงไป ยกตัวอย่างเช่น การเลือกสัตว์น้ำที่โตไวไปจำหน่ายให้กับเกษตรกรก่อนและนำสัตว์น้ำที่เหลือซึ่งโตช้ากว่ามาใช้เป็นพ่อแม่ ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตโดยเฉลี่ยลดลงในรุ่นถัดไป อีกตัวอย่างหนึ่งคือการคัดเลือกสัตว์น้ำที่เจริญเติบโตเร็วมาเป็นพ่อแม่พันธุ์ โดยการคัดเลือกดังกล่าวอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตในรุ่นถัดไปแต่อาจส่งผลทางอ้อมต่อการเพิ่มขึ้นของอัตราการผสมเลือดชิดในรุ่นถัดไปด้วย นอกเหนือจากนี้ ในทางปฏิบัติอาจหลีกเลี่ยงการคัดเลือกได้ยาก ยกตัวอย่างเช่น การเลือกสัตว์น้ำที่เจริญพันธุ์เร็วมาเป็นพ่อแม่ ถือได้ว่าเป็นการคัดเลือกรูปแบบหนึ่ง รวมไปถึงสัตว์น้ำที่ไม่สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพการเลี้ยงของผู้ผลิตและตายไปก็ถือได้ว่าเป็นการคัดเลือกรูปแบบหนึ่งโดยไม่ตั้งใจ แม้ว่าในทางปฏิบัติอาจหลีกเลี่ยงการคัดเลือกไม่ได้ 100 % ผู้ผลิตควรพยายามใช้การจัดการเข้ามาประกอบเพื่อลดการคัดเลือกทั้งทางตรงและทางอ้อมให้มากที่สุดแนวทางในการหลีกเลี่ยงการคัดเลือกอาจกระทำดังนี้

1 หลังจากผสมพันธุ์เพื่อผลิตพันธุ์สัตว์น้ำแล้ว ให้สุ่มลูกพันธุ์ตั้งแต่มียังมีขนาดเล็กและพันธุ์วัยที่มีอัตรารอดต่ำไปแล้ว โดยสุ่มจำนวนตัวเท่ากันในแต่ละครอบครัว และดำเนินการเลี้ยงรวมกัน

2 หากจำนวนครอบครัวมีน้อย ควรสุ่มตัวอย่างจากแต่ละครอบครัวเพิ่มขึ้น เช่น หากมี 25 ครอบครัว อาจสุ่มครอบครัวละ 40 ตัว จะได้จำนวนปลา รวม 1000 ตัว ในขณะที่หากมี 50 ครอบครัว อาจสุ่มครอบครัวละ 20 ตัว ส่วนลูกพันธุ์ที่เหลือจากการสุ่มในแต่ละครอบครัวอาจนำไปใช้เป็นพ่อแม่เพื่อผลิตลูกพันธุ์เพื่อจำหน่าย

3 หลีกเลี่ยงการคัดเลือกปลาที่เจริญพันธุ์ก่อนมาใช้เป็นพ่อแม่พันธุ์ เนื่องจากการเจริญพันธุ์ที่เร็วอาจสัมพันธ์กับลักษณะอื่นเช่นการเจริญเติบโตที่ช้า ควรเลี้ยงแยกเพศเมื่อถึงวัยเจริญพันธุ์เพื่อป้องกันการผสมพันธุ์กันเอง และเมื่อมีสัตว์น้ำถึงวัยเจริญพันธุ์ในปริมาณมากระดับหนึ่งแล้วจึงทำการสุ่มขึ้นมาใช้เป็นพ่อแม่พันธุ์



a. การจัดบันทึกข้อมูล(ภาคผนวก 2 และ 3)

1) บันทึกแหล่งที่มาของปลาพ่อแม่พันธุ์แต่ละตัว

- แบบฟอร์มที่ 1: แบบบันทึกข้อมูลพ่อแม่สัตว์น้ำพันธุ์ปรับปรุง
- แบบฟอร์มที่ 2: แบบบันทึกการสร้างประชากรสัตว์น้ำพันธุ์ปรับปรุงรุ่นทดแทน

2) บันทึกการใช้งานพ่อแม่พันธุ์สัตว์น้ำปรับปรุงพันธุ์

- แบบฟอร์มที่ 3: แบบบันทึกการเพาะและอนุบาลสัตว์น้ำพันธุ์ปรับปรุง
- แบบฟอร์มที่ 4: แบบบันทึกการเลี้ยงสัตว์น้ำพันธุ์ปรับปรุงเพื่อใช้ทดแทน

3) บันทึกข้อมูลสนับสนุนการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำปรับปรุงพันธุ์

- แบบฟอร์มที่ 5: แบบบันทึกสุขภาพสัตว์น้ำปรับปรุงพันธุ์ที่นำเข้าสู่ฟาร์มจากภายนอก
- แบบฟอร์มที่ 6: แบบบันทึกคุณภาพน้ำ
- แบบฟอร์มที่ 7: แบบบันทึกการนำเข้า และการให้อาหาร
- แบบฟอร์มที่ 8: แบบบันทึกการผสมอาหาร
- แบบฟอร์มที่ 9: แบบบันทึกการให้อาหาร
- แบบฟอร์มที่ 10: แบบบันทึกสุขภาพสัตว์น้ำ
- แบบฟอร์มที่ 11: แบบบันทึกการเกิดโรคในฟาร์ม

ภาคผนวก

กองวิจัยและพัฒนาพันธุ์กรรมสัตว์น้ำ

ผนวก 1 การบริหารจัดการภายในหน่วยเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

1. โครงสร้างฟาร์มรองรับระบบการจัดการพ่อแม่พันธุ์สัตว์น้ำปรับปรุงพันธุ์

1) การเตรียมสถานที่เลี้ยงพ่อแม่พันธุ์สัตว์น้ำสัตว์น้ำ

- ต้องเป็นสถานที่ที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำแต่ละชนิด มีสิ่งอำนวยความสะดวกพื้นฐานสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ เช่น ไฟฟ้า ไฟส่องสว่าง ระบบน้ำเข้า-ออก ระบบให้อากาศ เป็นต้น และมีการบำรุงรักษาให้พร้อมใช้งานตลอดเวลา
- มีระบบไฟฟ้าสำรองสำหรับใช้ในการฉุกเฉิน เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดต่อสัตว์น้ำกรณีระบบไฟฟ้าหลักขัดข้อง
- บ่อ กระชัง ถัง ตู้ และภาชนะที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์น้ำต้องเหมาะสมกับการเลี้ยงสัตว์น้ำ
- อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการเลี้ยงเมื่อใช้เสร็จต้องทำความสะอาด และเก็บด้วยวิธีการที่ถูกต้องเหมาะสมกับอุปกรณ์นั้น ๆ
- ต้องมีสถานที่ที่เอื้อต่อการป้องกันการติดเชื้อ การป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อโรค สารพิษและมลพิษ จากการเลี้ยง และการจัดการด้านสุขอนามัยของบุคลากรที่เกี่ยวข้องและสอดคล้องกับกฎหมายและข้อกำหนด
- มีแผนผังขั้นตอนการควบคุม และป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อโรค
- มีแผนผังฟาร์ม แสดงถึงการใช้ประโยชน์อย่างชัดเจน เช่น บ่อพ่อแม่พันธุ์ พ่อเพาะพันธุ์ บ่ออนุบาล บ่อเลี้ยง บ่อพักน้ำ โรงเตรียมอาหารสัตว์น้ำแผนที่ทางเดินน้ำเข้าออกฟาร์ม เป็นต้น

2) แหล่งน้ำและคุณภาพน้ำที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

- มีแหล่งน้ำที่เหมาะสมกับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ใช้น้ำจากแหล่งน้ำที่ไม่มีการปนเปื้อน และมีปริมาณเพียงพอ
- ควรมีทางน้ำเข้าและออกที่แยกออกจากกัน
- น้ำที่ใช้เลี้ยงสัตว์น้ำต้องมีคุณภาพน้ำที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยผ่านการกรอง เช่น ถังกรอง หรืออวนมุ้งฟ้า หรือปรับปรุงคุณภาพน้ำและฆ่าเชื้อโรคด้วยสารเคมีโดยมีคุณภาพน้ำตาม ดังต่อไปนี้ (Sharon and Ovadia, 2014)

- ✓ อุณหภูมิ มีค่าระหว่าง 23 – 32 °C สำหรับสัตว์น้ำบนพื้นที่สูงมีค่าระหว่าง 16 – 22 °C

