

การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม

รติธรณ ใจห้าว

เอกสารประกอบการเรียนรายวิชา ว32241 जीवविज्ञानเพิ่มเติม 3
โรงเรียนหาดใหญ่วิทยาลัย อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา





สวัสดีนักเรียน นี่คือ Dr. J ผู้ซึ่งทุกคนจะต้องใช้ชีวิตร่วมกันไปอีกสามหรือสี่เดือนหลังจากนี้ หนังสือเล่มนี้เป็นเล่มที่ 4 ในบรรดาหนังสือทั้งหมดที่ได้ใช้พลังงานที่มีรวบรวมขึ้น โดยใช้เวลาไม่น้อยทีเดียวในการแก้ไขปรับปรุง และพยายามหาโจทย์มาให้แก่นักเรียนได้ทดลองทำ ดังนั้นจงรักษาไว้ให้ดี หนังสือที่พิมพ์ขึ้นในทุกปี ทุกรุ่นจะมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับบุคลิกลักษณะของนักเรียน

จงอ่านหนังสือให้มากเท่าที่กำลังจะทำได้ และจงจำไว้เสมอว่า “ความมานะพยายามเท่านั้นที่เป็นพลังขับเคลื่อนการกระทำของมนุษย์ ทำให้ ”คนด้อยค่า” กลายเป็น “คนธรรมดา” และผลักดันให้ “คนธรรมดา” กลายเป็น “คนพิเศษ”



Dr. J. Ruttae



เรื่อง

คำนำ

สารบัญ

คำอธิบายรายวิชา

ผลการเรียนรู้

หน้า

ก

ข

1

2

คำอธิบายรายวิชา

รหัสวิชา ว32241 ชีววิทยาเพิ่มเติม3

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ภาคเรียนที่ 2

จำนวน 1.5 หน่วยกิต

เวลา 60 ชั่วโมง / ภาคเรียน 3 ชั่วโมง / สัปดาห์

ศึกษา วิเคราะห์เกี่ยวกับการศึกษาพันธุศาสตร์ของเมนเดล ความน่าจะเป็นและกฎแห่งการแยกกฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ การผสมเพื่อทดสอบ ลักษณะพันธุกรรมที่นอกเหนือกฎของเมนเดล การถ่ายทอดยีนและโครโมโซม การค้นพบสารพันธุกรรม โครโมโซม องค์ประกอบทางเคมีของ DNA โครงสร้างของ DNA สมบัติของสารพันธุกรรม มิวเทชัน พันธุวิศวกรรม การโคลนนิ่ง การวิเคราะห์ DNA และการศึกษาจีโนม การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีของ DNA ความปลอดภัยของเทคโนโลยีทาง DNA และมุมมองทางสังคมและจริยธรรม ศึกษาโครงสร้างและการทำงานของระบบสืบพันธุ์และการเจริญเติบโตของสัตว์และมนุษย์

โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การสืบเสาะหาความรู้ การสำรวจตรวจสอบ การสืบค้นข้อมูล และการอภิปราย เพื่อให้เกิดความรู้ ความคิด ความเข้าใจ สามารถสื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ มีความสามารถในการตัดสินใจ

เห็นคุณค่าของการนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน มีจิตวิทยาศาสตร์ จริยธรรม คุณธรรมและค่านิยมที่เหมาะสม

ผลการเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ อภิปราย อธิบาย และสรุปผลการทดลองของเมนเดล
2. อธิบายหลักการและความสำคัญของวิธีการผสมเพื่อทดสอบ
3. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ และแก้ปัญหาโจทย์ส่วนขยายของเมนเดล
4. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ สร้างและอธิบายเกี่ยวกับโครงสร้างของดีเอ็นเอ ยีน โครโมโซม
5. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ จำแนกเกี่ยวกับโครงสร้างโครโมโซมได้
6. สืบค้นข้อมูล ทดลอง อธิบายการจำลอง DNA ได้
7. สืบค้นข้อมูล ทดลอง อธิบายการสังเคราะห์โปรตีน
8. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ และอธิบายสาเหตุและประเภทมิวเทชันได้
9. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายเทคโนโลยีชีวภาพ
10. สืบค้นข้อมูล ทดลอง อภิปรายและสรุปเกี่ยวกับโครงสร้างและการทำงานของระบบสืบพันธุ์
11. สืบค้นข้อมูล อภิปรายและสรุปเกี่ยวกับการเจริญเติบโตของสัตว์และมนุษย์



การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม



เนื้อหาประกอบด้วย

-  พันธุศาสตร์ของเมนเดล
-  ลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของเมนเดล
-  ยีนบนโครโมโซมเดียวกัน



พันธุศาสตร์

พันธุศาสตร์ (Genetic, Heredity) เป็นสาขาหนึ่งของวิทยาศาสตร์ที่กล่าวถึงลักษณะต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตซึ่งถูกควบคุมโดยหน่วยควบคุมลักษณะซึ่งเรียกว่า “ยีน” (Gene) ซึ่งจะถ่ายทอดลักษณะต่างๆ จากสิ่งมีชีวิตรุ่นหนึ่งไปสู่สิ่งมีชีวิตอีกรุ่นหนึ่ง

พันธุกรรม ลักษณะต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตซึ่งถูกควบคุมโดยหน่วยควบคุมลักษณะซึ่งเรียกว่า “ยีน” (Gene) ซึ่งจะถ่ายทอดลักษณะต่างๆ จากสิ่งมีชีวิตรุ่นหนึ่งไปสู่สิ่งมีชีวิตอีกรุ่นหนึ่ง

ลักษณะทางพันธุกรรม

ลักษณะทางพันธุกรรม (genetic character) หมายถึง ลักษณะที่แสดงออกของสิ่งมีชีวิต เช่น ตาสีฟ้า ผมหยิก ฯลฯ ลักษณะเหล่านี้สามารถถ่ายทอดสู่รุ่นลูกหลานได้ ทำให้เกิดลักษณะบางประการดังนี้

-  รุ่นลูกมีลักษณะเหมือนพ่อแม่
-  ลักษณะบางประการยังคงปรากฏอยู่ในรุ่นลูก
-  สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดยังคงลักษณะที่เป็นเอกลักษณ์ไว้ได้



สิ่งมีชีวิตในรุ่นลูกยังคงลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่เหมือนกับรุ่นพ่อแม่



ความผันแปรของลักษณะทางพันธุกรรม

คือความแตกต่างกันของรายละเอียดในแต่ละลักษณะของสิ่งมีชีวิต มี 2 ลักษณะคือ

1. ลักษณะที่มีความแปรผันไม่ต่อเนื่อง (discontinuous variation)

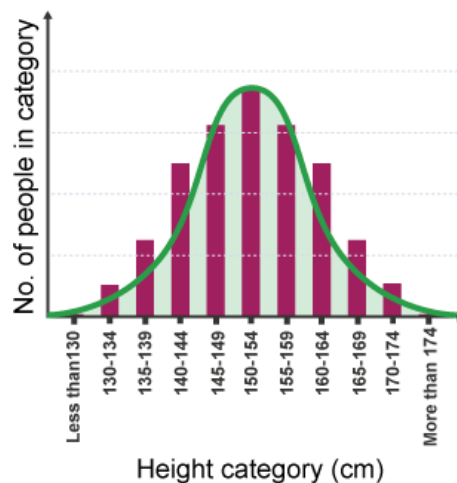
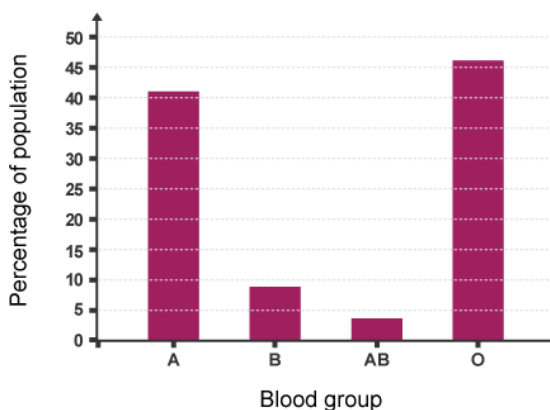
เป็นลักษณะที่แยกจากกันได้เด็ดขาดคือมีหรือไม่มี หรือแยกความแตกต่างกันอย่างเด่นชัด มักสามารถแบ่งเป็นหมวดหมู่ได้ ถูกควบคุมด้วยยีนน้อยคู่ ลักษณะขึ้นอยู่กับอิทธิพลของยีนเป็นส่วนใหญ่ เป็นข้อมูลที่ไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นเมื่อนำข้อมูลมาเขียนกราฟจะได้กราฟแท่ง บางครั้งเรียกลักษณะเช่นนี้ว่าลักษณะคุณภาพ (qualitative trait) เช่น ลักยิ้ม การท่อน้ำนม หมู่เลือด การเวียนของขั้ว การมีติ่งหูหรือไม่มีติ่งหู



ตัวอย่างลักษณะที่มีความแปรผันไม่ต่อเนื่อง

2. ลักษณะที่มีความแปรผันต่อเนื่อง (continuous variation)

เป็นลักษณะที่มีความต่อเนื่องของลักษณะ หรือไม่สามารถแยกความแตกต่างได้อย่างเด่นชัด มักถูกควบคุมด้วยยีนหลายคู่ (polygenes หรือ multiple genes) ยีนแต่ละคู่จะแสดงผลได้น้อยและอาจผันแปรไปตามสภาพแวดล้อม ลักษณะที่ปรากฏจึงขึ้นอยู่กับอิทธิพลของสิ่งแวดล้อมเป็นส่วนใหญ่ เมื่อนำข้อมูลมาเขียนกราฟจะได้กราฟเส้น ลักษณะเช่นนี้เรียกว่าลักษณะปริมาณ (quantitative trait) เช่น สีผิวอาจมีตั้งแต่ดำ ดำปานกลาง ดำน้อยลงไปเรื่อยๆ จนถึงสีขาว เป็นต้น





ลักษณะกึ่งปริมาณ

เป็นลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนหลายคู่ แต่ละคู่มีการแสดงผลแบบบวกสะสม (additive gene) ซึ่งการแสดงออกของยีนไม่ผันแปรไปตามสภาพแวดล้อม ดังนั้นจึงอาจจัดลักษณะเป็นหมวดหมู่ได้ เช่น สีเมล็ดข้าวสาลี ลักษณะการเจริญเติบโต จำนวน ขนาดและน้ำหนักไข่ คุณภาพไข่ คุณภาพเปลือกไข่ เป็นต้น

ลักษณะทางพันธุกรรมกับสิ่งแวดล้อม

ลักษณะทางพันธุกรรมหลายลักษณะขึ้นกับสิ่งแวดล้อม เช่น ต้นไม้มีการเปลี่ยนรูปร่างเพราะแรงลม หรือลักษณะทางพันธุกรรมของคนที่มีผิวขาวเมื่อไปเที่ยวพักผ่อนชายทะเลหลายๆ วัน หรืออาศัยอยู่ชายทะเล หรือมีอาชีพประมง คนดังกล่าวจะมีสีผิวคล้ำขึ้นจนไม่น่าเชื่อว่าดั้งเดิมเป็นคนผิวขาว นั่นเป็นเพราะอิทธิพลของสิ่งแวดล้อมที่มีต่อลักษณะทางพันธุกรรม กรณีฝาแฝดคู่หนึ่งถูกแยกกันเลี้ยงคนละประเทศ ต่อมาเมื่ออายุครบ 20 ปี ทั้งคู่กลับมาพบกันอีกครั้ง ทั้งคู่ต่างมีลักษณะเป็นของตนเอง แตกต่างกันมาก ซึ่งคนหนึ่งชอบดนตรีแจ๊ส ส่วนอีกคนชอบเพลงคลาสสิก แสดงว่าแฝดทั้งสองต่างชอบทางดนตรีเหมือนกัน แต่ฝึกดนตรีไปคนละทาง การฝึกฝนจึงเป็นปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม



บางลักษณะเช่น น้ำหนักตัว ความสูง สติปัญญา นอกจากได้รับการถ่ายทอดจากพันธุกรรมแล้ว ยังขึ้นกับอาหาร การเลี้ยงดูที่ได้รับ ตั้งแต่แรกเกิดจนไปโตเต็มวัยอีกด้วย

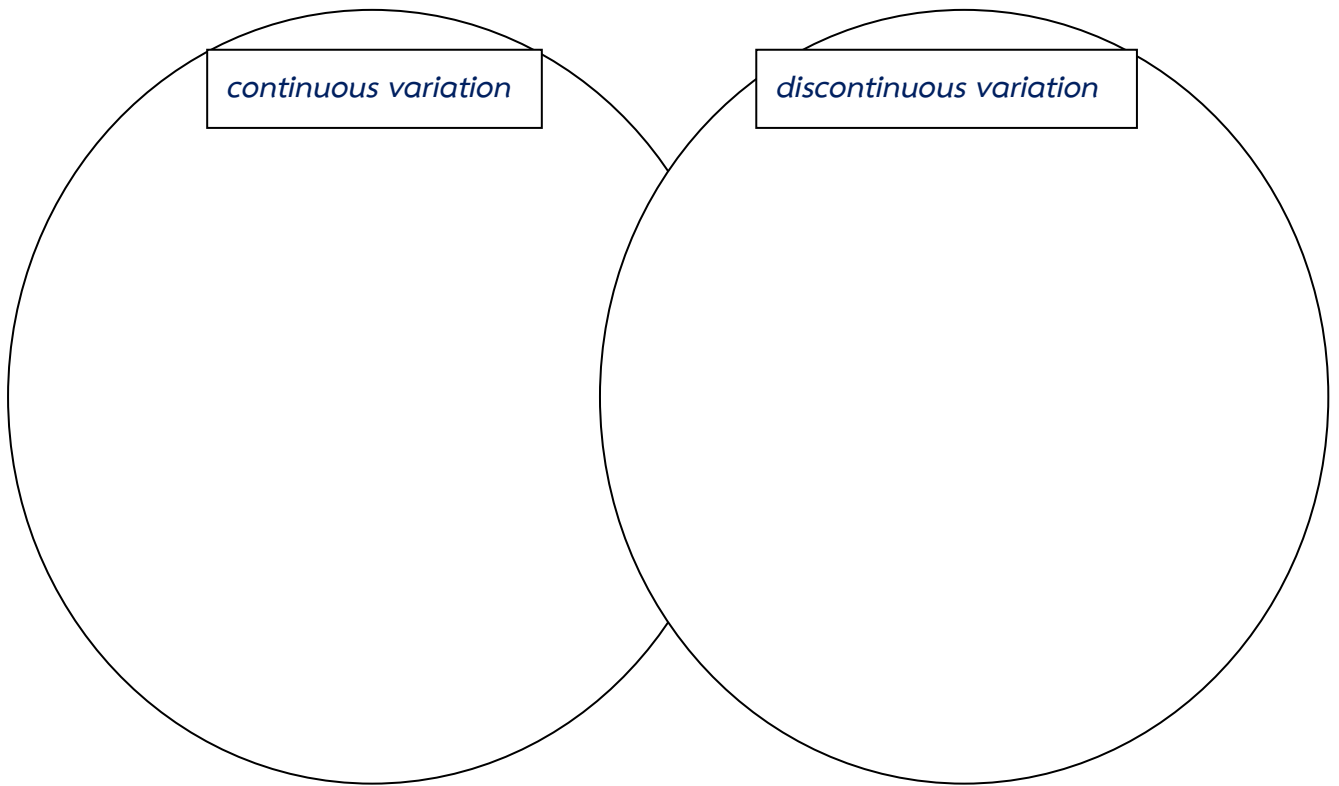
สำหรับในบางลักษณะไม่มีการเปลี่ยนแปลงไม่ว่าสิ่งแวดล้อมจะเปลี่ยนไปอย่างไร เช่น ลักษณะการห่อลิ้น หมู่เลือดระบบ ABO ลักษณะผิวเผือก (albino) สีตา สีผม ลักษณะรอยนิ้วมือของคน

