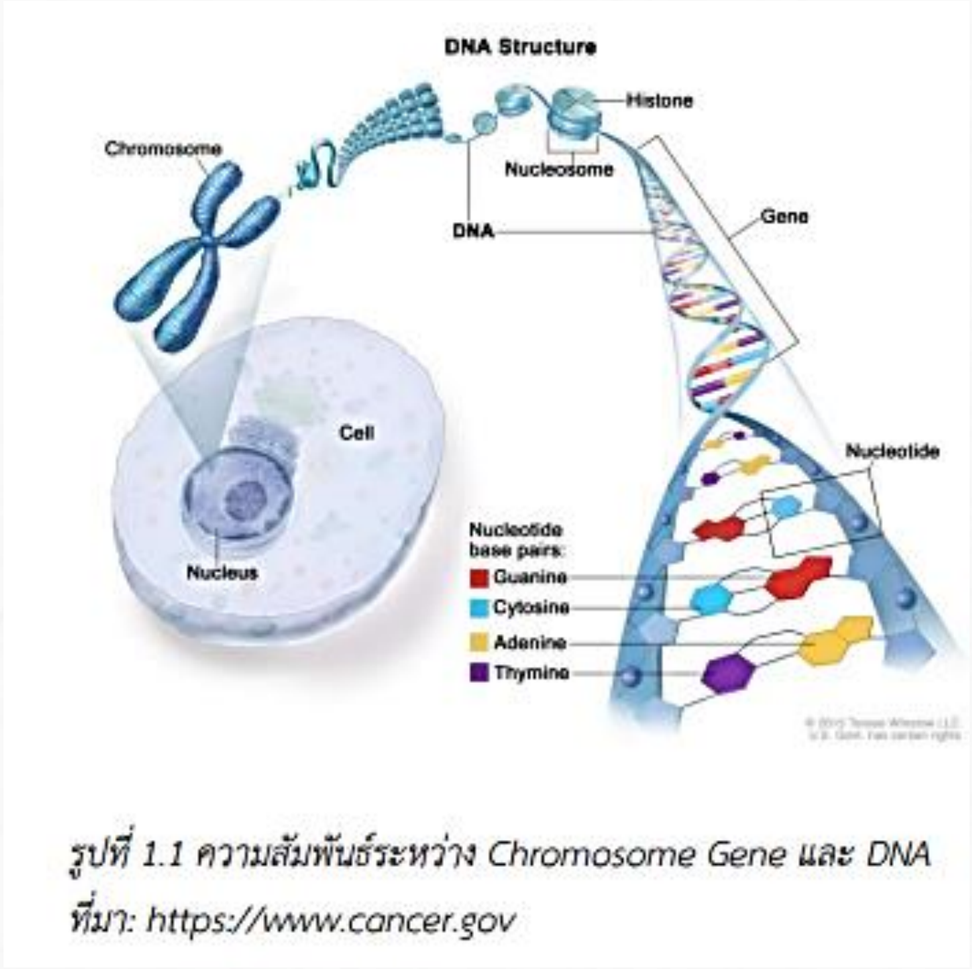
หน่วยที่ 1พันธุศาสตร์

Genetics

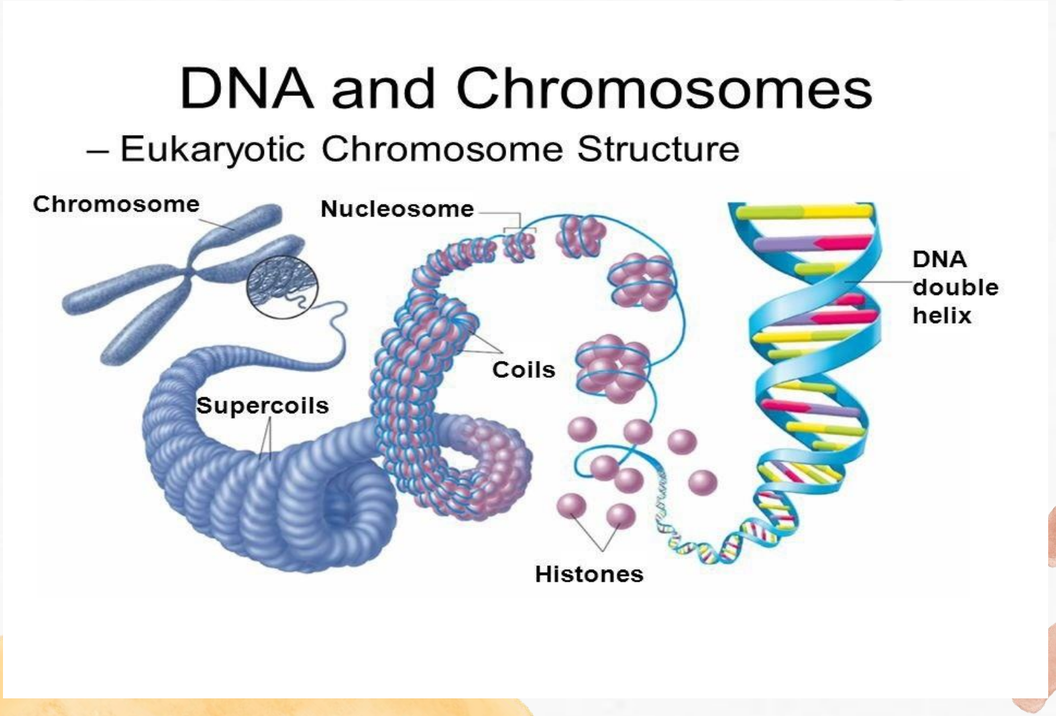
เป็นวิชาที่เกี่ยวข้องกับศึกษาการถ่ายทอดทางพันธุกรรม ซึ่งจะอธิบายให้รู้ว่า ลักษณะทางพันธุกรรมที่พ่อแม่ถ่ายทอดให้ลูกนั้นเป็นอย่างไร เป็นการศึกษาเรื่อง gene ซึ่งเป็นข้อมูล ทางพันธุกรรมที่เรียงอยู่บน chromosome ใน nucleus ที่มีอยู่จำนวนมากมายเรียงต่อกันเป็นสาย คล้ายลูกปัด



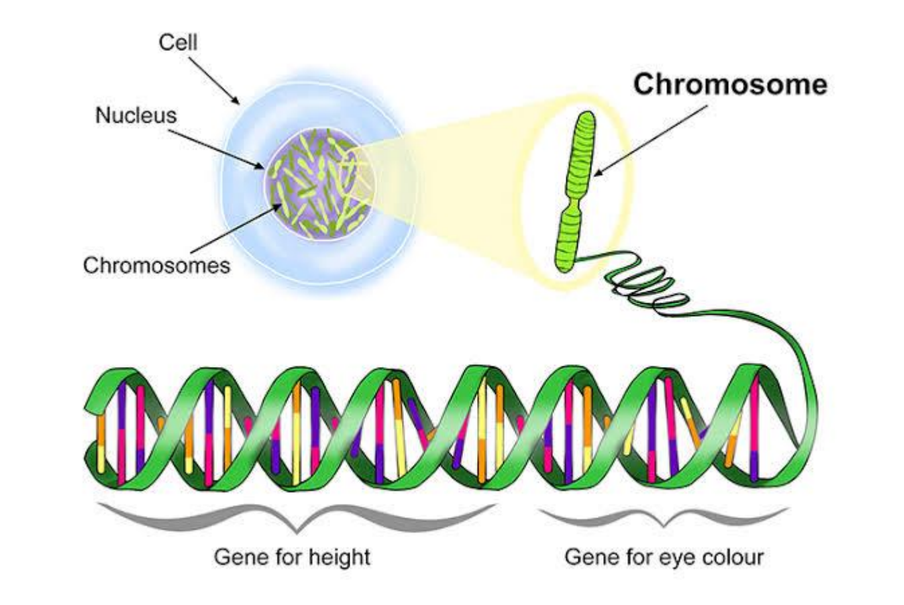
รูปที่ 1.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Chromosome Gene และ DNA

ที่มา: https://www.cancer.gov

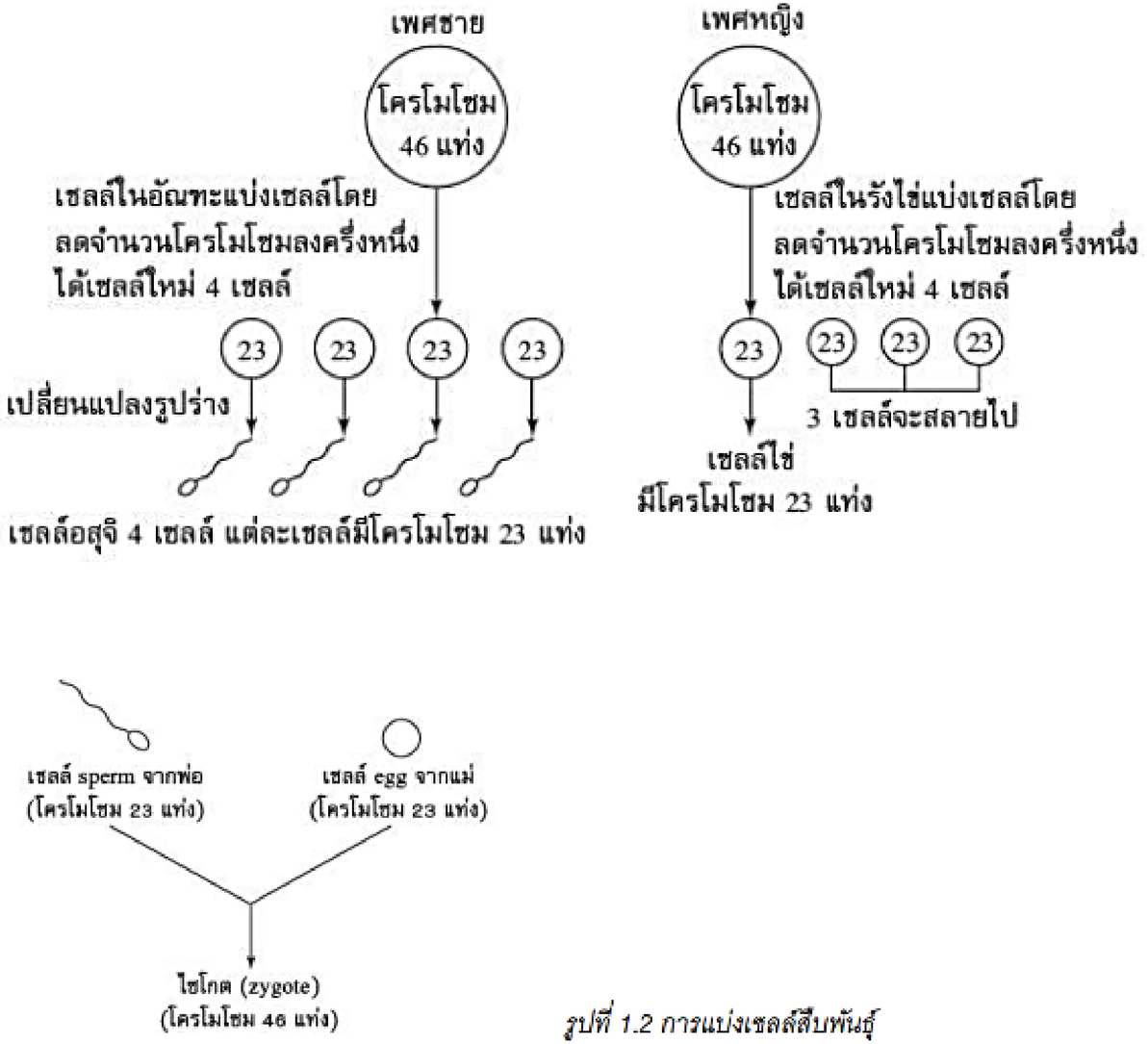
Chromosomes is a structure made of DNA and Chromatin. Chromosomes thereby harbors the DNA which in turn harbors the genetic information. In the condensed form, chromosomes allow the genetic information to be passed on to the daughter cells during the cell division process and thereby they have in the genetic information transmission.