- ✓ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำจืดควรมีปริมาณไม่น้อยกว่า 5 mg/l และ 5.5 mg/l ในน้ำทะเล
- ✓ pH มีค่าอยู่ระหว่าง 7.5-8.5
- ✓ Ammonia ไม่เกิน 0.02mg/l ในน้ำจืด และไม่เกิน 0.0125 ในน้ำทะเล
- ✓ Nitrite ไม่เกิน 0.2 mg/l
- ✓ Chlorine ไม่เกิน 0.01 mg/l ในน้ำจืด และ 0 mg/l ในน้ำทะเล
- ✓ Hardness อยู่ในช่วง 50-450mg/l ของ CaCO_3
- ✓ Alkalinity มากกว่า 50 mg/l ในน้ำจืด และมากกว่า 150 mg/l ในน้ำทะเล
- ✓ ความเค็ม มีค่าที่เหมาะสมกับสัตว์น้ำแต่ละชนิดดังนี้ สัตว์น้ำจืดมีค่าระหว่าง 0.1-3 ppt สัตว์น้ำกร่อยมีค่าระหว่าง 5-25 ppt และสัตว์ทะเลมีค่าระหว่าง 28-35 ppt
- มีวิธีการจัดการน้ำทิ้งอย่างเหมาะสม เช่น มีบ่อพักน้ำทิ้ง บ่อดักตะกอน และให้เป็นไปตามระเบียบของการจัดการน้ำทิ้งก่อนปล่อยไปสู่แหล่งน้ำสาธารณะ และให้ปฏิบัติตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม(2547, 2550 และ 2551)

2. การจัดการฟาร์มพ่อแม่พันธุ์สัตว์น้ำปรับปรุงพันธุ์ตามหลักพันธุศาสตร์

1) คู่มือปฏิบัติงานประจำฟาร์ม

- ฟาร์มมีคู่มือปฏิบัติงาน ในด้านการบริหารจัดการฟาร์มพ่อแม่พันธุ์สัตว์น้ำปรับปรุงพันธุ์
- บุคลากรมีความรู้ความเข้าใจ และสามารถปฏิบัติงานตามคู่มือปฏิบัติงานประจำฟาร์มได้

2) แผนการจัดการพ่อแม่พันธุ์สัตว์น้ำปรับปรุงพันธุ์ตามหลักพันธุศาสตร์

- ฟาร์มมีแผนการบริหารจัดการฟาร์มพ่อแม่พันธุ์สัตว์น้ำปรับปรุงพันธุ์ที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่และทรัพยากรของฟาร์ม และต้องเป็นไปตามหลักพันธุศาสตร์เพื่อรักษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของสายพันธุ์สัตว์น้ำปรับปรุงพันธุ์ และหลีกเลี่ยงการผสมเลือดชิดที่อาจเกิดขึ้นตั้งแต่การดูแลพ่อแม่พันธุ์การเพาะและอนุบาลการเลี้ยงเพื่อสร้างประชากรรุ่นใหม่เพื่อใช้ทดแทนการจัดการอาหารการจัดการสุขภาพและมาตรการป้องกันการหลุดรอดและปนเปื้อนของสัตว์น้ำสายพันธุ์ปรับปรุงกับสัตว์น้ำภายนอก

3) การดูแลพ่อแม่พันธุ์สัตว์น้ำปรับปรุงพันธุ์

- มีการแบ่งโซนพ่อแม่พันธุ์สัตว์น้ำปรับปรุงพันธุ์ที่ชัดเจน ไม่ปะปนกับโซนเพาะและโซนอนุบาล
- มีป้ายแสดงข้อมูลสายพันธุ์ อายุประจำบ่อที่ชัดเจน
- มีระบบป้องกันการปะปน และการหลุดรอดของปลาที่มีประสิทธิภาพ เช่น ป้องกันปลากระโดดข้ามระหว่างบ่อ หรือป้องกันปลาหลุดรอดจากบ่อที่เลี้ยงไว้เป็นต้น
- มีการแยกบ่อในปลาแต่ละรุ่น และ/หรือทำเครื่องหมายติดปลาพ่อแม่พันธุ์แต่ละตัวเพื่อใช้จำแนก
- ปล่อยปลาพ่อแม่พันธุ์ให้มีความหนาแน่นที่เหมาะสมกับปลาชนิดนั้นๆ โดยต้องไม่ให้ความหนาแน่นเกินไปจนปลาเกิดความเครียด
- มีการควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อพ่อแม่พันธุ์ให้มีความเหมาะสมอยู่ตลอดเวลา
- ให้อาหาร และเสริมวิตามินตามความเหมาะสมแก่ปลาชนิดนั้นๆ
- กรณีเลี้ยงในบ่อซีเมนต์ต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ และให้อากาศอย่างเพียงพอ
- มีการสังเกตอาการ และบันทึกสุขภาพพ่อแม่พันธุ์สัตว์น้ำปรับปรุงพันธุ์ทุกวัน เพื่อเป็นการเฝ้าติดตามการเกิดโรคในปลา
- มีการบันทึกข้อมูลพ่อแม่พันธุ์สัตว์น้ำปรับปรุงพันธุ์ เช่น บันทึกข้อมูลประจำตัวสัตว์น้ำพ่อแม่พันธุ์ (การนำเข้า ข้อมูลพ่อแม่ของสัตว์น้ำตัวนั้นๆ อายุ การนำมาใช้เป็นพ่อแม่พันธุ์ในการเพาะ เป็นต้น) บันทึกการให้อาหาร บันทึกสุขภาพสัตว์น้ำ บันทึกคุณภาพน้ำ เป็นต้น

