



การจัดการพ่อแม่พันธุ์และการปรับปรุงพันธุ์สัตว์น้ำ

ศรียรรยา เข้มกลัด

กลุ่มวิจัยและพัฒนาการปรับปรุงพันธุ์

กองวิจัยและพัฒนาพันธุ์กรรมสัตว์น้ำ

Topics

- หลักการจัดการพ่อแม่พันธุ์สัตว์น้ำ
- ประชากรเริ่มต้นและการวางแผนการผสมพันธุ์เพื่อการปรับปรุงพันธุ์
- ประชากรเริ่มต้นและการวางแผนการผสมพันธุ์เพื่อการดำรงรักษาพันธุ์
- หลักการปรับปรุงพันธุ์สัตว์น้ำ



การจัดการพันธกรรมพ่อแม่พันธุ์

กองวิจัยและพัฒนาพันธุ์กรรมสัตว์น้ำ

การจัดการพันธกรรมพ่อแม่พันธุ์

- กระบวนการในการวางแผนการผสมพันธุ์ ทั้งในด้านจำนวนพ่อแม่พันธุ์ วิธีการผสม การนำปลารุ่นใหม่มาทดแทนพ่อแม่พันธุ์ ชุมเก่า ตลอดจนควบคุมกิจกรรมในโรงเพาะฟักทั้งหมด เพื่อคงความหลากหลายทางพันธุกรรมของสายพันธุ์ และควบคุมการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมให้เป็นไปในทิศทางที่ดี



สัตว์น้ำที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงมีหลายชนิดเมื่อเทียบกับสัตว์บก



Leghorn



American Brahman



Large white



Barred Plymouth Rock



Chalorais



Landrace



Rhode Island



Holstein Friesian



Duroc





ข้อเท็จจริงบางประการเกี่ยวกับสัตว์บก VS. สัตว์น้ำ

สัตว์บก	สัตว์น้ำ
ผ่าน DOMESTICATION ยาวนานนับ 100 ปี	ส่วนใหญ่ยังไม่ DOMESTICATE
ผ่านการปรับปรุงพันธุ์ยาวนาน	ส่วนใหญ่ยังไม่ ผ่านการปรับปรุงพันธุ์
มีแหล่งพันธุกรรมชัดเจน	ไม่มีการ characterize แหล่งพันธุกรรม



Domestication

กระบวนการที่สภาพแวดล้อมในการเพาะเลี้ยง แนวทางปฏิบัติในโรงเพาะฟัก และการคัดเลือกโดยมนุษย์ ทำให้สัตว์ประชากรใดๆ เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม (genotype) และในที่สุดก็ทำให้ลักษณะปรากฏ (phenotype) เปลี่ยนแปลงไป



Domestication



common carp

ปลาที่ผ่านการ domesticate ชนิดแรก



Domestication ในสัตว์น้ำของไทย

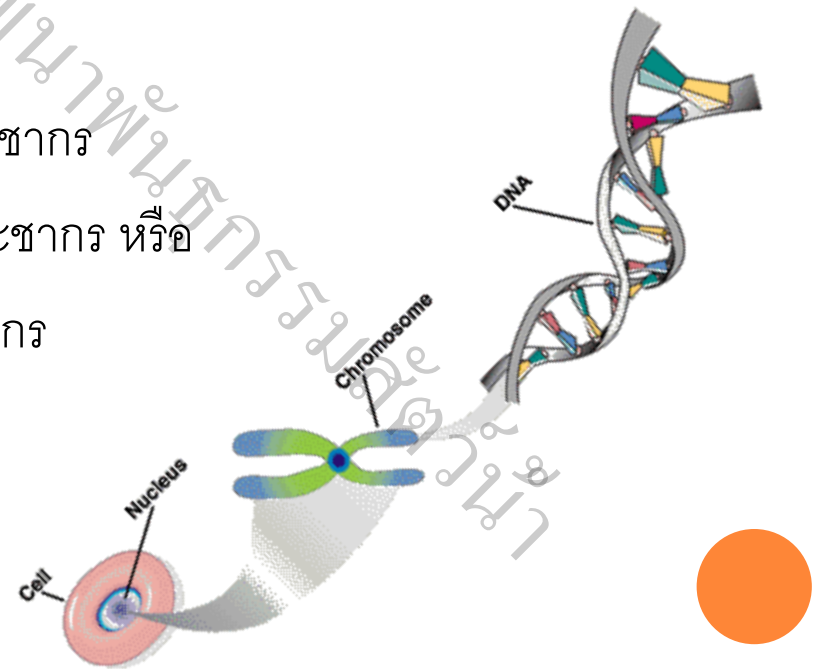


Domestication ในสัตว์น้ำของไทย



ความหลากหลายทางพันธุกรรม (Genetic diversity)

- ความผันแปรของยีนหรือหน่วยพันธุกรรม ตรวจสอบได้จากความหลากหลายของอัลลีล (allele) และจีโนไทป์ (genotype) ในกลุ่มของประชากร หรือในสิ่งมีชีวิตชนิดนั้นๆ
- แบ่งเป็น 2 ระดับ คือ
 - ความหลากหลายทางพันธุกรรมภายในประชากร
 - ความหลากหลายทางพันธุกรรมระหว่างประชากร หรือความแตกต่างทางพันธุกรรมระหว่างประชากร (genetic differentiation)

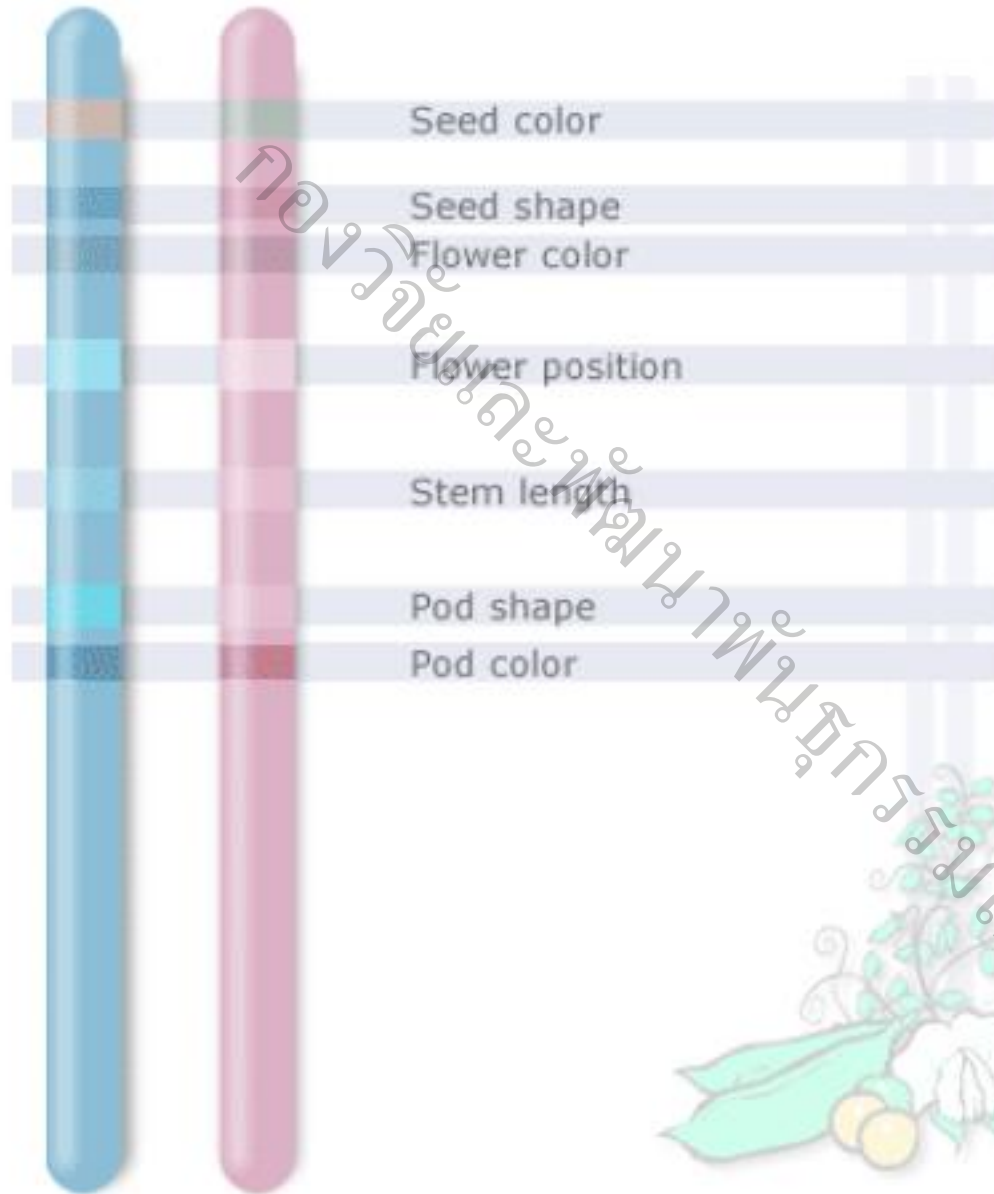


Definition

- **Gene** เป็นชื่อเรียกหน่วยที่ควบคุมลักษณะของสิ่งมีชีวิต โดยสามารถถ่ายทอดลักษณะต่างๆ จากพ่อแม่ไปสู่ลูกได้ ยีนจะอยู่บนโครโมโซมในนิวเคลียส ดังนั้น ยีนที่ควบคุมลักษณะต่างๆ จะปรากฏเป็นคู่ๆ เรียกว่า อัลลีล (**Allele**)
- **Genotype** สัญลักษณ์ที่ใช้เป็นตัวแทนลักษณะการเข้าคู่กันของยีนแต่ละยีน เช่น **AA Aa และ aa**
- **Phenotype** ลักษณะที่ปรากฏ หรือแสดงออกมาให้เห็น เช่น สูง เตี้ย สีต่างๆ
- **Homozygous** คู่ของยีนที่เหมือนกันอยู่ในตำแหน่งเดียวกันบนโครโมโซมที่เป็นคู่กัน
- **Heterozygous** คู่ของยีนที่ต่างกันอยู่ในตำแหน่งเดียวกันบนโครโมโซมที่เป็นคู่กัน

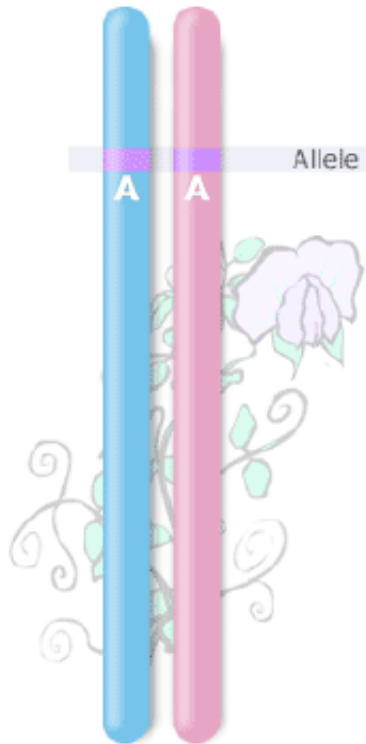


Alleles in Two Homologous Pea Plant Chromosomes



Homozygous and Heterozygous Alleles

Homozygous



Heterozygous



Allele for flower color

Phenotype and Genotype

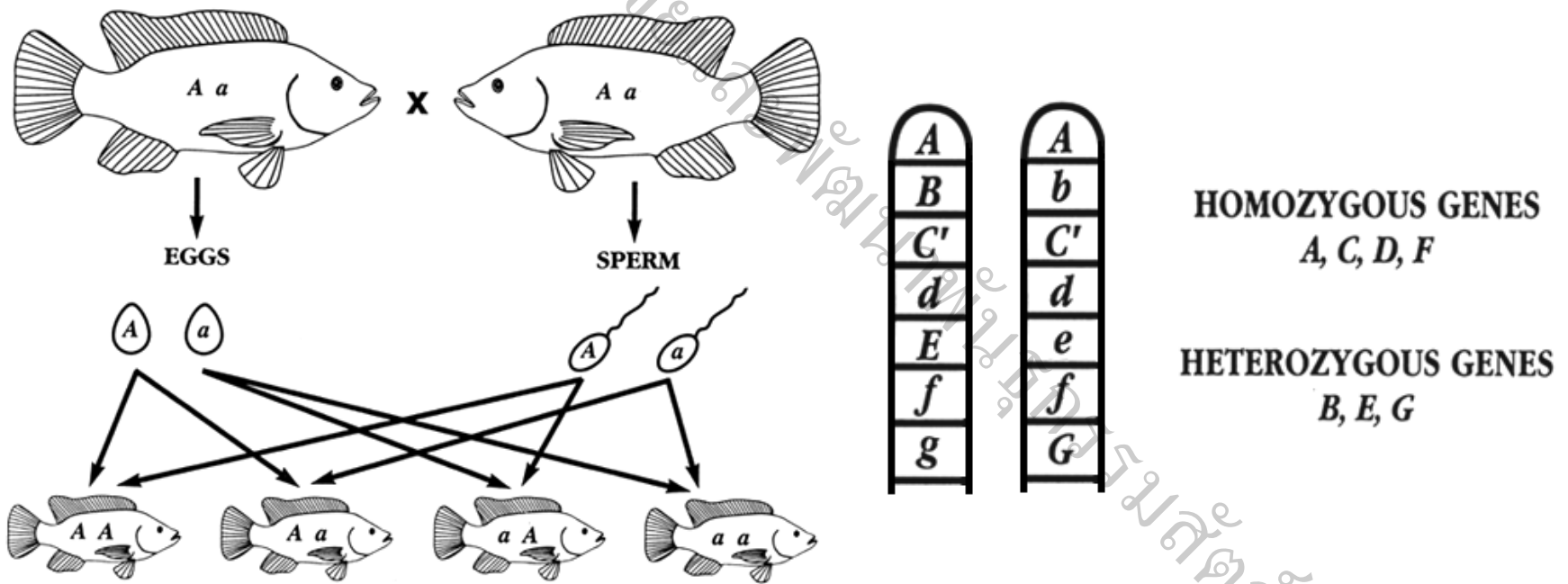
Phenotype: *Purple*



Genotype: *Aa*



Allele & Genotype



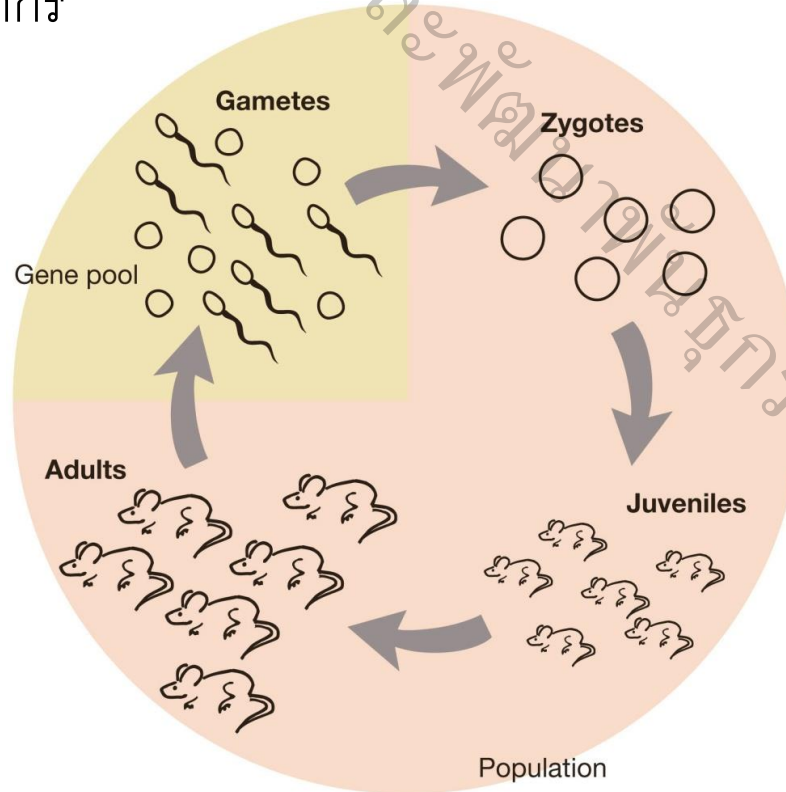
Phenotype



A range of variability in the mussel *Donax variabilis*

ประชากร (Population)

- กลุ่มของสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกัน และมีการผสมพันธุ์และแลกเปลี่ยนยีนกันภายในกลุ่ม ดังนั้นประชากรจึงเป็นแหล่งรวมของยีน หรือจีโนไทป์ชนิดต่างๆ ของประชากร

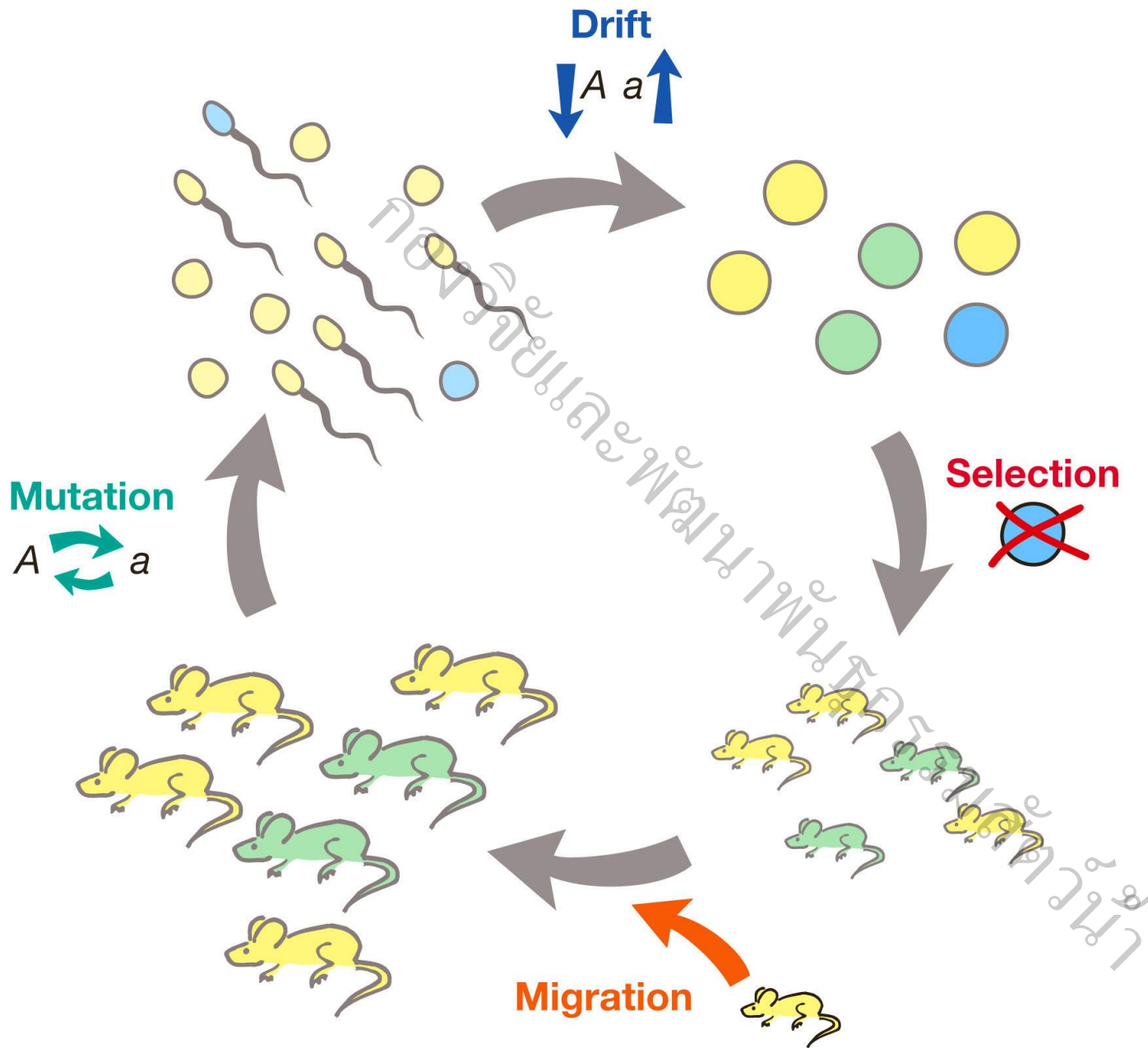


ทฤษฎีสมดุลของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก (Hardy-Weinberg equilibrium)

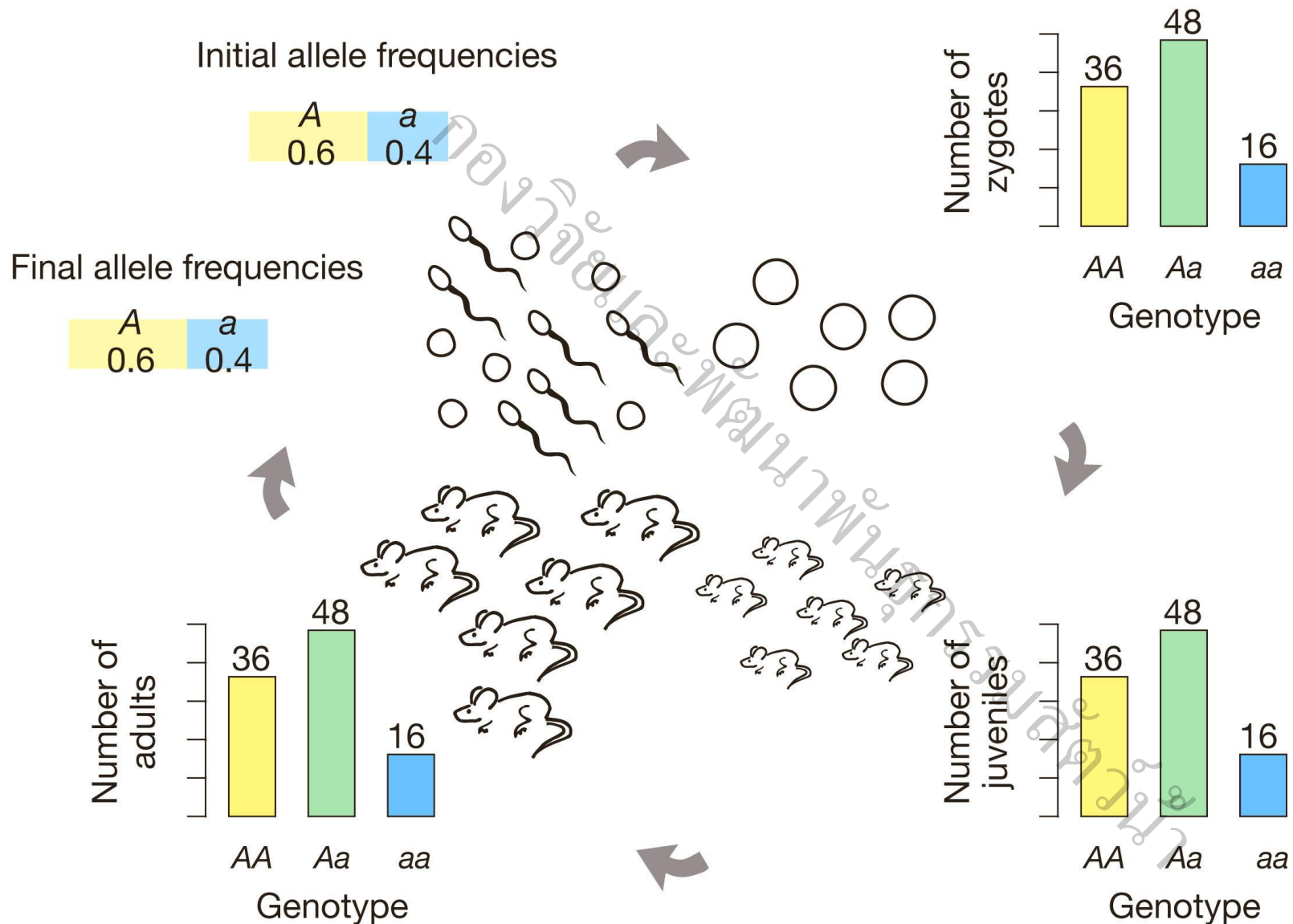
- ประชากรที่มีขนาดใหญ่
- มีการผสมพันธุ์แบบสุ่ม
- ไม่มีการกลาย
- ไม่มีการคัดเลือก
- ไม่มีการอพยพย้ายถิ่น