สิ่งแวดล้อมสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

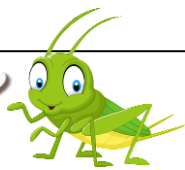
- สิ่งแวดล้อมภายนอก ได้แก่ อุณหภูมิ แสง อาหาร
- สิ่งแวดล้อมภายใน ได้แก่ อายุ เพศ



แบบฝึกหัด: จงสำรวจตัวเองและบอกลักษณะที่มีความแปรผันต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง



Home work



1. ให้นักเรียนเปรียบเทียบลักษณะของตนเองกับพ่อแม่ ว่ามีลักษณะใดที่เหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไรบ้าง
2. ให้นักเรียนในห้องเลือกลักษณะที่เป็น continuous variation และ discontinuous variation มาอย่างละ 1 ลักษณะ และทำการสำรวจประชากรทั้งหมดว่ามีลักษณะแต่ละแบบเป็นจำนวนทำไ้ไหร่ และนำมาเขียนกราฟ



Identical twins: same DNA, different environment

Identical twins have exactly the same DNA, but they are not exactly alike. Each twin has his or her own personality, talents, likes, and dislikes. There are even diseases that appear in one twin but not the other, including arthritis, diabetes, autism, schizophrenia, cancer, and many others. The differences between identical twins don't come from DNA—they all come from external factors.



Scientists often study twins to understand how genes and the environment work together to affect traits. They compare traits in identical twins, who have identical DNA, and fraternal twins, who share half their DNA, just like any siblings. If a characteristic appears more frequently in identical twin pairs than in fraternal twin pairs, then it has an inherited component.

The differences between identical twins don't come from DNA—they all come from external factors.

<http://learn.genetics.utah.edu/content/basics/traits/>

จง//ตอบ/เหตุผล.....

//๑๑๓๓ สามารถใช้เครื่องดแทนนิ้วมี๑แทนกันได้หรือไม่





โยฮัน เกรเกอร์ เมนเดล : ชายผู้มากคุณูปการ

โยฮัน เกรเกอร์ เมนเดล (Johann Gregor Mendel)

เกิดในปี ค.ศ. 1822 ที่ไฮน์เซนดอร์ฟ (Heinzendorf) ประเทศออสเตรีย ในครอบครัวเกษตรกรที่ค่อนข้างยากจน ในวัยเด็กเขาทำงานเป็นคนสวน และเรียนรู้การเลี้ยงผึ้ง เมนเดลเรียนมัธยมแถวบ้านเกิดและมีผลการเรียน ที่ยอดเยี่ยม ปี 1840 เขาเข้าเรียนต่อในวิชาปรัชญาหลักสูตร 2 ปีที่ มหาวิทยาลัย Olomouc ซึ่งเขาก็ทำได้ดีโดยเฉพาะในวิชาฟิสิกส์และ คณิตศาสตร์ แต่การเรียนก็เป็นไปอย่างยากลำบากเพราะฐานะทางบ้านไม่ดีไม่สามารถสนับสนุน เมนเดลจึง ต้องหาเงินด้วยการสอนพิเศษ ประกอบกับเขาเกิดป่วยหนักจนต้องหยุดเรียนไปปีหนึ่งจึงเรียนจบหลักสูตรในปี 1843

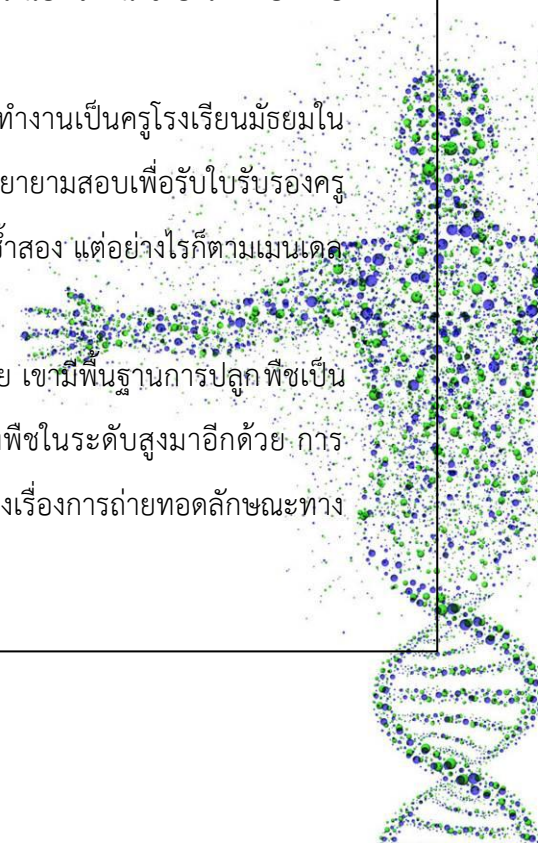


เมนเดลตัดสินใจออกบวชเป็นพระในคณะออกัสติเนียนแห่งนิกายโรมันคาทอลิก ณ วัดในกรุงบรุนน์ (Brunn) เพราะมันสามารถทำให้เขาได้เรียนต่อโดยไม่ต้องจ่ายเงินเอง พอเป็นนักบวชเขาได้ชื่อว่า “เกรเกอร์” โยฮันน์ เมนเดลจึงกลายเป็นเกรเกอร์ เมนเดลตั้งแต่ตอนนั้น เขาย้ายไปอยู่ที่เมือง Brünn ฝึกฝนการเป็น บาทหลวงที่นั่น และได้ทำงานเป็นครูผู้ช่วยที่โรงเรียนมัธยมแห่งหนึ่งซึ่งเขาประสบความสำเร็จในการทำหน้าที่ เป็นครูอย่างมาก

ปี 1850 เมนเดลเข้าสอบเพื่อรับใบรับรองการเป็นครูมัธยม แต่ปรากฏว่าเขาไม่ผ่านการสอบสัมภาษณ์ จึงถูกส่งไปเรียนเพิ่มทางด้านวิทยาศาสตร์ที่มหาวิทยาลัยเวียนนา เขาทุ่มเทเวลาศึกษาวิชาฟิสิกส์ภายใต้การ ดูแลของ Christian Doppler นักฟิสิกส์ชื่อดังชาวออสเตรียและวิชาคณิตศาสตร์ นอกจากนี้เขายังได้ศึกษาทาง วิทยาศาสตร์และสรีรวิทยาของพืชและการใช้กล้องจุลทรรศน์

เมนเดลเรียนจบกลับมาอยู่ที่วัดในเมือง Brünn ในปี 1853 และได้ทำงานเป็นครูโรงเรียนมัธยมใน เมือง Brünn อีกครั้ง แต่คราวนี้เขาสอนอยู่นาน 14 ปี ในปี 1856 เมนเดลพยายามสอบเพื่อรับใบรับรองครู มัธยมอีกครั้ง แต่ก็ยังไม่ผ่านการสอบสัมภาษณ์เหมือนเดิมซึ่งทำให้เขาผิดหวังซ้ำสอง แต่อย่างไรก็ตามเมนเดล ยังคงเป็นครูที่ประสบความสำเร็จอย่างสูง

นอกจากเป็นครูสอนหนังสือเมนเดลยังมีหน้าที่ดูแลสวนภายในวัดด้วย เขามีพื้นฐานการปลูกพืชเป็น อย่างดีเนื่องจากเติบโตในครอบครัวเกษตรกรและยังได้ศึกษาสรีรวิทยาของพืชในระดับสูงมาอีกด้วย การ ทำงานในสวนทำให้เขามีโอกาสได้สังเกตลักษณะต่างๆของพืชโดยเฉพาะอย่างยิ่งเรื่องการถ่ายทอดลักษณะทาง พันธุกรรมซึ่งเขาสนใจเป็นพิเศษ





ปี 1854 เจ้าอาวาสอนุญาตให้เมนเดลทำการทดลองเพื่อศึกษาการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมไปสู่รุ่นลูกหลานของพืชที่แปลงทดลองภายในวัดพื้นที่ราว 12 ไร่ เขาเลือกถั่วลันเตาในการทดลองศึกษาตามวัตถุประสงค์ดังกล่าว เนื่องจากถั่วลันเตามีพันธุ์ที่แตกต่างหลากหลาย เพาะปลูกได้ง่ายโตเร็ว ควบคุมการผสมเกสรได้สะดวก และการงอกใหม่ของเมล็ดมีโอกาสำเร็จสูงมาก

หลังจากทดลองในเบื้องต้นแล้วเมนเดลจึงเลือกที่จะทำการศึกษาลักษณะที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนของถั่วลันเตา 7 ลักษณะได้แก่ สีของดอก (ม่วง – ขาว), ตำแหน่งของดอก (ติดกิ่ง – ปลายยอด), สีของเปลือกหุ้มเมล็ด (เหลือง – เขียว), รูปร่างของเมล็ด (กลม – ย่น) , สีของฝัก (เขียว – เหลือง), รูปร่างของฝัก (อวบ – แพน) และความสูงของต้น (สูง – เตี้ย)

เมนเดลใช้เวลาระหว่างปี 1856 – 1863 รวมทั้งหมด 8 ปีทำการทดลองผสมพันธุ์ถั่วลันเตานับพันครั้ง ศึกษาติดตามการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมจากรุ่นสู่รุ่น เขาทำการศึกษการถ่ายทอดพันธุกรรมทีละลักษณะก่อนจนเข้าใจดีแล้วจึงทำการศึกษการถ่ายทอดหลายลักษณะพร้อมๆกัน เริ่มจากคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์แท้ (pure-breeding) ที่มีลักษณะแตกต่างกันมาทำการผสมเกสรข้ามพันธุ์ รุ่นลูกของพ่อแม่พันธุ์แท้เรียกว่าลูกผสมช่วงที่ 1 หรือ F1 (first filial generation) จากนั้นทำการผสมพันธุ์ F1 ด้วยกัน รุ่นหลานหรือลูกของ F1 เรียกว่า F2 (second filial generation)

เมนเดลพบว่ารุ่น F1 จะมีลักษณะเหมือนกับพ่อหรือแม่เพียงลักษณะเดียวทั้งหมด เช่น พ่อแม่เป็นดอกสีม่วงกับดอกสีขาว รุ่น F1 จะมีดอกสีม่วงทั้งหมด ส่วนรุ่น F2 เขาพบว่าอัตราส่วนของจำนวนต้นที่มีดอกสีม่วงต่อจำนวนต้นที่มีดอกสีขาวเท่ากับ 3 ต่อ 1 กรณีนี้ดอกสีม่วงเรียกว่าลักษณะเด่น (Dominant trait) ส่วนดอกสีขาวเรียกว่าลักษณะด้อย (Recessive trait) เมนเดลทำการผสมพันธุ์ถั่วลันเตาต่างลักษณะหลากหลายรูปแบบและปลูกต้นถั่วไปทั้งหมดราว 28,000 ต้น ได้ข้อสรุปการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมที่ต่อมากลายเป็นพื้นฐานสำคัญของวิชาพันธุศาสตร์สมัยใหม่ที่เรียกกันว่า กฎของเมนเดล (Mendel's Laws)

เมนเดลเสนอผลการทดลองครั้งสำคัญและสิ่งที่เขาค้นพบในผลงานชื่อ Experiments on Plant Hybridization ต่อที่ประชุมสมาคมธรรมชาติวิทยา (Natural History Society) ของเมือง Brunn สองครั้ง ในปี 1865 แต่ไม่ค่อยได้รับความสนใจจากนักวิทยาศาสตร์ ทางสมาคมได้นำผลงานของเมนเดลตีพิมพ์ลงในหนังสือชื่อ Proceedings of the Nature History Society of Brunn ในปีต่อมา แต่มั่นกลับถูกมองว่าเป็นเรื่องเกี่ยวกับการผสมพันธุ์มากกว่าการถ่ายทอดทางพันธุกรรมและแทบไม่มีใครสนใจ ถือว่าการทำงานอย่างหนักตลอด 8 ปีแทบจะล้มเหลวโดยสิ้นเชิง



แต่เมนเดลยังคงสนใจทำงานด้านวิทยาศาสตร์ต่อไป เขาพยายามทดลองผสมข้ามพันธุ์ต้นฮอกวีตและผึ้งรวมทั้งบันทึกข้อมูลทางอุณหิทยาและดาราศาสตร์ ปี 1868 เมนเดลได้รับเลือกเป็นเจ้าอาวาสซึ่งต้องรับผิดชอบด้านการบริหารและโดยเฉพาะอย่างยิ่งเขาได้ต่อสู้กับรัฐบาลที่พยายามเก็บภาษีพิเศษกับสถาบันศาสนาอย่างยาวนาน ทำให้งานทางด้านวิทยาศาสตร์ของเขาจึงต้องสิ้นสุดลงโดยปริยาย เมนเดลเสียชีวิตในปี 1884 มีอายุ 61 ปี

ปี 1900 หลังจากที่เมนเดลเสียชีวิตไป 16 ปีหรือ 35 ปีหลังจากที่เขาเสนอผลงานเรื่องการถ่ายทอดทางพันธุกรรม มีนักวิทยาศาสตร์ 3 คนจาก 3 ชาติ ได้แก่ Hugo de Vries ชาวดัตช์, Carl Correns ชาวเยอรมัน และ Erich von Tschermak ชาวออสเตรียได้ทำการทดลองคล้ายกับของเมนเดลอย่างอิสระไม่เกี่ยวข้องกัน และได้ผลสรุปเหมือนกับของเมนเดล ทำให้ผลงานและกฎของเมนเดลเป็นที่ยอมรับและรู้จักในวงกว้าง มีการนำไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง



ต่อมาในราวช่วงทศวรรษ 1940 มีการรวมกฎการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของเมนเดลกับทฤษฎีการคัดเลือกโดยธรรมชาติของดาร์วินเข้าด้วยกันส่งผลให้เกิดการสังเคราะห์วิวัฒนาการทางชีววิทยาสสมัยใหม่ ด้วยผลงานยิ่งใหญ่ในการค้นพบกฎการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมเมนเดลจึงได้รับการยกย่องเป็น “บิดาแห่งพันธุศาสตร์สมัยใหม่”