Chromosome หนึ่งๆ มี gene ควบคุมลักษณะต่างๆ เป็นพันลักษณะ ภายใน gene พบว่ามีสารเคมีที่สำคัญชนิดหนึ่ง คือ **DNA** หรือเรียกว่า สารพันธุกรรม ซึ่งเป็นโครงสร้างประกอบด้วยสายยาว 2 เส้น พันกันเป็นเกลียวคู่แบบบันไดเวียน ทำหน้าที่กำหนดกิจกรรมต่างๆ ภายในเซลล์ โดยควบคุมการสังเคราะห์โปรตีนชนิดต่างๆ เช่น เอนไซม์ เฮโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง และฮอร์โมนบางชนิด เป็นต้น



gene ของพ่ออยู่ภายใน nucleus ของ sperm cell และ gene ของแม่อยู่ภายใน nucleus ของ egg cell เมื่อมีการสืบพันธุ์จะเกิด fertilization ทำให้ nucleus ของ sperm cell รวมกับ nucleus ของ egg cell ได้ nucleus ของเซลล์ใหม่ เรียกว่า zygote ซึ่งเป็นเซลล์เริ่มต้นของสิ่งมีชีวิตใหม่หรือลูก ดังนั้นลูกจึงมีgene มาจากพ่อครึ่งหนึ่งและจากแม่อีกครึ่งหนึ่ง สิ่งที่พ่อแม่ส่งผ่านมายังลูกนี้เรียกว่า **genetic character**



รูปที่ 1.2 การแบ่งเซลล์สืบพันธุ์

ที่มา: https://sites.google.com/

คำศัพท์พื้นฐานทางพันธุศาสตร์

Gene = ...

Allele = ...

Gamete = ...

Genotype = ...

Phenotype = ...

Homozygous = ...

Heterozygous = ...

Dominant = ...

Recessive = ...

Complete dominant = ...

Incomplete dominant =.....

Codominant = ...

Test cross = ...

Monohybrid cross = ...

Dihybrid cross = ...

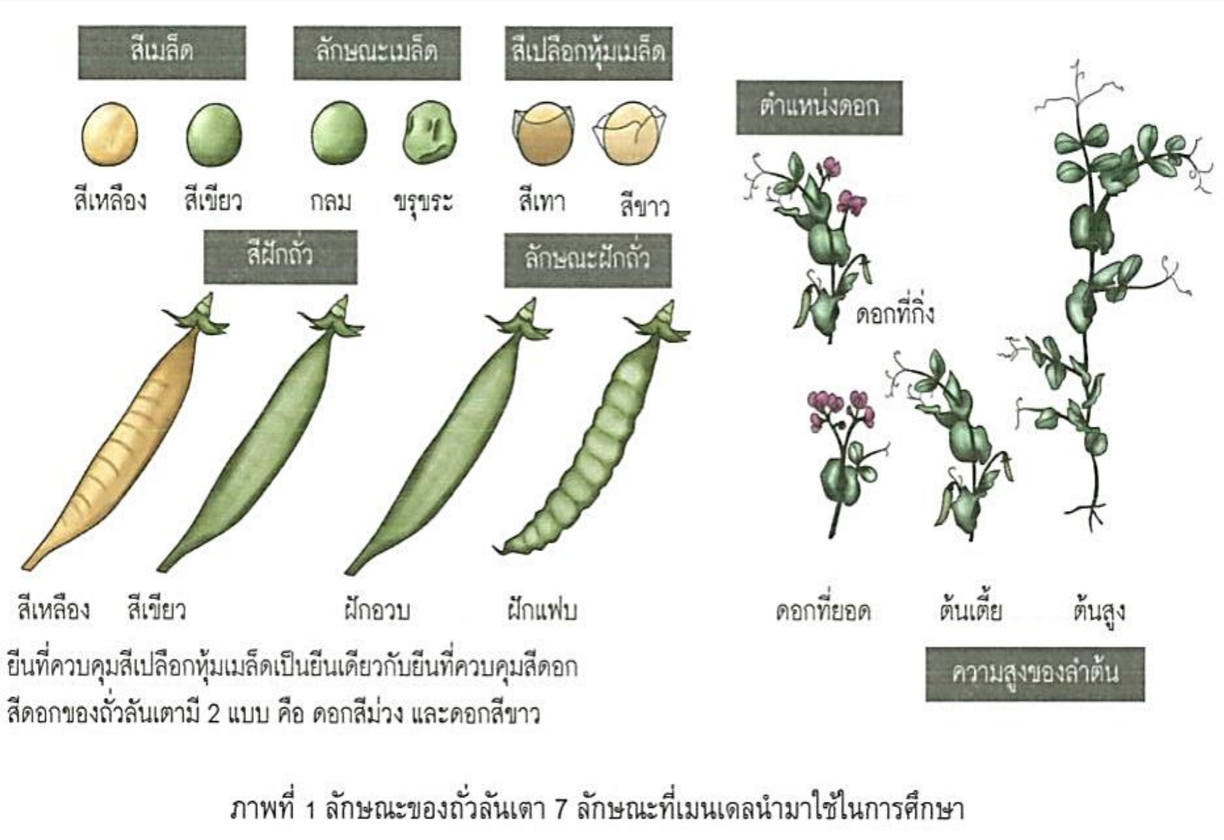
ทำการทดลองผสมพันธุ์ถั่วลันเตา
และสังเกตลักษณะของถั่ว

กฎการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม

แฟกเตอร์ (Factor) คือสิ่งที่ทำหน้าที่ควบคุม
ลักษณะกรรมพันธุ์ เป็นหน่วยเฉพาะที่อยู่ใน
สิ่งมีชีวิต และสามารถถ่ายทอดให้รุ่นลูกได้

เกรเกอร์ โยฮัน เมนเดล

ลักษณะของถั่วลันเตาที่เมนเดลใช้ศึกษา



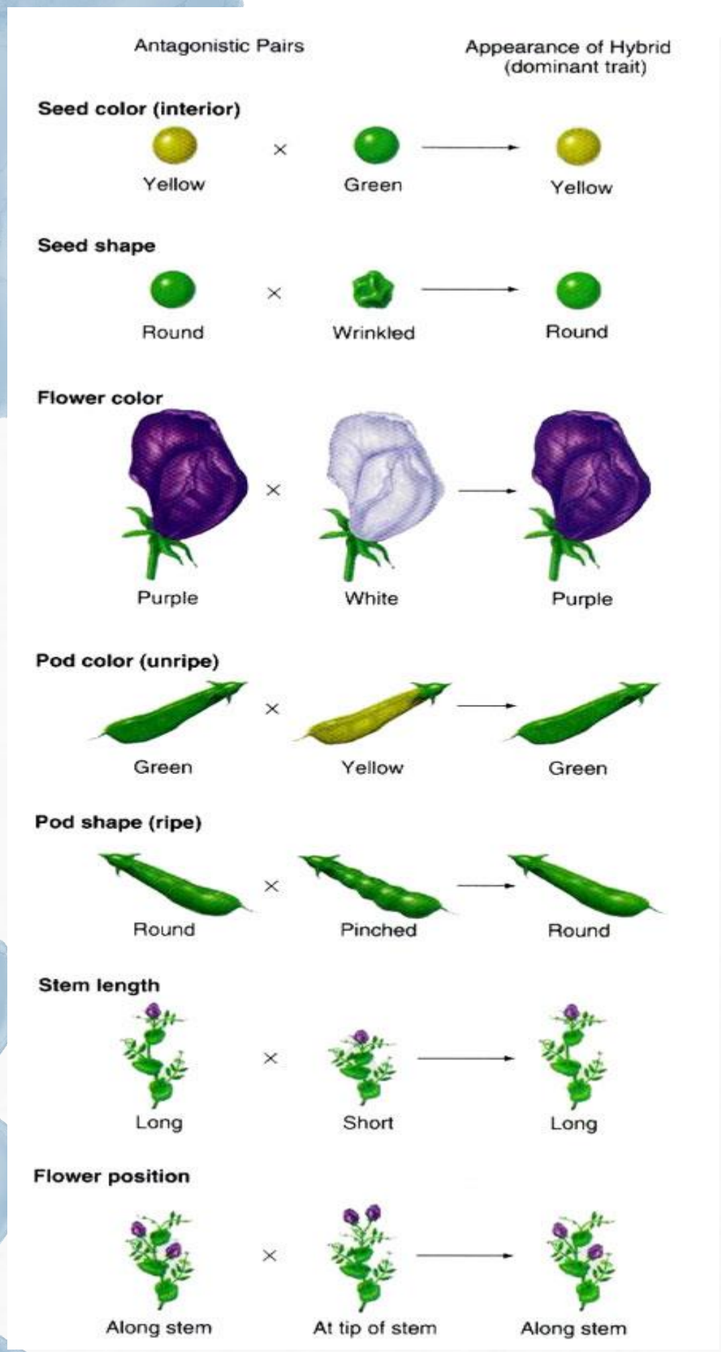
ยีนที่ควบคุมสีเปลือกหุ้มเมล็ดเป็นยีนเดียวกับยีนที่ควบคุมสีดอก
สีดอกของถั่วลันเตามี 2 แบบ คือ ดอกสีม่วง และดอกสีขาว

ภาพที่ 1 ลักษณะของถั่วลันเตา 7 ลักษณะที่เมนเดลนำมาใช้ในการศึกษา

1. ถั่วลันเตาเป็นพืชที่มีการผสมหรือปฏิสนธิในตนเอง (Self-Fertilization) ซึ่งทำให้ถั่วลันเตาสามารถเพาะพันธุ์ได้ง่าย หรือแม้แต่การทำการผสมข้ามสายพันธุ์ (Cross-Fertilization) เพื่อสร้างลูกผสมด้วยการถ่ายละอองเรณูโดยใช้มือช่วย (Hand pollination) ล้วนเป็นกรรมวิธีที่ไม่ยุ่งยาก

2. ถั่วลันเตาเป็นพืชที่เพาะปลูกง่ายและไม่ต้องการการทำนุบำรุงรักษามาก อีกทั้ง ใช้เวลาเพาะปลูกน้อย

3. ถั่วลันเตาแต่ละชนิดมีลักษณะทางพันธุกรรมที่แตกต่างกันชัดเจน เช่น ความสูงของลำต้น รูปร่างของเมล็ด และสีของดอก เป็นต้น

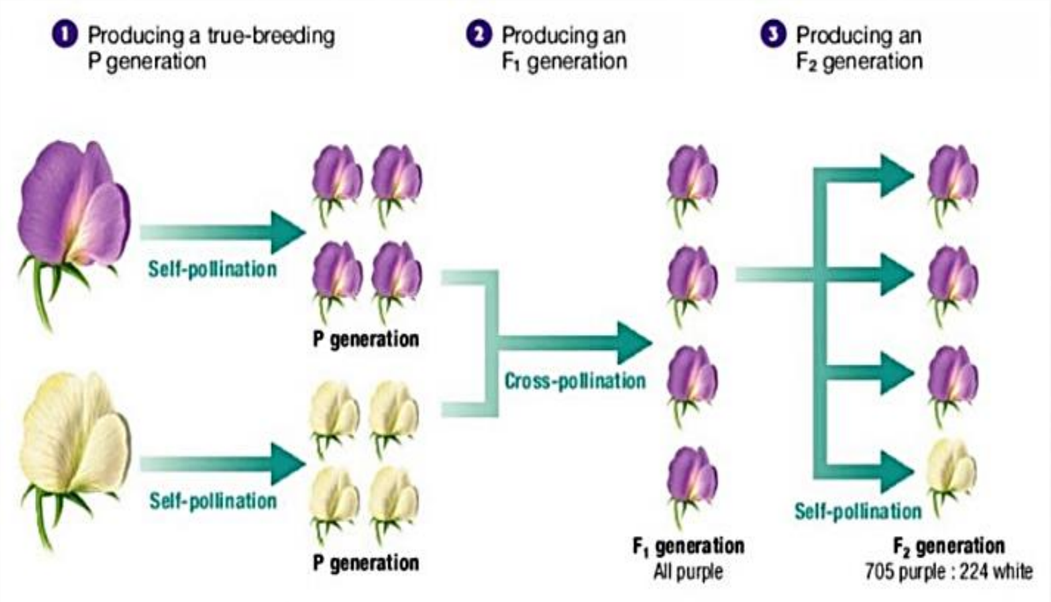


ขั้นตอนการทดลองของเมนเดล (Mendel ‘s experiment)

ขั้นที่ 1 หา parent generation หรือ P generation โดยการทำ self pollination ได้รุ่นพ่อแม่ ที่เป็นสีม่วงแท้ และขาวแท้

ขั้นที่ 2 หา first filial generation หรือ F1 generation โดยการนำรุ่น P มาผสมแบบ cross generation พบว่าได้ลูก F1 ทุกต้นเป็นลักษณะพันธุ์แท้ทั้งหมด

ขั้นที่ 3 หา Secondary generation หรือ F2 generation โดยนำรุ่น F1 มาผสมแบบ cross generation พบว่าได้ลูก F2 มี genotype อัตราส่วน 1 : 2 : 1 และ phenotyp อัตราส่วน 3 : 1