ในประชากรนั้น “ความถี่ของยีนและความถี่ของจีโนไทป์จะคงที่ในทุกชั่วอายุ”





Demonstrating of Hardy–Weinberg Equilibrium



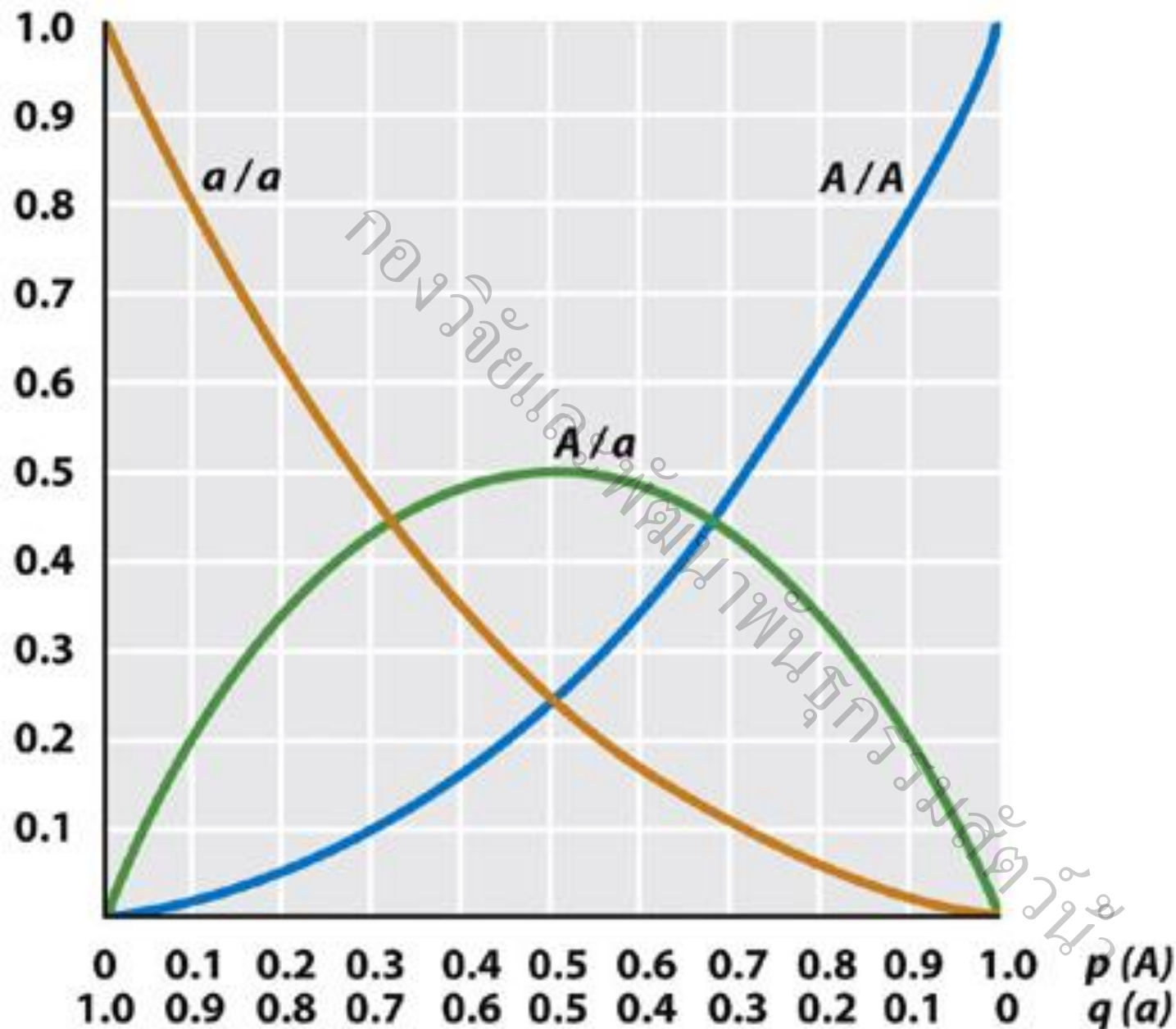


Figure 17-5
Introduction to Genetic Analysis, Ninth Edition
 © 2008 W.H. Freeman and Company

ความหลากหลายทางพันธุกรรมภายในประชากร

Genetic variation within population

- ความแปรปรวนที่เกิดขึ้นระหว่างสมาชิกในประชากรเดียวกัน
- อาศัยกลไกการรีคอมบิเนชัน (recombination) ของยีนระหว่างการแบ่งเซลล์แบบ meiosis ในสิ่งมีชีวิตที่สืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ และการกลาย (mutation)



ดัชนีวัดความหลากหลายทางพันธุกรรมภายในประชากร

○ ค่าเฮเทอโรไซโกซิตี (heterozygosity, H)

- จากการสังเกต Observed heterozygosity, H_o
- จากการคำนวณ Expected heterozygosity, H_e

○ ค่าจำนวนอัลลีลเฉลี่ยต่อตำแหน่ง

- average number of allele per locus, A
- effective number of allele per locus, A_e
- allelic richness, A_r



ความหลากหลายทางพันธุกรรมระหว่างประชากร

Genetic differentiation

- เป็นความแปรปรวนที่เกิดขึ้นของสมาชิกต่างประชากร
- เกิดจากมีสมาชิกแยกตัวออกจากประชากรเดิม และลดการถ่ายเทยีน (gene flow) ระหว่างประชากร ทำให้สมดุขของยีน และความถี่อัลลีลเปลี่ยนแปลงไป
- ประชากรที่แยกจากกันจะมีวิวัฒนาการที่แตกต่างกันไปตามสภาพแหล่งที่อยู่อาศัย เพื่อปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้



Florida tree snail

Tropical
hardwood
hammocks

Griffiths et al., 1996



ดัชนีวัดความหลากหลายทางพันธุกรรมระหว่างประชากร

- ประเมินได้โดยการเปรียบเทียบความแตกต่างของความถี่ของยีน หรือจีโนไทป์ของสมาชิกต่างประชากร
- วัดค่าสัมประสิทธิ์เอฟ (F-statistics) และระยะห่างทางพันธุกรรม (genetic distance)
- คำนวณหลายได้หลายวิธีตามลักษณะข้อมูล เช่น Cavalli-Sforza and Edwards (1967), Nei (1972, 1978), Reynolds *et al.* (1983)
- มีโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปที่ช่วยคำนวณได้ เช่น Microsatellite Analyzer, PHYLIP

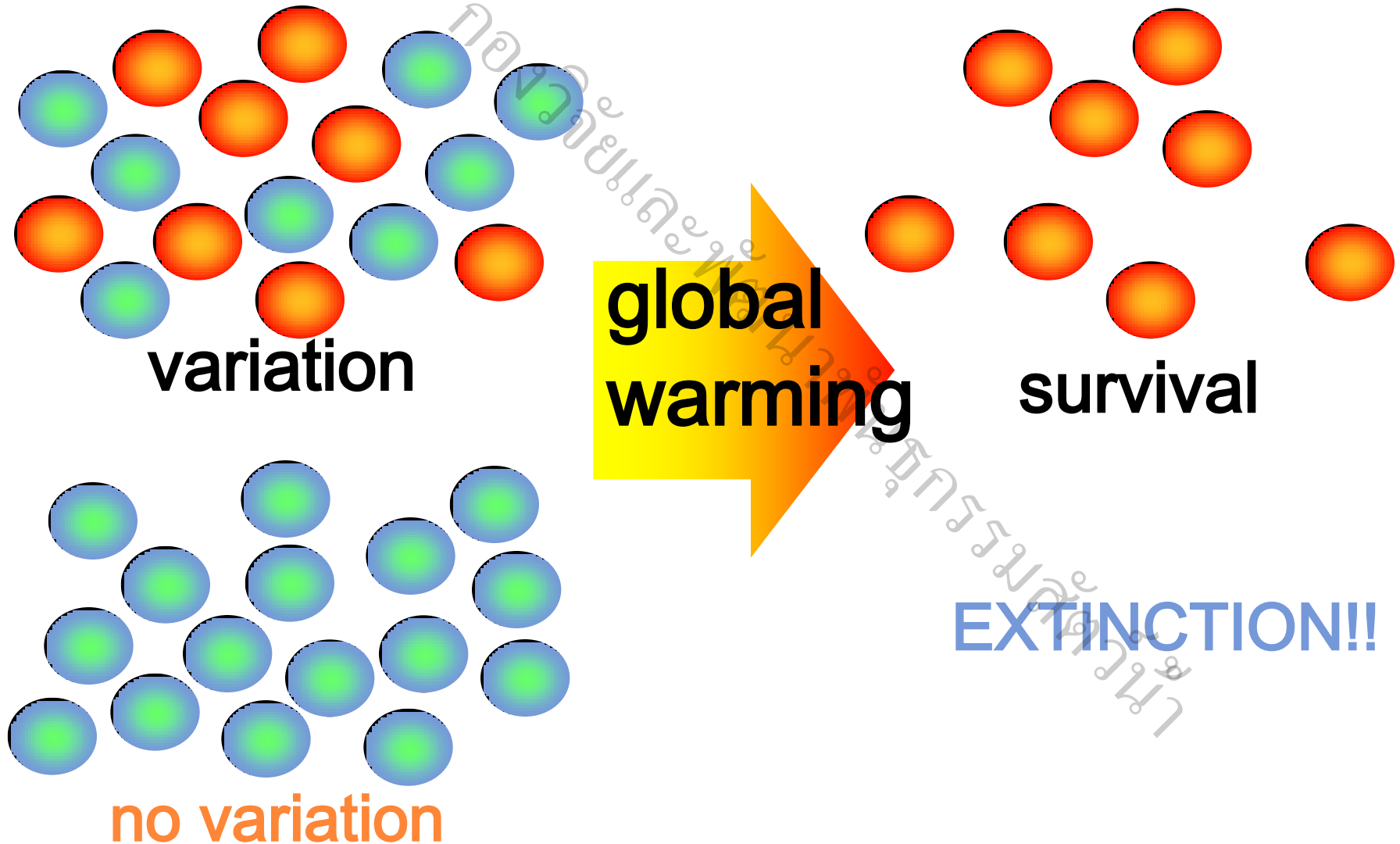


ความสำคัญของความหลากหลายทางพันธุกรรม

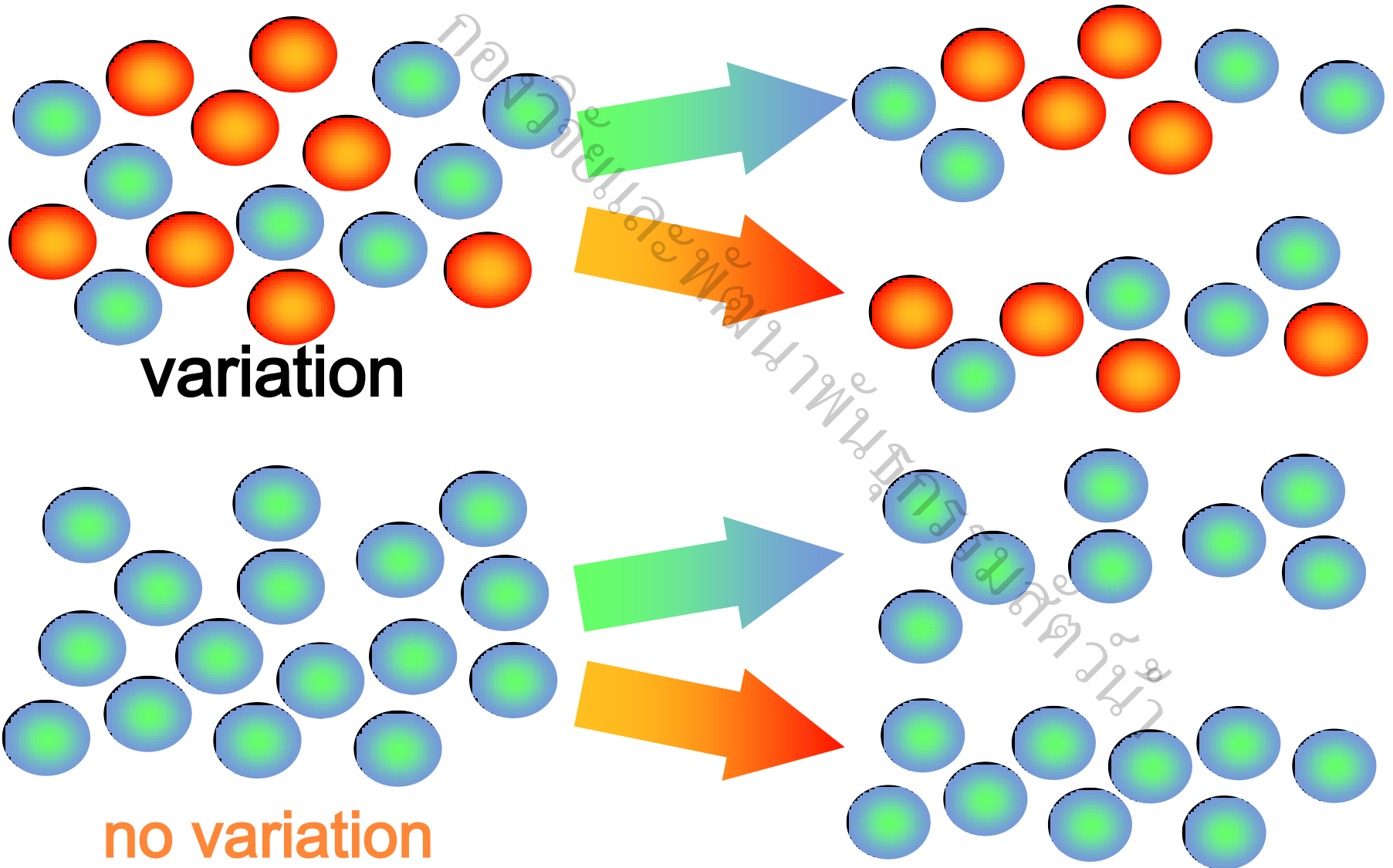
- ความหลากหลายทางพันธุกรรมสำคัญต่อศักยภาพในการวิวัฒนาการและการอยู่รอด (fitness) ของประชากร
- สัตว์แต่ละตัวในประชากรหนึ่ง อาจมีความแตกต่างกันทางด้านความสามารถในการสืบพันธุ์ และการอยู่รอดได้ดีกว่าสัตว์ตัวอื่นๆ เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม
- ค่าเฮเทอโรไซโกซิตี (H) สัมพันธ์กับการตอบสนองต่อการคัดเลือกทั้งโดยมนุษย์และการคัดเลือกตามธรรมชาติ สำคัญต่อการปรับตัวในระยะสั้น
- ความหลากหลายของอัลลีล (A) จะเกี่ยวข้องกับความอยู่รอดในระยะยาว



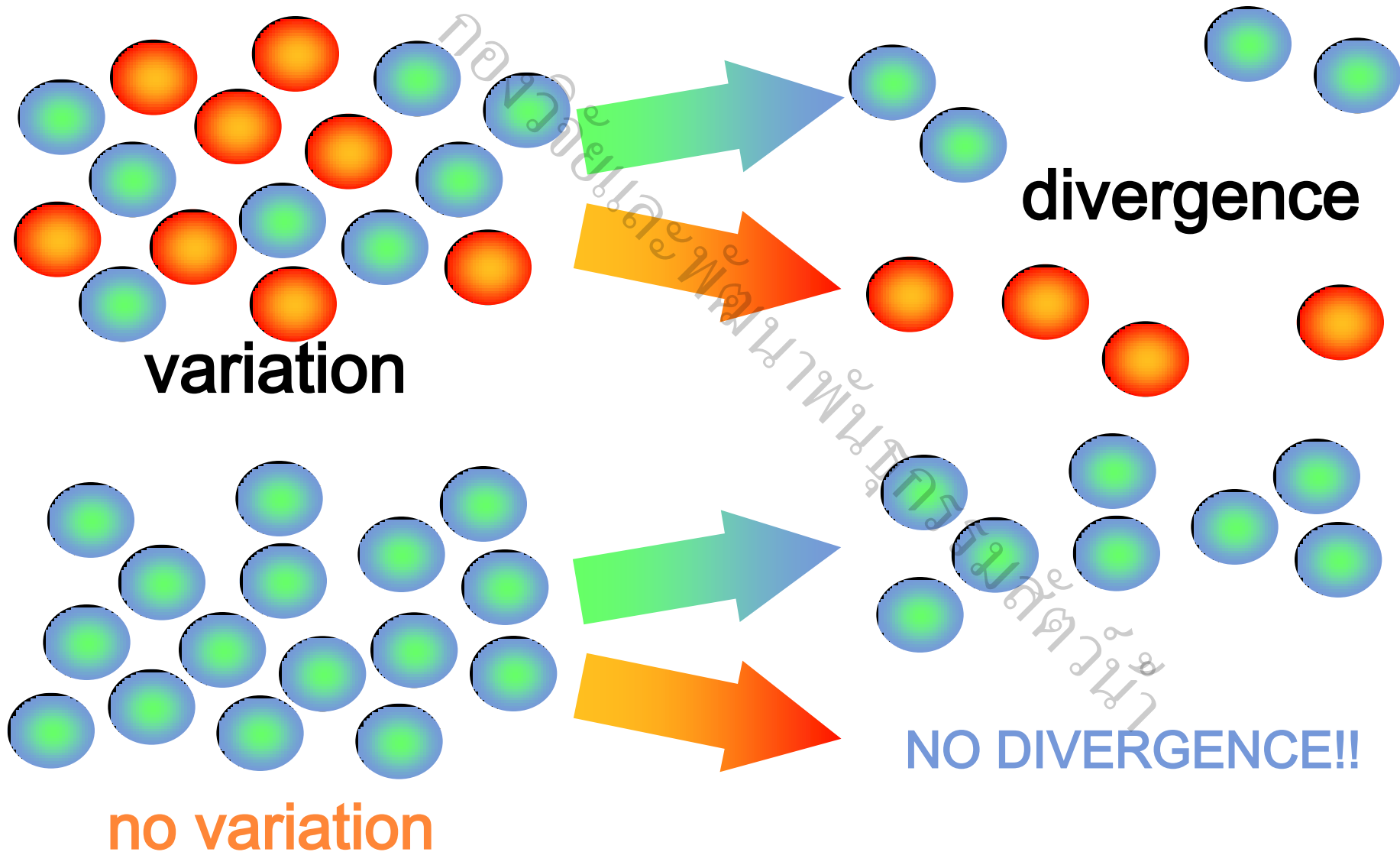
Why is genetic variation important?



Why is genetic variation important?



Why is genetic variation important?



