

คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

ชีววิทยา

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เล่ม 2

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เวลา 60 ชั่วโมง จำนวน 1.5 หน่วยกิต

ศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม ยีนและโครโมโซม เทคโนโลยี DNA และวิวัฒนาการ

โดยจัดการเรียนการสอนให้นักเรียนได้ศึกษา ค้นคว้า นำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันควบคู่ไปกับคุณธรรม และจริยธรรม และมีคุณลักษณะอันพึงประสงค์ ได้แก่ การใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และจิตวิทยาศาสตร์ในการสืบเสาะหาความรู้และการแก้ปัญหา มีความรอบคอบ มีความรับผิดชอบ พร้อมทั้งตระหนักว่าวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน

ผลการเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และสรุปผลการทดลองของเมนเดล
2. อธิบายและสรุปกฎแห่งการแยกและกฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ และนำกฎของเมนเดลนี้ไปอธิบายการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมและใช้ในการคำนวณโอกาสในการเกิดฟีโนไทป์และจีโนไทป์แบบต่าง ๆ ของรุ่น F_1 และ F_2
3. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ อธิบาย และสรุปเกี่ยวกับการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมนเดล
4. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ และเปรียบเทียบลักษณะทางพันธุกรรมที่มีการแปรผันไม่ต่อเนื่องและลักษณะทางพันธุกรรมที่มีการแปรผันต่อเนื่อง
5. อธิบายการถ่ายทอดยีนบนโครโมโซมและยกตัวอย่างลักษณะทางพันธุกรรมที่ถูกควบคุมด้วยยีนบนออโตโซมและยีนบนโครโมโซมเพศ
6. สืบค้นข้อมูล อธิบายสมบัติและหน้าที่ของสารพันธุกรรม โครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของ DNA และสรุปการจำลอง DNA
7. อธิบายและระบุขั้นตอนในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนและหน้าที่ของ DNA และ RNA แต่ละชนิดในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน
8. สรุปความสัมพันธ์ระหว่างสารพันธุกรรม แอลลีล โปรตีน ลักษณะทางพันธุกรรม และเชื่อมโยงกับความรู้เรื่องพันธุศาสตร์เมนเดล
9. สืบค้นข้อมูลและอธิบายการเกิดมิวเทชันระดับยีนและระดับโครโมโซม สาเหตุการเกิดมิวเทชัน รวมทั้งยกตัวอย่างโรคและกลุ่มอาการที่เป็นผลของการเกิดมิวเทชัน
10. อธิบายหลักการสร้างสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมโดยใช้ดีเอ็นเอรีคอมบิแนนท์
11. สืบค้นข้อมูล ยกตัวอย่าง และอภิปรายการนำเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอไปประยุกต์ใช้ทั้งในด้านสิ่งแวดล้อม นิติวิทยาศาสตร์ การแพทย์ การเกษตร และอุตสาหกรรม และข้อควรคำนึงถึงด้านชีวจริยธรรม
12. สืบค้นข้อมูลและอธิบายเกี่ยวกับหลักฐานและข้อมูลที่ใช้อธิบายการเกิดวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต
13. อธิบายและเปรียบเทียบแนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตของตนเอง ลามาร์ก และทฤษฎีเกี่ยวกับวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตของชาลส์ ดาร์วิน
14. ระบุสาระสำคัญและอธิบายเงื่อนไขของภาวะสมดุลของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีลในประชากร พร้อมทั้งคำนวณหาความถี่ของแอลลีลและจีโนไทป์ของประชากรโดยใช้หลักของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก
15. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และอธิบายกระบวนการเกิดสปีชีส์ใหม่ของสิ่งมีชีวิต

รวมทั้งหมด 15 ผลการเรียนรู้

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ชีววิทยา

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เล่ม 2

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

ผู้เรียบเรียง

อนิรุท พรหมเจริญ

ผู้ตรวจ

รศ. ดร.นพรัตน์ พุทธกาล

เจียมจิต กุลมาลา

รศ. ดร.ประนอม แก้วระคน

บรรณาธิการ

รศ. ดร.วิชัย เชิดชูศาสตร์

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ชีววิทยา

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เล่ม 2

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

ผู้เรียบเรียง

อนิรุท พรหมเจริญ

ผู้ตรวจ

รศ. ดร.นพรัตน์ พุทธกาล
เจียมจิต กลุมมาลา
รศ. ดร.ประนอม แก้วระคน

บรรณาธิการ

รศ. ดร.วิชัย เชิดชูศาสตร์

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ

อนิรุท พรหมเจริญ.

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เล่ม 2--กรุงเทพฯ : แม็คเอ็ดดูเคชั่น,
2562.

152 หน้า.

1. ชีววิทยา--การศึกษาและการสอน (มัธยมศึกษา).

I. อนิรุท พรหมเจริญ, ผู้แปล. II. ชื่อเรื่อง.

570.7

ISBN 978-616-345-144-6

พิมพ์ครั้งที่ 1

จำนวน 30,000 เล่ม

สงวนลิขสิทธิ์ : มกราคม 2563

สงวนลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย ห้ามลอกเลียน ไม่ว่าจะเป็นส่วนหนึ่งส่วนใด
ของหนังสือเล่มนี้ นอกจากนี้จะได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษร

จัดทำโดย

MAC EDUCATION

ส่งหนาคัดส่งจ่าย ไปรษณีย์ลาดพร้าว

ในนาม บริษัท แม็คเอ็ดดูเคชั่น จำกัด

9/99 อาคารแม็ค ซอยลาดพร้าว 38 ถนนลาดพร้าว

แขวงจันทน์เกษม เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทร. 0-2512-0661, 0-2938-2022-7 แฟกซ์ 0-2938-2028

www.MACeducation.com

พิมพ์ที่ : บริษัท กรีนแอปเปิ้ล พรินติ้ง จำกัด

คำชี้แจง

ตามที่กระทรวงศึกษาธิการโดยสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานได้ดำเนินการทบทวนหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 โดยในระยะแรกให้ปรับปรุงมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัด กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสาระภูมิศาสตร์ในกลุ่มสาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม สำหรับใช้ในปีการศึกษา 2561 ในชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 และ 4 และชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 และ 4 ปีการศึกษา 2562 ให้ใช้ชั้นประถมศึกษาปีที่ 1, 2, 4 และ 5 และชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1, 2, 4 และ 5 และตั้งแต่ปีการศึกษา 2563 เป็นต้นไปให้ใช้ใหม่ทุกชั้นเรียน ซึ่งการปรับหลักสูตรครั้งนี้มีเป้าหมายสำคัญเพื่อให้โรงเรียนสามารถจัดการกระบวนการเรียนรู้ที่จะช่วยให้ผู้เรียนมีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ สามารถวิเคราะห์ปัญหาหรือสถานการณ์ได้อย่างรอบคอบสามารถใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมในการบูรณาการกับความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาหรือพัฒนาด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่นำไปสู่การคิดค้นสิ่งประดิษฐ์หรือสร้างสรรค์นวัตกรรม นอกจากนี้ยังให้เกิดการเรียนรู้เรื่องภูมิศาสตร์ (Geo-literacy) ทั้งด้านความสามารถทางภูมิศาสตร์ กระบวนการทางภูมิศาสตร์ และทักษะทางภูมิศาสตร์ เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจได้อย่างถูกต้องและนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการดำเนินชีวิต

ด้วยตระหนักถึงความสำคัญของการปรับเปลี่ยนหลักสูตรข้างต้น บริษัท แม็คเอ็ดดูเคชั่น จำกัดจึงได้มอบหมายให้ผู้เชี่ยวชาญด้านหลักสูตร ด้านการพัฒนาสื่อการเรียนรู้ และด้านการวัดและประเมินผลได้ปรับปรุงพัฒนาหนังสือเรียน ให้สอดคล้องมาตรฐานการเรียนรู้ ตัวชี้วัด ของหลักสูตรในกลุ่มสาระการเรียนรู้ที่มีการเปลี่ยนแปลง และให้สอดคล้องกับการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ที่กำหนดไว้ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 แผนการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2560-2579 และยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี

โดยหนังสือเรียนแต่ละหน่วยการเรียนรู้จะให้ผู้ใช้หนังสือเรียนได้ทราบเป้าหมายการเรียนรู้ในตอนต้นหน่วยการเรียนรู้ จากสาระการเรียนรู้และตัวชี้วัดชั้นปี และทุกหัวข้อย่อยจะนำเสนอแนวคิดสำคัญเพื่อให้ทราบถึงสิ่งที่เป็ความรู ความคิดที่เป็นแกนสำคัญที่ต้องเรียนรู้ให้ลึกซึ้ง และการเรียนรู้ที่ดีผู้เรียนควรได้ตรวจสอบความรู้ความเข้าใจเป็นระยะ ๆ ก่อนเรียนเรื่องใหม่ ดังนั้น ในหนังสือเรียนจะมีการสอดแทรกกิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่สัมพันธ์กับเรื่องที่ได้เรียนผ่านมา เพื่อให้ผู้เรียนได้ตรวจสอบ

ตนเอง หรือบางหัวข้ออาจเป็นการฝึกทักษะให้ชำนาญก่อน สิ่งเพิ่มเติมในหนังสือเรียนเล่มนี้ คือ กิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ เพื่อให้ผู้เรียนเกิดทักษะการคิดสร้างสรรค์ การคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหา นำไปสู่การสร้างผลิตภัณฑ์หรือนวัตกรรม ซึ่งผู้สอนสามารถนำไปประยุกต์หรือดัดแปลง ให้เหมาะสมกับบริบทของโรงเรียนและผู้เรียน การศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมโดยใช้เทคโนโลยีการสื่อสาร และสารสนเทศ (ICT) เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องค้นคว้าเพิ่มเติม ดังนั้นในหนังสือเรียนเล่มนี้จึงได้มีการเสริมเนื้อหาเพิ่มเติมที่ได้ผ่านการคัดกรองมาแล้วว่าเหมาะสมกับการเรียนรู้ แทรกไว้ในเนื้อหาบางหน่วย โดยใช้สัญลักษณ์  ผู้เรียนสามารถใช้สมาร์ทโฟนสแกน QR Code หรือเปิดในเว็บไซด์ MACeducation.com เพื่อเข้าเมนู การศึกษาขั้นพื้นฐาน >>> MAC iLink และเลือกเปิดดู ส่วนเสริมของบทเรียนในหนังสือเรียนแต่ละเล่มได้ ท้ายหน่วยการเรียนรู้ทุกหน่วยจะมีการสรุป บทเรียนสำหรับผู้เรียนได้ใช้เป็นข้อมูลสำคัญในการตรวจสอบองค์ความรู้ที่ควรได้รับการพัฒนา หลังจากเสร็จสิ้นการเรียนรู้ หรือเป็นสาระสำคัญที่ควรจดจำและทำความเข้าใจให้ถ่องแท้ ซึ่งนับว่าเป็น ส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งในการปรับปรุงหนังสือเรียนครั้งนี้ที่ได้พัฒนาให้ชัดเจนยิ่งขึ้น

บริษัท แม็คเอ็ดดูเคชั่น จำกัด หวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเรียนเล่มนี้จะมีคุณค่า มีประโยชน์ และช่วยส่งเสริมการปฏิรูปการศึกษาเพื่อเป็นรากฐานสำคัญที่จะช่วยทำให้ประเทศไทยก้าวสู่ประเทศ ที่มีการพัฒนาอย่างยั่งยืน ด้วยการมีพลเมืองที่มีคุณภาพ มีความคิดสร้างสรรค์ ตามเจตนารมณ์ ของการปฏิรูปหลักสูตรครั้งนี้ และนโยบายประเทศไทย 4.0

บริษัท แม็คเอ็ดดูเคชั่น จำกัด

คำนำ

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เล่ม 2 ได้พัฒนาและปรับปรุงเนื้อหา กิจกรรมการทดลอง ภาพประกอบ กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ กิจกรรม เพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ให้ตรงตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระ การเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษา ขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

ผู้เรียบเรียงได้ศึกษาผลการเรียนรู้ กระบวนการจัดการเรียนรู้ และแนวทางในการวัดและ ประเมินผล นำมาจัดทำโครงสร้างสำหรับหลักสูตรชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยเลือกเนื้อหา กระบวนการ เรียนการสอน การทำกิจกรรม ทักษะการคิด การวัดผลและประเมินผล ผ่านการนำเสนอด้วยการเรียนรู้ แบบลงมือปฏิบัติ (Active Learning) ที่เหมาะสมกับผู้เรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เพื่อพัฒนา ผู้เรียนให้เกิดการเรียนรู้ เข้าใจหลักการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ วิธีการ สืบเสาะตรวจสอบข้อมูล การคิดแก้ปัญหา ตลอดจนการเสริมสร้างจิตวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้ยังมุ่งเน้น ให้ผู้เรียนได้ฝึกฝนและพัฒนาให้เกิดทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ที่สำคัญ ด้วยกิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิด สร้างสรรค์ ที่ช่วยให้ผู้เรียนมีทักษะในการแสวงหาความรู้ด้วยตนเอง การคิดสร้างสรรค์ การคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหา การทำงานร่วมกัน นำไปสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์หรือนวัตกรรมที่ก่อให้เกิดประโยชน์ ต่อการศึกษาและนำไปใช้ในชีวิตประจำวัน ซึ่งเป็นคำตอบของการศึกษาวิชาวิทยาศาสตร์

หนังสือเรียนเล่มนี้ประกอบด้วย 4 หน่วยการเรียนรู้ แต่ละหน่วยการเรียนรู้ได้สรุปสาระการเรียนรู้ ระบุผลการเรียนรู้ มีภาพและคำถามนำเข้าสู่บทเรียน แนวคิดหลักของหน่วยการเรียนรู้ แนวคิดสำคัญ ของแต่ละเรื่อง กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ กิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ บทสรุปเนื้อหา และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์เพื่อเป็นการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียน

หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการเรียนการสอนตามแนวปฏิรูป การศึกษา และมีคุณภาพตรงตามผลการเรียนรู้ หากมีข้อบกพร่องประการใด ผู้เรียบเรียงขอน้อมรับ คำแนะนำด้วยความขอบคุณยิ่ง

อนิรุท พรหมเจริญ

สารบัญ

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม	1
1. การศึกษาพันธุศาสตร์ของเมนเดล	2
2. กฎของเมนเดล	8
2.1 กฎแห่งการแยก	10
2.2 กฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ	11
2.3 การหาอัตราส่วนทางพันธุศาสตร์	12
3. ลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมนเดล	18
3.1 การข้ามไม่สมบูรณ์	19
3.2 การข้ามร่วมกัน	20
3.3 มัลติเปิลแอลลีล	21
3.4 พอลิยีน	22
3.5 ยีนบนโครโมโซมเพศ	24
3.6 ยีนบนโครโมโซมเดียวกัน	24
3.7 พันธุกรรมที่ขึ้นกับอิทธิพลของเพศ	25
3.8 พันธุกรรมจำกัดเพศ	26
4. การถ่ายทอดยีนบนโครโมโซม	27
4.1 ตัวอย่างลักษณะทางพันธุกรรมที่ถ่ายทอดโดยยีนด้อยบนออโตโซม	29
4.2 ตัวอย่างลักษณะทางพันธุกรรมที่ถ่ายทอดโดยยีนเด่นบนออโตโซม	31
4.3 ตัวอย่างลักษณะทางพันธุกรรมที่ถ่ายทอดโดยยีนด้อยบนโครโมโซม X	33
4.4 ตัวอย่างลักษณะทางพันธุกรรมที่ถ่ายทอดโดยยีนเด่นบนโครโมโซม X	37
4.5 ตัวอย่างลักษณะทางพันธุกรรมที่ถ่ายทอดโดยยีนบนโครโมโซม Y	38
แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	43

หน่วยการเรียนรู้ที่ 2 ยีนและโครโมโซม	45
1. โครโมโซม DNA และ RNA	49
1.1 โครโมโซม	49
1.2 DNA	52
1.3 RNA	56
2. สมบัติของสารพันธุกรรม	60
2.1 การจำลองตัวเองของ DNA	61
2.2 การสังเคราะห์โปรตีน	64
3. มิวเทชัน	71
3.1 ชนิดของมิวเทชัน	71
3.2 สาเหตุการเกิดมิวเทชัน	80
แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	86
หน่วยการเรียนรู้ที่ 3 เทคโนโลยี DNA	91
1. พันธุวิศวกรรม	92
1.1 การโคลนนิ่ง	94
1.2 การวิเคราะห์ DNA และการศึกษาจีโนม	97
2. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีของ DNA	100
แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	108
หน่วยการเรียนรู้ที่ 4 วิวัฒนาการ	109
1. หลักฐานที่บ่งบอกถึงวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต	110
2. แนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต	115
2.1 แนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตของลามาร์ก	116
2.2 แนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการการคัดเลือกโดยธรรมชาติของดาร์วิน	117

3. พันธุศาสตร์ประชากร	123
3.1 ความถี่แอลลีลและความถี่ในโพลีโมर्फิซึม	124
3.2 ทฤษฎีฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก	125
4. การกำเนิดสปีชีส์	131
4.1 ความหมายของสปีชีส์	131
4.2 การเกิดสปีชีส์	135
แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	140

