บทที่ 11
การกำหนดเพศ
(Determination of Sex)

ภายหลังปี ค.ศ. 1900 เมื่อเทคนิคเกี่ยวกับการใช้กล้องจุลทัศน์ได้รับการพัฒนาให้ดีขึ้น และความรู้เกี่ยวกับพฤติกรรมของโครโมโซมเป็นที่เข้าใจกันดีแล้ว ก็มีนักวิทยาศาสตร์บางคนได้สังเกตพบว่า ในแมลงบางชนิด ตัวผู้จะมีจำนวนโครโมโซมเป็น เลขคี่ และตัวเมียมีเป็นจำนวน เลขคู่ หรือไม่ก็พบว่าใน เพศผู้จะมีโครโมโซมอยู่คู่หนึ่งในจำนวนทั้งหมดที่มีขนาดและรูปร่างไม่เหมือนกัน (heteromorphic) แต่ใน เพศเมียโครโมโซมคู่เดียวกันนี้จะมีขนาดและรูปร่าง เหมือนกัน (homomorphic) จึงเรียกโครโมโซมคู่นั้นกล่าวว่า sex chromosomes หรือโครโมโซมที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดเพศ และเรียกโครโมโซมคู่ที่มีขนาดและรูปร่าง เหมือนกันใน เพศหนึ่งว่า X-chromosome ส่วนอีกอันหนึ่งที่มีขนาดและรูปร่างแตกต่างไปก็เรียกว่า Y-chromosome ทางด้านโครโมโซมคู่อื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องกับการกำหนดเพศก็ได้รับการ เรียกว่า autosomes

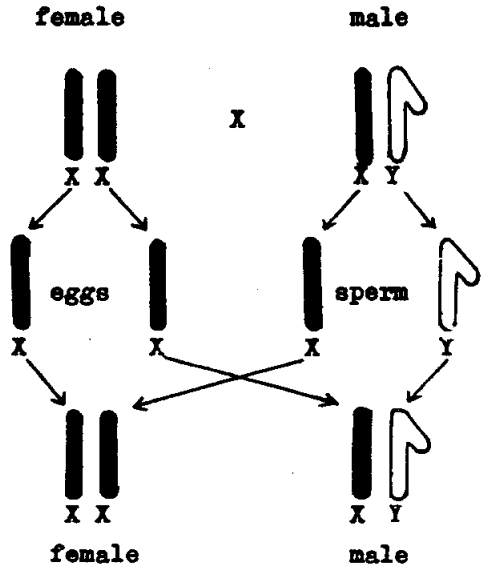
ในพวกตั๊กแตน มวนบางชนิด ตัวผู้จะไม่มี Y-chromosome ดังนั้นในแมลงตัวผู้จะเป็น XO มีจำนวนโครโมโซม เป็น เลขคี่ ส่วนตัวเมียคง เป็น XX จึงมีโครโมโซม เป็น เลขคู่

ในแมลงหวี่ คน และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมส่วนใหญ่ จะมีโครโมโซมจำนวน เท่ากันในทั้งสอง เพศ โดย เพศผู้จะ เป็น XY และ เพศเมียจะ เป็น XX

ในพวกผีเสื้อกลางคืน สัตว์เลื้อยคลานบางชนิด สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกบางชนิด และพวกสัตว์ปีก เช่น นก เป็ด ไก่ จะมี sex chromosomes กลับกันกับสองพวกแรก กล่าวคือ ตัวเมียจะ เป็น XY หรือ XO และตัวผู้เป็น XX

การแยกตัวของ sex chromosomes ก็เช่นเดียวกับ autosomes คู่อื่น ๆ โดยในแต่ละ gamete จะได้รับ sex chromosome เพียงอันเดียว เช่นถ้าสมมุติว่าสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่ง เพศผู้เป็น XY และ เพศเมียเป็น XX ใน เพศผู้จะมีการสร้างสเปอร์มขึ้นมาสองชนิด ในอัตราส่วน เท่า ๆ กัน ชนิดหนึ่งมี X-chromosome และอีกชนิดหนึ่งมี Y-chromosome เรียก เพศผู้แบบนี้ว่า heterozygous หรือ heterogametic ส่วนใน เพศเมียจะสร้างไข่ทุกใบที่มีแต่ X-chromosome จึงเป็น homozygous หรือ homogametic ดังนั้นการที่ zygote จะเกิดขึ้นมา เป็น เพศอะไรนั้น ก็ขึ้นอยู่กับว่าจะมีการผสมระหว่างไข่กับสเปอร์มชนิดไหน ถ้าไข่ถูกผสมโดยสเปอร์มที่มี Y-chromosome ก็จะได้ เพศผู้ แต่ถ้าถูกผสมโดยสเปอร์มที่มี X-chromosome ก็จะ เป็น เพศเมีย ดังรูปที่ 11-1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าโอกาสที่จะได้ลูก เพศผู้หรือ