การค้นพบกฎการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม

เมนเดลได้ทดลองผสมถั่วลันเตา (garden pea; *Pisum sativum*) ที่มีลักษณะต่างกัน 7 ลักษณะ โดยได้ทำการทดลองนานกว่า 7 ปี จึงพบกฎเกณฑ์การถ่ายทอดลักษณะของสิ่งมีชีวิต

ลักษณะ 7 ประการที่นำมาศึกษา ได้แก่

Traits	Shape of Seeds	Color of Seeds	Color of Pods	Shape of Pods	Plant Height	Position of Flowers	Flower Color
Dominant trait	Round	Yellow	Green	Full	Tall	At leaf junctions	Purple
Recessive trait	Wrinkled	Green	Yellow	Flat, constricted	short	At tips of branches	White

การทดลองของเมนเดลเริ่มจากการเลือกลักษณะของต้นพ่อและต้นแม่พันธุ์แท้ที่มีลักษณะต่างกันมาผสมกัน แล้วพิจารณาการผสมกันทีละลักษณะ ต้นถั่วที่นำผสมกันในครั้งแรกนี้เรียกว่ารุ่นพ่อแม่ หรือ P

พันธุ์แท้ (Pure line): ลักษณะที่เมื่อทำการผสมกับตัวเองแล้วให้ลูก

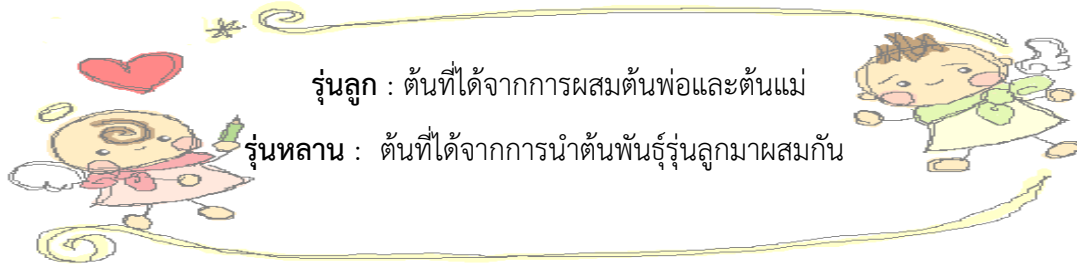
รุ่นถัดไปเหมือนต้นพ่อแม่

รุ่นพ่อแม่ : ต้นพันธุ์ที่ใช้ในการผสมครั้งแรก

วิธีการคัดเลือกถั่วพันธุ์แท้

เมนเดลนำต้นถั่วแต่ละสายพันธุ์มาปลูกและผสมภายในดอกเดียวกัน เมื่อต้นถั่วออกฝัก จึงนำเมล็ดแก่ไปปลูก จากนั้นรอนจนกระทั่งต้นถั่วเจริญเติบโต จึงคัดเลือกต้นที่มีลักษณะเหมือนพ่อแม่ แล้วนำมาผสมพพันธุ์ต่อไปด้วยวิธีการเช่นเดียวกับครั้งแรก ทำเช่นนี้ต่อไปอีกหลายๆ รุ่นจนได้เป็นต้นถั่วพันธุ์แท้ ที่มีลักษณะเหมือนพ่อแม่ทุกประการ

ต้นใหม่ที่ได้จากการผสมรุ่นพ่อแม่เรียกว่า รุ่นลูก หรือ F1 (First filial generation) และเมื่อนำรุ่นลูกมาผสมกันจะได้ รุ่นหลาน หรือ F2 (second filial generation)



รุ่นลูก : ต้นที่ได้จากการผสมต้นพ่อและต้นแม่

รุ่นหลาน : ต้นที่ได้จากการนำต้นพันธุ์รุ่นลูกมาผสมกัน

สิ่งที่เมนเดลค้นพบจากการทดลอง

1. เมื่อผสมพันธุ์ถั่วชนิดต่างกันสองชนิด ผลผลิตต่อมาที่ได้เป็นพันธุ์ชนิดเดียว ยกตัวอย่าง ถ้าหากเราผสมพันธุ์ถั่วเมล็ดสีเหลืองกับชนิดเมล็ดสีเขียว มันจะผลิตพันธุ์เมล็ดสีเหลืองออกมา
2. เมื่อนำผลผลิตจากข้อ 1 (F1) มาผสมกัน ในรุ่นถัดไป (F2) จะปรากฏลักษณะทั้งสองลักษณะในสัดส่วนที่คงที่เสมอ โดยจะพบสีเหลืองต่อสีเขียว เป็น 3:1

การผสมต้นถั่วแต่ละลักษณะของเมนเดลให้ผลดังนี้

ลักษณะ	รุ่นพ่อแม่ (P)		ลักษณะของรุ่น F ₁	ลักษณะของรุ่น F ₂		อัตราส่วนของลักษณะทั้งสองในรุ่น F ₂
ความสูงของลำต้น	สูง	เตี้ย	สูงทั้งหมด	สูง 787	เตี้ย 277	2.84 : 1
สีของดอก	ม่วง	ขาว	ม่วงทั้งหมด	ม่วง 705	ขาว 224	3.15 : 1
ตำแหน่งของดอก	ดอกออกที่กิ่ง	ดอกออกที่ยอด	ดอกออกที่กิ่งทั้งหมด	ดอกออกที่กิ่ง 651	ดอกออกที่ยอด 207	3.14 : 1
สีของฝัก	เขียว	เหลือง	เขียวทั้งหมด	เขียว 428	เหลือง 152	2.82 : 1
รูปร่างของฝัก	อวบ	แฟบ	อวบทั้งหมด	อวบ 882	แฟบ 299	2.95 : 1
สีของเมล็ด	เหลือง	เขียว	เหลืองทั้งหมด	เหลือง 6,022	เขียว 2,001	3.01 : 1
รูปร่างของเมล็ด	กลม	ขรุขระ	กลมทั้งหมด	กลม 5,474	ขรุขระ 1,850	2.96 : 1



เมนเดลเรียกลักษณะต่างๆ ที่ปรากฏในลูกรุ่นที่ 1 เช่น เมล็ดกลม ลำต้นสูง เรียกว่า **ลักษณะเด่น (dominance)** ส่วนลักษณะที่ไม่ปรากฏในรุ่นลูกที่ 1 แต่กลับปรากฏในรุ่นที่ 2 เช่น เมล็ดขรุขระ ลักษณะต้นเตี้ย เรียกว่า **ลักษณะด้อย (recessive)** ซึ่งลักษณะแต่ละลักษณะในลูกรุ่นที่ 2 ให้ อัตราส่วน ลักษณะเด่น : ลักษณะด้อย ประมาณ 3 : 1

จากการทดลองของเมนเดลสรุปได้ว่า ลักษณะต่างๆ ของต้นถั่วต้องมีหน่วยควบคุม เรียกหน่วยควบคุมนี้ว่า แฟกเตอร์ (Factor)

🌸 แฟกเตอร์ (Factor) คือหน่วยควบคุมลักษณะของสิ่งมีชีวิต ซึ่งในปัจจุบันเรียกว่า “**ยีน (Gene)**”

🌸 ลักษณะของยีนอยู่เป็นคู่บนแขนแต่ละข้างของโครโมโซม บนตำแหน่งที่ตรงกัน ซึ่งจะเรียกลักษณะแบบนี้ว่าเป็น **allele** กัน

🌸 โครโมโซมที่เป็นที่อยู่ของตำแหน่งยีนที่เป็น **allele** กัน เรียกว่า **homologous chromosome**

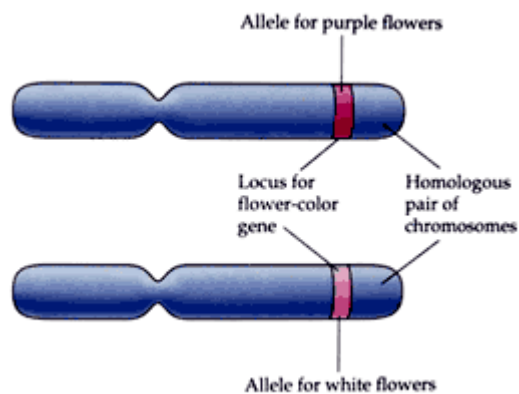
🌸 ตำแหน่งบนโครโมโซมที่มียีนเข้าคู่กัน (allele) เรียกว่า **locus**

🌸 ยีนสองยีนที่มาเข้าคู่กันจะมีการแสดงลักษณะของยีนใดยีนหนึ่งออกมา เรียกลักษณะที่มีการแสดงออกนั้นว่า **ลักษณะเด่น (dominance trait/dominance character)** ยีนที่ควบคุมลักษณะเด่นเรียกว่า **ยีนเด่น (dominance gene)**

🌸 ลักษณะที่ไม่แสดงออก หรือแสดงออกแค่เพียงบางรุ่นเรียกว่า **ลักษณะด้อย (recessive trait/ recessive character)** ยีนที่ควบคุมลักษณะเด่นเรียกว่า **ยีนเด่น (recessive gene)**

🌸 ยีนเด่นมักใช้สัญลักษณ์แทนด้วยตัวพิมพ์ใหญ่

ยีนด้อยมักใช้สัญลักษณ์แทนด้วยตัวพิมพ์เล็ก





สรุปการทดลองของเมนเดล

จากการทดลองเมนเดลพบว่า ในรุ่น F1 ลักษณะที่ปรากฏมีเพียงแบบเดียว ส่วนในรุ่น F2 แต่ละลักษณะแสดงออกมา 2 แบบ

ลักษณะที่ปรากฏในรุ่นต่อไปได้ทุกรุ่นและปรากฏมากกว่า เมนเดลเรียกว่า **ลักษณะเด่นหรือลักษณะข่ม (dominant)** ลักษณะที่หายไป หรือมีโอกาสปรากฏได้ในบางรุ่นเรียกว่า **ลักษณะด้อย (recessive)**

เมนเดลได้อธิบายว่า “ภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตทุกเซลล์ จะมีลักษณะทางพันธุกรรม ซึ่งนักวิทยาศาสตร์ในยุคต่อมาเรียกว่า “ยีน” (gene) องค์ประกอบของยีน/รูปแบบของยีนคือแอลลีล โดยในรุ่น F1 แอลลีลที่แสดงออกมาเป็น แอลลีลลักษณะเด่น (dominant allele) ส่วนแอลลีลที่แสดงออกมาไม่ได้เป็น แอลลีลลักษณะด้อย (recessive allele)”

ในการผสมพันธุ์ด้วยพิจารณาลักษณะสีของฝัก ถ้าให้ G เป็นสัญลักษณ์แทนลักษณะฝักสีเขียวที่เป็น แอลลีลลักษณะเด่น g แทนลักษณะฝักสีเหลืองที่เป็นแอลลีลลักษณะด้อย แอลลีลที่อยู่เป็นคู่กันจะเป็นไปได้ดังนี้

GG	สีเขียว
Gg	สีเขียว
gg	สีเหลือง
⇓	⇓
genotype	phenotype

จีโนไทป์ (genotype) : หมายถึง ลักษณะหรือแบบของยีนที่ควบคุมลักษณะ

ฟีโนไทป์ (phenotype) : หมายถึง ลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่ปรากฏออกมาเนื่องจากการแสดงออกของยีนและอิทธิพลของสิ่งแวดล้อม



ฟีโนไทป์ = จีโนไทป์ + สิ่งแวดล้อม



การที่สิ่งมีชีวิตมีแอลลีล 2 แอลลีลเหมือนกัน เช่น GG หรือ gg เรียกว่ามีสภาพเป็น **โฮโมไซกัส (homozygous) หรือ พันธุ์แท้ (pure line)**

ส่วนการที่มีแอลลีล 2 แอลลีลต่างกัน เช่น Gg มาคู่กัน สภาพเช่นนี้เรียกว่า **เฮเทอโรไซกัส (heterozygous) หรือพันธุ์ทาง หรือลูกผสม (hybrid)**

สาเหตุของความสำเร็จของเมนเดล

1. ลักษณะที่เมนเดลศึกษาถูกควบคุมด้วยยีนเพียงคู่เดียวเท่านั้นและสามารถแยกลักษณะต่าง ๆ ได้อย่างชัดเจน เช่น ต้นสูง ต้นเตี้ย เมล็ดเรียบ เมล็ดขรุขระ
2. ต้นถั่วลันเตาเป็นถั่วที่หาง่าย ปลูกง่าย อายุสั้น และให้เมล็ดได้จำนวนมาก นอกจากนี้สามารถควบคุมการผสมพันธุ์ได้
3. เมนเดลใช้รุ่นพ่อแม่ (parent breeding) ที่เป็นพันธุ์แท้มาผสมกัน ทำให้ได้ลักษณะต่าง ๆ ที่ออกมาเป็นแผนเดียวกัน

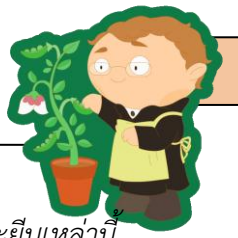


จากการทดลองข้างต้นทำให้สามารถสรุปเป็นกฎ ได้ 2 ข้อ

กฎข้อที่ 1 ของเมนเดล: กฎแห่งการแยกตัว (law of segregation)

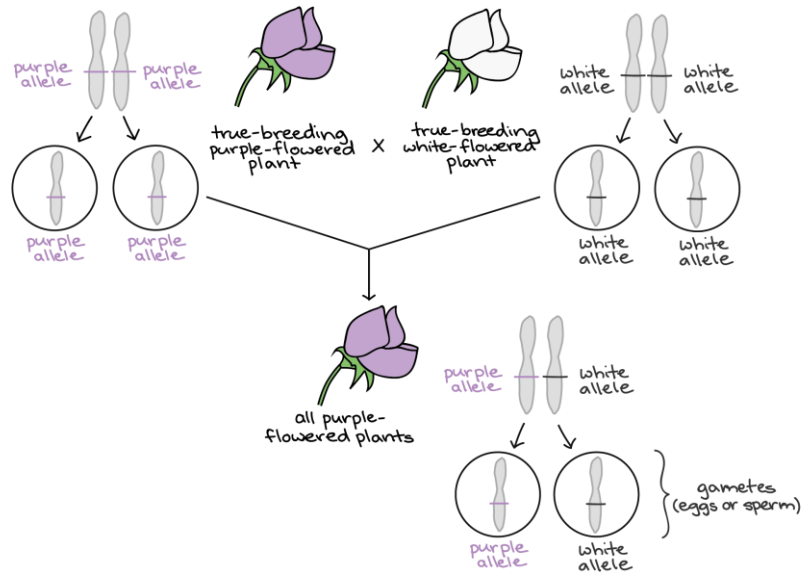
กฎข้อที่ 2 ของเมนเดล: กฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ (law of independent assortment)