ความสำคัญของความหลากหลายทางพันธุกรรม

- สมมติว่า ความสามารถบินทนของนก ถูกควบคุมด้วยยีน 1 คู่ ประกอบด้วย 3 อัลลีล คือ
 - $A1 = 1.0$ หน่วย
 - $A2 = 1.1$ หน่วย
 - $A3 = 1.2$ หน่วย
- ประชากร A ประกอบด้วยอัลลีล $(f)A1 = 0.5, (f)A2 = 0.5$
- ประชากร B ประกอบด้วยอัลลีล $(f)A1 = 0.45, (f)A2 = 0.45, (f)A3 = 0.1$
- ประชากร C ประกอบด้วยอัลลีล $(f)A1 = 0.5, (f)A3 = 0.5$
- $H(A) = 1 - (p_1^2 + p_2^2) = 1 - (0.5^2 + 0.5^2)$
- $H(B) = 1 - (0.45)^2 + (0.45)^2 + (0.1)^2$
- $H(C) = 1 - (0.99)^2 + (0.01)^2$



Nikon NIKON D80
shutter 1/1000s, f5.2, lens 125 mm
ISO160

กระบวนการที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม

- การขาดช่วงทางพันธุกรรม (genetic drift) และ Effective population size
- การคัดเลือก (selection)
- การแบ่งประชากร การอพยพย้ายถิ่น และการแลกเปลี่ยนยีนระหว่างประชากร (population division, migration, gene flow)
- การกลาย (mutation)

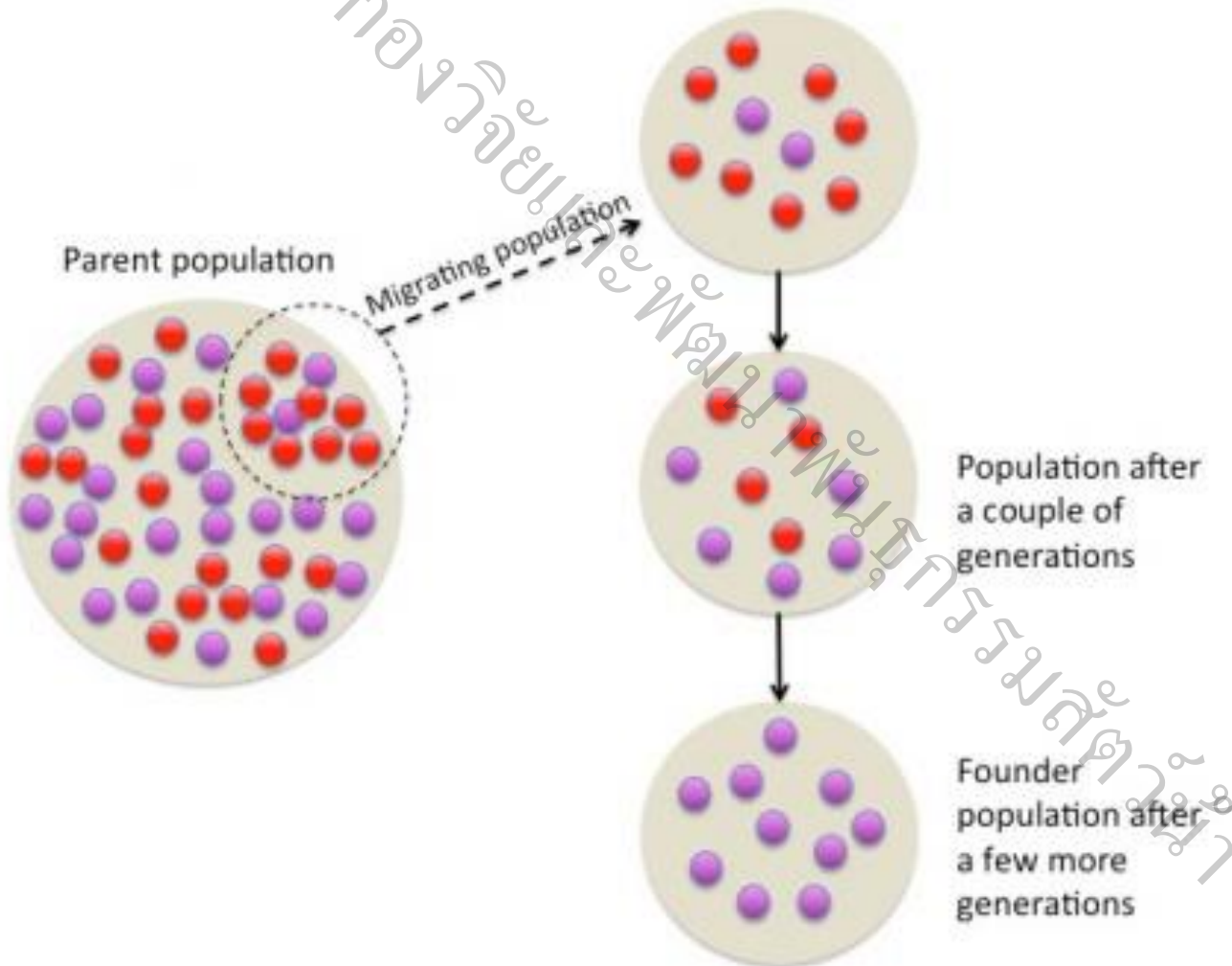


การขาดช่วงทางพันธุกรรม (Genetic drift) และ Effective population size

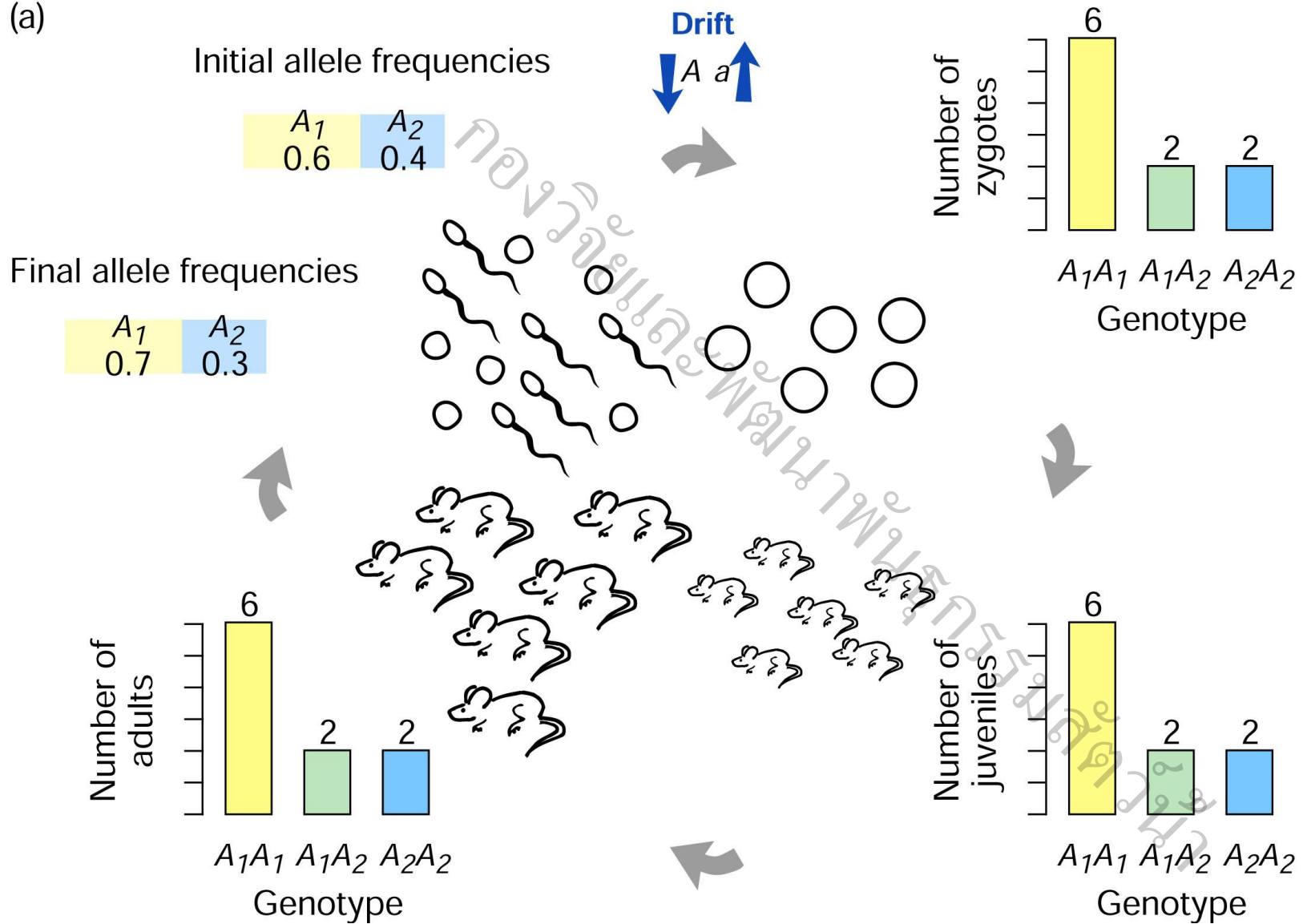
- กระบวนการสูญหายของอัลลีลและจีโนไทป์ระหว่างรุ่น เรียกว่า การขาดช่วงทางพันธุกรรม (**genetic drift**) เป็นกระบวนการสุ่ม (ไม่เลือกจีโนไทป์)
- **genetic drift** มีผลกระทบต่อความหลากหลายทางพันธุกรรมในประชากร 2 รูปแบบ คือ (1) การเปลี่ยนความถี่อัลลีล (2) การหายไปของอัลลีลบางอัลลีล
- ขนาดของประชากรที่อ้างถึงในพันธุศาสตร์ประชากร เป็นประชากรที่อยู่ในสมดุล มีขนาดใหญ่ เรียกว่า **effective population size** หรือ N_e

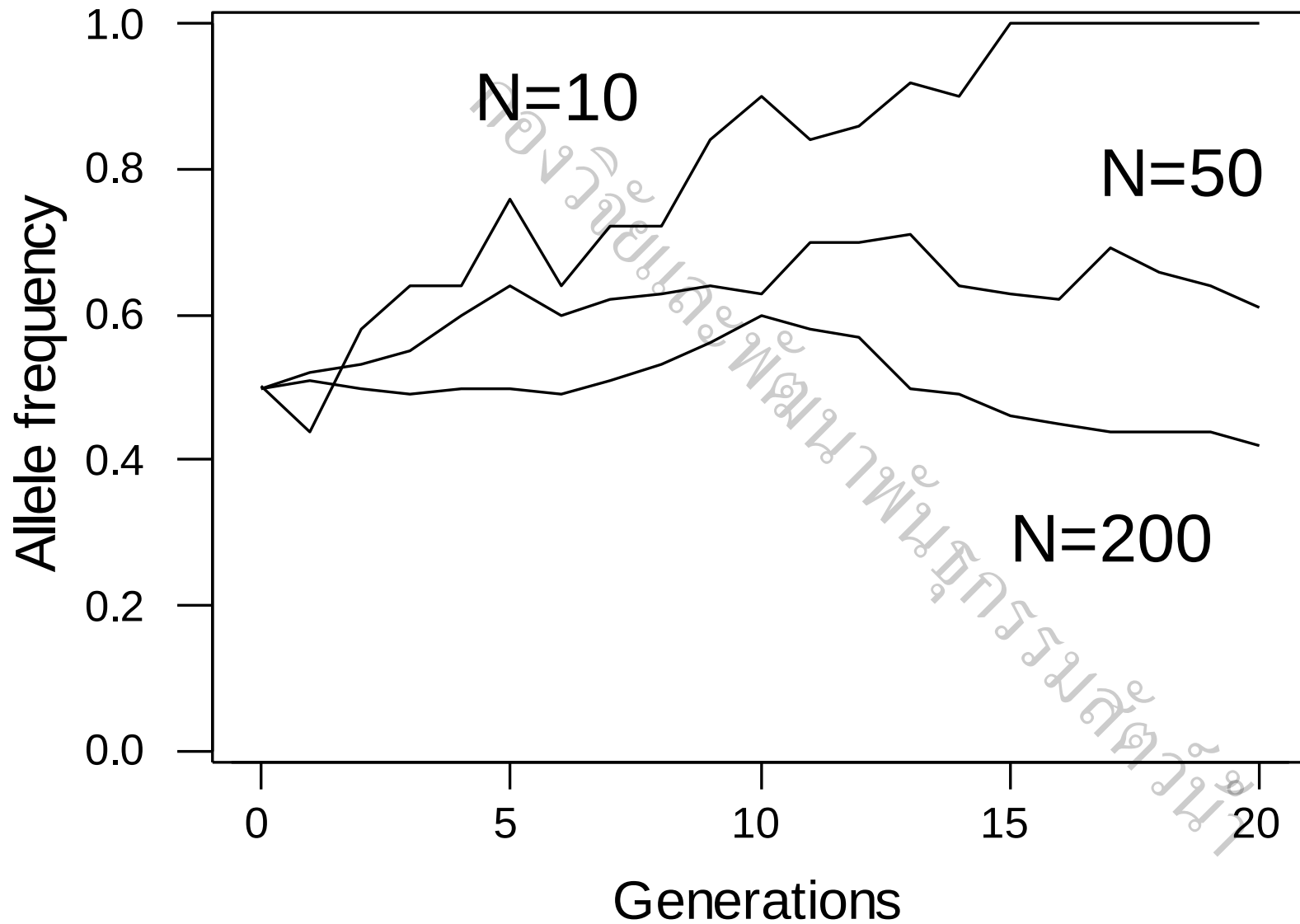


Genetic drift



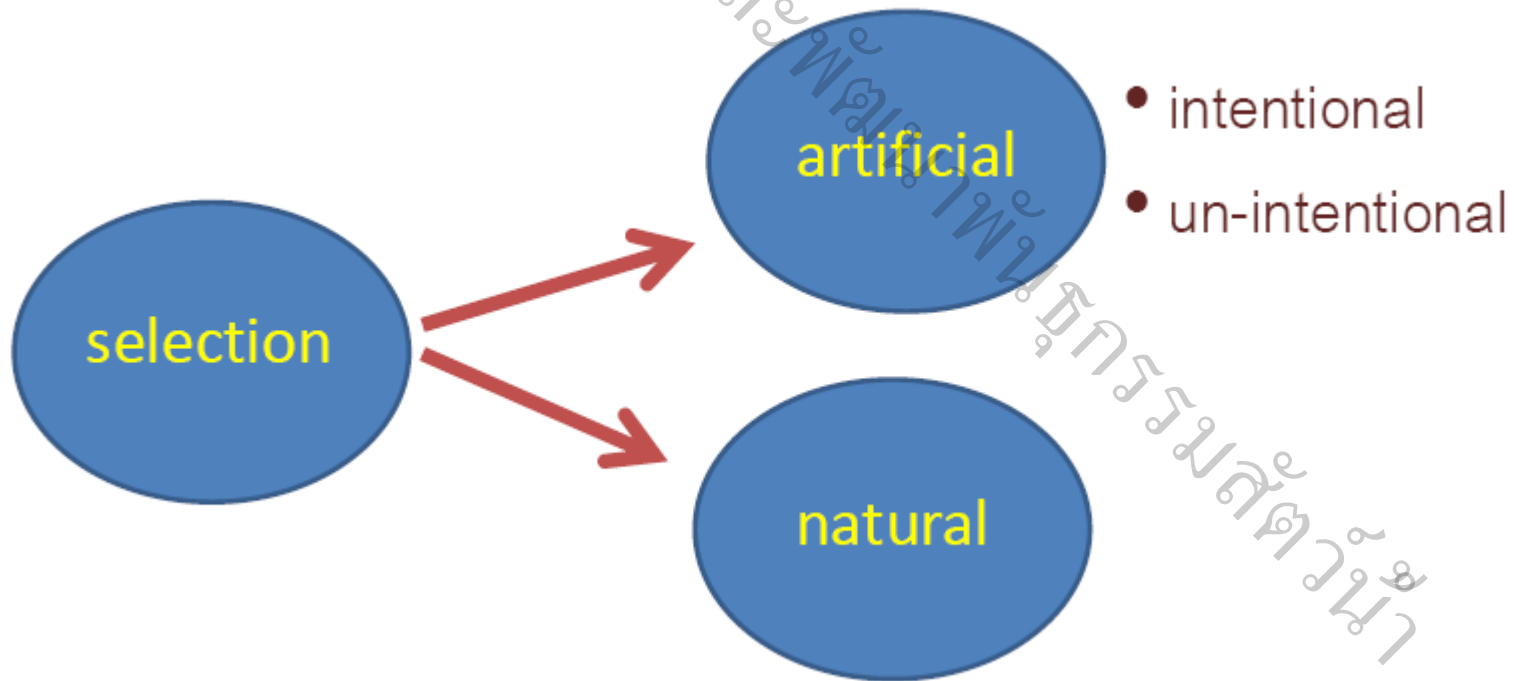
(a)





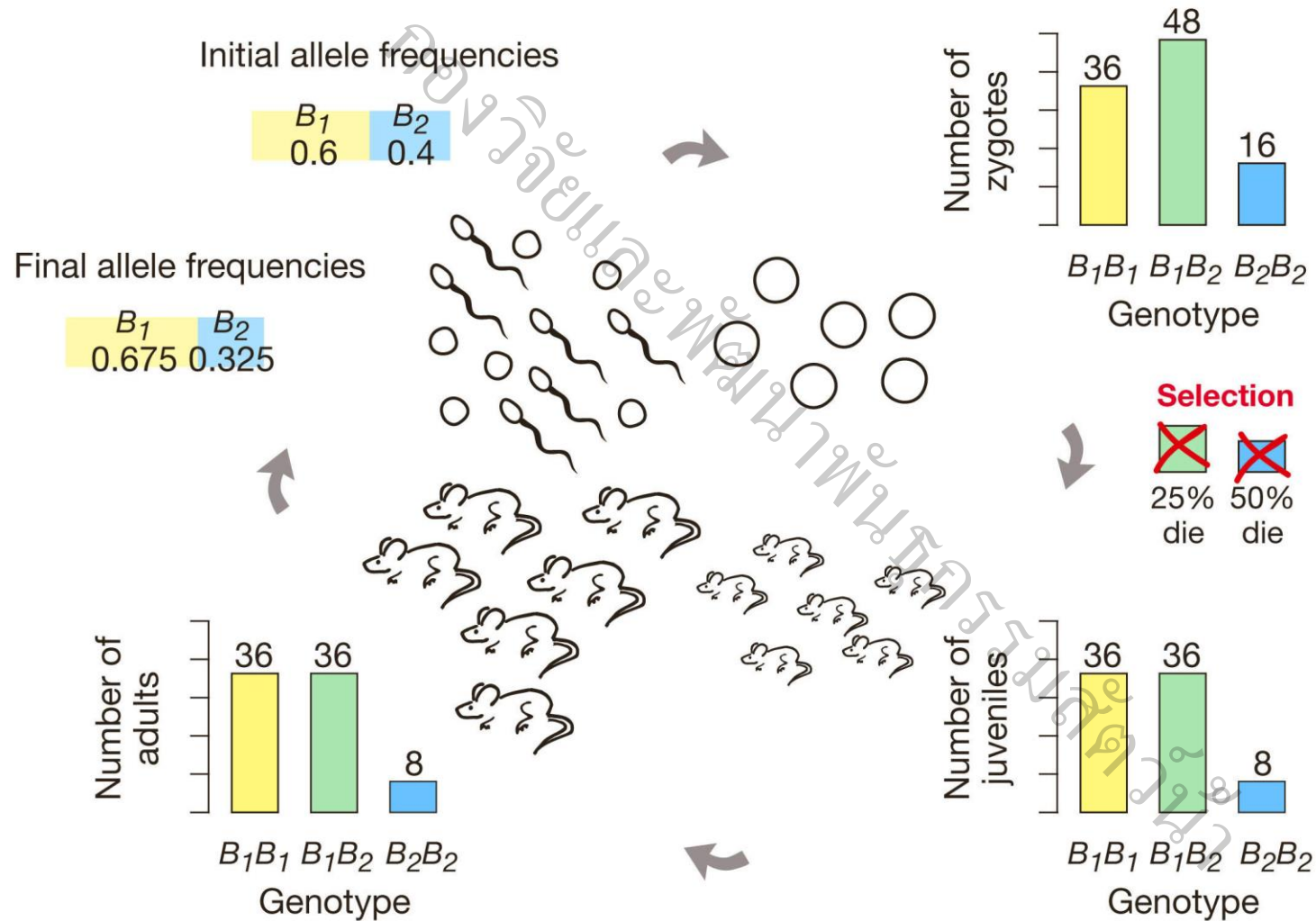
การคัดเลือก (Selection)

- การที่สัตว์บางจีโนไทป์ (genotype) มีโอกาสรอดและถ่ายทอดทางพันธุกรรมได้มากกว่าจีโนไทป์อื่นๆ



Directional Selection

$$w_1 = 1 \quad w_2 = 0.75 \quad w_3 = 0.50$$



การคัดเลือก (Selection)

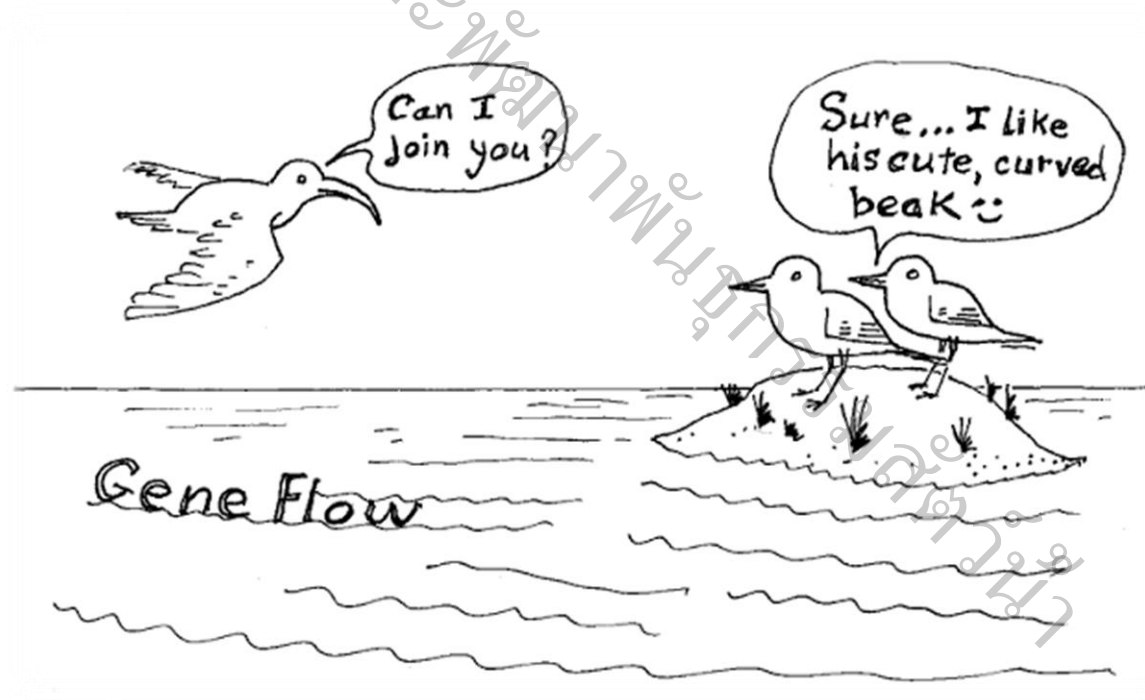
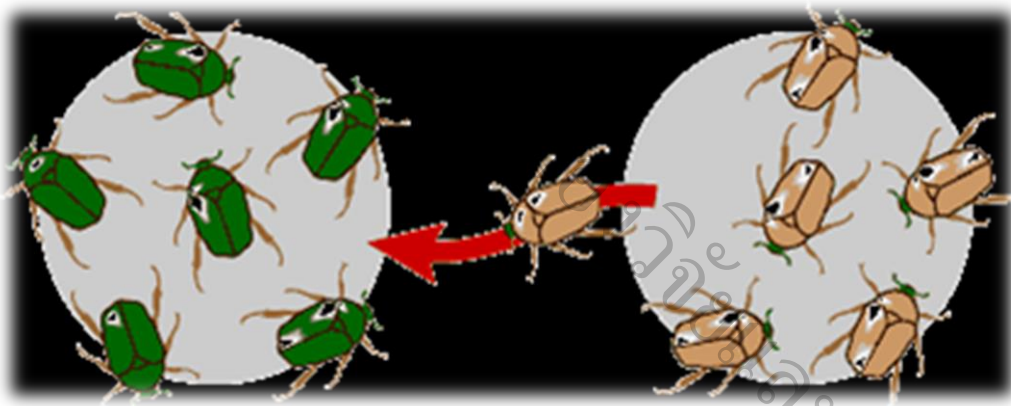
- การคัดเลือกสามารถเกิดได้ในทุกช่วงชีวิต และสามารถเปลี่ยนแปลงลักษณะทางพันธุกรรมของประชากรได้ ทั้งในทิศทางที่รักษาและลดความหลากหลายทางพันธุกรรมของประชากร
- แนวทางการปฏิบัติในโรงเพาะพักก็อาจเพิ่ม หรือลดแรงผลักดันของการคัดเลือกทั้งที่ตั้งใจ (เพื่อการปรับปรุงพันธุ์) และไม่ตั้งใจ (การคัดเลือกทางอ้อม)