บรรณานุกรม
ดัชนี

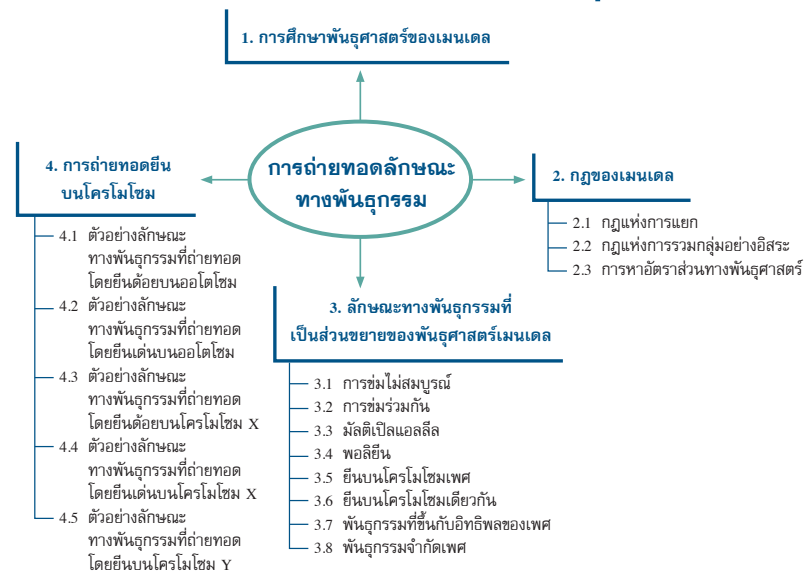
141
142

หน่วยการเรียนรู้ที่

1

มัธยมศึกษาปีที่ 4

การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม



ผลการเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูล อธิบายและสรุปผลการทดลองของเมนเดล
2. อธิบายและสรุปกฎแห่งการแยกและกฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ และนำกฎของเมนเดลนี้ไปอธิบายการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมและใช้ในการคำนวณโอกาสในการเกิดฟีโนไทป์และจีโนไทป์แบบต่าง ๆ ของรุ่น F_1 และ F_2
3. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ อธิบาย และสรุปเกี่ยวกับการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมนเดล
4. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ และเปรียบเทียบลักษณะทางพันธุกรรมที่มีการแปรผันไม่ต่อเนื่องและลักษณะทางพันธุกรรมที่มีการแปรผันต่อเนื่อง
5. อธิบายการถ่ายทอดยีนบนโครโมโซม และยกตัวอย่างลักษณะทางพันธุกรรมที่ถูกต้องควบคุมด้วยยีนที่อยู่บนโครโมโซมเพศ

เหตุใดสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกันจึงมีลักษณะเหมือนกัน
แต่กลับมีลักษณะแตกต่างจากสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น



แนวคิดหลัก

เมนเดลทำการทดลองผสมพันธุ์ถั่วลิสงทำให้ทราบว่ามีลักษณะต่าง ๆ มีหน่วยที่ควบคุมอยู่ ซึ่งเมนเดลเรียกหน่วยนี้ว่า แพกเตอร์ หรือที่ปัจจุบันเรียกว่า ยีน ทำให้เขาได้ตั้งกฎเกี่ยวกับพันธุศาสตร์ 2 ข้อ คือ กฎแห่งการแยกและกฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ ต่อมาได้มีการศึกษาพบลักษณะการถ่ายทอดทางพันธุกรรมที่มีอัตราส่วนของผลการศึกษาแตกต่างจากของเมนเดล เรียกว่า การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมนเดล ได้แก่ การข้ามไม่สมบูรณ์ การข้ามร่วมกัน มัลติปีดแอลลิล พอลิยีน ยีนบนโครโมโซมเพศ ยีนบนโครโมโซมเดียวกัน พันธุกรรมที่ขึ้นกับอิทธิพลของเพศ และพันธุกรรมจำกัดเพศ

1. การศึกษาพันธุศาสตร์ของเมนเดล



แนวคิดสำคัญ

เมนเดลทำการทดลองผสมพันธุ์ถั่วลิสงทำให้ทราบว่ามีลักษณะต่าง ๆ มีหน่วยที่ควบคุมอยู่ ซึ่งเมนเดลเรียกหน่วยนี้ว่า แพกเตอร์ หรือที่ปัจจุบันเรียกว่า ยีน สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดจะมียีนที่แตกต่างกันออกไปทำให้สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมีลักษณะแตกต่างกันไป หรือแม้แต่สิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกันก็มีบางลักษณะที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลจากความแปรผันทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต



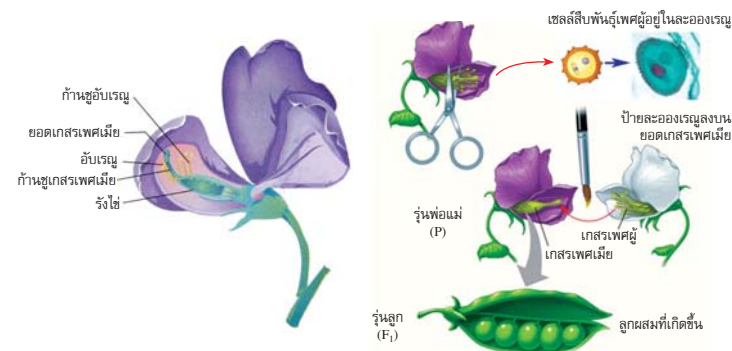
เกรเกอร์ โยฮันน์ เมนเดล (Gregor Johann Mendel) เกิดใน พ.ศ. 2365 เป็นบาทหลวงชาวออสเตรีย ในขณะเดียวกันเขาก็เป็นอาจารย์สอนหนังสือให้แก่เด็กเรียน และสอนนักเรียนถึงเรื่องพันธุกรรม เมนเดลเริ่มทดลองครั้งแรกใน พ.ศ. 2399 เรื่องที่เขาทำการทดลอง คือ การรวบรวมถั่วลิสงหลาย ๆ พันธุ์นำมาผสมกันด้วยหลาย ๆ วิธี ใน พ.ศ. 2408 เมนเดลได้รายงานผลการทดลองซึ่งเกี่ยวกับการผสมพันธุ์ถั่วลิสงให้แก่ที่ประชุม The Brunn Natural History Society ในกรุงบรุนน์ (Brunn) ผลงานของเขาได้รับการตีพิมพ์ พ.ศ. 2443 หลังจากนั้นไม่กี่ปีชีวิตวิทยา 3 ท่าน คือ ฮิวโก เดอ ฟรีส์ (Hugo de Vries) ชาวเนเธอร์แลนด์ คาร์ล คอร์เรนส์ (Karl Correns) ชาวเยอรมัน และเอริช ฟอน ชาร์มาค (Erich von Tschermak) ชาวออสเตรีย ได้ทดลองผสมพันธุ์พืชชนิดอื่น ๆ และได้ผลการทดลองตรงตามที่เมนเดลเคยรายงานไว้ ทำให้เมนเดลเป็นที่รู้จักในวงการพันธุศาสตร์นับแต่นั้นเป็นต้นมา และเมนเดลยังได้รับการยกย่องว่าเป็น **บิดาแห่งวิชาพันธุศาสตร์** อีกด้วย



รูปที่ 1.1 เกรเกอร์ โยฮันน์ เมนเดล

การศึกษาทางพันธุศาสตร์ของเมนเดลนั้น เมนเดลได้เลือกถั่วลิสง (*Pisum sativum*) เป็นพืชในการศึกษา โดยมีเหตุผลดังนี้

1. เป็นพืชที่ปลูกง่าย ช่วงอายุแต่ละรุ่น (ตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวผลผลิต) ใช้ระยะเวลาสั้นเพียงฤดูเดียวหรือประมาณ 3 เดือน และยังไม่เมื่อยในปริมาณมาก
2. ถั่วลิสงเดิมดอกเป็นดอกสมบูรณ์ (perfect flower) จึงมีการผสมภายในดอกเดียวกัน (self fertilization) หรือจะผสมข้ามดอก (cross fertilization) เพื่อให้เกิดลูกผสมก็ทำได้ด้วยวิธีการใช้มือช่วย (hand pollination) ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 ส่วนประกอบของดอกถั่วลิสงและการผสมข้ามดอกโดยใช้มือช่วย

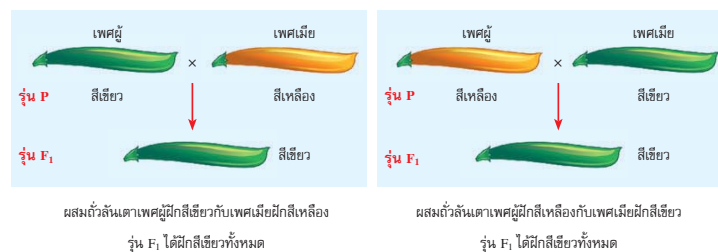
3. มีลักษณะทางพันธุกรรมที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนหลายลักษณะ ในการทดลองของเมนเดลเลือกใช้ 7 ลักษณะ ได้แก่ รูปร่างของเมล็ด สีของเมล็ด สีดอก สีของฝัก รูปร่างของฝัก ความสูงของลำต้น และตำแหน่งของดอก ดังรูปที่ 1.3

ลักษณะ	ลักษณะ
รูปร่างของเมล็ด กลม  ขรุขระ 	ความสูงของลำต้น สูง  เตี้ย 
สีของเมล็ด สีเหลือง  สีเขียว 	ตำแหน่งดอก ดอกที่กิ่ง  ดอกที่ยอด 
สีของดอก สีม่วง  สีขาว 	
สีของฝัก สีเขียว  สีเหลือง 	
รูปร่างฝัก ฝักอวบ  ฝักแฟบ 	

รูปที่ 1.3 ลักษณะของตัวสันเตา 7 ประการ ที่เมนเดลใช้ในการศึกษา

เมนเดลทำการศึกษาที่ละลักษณะโดยมีขั้นตอนดังนี้

1. เมนเดลทำการทดลองผสมตัวสันเตาหลายรุ่นจนแน่ใจว่าได้ตัวสันเตาลักษณะพันธุ์แท้ (pure line)
2. เมนเดลเลือกตัวสันเตาฝักสีเขียวผสมกับตัวสันเตาฝักสีเหลือง โดยเรียกตัวสันเตาที่ผสมรุ่นนี้ว่า **รุ่นพ่อแม่** หรือ P (parental generation) ซึ่งจะได้อันลูกหรือ F₁ (first filial generation) ปรากฏว่าได้รุ่น F₁ ออกมาเป็นตัวสันเตาฝักสีเขียวทั้งหมด แม้ทดลองผสมรุ่น P สลับระหว่างตัวสันเตาฝักสีเขียวและตัวสันเตาฝักสีเหลืองต้นตัวสันเตา F₁ ที่ปรากฏออกมายังเป็นฝักสีเขียวทั้งหมด ดังรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 การทดลองผสมสลับของตัวสันเตา

3. เมนเดลนำรุ่น F₁ ที่มีฝักสีเขียวมาผสมภายในดอกเดียวกัน พบว่า **รุ่นหลานหรือรุ่น F₂** (second filial generation) ทั้งหมด 580 ต้น ปรากฏตัวสันเตาฝักสีเขียว 428 ต้น และตัวสันเตาฝักสีเหลือง 152 ต้น คิดเป็นอัตราส่วนอย่างต่ำคือ 2.82 : 1

4. ทำการผสมดังเช่นข้อ 1-3 ในอีก 6 ลักษณะที่เหลือ ปรากฏผลดังตารางที่ 1.1

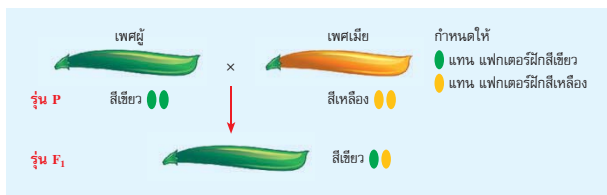
ตารางที่ 1.1 การผสมพันธุ์ของตัวสันเตาทั้ง 7 ลักษณะ และอัตราส่วนของรุ่น F₂

ลักษณะ	ลักษณะเด่น	×	ลักษณะด้อย	รุ่น F ₁	รุ่น F ₂ ลักษณะเด่น : ลักษณะด้อย	อัตราส่วน
รูปร่างของเมล็ด	กลม 	×	ขรุขระ 	กลม 6,547	กลม : ขรุขระ 5,474 : 1,850	2.96 : 1
สีของเมล็ด	สีเหลือง 	×	สีเขียว 	สีเหลือง 7,258	สีเหลือง : สีเขียว 6,022 : 2,001	3.01 : 1
รูปร่างฝัก	ฝักอวบ 	×	ฝักแฟบ 	ฝักอวบ 1,021	ฝักอวบ : ฝักแฟบ 882 : 299	2.95 : 1
สีของฝัก	สีเขียว 	×	สีเหลือง 	สีเขียว 952	สีเขียว : สีเหลือง 428 : 152	2.82 : 1
สีดอก	สีม่วง 	×	สีขาว 	สีม่วง 843	สีม่วง : สีขาว 705 : 224	3.15 : 1
ตำแหน่งดอก	ดอกที่กิ่ง 	×	ดอกที่ยอด 	ดอกที่กิ่ง 875	ดอกที่กิ่ง : ดอกที่ยอด 651 : 207	3.14 : 1
ความสูงของลำต้น	สูง 	×	เตี้ย 	สูง 1,274	สูง : เตี้ย 787 : 277	2.84 : 1

จากตารางที่ 1.1 จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนของรุ่น F₂ ในทุกลักษณะมีอัตราส่วนใกล้เคียง 3 : 1 อัตราส่วนของ การถ่ายทอดนี้ปรากฏในทุกลักษณะที่ทำการผสมพันธุ์ เช่น ความสูง สีดอก สีฝัก เมนเดลได้สรุปไว้ดังนี้

1. ลักษณะของถั่วลันเตาแต่ละลักษณะจะมีหน่วยควบคุม ซึ่งเมนเดลเรียกหน่วยควบคุมนี้ว่า **แฟกเตอร์ (factor)**

2. แฟกเตอร์ที่ควบคุมแต่ละลักษณะจะปรากฏเป็นคู่ ๆ ในรุ่นพ่อแม่ และจะถ่ายทอดลักษณะไปยังรุ่นลูก ซึ่งจะได้รับแฟกเตอร์นั้น ๆ และจะปรากฏแฟกเตอร์เป็นคู่ ๆ เช่นเดียวกับพ่อแม่ และตัวอย่าง ลูกที่มีฝักสีเขียว อาจจะปรากฏแฟกเตอร์ฝักสีเขียวทั้งคู่หรือแฟกเตอร์ฝักสีเขียว 1 แฟกเตอร์ และแฟกเตอร์ฝักสีเหลืองอีก 1 แฟกเตอร์ แต่จะแสดงออกเฉพาะแฟกเตอร์ฝักสีเขียวออกมา และจะเหมือนกันลูกที่มีฝักสีเหลืองนั้นจะปรากฏแฟกเตอร์ฝักสีเหลือง 2 แฟกเตอร์ ดังรูปที่ 1.5

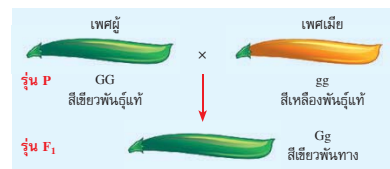


รูปที่ 1.5 การถ่ายทอดแฟกเตอร์ที่ควบคุมลักษณะสีของฝักของถั่วลันเตา

3. ลักษณะของถั่วลันเตาที่ปรากฏในทุกุ่นเรียกว่า **ลักษณะเด่น (dominance)** ส่วนลักษณะที่ปรากฏให้เห็นในบางรุ่นเรียกว่า **ลักษณะด้อย (recessive)** เช่น จากตารางที่ 1.1 ลักษณะฝักสีเขียวที่พบในรุ่น P รุ่น F₁ และรุ่น F₂ จะเป็นลักษณะเด่น ส่วนลักษณะฝักสีเหลืองที่พบเฉพาะในรุ่น P และรุ่น F₂ จะเป็นลักษณะด้อย

ในภายหลังมีนักวิทยาศาสตร์หลายท่านได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมจากการทดลองของเมนเดล ใน พ.ศ. 2452 นักพฤกษศาสตร์ วิลเฮล์ม โจฮานเซน (Wilhelm Johannsen) ชาวเดนมาร์ก ได้บัญญัติคำว่า **ยีน (gene)** แทนคำว่า แฟกเตอร์ ของเมนเดล โดยเรียกยีนที่ควบคุมลักษณะเด่นว่า **ยีนเด่น (dominant gene)** และเรียกยีนที่ควบคุมลักษณะด้อยว่า **ยีนด้อย (recessive gene)** ซึ่งลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่ถูกควบคุมด้วยยีนที่เหมือนกัน (ยีนเด่นทั้งคู่หรือยีนด้อยทั้งคู่) จะเป็น **พันธุ์แท้** ส่วนลักษณะที่ถูกควบคุมด้วยยีนเด่นและยีนด้อยจะเป็น **พันธุ์ทาง**

ในการศึกษาทางพันธุศาสตร์ นักพันธุศาสตร์ได้กำหนดการเขียนสัญลักษณ์ของยีนเพื่อให้สะดวกในการศึกษา และเข้าใจถึงการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม แต่ไม่ได้กำหนดรูปแบบที่ตายตัว ดังรูปที่ 1.6



รูปที่ 1.6 การถ่ายทอดลักษณะสีของถั่วลันเตาที่แสดงด้วยการเขียนสัญลักษณ์

- อักษรตัวพิมพ์ใหญ่แทนยีนเด่น
- อักษรตัวพิมพ์เล็กแทนยีนด้อย
- ตัวอักษร 2 ตัว แทนการเข้าคู่กันของยีน โดยที่อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ทั้งคู่หรืออักษรตัวพิมพ์เล็กทั้งคู่จะเป็นพันธุ์แท้ แต่ถ้าเป็นอักษรตัวพิมพ์ใหญ่และอักษรตัวพิมพ์เล็ก แสดงว่าเป็นพันธุ์ทาง