4) การเพาะและอนุบาลสัตว์น้ำปรับปรุงพันธุ์

- การเพาะ
 - มีแผนการใช้พ่อแม่พันธุ์สัตว์น้ำปรับปรุงพันธุ์ที่ชัดเจน ทั้งในด้านจำนวนพ่อพันธุ์จำนวนแม่พันธุ์ วิธีการเพาะพันธุ์ และการจัดการกับพ่อแม่พันธุ์หลังการเพาะ
 - จำนวนพ่อพันธุ์ และแม่พันธุ์ ต้องเพียงพอต่อการเพาะใน 1 รุ่น ที่ไม่ทำให้สัตว์น้ำในรุ่นต่อไปสูญเสียความหลากหลายทางพันธุกรรม และระบุตัวพ่อพันธุ์ และแม่พันธุ์เพื่อป้องกันการผสมเลือดชิด
 - ก่อนทำการเพาะต้องมีการเตรียมพ่อและแม่พันธุ์ให้พร้อมต่อการเพาะ โดยการกระตุ้นด้วยอาหารเสริม หรือฮอร์โมน หรือวิธีอื่นใด ซึ่งต้องเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับในสัตว์น้ำชนิดนั้นๆ

- การเพาะต้องเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับในสัตว์น้ำชนิดนั้นๆหรือวิธีอื่นใดที่ไม่ส่งผลในทางลบที่มากกว่าวิธีดั้งเดิม
- หลังการเพาะต้องมีมาตรการจัดการกับพ่อแม่พันธุ์ที่เหมาะสม เพื่อป้องกันการสูญเสียของพ่อแม่พันธุ์ และการนำพ่อแม่พันธุ์กลับมาใช้ต้องให้พ่อแม่พันธุ์กลับมาแข็งแรงก่อนจึงนำมาใช้ต่อได้
- ระบบฟักต้องมีประสิทธิภาพ มีระบบป้องกันการหลุดรอดของไข่และตัวอ่อนในระบบ คุณภาพน้ำต้องเหมาะสมต่อการฟัก
- มีการบันทึกข้อมูลการเพาะ เช่น ข้อมูลพ่อแม่พันธุ์ที่ใช้เพาะ คุณภาพไข่ คุณภาพน้ำเชื้อ อัตราการฟัก คุณภาพน้ำที่ใช้เพาะ

● การอนุบาล

- บ่ออนุบาลต้องมีการแบ่งโซนอย่างชัดเจน ไม่ปะปนกับบ่อเลี้ยง และบ่อพ่อแม่พันธุ์
- บ่อที่ใช้อนุบาลต้องใช้สำหรับอนุบาลสัตว์น้ำในสายพันธุ์เดียวกัน และเป็นรุ่นเดียวกัน หากเป็นสัตว์น้ำคนละรุ่นต้องมีมาตรการป้องกันการปะปนของสัตว์น้ำที่ชัดเจน และรัดกุม
- มีมาตรการป้องกันการหลุดรอดของสัตว์น้ำในบ่ออนุบาล
- มีการเก็บตัวอย่างสัตว์น้ำเพื่อตรวจสอบคุณภาพของลูกพันธุ์สัตว์น้ำ เช่น การเจริญเติบโต ความแข็งแรง และสุขภาพของลูกพันธุ์สัตว์น้ำ
- อาหารที่ใช้สำหรับอนุบาล ต้องเป็นอาหารที่เหมาะสมกับชนิดพันธุ์สัตว์น้ำ และระยะของลูกพันธุ์นั้นๆ ซึ่งต้องมีคุณค่าทางโภชนาการที่ครบถ้วนตามความต้องการของสัตว์น้ำชนิดนั้นๆ
- คุณภาพน้ำต้องเหมาะสมต่อการอนุบาลสัตว์น้ำชนิดนั้นๆ และมีมาตรการป้องกัน และแก้ไขปัญหาคุณภาพน้ำที่ชัดเจน สามารถปฏิบัติได้อย่างทันท่วงที
- มีการบันทึกข้อมูลการอนุบาล เช่น อัตรารอด การให้อาหาร สุขภาพสัตว์น้ำ คุณภาพน้ำที่ใช้อนุบาลเป็นต้น