การแบ่งประชากร (population division) การอพยพย้ายถิ่น (migration) และการแลกเปลี่ยนยีนระหว่างประชากร (gene flow)

- ในธรรมชาติประชากรมักแบ่งเป็นกลุ่มย่อย หรือ มีประชากรที่มีความแตกต่างทางพันธุกรรมอยู่ปนกัน (population differentiation)
- ความแตกต่างระหว่างประชากรเกิดจากการจำกัดการถ่ายเทยีน (gene flow) ระหว่างประชากร อาจเป็นผลของการขวางกั้นทางภูมิศาสตร์ หรือ ผลของชีววิทยาการสืบพันธุ์
- การอพยพย้ายถิ่น (migration) หมายถึง การถ่ายเทยีนจากกลุ่มประชากรหนึ่งไปสู่อีกกลุ่มหนึ่ง การถ่ายเทยีนระหว่างกลุ่ม จะทำให้ความหลากหลายทางพันธุกรรมของประชากรผู้รับเพิ่มขึ้น (อัลลีลเพิ่มขึ้น หรือ เปลี่ยนความถี่อัลลีล) แต่ทำให้ความแตกต่างระหว่างประชากรลดลง





การกลาย (Mutation)

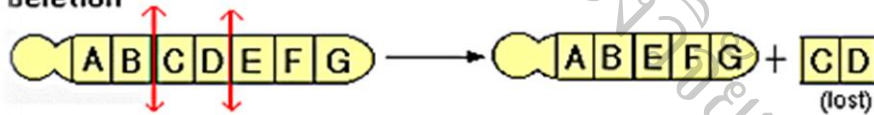
- การกลายในรูปแบบต่างๆ เป็นกลไกการ **สร้าง** ความหลากหลายทางพันธุกรรม
- การกลาย คือ ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลบนสารพันธุกรรมที่ได้ถ่ายทอดสู่รุ่นลูก เป็นกระบวนการที่เกิดโดยสุ่ม
- การกลายอาจจะมีผลดี หรือผลเสีย หรือ ไม่มีผลต่อความอยู่รอดของประชากรก็ได้
- การกลายเกิดได้ทั้งในระดับโมเลกุลของดีเอ็นเอ และระดับโครโมโซม และไม่จำเป็นที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏ (phenotypes)



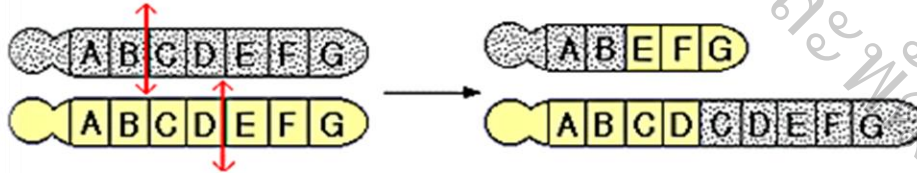
Point mutation



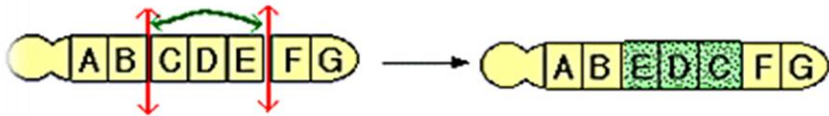
Deletion



Translocation



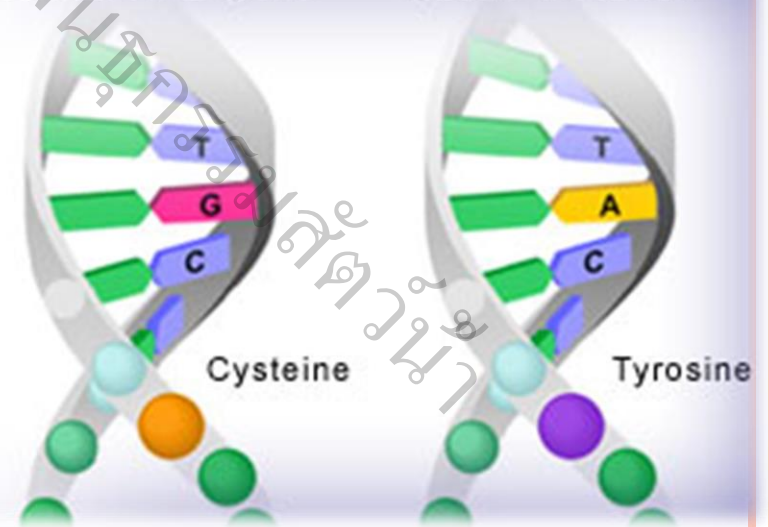
Inversion



Mutations of Chromosomes

Normal HFE Gene

C282Y Mutation



การกลาย (Mutation)

- อัตราการกลาย แตกต่างตามระดับของการกลาย ตำแหน่งของการกลาย และชนิดของสิ่งมีชีวิต
- ความถี่ของการกลายพันธุ์ต่อตำแหน่งต่อรุ่นของสัตว์ชนิดต่างๆ อาจอยู่ในช่วง 10^{-10} - 10^{-4} (สัตว์ต่างชนิดอาจมีอัตราการกลายต่างกันเป็นล้านเท่า)
- ในกรณีที่การกลายก่อให้เกิดผลเสีย เนื่องจากอัลลีลที่เกิดขึ้นใหม่ส่งผลกระทบต่อ **fitness** เช่น ความผิดปกติของเม็ดเลือดแดง **Sickle cell anemia** ซึ่งเกิดจากการกลายระดับโมเลกุลที่ยีน **hemoglobin beta** การสะสมของอัลลีลเหล่านี้ อาจส่งผลให้ประชากรสูญเสียพันธุ์ได้หากประชากรมีขนาดเล็กมาก



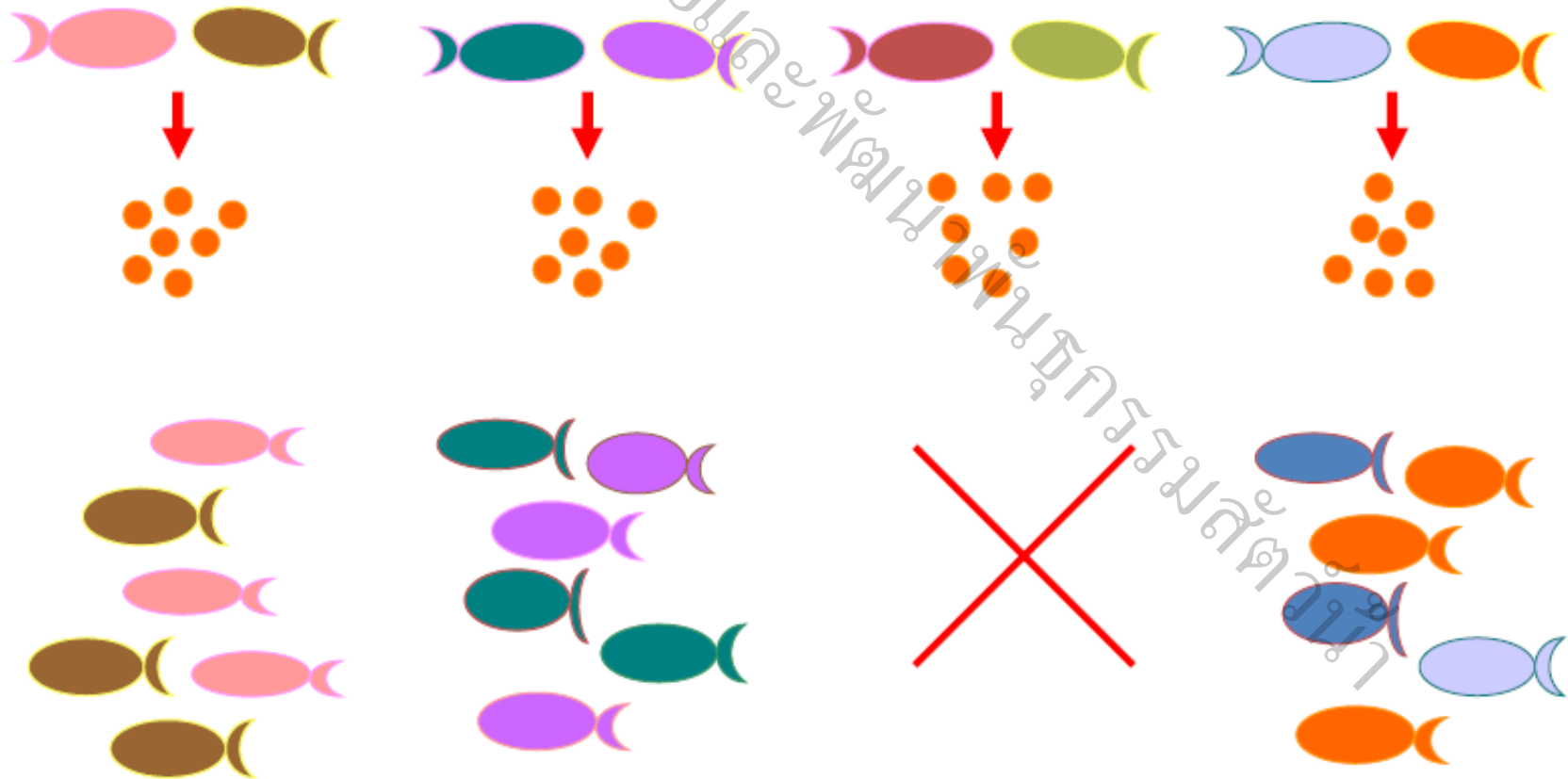
Effective population size (N_e)

- N_e หมายถึง จำนวนสมาชิกบางส่วนในประชากรที่สามารถสืบพันธุ์ได้ และส่งต่ออัลลีลไปยังประชากรรุ่นต่อไป
- $N_e \neq$ จำนวนพ่อแม่พันธุ์ เนื่องจากสมาชิกบางตัวไม่สามารถสืบพันธุ์ได้ หรือผสมพันธุ์แล้วลูกตายหมด หรืออาจให้ลูกน้อยกว่าพ่อแม่คนอื่นๆ
- N_e มีความสัมพันธ์กลับกันกับการผสมเลือดชิด (inbreeding)

จาก
$$\Delta F = \frac{1}{2N_e}$$



- N_e นับเฉพาะพ่อแม่ที่ให้ลูกซึ่งถูกนำไปเป็นพ่อแม่พันธุ์สืบทอดพันธุกรรมต่อไป



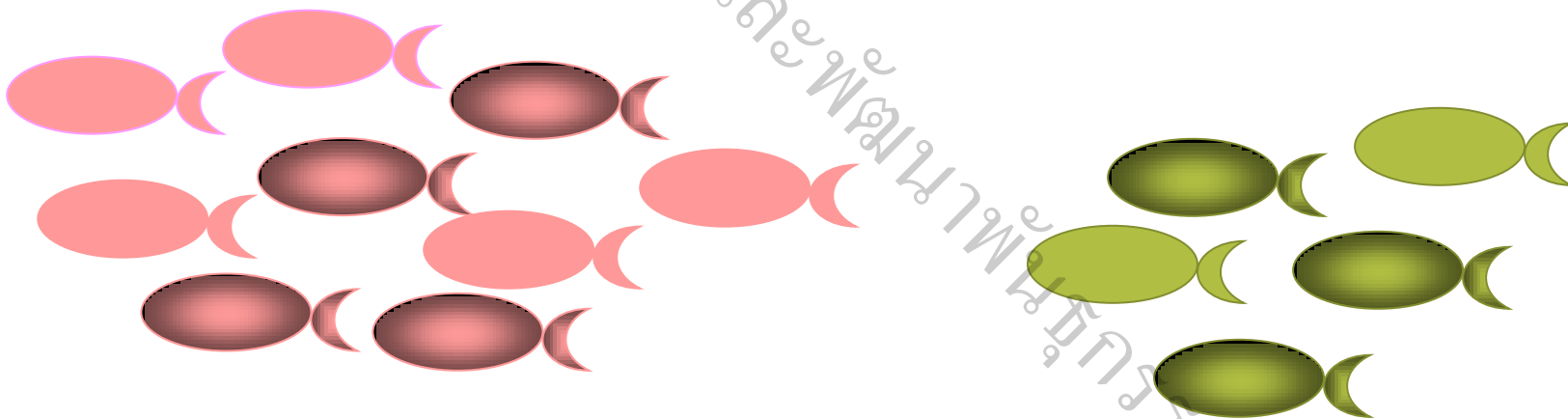
ปัจจัยที่มีผลต่อ Effective population size (N_e)

- ใช้พ่อแม่พันธุ์ในสัดส่วนต่างกันในการเพาะพันธุ์
- ความผันแปรของขนาดครอบครัวปลา (variance in family sizes)
- การใช้พ่อแม่พันธุ์จำนวนไม่เท่ากันในแต่ละชั่วอายุ (generation)



ในกรณี เพศผู้ไม่เท่ากับเพศเมีย คำนวณค่า N_e โดยใช้สูตร

$$N_e = \frac{4(\text{จำนวนพ่อพันธุ์}) \times (\text{จำนวนแม่พันธุ์})}{\text{จำนวนพ่อพันธุ์} + \text{จำนวนแม่พันธุ์}}$$



$$N_e = \frac{4(5)(9)}{5+9} = 12.57$$

$$\Delta F = \frac{1}{2N_e} = \frac{1}{2 \times 12.57}$$



ความผันแปรของขนาดครอบครัวปลา (Variance in family sizes)

- ขนาดครอบครัว หมายถึง จำนวนของรุ่นลูกที่สามารถเจริญพันธุ์ ไปเป็นพ่อแม่พันธุ์ในชั่วอายุต่อไป
- ค่า N_e ที่เป็นฟังก์ชันของขนาดครอบครัวสามารถประมาณจาก

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

โดย N = จำนวนพ่อแม่ และ V_k คือ **variance** ของขนาดครอบครัว

เมื่อ $V_k = 2$ แล้ว N_e มีค่าเท่ากับขนาดประชากรที่แท้จริง



ความผันแปรของขนาดครอบครัวปลา (Variance in family sizes)

- ความผันแปรของขนาดครอบครัวในประชากรปลาจากโรงเพาะฟักเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น การคัดพันธุ์โดยการเลือกปลาบางครอบครัวมาเพาะ หรือการเลี้ยงปลาต่างครอบครัวในบ่อเดียวกัน
- จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาขนาดครอบครัวในปลาเรนโบว์เทรา จากโรงเพาะฟักพบว่า V_k มีค่าเท่ากับ 6 ในปลาทั้งสองเพศ ที่มีการผสมพันธุ์โดยผสมเป็นคู่ๆ (Gall 1987) ถ้าในประชากรปลา 50 ตัว (สัดส่วนเพศ = 1:1)

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



การใช้พ่อแม่พันธุ์จำนวนไม่เท่ากันในแต่ละชั่วอายุ

- สามารถหาค่าเฉลี่ยของ N_e ในประชากรโรงเพาะฟักที่มีการใช้พ่อแม่พันธุ์จำนวนแตกต่างกันในแต่ละชั่วอายุ ได้จากค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิก (Harmonic mean) ของทุกๆ ชั่วอายุ ดังนี้

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

โดย t คือ จำนวนชั่วอายุ



การใช้พ่อแม่พันธุ์จำนวนไม่เท่ากันในแต่ละชั่วอายุ

- ตัวอย่าง ในการเพาะพันธุ์ปลา 4 ชั่วอายุมีการใช้พ่อแม่พันธุ์ในแต่ละชั่วอายุดังนี้ 10, 10, 50, และ 10 ตัว ค่าเฉลี่ย N_e ต่อชั่วอายุในประชากรโรงเพาะฟักนี้ เท่ากับ

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

$$N_e(\text{average}) = 12.5 \approx 13$$

ดังนั้นอัตราการผสมเลือดชิดในประชากรโรงเพาะฟักในเวลา 4 ชั่วอายุ มีค่าเท่ากับ อัตราการผสมเลือดชิดที่เกิดจากการใช้พ่อแม่พันธุ์จำนวน 13 ตัวในทุกชั่วอายุ



สัตว์น้ำที่ผสมพันธุ์แบบกลุ่ม (mass spawning) N_e มักจะต่ำ เพราะ

- แม่ปลาไม่ได้วางไข่ทุกตัว / พ่อปลาไม่ได้เข้าผสมพันธุ์ทุกตัว
- สัดส่วนเพศไม่เท่ากับ 1:1
- ลูกแต่ละครอกอัตราการรอดไม่เท่ากัน



e.g. Nile tilapia: a mass spawning using 12 males and 25 females resulted in $N_e = 15.6-16$

(Fessehaye *et al.*, 2006)



การผสมเทียมแบบไม่แยกคู่ผสม

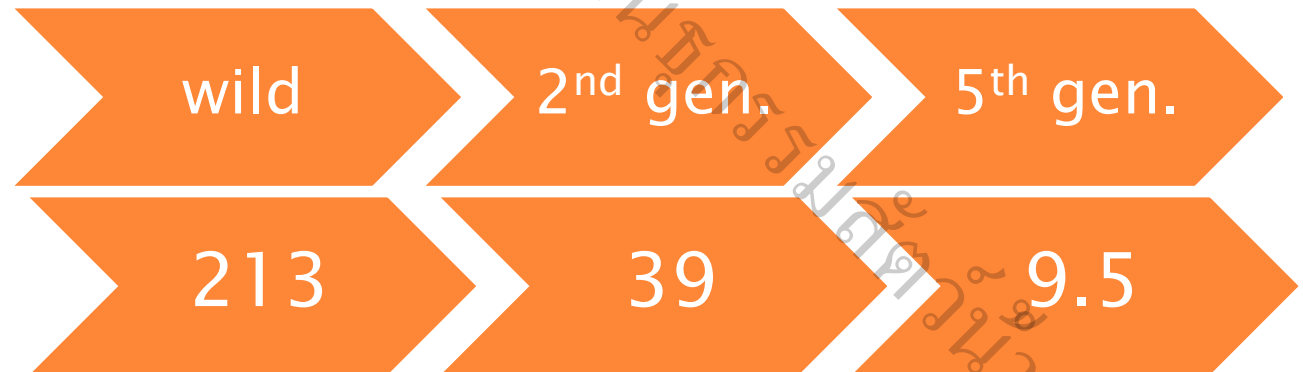
- การผสมเทียมโดยรีดไข่จากแม่หลายตัวรวมกันผสมกับน้ำเชื้อรวม ทำให้ N_e ลดลง
- ได้ลูกจากแต่ละครอบครัวในสัดส่วนไม่เท่ากัน (variance of family size)