นอกจากนี้นักพันธุศาสตร์ยังได้กำหนดนิยามศัพท์ในการศึกษาทางพันธุศาสตร์ดังนี้

- **ลักษณะเด่น (dominance)** หมายถึง ลักษณะที่ปรากฏให้เห็นในทุกุ่น เช่น ลักษณะฝักสีเขียวในถั่วลันเตา
- **ลักษณะด้อย (recessive)** หมายถึง ลักษณะที่ปรากฏให้เห็นในบางรุ่น เช่น ลักษณะฝักสีเหลืองในถั่วลันเตา
- **ยีน (gene)** หมายถึง หน่วยควบคุมลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตที่อยู่บนโครโมโซม
- **ยีนเด่น (dominant gene)** หมายถึง ยีนที่ควบคุมลักษณะเด่น เช่น ยีนที่ควบคุมลักษณะฝักสีเขียวในถั่วลันเตา

ถั่วลันเตา

- **ยีนด้อย (recessive gene)** หมายถึง ยีนที่ควบคุมลักษณะด้อย เช่น ยีนที่ควบคุมลักษณะฝักสีเหลืองในถั่วลันเตา

- **ฮอมอไซกัสยีน (homozygous gene)** หมายถึง คู่ของยีนที่เหมือนกันมาเข้าคู่กัน เช่น GG เป็นยีนที่ควบคุมลักษณะฝักสีเขียว และ gg แทนยีนที่ควบคุมลักษณะฝักสีเหลืองในถั่วลันเตา

- **เฮเทอโรไซกัสยีน (heterozygous gene)** หมายถึง คู่ของยีนที่ต่างกันมาเข้าคู่กัน เช่น Gg เป็นยีนที่ควบคุมลักษณะฝักสีเขียวพันธุ์ทาง

- **พันธุ์แท้** หมายถึง ลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่ถูกควบคุมด้วยยีนที่เหมือนกัน (ฮอมอไซกัสยีน)
- **พันธุ์ทาง** หมายถึง ลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่ถูกควบคุมด้วยยีนที่ต่างกัน (เฮเทอโรไซกัสยีน)
- **จีโนไทป์ (genotype)** หมายถึง ลักษณะของยีนที่ควบคุมการแสดงออก เช่น GG หรือ Gg เป็นจีโนไทป์ของลักษณะฝักสีเขียวในถั่วลันเตา

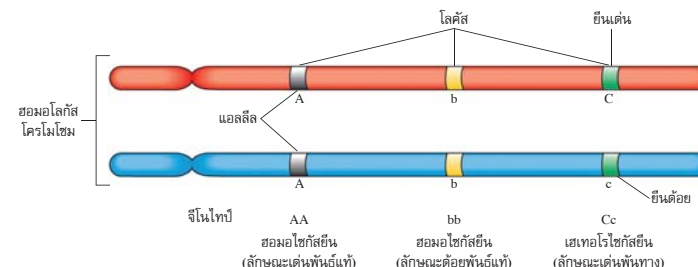
- **ฟีโนไทป์ (phenotype)** หมายถึง ลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่ปรากฏออกมาเนื่องจากการควบคุมโดยยีน หรือการแสดงออกของจีโนไทป์ที่สามารถมองเห็นได้ เช่น สีของฝักถั่วลันเตา

- **โครโมโซม (chromosome)** หมายถึง โครงสร้างที่เก็บยีน โดยที่โครโมโซม 1 โครโมโซม จะมียีนมากถึง 25,000 ยีน

- **ฮอมอโลกัสโครโมโซม (homologous chromosome)** หมายถึง โครโมโซมที่เข้าคู่กันและมีลักษณะเหมือนกัน โดยที่โครโมโซมหนึ่งมาจากพ่อและอีกโครโมโซมมาจากแม่

- **แอลลีล (allele)** หมายถึง ยีนที่อยู่กันเป็นคู่บนฮอมอโลกัสโครโมโซมและควบคุมลักษณะทางพันธุกรรมเดียวกัน

- **โลคัส (locus)** หมายถึง ตำแหน่งของยีนที่อยู่บนโครโมโซม



รูปที่ 1.7 ฮอมอโลกัสโครโมโซมที่แสดงโลคัสของยีนที่เป็นแอลลีลกัน



กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.1

- เหตุใดเมนเดลจึงเลือกถั่วลิสงเป็นพืชที่ใช้ในการศึกษาทางพันธุศาสตร์
- เหตุใดเมื่อนำถั่วลิสงเตาที่มีดอกสีม่วงมาผสมกับถั่วลิสงเตาที่มีดอกสีขาวพบว่า รุ่นลูก (รุ่น F_1) จะเป็นต้นถั่วลิสงเตาที่มีดอกสีม่วงทั้งหมด

2. กฎของเมนเดล



แนวคิดสำคัญ

การทดลองผสมพันธุ์ถั่วลิสงเตาเพื่อศึกษาการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมทำให้เมนเดลสรุปเป็นกฎเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้ 2 ข้อ คือ กฎแห่งการแยก คือ การที่ยีนจะแยกออกจากกันขณะที่สร้างเซลล์สืบพันธุ์ และกฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ คือ ยีนที่แยกออกจากคู่จะสามารถรวมกลุ่มกันใหม่ได้อย่างอิสระ

ความน่าจะเป็น (probability) หมายถึง อัตราส่วนจำนวนครั้งของเหตุการณ์หนึ่งที่เกิดขึ้นต่อเหตุการณ์นั้น กฎความน่าจะเป็นมี 2 ข้อ ดังนี้

1. **กฎการคูณ (multiplication law)** ใช้กับเหตุการณ์ต่างๆ ที่สามารถเกิดขึ้นพร้อมกัน และเป็นอิสระต่อกัน โอกาสที่เหตุการณ์เหล่านั้นจะเกิดขึ้นได้พร้อมกันมีค่าเท่ากับผลคูณของโอกาสที่จะเกิดขึ้นแต่ละเหตุการณ์

2. **กฎการบวก (addition law)** ใช้กับเหตุการณ์ต่างๆ ที่ไม่สามารถเกิดขึ้นได้พร้อมกัน และเป็นอิสระต่อกัน โอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ที่หนึ่งและเหตุการณ์ที่สองจะมีค่าเท่ากับผลบวกของโอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ที่หนึ่งและเหตุการณ์ที่สอง



กิจกรรมการทดลอง

กิจกรรมที่ 1.1 กฎความน่าจะเป็น

จุดประสงค์

ทดลองและอธิบายกฎความน่าจะเป็น

อุปกรณ์

เหรียญ 2 บาท 2 เหรียญ

วิธีปฏิบัติ

- ใช้เหรียญ 2 บาท 1 เหรียญ กำหนดด้านหัว (H) และด้านก้อย (T) โยนและปล่อยให้ตกลงสู่พื้น 20 ครั้ง แต่ละครั้ง สังเกตลักษณะที่ปรากฏบนเหรียญด้านที่หงายขึ้น บันทึกผล
- ใช้เหรียญ 2 บาท จำนวน 2 เหรียญ โดยใช้ปากกาเมจิกป้ายลงบนเหรียญเพื่อให้เป็นจุดสังเกตว่าเหรียญใดเป็นเหรียญแรก โยนขึ้นไปพร้อมกัน และปล่อยให้ตกลงสู่พื้น จำนวน 20 ครั้ง แต่ละครั้ง สังเกตลักษณะที่ปรากฏบนเหรียญด้านที่หงายขึ้นทั้ง 2 เหรียญ บันทึกผล
- นำผลการทดลองทั้งข้อ 1 และ 2 มาวิเคราะห์อัตราส่วนที่เกิดขึ้น
- เขียนรายงานผลการทดลองตามกระบวนการทางวิทยาศาสตร์
- แลกเปลี่ยนเรียนรู้กับกลุ่มเพื่อน

คำถามท้ายกิจกรรม

- ผลการทดลองโยนเหรียญ 1 เหรียญ ทั้ง 20 ครั้ง เป็นอย่างไร อัตราส่วนที่เหรียญหงายด้านหัว (H) และด้านก้อย (T) เป็นอย่างไร
- ผลการทดลองโยนเหรียญ 2 เหรียญ ทั้ง 20 ครั้ง เป็นอย่างไร อัตราส่วนที่เหรียญหงายด้านหัวหัว (HH) ด้านก้อยก้อย (TT) และด้านหัวก้อยหรือด้านก้อยหัว (HT หรือ TH) เป็นอย่างไร
- อัตราส่วนที่เหรียญหงายจากการโยนเหรียญ 1 เหรียญ กับการโยนเหรียญ 2 เหรียญ เหมือนหรือต่างกันอย่างไร
- ผลการทดลองกลุ่มตนเองเหมือนหรือต่างกับกลุ่มเพื่อนอย่างไร
- ผลการทดลองสรุปได้อย่างไร

จากกิจกรรมที่ 1.1 เมื่อทดลองโยนเหรียญ 1 เหรียญขึ้นไป แล้วปล่อยให้ตกลงสู่พื้นโดยอิสระ โอกาสที่เหรียญจะตกลงมาแสดงออกหัว (H) และก้อย (T) ได้เท่ากันอย่างละครึ่งหรือคิดเป็น $\frac{1}{2}$ โดยมีอัตราส่วน H : T เท่ากับ 1 : 1

ถ้าโยนเหรียญ 2 เหรียญพร้อม ๆ กัน แล้วปล่อยให้ตกลงสู่พื้นโดยอิสระ มีโอกาสที่เหรียญแต่ละเหรียญจะออกหัวหรือก้อยได้อย่างละครึ่งหรือคิดเป็น $\frac{1}{2}$ เนื่องจากเหรียญทั้งสองเป็นอิสระต่อกัน ดังนั้น โอกาสที่เหรียญทั้งสองจะหงายด้านต่าง ๆ จะเท่ากับ

$$\text{แบบที่ 1} \quad \text{ออกหัวทั้ง 2 เหรียญ (HH)} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$$

$$\text{แบบที่ 2} \quad \text{ออกก้อยทั้ง 2 เหรียญ (TT)} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$$

แบบที่ 3 ออกหัวและก้อยอย่างละครึ่งเหรียญ แยกเป็น 2 กรณี คือ

$$\text{ออกหัวและก้อย (HT)} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$$

$$\text{ออกก้อยและหัว (TH)} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$$

$$\text{ดังนั้น ออกหัวและก้อยอย่างละครึ่งเหรียญ (HT, TH)} = \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{2}{4}$$

ดังนั้น เมื่อโยนเหรียญ 2 เหรียญพร้อม ๆ กัน แล้วปล่อยให้ตกลงสู่พื้นโดยอิสระ จะมีโอกาสที่เหรียญจะออกหัวทั้ง 2 เหรียญคิดเป็น $\frac{1}{4}$ ออกหัวและก้อยคิดเป็น $\frac{2}{4}$ และออกก้อยทั้ง 2 เหรียญคิดเป็น $\frac{1}{4}$ โดยจะมีอัตราส่วนเป็น HH : HT : TH : TT เท่ากับ 1 : 2 : 1

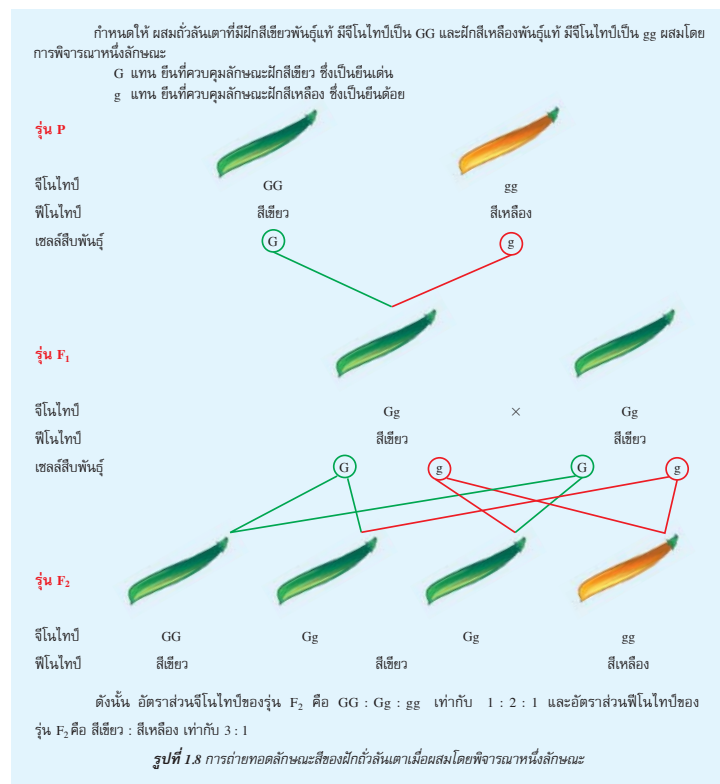
จากการทดลองผสมพันธุ์ถั่วลิสงเตาเพื่อศึกษาการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม เมนเดลได้ใช้กฎความน่าจะเป็นมาอธิบายโอกาสที่จะเกิดลักษณะในรุ่น F_2 และได้สรุปเป็นกฎเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น 2 ข้อ คือ

- กฎแห่งการแยก (Law of segregation)
- กฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ (Law of independent assortment)

2.1 กฎแห่งการแยก

กฎแห่งการแยก (Law of segregation) มีใจความว่า “แอลลีลที่อยู่เป็นคู่จะแยกออกจากกันในระหว่างการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ โดยเซลล์สืบพันธุ์แต่ละเซลล์จะมีเพียงแอลลีลใดแอลลีลหนึ่ง”

เมื่อพิจารณาตารางที่ 1.1 จะพบว่า รุ่น F_1 จะปรากฏลักษณะเด่นเพียงลักษณะเดียวเท่านั้น แต่รุ่น F_2 จะปรากฏทั้งลักษณะเด่นและลักษณะด้อยในอัตราส่วน 3 : 1 และลักษณะทั้ง 7 ลักษณะของถั่วลันเตาที่เมนเดลศึกษาก็ให้ผลการทดลองเช่นเดียวกัน เมนเดลจึงนำกฎความน่าจะเป็น (จากกิจกรรมที่ 1.1) มาอธิบายการผสมพันธุ์ถั่วลันเตา โดยการพิจารณาหนึ่งลักษณะ (monohybrid cross) เนื่องจากยีนที่ควบคุมลักษณะทางพันธุกรรมซึ่งอยู่กันเป็นคู่จะแยกออกจากกันอย่างอิสระเมื่อมีการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ โดยยีนที่แยกออกจากกันนั้นจะเข้าคู่กันใหม่เมื่อมีการปฏิสนธิ ซึ่งจะให้เป็นจีโนไทป์และฟีโนไทป์ต่างๆ ในรุ่น F_1 และ F_2 ดังรูปที่ 1.8

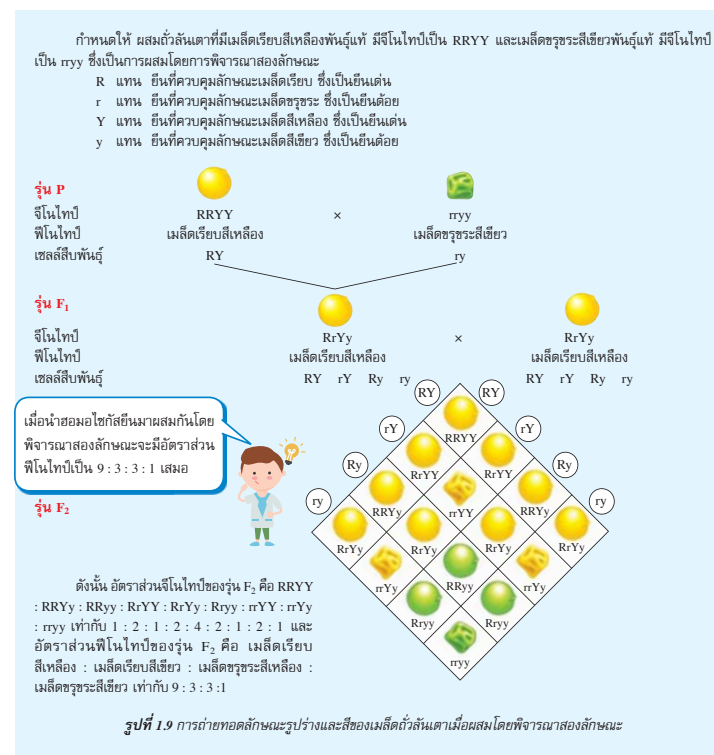


จากรูปที่ 1.8 จะพบว่า ขณะที่สร้างเซลล์สืบพันธุ์ ยีนที่อยู่เป็นคู่กันจะแยกออกจากกัน ทำให้เซลล์สืบพันธุ์แต่ละเซลล์มีเพียงแอลลีลใดแอลลีลหนึ่ง และยีนแต่ละยีนสามารถถ่ายทอดไปสู่รุ่นต่อไปได้ เมนเดลจึงสามารถสรุปเป็นกฎแห่งการแยกได้

2.2 กฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ

กฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ (Law of independent assortment) มีใจความว่า “หลังจากคู่ของแอลลีล แยกออกจากกัน แต่ละแอลลีลจะจัดกลุ่มอย่างอิสระกับแอลลีลอื่นๆ ที่แยกออกจากคู่เช่นกันในการเข้าไปอยู่ในเซลล์สืบพันธุ์”

หลังจากนั้นเมนเดลได้ศึกษาการถ่ายทอดลักษณะของถั่วลันเตาโดยการผสมพิจารณาสองลักษณะ (dihybrid cross) เช่น การถ่ายทอดลักษณะรูปร่างและสีของเมล็ด ดังรูปที่ 1.9