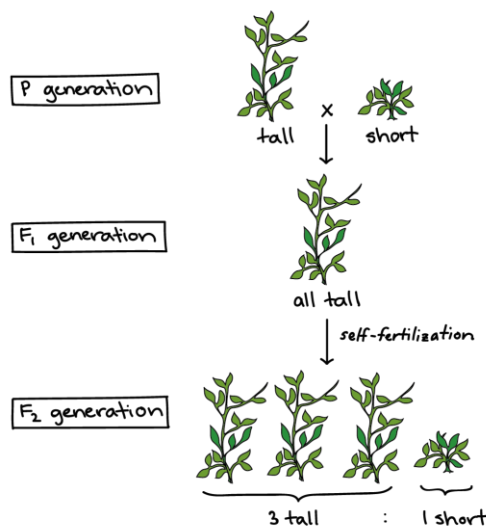
กฎข้อที่ 1 ของเมนเดล: กฎแห่งการแยกตัว

กฎข้อนี้มีใจความว่า “ลักษณะของสิ่งมีชีวิตจะถูกควบคุมโดยยีน อย่างเฉพาะเจาะจง และยีนเหล่านี้จะอยู่กันเป็นคู่ ๆ เมื่อมีการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ขึ้นมา ยีนดังกล่าวจะแยกออกจากกัน โดยที่ยีนเพียงอันเดียวเท่านั้นจากแต่ละคู่จะไปปรากฏอยู่ในแต่ละเซลล์สืบพันธุ์และจะกลับมารวมกันใหม่เมื่อมีการปฏิสนธิเกิดขึ้น”



ตัวอย่างที่ 1

ถ้านำถั่วลันเตารุ่นพ่อแม่ (P) ลักษณะเมล็ดกลมกับเมล็ดขรุขระที่ต่างเป็นพันธุ์แท้มาผสมกันจะได้รุ่นลูก (F1) มีจีโนไทป์และฟีโนไทป์ชนิดเดียวกันทั้งหมด และปล่อยให้รุ่น F1 ผสมกันเองได้รุ่นหลาน (F2) จะได้จีโนไทป์แตกต่างกัน เป็น 3 ชนิดในสัดส่วน 1 : 2 : 1 และได้ฟีโนไทป์แตกต่างกันเป็น 2 ชนิดในสัดส่วน 3 : 1 ซึ่งพิจารณาได้ตามแผนภาพดังนี้





สรุป

1. ในรุ่น F1 มีจีโนไทป์เป็น Tt ทั้งหมด และมีฟีโนไทป์เป็นต้นสูงทั้งหมด แสดงว่าอัลลีล T แสดงลักษณะเด่นหรือลักษณะข่ม อัลลีล t อย่างสมบูรณ์

โจทย์ปัญหา:



1. ถั่วลันเตาลักษณะเมล็ดสีเหลืองเป็นลักษณะเด่น สีเขียวเป็นลักษณะด้อย ในการผสมถั่วที่มีลักษณะเมล็ดสีเหลืองพันธุ์ทางและสีเขียวเข้าด้วยกันลูกในรุ่น F1 จะมี Genotype และ Phenotype อย่างไร

.....

.....

.....

2. ในแมลงหวี่ กำหนดให้ L เป็นยีนควบคุมลักษณะปีกยาว และ l ควบคุมลักษณะปีกสั้น เมื่อผสมพันธุ์แมลงหวี่ปีกยาวและปีกสั้นจะได้ลูกที่มีปีกยาวและปีกสั้นในสัดส่วน 1:1 จงหา Genotype ของพ่อแม่และลูก

.....

.....

.....

3. เมื่อนำกระต่ายขนสีดำที่เป็น Homozygous กับกระต่ายขนสีน้ำตาล ปรากฏว่าลูกที่เกิดใหม่มีขนสีดำทั้งหมด

3.1 ข้อมูลนี้บอกอะไรแก่เราบ้าง

.....

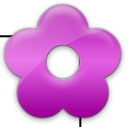
.....

3.1 Genotype ของ F1 เป็นอย่างไร

.....

.....

.....



3.2 ถ้านำ F1 มาผสมกันเอง Genotype ของรุ่น F2 เป็นอย่างไร

.....

.....

.....

3.3 ถ้านำรุ่น F1 ผสมกับพ่อแม่ที่มีขนสีน้ำตาล โอกาสจะได้ลูกขนสีอะไรบ้างในสัดส่วนเท่าไร

.....

.....

.....



กฎข้อที่ 2 ของเมนเดล: กฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ

กฎข้อนี้มีใจความว่า “ยีนที่แยกออกจากยีนที่เป็นคู่กันจะจัดกลุ่มอย่างอิสระกับยีนอื่นที่แยกออกจากคู่กันเช่นกันในการเข้าไปอยู่ในเซลล์สืบพันธุ์”

กฎข้อนี้เมนเดลได้จากการศึกษาการถ่ายทอดลักษณะโดยพิจารณาจากยีน 2 คู่ (dihybrid cross) ทั้งนี้เนื่องจากสิ่งมีชีวิตโดยทั่วไปจะมีการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมหลายลักษณะไปพร้อมๆ กัน

dihybrid cross เช่น ต้นสูงดอกสีขาว / แมลงหวี่ตาสีแดงปีกยาว เป็นต้น



การหาสัดส่วนของจีโนไทป์และฟีโนไทป์ของการผสมโดยพิจารณาจากยีน 2 คู่ สามารถหาได้จาก 3 วิธี ดังนี้

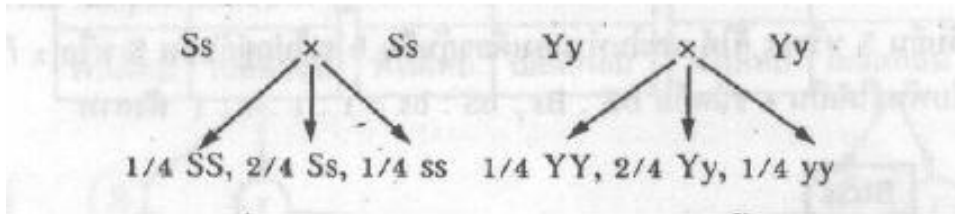
- (1.) ใช้หลักความน่าจะเป็น (Probability)
- (2.) ตารางพันเนต (Punnet Square)
- (3.) ใช้วิธีแตกแขนง (Branching system)



ใช้หลักความน่าจะเป็น (Probability)

ให้ผสมทีละลักษณะ (Monohybrid cross) และนำ ค่าความน่าจะเป็นของแต่ละลักษณะมาคูณกัน

ตัวอย่าง ผสมถั่วลักษณะเมล็ดเรียบสีเหลืองพันธุ์ทางเข้าด้วยกัน



S = เมล็ดเรียบ

s = เมล็ดขรุขระ

Y = สีเหลือง

y = สีเขียว

เมล็ดเรียบสีเหลือง =

เมล็ดเรียบสีเขียว =

ขรุขระสีเหลือง =

ขรุขระสีเขียว =

แบบฝึกหัด



“ผสมกระต่ายสีดำขนยาวพันธุ์ทาง กับสีน้ำตาลขนยาวพันธุ์ทาง โดยให้ลักษณะสีดำและขนยาวเป็น
ขณะเด่น”

1. จงหาโอกาสที่จะได้ลูก F1 มีจีโนไทป์เป็น heterozygous ของทั้ง 2 ลักษณะ

.....

.....

.....

.....

.....

.....



แบบฝึกหัด



“ผสมกระต่ายสีดำขนยาวพันธุ์ทาง กับสีน้ำตาลขนยาวพันธุ์ทาง โดยให้ลักษณะสีดำและขนยาวเป็นลักษณะเด่น”

2. จงหาโอกาสที่จะได้ลูก F1 ที่มีจีโนไทป์เป็น homozygous recessive ของทั้ง สองลักษณะ

.....

.....

.....

.....

.....

3. จงหาโอกาสที่จะได้ลูก F1 มีฟีโนไทป์เป็นสีน้ำตาลขนยาว

.....

.....

.....

.....

.....

4. จงหาโอกาสที่จะได้ลูก F1 มีฟีโนไทป์เป็นสีดำขนยาว

.....

.....

.....

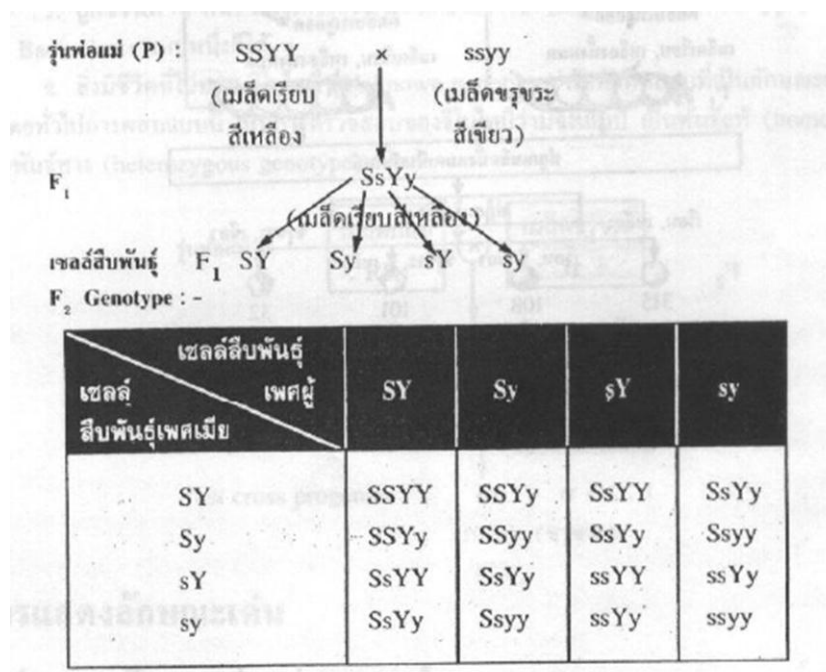
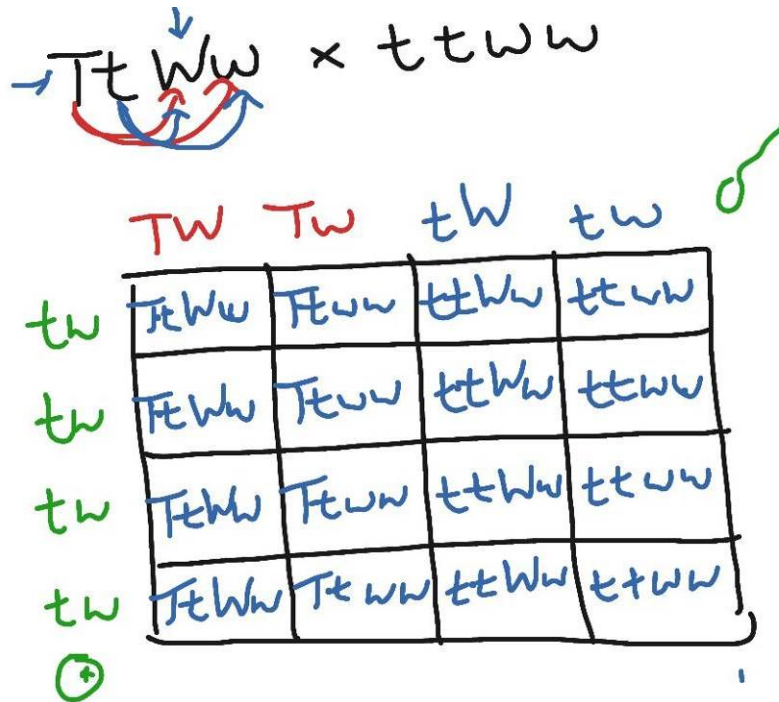
.....

.....



ตารางพันเนต (Punnet Square)

ตัวอย่าง





สูตร หาชนิดจีโนไทป์ = $3n$ (n = จำนวนคู่ของ heterozygous gene) เช่น จากกรณีตัวอย่าง ผสม $YySs$ เข้าด้วยกัน จะเห็นว่า $n = 2$ คือจำนวนคู่ของ heterozygous gene มี 2 คู่ ดังนั้นชนิดจีโนไทป์จึงมี 9 ชนิด ($3 \times 2 = 6$)

แบบฝึกหัด



1. จงหาสัดส่วนของลูกรุ่น F1 ที่ได้จากการผสมแมลงหวี่ปีกยาวตาสีดำพันธุ์พันธุ์แท้ กับแมลงหวี่ปีกสั้นตาสีแดง โดยกำหนดให้ปีกยาวตาสีดำเป็นลักษณะเด่น

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. จงหาสัดส่วนของลูกรุ่น F1 ที่ได้จากการผสมแมลงหวี่ที่เป็น Heterozygous กับที่เป็น Homozygous

.....

.....

.....

.....

.....

.....

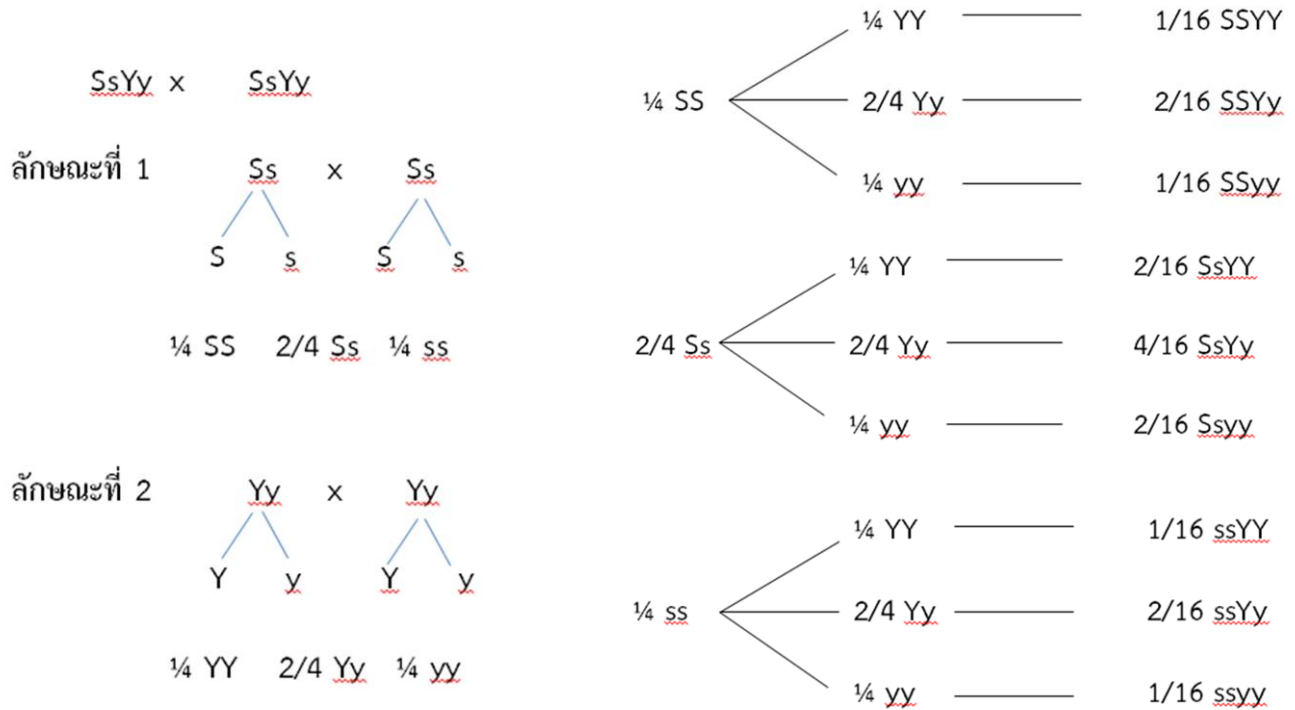
.....