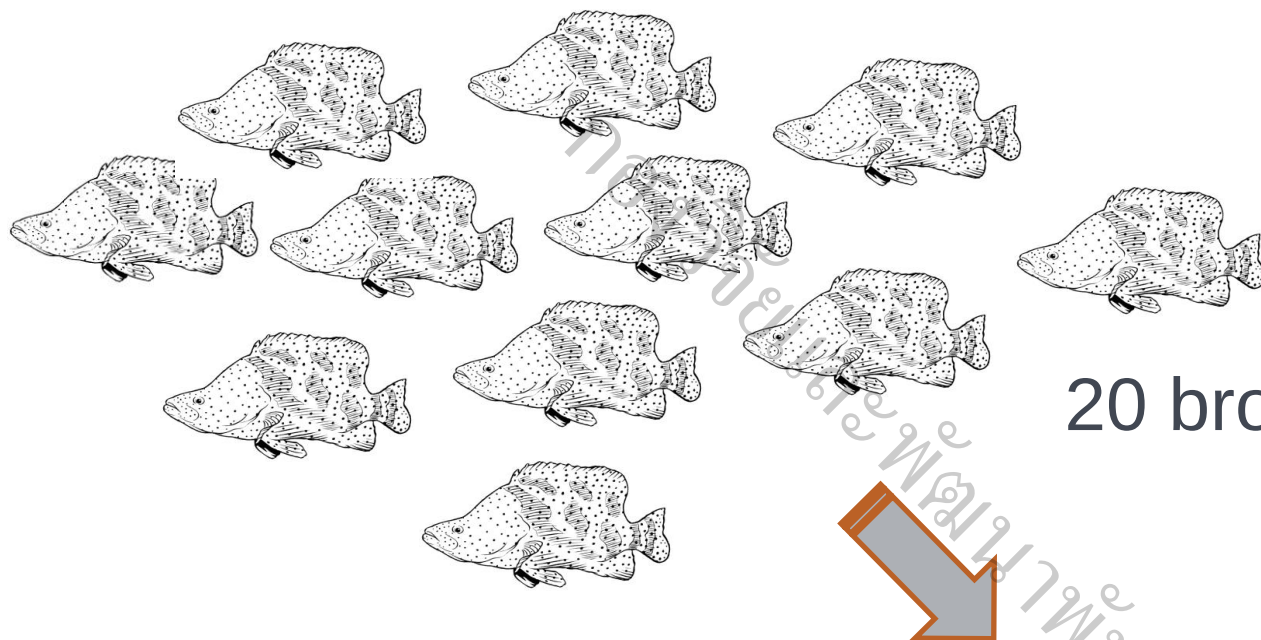


สัตว์น้ำที่การผสมพันธุ์ยังไม่ประสบความสำเร็จนัก มักจะมี N_e ต่ำ



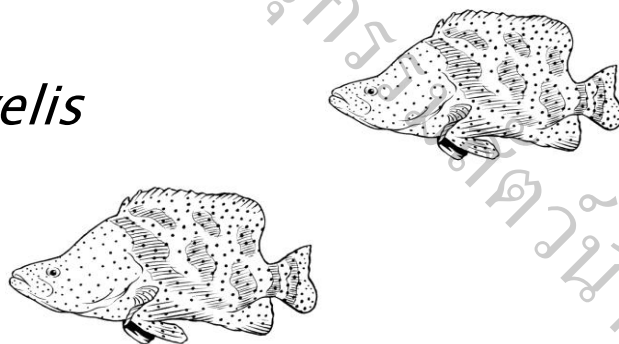
Effective population size





20 brooders

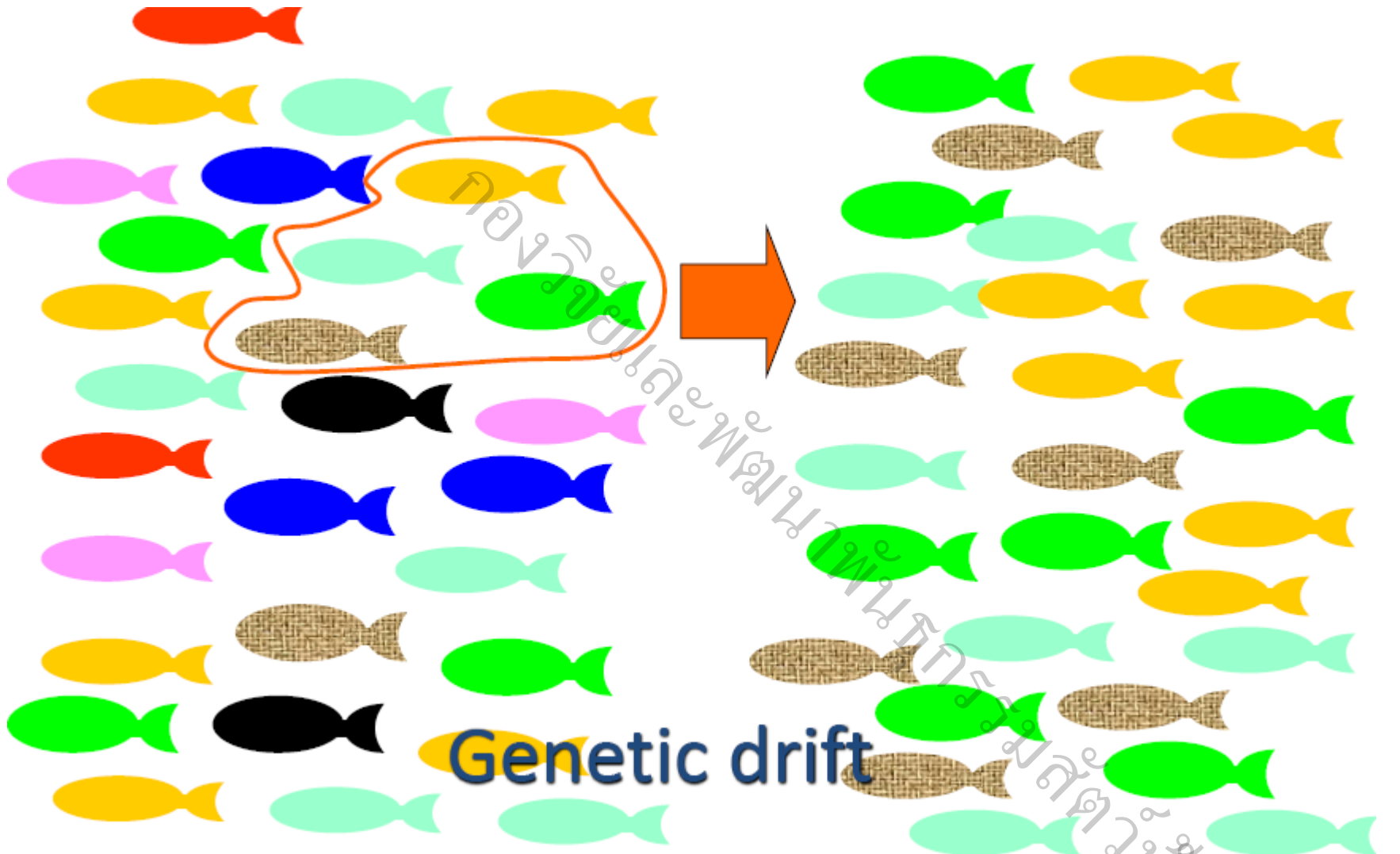
ปลากระรังหน้างอน *Cromileptes altivelis*



สาเหตุของการสูญเสียความหลากหลายทางพันธุกรรมในโรงเพาะพัก

- การขาดช่วงทางพันธุกรรม Genetic drift
- การผสมเลือดชิด Inbreeding
- การคัดเลือก Selection





ผลของ Genetic drift

- อัลลีลสูญหาย ประชากรลดความสามารถในการปรับตัว คัดเลือกไม่ได้ผล
- เกิดผลต่อเนื่องที่นำไปสู่การผสมเลือดชิด

ประชากรขนาดเล็กจึงเสี่ยงต่อการเกิดการผสมเลือดชิด



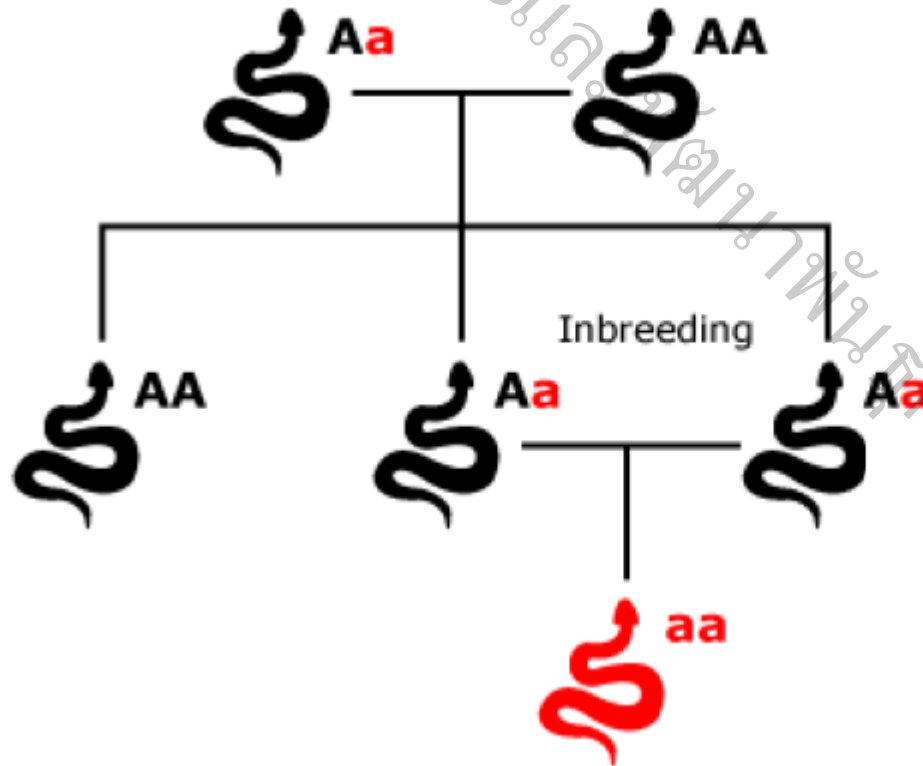
สาเหตุของการผสมเลือดชิด (inbreeding)

- การผสมระหว่างเครือญาติ หมายถึง สมาชิกที่มีความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมมากกว่าค่าเฉลี่ยของประชากร
- การใช้พ่อแม่พันธุ์จำนวนน้อย (Effective population size, N_e)



ผลของ inbreeding ทำให้ gene ด้อยแสดงออก และเพิ่ม homozygote

A = Dominant allele **a** = Recessive deleterious allele



Inbreeding อาจเกิดขึ้นโดยไม่ตั้งใจ ในประชากรขนาดเล็ก

○ สัมประสิทธิ์การผสมเลือดชิด $= \frac{1}{2N_e}$

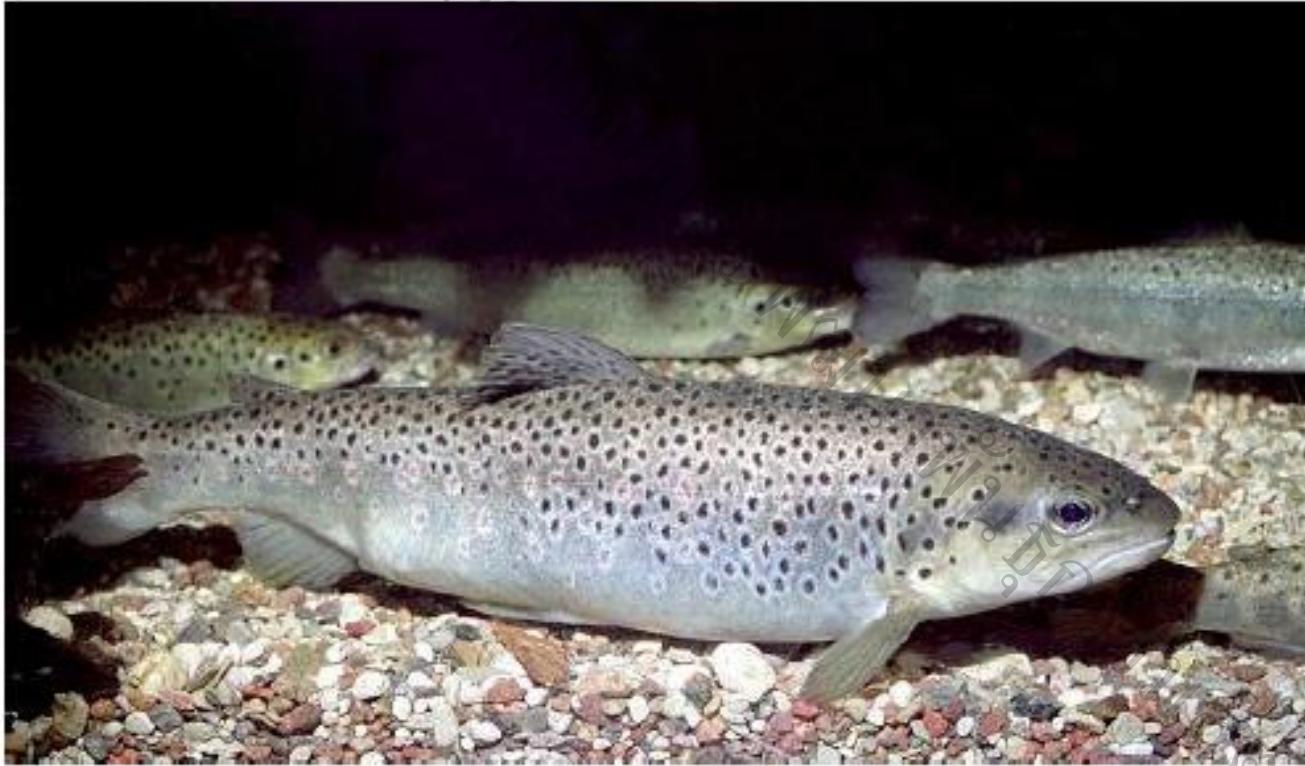
N_e = effective population size

(จำนวนพ่อแม่พันธุ์ที่ส่งพันธุกรรมไปสู่รุ่นต่อไป)

N_e จะเท่ากับจำนวนพ่อ + แม่พันธุ์ กรณีเดียว คือ เมื่อจำนวนพ่อเท่ากับจำนวนแม่, นำลูกจากทุกครอบครัวเท่าๆ กัน ไปเป็นพ่อแม่พันธุ์ และมีการผสมพันธุ์ที่ละคู่



การเสื่อมถอยของลักษณะ (inbreeding depression)



Salvelinus fontinalis

ผสมพันธุ์ปลาครอกเดียวกัน รุ่นลูกมีน้ำหนักตัวลดลง 27.7%

(Cooper, 1961)

Inbreeding depression

- ปลาหม้ายลาย *Brachydanio rerio*: การผสมพันธุ์ในครอกเดียวกัน หรือระหว่างลูกร่วมพ่อต่างแม่ (หรือกลับกัน) ทำให้
 - ความสมบูรณ์ของไข่ลดลง
 - สัดส่วนลูกปลาพิการเพิ่มขึ้น
 - อัตรารอดของลูกปลาลดลง

(Mrakovcic and Harley, 1979)

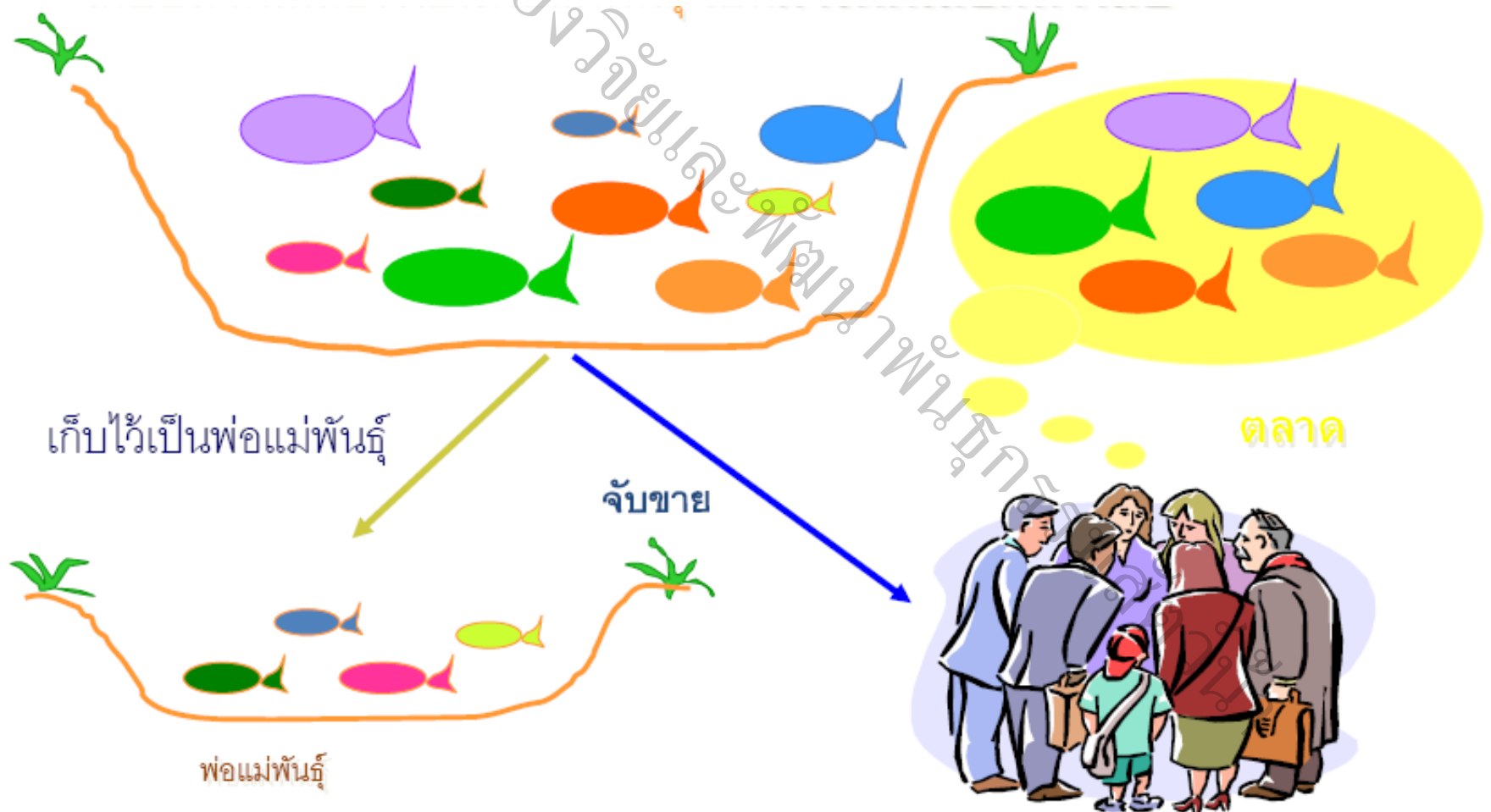


Un-intentional selection: ความถนัดในการใช้พ่อแม่พันธุ์ ขนาดเล็ก เป็นการคัดเลือกทางลบ

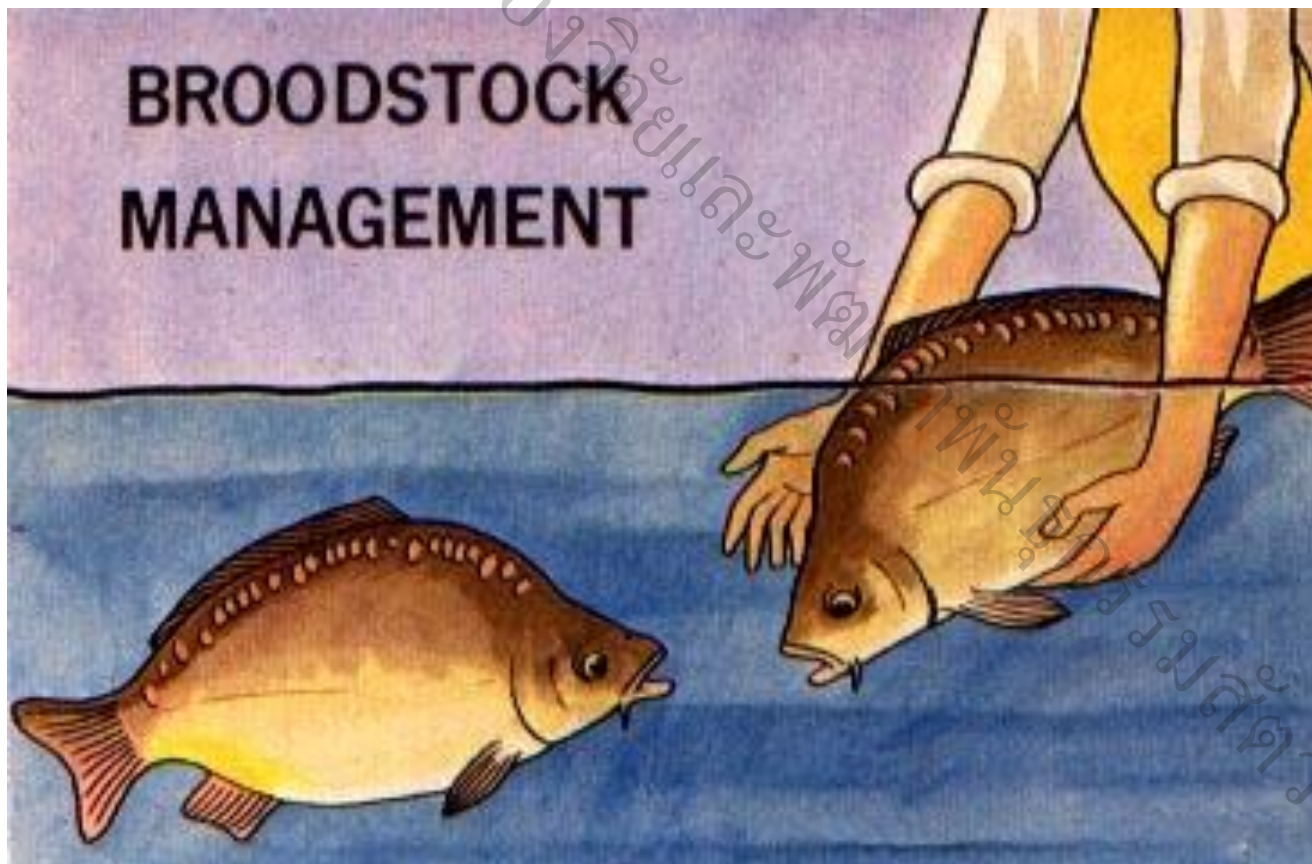


Un-intentional selection: การคัดปลาที่ได้ขนาดตลาด

ขายไปก่อน เก็บปลาที่เหลือไว้เป็นพ่อแม่พันธุ์ เป็นการคัดเลือกทางลบ



วิธีการจัดการพันธุ์กรรมพ่อแม่พันธุ์ในโรงเพาะฟัก



1. การป้องกันการผสมเลือดชิด (inbreeding)

- ใช้พ่อแม่พันธุ์ (N_e) จำนวนมาก
- หลีกเลี่ยงการผสมระหว่างเครือญาติ



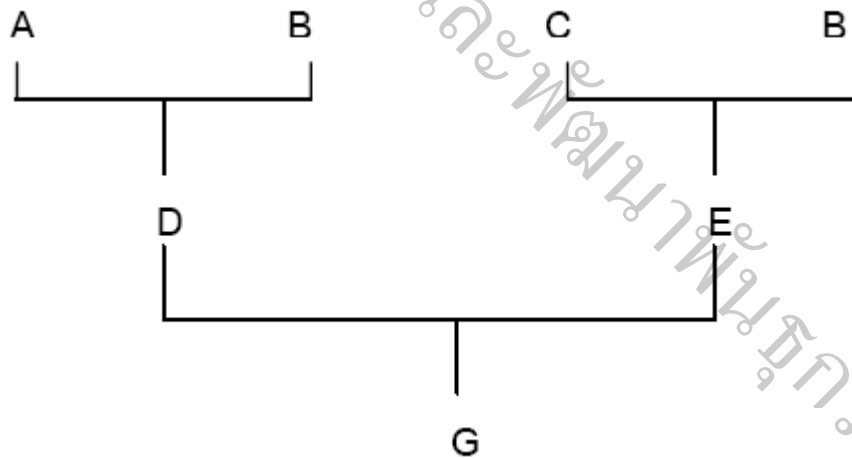
กรณีติดเครื่องหมายพ่อแม่พันธุ์ และมีข้อมูลพันธุ์ประวัติ

- สามารถวางแผนการผสมพันธุ์ได้โดยการคำนวณค่า สัมประสิทธิ์การผสมเลือดชิด โดยคำนวณได้ 2 วิธี
 - คำนวณจากค่า **covariance**
 - คำนวณจากแผนภูมิแสดงการถ่ายทอดพันธุกรรม (path diagram)จากนั้นเลือกคู่ผสมที่จะทำให้เกิดการผสมเลือดชิดน้อยที่สุด
- การจัดการในลักษณะนี้ เหมาะที่จะใช้กับปลาที่มีอายุยืนยาว และอาจเป็นปลาขนาดใหญ่ที่ไม่สามารถเลี้ยงพ่อแม่จำนวนมากๆ ได้



คำนวณจากค่า *covariance*

- สมมติว่าในฟาร์มฟาร์มหนึ่ง มีพ่อแม่ปลาอยู่ 6 ตัว (A, B, C, D, E และ G) โดยปลาแต่ละตัวมีความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมตามพันธุ์ประวัติดังแสดงในภาพ



สูตรที่ใช้คำนวณ คือ

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



คำนวณจากค่า *covariance*

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

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



คำนวณจาก *path diagram* (แผนภูมิแสดงการถ่ายทอดพันธุกรรม)

