ภาพจาก www.freepik.com

ทุเรียน ทาเจริญ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์
คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยแม่โจ้แม่โจ้

ประโยชน์ : พันธุกรรมของลักษณะปริมาณ

ลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตจะเกี่ยวข้องกับลักษณะที่ถูกควบคุมด้วยยีนเพียงยีนเดียวที่จะทำให้เกิดอัตราส่วนทางพันธุกรรมอย่างง่าย เช่น 3:1 ตามกฎเมนเดลข้อที่ 1 แต่ก็ยังมีลักษณะอื่นๆ อีกหลายลักษณะที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางเศรษฐกิจ เช่น ผลผลิตของข้าวโพด เนื้อวัว มันสำปะหลัง เป็นต้น ซึ่งลักษณะเหล่านี้จะมีการแสดงการกระจายตัวแบบต่อเนื่องและถูกควบคุมด้วยยีนหลายตำแหน่งที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาอัตราพันธุกรรม (heritability) ที่ต้องอาศัยวิธีการทางสถิติในการศึกษาถึงการควบคุมลักษณะทางพันธุกรรมโดยการควบคุมด้วยยีนหลายตำแหน่งจะเป็นการทำงานแบบบวกสะสม (additive) จึงอาจเรียกว่า ลักษณะปริมาณที่จะเป็นแบบ polygenic หรือ quantitative โดยทั่วไปลักษณะปริมาณ (Quantitative characters) มีลักษณะสำคัญดังนี้

1. มียีนควบคุมหลายคู่
2. สภาพแวดล้อมมีอิทธิพลต่อการแสดงออกเป็นฟีโนไทป์อย่างมาก
3. ไม่อาจจะแยกกลุ่มฟีโนไทป์ได้ชัดเจน
4. ความผันแปรของลักษณะเป็นแบบต่อเนื่องและมีกระจายหรือแจกแจงปกติ (normal distribution)

ดังนั้นจึงต้องมีการชั่ง ตวง วัดออกมาเป็นค่าต่าง ๆ และอาศัยทฤษฎีพันธุ์แท้ของ Johannsen (Pure-line Theory) ที่กล่าวไว้ว่า “สายพันธุ์ที่เป็นพันธุ์แท้ (pure line) มีจีโนไทป์แบบเดียวซึ่งประกอบด้วยยีนทุกคู่ในสภาพโฮโมไซกัส (homozygous) เมื่อให้ผสมตัวเองต่อไปจะถ่ายทอดจีโนไทป์แบบเดียว ไม่มีความแตกต่างทางพันธุกรรม แต่ความแตกต่างในฟีโนไทป์ที่สังเกตได้นั้นจะมีสาเหตุมาจากสภาพแวดล้อม”

เนื่องจากลักษณะที่เป็นลักษณะปริมาณถูกควบคุมโดยยีนหลายคู่ซึ่งรวมเรียกว่า โพลียีน (polygenes) โดยยีนเหล่านี้อาจมีการทำงานที่ต่างกัน และไม่สามารถจะแยกแยะผลของการแสดงออกของยีนแต่ละหน่วยได้จึงต้องอาศัยค่าสถิติช่วยในการอธิบายความแปรปรวนที่กระจายตัวแบบต่อเนื่องและที่นิยมกันมากที่สุดก็เป็นการวิเคราะห์ออกมาในรูปของค่าทางสถิติต่างๆ เช่น ค่าเฉลี่ย (mean) ค่าความแปรปรวนของประชากร (variance) ค่าโอกาสการเกิด (probability) และ การกระจายตัวไบโนเมียล (Binomial expansion) เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่าสภาพแวดล้อม (environment) มีอิทธิพลต่อฟีโนไทป์ (phenotype) และเป็นสาเหตุของความแปรปรวนในประชากรศึกษา โดยเขียนสมการอย่างง่ายได้ดังนี้คือ

ฟีโนไทป์ = พันธุกรรม + สภาพแวดล้อม

(phenotype) = (genotype) (environment)

โดยสามารถเขียนใหม่เป็นสมการทางสถิติอย่างง่าย ดังนี้คือ

$$V_T = V_G + V_E$$

โดย V_G คือ ค่าความแปรปรวนของพันธุกรรม

V_E คือ ค่าความแปรปรวนของสภาพแวดล้อม

ดังนั้น $V_T = V_G + V_E$

สรุปว่า ความแตกต่างระหว่างค่าสังเกตทุกค่ากับค่าเฉลี่ยของประชากรตัวอย่างนั้นเป็นผลเนื่องมาจากความแตกต่างทางพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม

นอกจากนี้ยังมีวิธีการคำนวณทางสถิติอื่น ๆ ดังต่อไปนี้

1. การแยกส่วนความแปรปรวนของพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม

การวิเคราะห์ลักษณะปริมาณ (quantitative traits) จะต้องมีการใช้วิธีทางสถิติเข้ามาช่วยในการแบ่งแยกความแตกต่าง หรือความแปรปรวน ที่เกิดขึ้นในประชากรออกเป็นส่วน ๆ เพื่อจะวิเคราะห์ให้ทราบว่าลักษณะดังกล่าวนั้นเป็นผลเนื่องมาจากพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อม จากการศึกษาพบว่าความแปรปรวนในลูกรุ่นที่ 2 (F_2) จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นกว่าในชั่วพ่อแม่ และ ลูกรุ่นที่ 1 (F_1) เพราะค่าในลูกรุ่นที่ 1 เกิดจากอิทธิพลของสภาพแวดล้อมเพียงอย่างเดียว

ดังนั้นการคำนวณหา V_E ได้จากค่าเฉลี่ยของค่าความแปรปรวนประชากร P_1, P_2 และ F_1 คือ

$$V_E = \frac{V_{P1} + V_{P2} + V_{F1}}{3}$$

$$V_G = V_T - V_E$$

โดย $V_T = V_{F2}$

V_{p1} = ค่าความแปรปรวนของประชากรแม่

V_{p2} = ค่าความแปรปรวนของประชากรพ่อ

V_{F1} = ค่าความแปรปรวนของประชากรลูกรุ่นที่ 1

V_{F2} = ค่าความแปรปรวนของประชากรลูกรุ่นที่ 2

ดังนั้น $V_T = V_{F2} = V_P$

$$V_E = \frac{V_{P1} + V_{P2} + V_{F1}}{3}$$

$V_T = V_{F2} = V_P$

2. การแยกส่วนย่อยของความแปรปรวนของพันธุกรรม (V_G)

$$V_G = V_A + V_D + V_I$$

โดย V_A คือ ค่าความแปรปรวนของยีนทำงานแบบบวกสะสม

V_D คือ ค่าความแปรปรวนของยีนทำงานแบบข่มภายในคู่

V_I คือ ค่าความแปรปรวนของยีนทำงานแบบข่มข้ามคู่

ในการคำนวณแต่ต้องอาศัยค่าความแปรปรวนของลูกผสมกลับ (back cross) ทั้ง B_1 (ได้จาก F_1 x $parent_1$) และ B_2 (ได้จาก F_1 x $parent_2$) โดยวิธีของ Mather ทำให้คำนวณหาค่า V_D และ V_A ได้ดังนี้ คือ

$$V_A = 2V_{F2} - (V_{B1} + V_{B2})$$

โดย

V_A = ค่าความแปรปรวนของยีนทำงานแบบบวกสะสม

V_D = ค่าความแปรปรวนของยีนทำงายแบบข่มภายในคู่

3.การแยกส่วนความแปรปรวนต่างๆสามารถนำไปใช้คำนวณหาค่าอัตราพันธุกรรม (heritability :h^2) แบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ อัตราพันธุกรรมอย่างกว้าง (broad sense heritability: h^2_W) และอัตราพันธุกรรมอย่างแคบ **(narrow sense heritability : h^2_n)** โดยมีวิธีการดังนี้คือ

ก.อัตราพันธุกรรมอย่างกว้าง

$$h^2_W = \frac{V_G}{V_T}$$

V_T คือ ความแปรปรวนในลักษณะที่สังเกตได้

ข.อัตราพันธุกรรมอย่างแคบ คือ ค่าอัตราส่วนระหว่างความแปรปรวนอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาของยีนแบบบวกสะสม กับความแปรปรวนของลักษณะทั้งหมด

$$\text{อัตราพันธุกรรมอย่างแคบ } (h^2_n) = \frac{V_A}{V_T}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างที่ 1 จากการศึกษาความสูงของต้นยาสูบพันธุ์แท้ 2 สายพันธุ์และลูกรุ่นต่าง ๆ จะมีค่าความแปรปรวนต่าง ๆ ดังนี้คือ

V_{P1} = 0 .10 V_{P2} = 0.14 V_{F1} = 0.18

V_{F2} = 0.36 V_{B1} = 0.22 V_{B2} = 0.32

ก. จงหาค่า V_E

ข. จงหาค่า V_A

ค. จงหาค่า V_G

ง. จงหาค่าอัตราพันธุกรรมอย่างแคบ (h^2_n)