เพศ เมียนั้นมีประมาณ 1:1



รูปที่ 11-1 แสดงการแยกตัวและรวมตัวของ X- และ Y-chromosomes

Sex Determination in Drosophila melanogaster

ในแมลงหวี่ตัว เมียจะเป็น XX และตัวผู้จะเป็น XY ยีนส์ส่วนใหญ่จะอยู่บน X-chromosome Bridges ได้ทดลองสร้างแมลงหวี่ที่เป็น polyploid และสามารถจะสืบพันธุ์ได้ตามปกติขึ้นมา แล้วทำการผสมพันธุ์แมลงหวี่ที่มีจำนวนโครโมโซมแตกต่างกัน เข้าด้วยกัน จากนั้นจึงนำลูกที่ได้มาตรวจดูเพศ จำนวน sex chromosomes และ autosomes ที่มีอยู่ ก็พบว่าอัตราส่วนระหว่างจำนวนของ X-chromosome กับจำนวนชุดของ autosomes จะมีส่วนสัมพันธ์กันกับการที่จะพัฒนาไปเป็น เพศต่าง ๆ ของแมลงหวี่ เขาจึงได้ตั้งทฤษฎีของ genic balance ขึ้นมาอธิบายถึงการกำหนดเพศของแมลงหวี่ว่า Y-chromosome จะไม่มีบทบาทในการกำหนดเพศ เลย การที่แมลงหวี่จะพัฒนาไปเป็นตัวผู้หรือตัว เมียนั้น จะขึ้นอยู่กับความสมดุลย์ระหว่าง X-chromosome และ autosomes โดยใน X-chromosome จะมียีนส์ที่กำหนดเพศ เมียอยู่ ส่วนยีนส์ที่จะกำหนดเพศผู้นั้นจะกระจายอยู่ใน autosomes ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างจำนวน X-chromosome และจำนวนชุดของ autosomes จะชี้ชวนถึงแนวโน้มของ เพศได้ ถ้าหากว่า $\frac{\text{จำนวน X-chromosome}}{\text{จำนวนชุดของ autosomes}} = \frac{X}{A} = 0.5$ แมลงหวี่จะเป็นตัวผู้

และ $\frac{X}{A} = 1.0$ จะเป็นตัวเมีย ถ้า $\frac{X}{A} < 0.5$ จะเป็น supermale $\frac{X}{A} > 1.0$ จะเป็น superfemale และถ้า $\frac{X}{A}$ อยู่ระหว่าง 0.5–1.0 จะเป็น intersexs ดังตารางที่ 11-1

ตารางที่11-1 ความสัมพันธ์ของ X-chromosome และ autosomes ที่มีต่อการกำหนดเพศในแมลงหวี่ (Drosophile melanogaster)

Number of X-chromosomes	Number of sets of autosomes	Ratio X/A	Phenotypes
3	2	1.5	Superfemale
4	3	1.33	Superfemale
4	4	1.0	Tetraploid female
3	3	1.0	Triploid female
2	2	1.0	Diploid female
1	1	1.0	Haploid female
3	4	0.75	Intersex
2	3	0.67	Intersex
1	2	0.5	Male
2	4	0.5	Male
1	3	0.33	Supermale

Sex Determination in Mice and Men

จากการที่พบว่า Y-chromosome ในแมลงหวี่ไม่มีความสำคัญในการกำหนดเพศ โดยในแมลงหวี่ที่มี X-chromosome เพียงอันเดียว และไม่มี Y-chromosome ก็ยังพัฒนาไปเป็นตัวผู้ได้ แม้จะเป็นหมันก็ตาม ทำให้คนอื่น ๆ คิดว่าในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมทั้งหลาย การกำหนดเพศโดย sex chromosome ก็คงเป็นเช่นเดียวกับในแมลงหวี่ ความเชื่อถือดังกล่าวได้สิ้นสุดลงในปี ค.ศ. 1959 เมื่อมีผู้พบว่า Y-chromosome จะมีบทบาทสำคัญในการกำหนดเพศของหนูและคน โดยหนูที่มี X-chromosome เพียงอันเดียวและไม่มี Y-chromosome (XO) จะเป็นตัวเมีย และหนูที่เป็น XXY จะเป็นตัวผู้ แม้จะเป็นหมันก็ตาม ส่วนในคนนั้น XXY จะเป็นผู้ชายแม้จะเป็นหมัน และมีลักษณะหลายอย่างผิดปกติก็ตาม แม้แต่ในคนที่มี sex chromosome เกินมามาก ๆ เช่น XXXY, XXYY, XXXXY ก็ยังเป็นผู้ชาย แต่ใน XO จะเป็นผู้หญิง แม้จะผิดปกติ และ XXX ก็เป็นผู้หญิง

Sex Determination in Melandrium album

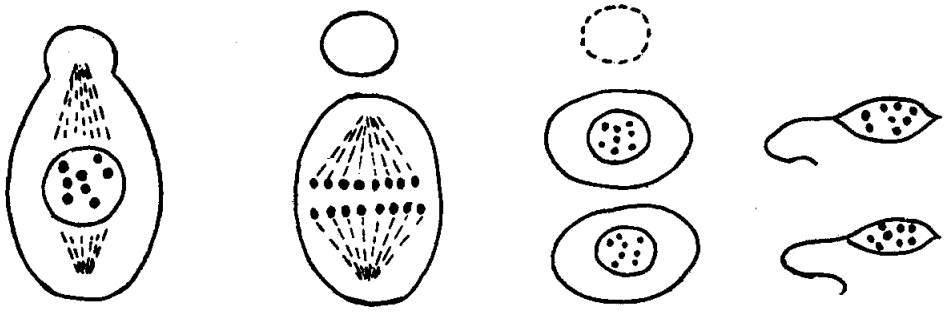
Melandrium album เป็นพืชชั้นสูงพวก dioecious diploid ที่มี sex chromosomes คล้ายกับคน คือถ้าเป็น XY จะเป็นต้นตัวผู้ หรือ staminate plant แต่ถ้าเป็น XX จะเป็นต้นตัว เมีย หรือ pistillate plant โดย Y-chromosome จะมีขนาดใหญ่กว่าและทำหน้าที่ในการกำหนดเพศ การมี Y-chromosome ปรากฏอยู่จะทำให้เป็นต้นตัวผู้ แม้จะมี X-chromosome อยู่ด้วยถึง 3 อันก็ตาม แต่ถ้าไม่มี Y-chromosome จึงจะเป็นต้นตัว เมีย ส่วนทางด้าน autosomes นั้น จะไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการกำหนดเพศแต่อย่างใด