.....

.....



ใช้วิธีแตกแขนง (Branching system)



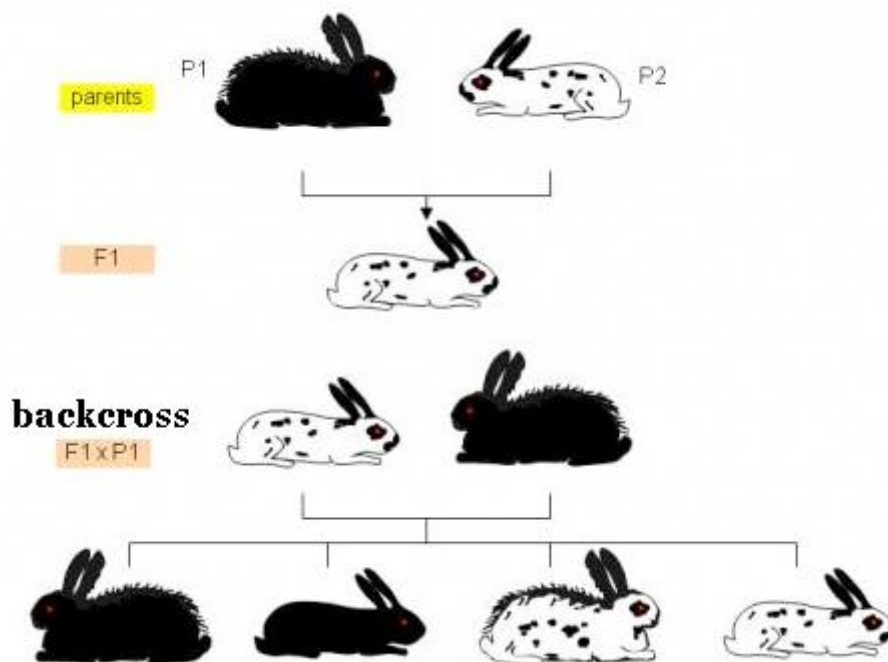


การประยุกต์ใช้กฎของเมนเดล

แบคครอส (Back Cross)

แบคครอส (Back Cross) เป็นการผสมระหว่างลูกผสม (hybrid) กับรุ่นพ่อหรือแม่ (Parental genotype) อันใดอันหนึ่งที่เป็นลักษณะด้อย (homozygous recessive)

โดยส่วนมากการผสม Back cross นี้มักเป็นการผสมระหว่าง F1 (heterozygote) กับพ่อหรือแม่ที่เป็นลักษณะด้อยพันธุ์แท้ (homozygous recessive) เป็นส่วนใหญ่



ความสำคัญของแบคครอส :

1. ใช้ในการเพิ่มลักษณะที่ต้องการ ซึ่งลักษณะที่ต้องการนั้นคือลักษณะของต้นพ่อหรือแม่ที่เลือกมาผสมนั่นเอง
2. ถือเป็นการปรับปรุงพันธุ์อย่างหนึ่ง



2. ลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของเมนเดล

ได้แก่ลักษณะดังนี้:

1. การข้ามไม่สมบูรณ์ (incomplete dominant)
2. การข้ามร่วมกัน (codominance)
3. มัลติเปิลอัลลีล (multiple alleles)
4. โพลียีน (polygene) หรือ มัลติเปิลยีน (multiple gene)

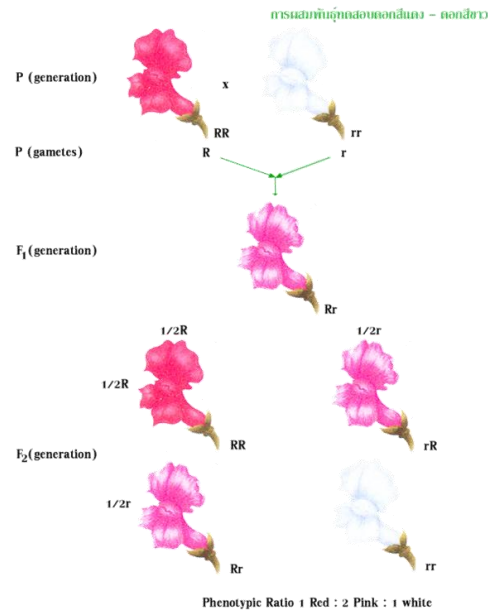
การใช้ภาษาไทย....

คำศัพท์ภาษาอังกฤษ	คำศัพท์ภาษาไทย		ความหมาย
codominance	ความเด่นร่วม	การข้ามร่วมกัน*	การที่คู่ของแอลลีลแสดงลักษณะเด่นเท่ากัน ทำให้จีโนไทป์แบบเฮเทอโรไซกัสแสดงฟีโนไทป์ของทั้ง 2 แอลลีลร่วมกัน
complete dominance	ความเด่นสมบูรณ์	การข้ามสมบูรณ์*	การที่แอลลีลเด่นข้ามแอลลีลด้อยได้อย่างสมบูรณ์ ทำให้จีโนไทป์แบบเฮเทอโรไซกัสและโฮโมไซกัสแบบเด่นมีลักษณะเหมือนกัน
incomplete dominance	ความเด่นไม่สมบูรณ์	การข้ามไม่สมบูรณ์*	การที่แอลลีลเด่นไม่สามารถข้ามแอลลีลด้อยได้อย่างสมบูรณ์ ทำให้จีโนไทป์แบบเฮเทอโรไซกัสแสดงฟีโนไทป์อยู่ระหว่างลักษณะเด่นกับลักษณะด้อย
multiple allele	มัลติเพิลแอลลีล	มัลติเปิลแอลลีล*	รูปแบบของยีนที่ตำแหน่งใดๆ มีตั้งแต่ 3 รูปแบบขึ้นไป
polygene	ยีนหลายคู่	พอลิยีน*	กลุ่มของยีนที่ควบคุมลักษณะเชิงปริมาณ

* คำศัพท์ในหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมชีววิทยา เล่ม 4 ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551

การข้ามไม่สมบูรณ์ (incomplete dominant)

กรณีที่แอลลีลที่กำหนดลักษณะเด่นไม่สามารถข้ามหรือปิดบังแอลลีลที่กำหนดลักษณะด้อยไว้ได้อย่างสมบูรณ์ ลูกที่เกิดมาจึง แสดงออกมาทั้งลักษณะเด่นและลักษณะด้อย เรียกลักษณะเช่นนี้ว่า ลักษณะเด่นไม่สมบูรณ์ (incomplete dominant) เช่นดอกลิ้นมังกรที่ให้สีชมพูในรุ่นลูก ซึ่งเกิดจากการผสมดอกสีแดงและขาวในรุ่นพ่อแม่



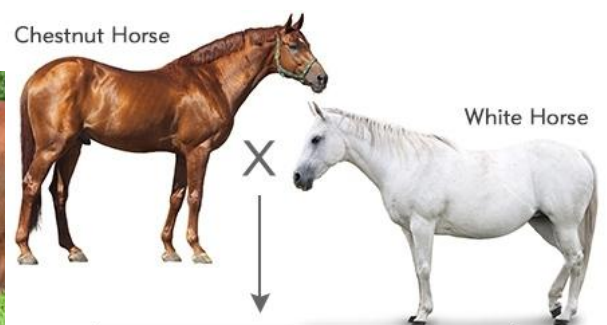
การข่มร่วมกัน (codominance)

การถ่ายทอดลักษณะเด่นร่วมกัน หมายถึง การที่ยีนแต่ละอัลลีลจะแสดงออกร่วมกันในลูกผสม เนื่องจากต่างเป็นลักษณะเด่นทั้งคู่ข่มกันไม่ลง ส่งผลให้ลูกที่ได้มีลักษณะที่แตกต่างจากรุ่นพ่อแม่

การถ่ายทอดลักษณะเด่นร่วมกันในคนเช่นพันธุกรรมหมู่เลือดระบบ ABO พบว่า อัลลีล I^A เป็น Codominance กับอัลลีล I^B ดังนั้น ผู้ที่มีจีโนไทป์ I^AI^B จะมีเลือดหมู่ AB

Blood type	Genotype
AB	I ^A , I ^B AB

การถ่ายทอดลักษณะการข่มร่วมกันในสัตว์ต่างๆ





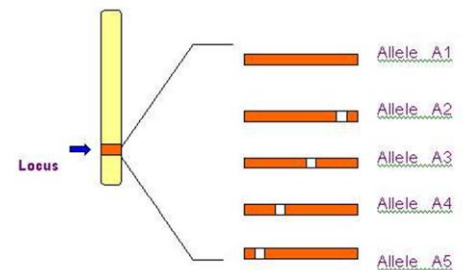
การถ่ายทอดลักษณะการข่มร่วมกันในพืช



มัลติเปิลอัลลีล

หมายถึง พันธุกรรมลักษณะใดลักษณะหนึ่งที่ถูกควบคุมด้วยยีนมากกว่า 2 อัลลีล (alleles) ที่ตำแหน่ง (locus) เดียวกันของโครโมโซมที่เป็นคู่กัน (homologous chromosome) เช่น พันธุกรรมหมู่เลือดระบบ ABO มียีนควบคุม 3 อัลลีล หรือสีขนของกระต่าย $C > c^{ch} > c^h > c$

• จีโนไทป์	$I^A I^A$ และ $I^A i$	จะแสดงฟีโนไทป์เป็น	เลือดกลุ่ม A
• จีโนไทป์	$I^B I^B$ และ $I^B i$	จะแสดงฟีโนไทป์เป็น	เลือดกลุ่ม B
• จีโนไทป์	$I^A I^B$	จะแสดงฟีโนไทป์เป็น	เลือดกลุ่ม AB
• จีโนไทป์	ii	จะแสดงฟีโนไทป์เป็น	เลือดกลุ่ม O



Genotype			
CC	$c^{ch}c^{ch}$	c^hc^h	cc
Phenotype			
BLACK	CHINCHILLA	HIMALAYAN	ALBINO

โพลียีน (polygene)

กลุ่มยีนที่มีมากกว่า 1 คู่ขึ้นไปในการควบคุมลักษณะใดลักษณะหนึ่งของสิ่งมีชีวิต กลุ่มยีนเหล่านี้อาจอยู่บนโครโมโซมแท่งเดียวกันหรือคนละแท่งก็ได้ โดยแอลลีลเด่นแต่ละคู่แสดงผลต่อลักษณะนั้นเท่าๆ กัน และมีการแสดงออกแบบสะสม (additive effect)

การแสดงออกแบบสะสม (additive effect) หรืออิทธิพลแบบบวกสะสม หมายถึงการเพิ่มขึ้นของแต่ละ allele ใน genotype จะมีผลในเชิงบวกหรือเพิ่มขึ้นของลักษณะซึ่งจะแสดงออกใน phenotype



เช่น สมมติว่ายีน A และ a ควบคุมปริมาณน้ำนมของวัว โดยค่าของยีน A เท่ากับ 5 ลิตร และค่าของยีน a เท่ากับ 1 ลิตร ลักษณะของวัวที่มี genotype แต่ละแบบจึงเป็นเช่นนี้

AA	Phenotype = 5+5 = 10 ลิตร
Aa	Phenotype = 5+1 = 6 ลิตร
aa	Phenotype = 1+1 = 2 ลิตร

หรือสมมติว่ายีน A และ B ควบคุมปริมาณน้ำนมของวัว โดยค่าของยีน A เท่ากับ 3 ลิตร ยีน a เท่ากับ 2 ลิตร ยีน B เท่ากับ 5 ลิตร และยีน b เท่ากับ 1 ลิตร ลักษณะของวัวที่มี genotype แต่ละแบบจึงเป็นเช่นนี้

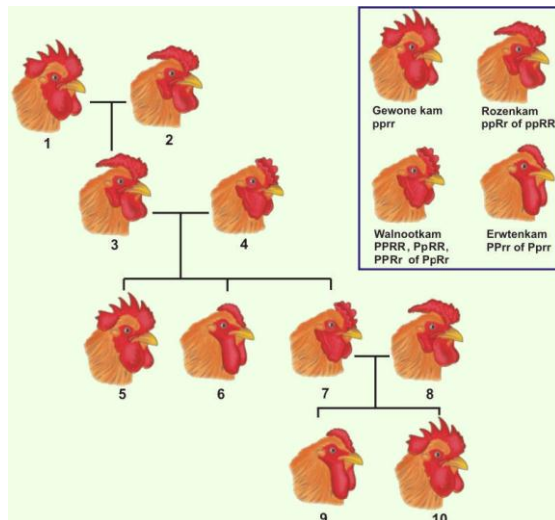
AABB	Phenotype	= 3+3+5+5 = 16 ลิตร
AABb	Phenotype	= 3+3+5+1 = 12 ลิตร
AAbb	Phenotype	= 3+3+1+1 = 8 ลิตร
AaBB	Phenotype	= 3+2+5+5 = 15 ลิตร

ลักษณะที่สำคัญได้แก่

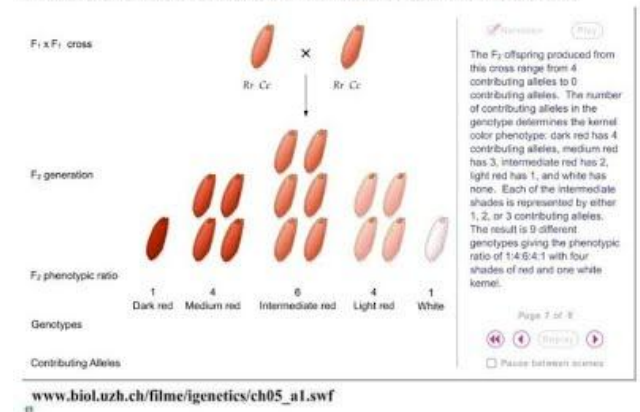
1. สีของเมล็ดข้าวสาลี: Nilsson – Ehle (1909) นักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดนเป็นคนแรกที่ทำการศึกษารูปแบบลักษณะของสีของข้าวสาลี โดยผสมข้ามระหว่างพ่อแม่ที่มีสีแดงเข้มกับสีขาว ได้ F1 ที่มีสีแดงปานกลาง เมื่อนำ F1 มาผสมกันเองได้ F2 มีสีแดง 15 ส่วน สีขาว 1 ส่วน
2. สีผิวของคน: การศึกษาที่สำคัญคือการศึกษาสีผิวของ Negroes และ Caucasoid โดยได้ทำการศึกษาในคู่แต่งงานหลายคู่ใน Jamaica และ Mada ซึ่งเป็นการแต่งงานระหว่างคนขาวและคนดำ พบว่าส่วนใหญ่ลูกที่ได้จะเป็นเด็กที่เรียกว่า Mulattoes ซึ่งเป็นกลุ่มเด็กลูกผสมที่มีสีผิวก้ำกึ่งระหว่างขาวและดำ ซึ่งสีผิวที่ได้ใหม่นี้ขึ้นอยู่กับจำนวน dominant alleles พบว่าลักษณะคนดำมี 4 dominant genes ในขณะที่คนขาวมี 4 recessive genes ในขณะที่เด็กที่เป็น Mulattoes จะมี 2 dominant genes และเมื่อ Mulattoes แต่งงานกันเองจะได้ลูกในรุ่น F2 ที่มีสีผิวได้ถึง 16 ลักษณะ
3. น้ำหนักและความสูงของคน: แม้ว่าน้ำหนักและความสูงของคนจะขึ้นอยู่กับยีน แต่จากการศึกษายังคงทำได้ยากกว่า ลักษณะอื่น เนื่องจากน้ำหนักและความสูงของคนขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมด้วย
4. ความยาวของฝักข้าวโพด: Emerson and East ได้เป็นผู้ริเริ่มในการศึกษาเรื่องนี้ โดยได้ทำการศึกษาในข้าวโพด 2 สายพันธุ์คือ long eared black Mexican sweet corn และ short eared Tom Thumb popcorn พันธุ์แรกมีความยาวอยู่ระหว่าง 12-21 ซม. ความยาวเฉลี่ย 16.8 ซม. ส่วนชนิดที่สองมีความยาวระหว่าง 5-8 ซม. ความยาวเฉลี่ย 6.6 ซม. เมื่อนำมาผสมกันลูกรุ่น F1 ที่ได้มีความยาว 9-15 ซม. เฉลี่ย 12.1 ซม.



5. ไอคิวของคน
6. ปริมาณน้ำนมของวัว
7. ลักษณะหงอนของไก่



The colour of wheat kernels is also a result of polygenic inheritance.



ความแตกต่างระหว่างมัลติเปิลอัลลีลส์กับโพลียีน

1. มัลติเปิลอัลลีลส์มียีนเพียง 1 คู่ ในการควบคุมลักษณะใดลักษณะหนึ่ง ส่วนโพลียีนมียีนมากกว่า 1 คู่ ในการควบคุมลักษณะใดลักษณะหนึ่ง
2. มัลติเปิลอัลลีลส์ควบคุมลักษณะแปรผันแบบไม่ต่อเนื่อง ส่วนโพลียีนควบคุมลักษณะแปรผันแบบต่อเนื่อง

การถ่ายทอดลักษณะทางประชากรของจีน

ยีนในโครโมโซมเพศ

โครโมโซมภายในเซลล์ร่างกายของสิ่งมีชีวิตจำแนกตามการกำหนดลักษณะต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตดังต่อไปนี้

1. โครโมโซมร่างกาย (somatic chromosome) หรือ ออโตโซม (autosome) เป็นโครโมโซมที่ควบคุมลักษณะต่าง ๆ ของร่างกายและจะมีเหมือนกันทั้งเพศชายและเพศหญิง มี 22 คู่
2. โครโมโซมเพศ (sex chromosome) หรือ อัลโลโซม (allosome) เป็นโครโมโซมที่มีรูปร่างแตกต่างกันไปในเพศชายและเพศหญิงโดยทั่วไปมักเกี่ยวข้องกับการกำหนดเพศ มี 1 คู่



ยีนที่อยู่ในโครโมโซมเพศ จะมีแบบแผนการถ่ายทอดกรรมพันธุ์แตกต่างไปจากยีนที่อยู่ในออโทโซม นอกจากนี้ยีนที่อยู่ในโครโมโซมเพศไม่จำเป็นต้องเกี่ยวข้องกับการควบคุม ลักษณะทางเพศเสมอไป เช่น ยีนตาบอดสี เป็นต้น เรียกยีนที่อยู่บนโครโมโซมเพศว่ายีนที่เกี่ยวข้องกับเพศ (sex-linked gene)

เนื่องจากโครโมโซม X และ Y มีขนาดต่างกัน ดังนั้นบางบริเวณของ X ที่ไม่อาจเข้าคู่กับ Y ได้ ยีนบนโครโมโซม X บริเวณดังกล่าวจึงขึ้นอยู่กับโครโมโซม X เพียงตัวเดียวเท่านั้น เรียกว่า X-linked gene ส่วนยีนที่อยู่บนโครโมโซม Y ที่ไม่อาจเข้าคู่กับ X ได้มักมีจำนวนน้อยกว่า เรียกว่า โฮแลนด์ริกยีน (holandric gene) หรือ Y-linked gene

การค้นพบยีนในโครโมโซมเพศ

ยีนที่อยู่ในโครโมโซม X (sex-linked gene) ค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1908-1910 โดยทีเอช มอร์แกน (T. H. Morgan) ระหว่างการศึกษาพันธุศาสตร์ของแมลงหวี่ 2 กรณี

กรณีที่ 1 ผสมพันธุ์แมลงหวี่ตัวเมียตาสีแดง $X^R X^R$ กับตัวผู้ตาสีขาว $X^r Y$

กรณีที่ 2 ผสมพันธุ์แมลงหวี่ตัวเมียตาสีขาว $X^r X^r$ กับตัวผู้ตาสีแดง $X^R Y$

R : ยีนเด่นในโครโมโซม X ควบคุมตาสีแดงของแมลงหวี่

r : ยีนด้อยในโครโมโซม X ควบคุมตาสีขาวของแมลงหวี่

จากผลการทดลองทำให้ทราบว่

กรณีที่ 1 แมลงหวี่ตัวเมียในรุ่น F1 มีตาสีแดงทุกตัว เนื่องจากมีจีโนไทป์ $X^R X^r$ ซึ่ง จีโนไทป์ลักษณะนี้ถือว่ามียีนด้อยในโครโมโซม X คือ X^r ซึ่งควบคุมตาสีขาวของแมลงหวี่แฝงอยู่ด้วย แต่ไม่แสดงออกเพราะถูกยีนเด่นในโครโมโซม X คือ X^R ควบคุมตาสีแดงของแมลงหวี่ข่มไว้ ในขณะที่ แมลงหวี่ตัวผู้มีตาสีแดงทุกตัว เนื่องจากมีจีโนไทป์ $X^R Y$

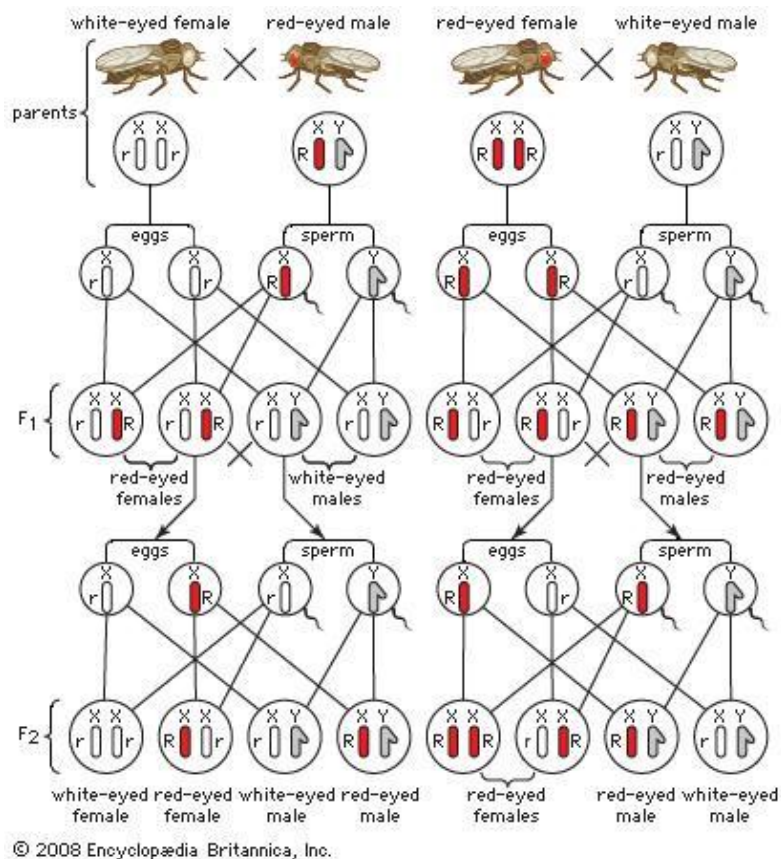
กรณีที่ 2 แมลงหวี่ตัวเมียในรุ่น F1 มีตาสีแดงทุกตัว เนื่องจากมีจีโนไทป์ $X^R X^r$ ซึ่งจีโนไทป์ลักษณะนี้ถือว่ามียีนด้อยในโครโมโซม X คือ X^r ซึ่งควบคุมตาสีขาวของแมลงหวี่แฝงอยู่ด้วย แต่ไม่แสดงออกเพราะถูกยีนเด่นในโครโมโซม X คือ X^R ควบคุมตาสีแดงของแมลงหวี่ข่มไว้ ในขณะที่ แมลงหวี่ตัวผู้มีตาสีขาวทุกตัว เนื่องจากมีจีโนไทป์ $X^r Y$

ผลการศึกษาแบบแผนการถ่ายทอดลักษณะกรรมพันธุ์ในแมลงหวี่ทำให้ทราบว่ายีนที่อยู่ในโครโมโซม X มีแบบแผนการถ่ายทอดจากพ่อ-แม่ไปสู่รุ่นลูกแตกต่างกับยีนที่อยู่ในออโทโซม คือ





ยีนที่อยู่ในโครโมโซม X จะถ่ายทอดจากพ่อไปสู่ลูกสาวเสมอ แต่จะไม่สามารถ ถ่ายทอดจากพ่อไปสู่ลูกชายได้ใน ขณะที่ยีนที่อยู่ในโครโมโซม X จะถ่ายทอดจากแม่ไปสู่ ลูกสาว หรือลูกชายก็ได้แต่ถ้ายีนด้อยอยู่ในสภาพโฮโมไซโกตของแม่จะสามารถถ่ายทอดไปสู่ ลูกชายได้ทุกคน ในขณะที่ แม่มียีนด้อยอยู่ในสภาพเฮเทอโรไซโกต จะสามารถถ่ายทอดยีนเด่น หรือยีนด้อยไปสู่ลูกชายได้ประมาณ 50%



ลักษณะพันธุกรรมที่ควบคุมโดยยีนบนโครโมโซม

ยีนบนโครโมโซมร่างกาย

ยีนเด่น: Huntington's Disease, โรคท้าวแสนปม (Neurofibromatosis)

ยีนด้อย: Thalassemia, Sickle-cell Anemia, Cystic Fibrosis, โรคต่างขา (Vitiligo)

ยีนบนโครโมโซมเพศ

ยีนเด่นบนโครโมโซม X: Fragile X Syndrome

ยีนด้อยบนโครโมโซม X: ตาบอดสี hemophilia G-6-PD

ยีนเด่นบนโครโมโซม Y

ยีนด้อยบนโครโมโซม Y: hairy ear



ลักษณะพันธุกรรมที่ควบคุมโดยยีนเด่นบนโครโมโซมร่างกาย

Huntington's Disease

เป็นโรคทางพันธุกรรมโรคหนึ่งที่ทำให้เกิดการเสื่อมของระบบประสาท ส่งผลต่อการควบคุมการประสานงานของกล้ามเนื้อ ทำให้สติปัญญาเสื่อมถอย และนำไปสู่ภาวะสมองเสื่อมได้ เป็นความผิดปกติของจำนวนลำดับบนยีน Huntington ที่อยู่บนโครโมโซมคู่ที่ 4

โรคท้าวแสนปม (Neurofibromatosis)

เกิดจากการกลายพันธุ์ของยีนในร่างกายพ่อหรือแม่ แล้วได้ถ่ายทอดพันธุกรรมผิดปกติดังกล่าวผ่านมาทางโครโมโซมคู่ที่ 22

ลักษณะพันธุกรรมที่ควบคุมโดยยีนด้อยบนโครโมโซมร่างกาย

Thalassemia

เป็นโรคเลือดจางที่มีสาเหตุมาจากมีความผิดปกติทางพันธุกรรม ทำให้มีการสร้างโปรตีนที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของเม็ดเลือดผิดปกติ จึงทำให้เม็ดเลือดแดงมีอายุสั้นกว่าปกติ แต่ทว่า ถูกทำลายง่าย ผู้ป่วยที่เป็นโรคนี้อาจมีเลือดจาง โรคธาลัสซีเมียสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ อัลฟาธาลัสซีเมีย (Alpha-Thalassemia) เกิดจากความผิดปกติของยีนบนโครโมโซมคู่ที่ 16 และเบต้าธาลัสซีเมีย (Beta-Thalassemia) เกิดจากความผิดปกติของยีนบนโครโมโซมคู่ที่ 11

Sickle-cell Anemia

โรคโลหิตจางเซลล์เคียวเป็นโรคที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของเบสบนสายนิวคลีโอไทด์คือ เกิดการแทนที่ของเบสจากเบส A เป็นเบส T เมื่อเกิดกระบวนการแปลรหัส จะได้กรดอะมิโนวาลีนแทนกรดอะมิโนกลูตามิกในตำแหน่งที่ 6 (CTC เป็น CAC) บนโครโมโซม 11 ทำให้ได้รูปร่างของเซลล์เม็ดเลือดแดงที่ผิดปกติเป็นรูปพระจันทร์เสี้ยวหรือรูปเคียว โรคนี้เป็นความผิดปกติที่มีแต่กำเนิด การที่มีรูปร่างเซลล์เม็ดเลือดแดงเป็นรูปเคียว ทำให้เซลล์เม็ดเลือดแดงเสียคุณสมบัติในการยืดหยุ่น ซึ่งในคนปกติเซลล์เม็ดเลือดแดงจะมีคุณสมบัตินี้เกิดการอุดตันในเส้นเลือด บริเวณต่างๆ เมื่อเกิดการเคลื่อนที่ไปในหลอดเลือด จะทำให้เซลล์เม็ดเลือดแดงตายและแตกง่าย เกิดภาวะของโรคแทรกซ้อนขึ้น เช่นอาการปวด มีภาวะติดเชื้อง่าย อัมพฤกษ์ อัมพาต เป็นต้น

โรคด่างขาว (Vitiligo)

เป็นโรคที่เกิดจากความผิดปกติของสีผิวโดยมีการทำลายเซลล์เม็ดสี ในผิวหนัง และในเยื่อเมือกบุภายในอวัยวะต่างๆ ทำให้เห็นเป็นรอยด่างสีขาวเหมือนน้ำมันเป็นดวงๆ ตามร่างกายแล้วแต่จะเป็นที่ไหน และโรคมักกลายพันธุ์ได้