จากรูปที่ 1.9 จะพบว่า ยีนที่ควบคุมลักษณะรูปร่างของเมล็ดและยีนที่ควบคุมสีของเมล็ดถั่วลิสงตัวที่แยกออกจากกันมีการรวมกลุ่มอย่างอิสระ คือ ในเซลล์สืบพันธุ์ ยีน R สามารถรวมกลุ่มกับยีน Y และยีน y ด้วยโอกาสที่เท่ากัน และยีน r ก็สามารถรวมกลุ่มกับยีน Y และยีน y ได้เช่นเดียวกัน เมเนลจึงสามารถสรุปเป็นกฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระได้

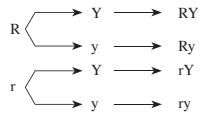
2.3 การหาอัตราส่วนทางพันธุศาสตร์

การหารูปแบบ อัตราส่วน และจำนวนของเซลล์สืบพันธุ์

รูปแบบของเซลล์สืบพันธุ์จะมีผลต่อจีโนไทป์และฟีโนไทป์ของสิ่งมีชีวิตในรุ่น F_1 และ F_2 ซึ่งรูปแบบของเซลล์สืบพันธุ์หาได้โดยใช้วิธีการแตกแขนง

ตัวอย่างที่ 1 จากรูปที่ 1.9 เซลล์สืบพันธุ์ในรุ่น F_1 มีรูปแบบ

นำรุ่น F_1 ที่เป็นเฮเทอโรไซกัสมาพิจารณาด้วยวิธีการแตกแขนงจะมีเซลล์สืบพันธุ์ดังนี้



วิธีการแตกแขนง คือ การเขียนโยงแต่ละแอลลีล จากแต่ละยีนเข้าด้วยกัน ซึ่งจะต้องโยงทั้งหมดเนื่องจากการรวมกลุ่มกันอย่างอิสระ



ดังนั้น รุ่น F_1 เมล็ดเรียบสีเหลืองที่เป็นเฮเทอโรไซกัส

จะมีเซลล์สืบพันธุ์เป็น 4 แบบ คือ RY, Ry, rY และ ry

เมื่อคิดโอกาสจากความน่าจะเป็นแอลลีลแต่ละแอลลีลจะเท่ากับ $\frac{1}{2}$ (R, r, Y และ y) ดังนั้น โอกาสที่เซลล์สืบพันธุ์แต่ละเซลล์สืบพันธุ์จะเกิดขึ้นเท่ากับผลคูณของแอลลีลที่มารวมกันอย่างอิสระ ดังนี้

$$\text{เซลล์สืบพันธุ์ RY มีความน่าจะเป็นในการเกิดเท่ากับ } \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$$

$$\text{เซลล์สืบพันธุ์ Ry มีความน่าจะเป็นในการเกิดเท่ากับ } \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$$

$$\text{เซลล์สืบพันธุ์ rY มีความน่าจะเป็นในการเกิดเท่ากับ } \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$$

$$\text{เซลล์สืบพันธุ์ ry มีความน่าจะเป็นในการเกิดเท่ากับ } \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$$

ดังนั้น เซลล์สืบพันธุ์ของรุ่น F_1 แต่ละเซลล์จะมีโอกาสเป็น $\frac{1}{4}$ RY $\frac{1}{4}$ Ry $\frac{1}{4}$ rY และ $\frac{1}{4}$ ry

จำนวนของเซลล์สืบพันธุ์ที่จะเกิดขึ้นเท่ากับ 2^n โดยที่ n เป็นจำนวนยีนหรือลักษณะที่เป็นเฮเทอโรไซกัส เช่น RrYy จะมีจำนวนเซลล์สืบพันธุ์เท่ากับ $2^2 = 4$ ซึ่งก็คือ RY, Ry, rY และ ry ที่ทราบจากวิธีการแตกแขนง

การหาอัตราส่วนของจีโนไทป์และฟีโนไทป์

การศึกษาลักษณะทางพันธุกรรมเพื่อศึกษาอัตราส่วนจีโนไทป์และฟีโนไทป์ของสิ่งมีชีวิตที่ปรากฏในแต่ละรุ่นสามารถทำได้ 2 วิธี คือ วิธีการทำตารางพันเนตต์ (punnett square) และวิธีการแตกแขนง (branching system)

1. วิธีการทำตารางพันเนตต์ให้นำเซลล์สืบพันธุ์ที่แยกออกจากกันอย่างอิสระตามกฎแห่งการแยกมาเขียนลงในตารางตามแนวดิ่งและแนวนอน ซึ่งเซลล์สืบพันธุ์จะเข้าคู่กันตามกฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระอีกครั้ง

ตัวอย่างที่ 2 จากรูปที่ 1.9 ให้หาอัตราส่วนจีโนไทป์และฟีโนไทป์ของรุ่น F_2

รุ่น F_1 จะมีเซลล์สืบพันธุ์เป็น RY, Ry, rY และ ry เมื่อนำรุ่น F_1 มาผสมกันเอง จะทำให้เกิดจีโนไทป์ของรุ่น F_2 ดังนี้

♀ \ ♂	RY	Ry	rY	ry
RY	RRYY	RRYy	RrYY	RrYy
Ry	RRYy	RRyy	RrYy	Rryy
rY	RrYY	RrYy	rrYY	rrYy
ry	RrYy	Rryy	rrYy	rryy

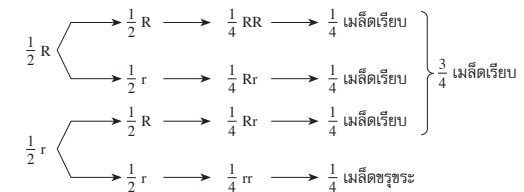
ดังนั้น รุ่น F_2 จะมีจีโนไทป์ทั้งหมด 9 แบบ คือ RRYY, RRYy, RRyy, RrYY, RrYy, Rryy, rrYY, rrYy และ rryy โดยมีอัตราส่วนจีโนไทป์เท่ากับ $\frac{1}{16} : \frac{2}{16} : \frac{1}{16} : \frac{2}{16} : \frac{4}{16} : \frac{2}{16} : \frac{1}{16} : \frac{2}{16} : \frac{1}{16}$ หรือ 1 : 2 : 1 : 2 : 4 : 2 : 1 : 2 : 1

ส่วนฟีโนไทป์ของรุ่น F_2 จะมีทั้งหมด 4 แบบ คือ เมล็ดเรียบสีเหลือง เมล็ดเรียบสีเขียว เมล็ดขรุขระสีเหลือง และเมล็ดขรุขระสีเขียว โดยมีอัตราส่วนฟีโนไทป์เท่ากับ 9 : 3 : 3 : 1

2. วิธีการแตกแขนง นำอัตราส่วนจีโนไทป์และฟีโนไทป์ของรุ่นพ่อแม่มาผสมที่ละลักษณะ จากนั้นจึงนำอัตราส่วนของลักษณะเซลล์สืบพันธุ์ที่เกิดขึ้นมาหาอัตราส่วนจีโนไทป์และฟีโนไทป์ของรุ่นลูก

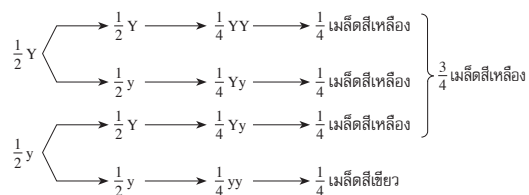
ตัวอย่างที่ 3 จากรูปที่ 1.9 ให้หาอัตราส่วนจีโนไทป์และฟีโนไทป์ของรุ่น F_2

รุ่น F_1 เมื่อพิจารณารูปร่างของเมล็ดจะมีอัตราส่วนของจีโนไทป์และฟีโนไทป์ ดังนี้



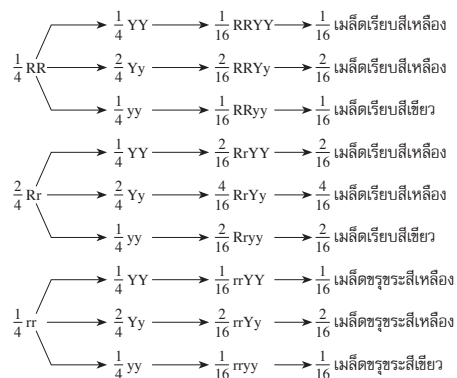
ดังนั้น มีอัตราส่วนจีโนไทป์ RR : Rr : rr เท่ากับ $\frac{1}{4} : \frac{2}{4} : \frac{1}{4}$ หรือ 1 : 2 : 1 และมีอัตราส่วนฟีโนไทป์ เมล็ดเรียบ : เมล็ดขรุขระ เท่ากับ $\frac{3}{4} : \frac{1}{4}$ หรือ 3 : 1

เมื่อพิจารณาลักษณะสีของเมล็ดจะมีอัตราส่วนของจีโนไทป์และฟีโนไทป์ ดังนี้



ดังนั้น มีอัตราส่วนจีโนไทป์ $YY : Yy : yy$ เท่ากับ $\frac{1}{4} : \frac{2}{4} : \frac{1}{4}$ หรือ $1 : 2 : 1$ และมีอัตราส่วนฟีโนไทป์ เมล็ดสีเหลือง : เมล็ดสีเขียว เท่ากับ $\frac{3}{4} : \frac{1}{4}$ หรือ $3 : 1$

เมื่อนำอัตราส่วนของทั้ง 2 ลักษณะมาหาอัตราส่วนจีโนไทป์และฟีโนไทป์ของรุ่น F_2 โดยวิธีการแตกแขนงจะได้ดังนี้

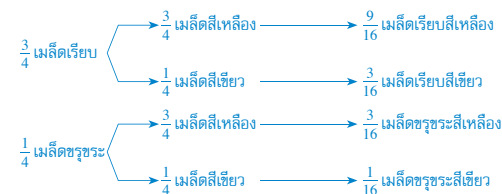


ดังนั้น รุ่น F_2 จะมีจีโนไทป์ทั้งหมด 9 แบบ คือ $RRYY, RRYy, RRyy, RrYY, RrYy, Rryy, rrYY, rrYy$ และ $rryy$ โดยมีอัตราส่วนฟีโนไทป์เท่ากับ $\frac{1}{16} : \frac{2}{16} : \frac{1}{16} : \frac{2}{16} : \frac{4}{16} : \frac{2}{16} : \frac{1}{16} : \frac{2}{16} : \frac{1}{16}$ หรือ $1 : 2 : 1 : 2 : 4 : 2 : 1 : 2 : 1$

ส่วนฟีโนไทป์ของรุ่น F_2 จะมีทั้งหมด 4 แบบ คือ เมล็ดเรียบสีเหลือง เมล็ดเรียบสีเขียว เมล็ดขรุขระสีเหลือง และเมล็ดขรุขระสีเขียว โดยมีอัตราส่วนฟีโนไทป์เท่ากับ $9 : 3 : 3 : 1$

หมายเหตุ สามารถหาอัตราส่วนฟีโนไทป์ได้โดยไม่ต้องหาอัตราส่วนจีโนไทป์ จากตัวอย่างที่ 3 เมื่อพิจารณาลักษณะของรุ่น F_1 ที่ละลักษณะ รูปร่างของเมล็ดมีอัตราส่วนฟีโนไทป์เป็น เมล็ดเรียบ : เมล็ดขรุขระ เท่ากับ $\frac{3}{4} : \frac{1}{4}$ ส่วนสีของเมล็ดมีอัตราส่วนฟีโนไทป์เป็น เมล็ดสีเหลือง : เมล็ดสีเขียว เท่ากับ $\frac{3}{4} : \frac{1}{4}$

เมื่อนำอัตราส่วนของทั้ง 2 ลักษณะมาหาอัตราส่วนฟีโนไทป์ของรุ่น F_2 โดยวิธีการแตกแขนงจะได้ดังนี้



ดังนั้น รุ่น F_2 จะมีฟีโนไทป์ทั้งหมด 4 แบบ คือ เมล็ดเรียบสีเหลือง เมล็ดเรียบสีเขียว เมล็ดขรุขระสีเหลือง และเมล็ดขรุขระสีเขียว โดยมีอัตราส่วนฟีโนไทป์เท่ากับ $9 : 3 : 3 : 1$

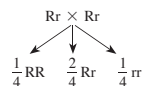
ในการนี้ที่มีการผสมตัวเอง (สิ่งมีชีวิตที่มียีนเหมือนกันผสมกัน) จำนวนจีโนไทป์ที่จะเกิดขึ้นเท่ากับ 3^2 และจำนวนฟีโนไทป์ที่เกิดขึ้นจะเท่ากับ 2^2 โดยที่ n เป็นจำนวนยีนหรือลักษณะที่เป็นเฮเทอไรโกตัส เช่น $RrYy \times RrYy$ จะมีจำนวนจีโนไทป์เท่ากับ $3^2 = 9$ และมีจำนวนฟีโนไทป์เท่ากับ $2^2 = 4$



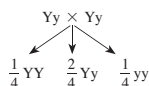
ในการหาอัตราส่วนจีโนไทป์และฟีโนไทป์จากโจทย์ปัญหาสามารถใช้กฎของความน่าจะเป็นในการคำนวณได้ ให้ผสมโดยการพิจารณาหนึ่งลักษณะ แล้วใช้กฎการคูณเพื่อหาอัตราส่วนจีโนไทป์หรือฟีโนไทป์ เนื่องจากเป็นเหตุการณ์ที่สามารถเกิดพร้อมกันได้และเป็นอิสระต่อกัน เช่น

ตัวอย่างที่ 4 จากรูปที่ 1.9 ให้หาอัตราส่วนจีโนไทป์และฟีโนไทป์ของรุ่น F₂

เมื่อพิจารณารูปร่างของเมล็ดรุ่น F₁



เมื่อพิจารณาลักษณะสีของเมล็ดรุ่น F₁



นำขึ้นรุ่น F₁ เฉพาะ
ลักษณะของรูปร่าง
มาผสมกันก่อน



อัตราส่วนจีโนไทป์ทั้งหมด คือ

$$\begin{aligned} \frac{1}{4} RR \times \frac{1}{4} YY &= \frac{1}{16} RRY Y \\ \frac{1}{4} RR \times \frac{1}{4} yy &= \frac{1}{16} RRyy \\ \frac{2}{4} Rr \times \frac{2}{4} Yy &= \frac{4}{16} RrYy \\ \frac{1}{4} rr \times \frac{1}{4} YY &= \frac{1}{16} rrYY \\ \frac{1}{4} rr \times \frac{1}{4} yy &= \frac{1}{16} rryy \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{4} RR \times \frac{2}{4} Yy &= \frac{2}{16} RRYy \\ \frac{2}{4} Rr \times \frac{1}{4} YY &= \frac{2}{16} RrYY \\ \frac{2}{4} Rr \times \frac{1}{4} yy &= \frac{2}{16} Rryy \\ \frac{1}{4} rr \times \frac{2}{4} Yy &= \frac{2}{16} rrYy \end{aligned}$$

ดังนั้น รุ่น F₂ จะมีจีโนไทป์ทั้งหมด 9 แบบ คือ RRYy, RRYy, RRyy, RrYY, RrYy, Rryy, rrYY, rrYy และ

rryy โดยมีอัตราส่วนจีโนไทป์เท่ากับ $\frac{1}{16} : \frac{2}{16} : \frac{1}{16} : \frac{2}{16} : \frac{4}{16} : \frac{2}{16} : \frac{1}{16} : \frac{2}{16} : \frac{1}{16}$ หรือ 1 : 2 : 1 : 2 : 4 : 2 : 1 : 2 : 1

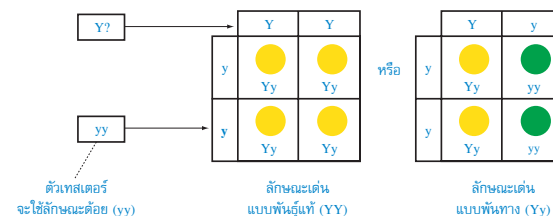
อัตราส่วนฟีโนไทป์ทั้งหมด คือ

$$\begin{aligned} \frac{3}{4} R_ \times \frac{3}{4} Y_ &= \frac{9}{16} R_Y_ \text{ (เมล็ดเรียบสีเหลือง)} \\ \frac{3}{4} R_ \times \frac{1}{4} yy &= \frac{3}{16} R_yy \text{ (เมล็ดเรียบสีเขียว)} \\ \frac{1}{4} rr \times \frac{3}{4} Y_ &= \frac{3}{16} rrY_ \text{ (เมล็ดขรุขระสีเหลือง)} \\ \frac{1}{4} rr \times \frac{1}{4} yy &= \frac{1}{16} rryy \text{ (เมล็ดขรุขระสีเขียว)} \end{aligned}$$

R_ หมายถึง RR หรือ Rr ก็ได้
ดังนั้น โอกาสจึงเป็น
 $\frac{1}{4} RR + \frac{2}{4} Rr = \frac{3}{4} R_$
Y_ ก็มีความหมายเช่นเดียวกัน

ดังนั้น รุ่น F₂ จะมีฟีโนไทป์ทั้งหมด 4 แบบ คือ เมล็ดเรียบสีเหลือง เมล็ดเรียบสีเขียว เมล็ดขรุขระสีเหลือง และ เมล็ดขรุขระสีเขียว โดยมีอัตราส่วนฟีโนไทป์เท่ากับ 9 : 3 : 3 : 1