Sex Determination in Asparagus

ในพวกหน่อไม้ฝรั่งปกติจะเป็นพวก dioecious แต่พืชพวกนี้ยังมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนกลับไปเป็นพวก monoecious ได้ โดยในดอกตัว เมียจะมีส่วนที่เป็นตัวผู้อยู่ แต่ไม่พัฒนาขึ้นมา และในดอกตัวผู้ก็มีส่วนที่เป็นตัว เมีย แต่ไม่ทำหน้าที่เช่นเดียวกัน แต่มักจะพบบ่อยๆ ว่า ส่วนที่เป็นตัว เมียในดอกตัวผู้สามารถจะสร้าง เมล็ดที่เป็นปกติขึ้นมาได้ และเมื่อนำเมล็ดที่ได้จากต้นแบบนี้ไปปลูกต่อ ก็พบว่าจะได้ต้นตัวผู้และต้นตัว เมียในอัตราส่วนประมาณ 3:1 แสดงว่าลักษณะการ เป็นต้นตัวผู้และต้นตัว เมียนี้จะมียีนส์ควบคุมอยู่หนึ่งคู่ โดยลักษณะต้นตัวผู้จะเป็นลักษณะข่มต่อลักษณะต้นตัว เมีย

Male Haploidy in Sex Determination

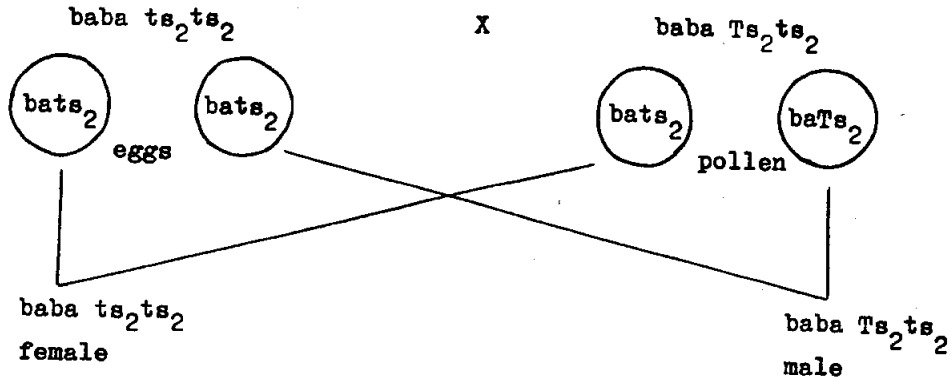
แมลงที่อยู่ใน order Hymenoptera ซึ่งได้แก่ พวกผึ้ง ต่อ แตน และมด มีอยู่หลาย species ด้วยกัน ที่ตัวผู้เกิดขึ้นมาจากไข่ที่ไม่ได้รับการผสมโดยวิธี parthenogenesis ส่วนไข่ที่ได้รับการผสมโดยสเปอร์ม จะกลายไปเป็นตัว เมีย ดังนั้นตัวผู้จึงเป็น haploid และตัว เมียเป็น diploid การที่ตัวผู้เป็น haploid การแบ่งตัวแบบ meiosis จึงมีการเปลี่ยนแปลงไป เพื่อที่จะให้สเปอร์มได้โครโมโซมทั้งชุดไปอยู่ด้วยกัน ดังรูปที่ 11-2 และในบรรดาพวกที่เป็นตัว เมียก็ยังแบ่งออกไปเป็นหลายพวก เช่น ในพวกผึ้งตัว เมียก็จะแบ่งออกเป็นผึ้งงาน ผึ้งทหาร ผึ้งนางพญา ทั้งนี้เกิดจากการใช้อาหาร เลี้ยงตัวอ่อนผิดกัน



รูปที่ 11-2 แสดงการแบ่งตัวแบบ **meiosis** ที่เกิดขึ้นกับ **haploid male** ในการแบ่งตัวครั้งแรกจะได้สอง เซล โดย เซลหนึ่งจะได้ **nucleus** ที่ยังไม่มีการแบ่งตัวไป ส่วนการแบ่งตัวครั้งที่สอง จะเป็นการแบ่งแบบ **equational** ตามธรรมดา ได้สอง **haploid spermatids** ซึ่งต่อมาจะ เปลี่ยนแปลงไป เป็นส เปอร์มสองตัว