- สัมประสิทธิ์การผสมเลือดชิด

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

โดย m = จำนวนชั่วอายุจากแม่ไปยังบรรพบุรุษร่วม

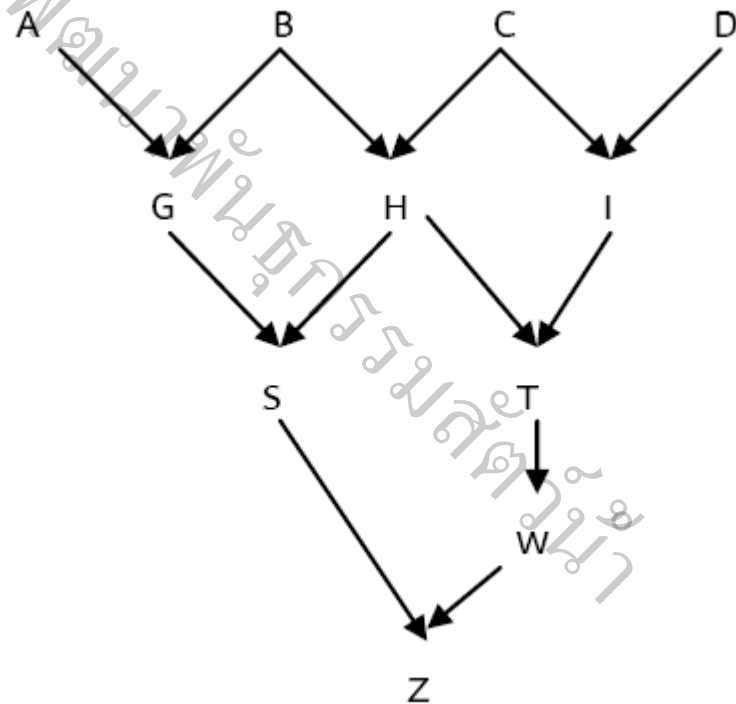
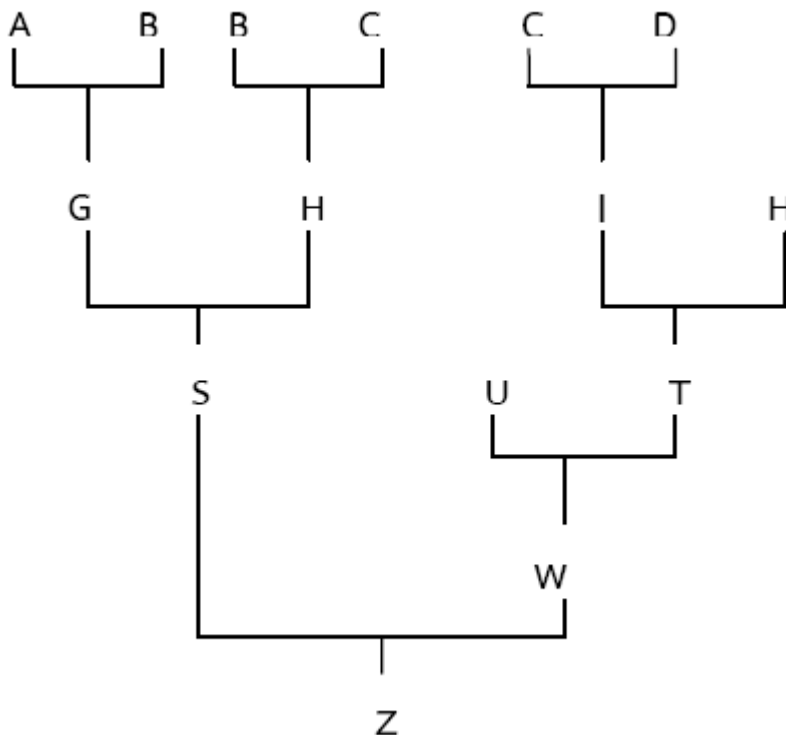
n = จำนวนชั่วอายุจากพ่อไปยังบรรพบุรุษร่วม

F_A = สัมประสิทธิ์การผสมเลือดชิดของบรรพบุรุษร่วม



คำนวณจาก *path diagram*

- จากพันธุ์ประวัติสามารถแปลงเป็น **path diagram** ได้ โดยยึดหลักว่า ลูกศรจะเริ่มจากพ่อหรือแม่ ไปยังลูก ดังนั้นลูก 1 ตัวจะมีลูกศรที่พุ่งมาหา 2 อัน คือจากพ่อและจากแม่ ดังภาพ

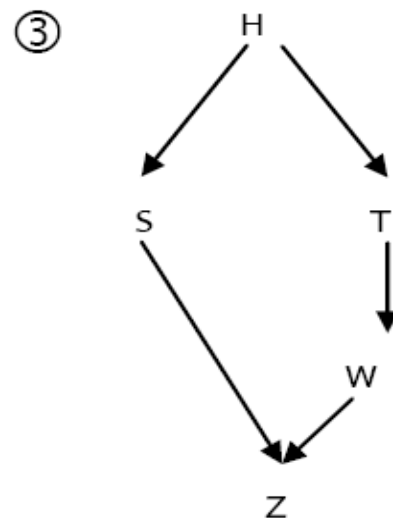
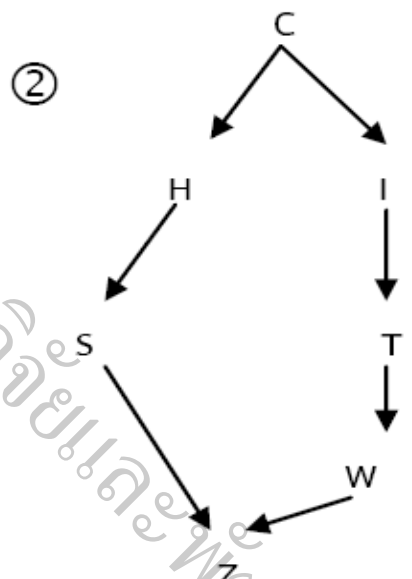
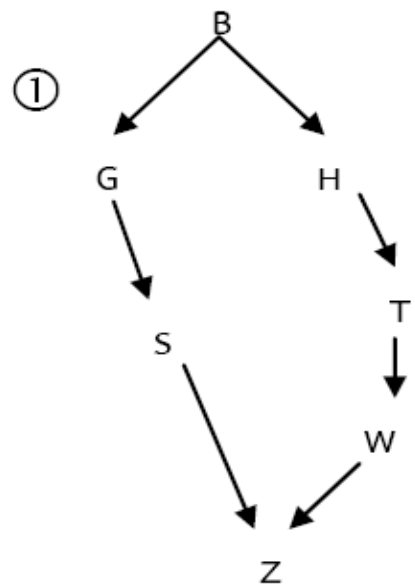


คำนวณจาก *path diagram*

- การคำนวณสัมประสิทธิ์การผสมเลือดชิดของ Z สามารถทำได้ง่ายๆ ตามขั้นตอนต่อไปนี้
- 1. หาบรรพบุรุษร่วม ซึ่งก็คือสัตว์ตัวที่มีลูกผสมจากตัว 2 อัน ในที่นี้คือ B , C และ H และทุกตัวไม่มีประวัติการผสมเลือดชิด ดังนั้น 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

- บริหาร N_e ให้มีค่าสูงสุดเพียงอย่างเดียว
- ระดับ N_e ที่ยอมรับได้
 - Tave (1993) แนะนำว่า ประชากรสำหรับการเพาะเลี้ยงควรมีค่า N_e ระหว่าง 45–50
 - Gjerd (1993) และ Jørstad and Naevdal (1996) แนะนำว่าในการจัดการประชากรปลากลุ่มซัลโมนิด์ส์ ควรรักษาระดับ N_e ไว้ไม่ต่ำกว่า 100 ต่อชั่วอายุ
 - Pante *et al.* (2001) แนะนำว่าในการจัดการพันธุ์กรรมปลาเรนโบว์เทราท์ (*Oncorhynchus mykiss*) ควรรักษาค่า N_e ในระดับปานกลาง (25–94) พร้อมไปกับการจับคู่ผสมพันธุ์อย่างเข้มงวด เพื่อไม่ให้เกิดการผสมเลือดชิด



จำนวน	ระดับการผสมเลือดชิดที่ยอมรับได้														
ชั่วอายุ	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

(Tave, 1999)

2. การป้องกันการขาดช่วงทางพันธุกรรม (Genetic drift)

- การขาดช่วงทางพันธุกรรม เป็นสาเหตุของการสูญหายของอัลลีลในประชากร จึงต้องป้องกันให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด ซึ่งทำได้โดยการรักษาระดับ N_e ให้สูง



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

(Tave, 1999)

3. การป้องกันการคัดเลือกทางลบ

- วิธีการปฏิบัติในโรงเพาะฟัก อาจมีผลให้เกิดการคัดเลือกโดยไม่ตั้งใจ ซึ่งมักทำให้เกิดผลเสียต่อลักษณะสำคัญๆ เช่น ลดการเจริญเติบโต เจริญพันธุ์เร็วขึ้น
- ต้องสังเกต และติดตามผลของการจัดการในโรงเพาะฟัก เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการคัดเลือกทางลบ
- เมื่อทำการคัดเลือกเพื่อปรับปรุงพันธุ์ นอกจากลักษณะที่เป็นเป้าหมายแล้ว จะต้องติดตามความเปลี่ยนแปลงของลักษณะอื่นๆ ที่สำคัญด้วย เพราะอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ไม่ต้องการได้



Conclusion...

Large N_e

High no.
brooders

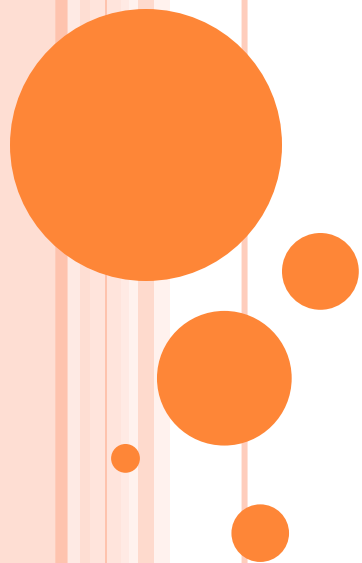
Sex ratio 1:1
Single pair
mating

Equal family
contribution

Avoid
negative
selection
/ perform
artificial
selection

Minimize
inbreeding

ประชากรเริ่มต้นและการวางแผน ผสมพันธุ์เพื่อการปรับปรุงพันธุ์

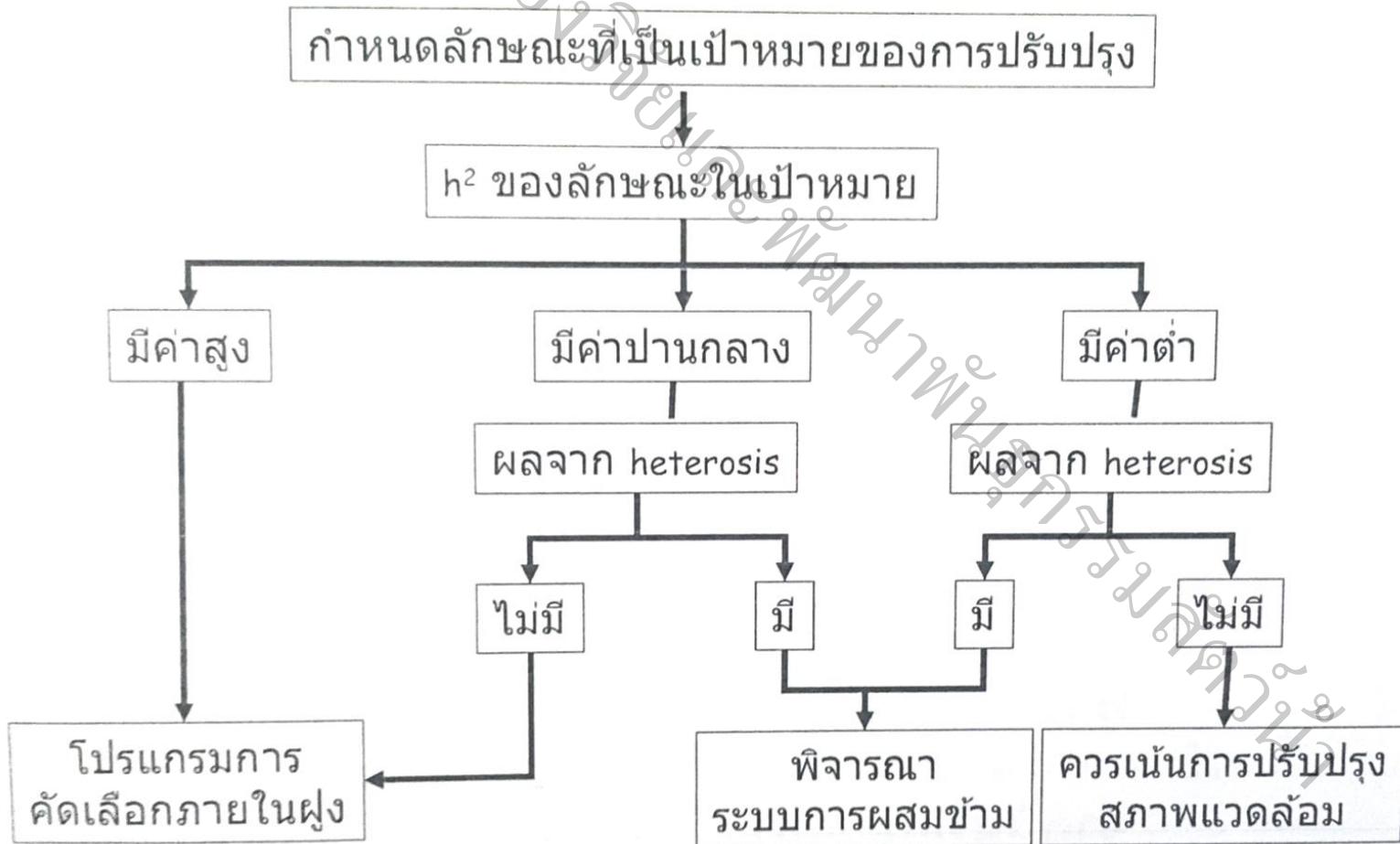


ประชากรพื้นฐาน (Base population)

- ประชากรเริ่มต้นที่ใช้ในการคัดเลือก (selection) ต้องมีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ มีความแปรปรวนทางพันธุกรรม (genetic variability) ของลักษณะที่ต้องการคัดเลือ่มากพอที่จะทำให้การคัดเลือกประสบผลสำเร็จ กล่าวคือ มีลักษณะที่แตกต่างกันหลายลักษณะหรือมีหลายจีโนไทป์ (genotype) และลักษณะที่พบว่าแตกต่างกันนั้นจะต้องเป็นความแตกต่างอันเนื่องมาจากพันธุกรรมไม่ใช่สภาพแวดล้อม



การใช้อัตราพันธุกรรมพิจารณาแนวทางการปรับปรุงพันธุ์



GIFT strain of Nile tilapia

Base Population

8 strains of Nile tilapia (4 from wild African strains
– Egypt, Ghana, Senagal and Kenya)
and 4 commercial strains from Asia
(Israel, Taiwan, Singapore and Chitralada from Thailand)



8x8 diallel crosses

= 64 crosses reared in 11 environments

25 best families were used as a base population

*family selection + within family
selection for 5 generations*

selection response for body weight = 12-17% /generation

การปรับปรุงพันธุ์กุ้งขาวแปซิฟิก

ประชากรเริ่มต้น

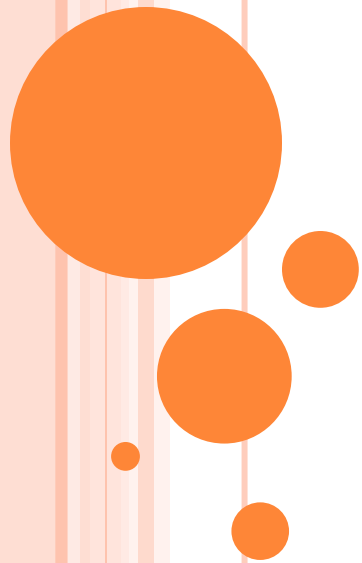
ในปี 1989 the US Marine Shrimp Farming Program ได้เริ่มสร้างประชากรเริ่มต้น จากประชากรกุ้งขาว SPF (specific pathogen free) จากแหล่งต่างๆ คือ

- Sinaloa, Mexico ในปี 1989
- Ecuador ในปี 1992
- Oaxaca, Mexico ในปี 1995
- Chiapas, Mexico ในปี 1996
- Esmeraldes, Ecuador ในปี 1996

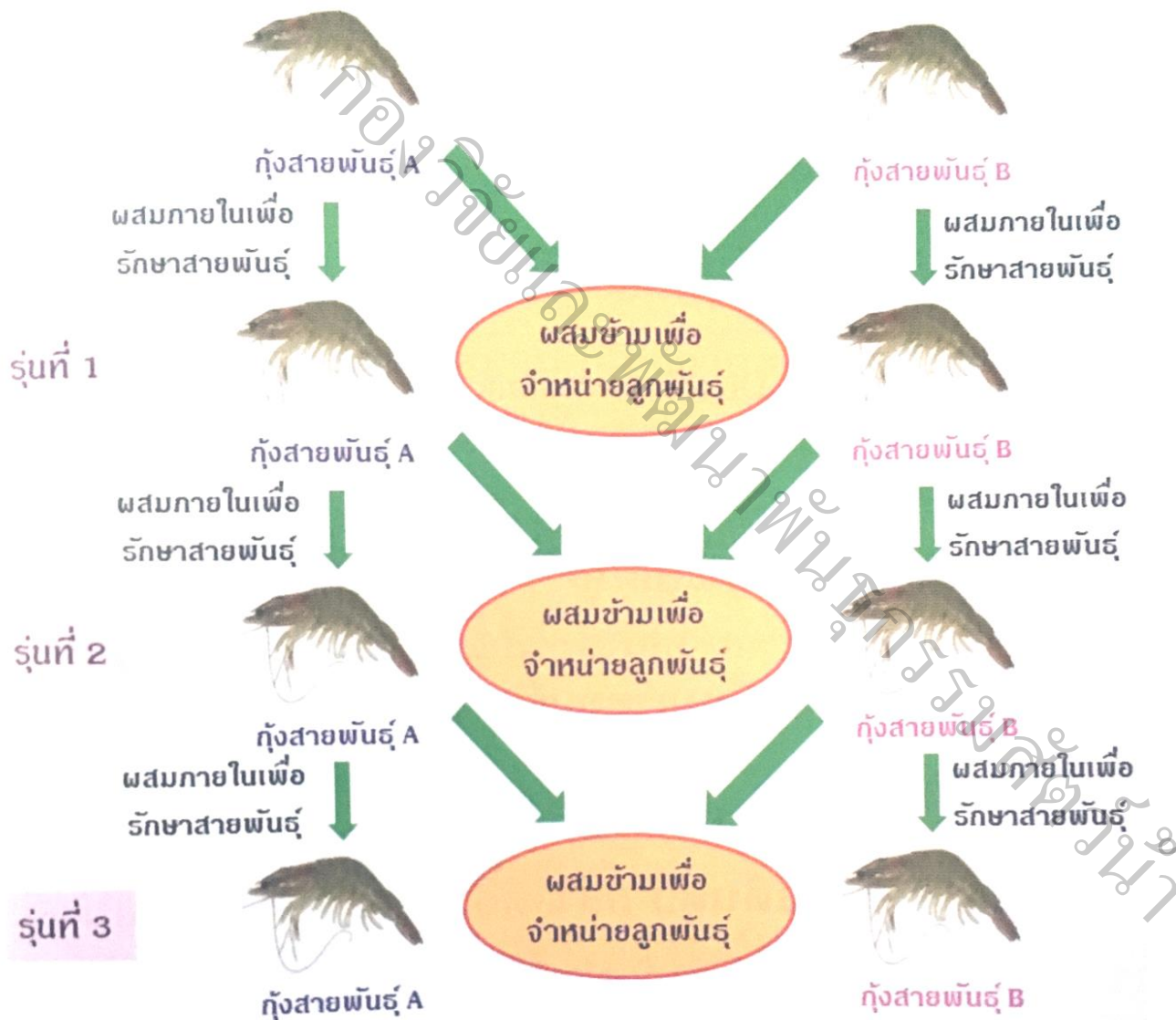
Growth line: สร้างครอบครัวทั้งหมด 80 ครอบครัว ในช่วงอายุแรก

คัดเลือกครอบครัวที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด 15 ครอบครัว (19%) และนำกุ้งที่โตที่สุดจากแต่ละครอบครัวไปเพาะ สร้างประชากรควบคุมโดยการผสมครอบครัวมา 15 ครอบครัว และผสมพ่อแม่พันธุ์มาเพาะ

ประชากรเริ่มต้นและการวางแผน ผสมพันธุ์เพื่อการดำรงรักษาพันธุ์



แนวทางการดำรงรักษาสายพันธุ์กุ้ง



ประชากรเริ่มต้น

คัดเลือก

พ่อแม่รุ่น 1 ที่คัดเลือกไว้

เพาะพันธุ์

ลูกรุ่นที่ 1

คัดเลือก

พ่อแม่รุ่น 2 ที่คัดเลือกไว้

เพาะพันธุ์

ลูกรุ่นที่ 2

ผสมข้าม = F_1 hybrid

ผสมข้าม = F_1 hybrid

ประชากรเริ่มต้น

คัดเลือก

พ่อแม่รุ่น 1 ที่คัดเลือกไว้

เพาะพันธุ์

ลูกรุ่นที่ 1

คัดเลือก

พ่อแม่รุ่น 2 ที่คัดเลือกไว้

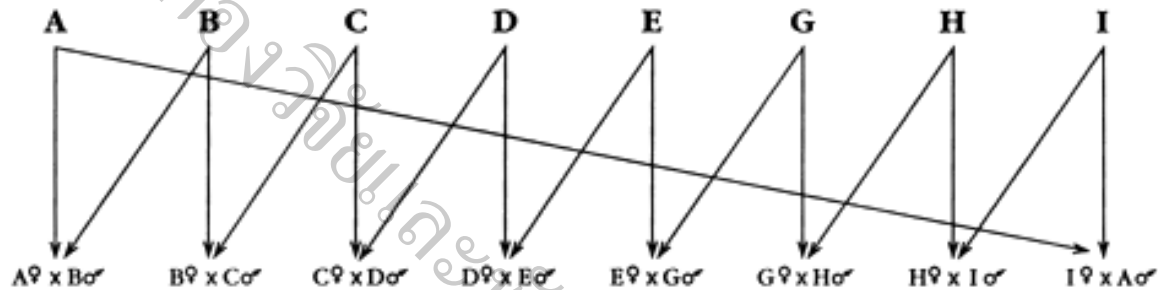
เพาะพันธุ์

ลูกรุ่นที่ 2

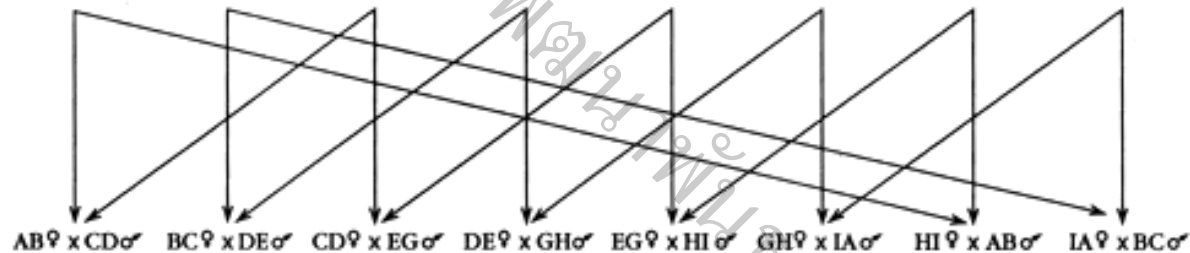
Rotational mating

INDIVIDUAL SELECTION WITH 8 COHORTS AND ROTATIONAL MATING

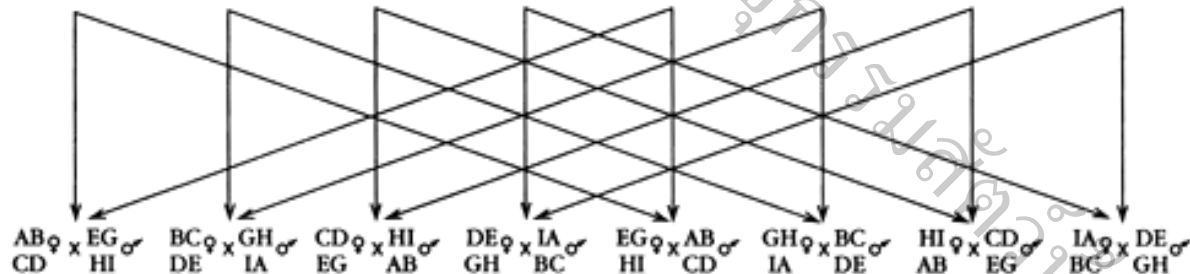
SELECTION;
CHOOSE F_1 -SELECT
BROOD FISH FROM
EACH COHORT;
MATE TO PRODUCE
NEW COHORTS