การผสมเพื่อทดสอบ เป็นการนำหลักการของเมนเดลเพื่อใช้สำหรับตรวจสอบฟีโนไทป์ลักษณะเด่นว่าเป็นโฮโมไซกัส (homozygous) หรือเฮเทอโรไซกัส (heterozygous) โดยตัวผสมทดสอบหรือเทสเตอร์ (tester) คือ ตัวที่ทราบจีโนไทป์แล้ว ส่วนใหญ่มักจะใช้โฮโมไซกัสรีเซสซีฟ (homozygous recessive) หรือลักษณะด้อย เมื่อผสมทดสอบแล้วปรากฏว่า ลูกที่ได้มีฟีโนไทป์เหมือนกับลักษณะเด่นที่ไม่ทราบจีโนไทป์ทั้งหมดแสดงว่าเป็นลักษณะเด่นแบบพันธุ์แท้หรือโฮโมไซกัส แต่ถ้าหากลูกที่ได้ปรากฏลักษณะฟีโนไทป์เหมือนพ่อแม่และแม้อย่างละครึ่งแสดงว่าเป็นลักษณะเด่นแบบพันทางหรือเฮเทอโรไซกัส ดังรูป



รูปแสดงการผสมเพื่อทดสอบเพื่อหาจีโนไทป์ของลักษณะเด่น

นอกจากนี้ยังมี **การผสมกลับหรือแบ็คครอส (back cross)** เป็นการนำรุ่นลูกไปผสมกลับกับรุ่นพ่อแม่ การผสมกลับมีประโยชน์เพราะสามารถรักษายีนอันพึงประสงค์เอาไว้เพื่อให้ได้ลูกผสมมีลักษณะตามที่ต้องการ



กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.2

- ในการผสมพ่อแม่ซึ่งมีจีโนไทป์ AaBb เข้าด้วยกัน ลูกจะมีอัตราส่วนจีโนไทป์เท่าไร
- ในการผสมพันธุ์ตัวสูงกับตัวเตี้ยพบว่า ลูกจำนวนครึ่งหนึ่งเป็นตัวสูง และอีกครึ่งหนึ่งเป็นตัวเตี้ย ดังนั้นจีโนไทป์ของพ่อแม่และแม้อย่างไร
- กำหนดให้ B แทนยีนขนด้า b แทนยีนขนขาว ในการผสมวัวตัวผู้ขนด้ากับวัวตัวเมีย 3 ตัว แม่วัวตัวแรกขนสีขาวให้ลูกขนด้า 1 ตัว แม่วัวตัวที่สองขนสีขาวให้ลูกขนสีขาว แม่วัวตัวที่สามขนสีขาวให้ลูกตัวสีด้า ดังนั้นจีโนไทป์ของวัวตัวผู้เป็นอย่างไร
- หนูตะเภาลักษณะขนสั้น (S) เด่นกว่าลักษณะขนยาว (s) ขนสีด้า (B) เด่นกว่าขนสีน้ำตาล (b) เมื่อผสมหนูตะเภาขนสีด้าพันธุ์แท้กับหนูตะเภาขนสีน้ำตาลได้รุ่นลูกที่มีขนสั้นสีด้าทุกตัว หากเอารุ่นลูกผสมกันเองจะได้รุ่นหลานมีลักษณะใดบ้าง ในอัตราส่วนเท่าไร

5. b+ เป็นยีนเด่นแสดงลักษณะสีน้ำตาลที่ลำตัวของแมลงหวี่ b เป็นยีนด้อยแสดงลักษณะสีดำที่ลำตัวของแมลงหวี่ เมื่อนำแมลงหวี่ตัวเมียสีน้ำตาลไปทำเทสครอส จะได้ลูกแมลงหวี่สีดำจำนวน 52 ตัว และสีน้ำตาลจำนวน 58 ตัว ถ้านำแมลงหวี่ F_1 คือ ตัวเมียสีน้ำตาลไปผสมกับแมลงหวี่รุ่นเดียวกัน คือ ตัวผู้สีดำ อยากรับว่าอัตราส่วนของจีโนไทป์และฟีโนไทป์ของ F_2 เป็นอย่างไร
6. ถ้าจับหนูตะเภาสีดำที่มีจีโนไทป์แบบเดียวกันหลาย ๆ ตัวผสมกันเอง ได้ลูกสีดำจำนวน 29 ตัว สีขาวจำนวน 9 ตัว จีโนไทป์ของหนูกลุ่มนี้ควรเป็นอย่างไร กำหนดให้ขนสีดำเป็นลักษณะเด่น ขนสีขาวเป็นลักษณะด้อย
7. ขนสั้นในกระต่ายเป็นยีนเด่น (S) ขนยาวเป็นยีนด้อย (s) ลักษณะขนสีดำในกระต่ายถูกควบคุมด้วยยีนเด่น (B) ขนสีน้ำตาลเป็นยีนด้อย (b) ถ้านำกระต่ายขนดำพันทางผสมกับกระต่ายขนสีน้ำตาล จงหาอัตราส่วนของจีโนไทป์และฟีโนไทป์ของลูก F_2
8. ผสมสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งมี A เป็นลักษณะเด่น a เป็นลักษณะด้อย พบว่า 75% ของจำนวนลูกทั้งหมดที่ได้มีลักษณะเด่น แสดงว่าพ่อแม่มีจีโนไทป์เป็นอย่างไร
9. ลักษณะดอกสีแดง (A) และลักษณะเมล็ดกลม (B) ของถั่วลิสงเป็นลักษณะเด่น ลักษณะดอกสีขาว (a) และเมล็ดขรุขระ (b) ได้อย่างสมบูรณ์ เมื่อทำการผสมพันธุ์ระหว่าง AaBb $\times$ AaBb โอกาสได้ลูกพันธุ์แท้ทั้งสองลักษณะเป็นเท่าไร
10. ในการผสมต้นโหระพาดอกสีม่วงกับโหระพาดอกสีขาวปรากฏว่า ต้นโหระพารุ่นลูกมีดอกสีม่วงทั้งหมด แต่ถ้านำโหระพาดอกสีม่วงรุ่นลูกนี้มาผสมกันเองจะได้โหระพารุ่นหลานที่มีทั้งดอกสีม่วงและดอกสีขาว ในอัตราส่วน 3 : 1 ดังนั้นโหระพาดอกสีม่วงในรุ่นพ่อแม่เป็นดอกสีม่วงลักษณะใด

3. ลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมนเดล



แนวคิดสำคัญ

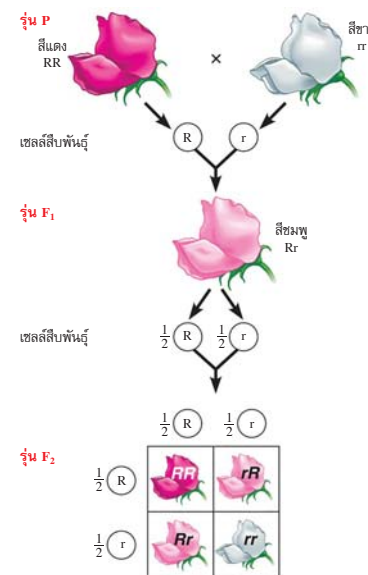
การศึกษาของเมนเดลทำให้ทราบว่า ลักษณะที่ถูกควบคุมด้วยยีนเด่นจะขึ้นลักษณะที่ถูกควบคุมด้วยยีนด้อยได้อย่างสมบูรณ์ แต่ต่อมาได้มีการค้นพบการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมนเดล ได้แก่ การข้ามไม่สมบูรณ์ การร่วมร่วมกัน มัลติเปิลแอลลีล พอลิอิน ยีนบนโครโมโซมเพศ ยีนบนโครโมโซมเดียวกัน พันธุกรรมที่ขึ้นกับอิทธิพลของเพศ และพันธุกรรมจำกัดเพศ

การศึกษาการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตตามกฎของเมนเดลได้รับการยกย่องอย่างกว้างขวาง และเป็นแนวทางสำคัญในการศึกษาด้านพันธุศาสตร์ของนักวิทยาศาสตร์จำนวนมาก ทำให้การศึกษาด้านพันธุศาสตร์มีความก้าวหน้ามากขึ้น นอกจากนี้ยังมีการค้นพบการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมบางลักษณะที่มีอัตราส่วนที่แตกต่างจากผลการศึกษาของเมนเดล เรียกลักษณะเหล่านี้ว่า **ลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมนเดล** เช่น การข้ามไม่สมบูรณ์ การร่วมร่วมกัน มัลติเปิลแอลลีล พอลิอิน และยีนบนโครโมโซมเพศ

3.1 การข้ามไม่สมบูรณ์

ใน พ.ศ. 2453 คาร์ล คอร์เรนส์ (Carl Correns) นักพฤกษศาสตร์ ชาวเยอรมัน ได้ทดลองผสมพันธุ์ต้นบานเย็น ดอกสีแดงและดอกสีขาว เขาพบว่า ต้นบานเย็นมีดอกสีชมพูปรากฏขึ้นในรุ่นถัดไป ซึ่งหากพิจารณาตามกฎของเมนเดลแล้วรุ่นลูก (F_1) ควรเป็นดอกสีแดงหรือดอกสีขาวเพียงอย่างเดียว หรือทั้ง 2 สี ตามอัตราส่วน 3 : 1

จากการศึกษาพันธุศาสตร์ของเมนเดล ลักษณะที่เมนเดลศึกษาเป็นลักษณะที่ยีนเด่นสามารถข่มยีนด้อยได้อย่างสมบูรณ์ ทำให้จีโนไทป์แบบเฮเทอโรไซกัส (heterozygous gene) แสดงลักษณะเหมือนกับจีโนไทป์แบบโฮโมไซกัสโดมิแนนท์ (homozygous dominant gene) ทุกประการ ถ้าจีโนไทป์แบบเฮเทอโรไซกัสแสดงลักษณะระหว่างจีโนไทป์แบบโฮโมไซกัสโดมิแนนท์และจีโนไทป์แบบโฮโมไซกัสรีเซสซีฟ (homozygous recessive gene) แสดงว่าลักษณะดังกล่าวเป็น **การข้ามไม่สมบูรณ์ (incomplete dominant)** ของยีน เช่น การผสมต้นบานเย็นดอกสีแดงกับดอกสีขาว ซึ่งเป็นพันธุ์แท้ทั้งคู่ ทำให้ได้รุ่นลูก (F_1) เป็นดอกสีชมพูทั้งหมด และเมื่อนำรุ่น F_1 มาผสมกันเองจะได้รุ่น F_2 ซึ่งเป็นดอกสีแดง : ดอกสีชมพู : ดอกสีขาว ในอัตราส่วน 1 : 2 : 1 ดังรูปที่ 1.10 ซึ่งมีอัตราส่วนไม่ตรงตามกฎของเมนเดลที่มีรุ่น F_1 เป็นดอกสีแดงหรือดอกสีขาวทั้งหมด แล้วเมื่อผสมกันเองจะได้รุ่น F_2 เป็นดอกสีแดง : ดอกสีขาว หรือ ดอกสีขาว : ดอกสีแดง ในอัตราส่วน 3 : 1



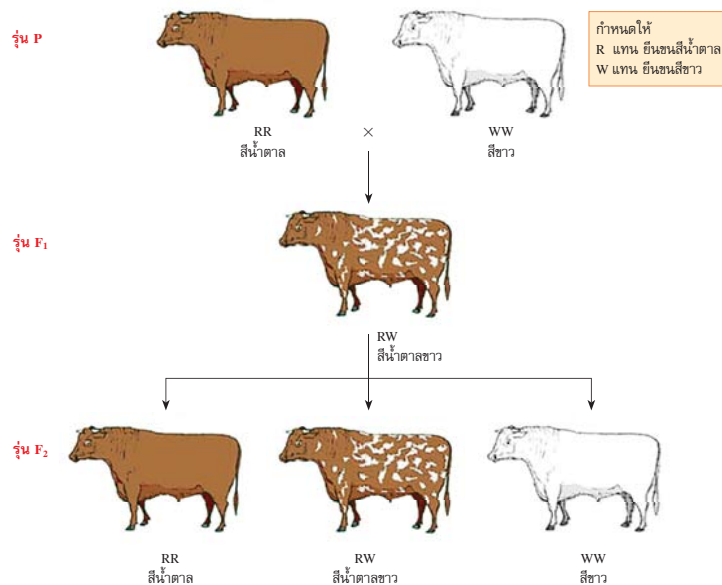
กำหนดให้ R แทน ยีนดอกสีแดง ซึ่งเป็นลักษณะเด่น
r แทน ยีนดอกสีขาว ซึ่งเป็นลักษณะด้อย
รูปที่ 1.10 การถ่ายทอดยีนแบบข้ามไม่สมบูรณ์ของต้นบานเย็น

การข้ามไม่สมบูรณ์พบในลักษณะของสัตว์และคนด้วย เช่น ผมหักคอกที่เป็นลักษณะระหว่างเมื่อยืดตรงและเมื่อยก



3.2 การข่มร่วมกัน

ลักษณะทางพันธุกรรมบางลักษณะของสิ่งมีชีวิตจะมีการแสดงออกของลักษณะเด่นร่วมกัน โดยการควบคุมของยีนที่เป็นแอลลีลกันและอยู่ในสภาพเฮเทอไรซัส ซึ่งจะแสดงลักษณะเด่นออกมาได้เท่า ๆ กัน เรียกลักษณะดังกล่าวว่า **การข่มร่วมกัน (codominance)** เช่น การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของสีขนในวัวพ่อพันธุ์และแม่พันธุ์มีขนสีน้ำตาลและสีขาวพันธุ์แท้ ตามลำดับ แต่รุ่น F_1 มีขนสีน้ำตาลและสีขาวผสมกันทั้งหมด และเมื่อนำมาผสมกันเองรุ่น F_2 ที่เกิดขึ้น จะมีทั้งขนสีน้ำตาล : ขนสีน้ำตาลขาว : ขนสีขาว ในอัตราส่วน 1 : 2 : 1 ดังรูปที่ 1.11



รูปที่ 1.11 การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของสีขนในวัว

การข่มร่วมกันมีความแตกต่างจากการข่มไม่สมบูรณ์ คือ การข่มร่วมกันลูกที่ได้จะแสดงฟีโนไทป์ของแอลลีลทั้ง 2 ลักษณะ โดยไม่มีการผสมกันเหมือนกับการข่มไม่สมบูรณ์

การข่มร่วมกันพบในลักษณะของพืชและคนด้วย เช่น หมู่เลือด AB ที่พบในคนที่แสดงออกทั้งลักษณะของหมู่เลือด A และ B



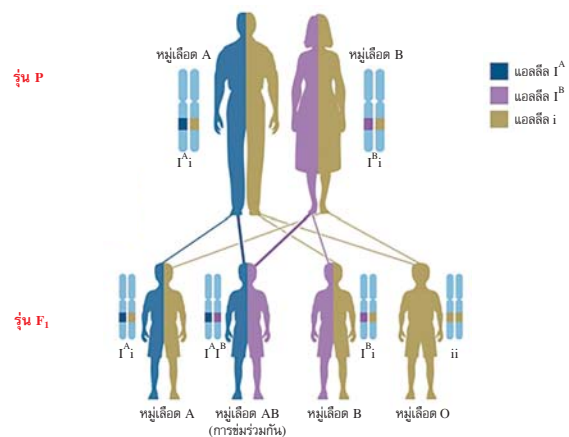
3.3 มัลติเปิลแอลลีล

ลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตแต่ละลักษณะส่วนใหญ่จะถูกควบคุมด้วยแอลลีล 2 แอลลีล แต่จะมีบางลักษณะที่ควบคุมการแสดงออกของลักษณะด้วยแอลลีลที่มากกว่า 2 แอลลีล เรียกว่า **มัลติเปิลแอลลีล (multiple allele)** เช่น หมู่เลือดระบบ ABO ในคน มีแอลลีลที่ควบคุมการแสดงออกของลักษณะมากกว่า 2 แอลลีล คือ แอลลีล I^A เป็นยีนเด่นที่ควบคุมการสร้างแอนติเจน A แอลลีล I^B เป็นยีนเด่นที่ควบคุมการสร้างแอนติเจน B และแอลลีล i เป็นยีนด้อยที่ไม่สร้างแอนติเจน แอลลีล I^A และ I^B เป็นยีนที่มีการข่มร่วมกันจึงทำให้มีการแสดงออกโดยการสร้างทั้งแอนติเจน A และ B ในคน ๆ เดียว ดังนั้น หมู่เลือดระบบ ABO มีจีโนไทป์ทั้งหมด 6 แบบ และมีฟีโนไทป์ 4 แบบ ดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 จีโนไทป์ ฟีโนไทป์ และลักษณะแอนติเจนที่ปรากฏที่ผิวเม็ดเลือดแดง

จีโนไทป์	ฟีโนไทป์	ลักษณะแอนติเจนที่ปรากฏ
$I^A I^A$ หรือ $I^A i$	หมู่เลือด A	แอนติเจน A
$I^B I^B$ หรือ $I^B i$	หมู่เลือด B	แอนติเจน B
$I^A I^B$	หมู่เลือด AB	แอนติเจน B แอนติเจน A
ii	หมู่เลือด O	ไม่มีแอนติเจน

การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของหมู่เลือดระบบ ABO ในคน เมื่อพ่อมีหมู่เลือด A ที่เป็นเฮเทอไรซัส และมีแม่มีหมู่เลือด B เฮเทอไรซัส ลูกที่เกิดขึ้นจะมีโอกาสมีหมู่เลือด A, B, AB และ O หมู่เลือดละ 25 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 1.12



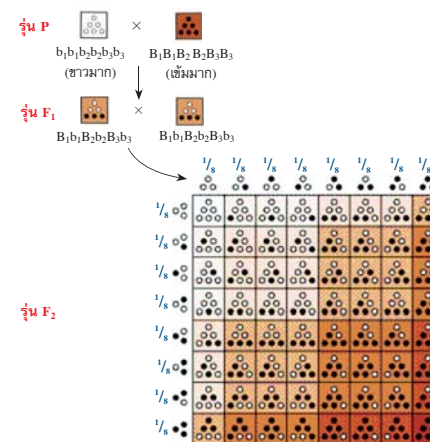
รูปที่ 1.12 การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของหมู่เลือดระบบ ABO ที่ควบคุมด้วยยีนแอลลีล