จ. จงหาค่าอัตราพันธุกรรมอย่างกว้าง (h^2_w)

วิธีคำนวณ

จากสูตร $V_T = V_G + V_E$

โดย V_G คือ ค่าความแปรปรวนของพันธุกรรมหรือจีโนไทป์ในกลุ่มตัวอย่าง

V_E คือ ค่าความแปรปรวนของสภาพแวดล้อม

ดังนั้น $V_T = V_G + V_E$

ก.) $V_E = (V_{P1} + V_{P2} + V_{F1})/3$

$V_E = (0.1+0.14+0.18)/3 = 0.14$ Ans

ข.) เนื่องจาก $V_T = V_{F2}$

ดังนั้น $V_T = V_{F2} = V_P$

$V_A = 2V_{F2} - (V_{B1} + V_{B2})$

V_A = ค่าความแปรปรวนของยีนทำงานแบบบวกสะสม

แทนค่า

$V_A = 2(0.36) - (0.22 + 0.32)$

$V_A = 0.18$ Ans

ค.) $V_T = V_G + V_E = V_{F2}$

แทนค่า $V_G = V_{F2} - V_E$

$V_G = 0.36 - 0.14 = 0.22$ Ans

ง.) อัตราพันธุกรรมอย่างแคบ (h^2_n) $= V_A / V_{F2}$

$= 0.18/0.36$

$= 0.50$ Ans

จ.) อัตราพันธุกรรมอย่างกว้าง (h^2_w) $= V_G / V_{F2}$

$= 0.22/0.36$

$= 0.61$ Ans

ตัวอย่างที่ 2 จากการผสมพันธุ์กุหลาบพันธุ์แท้ 2 พันธุ์ที่มีความสูงต่างกัน คือ พันธุ์แม่สูง 72 cm และ พันธุ์พ่อสูง 120 cm จะได้ลูกชั่วที่1มีความสูง x cm และเมื่อปล่อยให้ลูกชั่วที่1ผสมตัวเองจนได้ลูกรุ่นที่ 2พบว่ามีลูก 3 ต้น ในจำนวนทั้งหมด 192 ต้นที่มีความสูงเหมือนกับพันธุ์แม่ที่สูง 72 cm จงหา

ก. ลักษณะความสูงของต้นกุหลาบนี้ควบคุมด้วยยีนกี่คู่

ข. ลูกรุ่นที่ 1 มีความสูงเท่าไร

ค. ยีนบวกแต่ละตัวให้ความสูงเพิ่มขึ้นเท่าไร

ก.) สูตร จำนวนคู่ของยีนที่ควบคุม $= (1/4)^n$ = อัตราส่วนของลูก F_2 ที่เหมือนพ่อหรือแม่

โดย n = จำนวนคู่ของยีน

แทนค่า $(1/4)^n$ = อัตราส่วนของลูก F_2 ที่เหมือนพ่อหรือแม่=30/1920

$(1/4)^n = 3/192$

$(1/4)^n = 1/64$

$(1/4)^n = (1/4)^3$

n = จำนวนคู่ของยีน = 3

ดังนั้นลักษณะความสูงถูกควบคุมด้วยยีน 3 คู่ (หรือ 6 อัลลีล) Ans

ข) ยีนบวกแต่ละตัวเพิ่มความสูง

$$= \frac{\text{ค่าสูงสุด-ค่าต่ำสุด}}{\text{จำนวนอัลลีลของยีน}}$$

$$= \frac{120-72}{6} = 48/6 = 8\text{cm.}$$ Ans

ค.) ลูกรุ่นที่1มีความสูง $= \frac{\text{ความสูงของแม่+ความสูงของแม่}}{2}$

$$= \frac{120+72}{2}$$

$= 96$ cm. Ans

นอกจากนี้ยังมีวิธีหาอัตราพันธุกรรมอย่างกว้าง (h^2_W) สำหรับพืชและสัตว์บางชนิดได้อีกวิธีหนึ่ง โดยวิธีการคัดเลือกแบบรวม (mass selection) นักปรับปรุงพันธุ์พืชจะคัดเอาพวกที่ดีไว้ผสมต่อเป็นชั่วถัดไปเรื่อยๆ โดยอาศัยหลักการว่าจะต้องหา Selection Differential (D) และ Selection Gain (G) โดยมีวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้ คือ