SELECTION;
CHOOSE F_2 -SELECT
BROOD FISH FROM
EACH COHORT;
MATE TO PRODUCE
NEW COHORTS



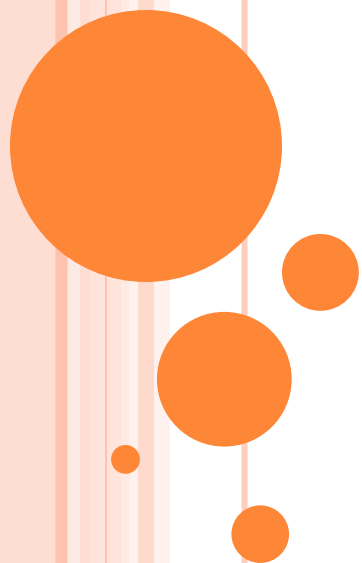
SELECTION;
CHOOSE F_3 -SELECT
BROOD FISH FROM
EACH COHORT;
MATE TO PRODUCE
NEW COHORTS



SELECTION;
CHOOSE F_4 -SELECT
BROOD FISH FROM
EACH COHORT;
MATE TO PRODUCE
NEW COHORTS



หลักการปรับปรุงพันธุ์สัตว์น้ำ



การปรับปรุงพันธุ์สัตว์ Animal Breeding

พันธุศาสตร์เบื้องต้น

พันธุศาสตร์ประชากร

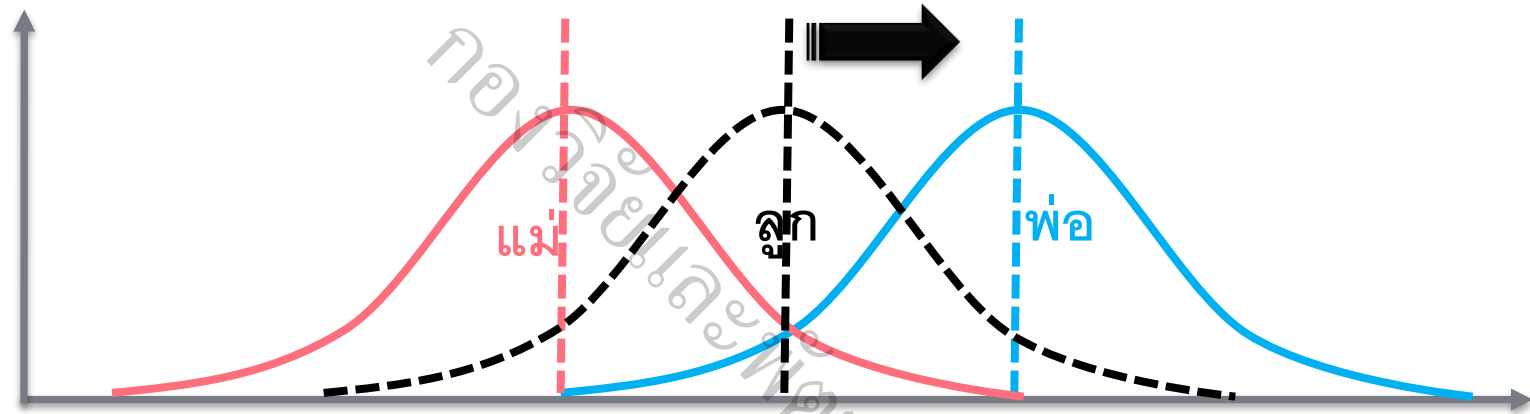
Simple (Mendelian) Genetics &
Population Genetics

พันธุศาสตร์ปริมาณ

Quantitative Genetics

พันธุศาสตร์โมเลกุล
Molecular Genetics





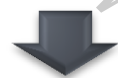
การปรับปรุงพันธุ์สัตว์

การจัดการทางพันธุกรรม (การคัดเลือก + จับคู่ผสมพันธุ์)
เพื่อให้สัตว์รุ่นลูก (โดยเฉลี่ย) มีลักษณะที่พึงประสงค์ดีกว่า
สัตว์รุ่นพ่อแม่ (โดยเฉลี่ย)



วิธีการปรับปรุงพันธุ์สัตว์

การกำหนดวัตถุประสงค์
& แผนการปรับปรุงพันธุ์



การคัดเลือก

การจับคู่
ผสมพันธุ์



การประเมิน
พันธุกรรม



การกำหนดวัตถุประสงค์และแผนการ ปรับปรุงพันธุ์สัตว์

- ลักษณะที่ผู้ผลิตต้องการปรับปรุงให้ดีขึ้นในรุ่นถัดมาคือ...?
- ระดับของลักษณะที่ต้องการเป็นเท่าไร?
- ชนิดสัตว์ ประชากรสัตว์พื้นฐาน และการจัดการเป็นอย่างไร?
- แผนการคัดเลือกสัตว์พ่อพันธุ์และแม่พันธุ์ (คัดเลือกอย่างไร
คัดเลือกเท่าไร และแหล่งเป้าหมายสัตว์อยู่ที่ไหน)?
- แผนการผสมพันธุ์ ระหว่างสัตว์ที่ผ่านการคัดเลือกแล้ว?
- แผนการประเมินพันธุ์กรรม?
- ความพร้อม ข้อจำกัด และความเป็นไปได้ในการดำเนินงาน?



การกำหนดวัตถุประสงค์และแผนการ ปรับปรุงพันธุ์สัตว์

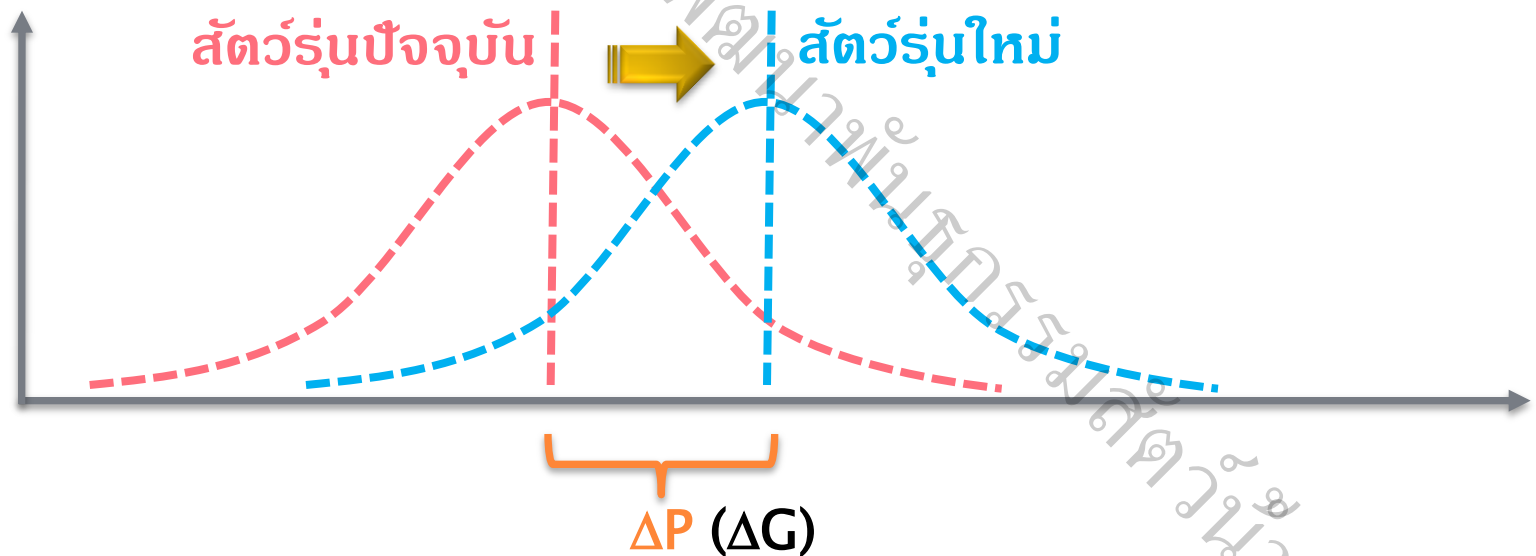
○ ลักษณะที่ผู้ผลิตต้องการปรับปรุงให้ดีขึ้นในรุ่นถัดมาคือ?

- 1) ลักษณะอะไรบ้าง ที่ลักษณะ ?
- 2) ลักษณะนั้นสำคัญแค่ไหน ?
- 3) ลักษณะนั้นวัดหรือประเมินค่าได้หรือไม่ ?
- 4) ลักษณะนั้นมีอัตราพันธุกรรมมาก/น้อยเพียงไร ?
- 5) ลักษณะนั้นมีความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมกับลักษณะอื่น ๆ
มากหรือน้อยเพียงไร ?



การกำหนดวัตถุประสงค์และแผนการปรับปรุงพันธุ์สัตว์

- ระดับของลักษณะที่ต้องการเป็นเท่าไร?



การกำหนดวัตถุประสงค์และแผนการ ปรับปรุงพันธุ์สัตว์

- ชนิดสัตว์ ประชากรสัตว์พื้นฐาน และการจัดการเป็นอย่างไร?

บ่อดิน

ชายฝั่งตะวันออก

แม่น้ำ

กระชัง

ชายฝั่งตะวันตก

แหล่งน้ำ

บ่อซีเมนต์

ทะเลน้ำลึก

ลักษณะที่ปรากฏ = พันธุกรรม + สิ่งแวดล้อม



การกำหนดวัตถุประสงค์และแผนการปรับปรุงพันธุ์สัตว์

- แผนการคัดเลือกสัตว์พ่อพันธุ์และแม่พันธุ์ (คัดเลือกอย่างไร คัดเลือกเท่าไร และแหล่งเป้าหมายสัตว์อยู่ที่ไหน)?

คัดเลือกอย่างไร ? (แหล่งของข้อมูลที่ใช้พิจารณา)

- 1) ข้อมูลตัวสัตว์เอง (Mass selection)
- 2) ข้อมูลบรรพบุรุษหรือพันธุ์ประวัติ (Pedigree Selection)
- 3) ข้อมูลเครือญาติ (Relatives Selection)
- 4) ข้อมูลของลูก (Progeny Selection)



การกำหนดวัตถุประสงค์และแผนการปรับปรุงพันธุ์สัตว์

- แผนการคัดเลือกสัตว์พ่อพันธุ์และแม่พันธุ์ (คัดเลือกอย่างไร คัดเลือกเท่าไร และแหล่งเป้าหมายสัตว์อยู่ที่ไหน)?

คัดเลือกอย่างไร ? (ลักษณะของข้อมูลที่ใช้ในการพิจารณา)

- 1) การสังเกต+ประสบการณ์ (Observation)
- 2) ข้อมูลลักษณะที่ปรากฏ (Phenotypic value; Phenotypic average)
- 3) ข้อมูลความสามารถทางพันธุกรรม (Estimated Breeding Value)
- 4) ข้อมูลเครื่องหมายทางพันธุกรรม (Marker Information)
- 5) ข้อมูลพันธุกรรมระดับจีโนม (Genomic Information)

ความแม่นยำ
ต่ำ



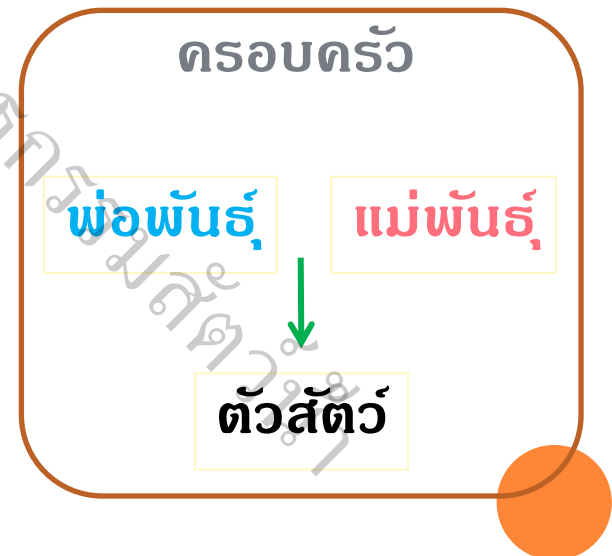
ความแม่นยำ
สูง

การกำหนดวัตถุประสงค์และแผนการปรับปรุงพันธุ์สัตว์

- แผนการคัดเลือกสัตว์พ่อพันธุ์และแม่พันธุ์ (คัดเลือกอย่างไร คัดเลือกเท่าไร และแหล่งเป้าหมายสัตว์อยู่ที่ไหน)?

คัดเลือกอย่างไร ? (พิจารณาใคร)

- 1) ตัวสัตว์เอง (เป็นรายตัว; Individual Selection)
- 2) พ่อพันธุ์สัตว์ (Sire Selection)
- 3) แม่พันธุ์สัตว์ (Dam Selection)
- 4) ครอบครัว (Family Selection)
- 5) สายพันธุ์ (Line Selection)



การกำหนดวัตถุประสงค์และแผนการปรับปรุงพันธุ์สัตว์

- แผนการคัดเลือกสัตว์พ่อพันธุ์และแม่พันธุ์ (คัดเลือกอย่างไร คัดเลือกเท่าไร และแหล่งเป้าหมายสัตว์อยู่ที่ไหน)?

คัดเลือกอย่างไร ?

เป้าหมายหลักอยู่ที่ → พันธุกรรมแบบบวกสะสม (Additive Genetic Effect)

$$P = G + E$$

ไม่สามารถถ่ายทอดจากพ่อแม่ไปสู่ลูกได้

$$P = \boxed{A} + \boxed{D + I} + \boxed{E}$$

Breeding Value (BV)

สามารถถ่ายทอดจากพ่อแม่ไปสู่ลูกได้

$$V_P = V_G + V_E$$

$$\text{ถ้า } V_E = 0 \quad V_P = V_G$$

$$P = G$$

$$\text{ถ้า } V_{D+I} = 0 \quad V_P = V_A$$

$$P = A$$

จะทราบได้ จำเป็นต้องมีการจดบันทึกข้อมูล

การกำหนดวัตถุประสงค์และแผนการ ปรับปรุงพันธุ์สัตว์

- แผนการคัดเลือกสัตว์พ่อพันธุ์และแม่พันธุ์ (คัดเลือกอย่างไร คัดเลือกเท่าไร และแหล่งเป้าหมายสัตว์อยู่ที่ไหน)?

คัดเลือกมาก/น้อยเท่าไร ?

1. จำนวนสัตว์ที่ต้องการในรุ่นลูก มีจำนวนเท่าไร?
2. จำนวนสัตว์ทดแทนรุ่นพ่อแม่ มีจำนวนเท่าไร?
3. จำนวนสัตว์ที่มีให้คัดเลือก มีจำนวนเท่าไร?
4. กลุ่มสัตว์ที่จะถูกคัดเลือกมีความผันแปร/แตกต่างกันมาก/น้อยเพียงไร?
5. เป้าหมายในการสร้างความแตกต่างระหว่างรุ่น/กลุ่มสัตว์ก่อนและหลังการคัดเลือก?



การกำหนดวัตถุประสงค์และแผนการ ปรับปรุงพันธุ์สัตว์

- แผนการคัดเลือกสัตว์พ่อพันธุ์และแม่พันธุ์ (คัดเลือก
อย่างไร คัดเลือกเท่าไร และแหล่งเป้าหมายสัตว์อยู่ที่ไหน)?

แหล่งเป้าหมายสัตว์อยู่ที่ไหน ?

$$P = G + E$$

ขึ้นอยู่กับว่า → เราจะใช้ประโยชน์/พัฒนาพันธุ์กรรมที่ไหน

- > คัดเลือกสัตว์จากแหล่งที่มีสภาพแวดล้อมเดียวกัน/คล้ายคลึงกัน
- > คัดเลือกสัตว์จากแหล่งที่มีสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน

-> $G \times E$?

-> เปรียบเทียบได้อย่างยุติธรรม ?

-> ความแม่นยำ ?



การกำหนดวัตถุประสงค์และแผนการปรับปรุงพันธุ์สัตว์

- แผนการผสมพันธุ์ ระหว่างสัตว์ที่ผ่านการคัดเลือกแล้ว?

การจับคู่ผสมพันธุ์ (Design)

- > สัตว์เพศเมีย ควรได้รับผสมพันธุ์กับ สัตว์เพศผู้ตัวใด?
- > การใช้ประโยชน์จากพันธุกรรมที่คัดเลือกไว้แล้ว

Additive genetic effect

Non-additive genetic effect (heterosis)

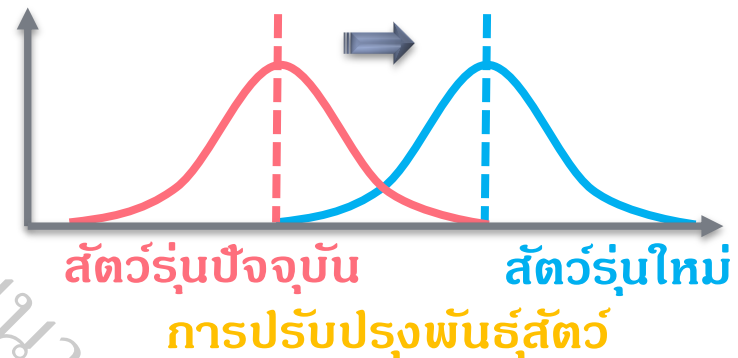
การผสมพันธุ์ (Mating)

- > การปฏิสนธิ
- > การผสมจริงตามธรรมชาติ
- > การผสมเทียม / การใช้เทคโนโลยี



การกำหนดวัตถุประสงค์และแผนการปรับปรุงพันธุ์สัตว์

○ แผนการประเมินพันธุกรรม?



- > วิธีที่จะใช้ในการประเมินพันธุกรรมสำหรับลักษณะที่ปรับปรุง (e.g., Best Linear Prediction, or Best Linear Unbiased Prediction)
- > สิ่งที่ใช้ในการพิจารณา (e.g., phenotype, EBV, genetic gain, genetic trend, or selection response)
- > การกำหนดกลุ่มการจัดการที่ใช้ในการเปรียบเทียบ (contemporary group)
- > ข้อมูลและความถี่ที่จำเป็นต้องจัดเก็บ (e.g., pedigree, phenotype, others)
- > ระยะเวลาที่จะต้องประเมิน (e.g., birth date, production date)
- > ความถี่ในการประเมิน



การกำหนดวัตถุประสงค์และแผนการ ปรับปรุงพันธุ์สัตว์

○ ความพร้อม ข้อจำกัด และความเป็นไปได้ในการดำเนินงาน?

- การสนับสนุนเชิงนโยบาย (ความชัดเจน และความมั่นคง)
- งบประมาณ (เพียงพอ และต่อเนื่อง)
- บุคลากร (คุณสมบัติ จำนวน และความรับผิดชอบ)
- ประชากรพื้นฐาน/เริ่มต้น (ขนาด และความหลากหลาย)
- แผนการปรับปรุงพันธุ์ (ชัดเจน รัดกุม และเป็นไปได้ในเชิงปฏิบัติ)
- เทคโนโลยีที่จะนำมาใช้ประโยชน์ (ความเหมาะสม ประสิทธิภาพ และความแม่นยำ)
- อุปกรณ์ สถานที่ และการจัดการเพาะเลี้ยง (เพียงพอ และเหมาะสม)
- เวลา และความต้องการใช้ประโยชน์จากพันธุ์กรรม



การคัดเลือก การเปรียบเทียบ และ ความแม่นยำ?

การคัดเลือก → สัตว์ที่มีความสามารถทางพันธุกรรม
(additive genetic effect) เป็นเลิศ ดีกว่า
เกณฑ์หรือสัตว์ตัวอื่น ๆ

การเปรียบเทียบ → ยุติธรรม
ไม่ลำเอียง

ความแม่นยำ → ความสัมฤทธิ์ผล และ
ความก้าวหน้าทางพันธุกรรม



การคัดเลือก การเปรียบเทียบ และ ความแม่นยำ?