5) การเลี้ยงเพื่อสร้างประชากรรุ่นใหม่เพื่อใช้ทดแทน

- มีแผนการสร้างประชากรสัตว์น้ำปรับปรุงพันธุ์รุ่นใหม่ สำหรับใช้ทดแทนประชากรสัตว์น้ำปรับปรุงพันธุ์เก่า เพื่อคงสายพันธุ์ตามหลักการทางพันธุศาสตร์ที่ชัดเจน

- มีการแบ่งโซนการเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อสร้างประชากรทดแทนที่ชัดเจน ไม่ปะปนกับโซนพ่อแม่พันธุ์ โซนเพาะ และโซนอนุบาล
- มีมาตรการป้องกันการหลุดรอดของสัตว์น้ำในบ่อเลี้ยง
- มีการเก็บตัวอย่างสัตว์น้ำเพื่อตรวจสอบคุณภาพของพันธุ์สัตว์น้ำ เช่น การเจริญเติบโต ความแข็งแรง และสุขภาพของพันธุ์สัตว์น้ำ
- อาหารที่ใช้สำหรับเลี้ยง ต้องเป็นอาหารที่เหมาะสมกับชนิดพันธุ์สัตว์น้ำ และต้องมีคุณค่าทางโภชนาการที่ครบถ้วนตามความต้องการของสัตว์น้ำชนิดนั้นๆ
- คุณภาพน้ำต้องเหมาะสมต่อการอนุบาลสัตว์น้ำชนิดนั้นๆ และมีมาตรการป้องกัน และแก้ไขปัญหาคุณภาพน้ำที่ชัดเจน สามารถปฏิบัติได้อย่างทันท่วงที
- มีการบันทึกข้อมูลการเลี้ยง เช่น อัตรารอด การให้อาหาร สุขภาพสัตว์น้ำ คุณภาพน้ำที่ใช้เลี้ยง เป็นต้น
- มีแผนการใช้สัตว์น้ำที่เหลือจากการคัดเป็นพ่อแม่พันธุ์ และประชากรพ่อแม่พันธุ์สัตว์น้ำรุ่นเก่าที่ชัดเจน ซึ่งต้องไม่ปล่อยลงในแหล่งน้ำธรรมชาติ

6) การจัดการอาหารสัตว์น้ำปรับปรุงพันธุ์ สำหรับการอนุบาลและการเลี้ยง

- มีโซนการจัดเก็บและเตรียมอาหารที่ชัดเจน โดยเป็นสถานที่ที่เหมาะสมแก่การเก็บอาหารสัตว์น้ำ โดยไม่ทำให้คุณภาพของอาหารเสียหายจากการจัดเก็บ มีอากาศถ่ายเทดี ต้องไม่นำสารเคมี และสิ่งของอื่นใดมาเก็บในโซนนี้ และต้องมีมาตรการป้องกันสัตว์รบกวน เช่น หนู แมลงสาบ หรือสัตว์อื่นใดที่อาจก่อความเสียหายแก่อาหารสัตว์น้ำ
- มีคู่มือปฏิบัติงานในการดูแล และเตรียมอาหารที่ชัดเจนสามารถปฏิบัติได้จริง
- มีผู้รับผิดชอบ ดูแล ในโซนการจัดเก็บและเตรียมอาหารที่ชัดเจน
- มีการบันทึกการนำเข้า และการให้อาหาร ซึ่งต้องระบุวันหมดอายุของอาหารนั้นๆอย่างชัดเจน

7) การจัดการสุขภาพสัตว์น้ำปรับปรุงพันธุ์

- มีแผนการป้องกัน และรักษาสัตว์น้ำที่เป็นโรคที่ชัดเจนในแต่ละระบบ ได้แก่ ระบบพ่อแม่พันธุ์ ระบบเพาะ ระบบฟัก และระบบเลี้ยง
- มีมาตรการป้องกันการแพร่กระจายของโรค ในกรณีที่สัตว์น้ำในฟาร์มเป็นโรคที่ชัดเจน
- มีมาตรการในการกำจัดสัตว์น้ำที่เป็นโรคที่ชัดเจน โดยไม่ก่อให้เกิดการแพร่กระจายของโรคในฟาร์ม และสิ่งแวดล้อม

- บุคลากรที่รับผิดชอบต้องได้รับการฝึกอบรม และสามารถปฏิบัติการเพื่อป้องกันการเกิดโรค และการแพร่กระจายของโรคได้
- มีบันทึกสุขภาพสัตว์น้ำ และบันทึกการเกิดโรคในฟาร์ม โดยให้จัดเก็บเป็นประวัติการเกิดโรครย้อนหลังเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนการป้องกันโรคที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต

8) มาตรการป้องกันการหลุดรอดและปะปนของสัตว์น้ำสายพันธุ์ปรับปรุงกับสัตว์น้ำภายนอก

- มีมาตรการป้องกันการหลุดรอดของสัตว์น้ำที่ชัดเจนในแต่ละระบบ ได้แก่ ระบบพ่อแม่พันธุ์ ระบบเพาะ ระบบฟัก และระบบเลี้ยง
- หากฟาร์มมีการเพาะเลี้ยงพันธุ์สัตว์น้ำตั้งแต่ 2 พันธุ์ขึ้นไปต้องมีมาตรการป้องกันการปะปนของสัตว์น้ำแต่ละสายพันธุ์ที่ชัดเจน
- มีมาตรการป้องกันการปะปนของปลาในแต่ละรุ่น ในสัตว์น้ำสายพันธุ์เดียวกันที่ชัดเจน

ผนวก 2 ตารางบันทึกข้อมูล

กองวิจัยและพัฒนาพันธุ์กรรมสัตว์

แบบฟอร์มที่ 1: แบบบันทึกข้อมูลพ่อแม่สัตรว์น้ำพันธุ์ปรับปรุง

ชนิดพันธุ์สัตรว์น้ำ.....

กลุ่มที่	จำนวน	วัน/เดือน/ปี ที่นำเข้า	อายุเมื่อ นำเข้า (เดือน)	นำเข้าจาก (ภายนอก/ ทดแทน)	รหัสพ่อแม่ของ สัตรว์น้ำที่นำเข้า	วัน/เดือน/ปี ที่นำออก	รหัสบ่อที่เลี้ยง สัตรว์น้ำอยู่	ผู้บันทึก	หมายเหตุ

แบบฟอร์มที่ 2: แบบบันทึกการสร้างประชากรสัตว์น้ำพันธุ์ปรับปรุงรุ่นทดแทน

ชนิดพันธุ์สัตว์น้ำ.....

วัน/เดือน/ปี ที่สุ่ม	อายุสัตว์น้ำที่ สุ่ม (เดือน)	รหัสสัตว์น้ำที่คัดเลือก เป็นพ่อแม่พันธุ์	รหัสพ่อแม่ของสัตว์น้ำที่ได้รับสุ่ม	รหัสบ่อที่เลี้ยงสัตว์ น้ำที่ได้รับสุ่มอยู่	ผู้บันทึก	หมายเหตุ

แบบฟอร์มที่ 3: แบบบันทึกการเพาะและอนุบาลสัตว์น้ำพันธุ์ปรับปรุง

ชนิดพันธุ์สัตว์น้ำ.....

วัน/เดือน/ปี ที่ทำการเพาะ	รหัสพ่อแม่ พันธุ์	จำนวนไข่	อัตราฟัก	วัน/เดือน/ปี ที่ ลงอนุบาล	บ่ออนุบาล	จำนวนลูกสัตว์ น้ำที่ลงอนุบาล	อัตราการอด	ผู้เพาะ/ อนุบาล	หมายเหตุ

แบบฟอร์มที่ 5: แบบบันทึกสุขภาพสัตว์น้ำปรับปรุงพันธุ์ที่นำเข้าสู่ฟาร์มจากภายนอก

[illegible]

แบบฟอร์มที่ 6: แบบบันทึกคุณภาพน้ำ

ชนิดพันธุ์สัตว์น้ำ.....

ประเภทข้อ ข้อพักน้ำ ข้อพ่อแม่พันธุ์ ข้อเพาะ ข้ออนุบาล ข้อเลี้ยง

รหัสบ่อ.....

[illegible]

แบบฟอร์มที่ 7: แบบบันทึกการนำเข้า และการใช้อาหาร

รหัสอาหาร	วันที่นำเข้า	ลักษณะ อาหารเมื่อ นำเข้า	ผู้นำเข้า	วันที่นำไปใช้	ลักษณะ อาหารเมื่อ นำไปใช้	นำไปใช้ที่	ผู้นำไปใช้	หมายเหตุ

แบบฟอร์มที่ 8: แบบบันทึกการผสมอาหาร

[illegible]

แบบฟอร์มที่ 10: แบบบันทึกสุขภาพสัตว์น้ำ

ชนิดพันธุ์สัตว์น้ำ.....

ประเภทบ่อ บ่อพ่อแม่พันธุ์ บ่อเพาะ บ่ออนุบาล บ่อเลี้ยง

รหัสบ่อ.....