1. Selection Gain (G) คือ ค่าแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของลูกรุ่นที่ 1 กับค่าเฉลี่ยของประชากรชั่วพ่อแม่

2. Selection Differential (D) คือ ค่าแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ที่คัดไว้กับค่าเฉลี่ยของประชากรชั่วพ่อแม่

อัตราพันธุกรรมอย่างกว้าง (h^2_W) = G/D

<u>ตัวอย่างที่ 3</u> นักปรับปรุงพันธุ์ต้องการที่จะเพิ่มน้ำหนักโดยเฉลี่ยของสุกรที่มีน้ำหนักตั้งต้น 222 กิโลกรัม โดยการคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์ที่มีหนักเท่ากับ 250 กิโลกรัม หลังจากนั้นสัตว์ชนิดนี้มีลูกจำนวน 39 ตัวที่มีน้ำหนักโดยเฉลี่ยเท่ากับ 240 กิโลกรัม

ก. จงหาค่าอัตราพันธุกรรม

อัตราพันธุกรรม = (240-222)/(250-225)

= 18/25

= 0.72 Ans

ข. จงแนะนำนักปรับปรุงพันธุ์ที่คนนี้ว่าจะสามารถทำให้น้ำหนักโดยเฉลี่ยของสุกรเพิ่มขึ้นได้หรือไม่

นักปรับปรุงพันธุ์คนนี้จะไม่สามารถให้น้ำหนักโดยเฉลี่ยของสัตว์ชนิดนี้เพิ่มขึ้นได้ เพราะว่าอัตราพันธุกรรมมีค่ามากกว่า 0.72 แสดงว่าได้รับอิทธิพลจากพันธุกรรม 72 เปอร์เซ็นต์ แต่ได้รับอิทธิพลจากสภาพแวดล้อม 28 เปอร์เซ็นต์และค่าอัตราพันธุกรรมสูงแสดงว่าค่าความแปรปรวนของสภาพแวดล้อมต่ำ ลักษณะนั้นอยู่ใต้อิทธิพลของความแปรปรวนพันธุกรรมมาก จะมีไม่มีปัญหาในการปรับปรุงพันธุ์

บทสรุปลักษณะพันธุกรรมต่างๆ ที่เป็นลักษณะเชิงปริมาณเป็นลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนหลายคู่ (polygenes) สภาพแวดล้อมมีอิทธิพลต่อการแสดงออกของฟีโนไทป์ดังนั้น การบอกฟีโนไทป์ของลักษณะเชิงปริมาณจะต้องทำการชั่ง ตวง วัด ลักษณะปริมาณของสิ่งมีชีวิตในประชากรจะมียีนควบคุมหลายคู่และมีการกระจายตัวเป็นแบบปกติจึงต้องมีการคำนวณคู่ของยีนที่ควบคุม ส่วนการหาอัตราพันธุกรรม(h^2) จะมีประโยชน์ว่าลักษณะนั้นๆจะสามารถถ่ายทอดไปยังลูกหลานได้ในอัตราส่วนเท่าใด และจะมีประโยชน์อย่างมากในงานปรับปรุงพันธุ์ เพราะจะช่วยทำนายความสำเร็จในการคัดเลือกลักษณะนั้น ๆ และยังช่วยหาวิธีคัดเลือกที่เหมาะแก่สภาพหนึ่ง ๆ อย่างเฉพาะด้วย ทั้งนี้ เพราะ h^2 บอกให้ทราบว่าลักษณะนั้นอยู่ใต้อิทธิพลของความแปรปรวนทางพันธุกรรมเท่าไร ถ้าค่า h^2 สูงจะทำการคัดเลือกมีประสิทธิภาพ แต่ถ้า h^2 มีค่าต่ำแสดงว่า ค่าความแปรปรวนจากอิทธิพลของสภาพแวดล้อม (V_E) สูง และลักษณะนั้นอยู่ใต้อิทธิพลของความแปรปรวนในสภาพแวดล้อมมาก จะมีปัญหาในการปรับปรุงพันธุ์มาก

เอกสารอ้างอิง

ประดิษฐ์ พงศ์ทองคำ. (2547). **พันธุศาสตร์.** กรุงเทพฯ: ภาควิชาพันธุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สาระน่ารู้ชีววิทยา 3. (2548). **สมาคมพันธุศาสตร์แห่งประเทศไทยและสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.** กรุงเทพฯ: สำนักงานฯ.

Klug, W.S., Cummings M.R., Spenser C.A. and M.A., Palladino. (2010). **Essentials of Genetics.** 7th ed. New Jersey: Pearson.