ลักษณะพันธุกรรมที่ควบคุมโดยยีนบนโครโมโซม X (X-linked gene)

1. ตาบอดสี (color blindness)

ตาบอดสีพบบ่อยที่สุดในคนโดยมียีนควบคุม 2 อัลลีล คือ C กับ c ซึ่งมีจีโนไทป์และฟีโนไทป์ ดังนี้

จีโนไทป์		ฟีโนไทป์
ชาย	หญิง	
$X^C Y$	$X^C X^C$	ค่าปกติ
$X^c Y$	$X^C X^c$ (พาหะ)	ตาบอดสี

ยีนที่เกี่ยวข้องกับตาบอดสีซึ่งควบคุมโดยยีนด้อยต่างกันสองยีน ยีนที่มีวแทนด แลทำให้ไม่สามารถรับรู้สีแดง เรียก โพรแทน (protan) สำหรับยีนที่มีวแทนดแลทำให้ไม่สามารถรับรู้สีเขียว เรียก ดีวแทน (deutan)

2. โรคโลหิตไหลไม่หยุด (hemophilia) โรคนี้ควบคุมด้วยยีนด้อยโดยมียีนควบคุม 2 อัลลีล คือ H กับ h ซึ่งมีจีโนไทป์และฟีโนไทป์ดังนี้

จีโนไทป์		ฟีโนไทป์
ชาย	หญิง	
$X^H Y$	$X^H X^H$	ปกติ
	$X^H X^h$ (พาหะ)	
$X^h Y$	$X^h X^h$	โรคโลหิตไหลไม่หยุด

ยีนที่เกี่ยวข้องกับการเลือดไหลไม่หยุดที่พบ บ่อยสุดคือ ฮีโมฟีเลียชนิดเอ (hemophilia type A) ซึ่งเกิดจากการขาดสารแอนติฮีโมฟลิคโกลบูลิน ลิน (antihemophilic globulin ,AHG) ซึ่งเป็นสารที่จำเป็นต่อการแข็งตัวของเลือด ดังนั้นเลือดจึงไหลออกง่าย และหยุดยาก สำหรับอีกชนิดหนึ่งทำให้เกิดอาการฮีโมฟีเลียชนิดบี (hemophilia type B) ซึ่งเกิดจากการขาดสารพลาสมาทรอมโบพลาสติน (plasma thromboplastin component, PTC)

3. ภาวะพร่องเอนไซม์กลูโคส-6-ฟอสเฟตดีไฮโดรจีเนส (glucose-6-phosphate dehydrogenase deficiency) หรือ G-6-PD โรคนี้ควบคุมด้วยยีนด้อยโดยมียีนควบคุม 2 อัลลีล คือ G และ g ซึ่งมีจีโนไทป์และฟีโนไทป์ดังนี้

จีโนไทป์		ฟีโนไทป์
ชาย	หญิง	
$X^G Y$	$X^G X^G$	ปกติ
	$X^G X^g$ (พาหะ)	
$X^g Y$	$X^g X^g$	ภาวะพร่องเอนไซม์ G-6-PD



โรคที่เกี่ยวข้องกับยีนที่อยู่บนโครโมโซมเพศทั้งโครโมโซม X และ Y มักพบในเพศ ชายมากกว่าเพศ หญิง เนื่องจากเพศชายมีโครโมโซมเป็น XY ดังนั้นยีนที่ทำให้เกิดโรคอยู่ในโครโมโซม X จะส่งผลให้ยีนในโครโมโซมเพศของเพศชายอยู่ในสถานะเฮมิไซกัส (hemizygous) ดังนั้นยีนดังกล่าวจึงสามารถแสดงออกได้ทันทีไม่ว่าจะยีนนั้นจะเป็นยีนเด่น หรือยีนด้อย

สำหรับในเพศหญิงถ้ายีนที่ทำให้เกิดโรคอยู่ในโครโมโซม X เพียงแห่งเดียว ในขณะที่โครโมโซม X อีกแห่งเป็นยีนปกติ เพศหญิงคนนั้นก็จะไม่มีโนไทป์เป็นแบบเฮเทอโรไซกัส (heterozygous) และไม่แสดงอาการของโรค หรือบางกรณีอาจมีการแสดงอาการแต่ไม่เด่นชัด กรณีเช่นนี้ถือว่าเพศหญิงคนนี้เป็นเพียงพาหะ (carrier) เนื่องจากมียีนที่ทำให้เกิดโรคนั้นแฝงอยู่แต่ไม่แสดงอาการ นอกจากนี้ยังพบว่ายีนด้อยที่อยู่ในโครโมโซม X มักแสดงออกใน เพศชายมากกว่าเพศหญิง

ลักษณะพันธุกรรมที่ควบคุมโดยยีนบนโครโมโซม Y (Y-linked gene)

ยีนที่อยู่ในโครโมโซม Y จะถ่ายทอดจากพ่อไปยังลูกชายเท่านั้น และจากลูกชายไปยังหลานชายเท่านั้น ยีนที่ปรากฏอยู่ในโครโมโซม Y มีอยู่น้อย เนื่องจากเป็นโครโมโซมเล็กที่สุด ยีนที่อยู่ในโครโมโซม Y เช่น ยีนควบคุมการมีขนยาวที่หู (hairy ear) พบบ่อยในคนอินเดียและพบเฉพาะในเพศชายและลูกชายทุกคนของชายที่เป็นจะมีอาการด้วย



การกำหนดเพศในสิ่งมีชีวิต

สำหรับสัตว์ การกำหนดเพศ ขึ้นอยู่กับโครโมโซมเพศ โดยพิจารณาดังนี้

1. พิจารณาจาก sex chromosome (allosome)

(1.) XX – XO (O = ไม่มีโครโมโซมเพศ) ระบบนี้ค้นพบก่อนระบบอื่น

โดยที่ XX = เพศเมีย, XO = เพศผู้

ตัวอย่างเช่น ตั๊กแตน, มวน, จิ้งหรีด

(2.) XX – XY

โดยที่ XX = เพศเมีย, XY = เพศผู้

ตัวอย่างเช่น แมลงหวี่, สัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมส่วนใหญ่, คน

(3.) ZZ – ZW

โดยที่ ZZ = เพศผู้, ZW = เพศเมีย

ตัวอย่างเช่น ใ้ส่อกกลางคืน, ปลาบางชนิด, สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกบางชนิด,

สัตว์เลื้อยคลานบางชนิด, สัตว์ปีก



2. พิจารณาจากจำนวนชุดของโครโมโซมตัวผู้เกิดจากไข่ที่ไม่ถูกผสมจึงมีโครโมโซม 1 ชุด หรือ n ตัว เมียเกิดจากไข่ที่ถูกผสมจึงมีโครโมโซม 2 ชุด หรือ $2n$ ตัวอย่างเช่น ผึ้ง, ต่อ, แตน, มด

ลักษณะภายใต้อิทธิพลเพศ (sex-influenced trait)

ลักษณะภายใต้อิทธิพลเพศ เป็นลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนที่อยู่บนออโตโซมแต่มีโอกาสแสดงออกในเพศผู้และเพศเมียต่างกันเนื่องจากมีอิทธิพลของฮอร์โมนเพศเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยเมื่อมีจีโนไทป์เป็น homozygous จะแสดงฟีโนไทป์เหมือนกันทั้งในเพศผู้และเพศเมีย แต่หากมีจีโนไทป์เป็น heterozygous เพศผู้และเพศเมียจะแสดงฟีโนไทป์แตกต่างกัน อัลลีลที่แสดงลักษณะเด่นในเพศหนึ่งแต่กลับแสดงลักษณะด้อยในอีกเพศหนึ่งเมื่อเป็น heterozygous นี้เรียกว่า “อิทธิพลเพศแบบเด่น” ตัวอย่างเช่น

1. ลักษณะศีรษะล้านก่อนวัย จะมียีน B ควบคุมลักษณะศีรษะล้าน และยีน b ควบคุมลักษณะศีรษะปกติ เมื่อมีจีโนไทป์เป็น homozygous dominant (BB) จะแสดงลักษณะศีรษะล้านทั้งในเพศหญิงและเพศชาย เมื่อมีจีโนไทป์เป็น homozygous recessive (bb) จะแสดงลักษณะศีรษะไม่ล้านทั้งในเพศหญิงและเพศชาย แต่หากมีจีโนไทป์เป็น heterozygous (Bb) ลักษณะที่แสดงออกในเพศหญิงและเพศชายจะ ต่างกันโดยผู้ชายจะหัวล้าน แต่ผู้หญิงจะไม่ล้าน เนื่องจากฮอร์โมน testosterone ซึ่งเป็นฮอร์โมนเพศชายส่งผลให้แสดงลักษณะศีรษะล้าน ส่วนใน เพศหญิงซึ่งมีฮอร์โมน testosterone อยู่ต่ำจึงแสดงลักษณะศีรษะไม่ล้าน

Genotype	Phenotype	
	Female	Male
BB		
Bb		
bb		



2. ลักษณะการมีเขาในแกะ: แกะพันธุ์ดอร์เซทจะมีเขาทั้งตัวผู้และตัวเมีย (h^+h^+) ส่วนแกะพันธุ์ซัพโพล์กไม่มีเขาเลยทั้งตัวผู้และตัวเมีย (h^-h^-) เมื่อนำแกะทั้งสองชนิดมาผสมกันจะได้ลูกที่เป็น heterozygous (h^+h^-) ที่แสดงลักษณะดังนี้

Genotype	Phenotype	
	Female	Male
h^+h^+		
h^+h^-		
h^-h^-		

นอกจากนั้นแล้วยังพบลักษณะภายใต้อิทธิพลเพศ (sex-influenced trait) อีกหลายลักษณะเช่น ลักษณะของผมหงอกหน้าผาก การมีเขี้ยวที่ขากรรไกรบน เป็นต้น

พันธุกรรมจำกัดเพศ (Sex limited trait)

ลักษณะจำกัดเพศ เป็นลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนที่อยู่บนออโตโซม แต่ฮอร์โมนเพศส่งผลให้มีการแสดงออกเฉพาะในเพศใดเพศหนึ่งเท่านั้น โดยสิ่งมีชีวิตทั้งสองเพศมีจีโนไทป์ได้เหมือนกัน คือ homozygous dominant, heterozygous และ homozygous recessive แต่จะแสดงฟีโนไทป์แบบหนึ่ง เฉพาะในเพศใดเพศหนึ่งซึ่งเป็นผลมาจากฮอร์โมนเพศ เช่น

ลักษณะของขนไก่แบบเพศเมีย (henfeathered) คือมีขนหางสั้นและมีหงอนเล็ก ควบคุมด้วยยีนเด่น คือยีน H และลักษณะของขนไก่แบบเพศผู้ (cock-feathered) คือมีขนหางยาว และมีหงอนใหญ่ ควบคุมด้วยยีนด้อยคือยีน h สำหรับไก่เพศเมีย ไม่ว่าจะมียีนโนไทป์แบบใด ก็แสดงลักษณะของขนไก่แบบเพศเมียเท่านั้น เนื่องจากอิทธิพลของฮอร์โมนเพศมีผลต่อการแสดงฟีโนไทป์ ส่วนไก่เพศผู้เมื่อมียีนโนไทป์เป็น homozygous recessive (hh) จะแสดงลักษณะขนไก่แบบเพศผู้ แต่หากมียีนโนไทป์เป็น homozygous dominant (HH) หรือ heterozygous (Hh) จะแสดงลักษณะขนไก่แบบเพศเมีย



Genotype	Phenotype	
	Female	Male
hh		
Hh		
HH		



แมวสามสี

กรณีของแมวสามสี (calico cats) ที่พบเฉพาะแมวตัวเมียนั้น มีการศึกษาและทราบสาเหตุมาเป็นเวลานานแล้ว โดยพบว่าสีขนของแมวเป็น X-linked gene ซึ่งประกอบด้วย alleles ที่แสดงลักษณะสีดำ (X^B) และสีส้ม (X^O) มีจีโนไทป์ ดังนี้

$X^B X^B$ แมวตัวเมียสีดำ



$X^B Y$ แมวตัวผู้สีดำ

$X^O X^O$ แมวตัวเมียสีส้ม



$X^O Y$ แมวตัวผู้สีส้ม

ในกรณีที่นำแมวสองสีมาผสมกันจะมีโอกาสได้ลูกที่แสดงลักษณะคือ หากเป็นตัวผู้จะเป็นสีดำ หรือสีส้ม แต่หากเป็นตัวเมียจะมีโอกาส 3 ลักษณะคือสีดำ สีส้ม และสามสี



X





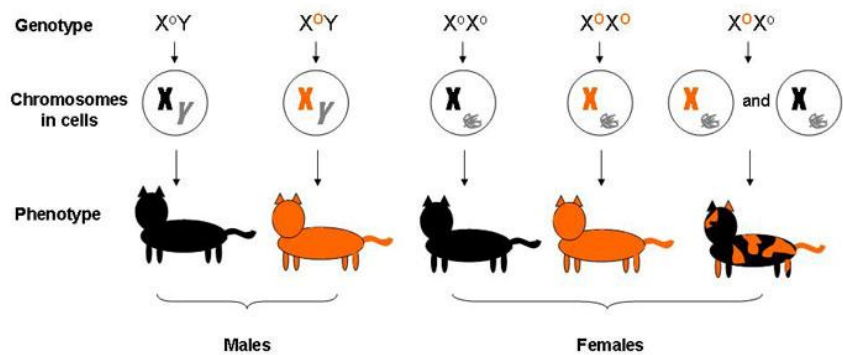
Sex	Genotype	Colour
Male	$X^B Y$	
	$X^O Y$	
Female	$X^B X^B$	
	$X^O X^O$	
	$X^B X^O$	

จากการศึกษาการเกิดสีของแมวสามสีพบว่า วิธีการเกิดสีทั้ง 2 สีในแมวตัวเดียวกันสามารถอธิบายได้จากการศึกษาตั้งแต่ขั้นตอนการพัฒนาของตัวอ่อน พบว่าแม่เพศเมียจะมีโครโมโซม X อยู่ถึงสองแท่ง แต่แท่งหนึ่งในสองนั้นจะไม่ทำหน้าที่หรืออยู่ในสภาพ inactive ระหว่างการเจริญเติบโตของเอ็มบริโอ ดังนั้นทั้งเพศชายและหญิงจึงเท่าเทียมกันในแง่ี้ กล่าวคือทั้งสองเพศมีโครโมโซม X ที่ทำงานเพียงแท่งเดียว กระบวนการที่ทำให้โครโมโซม X แท่งหนึ่งหมดหน้าที่ไปเรียกว่า X chromosome inactivation (XCI) โครโมโซมแท่งที่ไม่ทำงานจะถูกกำจัดออกมองเห็นเป็นจุดดำตรงขอบด้านในของนิวเคลียสเรียกว่า Barr body ยีนที่อยู่ใน Barr body นี้จะไม่ทำหน้าที่ แต่จะ active ขึ้นมาอีกครั้งในเซลล์ที่จะเจริญไปเป็นไข่ในรังไข่

ในกรณีของแมวสามสีโครโมโซม X บางตัวอาจสุ่มปิดตัวเองในบางเซลล์ร่างกายของแมวตัวเมียที่มีจีโนไทป์แบบ $X^B X^O$ ถ้าบริเวณใดที่ X^B ปิดตัวในบริเวณนั้นจะแสดงลักษณะสีขนเป็นสีส้ม และในบริเวณใดที่ X^O ปิดตัว บริเวณนั้นก็จะมสีขนเป็นสีดำ ดังนั้นเลยทำให้ในแมวตัวเดียวจึงมีได้ทั้งสีส้มและดำ เรียก



แมวประเภทนี้ว่า tortoiseshell cats แต่หากตัวใดที่มีบริเวณที่ไม่มีการแสดงออกของ allele ใดเลย จะเห็นบริเวณนั้นเป็นจุดสีขาวหรือบริเวณสีขาว จึงทำให้แมวดังกล่าวนี้นี้มีสี 3 สีเรียกว่า calico cats



= inactivated X chromosome, also called a Barr body



calico cats



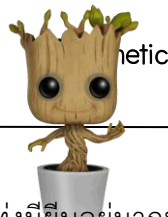
tortoiseshell cats

คำถาม

มีแมวมสามสีตัวผู้หรือไม่.....

ตอบ มีค่ะ....แมวตัวผู้ที่มีสามสีจะเป็นแมวที่เป็นลักษณะ Klinefelter syndrome ซึ่งบางกรณีถือเป็นภาวะผิดปกติของโครโมโซมประเภทหนึ่ง เนื่องจากแมวชนิดนี้จะมีโครโมโซมแบบ XXY ซึ่งโครโมโซม X นั้น จะเป็นทั้ง X^B และ X^O จึงทำให้แมวตัวผู้แสดงสีได้ทั้งแบบ tortoiseshell cats และ calico cats เช่นกัน แต่โอกาสที่พบน้นยากมาก มีโอกาสแค่ 1 ใน 3000 ตัว เท่านั้น และทุกตัวที่พบจะเป็นห เนื่องจากมีโครโมโซมที่ผิดปกติ





3. ยีนในโครโมโซมเดียวกัน

เนื่องจากในโครโมโซมแต่ละแท่งมียีนอยู่มากมาย ถ้ากลุ่มของยีนที่อยู่บนโครโมโซมเดียวกัน ถูกถ่ายทอดไปพร้อมกันโดยไม่แยกตัวไปรวมกลุ่มกันอย่างอิสระตามกฎข้อที่ 2 ของเมนเดล ยีนเหล่านี้เรียกว่า ยีนที่เกี่ยวข้องกัน หรือ ลิงก์ยีน (linked gene)

สาเหตุดังกล่าวจะทำให้ลักษณะบางลักษณะปรากฏคู่กัน เช่น ลักษณะปีก และสีตัวของแมลงหวี่ แต่ลิงก์ยีนอาจแยกจากกันและเกิดการรวมกลุ่มของยีนใหม่ (gene recombination) ได้จากการ คrossover (Crossing over) ของฮอมอโลกัสโครโมโซมในระยะโพรเฟส 1 ของไมโอซิส

ตัวอย่างการศึกษา: จากการผสมพันธุ์แมลงหวี่ที่มียีนควบคุมลักษณะดังนี้

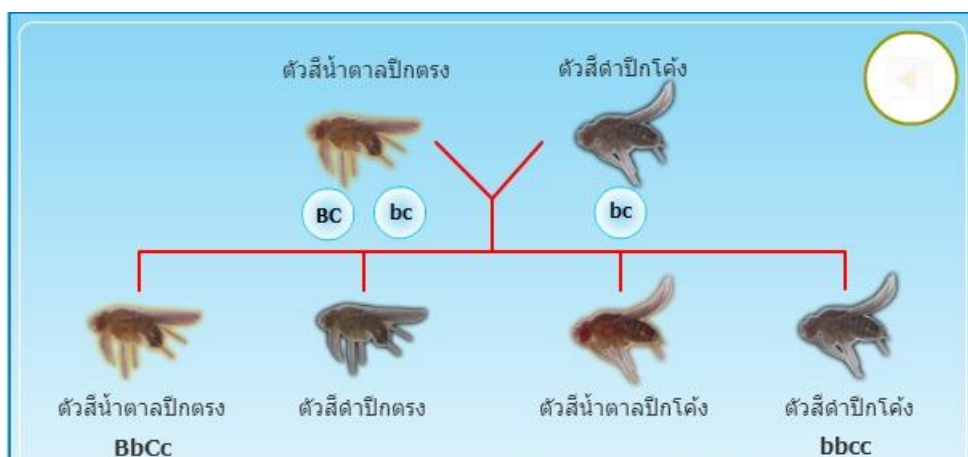
สีตัว ลักษณะเด่น- สีน้ำตาล (B)

 ลักษณะด้อย- สีดำ (b)

ปีก ลักษณะเด่น- ปีกตรง (C)

 ลักษณะด้อย- ปีกโค้ง (c)

ทำการผสมแมลงหวี่ตัวสีน้ำตาลปีกตรงที่มีจีโนไทป์เป็น Heterozygous (สร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้ 2 ชนิด คือ BC และ bc) กับแมลงหวี่สีดำปีกโค้ง เมื่อผสมกับแมลงหวี่ตัวสีดำปีกโค้ง (สร้างเซลล์สืบพันธุ์ชนิดเดียว คือ bc) จะได้รุ่น F1 ที่มีฟีโนไทป์ 2 ลักษณะตัวสีน้ำตาลปีกตรง และตัวสีดำปีกโค้ง ในอัตราส่วน 1:1 ซึ่งการถ่ายทอดยีนดังกล่าวไม่เป็นไปตามกฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระของเมนเดล (ถ้าเป็นไปตามกฎของเมนเดล ลูกจะมีฟีโนไทป์ 4 ลักษณะ อัตราส่วนเป็น 9:3:3:1)

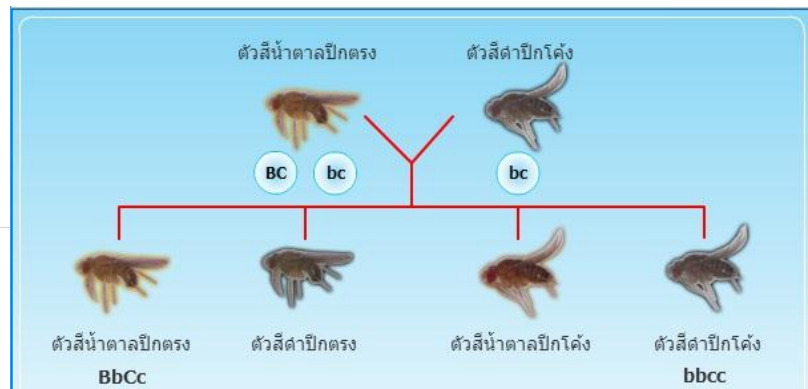
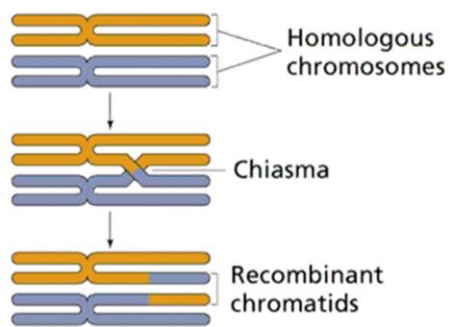


การเกิดลักษณะของแมลงหวี่ในกรณีที่ยีนอยู่บนโครโมโซมเดียวกัน

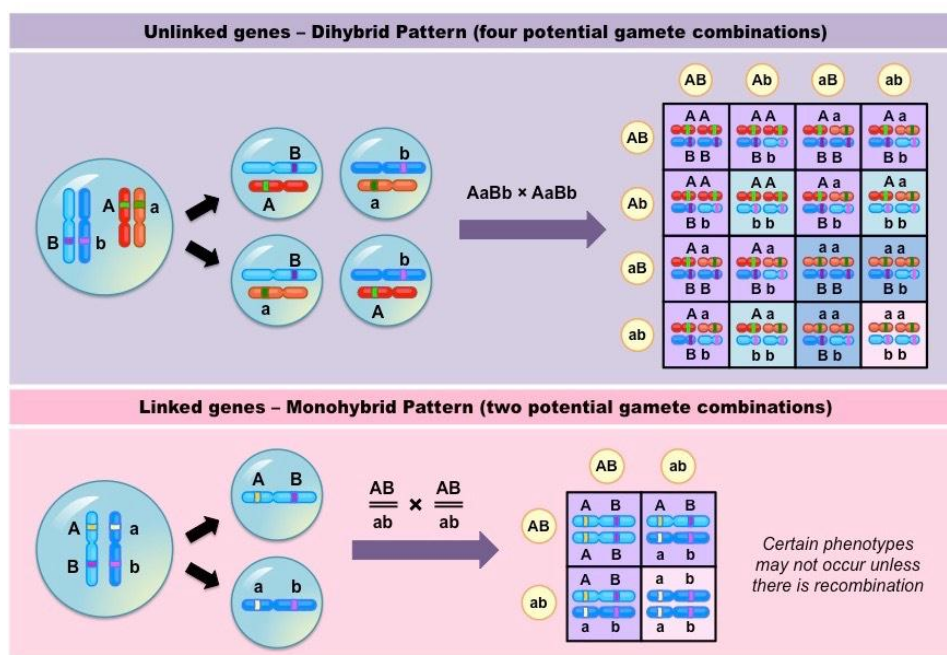


การเกิด Crossing over ของฮอมอโลกัสโครโมโซมในระยะ

โพรเฟส 1 ของไมโอซิส



สัดส่วนลูกที่ได้จากการเกิด Crossing over





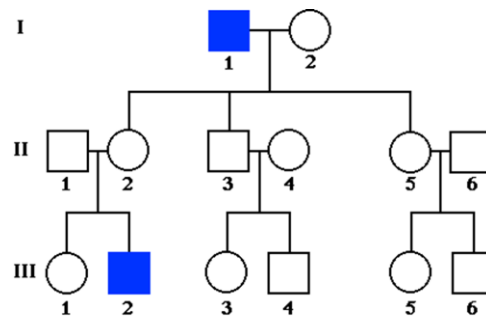
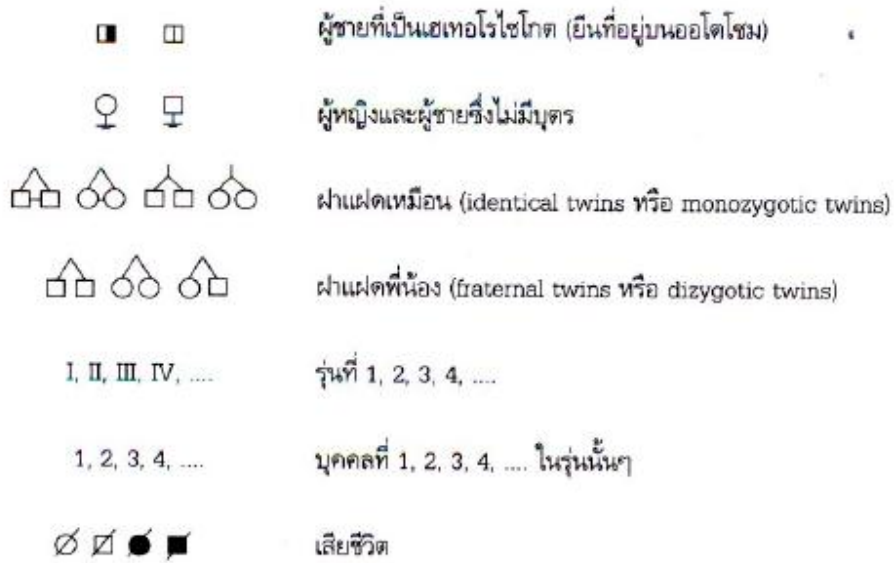
Pedigree: พันธุ์ประวัติ

เนื่องจากการศึกษาการถ่ายทอดพันธุกรรมในมนุษย์ทำได้ยากด้วยเหตุผลหลายประการ เช่น ไม่สามารถควบคุมการแต่งงานให้เป็นไปตามความต้องการได้ จำนวนลูกมีน้อย อายุเฉลี่ยของมนุษย์ค่อนข้างยาวนาน ทำให้ยากต่อการสังเกตการถ่ายทอดพันธุกรรมในหลาย ๆ รุ่น ดังนั้นการศึกษาการถ่ายทอดพันธุกรรมในมนุษย์จึงทำได้โดยการสืบประวัติของครอบครัวที่มีลักษณะตามที่เราต้องการศึกษา โดยเก็บข้อมูลบุคคลในครอบครัวหลาย ๆ รุ่นหรือชั่วอายุ แล้วนำมาเขียนเป็นแผนภาพแสดงลำดับเครือญาติที่เรียกว่า พันธุ์ประวัติ หรือพงสาวลี (Pedigree หรือ Family tree) หรือศึกษาลักษณะในคู่แฝด หรือเปรียบเทียบกับผลการศึกษาทดลองที่ทำกับสัตว์

ความรู้ส่วนใหญ่ที่ได้จากการศึกษาพันธุ์ประวัติเกี่ยวกับการถ่ายทอดพันธุกรรมในมนุษย์ มักจะได้จากการศึกษาลักษณะที่ผิดปกติ หรือโรคพันธุกรรม

การเขียนพันธุ์ประวัติประกอบด้วยบุคคลแต่ละรุ่น โดยใช้สัญลักษณ์แทนตัวบุคคล เพศ ลักษณะพันธุกรรมที่ปกติหรือผิดปกติ และความสัมพันธ์ต่าง ๆ สัญลักษณ์ที่ใช้ในการเขียน พันธุ์ประวัติยังไม่ได้มีการตกลงเป็นมาตรฐานสากล แต่จะใช้ตามความนิยม

○	ผู้หญิงปกติ
□	ผู้ชายปกติ
●	ผู้หญิงแสดงลักษณะผิดปกติ หรือ แสดงลักษณะที่กำลังศึกษา
■	ผู้ชายแสดงลักษณะผิดปกติ หรือ แสดงลักษณะที่กำลังศึกษา
◇	บุคคลที่ไม่ทราบเพศ
○—□	การแต่งงานโดยถูกต้องตามกฎหมาย
○=□	การแต่งงานในเครือญาติ
○.....□	การแต่งงานที่ไม่ถูกต้องตามกฎหมาย
⊙	ผู้หญิงที่เป็นพาหะของ X-linked gene (เฮเทอไรโซไทต์)
● ⊕	ผู้หญิงที่เป็นเฮเทอไรโซไทต์ (ยีนที่อยู่บนออโตโซม)



Pedigree 7. X-linked recessive inheritance.

ตัวอย่างพงศาวลี