วัน/เดือน/ปี ที่ ตรวจสอบสุขภาพ	สภาพภายนอก (ลำตัว ครีบ เหงือก)	พฤติกรรม (หาก ผิดปกติโปรดระบุ)	ปรสิต (หากพบโปรด ระบุ)	ไวรัส (หากพบโปรด ระบุ)	ผู้ตรวจ	หมายเหตุ

แบบฟอร์มที่ 11: แบบบันทึกการเกิดโรคในฟาร์ม

วัน/เดือน/ปี

ชนิดพันธุ์สัตว์น้ำ อายุ

รหัสบ่อที่เกิดโรค ประเภทบ่อ บ่อพ่อแม่พันธุ์ บ่อเพาะ บ่ออนุบาล บ่อเลี้ยง

โรคที่เกิด อัตราปลาที่ตายในบ่อ

อาการ

.....
.....
.....
.....

การรักษา

.....
.....
.....
.....

การกำจัดปลาที่ตาย

.....
.....
.....
.....

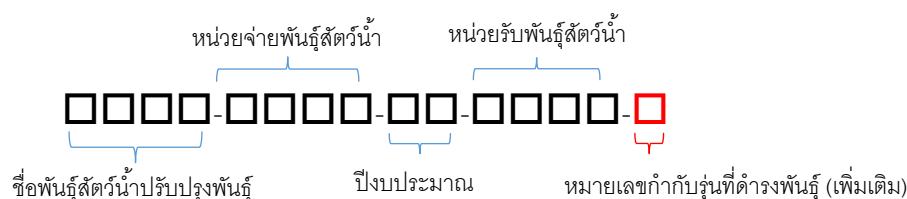
วิธีการเตรียมบ่อหลังกำจัดปลาที่ตาย

.....
.....
.....
.....

.....
ผู้ปฏิบัติงาน/ผู้บันทึก

ผนวก 3 รหัสมาตรฐานสัตว์น้ำพันธุ์ปรับปรุง

รหัสมาตรฐานนี้จะออกโดยหน่วยจ่ายสัตว์น้ำพันธุ์ปรับปรุงให้กับหน่วยรับพันธุ์สัตว์น้ำ โดยมีโครงสร้างดังนี้



ตัวอย่าง CIT3-GUTT-61-ACMI ประกอบด้วย

CIT3 หมายถึง รหัสชนิดพันธุ์สัตว์น้ำ (ปลานิลจิตรลดา 3)

GUTT หมายถึง รหัสหน่วยจ่ายพันธุ์สัตว์น้ำ (ศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุ์กรรมสัตว์น้ำอุดรดิตถ์)

61 หมายถึง ปีงบประมาณที่จ่ายพันธุ์สัตว์น้ำ (2561)

ACMI หมายถึง รหัสหน่วยรับพันธุ์สัตว์น้ำ (ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด เขต 1 (เชียงใหม่))

ในกรณีที่หน่วยงานที่ได้รับสัตว์น้ำพันธุ์ปรับปรุง ดำเนินการดำรงพันธุ์เพื่อใช้เป็นพ่อแม่พันธุ์รุ่นใหม่จากพันธุ์สัตว์น้ำที่เคยได้รับ ให้ใส่หมายเลขกำกับรุ่นที่ดำรงพันธุ์ไว้ท้ายรหัสมาตรฐานเดิมที่ได้รับ ดังต่อไปนี้

ตัวอย่าง CIT3-GUTT-61-ACMI-1 มีความหมายว่า ปลานิลจิตรลดา 3 ที่ ศพก.อุดรดิตถ์ จ่ายให้ ศพจ. เขต 5 (เชียงใหม่) ในปีงบประมาณ 2561 และผ่านการดำรงพันธุ์แล้ว 1 รุ่น โดย ศพจ. เขต 5 (เชียงใหม่)

รหัสชนิดพันธุ์สัตว์น้ำ

CHU1 หมายถึง ปลาหมอ ชุมพร 1

CIT3 หมายถึง ปลานิล จิตรลดา 3

CIT4 หมายถึง ปลานิล จิตรลดา 4

COM1 หมายถึง ปลาไน คอม 1

MAC1 หมายถึง กุ้งก้ามกราม มาโคร 1

MAR1 หมายถึง ปลานวลจันทร์เทศ มา 1

PAT1 หมายถึง ปลานิลแดง ปทุมธานี 1

RED1 หมายถึง ปลานิลแดง เร็ด 1

RED2 หมายถึง ปลานิลแดง เร็ด 2

ROH1 หมายถึง ปลาอีสงเทศ โรห์ 1

SV1C หมายถึง ปลาตะเพียนขาว ซิลเวอร์ 1 ซี

SV2K หมายถึง ปลาตะเพียนขาว ซิลเวอร์ 2 เค

ANU1 หมายถึง พันธุ์ไม้น้ำ อนุเจิน 1

รหัสหน่วยจ่ายพันธุ์สัตว์น้ำ

- AGRD หมายถึง กองวิจัยและพัฒนาพันธุ์กรรมสัตว์น้ำ
- GBRM หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุ์กรรมสัตว์น้ำบุรีรัมย์
- GCHU หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุ์กรรมสัตว์น้ำชุมพร
- GNST หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุ์กรรมสัตว์น้ำนครศรีธรรมราช
- GPBI หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุ์กรรมสัตว์น้ำเพชรบุรี
- GPTE หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุ์กรรมสัตว์น้ำปทุมธานี
- GUTT หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุ์กรรมสัตว์น้ำอุดรดิตถ์

รหัสหน่วยรับพันธุ์สัตว์น้ำ

กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด

- ACMI หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด เขต 1 (เชียงใหม่)
- ALPN หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดลำพูน
- AMSN หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดแม่ฮ่องสอน
- ACRI หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดเขต 2 (เชียงราย)
- APRE หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดแพร่
- ANAN หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดน่าน
- APCT หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด เขต 3 (พิจิตร)
- APNB หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดเพชรบูรณ์
- ASTI หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดสุโขทัย
- AKPT หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดกำแพงเพชร
- AUDN หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด เขต 4 (อุตรธานี)
- ANKI หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดหนองคาย
- ALEI หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดเลย
- ANPM หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดนครพนม

- AYST หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด เขต 5 (ยโสธร)
- ASSK หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดศรีสะเกษ
- AACR หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดอำนาจเจริญ
- AMDH หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดมุกดาหาร
- AKKN หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดเขต 6 (ขอนแก่น)
- AKSN หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดกาฬสินธุ์
- ARET หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดร้อยเอ็ด
- AMKN หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดมหาสารคาม
- ACBI หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดเขต 7 (ชลบุรี)
- APRI หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดปราจีนบุรี
- ASKW หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดสระแก้ว
- ATRT หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดตราด
- AAYA หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดเขต 8 (พระนครศรีอยุธยา)
- AATG หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดอ่างทอง
- APTE หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดปทุมธานี
- ACNT หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดเขต 9 (ชัยนาท)
- AUTI หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดอุทัยธานี
- ASRI หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดสระบุรี
- ASBR หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดสิงห์บุรี
- AKRI หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดเขต 10 (กาญจนบุรี)
- ASPK หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดสมุทรปราการ
- ARBR หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดราชบุรี
- ATRG หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดเขต 11 (ตรัง)
- ANST หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดนครศรีธรรมราช
- ASTN หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดสตูล

ASKA หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดเขต 12 (สงขลา)

APTN หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดปัตตานี

ANWT หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดนราธิวาส

กองวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด

FPYO หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด เขต 1 (พะเยา)

FTAK หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดตาก

FLPG หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดลำปาง

FPLK หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดพิษณุโลก

FNSN หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด เขต 2 (นครสวรรค์)

FSPB หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดสุพรรณบุรี

FLRI หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดลพบุรี

FRYG หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดระยอง

FPBI หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดเพชรบุรี

FSNK หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดเขต 3 (สกลนคร)

FCPM หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดชัยภูมิ

FKKN หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดขอนแก่น (เขื่อนอุบลรัตน์)

FUBN หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดเขต 4 (อุบลราชธานี)

FSRN หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดสุรินทร์

FNMA หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดนครราชสีมา

FSNI หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดเขต 5 (สุราษฎร์ธานี)

FPLG หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดพัทลุง

FYLA หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดยะลา

กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง

- CCCO หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง เขต 1 (ฉะเชิงเทรา)
- CCTI หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจันทบุรี
- CRYG หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งระยอง
- CSKN หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งเขต 2 (สมุทรสาคร)
- CPBI หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งเพชรบุรี
- CPKN หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งประจวบคีรีขันธ์
- CSNI หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งเขต 3 (สุราษฎร์ธานี)
- CNST หมายถึง ศูนย์พัฒนาประมงพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนัง อันเนื่องมาจากพระราชดำริ
- CRNG หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งระนอง
- CKBI หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง เขต 4 (กระบี่)
- CTRG หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งตรัง
- CPKT หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งเขต 5 (ภูเก็ต)
- CPNA หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งพังงา
- CSKA หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งเขต 6 (สงขลา)
- CPTN หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งปัตตานี
- CNWT หมายถึง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งนราธิวาส