Transformation from the Monoecious to the Dioecious State

ในพวกข้าวโพดซึ่ง เป็นพวก **monoecious** คือมีช่อดอกตัวผู้อยู่ที่ยอด และมีช่อดอกตัว เมียคือฝักข้าวโพดอยู่บนต้น เดียวกัน ปรากฏว่าพบ **mutant genes** หลายตัว ที่สามารถจะนำมาใช้ เปลี่ยนแปลงทำให้ต้นข้าวโพดกลาย เป็นต้นตัวผู้ และต้นตัว เมียแยกกันขึ้นมาได้ เช่น **gene ba (barren stalk)** เมื่ออยู่ในสภาพ **homozygous** จะทำให้ต้นข้าวโพดไม่สร้างฝักกลาย เป็นต้นตัวผู้ และ **gene** ts_2**(tassel seed)** เมื่ออยู่ในสภาพ **homozygous** จะทำให้ช่อดอกตัวผู้ เปลี่ยนไป เป็นช่อดอกตัว เมียอยู่ที่ยอดกลาย เป็นต้นข้าวโพดตัว เมียขึ้นมา ดังนั้นต้นที่เป็น **baba** ts_2ts_2 จะเป็นต้นตัว เมียไม่สร้างฝัก แต่สร้าง เมล็ดที่ยอด ส่วนต้นที่เป็น **baba** Ts_2Ts_2 จะไม่มีฝักแต่ช่อดอกตัวผู้ทำหน้าที่ได้ตามปกติ รูปที่ 11-3 แสดงให้เห็นว่า เราอาจทำการสร้างต้นข้าวโพดใหม่ **genotypes** และ เพศแตกต่างกันได้



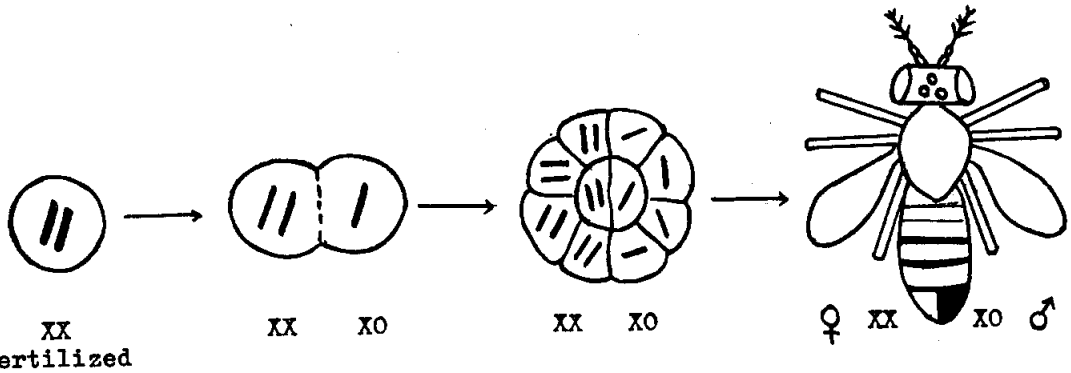
รูปที่ 11-3 แสดงการใช้ mutant genes เพื่อทำให้ข้าวโพดกลับกลายจากการเป็นพวก monoecious ไปเป็นพวก dioecious ผลจากการผสมจะทำให้ได้ข้าวโพดต้นตัวผู้และต้นตัวเมียในจำนวนเท่า ๆ กัน

Cytoplasmic Factors and Sex Determination

การกำหนดเพศแบบต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วนั้น จะเกี่ยวข้องกับโครโมโซมทั้งแท่งหรือยีนส์บางตัวที่อยู่บนโครโมโซม แต่ใน colon bacillus, Escherichia coli นั้น พบว่ามันก็มีเพศเหมือนกัน ซึ่งจะถูกควบคุมโดย extrachromosomal cytoplasmic factor ซึ่งมีอยู่หลายรูปแบบด้วยกัน เช่นตัวอย่าง F^+ จะเป็น malelike F^- จะเป็น femalelike การสืบพันธุ์โดยวิธี conjugation จะเกิดขึ้นได้เฉพาะระหว่างพวก F^+ กับ F^- เท่านั้น

Gynandromorph or Sex Mosaics

เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นบ่อยในแมลงหวี่ โดยที่แมลงบางตัวจะมี tissues ของทั้งสองเพศปรากฏอยู่ในตัวเดียวกัน เกิดจากอุบัติเหตุในการแบ่งเซลของ zygote ในระยะแรก ๆ โดย zygote ที่มี sex chromosome เป็น XX ซึ่งควรจะพัฒนาไปเป็นตัวเมีย แต่ในขณะที่มีการแบ่งเซลนั้น เซลบางส่วนเกิดมี X-chromosome ขาดหายไปหนึ่งอัน จึงทำให้ tissue ที่มี X-chromosome เพียงอันเดียวพัฒนาไปเป็นร่างกายของเพศผู้ ส่วน tissue ที่มี XX ก็คงพัฒนาต่อไปเป็นเพศเมีย ดังนั้นแมลงหวี่ดังกล่าวจึงมีร่างกายส่วนหนึ่งเป็นเพศผู้ และอีกส่วนหนึ่งเป็นเพศเมีย ดังรูปที่ 11-4



รูปที่ 11-4 การเกิด gynandromorph ในแมลงหวี่ โดยหลังจากที่ไข่ได้รับการผสมแล้ว กำลังจะแบ่งตัวไปเป็นสองเซล แล้วเซลหนึ่งเกิดมี X-chromosome สูญหายไปหนึ่งอัน ทำให้รางกายด้านซ้ายซึ่งมี XX พัฒนาไปเป็นรางกายตัวเมีย ส่วนทางด้านขวาซึ่งมี XO จะพัฒนาไปเป็นรางกายตัวผู้

Gynandromorph อีกแบบหนึ่ง เกิดจากการที่ไข่บางฟอง เกิดมี 2 nuclei แทนที่จะมีเพียงอันเดียว ถ้าหากไข่ดังกล่าวถูกผสมโดยสเปอร์ม 2 ตัวที่มี sex chromosome ต่างกัน โดยตัวหนึ่งมี X และอีกตัวหนึ่งมี Y ก็จะทำให้ไข่นั้นพัฒนาไปโดยมีลักษณะของทั้งสองเพศปรากฏอยู่ในแมลงตัวเดียวกัน พบว่ามันเกิดขึ้นกับ silk worm moth

Hormones and Sex Determination

มีตัวอย่างอยู่มากมายด้วยกันที่แสดงให้เห็นว่าสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะอย่างยิ่งฮอร์โมนส์จะมีอิทธิพลเป็นอย่างมากต่อการพัฒนาการของเพศ (sexual differentiation) เช่น ในกรณีของการกลายเพศ (sex reversal) ซึ่งจะเกิดขึ้นกับสิ่งมีชีวิตที่สามารถจะพัฒนาไปเป็นเพศหนึ่ง เพศใดก็ได้ในตัวเดียวกัน ขึ้นอยู่กับความสมดุลย์ของฮอร์โมนส์ที่จะทำให้มันเปลี่ยนแปลงไปเป็นเพศผู้หรือเพศเมีย

ในพวกสัตว์ปีก เช่น นก เป็ด ไก่ ในสัตว์พวกนี้ gonad ที่จะพัฒนาไปเป็นรังไข่จะอยู่ทางด้านซ้าย ส่วนอันที่อยู่ทางด้านขวาจะไม่พัฒนา ในบางครั้งพบว่าไก่ตัวเมียจะกลายเพศไปเป็นตัวผู้ได้ เมื่อศึกษาอย่างละเอียดก็พบว่ามีสาเหตุมาจากการที่รังไข่ของมันเป็นโรคหรือถูกทำลาย และ gonad ทางด้านขวาได้พัฒนาต่อไปเป็นอัณฑะแทน และสามารถจะสร้างฮอร์โมนส์ขึ้นมาในปริมาณมากพอที่จะเปลี่ยนเพศของไก่ตัวเมีย ซึ่งมี sex chromosome เป็น XY ให้กลายไปเป็นตัวผู้ XY และเมื่อมันไปผสมพันธุ์ต่อไป ก็จะให้ลูกตัวเมียและตัวผู้ในอัตราส่วน 2:1

ในพวกสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกบางชนิด เช่น พวก Amblystoma จากการทดลองพบว่าสามารถจะทำการเปลี่ยนเพศจากตัวเมียให้กลายเป็นตัวผู้ได้ โดยการนำอัณฑะไปฝังไว้ในตัวอ่อนตัวเมีย หรือโดยการฉีดฮอร์โมนส์เข้าไป

ในพวกวัวพบว่าถ้าหากมันมีลูกแฝดต่างเพศอยู่ด้วยกัน ตัวเมียมักจะพัฒนาไปเป็น sterile intersex-like animal เรียกว่า freemartin มันจะมีลักษณะภายนอกเป็นเพศเมีย แต่อวัยวะภายในกลายไปทางตัวผู้ ส่วนตัวผู้จะเป็นปกติ การที่เป็นเช่นนี้เป็นเพราะมีการเชื่อมถึงกันของสายรกขณะที่อยู่ในท้องแม่ ทำให้กระแสเลือดของลูกวัวมีการเชื่อมถึงกันได้ ทำให้ฮอร์โมนส์ที่ตัวผู้สร้างขึ้นไปยับยั้งการพัฒนาการของอวัยวะเพศภายในของลูกวัวตัวเมียทั้ง ๆ ที่มี sex chromosome เป็นฝ่ายตัวเมีย ซึ่งแสดงว่าในพวกวัว การสร้างฮอร์โมนส์เพศผู้จะเกิดขึ้นเร็วกว่าการสร้างฮอร์โมนส์เพศเมีย

Sex-influenced or sex-controlled characters

ลักษณะบางอย่างจะถูกควบคุมโดยยีนส์ที่อยู่บน autosomes ซึ่งมีปรากฏอยู่ในทั้งสองเพศเหมือน ๆ กัน แต่การที่ alleles ของมันจะเป็นลักษณะเด่นหรือด้อยนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของเพศ เพราะจะมีอิทธิพลของฮอร์โมนส์เพศเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย

จากการศึกษาลักษณะสีของขนตามลำตัวของวัวพันธุ์ Ayrshire ซึ่งมีสีขนตามลำตัวสองแบบด้วยกันคือ จุดแดงบนพื้นขาว (red and white) และจุดน้ำตาลเข้มปนแดงบนพื้นขาว (mahogany and white) เมื่อนำวัวที่มี homozygous genotypes ในลักษณะทั้งสองมาผสมกัน ได้ผลดังนี้

P: ♀ Red and white x ♂ Mahogany and white

OR

♀ Mahogany and white x ♂ Red and white

↓

F_1: ♂ Mahogany and white

♀ Red and white

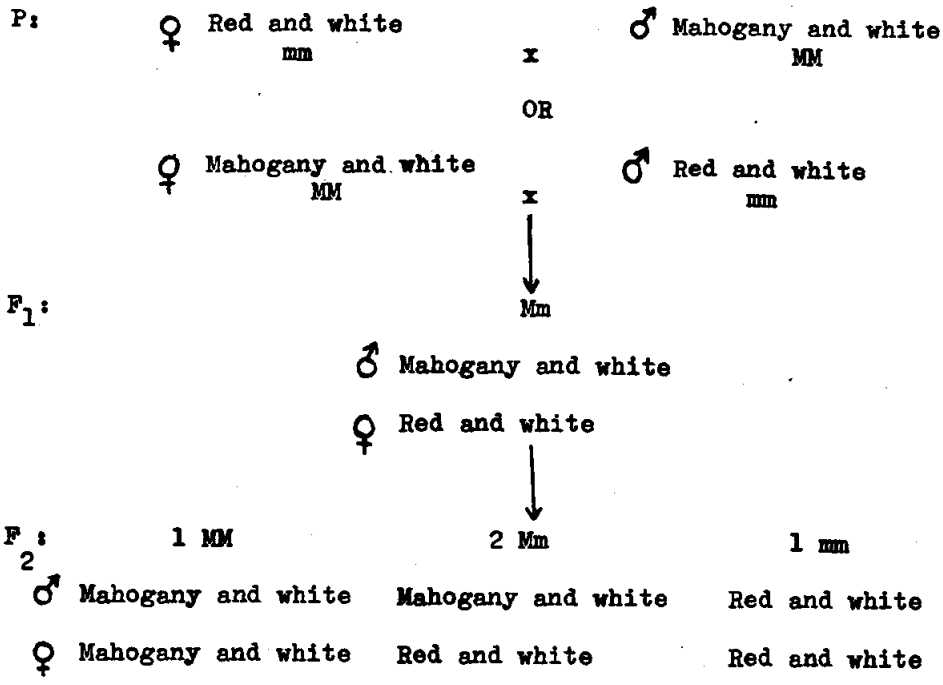
↓

F_2: ♂ 3 Mahogany and white : 1 red and white

♀ 1 Mahogany and white : 3 red and white

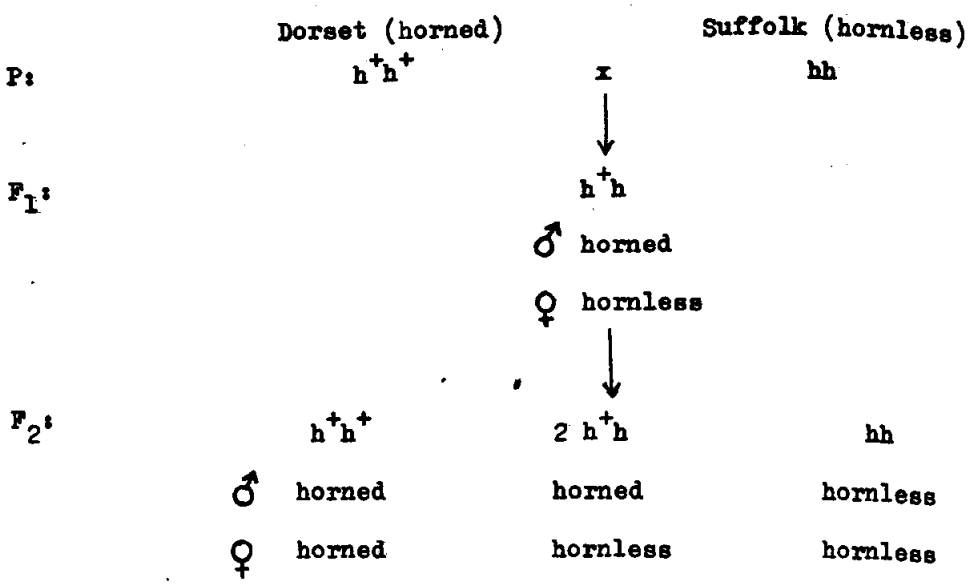
จากการผสมแบบ reciprocal crosses ดังกล่าวปรากฏว่าได้ผลเหมือนกัน คือใน F_1 ตัวผู้จะมีลักษณะ mahogany and white หมด ส่วนตัวเมียจะมีลักษณะ red and white หมด ส่วนใน F_2 ตัวผู้จะมีลักษณะ mahogany and white กับ red and white ในอัตราส่วน 3:1 แต่ทางด้านตัวเมียจะพบลักษณะทั้งสองในอัตราส่วน 1:3 แสดงว่าลักษณะสีขนตามลำตัวนี้ไม่ได้ถูกควบคุมโดยยีนส์ที่อยู่บนโครโมโซมเพศ แต่การแสดงออกของมันจะขึ้นอยู่กับเพศของวัวโดย ลักษณะ mahogany and white จะเป็นลักษณะข่มในวัวตัวผู้ และเป็นลักษณะด้อยในวัวตัวเมีย

ถ้ากำหนดให้ allele M นำลักษณะ mahogany and white และ allele m นำลักษณะ red and white เราสามารถจะเขียนแผนผังแสดงผลการทดลองดังกล่าวได้ดังรูปที่ 11-5 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการที่ heterozygote จะแสดงลักษณะออกมาเป็นแบบไหนนั้นขึ้นอยู่กับว่าวัวตัวนั้นเป็นเพศอะไร ถ้าเป็นตัวผู้ก็จะแสดงลักษณะ mahogany and white ออกมา แต่ถ้าเป็นตัวเมียจะมีลักษณะ red and white



รูปที่ 11-5 แสดงผลจากการผสมแบบ reciprocal crosses ระหว่างวัวที่มี homozygous genotypes ในลักษณะ red and white กับ mahogany and white

ลักษณะการมีเขาในแกะบางพันธุ์ซึ่งถูกควบคุมโดย autosomal gene จะแสดงออกมาผิดกันใน เพศผู้และ เพศ เมีย เนื่องจากการมีฮอร์โมนส์ของ เพศผู้หรือ เพศ เมียปรากฏอยู่ ตัวอย่าง เช่น ในแกะพันธุ์ Dorset ทั้งตัวผู้และตัว เมียจะมี เขา (horned) และมียีนส์ที่นำลักษณะการมี เขาอยู่ในสภาพ homozygous h^+h^+ ส่วนในแกะอีกพันธุ์หนึ่งคือ Suffolk จะไม่มี เขา (hornless) ทั้งสอง เพศและมี genotype เป็น hh เมื่อนำแกะทั้งสองพันธุ์นี้มาผสมพันธุ์กัน ได้ F_1 ซึ่งถ้าเป็นตัวผู้จะมี เขา และถ้าเป็นตัว เมียจะไม่มี เขา โดย เหตุที่ทั้งสอง เพศมี genotype เดียวกันคือ h^+h แสดงว่ายีนส์ที่นำลักษณะการมี เขาแสดงลักษณะ เด่นในตัวผู้ และแสดงลักษณะด้อย ในตัว เมีย และ เมื่อนำ F_1 มาผสมพันธุ์กันต่อ ก็พบว่าใน F_2 ที่ เป็นตัวผู้จะได้แกะที่มี เขาและไม่มี เขาในอัตราส่วนประมาณ 3:1 แต่ในพวกตัว เมียจะได้แกะมี เขาและไม่มี เขาในอัตราส่วน 1:3 ดังรูปที่ 11-6 ซึ่งผลจากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการแสดงออกของแต่ละ allele นั้นจะมีฮอร์โมนส์ เพศ เกี่ยวข้องด้วย



รูปที่ 11-6 แสดงผลจากการผสมพันธุ์ระหว่างแกะพันธุ์ที่มีเขากับพันธุ์ที่ไม่มีเขา

ในคนแม้ว่าลักษณะศีรษะล้านจะเกิดได้จากหลายสาเหตุก็ตาม แต่ก็มีสาเหตุหนึ่งที่เป็นผลจากกรรมพันธุ์ มียีนส์ควบคุมอยู่หนึ่งคู่และมีอิทธิพลของฮอร์โมนส์เพศเกี่ยวข้องด้วยเช่นกัน โดยลักษณะนี้จะเป็นลักษณะเด่นในผู้ชายและเป็นลักษณะด้อยในผู้หญิง อาจแสดงด้วย genotypes และ phenotypes ดังตารางที่ 11-2 ซึ่งจากตารางนี้จะเห็นได้เด่นชัดว่าทำไมลักษณะศีรษะล้านจึงพบในผู้ชายมากกว่าในผู้หญิง

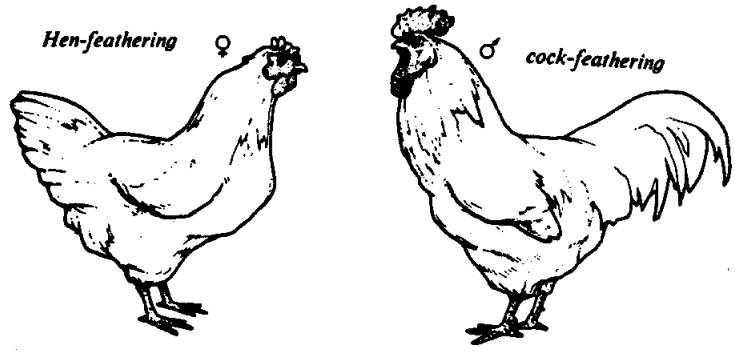
ตารางที่ 11-2 Genotypes และ phenotypes ของผู้ชายและผู้หญิงในลักษณะศีรษะล้าน b^+ = bald, b = not bald

Genotypes	Men	Women
b^+b^+	bald	bald
b^+b	bald	not bald
bb	not bald	not bald

Sex-limited characters

มีหลายลักษณะด้วยกันที่ถูกควบคุมโดยยีนส์ที่อยู่บน autosomes แต่สามารถจะแสดงออกมาได้ก็ต่อเมื่อมีการปรากฏหรือไม่ปรากฏอยู่ของฮอร์โมนส์จากเพศใดเพศหนึ่งเท่านั้น มันจะไม่แสดงออกในอีกเพศหนึ่งเลย

ในไก่แทบทุกพันธุ์ตัวผู้และตัวเมียจะมีลักษณะขนแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ดังรูปที่ 11-7 แต่ในไก่บางพันธุ์ เช่น Sebright bantams ทั้งตัวผู้และตัวเมียจะมีแต่ขน



รูปที่ 11-7 แสดงลักษณะขนแบบตัวเมีย (hen-feathered) และขนแบบตัวผู้ (cock-feathered) โดยขนแบบตัวผู้จะยาวเป็นพวงที่คอและหาง

แบบตัวเมีย (hen-feathered) เท่านั้น ส่วนไก่อีกพันธุ์หนึ่งคือ Hamburgh ตัวผู้จะมีขนได้ทั้งสองแบบ คือ แบบตัวเมีย และแบบตัวผู้ (cock-feathered) แต่ในตัวเมียจะมีขนแบบตัวเมียเพียงอย่างเดียว จากการทดลองผสมพันธุ์พบว่าลักษณะขนตัวเมียเป็นลักษณะข่มควบคุมโดยยีนส์ h^+ และลักษณะขนตัวผู้เป็นลักษณะด้อยควบคุมโดยยีนส์ h แต่ทว่าลักษณะขนแบบตัวผู้นั้นนอกจากจะขึ้นอยู่กับ genotype แล้วยังขึ้นอยู่กับว่าไก่ตัวนั้นต้องเป็นตัวผู้อีกด้วย ในไก่ตัวเมียแม้จะมี homozygous recessive genotype ก็ยังคงมีขนแบบตัวเมียอยู่นั่นเอง อาจสรุป genotypes และ phenotypes ต่าง ๆ ของไก่ทั้งสองเพศได้ดังตารางที่ 11-3

ตารางที่ 11-3 Genotypes และ phenotypes ของไก่ตัวผู้และตัวเมีย

Genotypes	Males	Females
h^+h^+	hen-feathered	hen-feathered
h^+h	hen-feathered	hen-feathered
hh	cock-feathered	hen-feathered

ในไก่พันธุ์ Hamburgh ที่มี genotype hh ถ้าเป็นตัวผู้จึงมีขนแบบตัวผู้ และตัวเมียจะมีขนแบบตัวเมีย ส่วนพันธุ์ Sebright bantams จะมี genotype h^+h^+ จึงทำให้ทั้งตัวผู้และตัวเมียมีขนแบบตัวเมีย ถ้าหากนำไก่ทั้งสองพันธุ์มาผสมกัน การที่ลูกจะแสดงลักษณะขนตัวผู้ออกมาได้นั้น นอกจากจะขึ้นอยู่กับ genotype แล้ว ยังขึ้นอยู่กับการปรากฏของฮอร์โมนส์เพศผู้อีกด้วย ดังนั้นในตัวเมียทุกตัวจึงมีลักษณะขนแบบตัวเมีย ไม่ว่าจะมี genotype เป็นแบบไหนก็ตาม และถ้าหากว่าตัวผู้มี dominant allele h^+ อยู่ก็จะมีขนแบบตัวเมีย ยกเว้นแต่ genotype hh เท่านั้นที่จะมีลักษณะขนแบบตัวผู้ได้ จากการทดลองผ่าตัดเอารังไข่ของไก่ตัวเมียที่มี genotype hh ออก ปรากฏว่ามันสามารถจะสร้างขนแบบตัวผู้ขึ้นมาได้ จึงแสดงว่าฮอร์โมนส์จากเพศเมียสามารถจะยับยั้งการแสดงออกของ hh ไม่ให้สร้างขนแบบตัวผู้ได้

ใน clover butterfly ตัวผู้จะมีสีเหลือง แต่ตัวเมียมีสองชนิดคือ สีเหลืองและสีขาว โดย W จะนำลักษณะสีขาว เป็นลักษณะเด่นต่อ w ที่นำลักษณะสีเหลือง ซึ่งฝ่ายตัวเมียเท่านั้นที่จะมีลักษณะปรากฏออกมาตาม genotype ที่มีอยู่ แต่ฝ่ายตัวผู้จะมีแต่สีเหลือง ไม่ว่าจะมี genotype แบบใดก็ตาม (ตารางที่ 11-4)

ตารางที่ 11-4 Genotypes และ phenotypes ของ clover butterfly ตัวผู้และตัวเมีย

Genotypes	Males	Females
WW	yellow	white
Ww	yellow	white
ww	yellow	yellow

ลักษณะอื่น ๆ ที่เป็น sex-limited ที่พอจะนำมากล่าวได้อีกได้แก่ ลักษณะความสามารถในการให้น้ำนม ในพวกวัวนมมันจะแสดงออกมาเฉพาะในตัวเมียซึ่งเป็นเพศที่มีต่อมน้ำนม และสามารถจะสร้างฮอร์โมนส์เพศขึ้นมากระตุ้นให้มีการสร้างน้ำนมขึ้นมาได้เท่านั้น เราจะสังเกตเห็นว่าวัวพ่อพันธุ์ที่มาจากพันธุ์ที่ให้น้ำนมดี สามารถจะนำไปผสมกับวัวพันธุ์อื่นเพื่อถ่ายทอดลักษณะการให้น้ำนมมากแก่วัวเหล่านั้นได้ แสดงว่าในวัวพ่อพันธุ์นั้นจะต้องมียีนส์ที่นำลักษณะการให้นมมากอยู่ด้วย แต่ตัวมันเองไม่สามารถจะให้น้ำนมได้ เพราะเป็นเพศผู้

ในคน เราจะพบได้ว่าลักษณะการมีเคราคดหรือการมีหนวดมักจะพบมากในหมู่ชาย แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าผู้หญิงจะไม่มียีนส์ที่นำลักษณะเหล่านี้อยู่ เพียงแต่ว่ามันแสดงออกมาไม่ได้ เนื่องจากขาดฮอร์โมนส์บางอย่าง