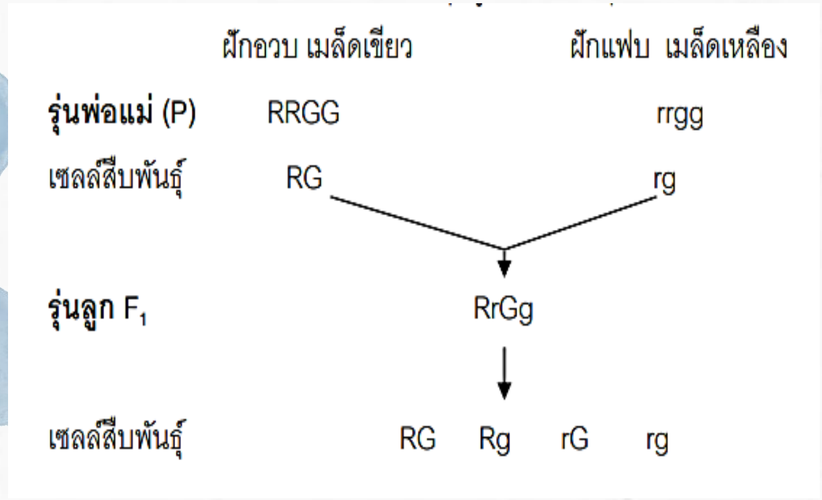
Character	Dominant Trait	×	Recessive Trait	F_2 Generation Dominant:Recessive	Ratio
Flower color	Purple	×	White	705:224	3.15:1
Flower position	Axial	×	Terminal	651:207	3.14:1
Seed color	Yellow	×	Green	6022:2001	3.01:1
Seed shape	Round	×	Wrinkled	5474:1850	2.96:1
Pod shape	Inflated	×	Constricted	882:299	2.95:1
Pod color	Green	×	Yellow	428:152	2.82:1
Stem length	Tall	×	Dwarf	787:277	2.84:1

การผสมพันธุ์ถั่วลันเตา โดยพิจารณาลักษณะเดียว (Monohybrid cross)

เป็นการผสมโดยพิจารณาหนึ่งลักษณะ คือ การผสมระหว่างพ่อ พันธุ์และแม่พันธุ์โดยพิจารณาลักษณะที่ต้องการผสม 1 ลักษณะ เช่น ต้นแม่พันธุ์ดอกสีแดงผสมกับต้น พ่อพันธุ์ดอกสีขาว ได้ลูกผสม F1 มีลักษณะเป็นลักษณะเด่นเพียงลักษณะเดียว ในขณะที่ลูกผสม F2 จะมีการแสดงออกสองลักษณะ คือลักษณะเด่นและลักษณะด้อยในอัตราส่วน phenotype เด่น : ด้อย เท่ากับ 3 : 1 และมีอัตราส่วนของ genotype เท่ากับ 1 : 2 : 1

การผสมพันธุ์ถั่วลันเตาโดยพิจารณาสองลักษณะ (Dihybrid cross)

เป็นการผสมโดยพิจารณาสองลักษณะ คือ การผสมระหว่างพ่อพันธุ์ และแม่พันธุ์โดย พิจารณาลักษณะที่ต้องการผสม 2 ลักษณะ ควบคู่กัน เช่น ต้นสูง ดอกสีม่วงผสมกับ ต้นเตี้ยดอกสีขาว ซึ่งเป็นการข่มอย่างสมบูรณ์ในรุ่น F2 จะได้phenotypic ratio เท่ากับ 9:3:3. :1



รุ่นลูก F_2

	Genotype	Phenotype	Genotype	Phenotype	Genotype	Phenotype	Genotype	Phenotype
	RG		Rg		rG		rg	
RG	RRGG	ฝักอวบ เมล็ดเขียว	RRGg	ฝักอวบ เมล็ดเขียว	RrGG	ฝักอวบเมล็ด เขียว	RrGg	ฝักอวบ เมล็ดเขียว
Rg	RRGg	ฝักอวบ เมล็ดเขียว	RRgg	ฝักอวบ เมล็ดเหลือง	RrGg	ฝักอวบเมล็ด เขียว	Rrgg	ฝักอวบ เมล็ดเหลือง
rG	RrGG	ฝักอวบ เมล็ดเขียว	RrGg	ฝักอวบ เมล็ดเขียว	rrGG	ฝักแฟบเมล็ด เขียว	rrGg	ฝักแฟบ เมล็ดเขียว
rg	RrGg	ฝักอวบ เมล็ดเขียว	Rrgg	ฝักอวบ เมล็ดเหลือง	rrGg	ฝักแฟบเมล็ด เขียว	rrgg	ฝักแฟบ เมล็ดแหลือง

พันธุศาสตร์ตามหลักของเมนเดล (Mendelian Genetics)

1. กฎแห่งการแยก (law of segration) ลักษณะของสิ่งมีชีวิตนั้นถูกควบคุมโดย gene และ gene จะปรากฏเป็นคู่ๆ เสมอ ในการสร้างเซลล์ gamete โดย gene ที่อยู่เป็นคู่ๆ จะแยกออกจากกันแล้วเข้าสู่เซลล์สืบพันธุ์เซลล์ละ 1 gene คือ จะเกิดการแบ่งเซลล์แบบ meiosis ทำให้จำนวน chromosome ลดลงครึ่งหนึ่ง เมื่อมีการผสมระหว่างเซลล์ gamete เช่น อสุจิกับไข่ gene ก็จะกลับมาเป็นคู่อีกเช่นเดิม

2. กฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ (law of idependent assortment) gene ที่แยกออกจาก gene ที่เป็นคู่กัน จะจัดกลุ่มอย่างอิสระกับ gene อื่นที่แยกออกจากคู่ จึงสามารถทำนายอัตราส่วนของเซลล์สืบพันธุ์ที่มีกลุ่มของ gene ต่างๆ ได้ เช่น จีโนไทป์ RrYy จะสร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้ 4 ชนิด คือ RY Ry rY และ ry ในอัตราส่วน 1:1:1:1 ทำให้เซลล์สืบพันธุ์ 4 ชนิดของทั้งพ่อและแม่ มีโอกาสจะมารวมกลุ่มอย่างอิสระ รุ่น F2 จึงมีลักษณะ phenotype ในอัตราส่วน 9:3:3:1

ข้อสรุปจากการวิเคราะห์ของเมนเดล

1. การถ่ายทอดลักษณะหนึ่งลักษณะใดของสิ่งมีชีวิตถูกควบคุมโดย factor เป็นคู่ๆ ต่อมา ปัจจัยเหล่านั้นถูกเรียกว่า gene

2. geneที่ควบคุมลักษณะต่างๆ จะอยู่กันเป็นคู่ๆ และสามารถถ่ายทอดไปยังรุ่นต่อไปได้

3. ลักษณะแต่ละลักษณะจะมีgene ควบคุม 1 คู่ โดยมีgene หนึ่งมาจากพ่อและอีก gene มาจากแม่

4. เมื่อมีการสร้างเซลล์gamete gene ที่อยู่เป็นคู่ๆ จะแยกออกจากกันไปอยู่ในเซลล์ สืบพันธุ์ของแต่ละเซลล์ และ gene เหล่านั้นจะเข้าคู่กันได้ใหม่อีกในไซโกต

5. ลักษณะที่ไม่ปรากฏในรุ่น F1 ไม่ได้สูญหายไปไหนเพียงแต่ไม่สามารถแสดงออกมาได้

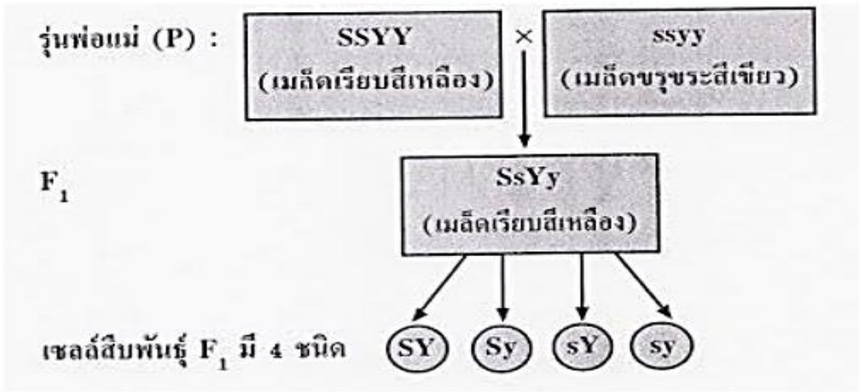
6. ลักษณะที่ปรากฏออกมาในรุ่น F1 มีเพียงลักษณะเดียวเรียกว่า ลักษณะเด่น (dominant) ส่วนลักษณะที่ปรากฏในรุ่น F2 และมีโอกาสปรากฏในรุ่นต่อไปได้น้อยกว่า เรียกว่า ลักษณะด้อย (recessive)

7. การผสมแบบ monohybrid crossในรุ่น F2 จะได้ลักษณะเด่นและลักษณะด้อยปรากฏ ออกมาเป็นอัตราส่วน เด่น : ด้อย = 3 : 1 เสมอ

การคำนวณหาอัตราส่วนทางพันธุศาสตร์

ตัวอย่าง ถ้าผสมถั่วเมล็ดเรียบสีเหลืองที่เป็น homozygous dominance กับถั่วเม็ดขรุขระสีเขียว ที่เป็น homozygous recessive จะได้ลูก F1 ถ้านำ F1 ผสมกันเอง จงหา F2 genotype และ F2 phenotype

วิธีที่1 Punet square



F2 Genotype

เซลล์สืบพันธุ์เพศผู้ / เซลล์สืบพันธุ์เพศเมีย	SY	Sy	sY	sy
SY	SSYY	SSYy	SsYY	SsYy
Sy	SSYy	SSyy	SsYy	Ssyy
sY	SsYY	SsYy	ssYy	ssYy
sy	SsYy	Ssyy	ssYy	ssyy

จาก Punet square สรุปได้ว่า

Genotype มี 9 ชนิด (16 Combinizations) คือ

1/16 SSYY	2/16Ssyy	2/16SSYy	1/16ssYY
1/16SSyy	2/16ssYy	2/16SsYY	1/16ssyy
4/16SsYy			

Phenotype 4 ชนิด คือ

9/16 เมล็ดเรียบสีเหลือง (S-Y-)

3/16 เมล็ดขุรขระสีเหลือง (ssY-)

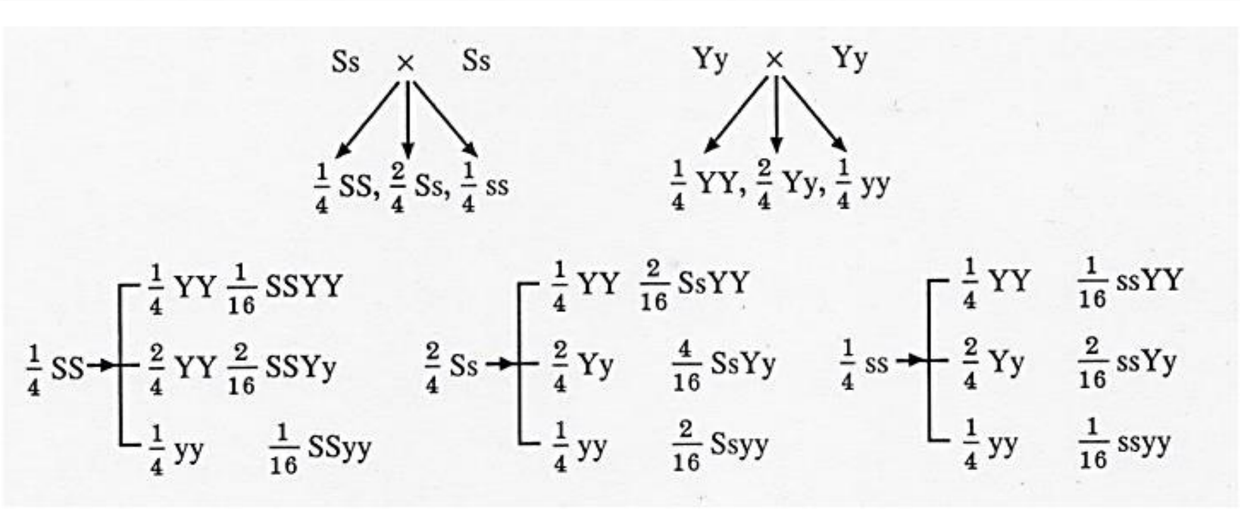
3/16 เมล็ดเรียบสีเขียว (S-yy)

1/16 เมล็ดขุรขระสีเขียว (ssyy)

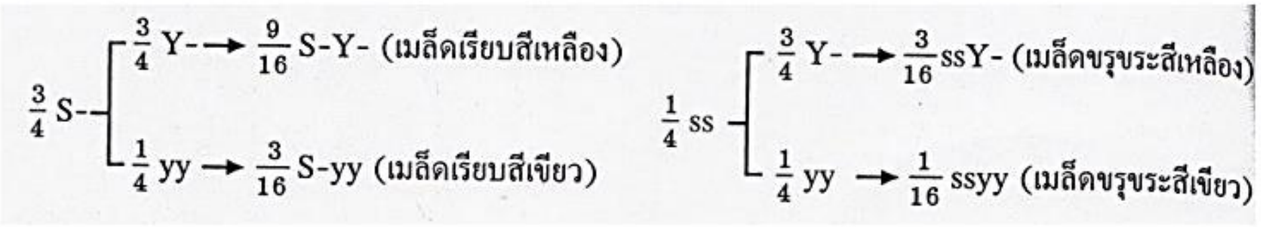
ตัวอย่าง ถ้าผสมถั่วเมล็ดเรียบสีเหลืองที่เป็น homozygous dominance กับถั่วเม็ดขรุขระสีเขียว ที่เป็น homozygous recessive จะได้ลูก F1 ถ้านำ F1 ผสมกันเอง จงหา F2 genotype และ F2 phenotype

วิธีที่ 2 Branching หรือ Fork-line method

หาชนิดและอัตราส่วน genotype: ทำได้โดยแยกคู่ gene แล้วผสมทีละลักษณะเป็น monohybrid cross พร้อมกับนำความน่าจะเป็นของแต่ละลักษณะมาคูณกัน



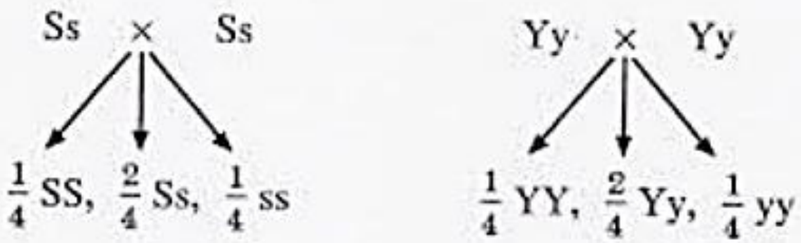
หาชนิดและอัตราส่วน phenotype: ให้รวม genotype ที่มีphenotype เป็นแบบ เดียวกัน แล้วนำไปผสมกันแต่ละลักษณะ โดยนำค่าความน่าจะเป็นมาคูณกัน



ตัวอย่าง ถ้าผสมถั่วเมล็ดเรียบสีเหลืองที่เป็น homozygous dominance กับถั่วเม็ดขรุขระสีเขียว ที่เป็น homozygous recessive จะได้ลูก F1 ถ้านำ F1 ผสมกันเอง จงหา F2 genotype และ F2 phenotype

วิธีที่ 3 Probability

ให้ผสม monohybrid cross และนำค่าความน่าจะเป็นของแต่ละลักษณะมาคูณเช่นกัน



จงหาโอกาสที่จะได้ genotype แบบ heterozygous ของทั้ง 2 ลักษณะ

จงหาโอกาสที่จะได้ genotype แบบ homozygous recessive ของทั้ง 2 ลักษณะ

จงหาโอกาสที่จะได้ phenotype เป็นเมล็ดเรียบสีเขียว

จงหาโอกาสที่จะได้ phenotype เป็นเมล็ดเรียบสีเหลือง

สูตรหาจำนวน Genotype = 3^n (เมื่อ n คือ จำนวนคู่ของ gene ที่อยู่ในสภาพ heterozygous)

ถ้า ผสม SsYy จะมี heterozygous gene 2 คู่คือ Ss และ Yy

ดังนั้น F2 จึงมี genotype 9 แบบ ($3^2 = 9$)

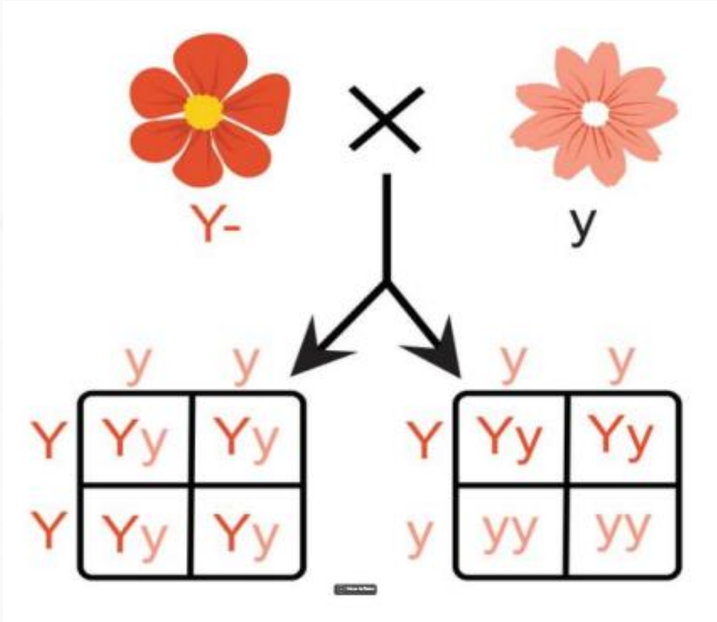
สูตรหาจำนวน Phenotype คือ 2^n (เมื่อ n คือ จำนวนคู่ของ gene ที่อยู่ในสภาพ heterozygous)

ถ้า ผสม SsYy จะมีheterozygous gene 2 คู่คือ Ss และ Yy

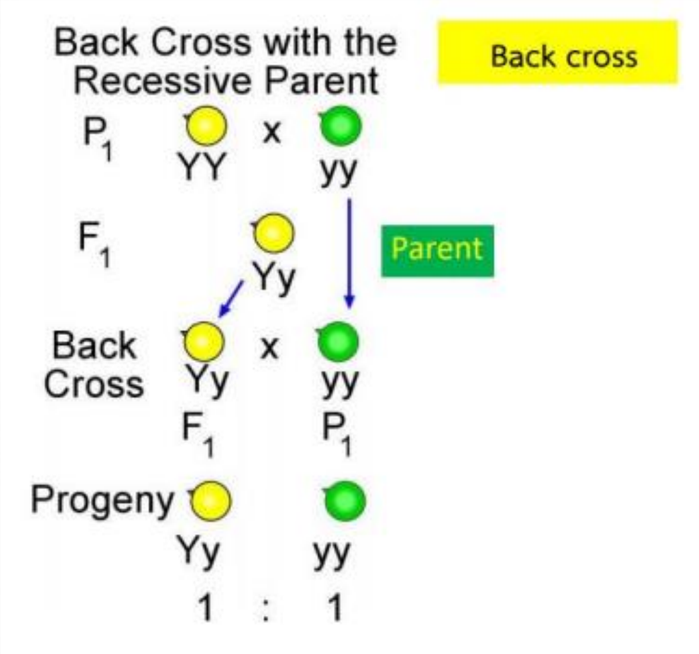
ดังนั้น F2 จึงมี phenotype 4 แบบ ($2^2 = 4$)

Test Cross และ Back Cross

การผสมเพื่อทดสอบ (Test Cross) คือ การนำสิ่งมีชีวิตที่สงสัยว่าเป็นลักษณะเด่นพันธุ์แท้หรือพันธุ์ผสม ไปผสมกับลักษณะด้อยของสิ่งมีชีวิตนั้น (tester) แล้วสังเกตอัตราส่วนของลูกที่ได้



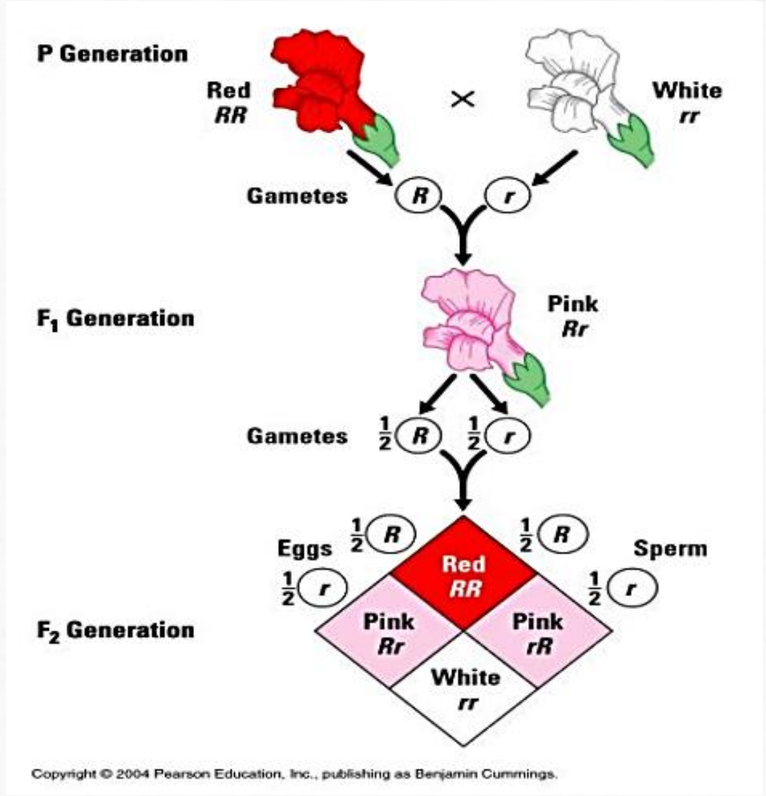
การผสมกลับ (Back Cross) คือการผสมพันธุ์โดยใช้พ่อพันธุ์หรือแม่พันธุ์ที่มีลักษณะด้อยผสมกับรุ่นต่อๆ ไปของพ่อพันธุ์หรือแม่พันธุ์เดิม



ลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของเมนเดล

Incomplete dominance

การถ่ายทอดลักษณะเด่นไม่สมบูรณ์หรือ การข่มแบบไม่สมบูรณ์ พบในสิ่งมีชีวิตบางอย่าง ที่ ลักษณะพันธุกรรมไม่สามารถข่มกันได้ เมื่อลักษณะ พันธุกรรมทั้งสองลักษณะอยู่ร่วมกัน สามารถ แสดงออกได้ทั้งสองลักษณะ ทำให้ลูกที่เกิดมามี ลักษณะของพ่อแม่รวมกัน ตัวอย่างเช่น ลักษณะสี ดอกลิ้นมังกรและดอกบานเย็น



Copyright © 2004 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

ลูกรุ่นที่ 1 แสดงลักษณะสีดอกแตกต่างกันจากต้นที่ใช้เป็นพ่อและแม่ ทั้งนี้เนื่องจากคู่ gene ที่ควบคุมดอกสีแดงและคู่ gene ที่ควบคุมดอกสีขาวต่างไม่สามารถข่มกันได้

ตัวอย่าง ลักษณะพันธุกรรมของเส้นผมในคน

กำหนดให้ H เป็น gene ควบคุมลักษณะผมหยิก

กำหนดให้ H' เป็น gene ควบคุมลักษณะผมเหยียดตรง

ดังนั้น genotype HH แสดงลักษณะผมหยิก H'H' แสดงลักษณะผมเหยียดตรง และ HH' แสดงลักษณะผมเป็นลอนหรือหยักศก พ่อและแม่ที่มีผมหยักศก จะมีโอกาสมีลูกที่มีลักษณะเส้นผมแตกต่างกัน คือ

พ่อและแม่ :	ผมหยักศก	x	ผมหยักศก			
Genotype :	HH'	x	HH'			
เซลล์สืบพันธุ์ :	H	H'	H	H'		
genotype รุ่น F1	HH	HH'	HH'	H'H'		
phenotype F1	ผมหยิก	ผมหยักศก	ผมหยักศก	ผมเหยียดตรง		
อัตราส่วน:	1	:	2	:	1	

แสดงว่า การถ่ายทอดลักษณะเส้นผมในคนเป็นลักษณะเด่นไม่สมบูรณ์

จีโนไทป์ที่เป็นเฮเทอโรไซกัสมีลักษณะค่อนไปทางโฮโมไซกัสของลักษณะเด่น

Codominance

การแสดงออกของลักษณะใดลักษณะหนึ่งของสิ่งมีชีวิตที่เกิด จากการทำงานร่วมกันของยีนที่ควบคุมลักษณะเด่นทั้งคู่ เนื่องจากไม่สามารถข่มกันและกันได้

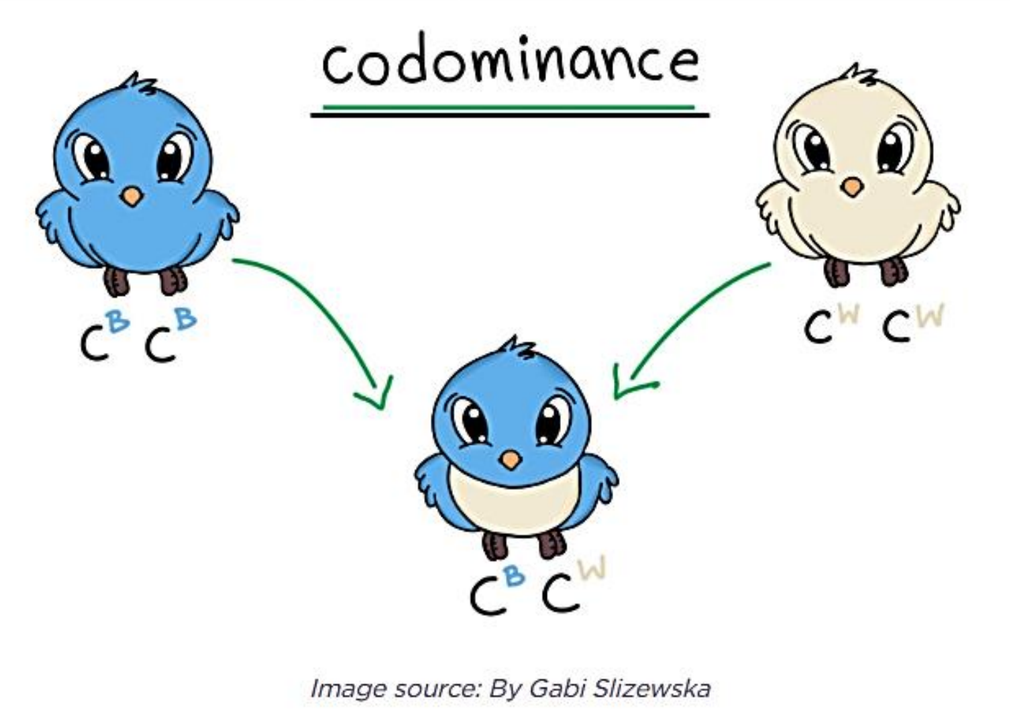
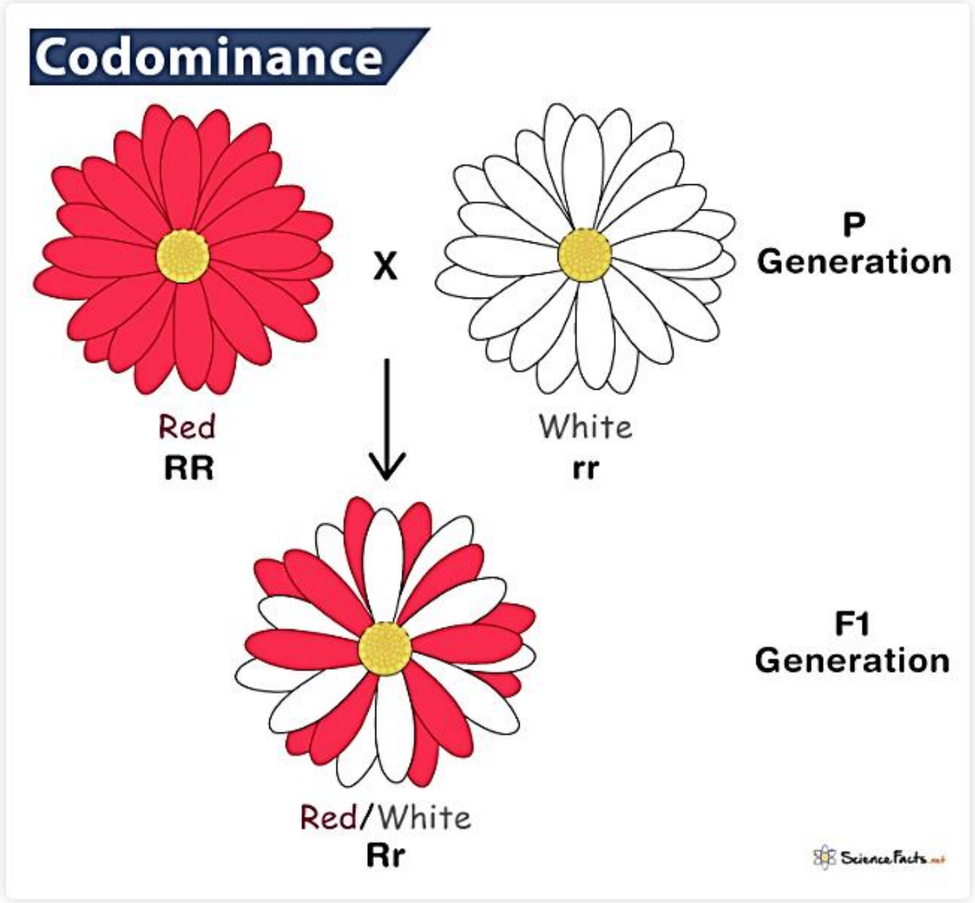


Image source: By Gabi Slizewska

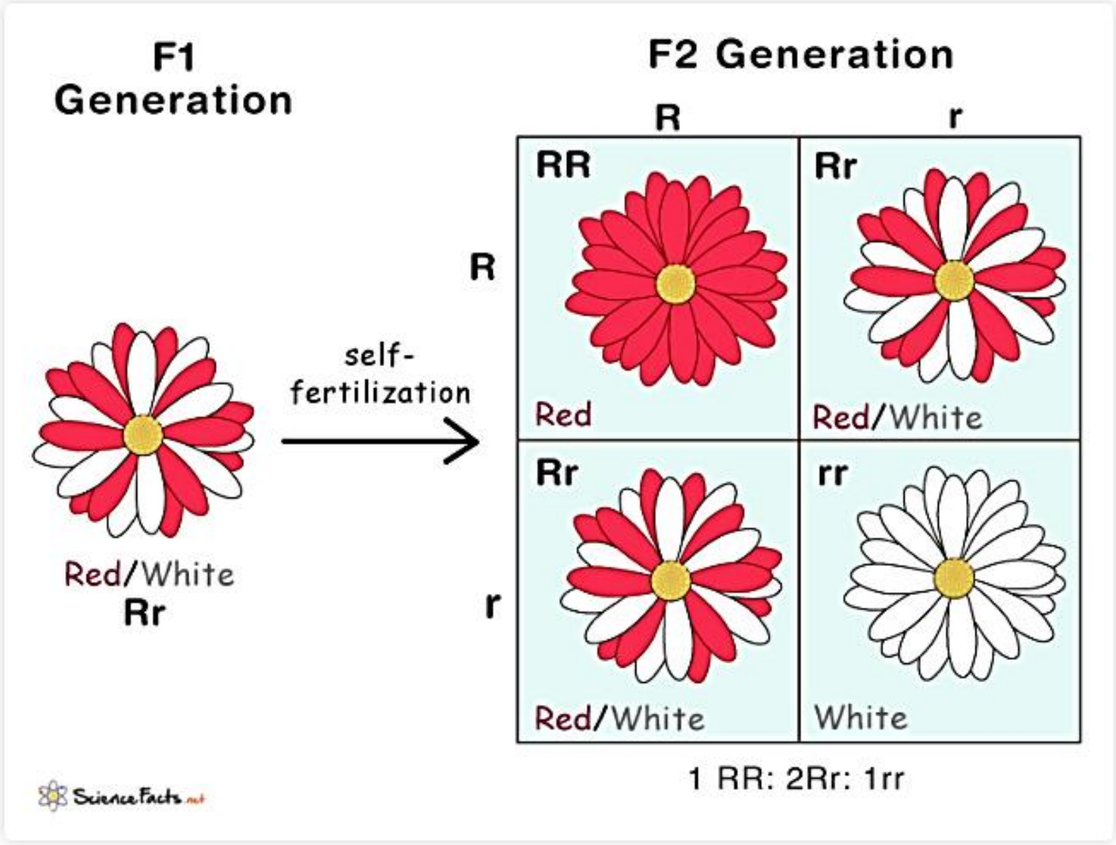
	พ่อหมู่เลือด A	แม่หมู่เลือด B
Genotype	I^AI^A	I^BI^B
เซลล์สืบพันธุ์	I^A	I^B
ลูกหมู่เลือด	AB	
Genotype	I^AI^B	



Codominance

Codominance Punnett Square

To understand the mechanism of codominance and verify if it follows Mendel's laws of inheritance, the botanists use Punnett square as shown below:



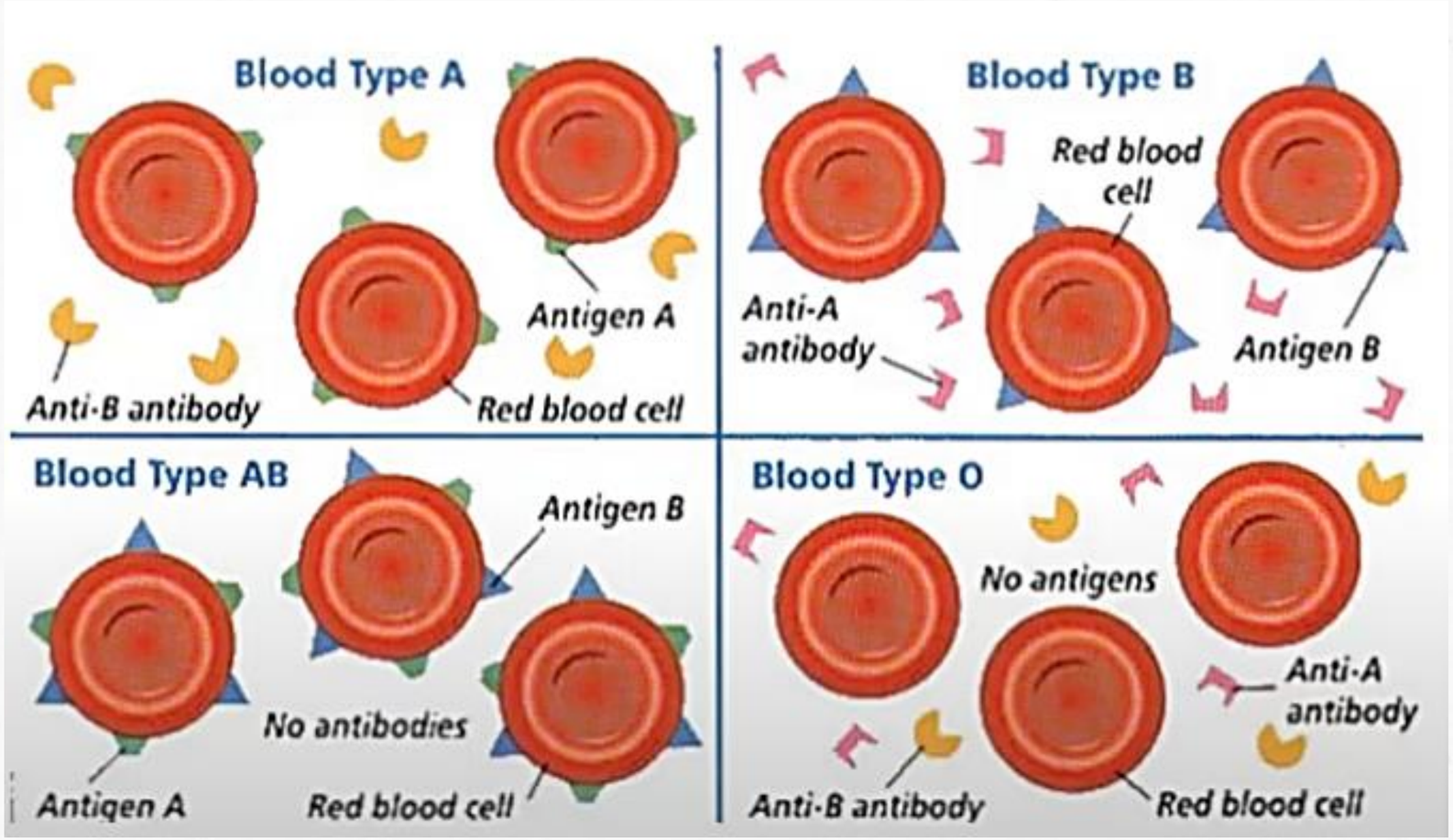
Codominance Punnett Square

Multiple alleles

เอฟ เบิร์นสไตน์ (F. Bernstein) เป็นคนแรกที่อธิบายการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม ของหมู่เลือดในระบบ ABO และ genotype และ phenotype ของหมู่เลือดระบบ ABO ดังตาราง

Genotype	Antigen	Phenotype
$I^A I^A$	A	A
$I^A i$	A	
$I^B I^B$	B	B
$I^B i$	B	
$I^A I^B$	A, B	AB
ii	Neither	O

Multiple Alleles. Blood type is governed by three alleles or genotypes (IA, IB, i) that dictate the blood types or phenotypes (A, AB, B, O).


Blood Type A
Antigen A
Anti-B antibody
Red blood cell
Blood Type B
Red blood cell
Anti-A antibody
Antigen B
Blood Type AB
Antigen B
No antibodies
Antigen A
Red blood cell
Blood Type O
No antigens
Anti-A antibody
Anti-B antibody
Red blood cell

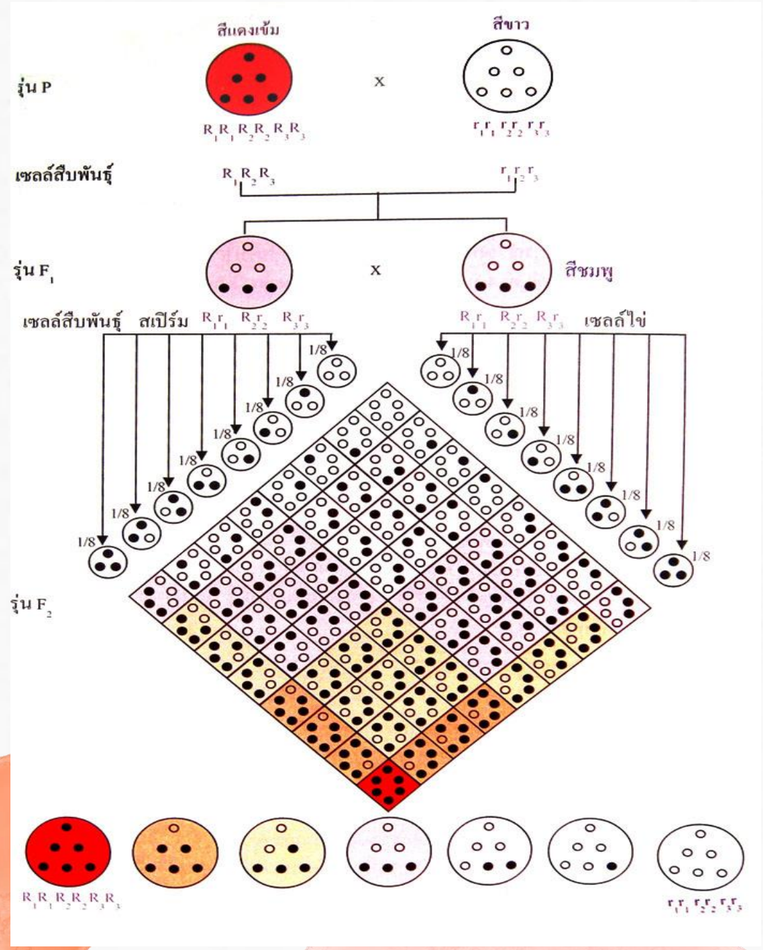
ลักษณะที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิตที่ควบคุมโดยยีน (Gene) และสามารถถ่ายทอดจากพ่อแม่ไปสู่ลูกได้แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. ลักษณะที่เกี่ยวข้องด้านปริมาณ (Quantitative Trait) เป็นลักษณะที่มีความแปรผันแบบต่อเนื่อง (Continuous Variation)
   - ไม่สามารถแยกเป็นหมวดหมู่ได้ จึงต้องอาศัยการวัด (Quantify) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ
   - ความแตกต่างของลักษณะจะปรากฏเป็นลำดับต่อเนื่องกัน
   - ถูกควบคุมโดยยีนหลายคู่
   - สิ่งแวดล้อมมีอิทธิพลต่อการแสดงออก
   - เช่น ความสูง น้ำหนัก สติปัญญา ความสามารถในการให้ผลผลิต

2. ลักษณะที่เกี่ยวข้องด้านคุณภาพ (Qualitative Trait) เป็นลักษณะที่แปรผันไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous Variation)
   - สามารถแยกเป็นหมวดหมู่ได้อย่างชัดเจน
   - ถูกควบคุมโดยยีนน้อยคู่
   - สิ่งแวดล้อมมีอิทธิพลต่อการแสดงออกน้อย
   - เช่น หมู่เลือด ลักยิ้ม การห่อลิ้น

Pollygene

กลุ่มของยีนหรือยีนหลายๆ คู่ที่อยู่บนโครโมโซมคู่เดียวกันหรือต่างคู่กัน (ก็ได้) ทำหน้าที่ร่วมกันในการ ควบคุมลักษณะพันธุกรรมหนึ่งๆ ของสิ่งมีชีวิต ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจน เช่น ลักษณะสีผิวของคน ความสูง สติปัญญา โดยการแสดงออกของลักษณะเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับอิทธิพลของสิ่งแวดล้อมด้วย



สมมุติว่า

ยีน R_1 R_2 R_3 เป็นยีนที่ควบคุมให้เมล็ดข้าวสาลีมีลักษณะสีแดง

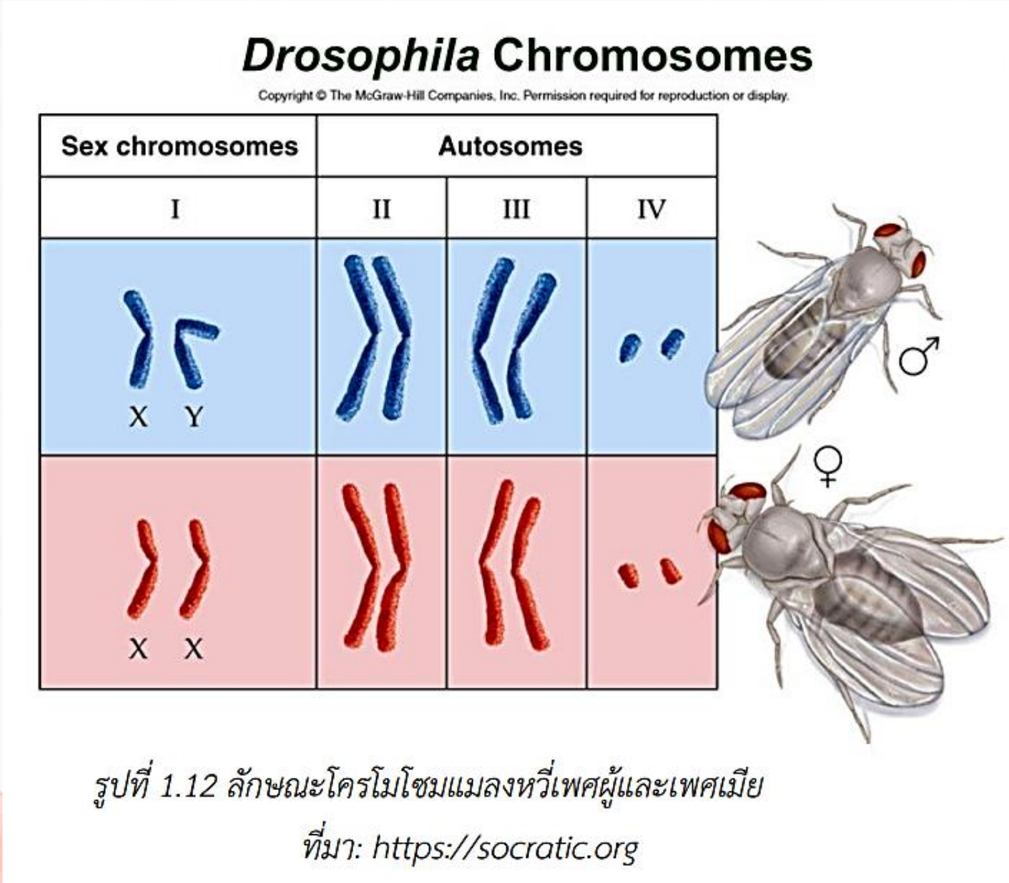
ยีน r_1 r_2 r_3 เป็นยีนที่ควบคุมให้เมล็ดข้าวสาลีมีสีขาว

การผสมพันธุ์ข้าวสาลีที่มีเมล็ดสีแดงเข้มพันธุ์แท้กับเมล็ด ข้าวสาลีสีขาวพันธุ์แท้ พบว่าลูกรุ่น F1 เมล็ดมีสีชมพู เมื่อให้รุ่น F1 ผสมพันธุ์กันเองรุ่น F2 ที่ได้ จะมีสี แตกต่างกัน แบ่งออกเป็น 7 กลุ่ม ตั้งแต่กลุ่มเมล็ดสีแดงเข้ม และกลุ่มที่เมล็ดมีความเข้มของสีแดงลด น้อยลงตามลำดับ จนถึงกลุ่มที่มีเมล็ดมีสีขาว

ดังนั้นเมล็ดข้าวสาลีที่มี genotype เป็น $R_1R_1R_2R_2R_3R_3$ จะแสดงลัดษณะเมล็ดสีแดงเข้ม ส่วน พวกที่มี genotype เป็น r_1 r_1 r_2 r_2 r_3 r_3 จะมีเมล็ดสีขาว ซึ่งความเข้มของสีแดงขึ้นอยู่กับจำนวน gene R หาก genotype มี gene ควบคุมให้มีสีแดงจำนวนมากขึ้น สีของเมล็ดก็จะเข้มขึ้นเป็นลำดับ และจะจำแนกความแตกต่างของ genotype ได้ถึง 7 แบบ ถ้ามีคู่ของ gene ที่ควบคุมลักษณะเดียวกันเพิ่มมากขึ้นเท่าใด ก็จะได้จำนวน genotype เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

Sex-linked gene

พ.ศ. 2453 T.H. Morgan และคณะ แห่งมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย พบลักษณะพันธุกรรม ที่ควบคุมด้วย gene บน sex chromosome เป็นครั้งแรก ซึ่งแมลงหวี่มีchromosome 8 chromosome หรือ 4 คู่ โดยมี autosome 3 คู่ และ sex chromosome อยู่ 1 คู่
แมลงหวี่เพศเมีย มีsex chromosome เป็น XX และแมลงหวี่เพศผู้มีsex chromosome เป็น XY ดังนี้



รูปที่ 1.12 ลักษณะโครโมโซมแมลงหวี่เพศผู้และเพศเมีย
ที่มา: https://socratic.org

T.H. Morgan ได้ทดลองนำแมลงหวี่ตาสีขาวผสมกับแมลงหวีตาสีแดง ได้ผลดังนี้

รุ่น พ่อ แม่ (P):	ตาสีขาว x ตาสีแดง
รุ่น F1:	ตาสีแดง
รุ่น F2:	เพศเมียทุกตัวตาสีแดง
	เพศผู้ตาสีแดง : ตาสีขาว = 1 : 1
	(ตาสีขาวพบเฉพาะในเพศผู้เท่านั้น)

จากการทดลองนี้ทำให้เราทราบว่า

ตาสีแดงเป็นลักษณะเด่น ตาสีขาวเป็นลักษณะด้อย จากการทดลอง Morgan อธิบายว่า "ลักษณะสีตาของแมลงหวี่เกิดจาก gene ที่ควบคุมลักษณะสีตา มีตำแหน่งอยู่บน chromosome X โดย allele ที่ควบคุมลักษณะตาสีแดงแสดงลักษณะข่มต่อ allele ที่ควบคุมตาสีขาว ส่วน chromosome Y จะไม่มีgene ที่ควบคุมสีตา”

การถ่ายทอด gene บน sex chromosome

ลูกเพศผู้ซึ่งมี sex chromosome เป็น XY ได้รับ chromosome X จากแม่ และรับ chromosome Y จากพ่อ

ลูกเพศเมียซึ่งมี sex chromosome เป็น XX ได้รับ chromosome X จากแม่และพ่อ

แสดงว่า gene ที่ควบคุมลักษณะสีตาของแมลงหวี่อยู่บน sex chromosome

กำหนดให้ C เป็น gene ที่ควบคุมลักษณะตาสีแดง และ c เป็น gene ที่ควบคุมลักษณะตาสีขาว ซึ่งอยู่บน sex chromosome

ถ้านำแมลงหวี่ เพศเมียตาสีแดง x เพศผู้ตาสีขาว

genotype X^CX^C x X^cY

ลูก F1 X^CX^c X^CY

รุ่น F2 X^CX^C X^CX^c X^CY X^cY

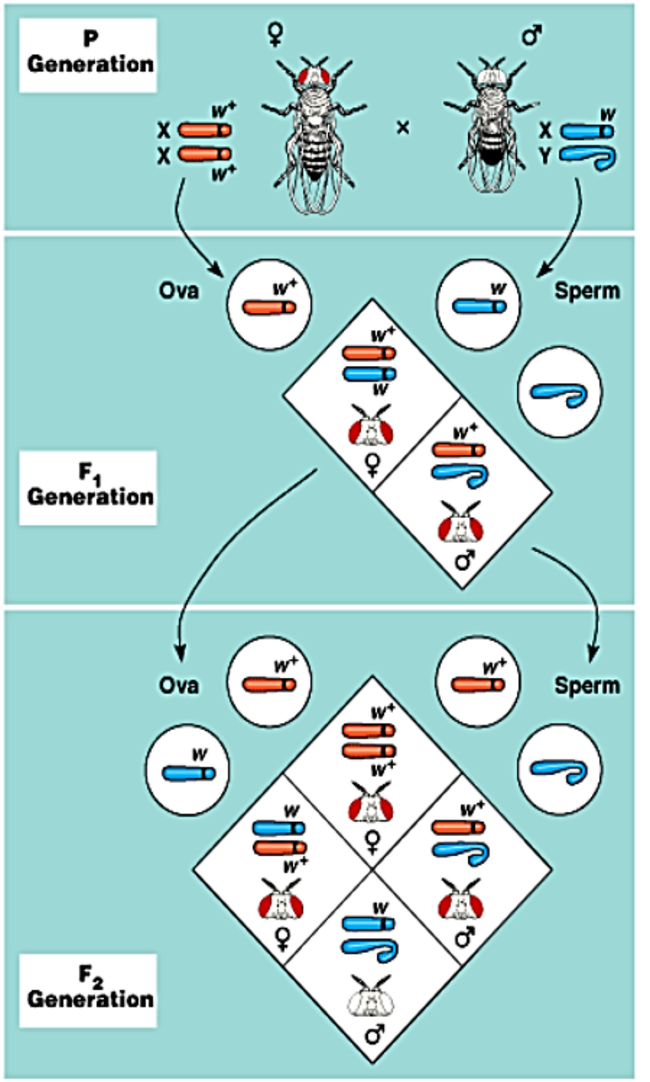
เพศเมียตาสีแดง เพศเมียตาสีแดง เพศผู้ตาสีแดง เพศผู้ตาสีขาว

Sex-linked gene

Sex-linked gene คือ ยีนที่อยู่บนโครโมโซมเพศ มี 2 แบบ คือ

- X-linked gene คือ ยีนที่อยู่บนโครโมโซม X
- Y- linked gene คือ ยีนที่อยู่บนโครโมโซม Y

การถ่ายทอด geneที่อยู่บน sex chromosome เรียกว่า gene ที่เกี่ยวเนื่องกับเพศ (sex-linked gene) ถ้าอยู่บน chromosome X เรียกว่า X-linked gene ถ้าอยู่บน chromosome Y เรียกว่า Y-linked gene



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

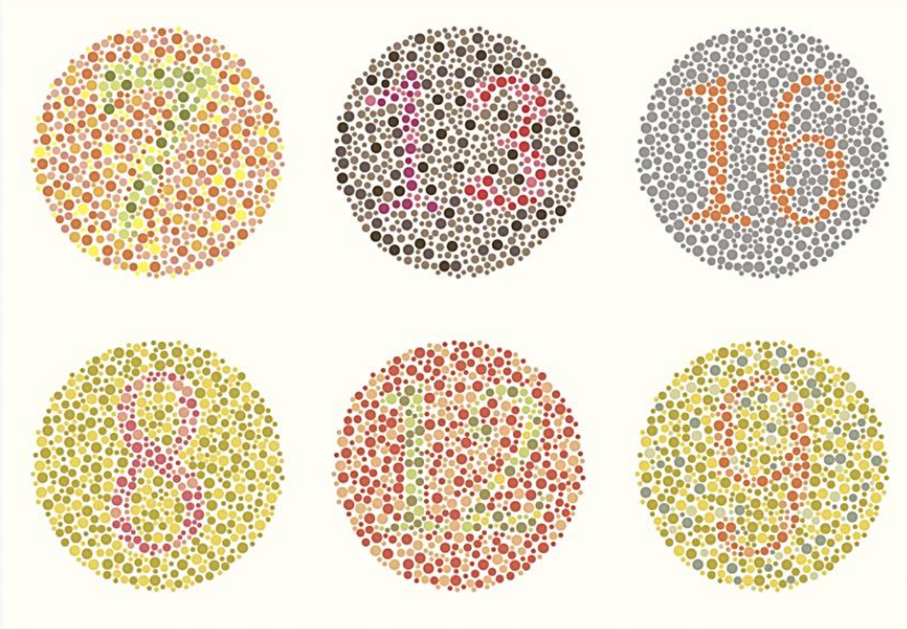
รูปที่ 1.13 การถ่ายทอดลักษณะสีตาในแมลงหวี่

ที่มา: http://www.bio.utexas.edu

โรคที่เกิดจากโครโมโซมเพศ (X-linked) เกิดจากความผิดปกติของยีนเด่นและยีนด้อยที่ถ่ายทอดผ่านโครโมโซม X เช่น

ลักษณะตาบอดสีเขียว - แดงในมนุษย์

ตาบอดสี เป็นลักษณะที่พบมากในประชากรพวกผิวขาว โดยมีชายตาบอดสีชนิดนี้ 2 ใน 25 คน แต่ในเพศหญิงพบน้อยประมาณ 1 ใน 250 คน ผู้ที่มี gene ลักษณะตาบอดสี เขียว - แดง จะ มองเห็นเป็นสีเดียว คือ สีขาวหรือเทาเท่านั้น คนปกติจะเห็นแสงสีน้ำเงิน แดง เขียว ผสมกันเป็นสีขาว บางคนต้องการเพียงสองสีก็เห็นเป็นสีขาว แต่บางคนต้องการเพียงสีเดียวก็เห็นเป็นสีขาว ได้แก่ พวก ตาบอดสีเขียว - แดง เพศหญิงตาปกติอาจจะมี gene ตาบอดสีแฝงมาเป็นพาหะ (carrier) แต่เป็นคน ถ่ายทอด gene ตาบอดสีให้ลูก ซึ่งมักแสดงออกในลูกชายเนื่องจากเป็นเพศที่มี chromosome X เพียงแท่งเดียว ทำให้ gene ตาบอดสีจึงแสดงออกได้



ผู้ชาย	X^AY	ปกติ
	X^aY	มีอาการ
ส่วนผู้หญิง	X^AX^A	ปกติ
	X^AX^a	ปกติ (พาหะ)
	X^aX^a	มีอาการ

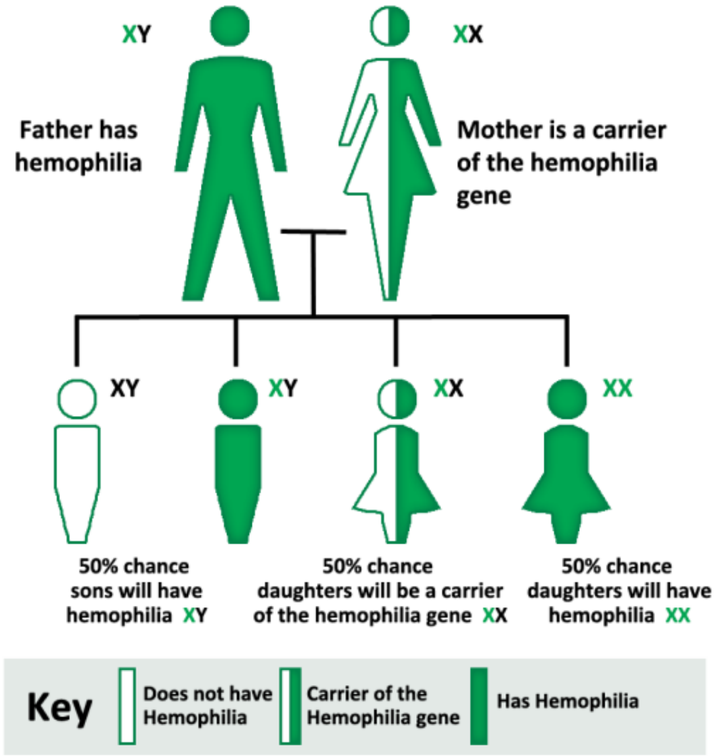
ตัวอย่าง ชายตาบอดสีแต่งงานกับหญิงเป็นพาหะ จะได้ลูกเป็นอย่างไร

รุ่น P ชายตาบอดสี X^aY x หญิงพาหะ X^AX^a

F1 X^AY ชายตาปกติ, X^aY ชายตาบอดสี, X^AX^a หญิงตาปกติพาหะ, X^aX^a หญิงตาบอดสี

ลักษณะโรคโลหิตไหลไม่หยุด (hemophilia)

เมื่อเกิดบาดแผลแล้วทำให้โลหิตไหลไม่หยุด เนื่องจากร่างกายไม่มีสารที่ช่วยให้โลหิตแข็งตัว โรคนี้พบเป็นมากในเพศชาย โดยพบในทารกเพศชาย 1 ใน 10,000 คน และหญิงที่เป็นพาหะพบใน อัตราส่วนเท่ากัน ชายที่เป็นโรคนี้ส่วนใหญ่จะเสียชีวิตก่อนที่จะแต่งงาน ส่วนหญิงจะเสียชีวิตในระยะ วัยรุ่น คือ มีรอบเดือนเนื่องจากสูญเสียโลหิตมาก หญิงที่เป็นโรคนี้จะเกิดขึ้นเมื่อได้รับ gene ด้อยมาจากทั้งพ่อและแม่ โดยมีแม่ที่เป็นพาหะแต่งงานกับพ่อซึ่งเป็นโรคโลหิตไหลไม่หยุด



รูปที่ 1.14 ลักษณะการถ่ายทอดโรค hemophilia

ที่มา: http://www.phukhieo.ac.th

กำหนดให้

X^h = โรคฮีโมฟิเลีย

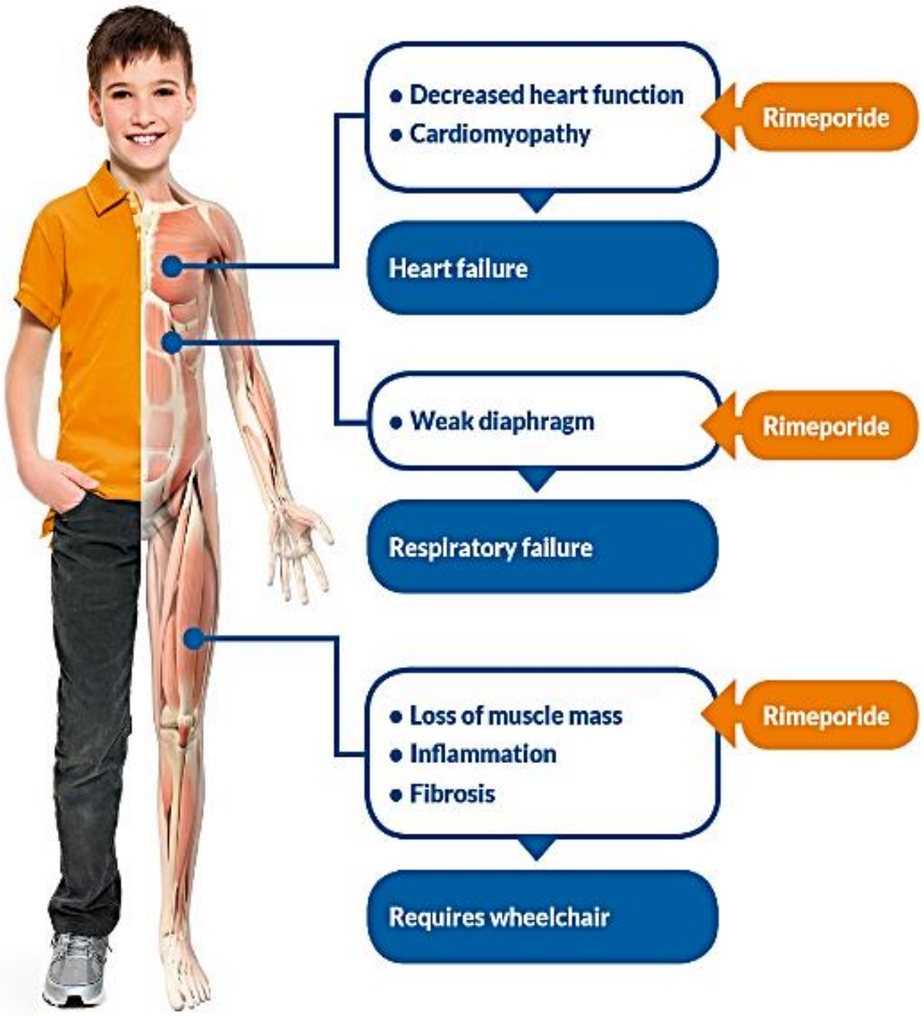
X^H = ปกติ

	แม่เป็นฮีโมฟิเลีย	X	พ่อปกติ	แม่ปกติ	X	พ่อเป็นฮีโมฟิเลีย
ยีโนไทป์	X^hX^h		X^HY	X^HX^H		X^hY
เซลล์สืบพันธุ์	(X^h)		(X^H) (Y)	(X^H)		(X^h) (Y)
F1	X^HX^h	X	X^hY	X^HX^h	X	X^HY
เซลล์สืบพันธุ์	(X^H) (X^h)		(X^h) (Y)	(X^H) (X^h)		(X^H) (Y)

F2	$^1/_4X^HX^h$: $^1/_4X^hX^h$: $^1/_4X^HY$: $^1/_4X^hY$	$^1/_4X^HX^H$: $^1/_4X^HX^h$: $^1/_4X^HY$: $^1/_4X^hY$
ฟีโนไทป์	ลูกสาว ลูกสาว ลูกชาย ลูกชาย	ลูกสาว ลูกสาว ลูกชาย ลูกชาย
	ปกติ เป็นฮีโมฟิเลีย ปกติ เป็นฮีโมฟิเลีย	ปกติ ปกติ ปกติ เป็นฮีโมฟิเลีย

โรคกล้ามเนื้อดูเชน (duchenne mucular dystrophy หรือ pseudo hypertrophic)

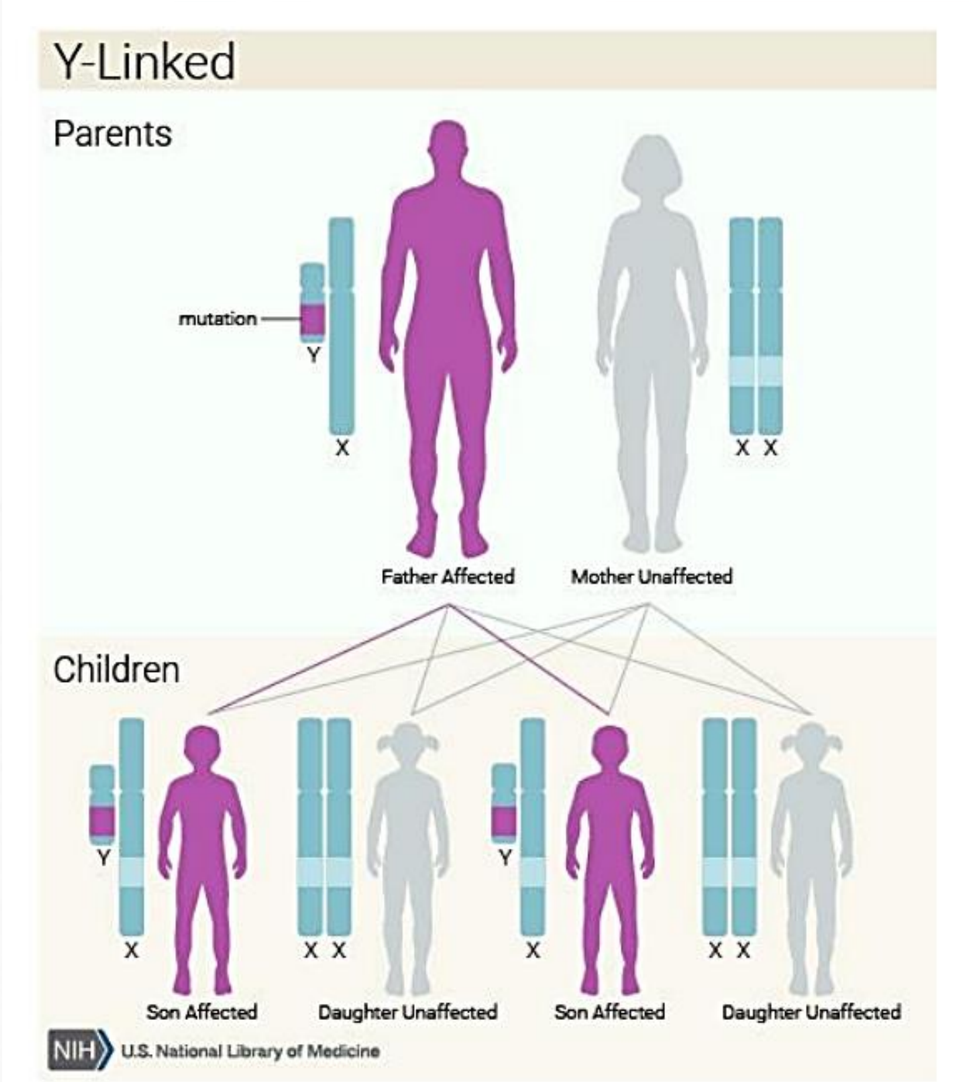
โรคนี้ไม่ค่อยพบมาก เนื่องจากเป็น gene ด้อยบน sex chromosome ทารกเพศชายจะ เจริญเติบโตเป็นปกติในระยะแรกของวัยเด็ก แต่กล้ามเนื้อจะอ่อนแอไม่เจริญต่อไปเป็นผลให้เด็กเสียชีวิต เมื่อเข้าสู่วัยรุ่น ในปัจจุบันยังไม่ทราบวิธีป้องกันรักษา



Y-linked gene

ลักษณะที่อยู่บน chromosome Y มีขนาดเล็กทำให้มีสารพันธุกรรมอยู่น้อย การถ่ายทอดลักษณะบน chromosome Y เป็นไป อย่างง่ายๆ คือถ้าพ่อมีลักษณะที่อยู่บน chromosome Y จะพบ gene นั้นเฉพาะในลูกชายเท่านั้น เช่น

ลักษณะผิวหนังเป็นเกล็ด (porcupine men)
ลักษณะมีพังผืดยึดระหว่างนิ้วเท้าที่ 2 และ 3
ลักษณะมีขนที่ใบหู



รูปที่ 1.15 ลักษณะการถ่ายทอดโรคบนโครโมโซม Y

ที่มา: https://medlineplus.gov

ยีนเด่นบนโครโมโซม X (X- linked dominance)

พบได้น้อย เช่น ลักษณะมนุษย์หมาป่า (ผู้หญิง › ผู้ชาย) เพราะทั้งพันธุ์แท้และพันธุ์ทางก็แสดงออกได้ ลักษณะจีโนไทป์ คือ โรคมนุษย์หมาป่า (ผู้หญิง › ผู้ชาย)

ผู้ชาย X^AY มีอาการ

X^aY ปกติ

ผู้หญิง X^AX^A มีอาการ

X^AX^a มีอาการ

X^aX^a ปกติ

ตัวอย่าง. ลูกชายฟันสีน้ำตาล หญิงฟันสีน้ำตาล

X^AY x X^AX^a

X^AX^A X^AX^a X^AY X^aY

ญ:ฟันสีน้ำตาล ญ:ฟันสีน้ำตาล ช:ฟันสีน้ำตาล ช:ฟันสีขาว

โอกาสที่จะมีลูกชายฟันสีขาวในอัตราส่วน 1/4

ภาพแสดง โรคมนุษย์หมาป่า

Activate
Go to Setti

Sex-influenced trait

การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมที่ควบคุมด้วย gene ที่อยู่บน autosome มีการแสดงออกในเพศหนึ่งมากกว่าอีกเพศหนึ่งเนื่องจากอิทธิพลของฮอร์โมนเพศ เช่นลักษณะศีรษะล้าน

- gene B เป็น gene ที่ทำให้เกิดลักษณะศีรษะล้าน (baldness)
- gene b เป็น gene ที่ทำให้เกิดลักษณะศีรษะปกติ (nonbaldness)

จีโนไทป์	ชาย	หญิง
BB	ล้าน	ล้าน
Bb	ล้าน	ไม่ล้าน
bb	ไม่ล้าน	ไม่ล้าน

EX ถ้าพ่อแม่ heterozygous สำหรับลักษณะหัวล้านแต่งงานกัน ลูกจะเป็นอย่างไร

กำหนด H=ล้าน , h=ไม่ล้าน

- รุ่น P พ่อ แม่

  Hh x Hh

- รุ่น F1 1/4HH : 2/4Hh : 1/4hh

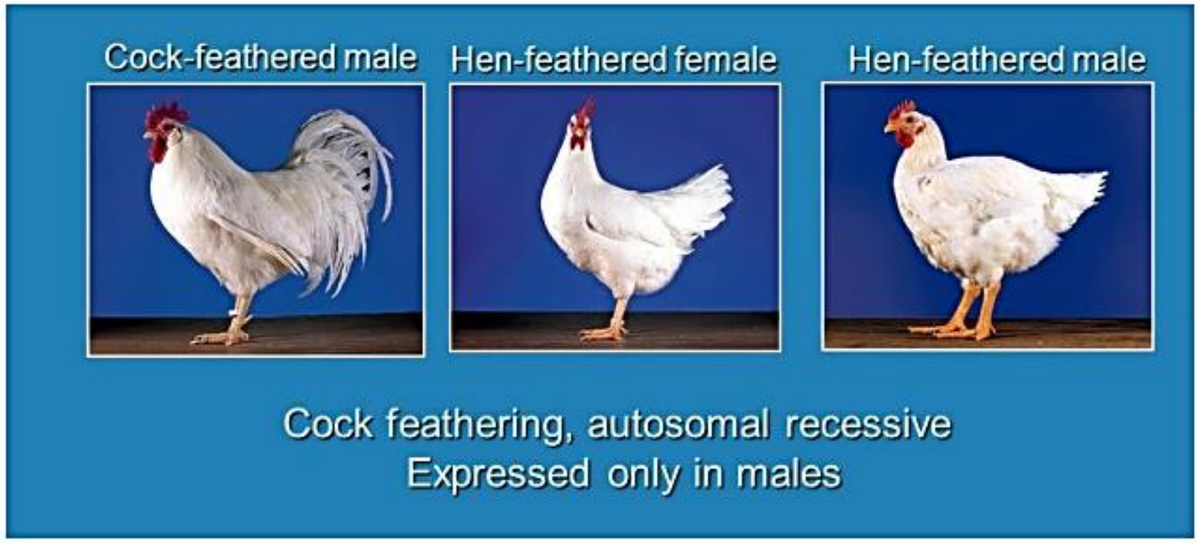
ลูกชาย 1/4ล้าน : 2/4ล้าน : 1/4ไม่ล้าน

ลูกสาว 1/4ล้าน : 2/4ไม่ล้าน : 1/4ไม่ล้าน

Sex-limited trait

ลักษณะบางลักษณะที่แสดงออกในเพศใดเพศหนึ่ง ทั้งนี้เนื่องจากฮอร์โมนเพศเป็นตัวควบคุม โดยที่ gene นั้นไม่ได้อยู่บน sex chromosome เช่น ขนของนก และไก่พันธุ์เลกฮอร์น

จีโนไทป์	ลักษณะในเพศเมีย	ลักษณะในเพศผู้
HH	ขนแบบตัวเมีย	ขนแบบตัวเมีย
Hh	ขนแบบตัวเมีย	ขนแบบตัวเมีย
hh	ขนแบบตัวเมีย	ขนแบบตัวผู้



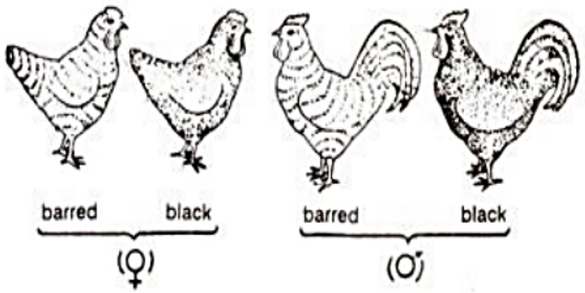
รุ่น P พ่อไก่ แม่ไก่

Hh x Hh

รุ่น F1 1/4HH : 2/4Hh : 1/4hh

ลูกไก่ตัวผู้ 1/4ขนสั้น : 2/4ขนสั้น : 1/4ขนยาว

ลูกไก่ตัวเมีย 1/4ขนสั้น : 2/4ขนสั้น : 1/4ขนสั้น



ลักษณะเฉพาะเพศในคนที่เห็นชัด ได้แก่ หนวดเครา ซึ่งมีเฉพาะในเพศชาย ส่วนในเพศหญิง ปกติไม่มีหนวดเครา จากการศึกษาต่อมสร้างหนวดเคราปรากฏว่ามีจำนวนต่อเนื้อเยื่อที่ผิวหนังเท่าเพศชาย แตกต่างกันที่การเจริญของหนวดเครา ถ้าเพศหญิงมีฮอร์โมนเพศเปลี่ยนไป หนวดเคราจะเจริญได้

ในกรณีวัวนม พ่อแม่พันธุ์วัวนม เมื่อผสมกันย่อมให้ gene เกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำนม และ คุณภาพของนมแก่ลูกวัวทุกตัว แต่จะมีเฉพาะวัวตัวเมียเท่านั้นที่สามารถให้น้ำนมในปริมาณและ คุณภาพที่รับ gene มาจากพ่อแม่ได้