การเปรียบเทียบ → ยุติธรรม และไม่ลำเอียง

การจัดแผนการทดลอง

- **ควบคุมความผันแปรทุกปัจจัย** ยกเว้น **ความแตกต่างทางพันธุกรรม**
- สร้างความเชื่อมโยงระหว่างกลุ่มการจัดการที่ใช้ในการเปรียบเทียบ (contemporary group) **ควบคุมความผันแปรบางปัจจัย** ยกเว้น **ความแตกต่างทางพันธุกรรม** จากนั้น ปรับความผันแปรที่ไม่ได้ควบคุมก่อน แล้วจึงเปรียบเทียบความแตกต่างทางพันธุกรรม)

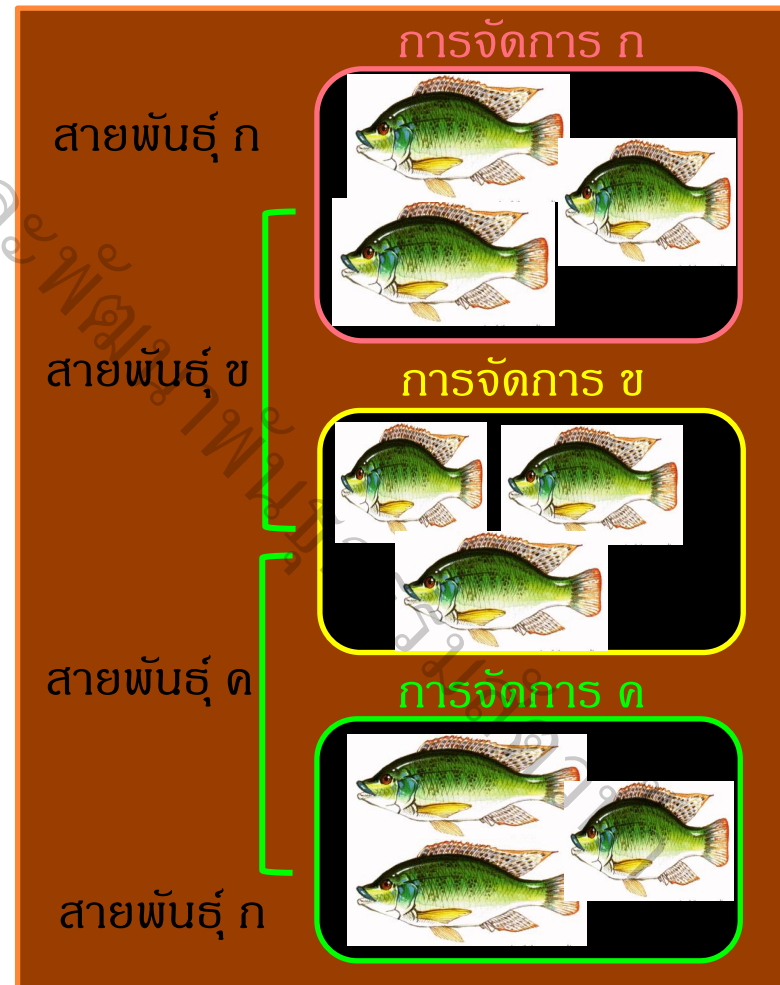
การออกแบบการเลี้ยงรวม

- สร้างความเชื่อมโยงระหว่างกลุ่มการจัดการที่ใช้ในการเปรียบเทียบ ปรับความผันแปรที่ไม่ได้ควบคุม แล้วจึงเปรียบเทียบความแตกต่างทางพันธุกรรม



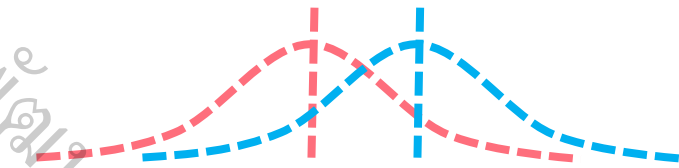
การคัดเลือก การเปรียบเทียบ และ ความแม่นยำ?

กลุ่มการจัดการที่ใช้ในการเปรียบเทียบ (contemporary group)



การคัดเลือก การเปรียบเทียบ และ ความแม่นยำ?

คัดเลือกกลุ่ม → พิจารณาค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่ม



ค่าเฉลี่ย 2 รูปแบบ

ค่าเฉลี่ยทางคณิตศาสตร์ (Mathematic mean)

(กลุ่มแต่ละกลุ่มมีจำนวนสมาชิกเท่ากัน และได้รับการจัดการเหมือนกัน)

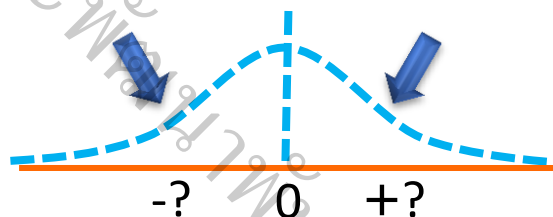
ค่าเฉลี่ยสี่สแควร์ (Least squares mean)

(กลุ่มแต่ละกลุ่มไม่จำเป็นต้องมีจำนวนสมาชิกเท่ากัน หรือได้รับการจัดการเหมือนกัน แต่ควรจะมีแนวโน้มที่เชื่อมโยงซึ่งกันและกัน)



การคัดเลือก การเปรียบเทียบ และ ความแม่นยำ?

คัดเลือกสายตัว → พิจารณาความสามารถ
ที่เบี่ยงเบนออกไปจากค่าเฉลี่ย



ความสามารถที่ปรากฏ

(ข้อมูลตนเอง ข้อมูลบรรพบุรุษ ข้อมูลเครือญาติ และข้อมูลลูก)

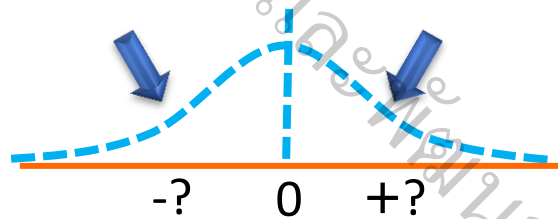
ความสามารถทางพันธุกรรม

(Estimated Breeding Value, Selection Index, Markers, Genomic Breeding Value)



การคัดเลือก การเปรียบเทียบ และ ความแม่นยำ?

คัดเลือกสายตัว → พิจารณาความสามารถ
ที่เบี่ยงเบนออกไปจากค่าเฉลี่ย



ความสามารถที่ปรากฏ

(ข้อมูลตนเอง ข้อมูลบรรพบุรุษ ข้อมูลเครือญาติ และข้อมูลลูก)

ลักษณะที่เกิดซ้ำ

(Permanent environmental effect, Producing ability, Repeatability)

ความสามารถทางพันธุกรรม

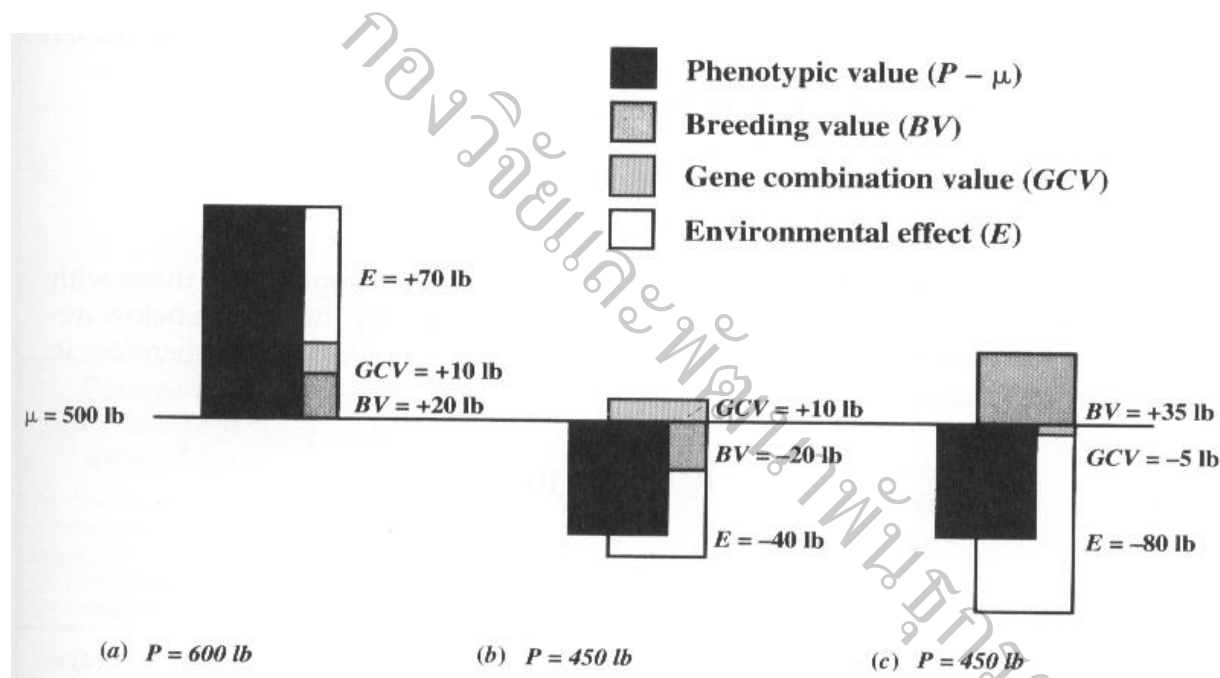
(Estimated Breeding Value, Selection Index, Markers, Genomic Breeding Value)

ความสามารถในการเป็นแม่/พ่อ

(Maternal effect/Paternal effect, ขึ้นอยู่กับลักษณะที่จะปรับปรุง)



การคัดเลือก การเปรียบเทียบ และความแม่นยำ?



ถ่ายทอดไปสู่ลูกได้

$$\text{Phenotypic value} = \text{Breeding value}$$
$$+ \text{Gene combination value}$$
$$+ \text{Environmental effect}$$

ไม่สามารถถ่ายทอดไปสู่ลูกได้

การคัดเลือก การเปรียบเทียบ และ ความแม่นยำ?

ความแม่นยำของการคัดเลือก



การคัดเลือก การเปรียบเทียบ และ ความแม่นยำ?

อัตราพันธุกรรม (heritability, h^2)

- เป็นค่าของประชากร (population parameter) สัตว์ทุกตัวใช้ค่านี้ร่วมกัน (คำนวณจากความแปรปรวน: $h^2 = V_A/V_P$)
- เป็นค่าที่แสดงถึง ระดับความสัมพันธ์ระหว่างความผันแปรทางพันธุกรรมกับลักษณะที่ปรากฏ
- เป็นค่าที่แสดงถึง ระดับความสัมพันธ์ระหว่างความผันแปรทางพันธุกรรมกับลักษณะที่ปรากฏ
- เป็นค่าที่แสดงถึง ระดับความแตกต่างทางพันธุกรรมที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของลักษณะที่ปรากฏ 1 หน่วย



การคัดเลือก การเปรียบเทียบ และ ความแม่นยำ?

ความแม่นยำ ของการคัดเลือกโดยพิจารณาลักษณะที่ปรากฏ

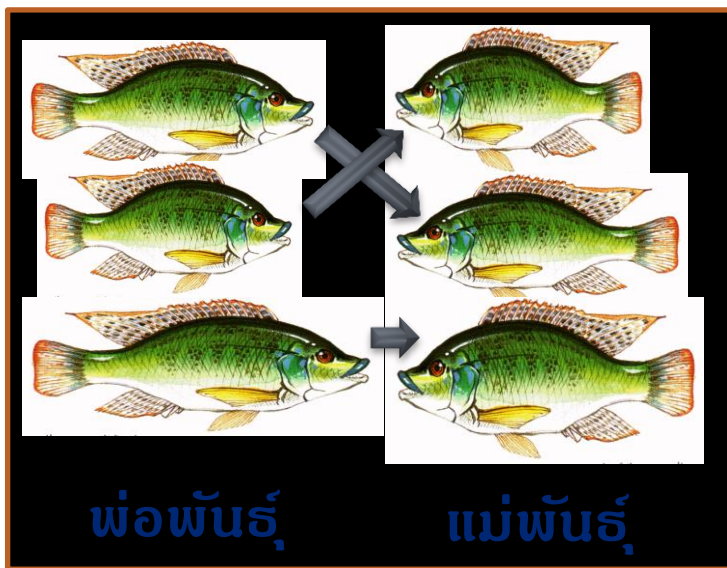
- อัตราพันธุกรรม สำหรับลักษณะที่พิจารณา
- ความไม่ลำเอียงของความสามารถที่ปรากฏของสัตว์แต่ละตัว
- ความแตกต่างสำหรับลักษณะที่พิจารณาของสัตว์แต่ละตัว



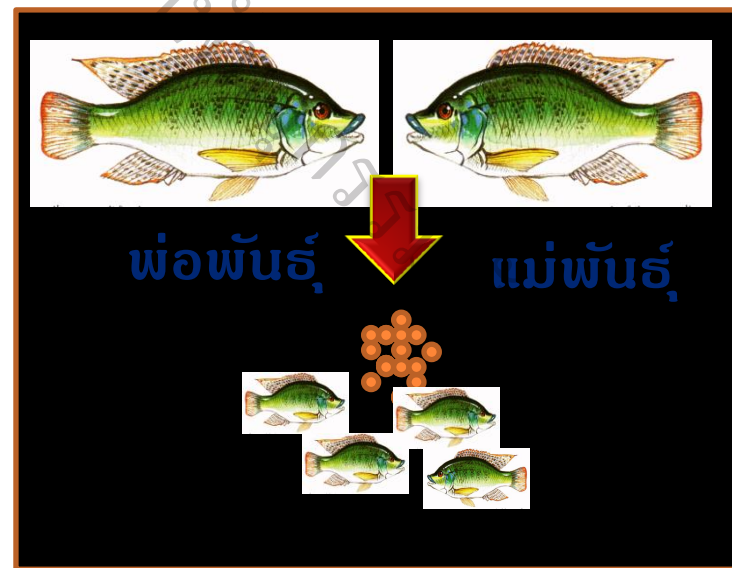
การจับคู่ผสมพันธุ์ – ความเหมาะสม?

การจับคู่ผสมพันธุ์ $\neq$ การผสมพันธุ์

เป้าหมาย: การใช้ประโยชน์จาก
พันธุ์กรรมที่คัดเลือก
ไว้แล้ว



เป้าหมาย: การเพาะขยายพันธุ์
(การผสมติด)



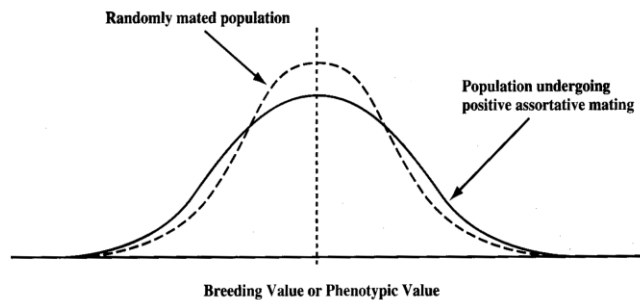
การจับคู่ผสมพันธุ์ – ความเหมาะสม?

1. พิจารณาที่สมรรถภาพของสัตว์ (Based on animal performance)

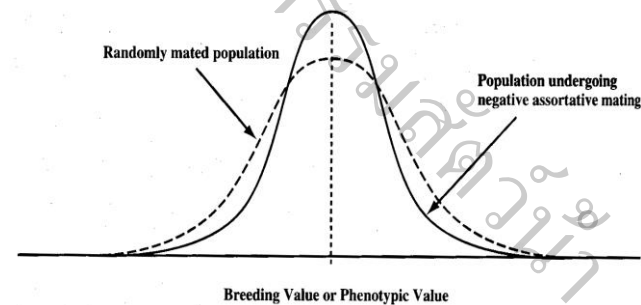
a. Random Mating

b. Positive Assortative Mating

c. Negative Assortative Mating



Graphic representations of increased genetic and phenotypic variation caused by positive assortative mating.



Graphic representation of decreased genetic and phenotypic variation caused by negative assortative mating.



การจับคู่ผสมพันธุ์ – ความเหมาะสม?

2. พิจารณาที่ความสัมพันธ์ทางเครือญาติ (Based on pedigree relationship)

a. Close breeding

→ Increase homozygosity

→ Inbreeding depression!

b. Out breeding

→ Increase heterozygosity

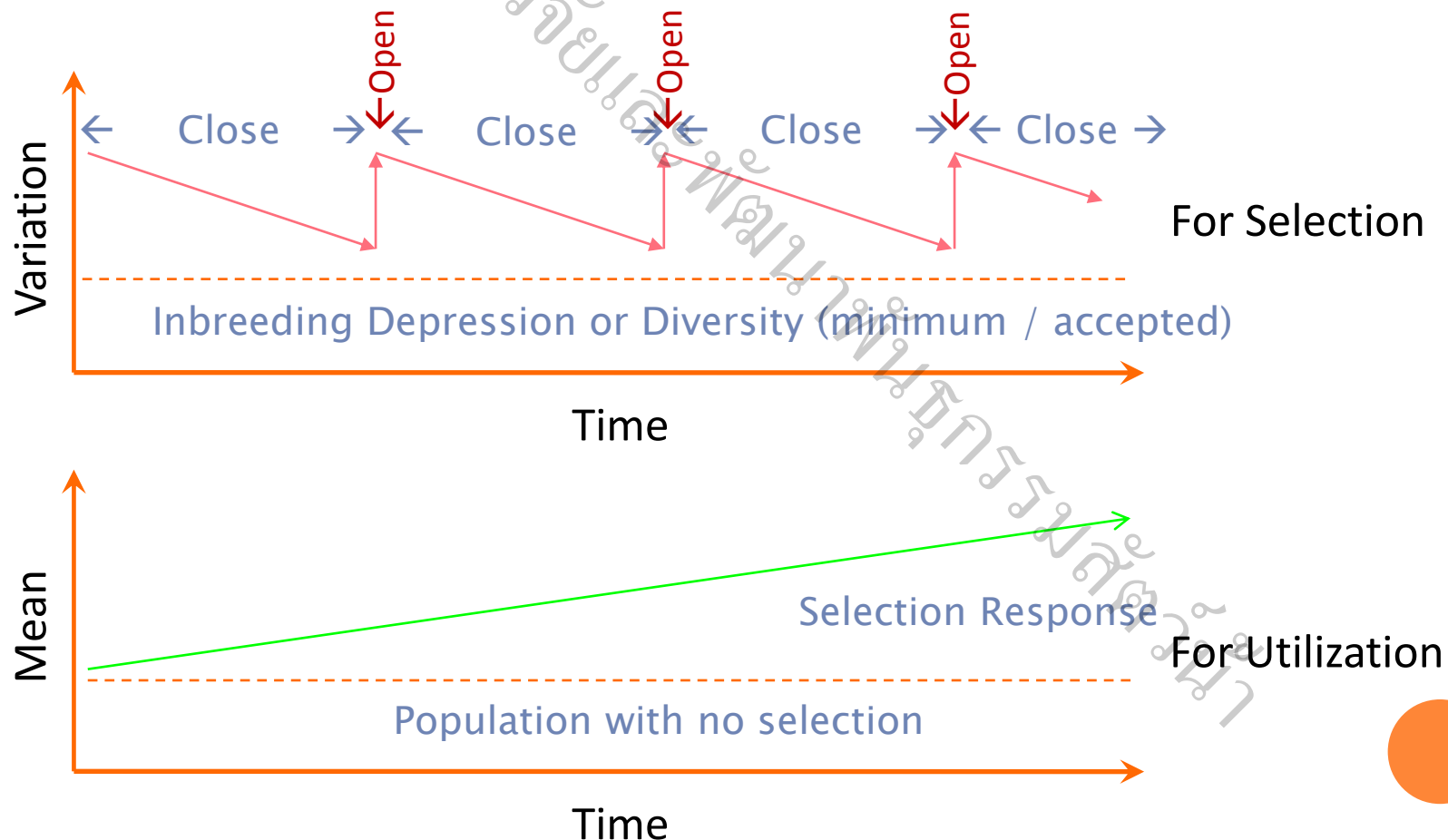
→ Heterosis cannot be transmitted

[it also specific to the environment!]



การจับคู่ผสมพันธุ์ – ความเหมาะสม?

การพิจารณาและจัดการพันธุ์กรรมระดับประชากร

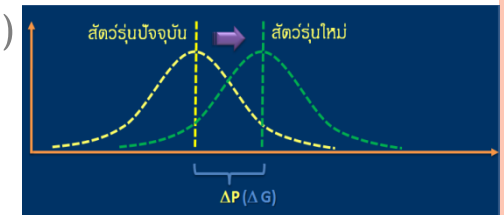


การประเมินพันธุกรรม และการวัดผลสัมฤทธิ์การปรับปรุงพันธุ์



การปรับปรุงพันธุ์

การจัดการทางพันธุกรรม (การคัดเลือก + จับคู่ผสมพันธุ์) เพื่อให้สัตว์รุ่นลูก (โดยเฉลี่ย) มีลักษณะที่พึงประสงค์ ดีกว่า สัตว์รุ่นพ่อแม่ (โดยเฉลี่ย)



สิ่งที่มักถูกประเมิน:

- ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อลักษณะที่สนใจ (Factor effecting the target traits)
- ค่าประมาณลักษณะที่ปรากฏ (Phenotypic value; PV)
- ค่าทำนายความสามารถทางพันธุกรรม (Estimated breeding value; EBV)
- ค่าเฉลี่ยระหว่างรุ่น (Average of the generations)
- องค์ประกอบของความแปรปรวน (Variance Components Estimation; VCE)
- พารามิเตอร์ของประชากร (heritability, correlations, repeatability, other descriptive stat)
- แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม (genetic trends)
- ผลตอบสนองต่อการคัดเลือก (Selection response)

การประเมินพันธุกรรม และการวัดผลสัมฤทธิ์การปรับปรุงพันธุ์

การวัดว่า “สัตว์รุ่นลูก” มีลักษณะที่พึงประสงค์ ดีกว่า “สัตว์รุ่นพ่อแม่”
ต้องใช้ “ค่าเฉลี่ย ที่สามารถนำมาใช้ในการเปรียบเทียบได้อย่าง ไม่ลำเอียง”

ประชากรที่ศึกษา

ควบคุมทุกปัจจัยได้ดี และแต่ละกลุ่มมี
สมาชิกจำนวนเท่ากัน

→ **Mathematic means**

ควบคุมได้บางปัจจัย หรือไม่ได้เลย
แต่ข้อมูลมีความเชื่อมโยงทางพันธุกรรม
ระหว่างกลุ่มการจัดการ (contemporary
groups)

→ **Least squares means**



การประเมินพันธุกรรม และการวัดผลสัมฤทธิ์การปรับปรุงพันธุ์

Best Linear Unbiased Prediction (BLUP)

- ใช้ประโยชน์จาก ความสัมพันธ์ทางเครือญาติ
- ใช้ประโยชน์จาก ข้อมูลของสัตว์ทุกตัวที่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน
- ทำงานอาศัยหลักการของ Linear Model (correcting different effects for each other)

ข้อมูลที่เป็น:

- 1) ข้อมูลพันธุ์ประวัติ (Pedigree Information)
- 2) ข้อมูลลักษณะที่ปรากฏ (Phenotypic information)
- 3) ข้อมูลอื่น ๆ ที่มี (เช่น กลุ่มการจัดการ เพศ อายุ กลุ่มพันธุ์ ฯลฯ)



การประเมินพันธุกรรม และการวัดผลสัมฤทธิ์การปรับปรุงพันธุ์

Best Linear Unbiased Prediction (BLUP)

- หุ่นจำลองแบบผสม **Mixed Model** (Fixed effect and random effects)

$$\mathbf{y} = \mathbf{Xb} + \mathbf{Zu} + \mathbf{e}$$

Mixed Model Equation:

