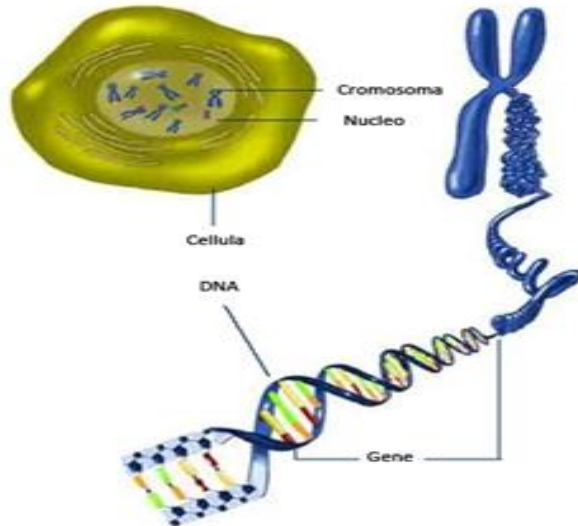


ชื่อ ชั้น เลขที่

โครโมโซม ดีเอ็นเอ และยีน



ภาพ โครโมโซม ดีเอ็นเอ และยีน

หน่วยพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตทำหน้าที่ควบคุมลักษณะทางพันธุกรรมและถ่ายทอดจากรุ่นหนึ่งไปสู่อีกรุ่นหนึ่ง โดยหน่วยพันธุกรรมที่กล่าวถึงนั้น คือ ยีน (gene) ซึ่งอยู่บนโครโมโซม (Chromosome) โดยสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดจะมีลักษณะและจำนวนยีนและโครโมโซมแตกต่างกัน

โครโมโซม (Chromosome)

หน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต คือ เซลล์ (cell) ซึ่งภายในเซลล์ประกอบด้วยไซโทพลาซึมและนิวเคลียสภายในนิวเคลียสจะมีโครโมโซม แต่ละโครโมโซมจะมียีนที่กำหนดลักษณะต่างๆ ของสิ่งมีชีวิต การศึกษาลักษณะโครโมโซมต้องอาศัยกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูงจึงจะสามารถทำให้มองเห็นถึงรายละเอียดของโครโมโซมได้

เมื่อมองเซลล์ผ่านกล้องจุลทรรศน์จะเห็นเส้นใยเล็กๆ พันกันอยู่ภายในนิวเคลียส เรียกว่า โครมาทิน (chromatin) ซึ่งเมื่อมีการแบ่งเซลล์เส้นโครมาทินจะหดตัวสั้นเข้า มีลักษณะเป็นแท่งเรียกว่า โครโมโซม แต่ละโครโมโซมจะประกอบด้วยแขน 2 ข้างเรียกว่า โครโมทิด (chromatid) ซึ่งแขนทั้งสองนี้จะมีจุดเชื่อมติดกัน เรียกว่า เซนโทรเมียร์ (centromere) หากดูจากแบบจำลองโครโมโซมหลายคนอาจจินตนาการว่าคล้ายกับปาต่องโก้

สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดจะมีจำนวนโครโมโซมแตกต่างกันออกไปซึ่งสามารถใช้จำนวนโครโมโซมมาจำนวนโครโมโซมมาจำแนกความแตกต่างของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดได้

ตารางแสดงจำนวนโครโมโซมของสิ่งมีชีวิตบางชนิด

ชนิดของสิ่งมีชีวิต	จำนวนโครโมโซม(แท่ง)
ยุง	6
แมลงวัน	12
แมว	38
มนุษย์	46
เม่น	46
ชิมแปนซี	48
ม้า	64
สุนัข	78
หัวหอม	16
ถั่วแดง	22
ข้าว	24
มันฝรั่ง	48
ฝ้าย	52
ถั่วลิสง	14
ข้าวโพด	20
แตงโม	22
แมลงหวี่	8
กบ	26
กระต่าย	44

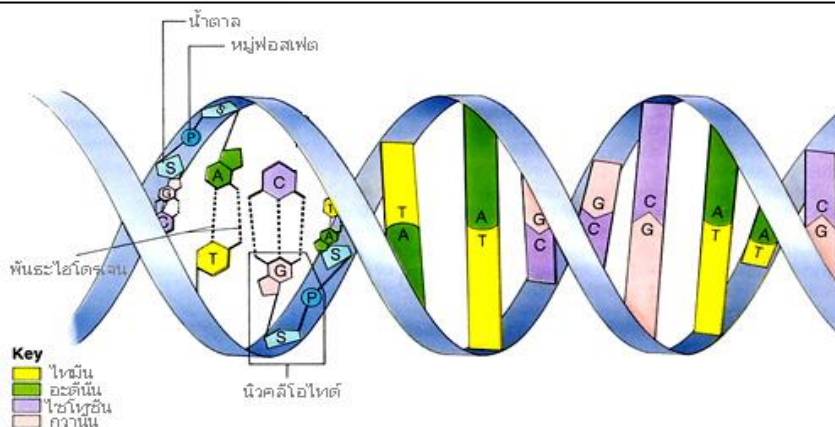
โครโมโซมในเซลล์ของร่างกายมนุษย์มีอยู่ 46 โครโมโซม เมื่อนำมาจัดเป็นคู่ได้ 23 คู่ ซึ่งมีโครโมโซมอยู่ 22 คู่ ที่เหมือนกันทั้งในเพศหญิงและเพศชาย เรียกโครโมโซมเหล่านี้ว่า ออโตโซม (autosome) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการกำหนดลักษณะทางพันธุกรรมต่างๆ ในร่างกาย ส่วนโครโมโซมคู่ที่ 23 จะต่างกันในเพศหญิงและเพศชาย เรียกว่า โครโมโซมเพศ (Sex chromosome) ที่มีบทบาทกำหนดเพศ โดยเป็นการจับคู่กันของโครโมโซม 2 ตัว คือ โครโมโซม X และ โครโมโซม Y ซึ่งในเพศหญิงจะมีโครโมโซม XX ส่วนในเพศชายจะมีโครโมโซม XY

โครโมโซมที่พบในเซลล์มีหลายโครโมโซม และอยู่อย่างไม่เป็นระเบียบ ซึ่งสามารถนำโครโมโซมในช่วงการแบ่งเซลล์ที่ชัดเจนแน่นอนและสั้นที่สุดมาเรียงเข้าคู่กันตามขนาดและลักษณะได้ดังนี้



ภาพ โครโมโซมเพศหญิงและชาย

โอกาสที่ลูกจะเกิดมาเป็นเพศหญิงหรือเพศชายนั้น ขึ้นอยู่กับโครโมโซม XY ของพ่อ ถ้าลูกได้รับโครโมโซม Y จากพ่อ และ โครโมโซม X จากแม่ ก็จะเป็นเพศชาย แต่ถ้าได้รับโครโมโซม X จากพ่อ และ โครโมโซม X จากแม่ ก็จะเป็นเพศหญิง ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเกิดเป็นเพศหญิงหรือเพศชายนั้นมีโอกาสเท่ากัน



ภาพ ดีเอ็นเอ

ดีเอ็นเอ

ดีเอ็นเอ (deoxyribonucleic acid : DNA) ประกอบด้วยสายนิวคลีโอไทด์ (nucleotide) 2 สายบิดรวมกันเป็นเกลียวคู่ (double helix) โดยมีสารเคมีที่เรียกว่า เบส เป็นตัวที่ยึดสายทั้งสองไว้ เบสเปรียบเสมือน

ตัวอักษรที่เรียงต่อกันเป็นข้อมูลทางพันธุกรรมและจะแปรผันไปตามชนิดของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดซึ่งเบสใน ดีเอ็นเอมี 4 ชนิด โดยจะมีการจับคู่กันอย่างเฉพาะเจาะจงดังนี้


อะดีนีน (Adenine : A) จับคู่กับ ไทมิน (Thymine : T)

ไซโทซีน (Cytosine : C) จับคู่กับ กวานีน (Guanine : G)

ดังนั้นหากทราบถึงการเรียงลำดับเบสบนดีเอ็นเอเส้นหนึ่งก็จะสามารถบอกการเรียงลำดับเบสบนดีเอ็นเออีกเส้นหนึ่งได้

แต่ละช่วงของดีเอ็นเอมีหน่วยพันธุกรรมหรือยีนที่ควบคุมลักษณะต่างๆ ที่ถ่ายทอดจากพ่อแม่ไปยังลูกหลานโดยผ่านทางเซลล์สืบพันธุ์ ยีนจะอยู่บนโครโมโซม โดยยีนแต่ละคู่จะควบคุมลักษณะที่ถ่ายทอดทางพันธุกรรมเพียงลักษณะใดลักษณะหนึ่งเท่านั้น เช่น ยีนควบคุมลักษณะเส้นผม ยีนควบคุมลักษณะลักยิ้ม ยีนควบคุมลักษณะมีติ่งหู เป็นต้น

จากที่กล่าวมาแล้วว่า ยีนเป็นตัวควบคุมลักษณะทางพันธุกรรมซึ่งอยู่บนโครโมโซม และเนื่องจากเซลล์ของสิ่งมีชีวิตจะมีโครโมโซมที่ทำหน้าที่ถ่ายทอดข้อมูลทางพันธุกรรมอยู่สองชุด เข้าคู่กันเรียกว่า โครโมโซมคู่เหมือน (homologous chromosome) ดังนั้น หากพิจารณาลักษณะทางพันธุกรรมลักษณะใดลักษณะหนึ่ง เช่น จำนวนชั้นตา จะพบว่าหากมียีนที่ควบคุมจำนวนชั้นตาอยู่บนโครโมโซมแท่งหนึ่ง โครโมโซมที่เป็นคู่เหมือนก็จะมียีนที่ควบคุมจำนวนชั้นตาอยู่ด้วยเช่นกัน

 ยีน (gene) หมายถึง หน่วยพันธุกรรมที่อยู่บนโครโมโซม (chromosome) มีลักษณะเรียงกันเหมือนสร้อยลูกปัด ทำหน้าที่ควบคุมลักษณะต่างๆ ทางพันธุกรรมต่างๆจากพ่อแม่ไปยังลูกหลาน ในคนจะมียีนประมาณ 50,000 ยีน แต่ละยีนจะควบคุมลักษณะต่างๆ ทางพันธุกรรมเพียงลักษณะเดียว ยีนที่ควบคุมลักษณะทางพันธุกรรมบางอย่างมี 2 ชนิด คือ

1. ยีนเด่น (dominant gene) คือ ยีนที่แสดงลักษณะนั้นๆออกมาได้ แม้มียีนนั้นเพียงยีนเดียว
2. ยีนด้อย (recessive gene) คือ ยีนที่สามารถแสดงลักษณะให้ปรากฏออกมาได้ก็ต่อเมื่อมียีนด้อย ทั้ง 2 ยีนอยู่บนคู่โครโมโซม



ใบความรู้

เรื่อง การศึกษาพันธุศาสตร์ของเมนเดล

วิชา วิทยาศาสตร์พื้นฐาน 6 ว23102

ชื่อ ชั้น เลขที่

✚ พันธุกรรม (heredity)

หมายถึง การถ่ายทอดลักษณะของสิ่งมีชีวิตจากรุ่นหนึ่งไปยังอีกรุ่นหนึ่ง หรือจากบรรพบุรุษไปสู่ลูกหลาน

โดยได้มีการเริ่มต้นทำการศึกษารื่องของ**พันธุกรรม** ในช่วงกลางของศตวรรษที่ 18 โดย **เกรเกอร์ เมนเดล (Gregor Mendel)** ซึ่งเป็นผู้ที่ได้ค้นพบและได้อธิบายหลักของการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม

✚ การศึกษาพันธุศาสตร์ของเมนเดล

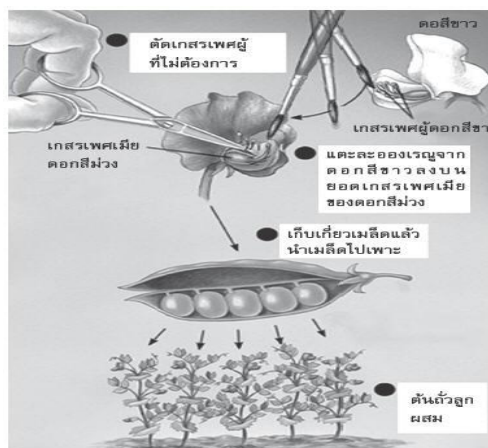
เกรเกอร์ เมนเดล (Gregor Mendel) บาทหลวงชาวออสเตรเลียน ผู้ได้ชื่อว่าเป็น “บิดาแห่งวิชาพันธุศาสตร์” ได้ศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม

เมนเดลได้ผสมพันธุ์ถั่วลันเตาเพื่อศึกษากระบวนการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม ลักษณะภายนอกของต้นถั่วลันเตาที่เมนเดลศึกษามีหลายลักษณะ แต่ได้เลือกศึกษาเพียง 7 ลักษณะ โดยแต่ละลักษณะนั้นมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน เช่น ต้นเตี้ยกับต้นสูง เมล็ดกลมและขรุขระ เป็นต้น

เมล็ด		ดอก	รูปร่างของถั่วที่แก่เต็มที่ รูปร่างและสีของฝักถั่ว		ลำต้น	
รูปร่างเมล็ด	สีของเนื้อเมล็ด	สีของดอก	รูปร่าง	สีของฝักถั่ว	ตำแหน่งของดอก, ความสูงลำต้น	
กลม	เหลือง	สีขาว	อวบ	เหลือง	ที่กิ่ง	สูง
ขรุขระ	เขียว	สีม่วง	แฟบ	เขียว	ที่ซอก	เตี้ย
1	2	3	4	5	6	7

ต้นถั่วลันเตาที่เมนเดลนำมาใช้เป็นพ่อพันธุ์และแม่พันธุ์ล้วนเป็นพันธุ์แท้ทั้งคู่ สายพันธุ์แท้นี้ได้จากการนำต้นถั่วลันเตาแต่ละสายพันธุ์มาปลูกและผสมพันธุ์ภายในดอกเดียวกัน เมื่อต้นถั่วลันเตาออกฝัก จึงนำเมล็ดแก่ไปปลูกจากนั้นรอกระทั่งต้นถั่วลันเตาเจริญเติบโต จึงคัดต้นที่มีลักษณะเหมือนพ่อก่อนนำมาผสมพันธุ์ต่อไป ทำเช่นนี้จนได้ต้นถั่วลันเตาพันธุ์แท้ที่มีลักษณะเหมือนพ่อก่อนทุกประการ การที่เมนเดลเลือกพันธุ์แท้ก่อนที่จะทำการผสมพันธุ์ เพื่อจะให้แน่ใจว่าแต่ละสายพันธุ์ที่ใช้ในการผสมพันธุ์มีลักษณะเพียงอย่างเดียวเท่านั้นเพื่อไม่ให้เกิดความยุ่งยาก

เมนเดลได้ผสมพันธุ์ระหว่างต้นถั่วลันเตาพันธุ์แท้ที่มีลักษณะแตกต่างกัน 1 ลักษณะ เช่น ผสมต้นถั่วลันเตาพันธุ์ดอกสีม่วงกับพันธุ์ดอกสีขาว ด้วยวิธีการ ดังภาพ



ตารางแสดงผลการทดลองของเมนเดล

***หมายเหตุ x หมายถึง ผสมพันธุ์

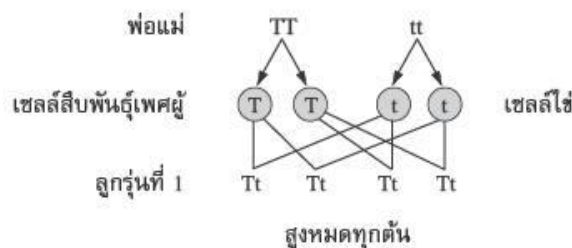
ลักษณะของพ่อแม่ที่ใช้ผสมพันธุ์	ลักษณะที่ปรากฏ	
	ลูกรุ่นที่ 1	ลูกรุ่นที่ 2
เมล็ดกลม x เมล็ดขรุขระ	เมล็ดกลมทุกต้น	เมล็ดกลม 5,474 เมล็ด เมล็ดขรุขระ 1,850 เมล็ด
เมล็ดสีเหลือง x เมล็ดสีเขียว	เมล็ดสีเหลืองทุกต้น	เมล็ดสีเหลือง 6,022 ต้น เมล็ดสีเขียว 2,001 ต้น
ฝักอวบ x ฝักแฟบ	ฝักอวบทุกต้น	ฝักอวบ 882 ต้น ฝักแฟบ 229 ต้น
ฝักสีเขียว x ฝักสีเหลือง	ฝักสีเขียวทุกต้น	ฝักสีเขียว 428 ต้น ฝักสีเหลือง 152 ต้น
ดอกเกิดที่ลำต้น x ดอกเกิดที่ยอด	ดอกเกิดที่ลำต้น	ดอกเกิดที่ลำต้น 651 ต้น ดอกเกิดที่ยอด 207 ต้น
ดอกสีม่วง x ดอกสีขาว	ดอกสีม่วงทุกต้น	ดอกสีม่วง 705 ต้น ดอกสีขาว 224 ต้น
ต้นสูง x ต้นเตี้ย	ต้นสูงทุกต้น	ต้นสูง 787 ต้น ต้นเตี้ย 277 ต้น

เมนเดลเรียกลักษณะที่ปรากฏในรุ่นที่ 1 เมล็ดกลมและลักษณะต้นสูงว่า ลักษณะเด่น (Dominant) ส่วนลักษณะที่ไม่ปรากฏในรุ่นที่ 1 แต่กลับมาปรากฏในรุ่นที่ 2 ว่า ลักษณะด้อย (Recessive) เช่น เมล็ดขรุขระ และลักษณะต้นเตี้ย

เมนเดลสังเกตเห็นว่าลักษณะด้อยไม่ปรากฏในรุ่นที่ 1 แต่ปรากฏในรุ่นที่ 2 อัตราส่วนระหว่างลักษณะเด่นกับลักษณะด้อยประมาณ 3 : 1 ในสิ่งมีชีวิตมีหน่วยควบคุมลักษณะแต่ละลักษณะที่สามารถถ่ายทอดจากพ่อแม่ไปยังรุ่นลูกได้ โดยมีหน่วยควบคุมลักษณะเรียกว่า ยีน (Gene)

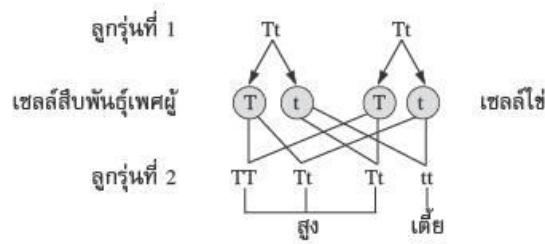
นักพันธุศาสตร์ใช้สัญลักษณ์แทนยีนแต่ละยีน โดยใช้อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ แทนยีนที่ควบคุมลักษณะเด่น อักษรตัวพิมพ์เล็กแทนยีนที่ควบคุมลักษณะด้อย เช่น ผลของการถ่ายทอดลักษณะในการผสมพันธุ์ระหว่างถั่วลันเตาต้นสูงกับถั่วลันเตาต้นเตี้ยและการผสมพันธุ์ระหว่างรุ่นที่ 1 ได้ผลดังนี้

แผนผังแสดงการผสมพันธุ์ของถั่วลันเตาต้นสูงกับถั่วลันเตาต้นเตี้ย



ในลูกรุ่นที่ 1 เมื่อยีน T ที่ควบคุมลักษณะต้นสูง ซึ่งเป็นลักษณะเด่น เข้าคู่กับยีน t ที่ควบคุมลักษณะต้นเตี้ยซึ่งเป็นยีนด้อย ลักษณะที่ปรากฏจะเป็นลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนเด่น ลูกรุ่นที่ 1 มีลักษณะต้นสูงหมดทุกต้น และเมื่อนำลูกรุ่นที่ 1 มาผสมกันเองจะได้ลูกรุ่นที่ 2 ได้ผลดังนี้

แผนผังแสดงการผสมพันธุ์ระหว่างลูกรุ่นที่ 1



ดังนั้น จีโนไทป์ (genotype) หรือ แบบคู่ยีน ที่ควบคุมถั่วลันเตามี 3 แบบ คือ TT Tt และ tt และ ฟีนไทป์ (phenotype) ของถั่วลันเตา มีได้ 2 แบบ คือ ต้นสูง (TT Tt) และต้นเตี้ย (tt)

กฎแห่งการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของเมนเดล

กฎของเมนเดลมี 2 ข้อคือ

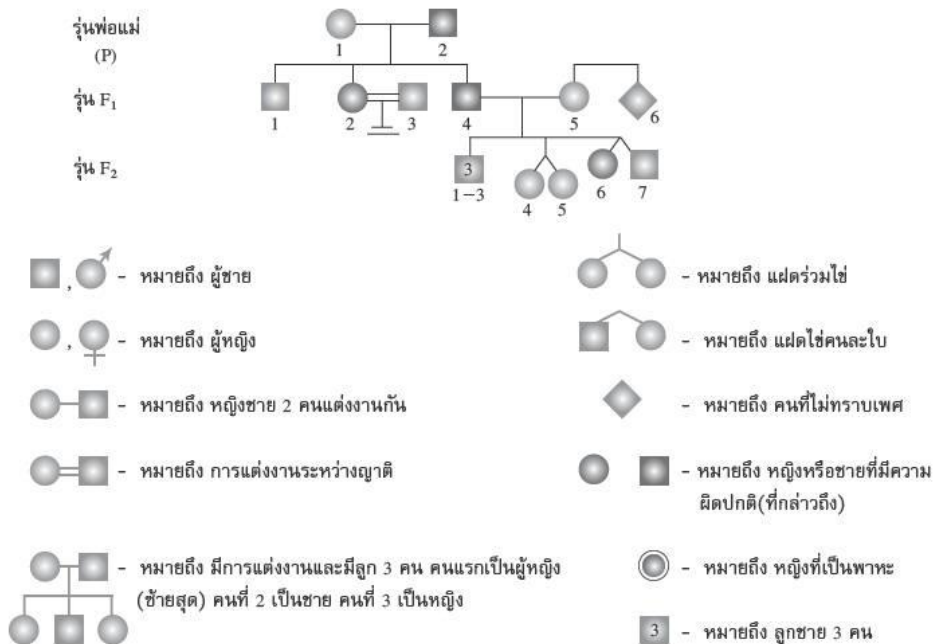
กฎข้อที่ 1 กฎแห่งการแยกตัว (Law of Segregation) การที่ยีนที่เป็นแอลลีลแยกออกจากกันเพื่อสร้าง gamete (เซลล์สืบพันธุ์) กล่าวคือ สิ่งที่ควบคุมลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตที่สืบพันธุ์แบบอาศัยเพศมีอยู่เป็นคู่ ๆ แต่ละคู่แยกจากกันในระหว่าง การสร้างเซลล์สืบพันธุ์ ทำให้เซลล์สืบพันธุ์แต่ละเซลล์มีหน่วยควบคุมลักษณะนี้เพียงหนึ่งหน่วยและจะกลับเข้าคู่อีกเมื่อเซลล์สืบพันธุ์ผสมกัน สิ่งที่ควบคุมลักษณะทางพันธุกรรมซึ่งเป็นหน่วยที่คงตัวนั้น เมนเดล เรียกว่า แฟกเตอร์ (Factor) ในปัจจุบันเรียกกันว่า ยีน (Gene)

กฎข้อที่ 2 กฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ (Law of Independent Assortment) การที่ยีนที่เป็นแอลลีลแยกกันแล้วมารวมกันใหม่เพื่อสร้าง gamete (เซลล์สืบพันธุ์) กล่าวคือ ในเซลล์สืบพันธุ์จะมีการรวมกลุ่มของหน่วยพันธุกรรมของลักษณะต่าง ๆ การรวมกลุ่มเหล่านี้เป็นไปอย่างอิสระ จึงทำให้เราสามารถทำนายผลที่เกิดขึ้นในรุ่นลูก และรุ่นหลานได้

กระบวนการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม

1. เพดดีกรี (Pedigree) หรือพงสาวลี เป็นแผนผังในการศึกษาพันธุกรรมของคน ซึ่งแสดงบุคคลต่าง ๆ ในครอบครัว ดังแผนผัง

แผนผังแสดงสัญลักษณ์ของเพดดีกรี



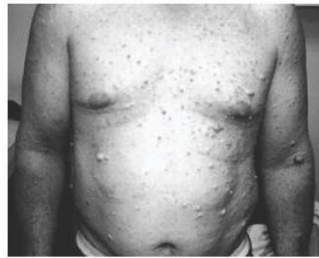
2. การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมโดยยีนบนอโตโซม (Autosome) และยีนบนโครโมโซมเพศ (Sex chromosome) ในร่างกายคนมีโครโมโซม 46 แท่ง มาจัดเป็นคู่ได้ 23 คู่ โดยแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1) ออโตโซม (Autosome) คือ โครโมโซม 22 คู่ คู่ที่ 1 - คู่ที่ 22 เหมือนกันทั้งเพศหญิงและเพศชาย

2) โครโมโซมเพศ (Sex chromosome) คือ โครโมโซมอีก 1 คู่ (คู่ที่ 23) สำหรับในเพศหญิงและเพศชายจะต่างกัน โดยเพศหญิงจะเป็นแบบ XX เพศชายจะเป็นแบบ XY โดยโครโมโซม Y จะมีขนาดเล็กกว่าโครโมโซม X

ยีนบนอโตโซม การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมจากยีนบนอโตโซม แบ่งได้ 2 ชนิด ดังนี้

1) การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมที่ควบคุมโดยยีนเด่นบนอโตโซม การถ่ายทอดนี้จะถ่ายทอดจากชายหรือหญิงที่มีลักษณะทางพันธุแท้ ซึ่งมียีนเด่นทั้งคู่หรือมียีนเด่นคู่กับยีนด้อย นอกจากนี้ยังมีลักษณะผิดปกติอื่น ๆ ที่นำโดยยีนเด่น เช่น คนแคระ คนเป็นโรคเท้าแบนปม เป็นต้น

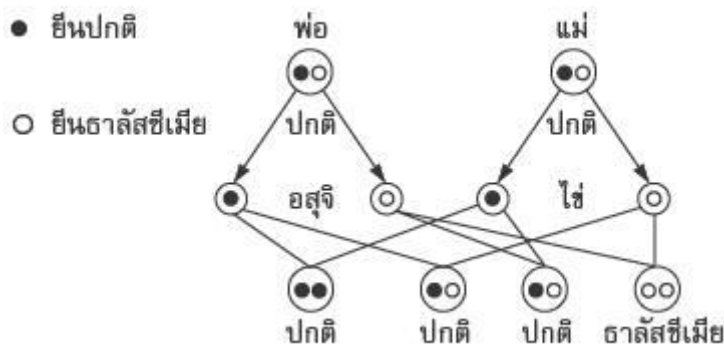


ภาพ แสดงลักษณะของคนเป็นโรคเท้าแบนปม

2) การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมที่ควบคุมโดยยีนด้อยบนอโตโซม การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมที่ผิดปกติถูกควบคุมโดยยีนด้อย เมื่อดูจากภายนอกทั้งพ่อและแม่มีลักษณะปกติ แต่มียีนด้อยแฝงอยู่ เรียกว่าเป็นพาหะ (Carrier) ของลักษณะที่ผิดปกติ

- โรคที่เกิดจากยีนด้อยบนอโตโซม เช่น

1) โรคธาลัสซีเมีย เป็นโรคเลือดจางจากกรรมพันธุ์ที่มีความผิดปกติของเม็ดเลือดแดง คือ มีการสังเคราะห์เฮโมโกลบินผิดปกติ อาจมีการสังเคราะห์น้อยกว่าปกติ จึงทำให้เม็ดเลือดแดงมีลักษณะผิดปกติ แตกง่าย อายุของเม็ดเลือดแดงสั้นลง อัตราเสี่ยงหรือโอกาสของลูกที่จะเกิดมาเป็นโรคธาลัสซีเมียหรือเป็นพาหะของโรคหรือเป็นปกติในแต่ละครอบครัวจะเท่ากันทุกครั้งของการตั้งครรภ์ บางครอบครัวที่พ่อและแม่มียีนธาลัสซีเมียแฝงอยู่ ทั้งคู่มีลูก 7 คนเป็นโรคเพียงคนเดียว แต่บางครอบครัวมีลูก 3 คน เป็นโรคทั้ง 3 คน ขึ้นอยู่ว่าลูกที่เกิดมาในแต่ละครรภ์จะรับยีนธาลัสซีเมียไปจากพ่อและแม่หรือไม่ ทั้ง ๆ ที่อัตราเสี่ยงทั้ง 2 ครอบครัวนี้เท่ากันและทุกครรภ์ก็มีความเสี่ยงที่จะเป็นโรคธาลัสซีเมีย เท่ากับ 1 ใน 4 ดังรูป



ภาพ แสดงการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมีย

2) ลักษณะผิวเผือก เป็นผลมาจากการขาดเอนไซม์ที่ใช้ในการสังเคราะห์เม็ดสีเมลานิน จึงส่งผลทำให้ผิวหนัง เส้นผม นัยน์ตา และเซลล์ผิวหนังมีสีขาว ดังรูป



ภาพ แสดงลักษณะของคนผิวเผือก

- ยีนบนโครโมโซมเพศ มีรายละเอียดดังนี้

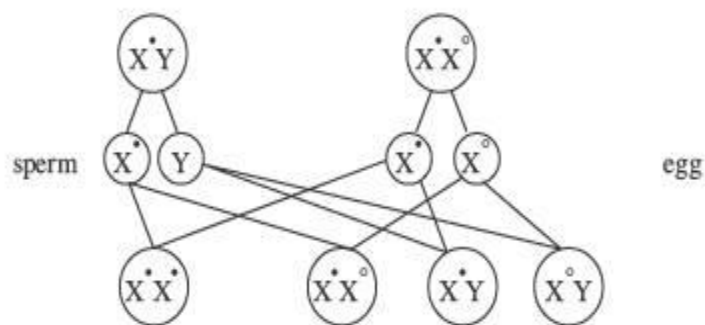
โครโมโซมเพศหญิงแบบ XX และโครโมโซมเพศชายแบบ XY

โครโมโซม X มีขนาดใหญ่ มียีนอยู่จำนวนมาก ซึ่งมีทั้งยีนที่ควบคุมลักษณะทางเพศและยีนที่ควบคุมลักษณะอื่นๆ ส่วนโครโมโซม Y มีขนาดเล็ก มียีนอยู่จำนวนน้อย ซึ่งมีทั้งยีนที่ควบคุมลักษณะทางเพศและยีนที่ควบคุมลักษณะอื่นๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางเพศ

ตัวอย่าง การถ่ายทอดยีนด้อยบนโครโมโซม X เช่น ชายปกติแต่งงานกับหญิงปกติแต่เป็นพาหะของตาบอดสี ลูกที่เกิดมา มีลักษณะอย่างไร

กำหนดให้ ● ยีนตาปกติ ○ ยีนตาบอดสี

พ่อตาปกติ แม่ตาปกติแต่เป็นพาหะตาบอดสี



หญิงตาปกติ หญิงตาปกติ แต่เป็นพาหะ ของยีนตาบอดสี ชายตาปกติ ชายตาบอดสี