มัลติเปิลแอลลีลยังพบในสิ่งมีชีวิตอื่นๆ เช่น มัลติเปิลแอลลีลที่ควบคุมสีตาของแมลงหวี่ และมัลติเปิลแอลลีลที่ควบคุมสีขนของกระต่าย ซึ่งแอลลีลแต่ละแอลลีลจะมีการซ่มกันเป็นลำดับ ยกตัวอย่างเช่น ยีนที่ควบคุมขนของกระต่ายมีทั้งหมด 4 แอลลีล คือ C^+ แทนยีนที่ควบคุมขนสีน้ำตาล C^{ch} แทนยีนที่ควบคุมขนสีเทาอ่อน C^h แทนยีนที่ควบคุมขนสีอิมาลายัน และ C แทนยีนที่ควบคุมขนสีขาว ซึ่งยีน C^+ สามารถซ่มยีนอื่นอื่นๆ ได้

ฟีโนไทป์	จีโนไทป์
ขนสีน้ำตาล	$C^+C^+, C^+C^{ch}, C^+C^h, C^+C$
ขนสีเทาอ่อน	$C^{ch}C^{ch}, C^{ch}C^h, C^{ch}C$
ขนสีอิมาลายัน	C^hC^h, C^hC
ขนสีขาว	CC

3.4 พอลิยีน

พอลิยีน (polygene) เป็นกลุ่มยีนตั้งแต่ 2 คู่ขึ้นไป ที่อยู่ใกล้กันทำงานร่วมกันเพื่อควบคุมลักษณะใดลักษณะหนึ่งของสิ่งมีชีวิต โดยมีการแสดงออกของยีนแบบสะสม (additive effect gene) ซึ่งเมื่อมียีนเด่นมากก็จะมี การแสดงออกของลักษณะนั้นๆ มากขึ้นด้วย เช่น สีผิว น้ำหนัก ความสูง สีขนตา



รูปที่ 1.13 การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของสีผิวที่ควบคุมด้วยพอลิยีน

ยีนที่ควบคุมสีผิวมี 3 คู่ โดยยีนแต่ละคู่เป็นอิสระต่อกันและมีการแสดงออกได้เท่ากัน ถ้ามียีนเด่นมากจะทำให้ มีสีผิวเข้ม ถ้าพอยีนเด่นมีมาก ส่วนแม่มีผิวขาวมาก เมื่อมีลูกจะมีผิวสีปานกลาง แต่เมื่อลูกไปแต่งงานกับคนที่มี สีผิวปานกลางเช่นเดียวกัน ลูกที่เกิดขึ้นจะมีโอกาสมีสีผิวตั้งแต่ขาวมากไปถึงผิวสีเข้มมากดังรูปที่ 1.13

สีตาของคนก็เป็นพอลิยีนที่มีการแสดงออกของยีนแบบสะสมเช่นเดียวกับสีผิว โดยที่ยีนเด่นจะควบคุม การสร้างเมลานิน ทำให้สีตาของคนมีตั้งแต่สีน้ำตาลเข้มและลดลงเรื่อย ๆ จนเป็นสีฟ้าเนื่องจากเป็นยีนด้อยจึงไม่มี การสร้างเมลานิน

สีผิวหรือสีตาของคนมีความต่อเนื่องกันของลักษณะที่แสดงออกตามการสะสมของยีนเด่น ซึ่งลักษณะแบบนี้ เรียกว่า **ลักษณะพันธุกรรมเชิงปริมาณ (quantitative trait)** เนื่องจากมี **ความแปรผันของพันธุกรรมแบบต่อเนื่อง (continuous variation)** และอิทธิพลของสิ่งแวดล้อม จึงทำให้มีฟีโนไทป์ที่มีความแตกต่างกันเล็กน้อยเป็นลำดับต่อเนื่อง กัน ไม่สามารถแยกความแตกต่างออกเป็นกลุ่มได้อย่างชัดเจน เช่น น้ำหนัก สติปัญญา และความสูงของคน ส่วนลักษณะ ทางพันธุกรรมที่สามารถแยกความแตกต่างได้อย่างชัดเจนเนื่องจากมี **ความแปรผันของพันธุกรรมแบบไม่ต่อเนื่อง (discontinuous variation)** และไม่แปรผันตามอิทธิพลของสิ่งแวดล้อมจัดเป็น **ลักษณะพันธุกรรมเชิงคุณภาพ (qualitative trait)** เช่น หมู่เลือด การท่อน้ำนมได้และไม่ได้ การมีติ่งหูและไม่มีติ่งหู

นักเรียนคิดว่า การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมแบบมัลติเปิลแอลลีล และพอลิยีนมีความแตกต่างอย่างไรบ้าง

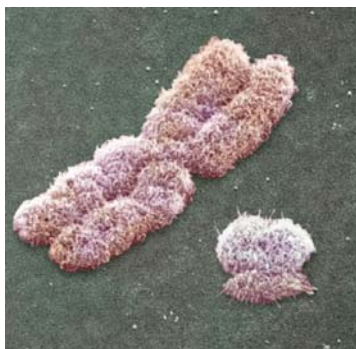


3.5 ยีนบนโครโมโซมเพศ

โครโมโซมของสิ่งมีชีวิตมี 2 ชุด คือ **ออโตโซม (autosome)** เป็นโครโมโซมที่ทำหน้าที่ควบคุมลักษณะต่าง ๆ ของร่างกาย ยกเว้นลักษณะที่เกี่ยวข้องกับเพศ ดังนั้น ออโตโซมจึงพบทั้งในเพศชายและเพศหญิง ส่วน **โครโมโซมเพศ (sex chromosome)** เป็นโครโมโซมที่ทำหน้าที่ในการกำหนดเพศและลักษณะที่เกี่ยวข้องกับเพศ ในสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ จะมีการกำหนดเพศที่แตกต่างกัน แต่ในคนจะกำหนดเพศด้วยโครโมโซมเพศ ซึ่งเพศหญิงจะมีโครโมโซมเพศเป็น XX ส่วนเพศชายจะมีโครโมโซมเพศเป็น XY

โครโมโซม X มีขนาดใหญ่ โดยจะมียีนที่ควบคุมทั้งลักษณะทางเพศและลักษณะอื่นๆ เช่น โรคตาบอดสี โรคกล้ามเนื้อแขนขาเสื่อม โรคฮีโมฟีเลีย และภาวะพร่องเอนไซม์ G-6-PD (กลูโคส-6-ฟอสเฟตดีไฮโดรจีเนส) ซึ่งเป็นยีนด้อย

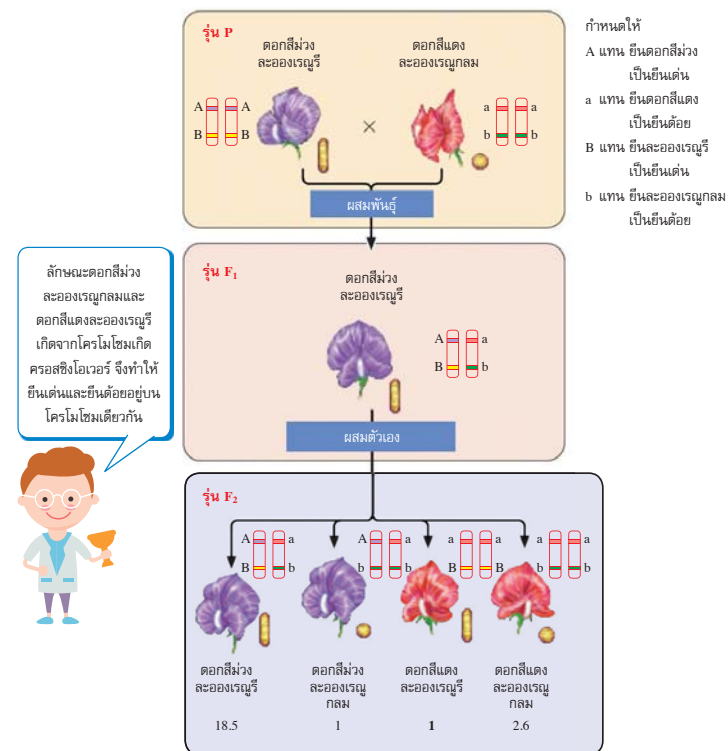
โครโมโซม Y มีขนาดเล็ก โดยจะมียีนที่ควบคุมลักษณะเพศชายและลักษณะอื่นๆ เช่น การงอกของขนที่หู ซึ่งเป็นลักษณะที่ถ่ายทอดเฉพาะในเพศชายเท่านั้น ดังนั้น ยีนที่อยู่บนโครโมโซมเพศจึงเรียกว่า **ยีนที่เกี่ยวข้องกับเพศ (sex linked gene)** โดยยีนที่อยู่บนโครโมโซม X เรียกว่า **ยีนที่เกี่ยวข้องกับ X (X-linked gene)** ส่วนยีนที่อยู่บนโครโมโซม Y เรียกว่า **ยีนที่เกี่ยวข้องกับ Y (Y-linked gene)**



รูปที่ 1.14 โครโมโซมเพศ X และ Y

3.6 ยีนบนโครโมโซมเดียวกัน

ใน พ.ศ. 2448 อาร์.ซี. พันเนตต์ (R.C. Punnett) และดับเบิลยู เบตสัน (W. Bateson) ทำการทดลองผสมพันธุ์พืชตระกูลถั่วสายพันธุ์ sweet pea โดยสังเกตลักษณะสีดอกและลักษณะของรูปทรง การทดลองผสมพันธุ์ระหว่างต้นที่มีดอกสีม่วงกับดอกสีขาวซึ่งมีลักษณะเด่น และต้นที่มีดอกสีแดงกับดอกสีขาวซึ่งมีลักษณะด้อย พบว่ารุ่นลูกผสม F₁ ทั้งหมด มีลักษณะดอกสีม่วงและลักษณะรูปทรงกลม แต่เมื่อนำรุ่นลูกผสม F₁ มาผสมกัน พบว่ารุ่นลูกผสม F₂ มีอัตราส่วนต้นที่มีดอกสีม่วงกับดอกสีขาวซึ่งมีลักษณะเด่น : ดอกสีม่วงกับดอกสีขาวซึ่งมีลักษณะด้อย : ดอกสีแดงกับดอกสีขาวซึ่งมีลักษณะด้อย เป็น 13.5 : 1 : 1 : 2.6 ตามลำดับ แทนที่จะมีอัตราส่วน 9 : 3 : 3 : 1 ตามกฎของเมนเดล ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากยีนที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการเกิดสีดอกและลักษณะของรูปทรง น่าจะอยู่บนโครโมโซมเดียวกัน ทำให้หลังจากการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสยีนทั้งสองจึงไม่แยกออกจากกันเพื่อรวมตัวใหม่อย่างอิสระ ดังนั้น พันเนตต์และเบตสันจึงเรียกยีนที่อยู่ติดกันในโครโมโซมเดียวกันว่า **ลิงค์ยีน (linked gene)** และเมื่อยีนดังกล่าวเข้าสู่กระบวนการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสจะส่งผลให้ยีนทั้ง 2 ยีนมีแนวโน้มเคลื่อนย้ายไปด้วยกันเกือบตลอดเวลา ซึ่งเรียกสภาพการณ์เช่นนี้ว่า **ลิงก์จ (linkage)** นอกจากนี้ผลการศึกษาลิงก์จในสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น ทั้งพืชและสัตว์ พบว่า กลุ่มลิงก์จมีความสัมพันธ์โดยตรงกับจำนวนโครโมโซม เช่น คนมีโครโมโซม 23 คู่ จึงมีลิงก์จ 23 กลุ่มด้วย



รูปที่ 1.15 การทดลองของพันเนตต์ในการผสมพิจารณาของลักษณะของดอกถั่ว

3.7 พันธุกรรมที่ขึ้นกับอิทธิพลของเพศ

ลักษณะบางลักษณะถูกควบคุมโดยยีนในออโตโซม แต่ยีนจะแสดงออกในแต่ละเพศได้ไม่เท่ากัน โดยมีฮอร์โมนเพศเป็นตัวควบคุม เรียกว่า **ลักษณะพันธุกรรมที่ขึ้นกับอิทธิพลของเพศ (sex influenced traits)** เช่น การมีศีรษะล้านของคน กล่าวคือ ในเพศชายการมีศีรษะล้านเป็นลักษณะเด่น แต่ในเพศหญิงการมีศีรษะล้านเป็นลักษณะด้อย ดังนั้น เพศชายจึงมีโอกาสมีศีรษะล้านมากกว่าเพศหญิง และในเพศหญิงการมีศีรษะล้านจะมีลักษณะเส้นผมบนศีรษะบางลงกว่าปกติเท่านั้น ซึ่งไม่เหมือนในเพศชาย

กำหนดให้ N แทนยีนสีขนล้าน N' แทนยีนสีขนไม่ล้าน

ฟีโนไทป์ของเพศหญิง	จีโนไทป์	ฟีโนไทป์ของเพศชาย
	N'N'	
	N'N	
	NN	

รูปที่ 1.16 ลักษณะการแสดงออกของฟีโนไทป์ของสีขนล้าน

3.8 พันธุกรรมจำกัดเพศ

ลักษณะทางพันธุกรรมบางลักษณะขึ้นอยู่กับสิ่งแวดล้อมภายในร่างกายของแต่ละเพศ ทำให้ลักษณะทางพันธุกรรมบางลักษณะสามารถแสดงออกในเพศใดเพศหนึ่งเรียกว่า **พันธุกรรมจำกัดเพศ (sex limited trait)** ตัวอย่างในคน เช่น ยีนควบคุมการผลิตน้ำนม การมีหนวดเครา เลี้ยงหัว ตัวอย่างในสัตว์ เช่น การมีเขาชายเขาสันของสัตว์พวกวัว ปริมาณการผลิตน้ำนมของแม่วัว

ตัวอย่างลักษณะการถ่ายทอดชนทางของไก่บางพันธุ์ ถ้าให้ H เป็นยีนควบคุมลักษณะขนหางสั้น และ h

เป็นยีนควบคุมลักษณะขนหางยาว จะได้จีโนไทป์ HH และ Hh ทั้งในไก่เพศผู้และเพศเมีย ซึ่งจะแสดงลักษณะออกมาเหมือนกัน คือ มีขนหางสั้น แต่จีโนไทป์ hh จะแสดงลักษณะต่างกันในแต่ละเพศ คือ ในไก่เพศผู้จะมีลักษณะขนหางยาว แต่ในไก่เพศเมียจะมีขนหางสั้น แสดงว่าไก่เพศผู้มีขนหางได้ 2 แบบ ขณะที่ไก่เพศเมียมีได้แบบเดียว

ผสมไก่เพศผู้หางยาวและไก่เพศเมียหางสั้นแบบเฮเทอโรไซกัสเข้าด้วยกัน
ให้นักเรียนหาอัตราส่วนของลูกทั้งหมดในรุ่นถัดมา โดยพิจารณา
การเกิดเพศพร้อมกับลักษณะทาง

ฟีโนไทป์ของไก่เพศเมีย	จีโนไทป์	ฟีโนไทป์ของไก่เพศผู้
ขนหางสั้น 	HH	ขนหางสั้น 
ขนหางสั้น 	Hh	ขนหางสั้น 
ขนหางสั้น 	hh	ขนหางยาว 

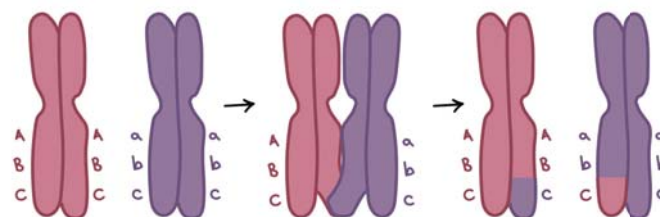
รูปที่ 1.17 ลักษณะการแสดงออกของฟีโนไทป์ความยาวขนหางของไก่เพศผู้และไก่เพศเมีย

4. การถ่ายทอดยีนบนโครโมโซม

สิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่เกิดจากการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ ซึ่งเป็นการผสมกันของเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้ คือ อสุจิ (sperm) และเซลล์สืบพันธุ์เพศเมีย คือ ไข่ (egg) ได้เป็นไซโกต (zygote) ก่อนจะพัฒนาและเจริญเติบโตเป็นสิ่งมีชีวิตรุ่นต่อไป เมื่อมีการศึกษาโดยการเชื่อมโยงของนิวเคลียสภายในเซลล์ได้ ทำให้ทราบว่าเซลล์มีการแบ่งเซลล์ได้เมื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของโครโมโซม การแบ่งเซลล์มี 2 ประเภท คือ

1. **การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส (mitosis)** ซึ่งเป็นการแบ่งเซลล์เพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์เป็นกระบวนการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต เซลล์ที่แบ่งได้จะมีโครโมโซมเท่ากับเซลล์ต้นแบบ (2n)

2. **การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส (meiosis)** ซึ่งเป็นการแบ่งเซลล์ของเซลล์สืบพันธุ์ ระหว่างการแบ่งเซลล์จะมีการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนของโครโมโซมเรียกว่า **ครอสซิงโอเวอร์ (crossing over)** จึงทำให้สิ่งมีชีวิตมีความหลากหลายมากขึ้น และเซลล์ที่แบ่งได้จะมีโครโมโซมลดลงครึ่งหนึ่งของเซลล์ต้นแบบ (n) เมื่อไปรวมกับเซลล์สืบพันธุ์ของเพศอื่นจะมีจำนวนโครโมโซมเท่าเดิม (2n)



รูปที่ 1.18 การเกิดครอสซิงโอเวอร์ของโครโมโซม

เมื่อมีการค้นพบว่าเซลล์มีการแบ่งเซลล์เกิดขึ้น และเซลล์สืบพันธุ์มีการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส ทำให้สามารถอธิบายการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตจากพ่อแม่สู่สิ่งมีชีวิตรุ่นต่อไปได้ โดย วอลเตอร์ ซัตตัน (Walter S. Sutton) ได้เสนอทฤษฎี **chromosome theory of inheritance** มีใจความว่า “ยีนที่เป็นตัวกำหนดลักษณะของสิ่งมีชีวิตน่าจะอยู่บนโครโมโซม”

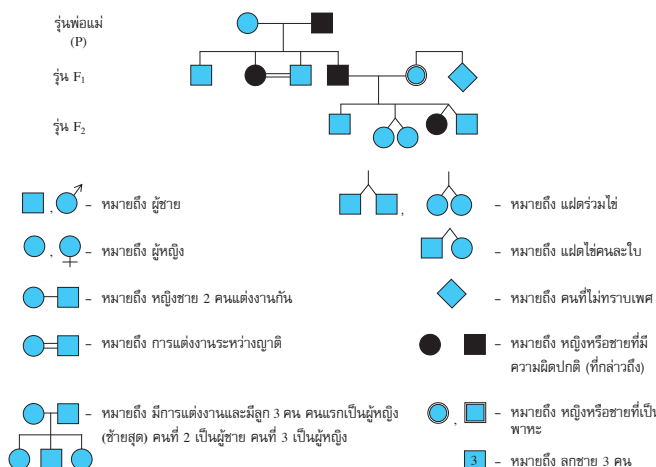
นั้นแสดงว่า ยีนที่อยู่บนโครโมโซมจะถ่ายทอดลักษณะต่าง ๆ ของรุ่นพ่อแม่ไปยังรุ่นลูกทางเซลล์สืบพันธุ์ ซึ่งเมื่อมีการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ เซลล์สืบพันธุ์เพศผู้และเซลล์สืบพันธุ์เพศเมียที่มีโครโมโซมลดลงครึ่งหนึ่งของพ่อแม่เป็นไซโกต และทำให้รุ่นลูกปรากฏลักษณะทั้งของพ่อและแม่

ครอสซิงโอเวอร์ (crossing over) คือ การที่ส้อมโครโมโซมเกิดการไขว้กันของโครมาทิดในขณะแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสทำให้ชิ้นส่วนของโครมาทิดของส้อมโครโมโซมเกิดการแลกเปลี่ยนกัน



พันธูประวัติ

การศึกษาการถ่ายทอดยีนหรือลักษณะทางพันธุกรรมจากคนชั่วอายุหนึ่งไปยังคนอีกชั่วอายุหนึ่งแตกต่างไปจากการศึกษาในพืช สัตว์ และแบคทีเรีย เพราะไม่สามารถนำมนุษย์มาทดลองผสมพันธุ์ตามแผนที่กำหนดไว้ได้ การศึกษาพันธุกรรมของมนุษย์จึงใช้วิธีการวิเคราะห์จากการถ่ายทอดลักษณะของยีนจากแผนภาพประวัติที่แสดงลักษณะของบุคคลในแต่ละวงศ์ตระกูล เรียกว่า **พันธุ์ประวัติ หรือพงสาวลี หรือเพดดิกรี (pedigree)** การเขียนเพดดิกรีมีสัญลักษณ์และหลักการเขียนดังนี้ 1.19



รูปที่ 1.19 สัญลักษณ์ของเพตตีกรีและหลักการเขียน

ลักษณะทางพันธุกรรมที่ถูกกำหนดโดยยีนจะมีรูปแบบการถ่ายทอดทางพันธุกรรมเป็นไปตามกฎของเมนเดล โดยจะมีรูปแบบขึ้นนัยกับชนิดของยีน ดังนี้

4.1 ตัวอย่างลักษณะทางพันธุกรรมที่ถ่ายทอดโดยยีนด้อยบนออโตโซม

ลักษณะทางพันธุกรรมที่ถ่ายทอดโดยยีนด้อยบนอโตโซม เป็นลักษณะที่พบได้ทั้งในเพศหญิงและเพศชายเท่าๆ กัน โดยจะแสดงอาการของโรคได้ในภาวะโฮโมไซกัสรีเซสซีฟ เช่น โรคทาลัสซีเมีย โรคโลหิตจางชนิดซิกเกิลเซลล์

1. โรคทาลัสซีเมีย (thalassemia) เกิดจากความผิดปกติในการสร้างเฮโมโกลบินของเซลล์เม็ดเลือดแดง และเป็นความผิดปกติของการสร้างเซลล์เม็ดเลือดแดงที่พบได้บ่อยมากในประเทศไทย ประมาณร้อยละ 1 ของประชากร และพบคนที่เป็นพาหะของโรคมมากถึงร้อยละ 40 ของประชากร อาการที่สำคัญคือ โลหิตจาง ตับและม้ามโต หัวใจโต เหนื่อยง่าย การเติบโตช้า มีเหล็กสะสมในร่างกายมาก โรคทาลัสซีเมียเป็นโรคที่รักษาไม่หายขาด ทำให้เพียงรักษาอาการของโรค เช่น ให้เลือด ให้น้ำยาชดเชย

โรคทาลัสซีเมียเกิดจากความผิดปกติของยีนที่ทำให้การสร้างสายแอลฟาและบีตาที่เป็นโครงสร้างของเฮโมโกลบินลดลง ซึ่งจะทำให้การสร้างเฮโมโกลบินได้น้อยลงและมีเฮโมโกลบินที่ผิดปกติด้วย

โรคทาลัสซีเมียแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ

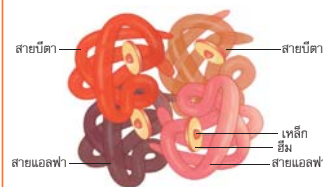
- แอลฟาทาลัสซีเมีย (α -thalassemia) เป็นโรคที่เกิดจากการสร้างสายแอลฟาลดน้อยลง เกิดจากยีนที่อยู่ในโครโมโซมคู่ที่ 16 มีความผิดปกติ

- บิดาธาลัสซีเมีย (β -thalassemia) เป็นโรคที่เกิดจากการสร้างสายปิตดลดน้อยลง เกิดจากยีนที่อยู่ในโครโมโซมคู่ที่ 11 มีความผิดปกติ

ยื่นทำให้มีการสร้างสายแอลฟาและสายบีตาลด
น้อยลงเป็นอันดับยี่ ดังนั้น การเกิดโรคพาลส์ซีเมียได้จะต้อง
มีฮอมอไซกัสของยีนด้อย ส่วนเฮเทอโรไซกัสของยีนจะทำให้
เกิดพาหะของโรค แต่ไม่แสดงอาการ

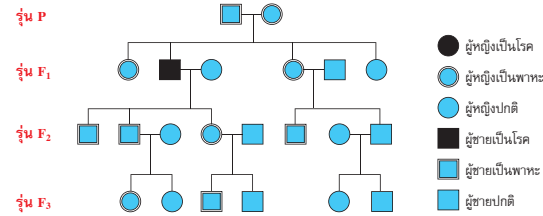
เฮโมโกลบิน (hemoglobin) เป็นรงควัตถุสีแดงที่อยู่ในเซลล์เม็ดเลือดแดง ทำหน้าที่จับและลำเลียงออกซิเจนไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ ของร่างกาย เฮโมโกลบินเป็นโมเลกุลเชิงซ้อนซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ฮีมและโกลบิน

ฮีโม (heme) ประกอบด้วยโปรตีนและเหล็ก ส่วนโกลบิน (globin) ประกอบด้วยสายพอลิเพปไทด์ 2 คู่ พอลิเพปไทด์ที่ประกอบด้วยโกลบินมีทั้งหมด 6 สาย คือ สายแอลฟา สายบีตา สายซิกดา สายแกมมา สายเดลตา และสายเอปไซลอน



โกลบินแต่ละชนิดจะถูกควบคุมการสร้าง โดยยีนที่แตกต่างกัน คือ ยีนในกลุ่มแอลฟาที่ ควบคุมการสร้างสายแอลฟาและสายซิดา ยีนใน กลุ่มบีตาที่ควบคุมการสร้างสายบีตา สายแกมมา สายเดลตา และสายเอปไซลอน

โดยปกติผู้ใหญ่มักจะมีเฮโมโกลบินส่วนใหญ่ประกอบด้วยสายแอลฟา 2 สาย และสายบีตา 2 สาย

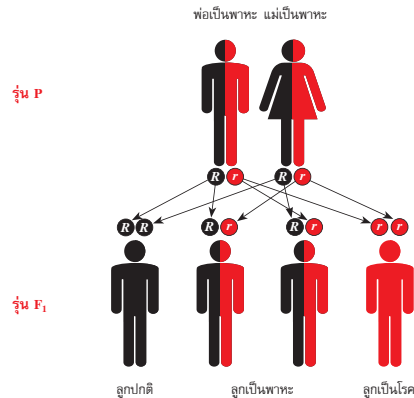


รูปที่ 1.20 พันธุประวัติของครอบครัวหนึ่งที่มีการถ่ายทอดยีนโรคธาลัสซีเมีย

จากรูปที่ 1.20 ถ้าพิจารณาในรุ่นพ่อ แม่และรุ่น F₁ พบว่า หากมีการแต่งงานระหว่าง ผู้ที่เป็นพาหะของโรค จะมีโอกาสให้กำเนิดลูกที่เป็นโรคธาลัสซีเมียร้อยละ 25 ลูกที่เป็นพาหะร้อยละ 50 และลูกที่เป็นพาหะร้อยละ 50 โดยไม่ขึ้นกับเพศ เนื่องจากการถ่ายทอดยีนที่อยู่บนออโตโซม ดังรูปที่ 1.21

หมายเหตุ R แทน ยีนปกติ

r แทน ยีนที่ควบคุมโรคธาลัสซีเมีย



รูปที่ 1.21 การถ่ายทอดยีนโรคธาลัสซีเมีย

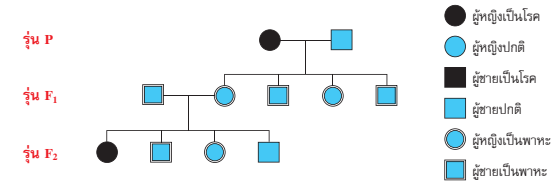


รูปที่ 1.22 รูปร่างของเซลล์เม็ดแดงที่มี Hbs

2. โรคโลหิตจางชนิดซิกเกิลเซลล์ (sickle cell anemia)

เป็นโรคที่เกิดจากการสร้างสายบิดาของเฮโมโกลบินผิดปกติ ทำให้เกิดเฮโมโกลบินที่เรียกว่า เฮโมโกลบินเอส (hemoglobin S: Hbs) เซลล์เม็ดเลือดแดงที่มี Hbs จะแตกง่าย มีรูปร่างคล้ายเคียว (sickle) และมักทำให้หลอดเลือดแดงขนาดเล็กลุดตัน

ยีนที่ทำให้มีการสร้าง Hbs เป็นยีนที่มีการกลายมาจาก ยีนที่ควบคุมการสร้างสายบิดา พบในคนที่สืบเชื้อสายมาจาก ชาวแอฟริกัน เนื่องจากการยีนที่ทำให้มีการสร้าง Hbs เป็นยีนด้อย จึงมีการถ่ายทอดเช่นเดียวกับโรคธาลัสซีเมีย



รูปที่ 1.23 พันธุประวัติของครอบครัวหนึ่งที่มีการถ่ายทอดยีนโรคโลหิตจางชนิดซิกเกิลเซลล์

ลักษณะทางพันธุกรรมที่ถ่ายทอดโดยยีนด้อยบนออโตโซม เป็นลักษณะที่พบได้ทั้งในเพศหญิงและเพศชายเท่า ๆ กัน ซึ่งการแต่งงานของรุ่นพ่อแม่ที่มีลักษณะทางพันธุกรรมแตกต่างกัน มีโอกาสให้กำเนิดลูกที่มีลักษณะทางพันธุกรรมต่างกัน ดังรูปที่ 1.24

รุ่นพ่อแม่เป็นผู้ป่วยคนหนึ่ง อีกคนเป็นพาหะ ลูกมีโอกาสเป็น	รุ่นพ่อแม่เป็นพาหะคนหนึ่ง อีกคนปกติ ลูกมีโอกาสเป็น	รุ่นพ่อแม่เป็นพาหะทั้งคู่ ลูกมีโอกาสเป็น
- เป็นพาหะร้อยละ 50 - เป็นโรคร้อยละ 50	- เป็นพาหะร้อยละ 50 - เป็นปกติร้อยละ 50	- เป็นปกติร้อยละ 25 - เป็นพาหะร้อยละ 50 - เป็นโรคร้อยละ 25
เป็นโรค พาหะ พาหะ เป็นโรค	ปกติ พาหะ ปกติ พาหะ	พาหะ พาหะ ปกติ พาหะ พาหะ เป็นโรค
■ ปกติ ■ เป็นพาหะ		

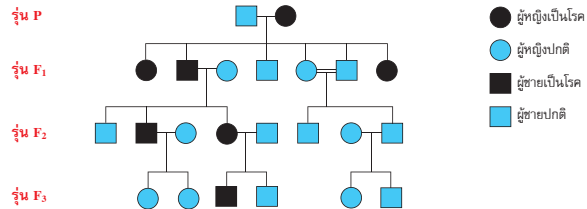
รูปที่ 1.24 ลักษณะทางพันธุกรรมที่ถ่ายทอดโดยยีนด้อยบนออโตโซมจะมีโอกาสให้กำเนิดลูกที่มีลักษณะทางพันธุกรรมต่างกัน

4.2 ตัวอย่างลักษณะทางพันธุกรรมที่ถ่ายทอดโดย ยีนเด่นบนออโตโซม

ลักษณะทางพันธุกรรมที่ถ่ายทอดโดยยีนเด่นบนออโตโซม เป็นลักษณะที่พบได้ทั้งในเพศหญิงและเพศชายเท่า ๆ กัน โดยจะแสดงอาการของโรคได้ทั้งในภาวะฮอโมไซกัสและเฮเทโรไซกัสโดมิแนนท์ เช่น โรคมะเร็งที่เรตินา

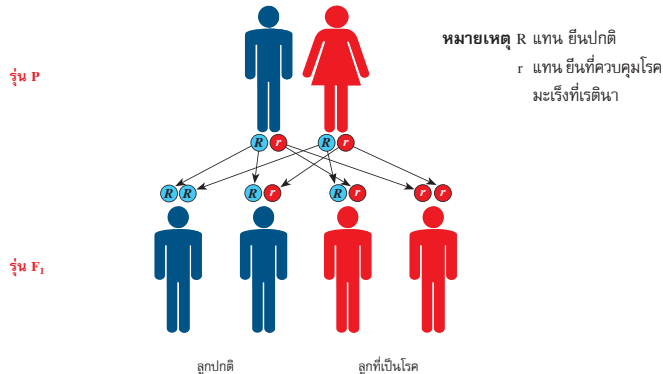
โรคมะเร็งที่เรตินา (retinoblastoma) เป็นโรคมะเร็งที่ตาที่พบได้บ่อยในเด็ก มีอาการ คือ มีก้อนในเรตินาทำให้เห็นบริเวณตาต่า เป็นสีขาว ตาโปนโต สายตามืดปกติจนกระทั่งตาบอด ยีนที่ทำให้เกิดโรคมะเร็งที่เรตินาเป็นยีนเด่นที่อยู่บนโครโมโซมคู่ที่ 13

ผู้ป่วยโรคมะเร็งที่เรตินาส่วนใหญ่ไม่ได้เกิดจากความผิดปกติของพันธุกรรม จึงไม่มีการถ่ายทอดไปยังลูกหลาน แต่มีโอกาสที่ เกิดจากความผิดปกติของพันธุกรรมซึ่งสามารถถ่ายทอดไปยังลูกหลานได้



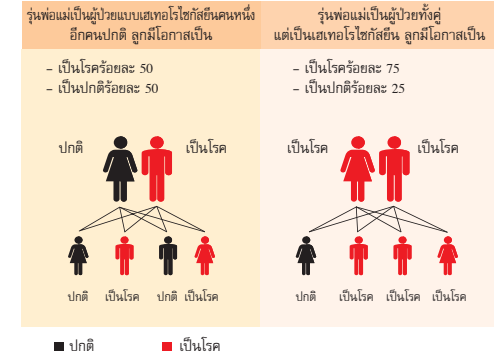
รูปที่ 1.25 พันธุประวัติของครอบครัวหนึ่งที่มีการถ่ายทอดยีนโรคมะเร็งที่เรตินา

จากรูปที่ 1.25 ถ้าพิจารณาในรุ่นพ่อแม่และรุ่น F₁ พบว่า หากมีการแต่งงานระหว่างผู้ป่วยกับคนปกติจะมีโอกาสให้กำเนิดลูกที่เป็นโรคมะเร็งที่เรตินาร้อยละ 50 และลูกที่ปกติร้อยละ 50 โดยไม่ขึ้นกับเพศ เนื่องจากเป็นการถ่ายทอดยีนที่อยู่บนออโตโซม ดังรูปที่ 1.26



รูปที่ 1.26 การถ่ายทอดยีนโรคมะเร็งที่เรตินา

ลักษณะทางพันธุกรรมที่ถ่ายทอดโดยยีนเด่นบนออโตโซม เป็นลักษณะที่พบได้ทั้งในเพศหญิงและเพศชายเท่า ๆ กัน ซึ่งการแต่งงานของรุ่นพ่อแม่ที่มีลักษณะทางพันธุกรรมแตกต่างกัน มีโอกาสให้กำเนิดลูกที่มีลักษณะทางพันธุกรรมต่างกัน ดังรูปที่ 1.27

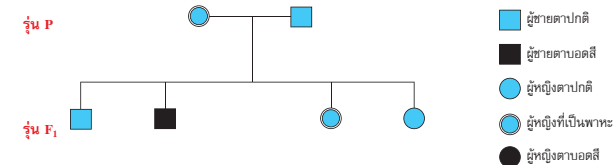


รูปที่ 1.27 ลักษณะทางพันธุกรรมที่ถ่ายทอดโดยยีนเด่นบนออโตโซม จะมีโอกาสให้กำเนิดลูกที่มีลักษณะทางพันธุกรรมต่างกัน

4.3 ตัวอย่างลักษณะทางพันธุกรรมที่ถ่ายทอดโดยยีนด้อยบนโครโมโซม X

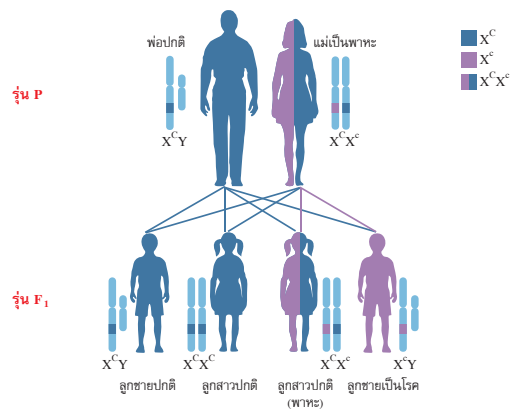
ลักษณะทางพันธุกรรมที่ถ่ายทอดโดยยีนด้อยบนโครโมโซม X หากพบในเพศชายจะทำให้เกิดโรคเสมอ ถึงแม้จะเป็นยีนด้อยก็ตาม เนื่องจากเพศชายมีโครโมโซม X เพียงโครโมโซมเดียว ส่วนในเพศหญิงจะเกิดโรคได้ก็ต่อเมื่อมียีนที่ทำให้เกิดโรคซึ่งอยู่บนโครโมโซม X ทั้ง 2 โครโมโซม ดังนั้น การถ่ายทอดลักษณะพันธุกรรมโดยยีนด้อยบนโครโมโซม X จึงพบในเพศชายได้มากกว่า เช่น โรคตาบอดสี โรคฮีโมฟีเลีย และภาวะพร่องเอนไซม์ G-6-PD

1. **โรคตาบอดสี (color blindness)** เกิดจากความผิดปกติของเม็ดสีและเซลล์รับแสง (cone cell) สีเขียวหรือสีแดงในชั้นเรตินา ส่วนใหญ่โรคนี้ถ่ายทอดจากแม่ที่เป็นโรคตาบอดสีหรือเป็นพาหะของโรคมาสู่ลูกชาย



รูปที่ 1.28 พันธุประวัติของครอบครัวหนึ่งที่มีการถ่ายทอดยีนโรคตาบอดสี

จากรูปที่ 1.28 ถ้าพิจารณาในรุ่นพ่อแม่และรุ่น F_1 พบว่า เมื่อแม่เป็นพาหะของโรคแต่พ่อปกติ ลูกชายจะมีโอกาสเป็นโรคร้อยละ 50 และลูกสาวมีโอกาสเป็นพาหะของโรคร้อยละ 50 ดังรูปที่ 1.29 แต่ถ้ากรณีนี้ที่พ่อเป็นโรคแต่แม่ปกติ ลูกสาวทุกคนจะมีโอกาสเป็นพาหะของโรคร้อยละ 100 แต่ลูกชายจะไม่เป็นโรค



รูปที่ 1.29 การถ่ายทอดยีนโรคตาบอดสี

โรคตาบอดสีเป็นยีนที่เกี่ยวข้องกับโครโมโซม X ดังนั้น การเขียนยีนที่เกี่ยวข้องกับเพศจะต้องเขียนตัวอักษรแทนยีนกำกับไว้บนโครโมโซม X หรือ Y

กำหนดให้ C แทนยีนของคนตาปกติ และ c แทนยีนของโรคตาบอดสี

$X^C X^C$ เพศหญิงตาปกติ $X^C Y$ เพศชายตาปกติ

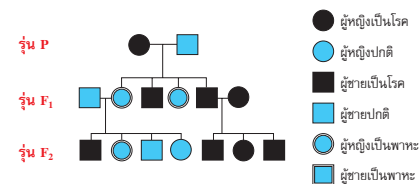
$X^C X^c$ เพศหญิงเป็นพาหะโรคตาบอดสี $X^c Y$ เพศชายเป็นโรคตาบอดสี

$X^c X^c$ เพศหญิงเป็นโรคตาบอดสี

นักเรียนคิดว่าหากครอบครัวหนึ่งปรากฏลูกสาวที่เป็นโรคตาบอดสี
จีโนไทป์ของพ่อและแม่ควรเป็นเช่นไร



2. โรคฮีโมฟีเลีย (hemophilia) เป็นโรคเลือดไหลไม่หยุด เนื่องจากความผิดปกติของยีนที่ควบคุมการสร้างสารที่ทำให้เลือดแข็งตัว เมื่อเกิดบาดแผลที่ทำให้เลือดออก เลือดจึงไม่แข็งตัวหรือแข็งตัวช้า ทำให้มีเลือดออกมากกว่าปกติ เลือดกัดบาดแผลบ่อย ช้ำบวม เกิดแผลฟกช้ำขึ้นเอง



รูปที่ 1.30 พันธุประวัติของครอบครัวหนึ่งที่มีการถ่ายทอดยีนโรคฮีโมฟีเลีย

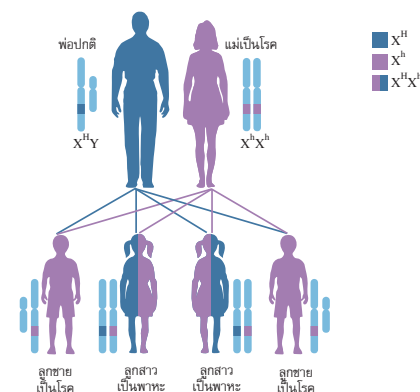
จากรูปที่ 1.30 ถ้าพิจารณาในรุ่นพ่อแม่และรุ่น F_1 พบว่า เมื่อแม่เป็นโรคฮีโมฟีเลียแต่พ่อปกติ ลูกชายจะมีโอกาสเป็นโรคร้อยละ 100 และลูกสาวจะมีโอกาสเป็นพาหะของโรคร้อยละ 100 เช่นกัน ดังรูปที่ 1.31

กำหนดให้ H แทนยีนของคนปกติ และ h แทนยีนที่ควบคุมโรคฮีโมฟีเลีย

$X^H X^H$ เพศหญิงปกติ $X^H Y$ เพศชายปกติ

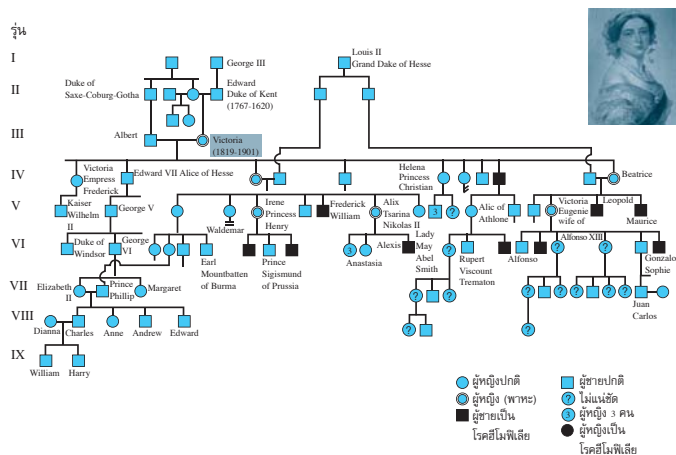
$X^H X^h$ เพศหญิงเป็นพาหะโรคฮีโมฟีเลีย $X^h Y$ เพศชายเป็นโรคฮีโมฟีเลีย

$X^h X^h$ เพศหญิงเป็นโรคฮีโมฟีเลีย



รูปที่ 1.31 การถ่ายทอดยีนโรคฮีโมฟีเลีย

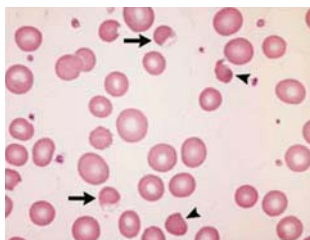
โรคฮีโมฟีเลียเป็นที่รู้จักเนื่องจากมีการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของโรคนี้ในราชวงศ์อังกฤษ โดยมีพระนางเจ้าวิกตอเรียทรงเป็นพาหะของโรคนี้ ดังรูปที่ 1.32



รูปที่ 1.32 พันธุประวัติของราชวงศ์ฮอกซ์ที่ถ่ายทอดยีนโรคฮีโมฟีเลีย

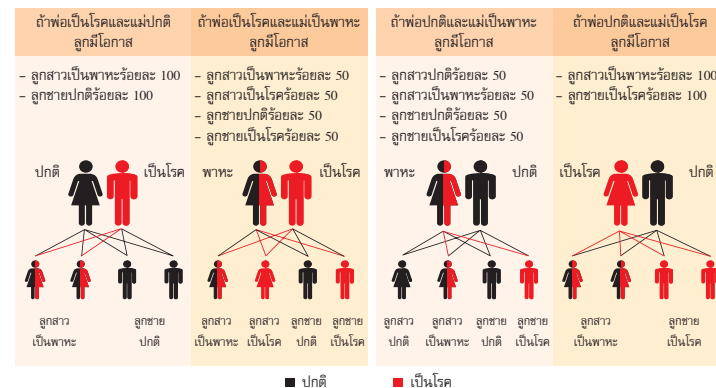
3. ภาวะพร่องเอนไซม์ G-6-PD เกิดจากภาวะที่ร่างกายขาดเอนไซม์กลูโคส-6-ฟอสเฟตดีไฮโดรจีเนส (glucose-6-phosphate dehydrogenase : G-6-PD) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ช่วยป้องกันเม็ดเลือดแดงจากการทำลายของสารอนุมูลอิสระ คนที่เกิดภาวะพร่องเอนไซม์ G-6-PD จะทำให้เกิดอาการเม็ดเลือดแดงแตกได้ง่าย พบมากในผู้ชาย

ผู้ป่วยควรหลีกเลี่ยงสารที่เป็นอันตรายต่อเม็ดเลือดแดง เช่น ยากลุ่มซัลฟา แอสไพริน ลูกเหม็น และถั่วปากอ้า



รูปที่ 1.33 เม็ดเลือดแดงแตกเนื่องจากภาวะพร่องเอนไซม์ G-6-PD

ลักษณะทางพันธุกรรมที่ถ่ายทอดโดยยีนด้อยบนโครโมโซม X เป็นลักษณะที่พบได้ในเพศชายมากกว่าเพศหญิง เนื่องจากเพศชายมีโครโมโซม X เพียงโครโมโซมเดียว ซึ่งการแต่งงานของรุ่นพ่อแม่ที่มีลักษณะทางพันธุกรรมแตกต่างกัน มีโอกาสให้กำเนิดลูกที่มีลักษณะทางพันธุกรรมต่างกัน ดังรูปที่ 1.34

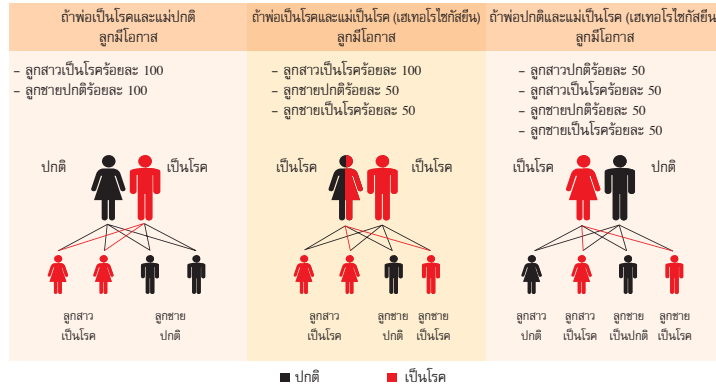


รูปที่ 1.34 ลักษณะทางพันธุกรรมที่ถ่ายทอดโดยยีนด้อยบนโครโมโซม X จะมีโอกาสให้กำเนิดลูกที่มีลักษณะทางพันธุกรรมต่างกัน

4.4 ตัวอย่างลักษณะทางพันธุกรรมที่ถ่ายทอดโดยยีนเด่นบนโครโมโซม X

ลักษณะทางพันธุกรรมที่ถ่ายทอดโดยยีนเด่นบนโครโมโซม X พบในเพศหญิงมากกว่าเพศชาย เนื่องจากเพศหญิงมีโครโมโซม X 2 โครโมโซม จึงมีโอกาสได้รับยีนที่ผิดปกติได้มากกว่าเพศชายซึ่งมีโครโมโซม X เพียงโครโมโซมเดียว แต่ภาวะหรือโรคที่ถ่ายทอดโดยยีนเด่นบนโครโมโซม X พบได้ไม่มาก เช่น โรคกระตุกอ่อนบางชนิด ภาวะไม่มีฟันแต่กำเนิด

ซึ่งการแต่งงานของรุ่นพ่อแม่ที่มีลักษณะทางพันธุกรรมแตกต่างกัน มีโอกาสให้กำเนิดลูกที่มีลักษณะทางพันธุกรรมต่างกัน ดังรูปที่ 1.35



รูปที่ 1.35 ลักษณะทางพันธุกรรมที่ถ่ายทอดโดยยีนเด่นบนโครโมโซม X จะมีโอกาสให้กำเนิดลูกที่มีลักษณะทางพันธุกรรมต่างกัน

4.5 ตัวอย่างลักษณะทางพันธุกรรมที่ถ่ายทอดโดยยีนบนโครโมโซม Y

โครโมโซม Y เป็นโครโมโซมที่มีขนาดเล็กจึงประกอบด้วยยีนจำนวนไม่มาก ยีนที่มีบทบาทมากในโครโมโซม Y คือ ยีนที่ควบคุมลักษณะเพศชาย ยีนที่เกี่ยวข้องกับโครโมโซม Y จะถ่ายทอดไปยังลูกชายเท่านั้น และจะแสดงออกลักษณะของยีนออกมาเสมอไม่ว่าจะเป็นยีนเด่นหรือยีนด้อย เนื่องจากในเพศชายมีโครโมโซม Y เพียงโครโมโซมเดียว เช่น ลักษณะขนที่ใบหูส่วนล่าง ซึ่งพบมากในประชากรเพศชายที่ประเทศอินเดีย

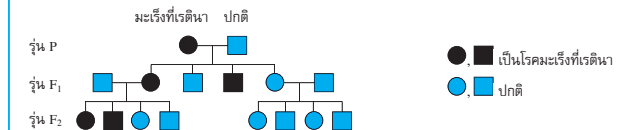


รูปที่ 1.36 รัตคันธี บัณฑิต ผู้ชายที่มีขนหูยาวที่สุดในโลกและได้รับการบันทึกสถิติโลกจากกินเนสส์ เวิลด์ เรคคอร์ด



กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.3

- กำหนดให้ X^+ แทนยีนควบคุมตาสีส้มเวอร์มิลเลียน X^- แทนยีนควบคุมตาสีแดง ซึ่งเป็นสีตาของแมลงหวี่ โดยให้ตาสีแดงสามารถข้ามตาสีส้มได้ เมื่อผสมแมลงหวี่ดังนี้ $X^+Y \times X^+X^-$ เข้าด้วยกัน ให้หาโอกาสของ F_1 ดังนี้
 - ลูกเพศผู้ตาสีส้มเวอร์มิลเลียน
 - ลูกเพศเมียตาสีส้มเวอร์มิลเลียน
 - ลูกตาสีส้มเวอร์มิลเลียน
 - ลูกตาสีแดง
- ชายคนหนึ่งเป็นโรคฮีโมฟีเลีย ซึ่งถ่ายทอดบนโครโมโซมเพศ X ชายคนนี้ได้แต่งงานกับหญิงคนหนึ่งปรากฏว่า ลูกชายและลูกสาวของเขาครึ่งหนึ่งจากลูกชายและลูกสาวทั้งหมดเป็นโรคฮีโมฟีเลียหาจีโนไทป์ภรรยาของชายคนนี้ กำหนดให้ X^H แทนยีนปกติ X^h แทนยีนโรคฮีโมฟีเลีย
- โรคผิวหนังถ่ายทอดบนโครโมโซมร่างกาย โรคตาบอดสีถ่ายทอดบนโครโมโซมเพศ กำหนดให้ A แทนยีนผิวปกติ a แทนยีนโรคผิวหนัง X^C แทนยีนตาปกติ X^c แทนยีนโรคตาบอดสี เมื่อสามารถยาคู่หนึ่งที่มีจีโนไทป์ $AaX^CY \times aaX^CX^c$ แต่งงานกัน จงหาโอกาสที่
 - ลูกสาวตาปกติผิวเผือก
 - ลูกชายตาปกติผิวปกติ
- ภาวะพร่องเอนไซม์ G-6-PD ควบคุมด้วยยีนด้อยบนโครโมโซม X หญิงคนหนึ่งปกติแต่งงานกับชายที่เป็นภาวะพร่องเอนไซม์ G-6-PD มีลูกสาวคนหนึ่งเป็นภาวะพร่องเอนไซม์ G-6-PD จงหา
 - จีโนไทป์ของหญิงชายคู่นี้
 - ร้อยละของลูกสาวที่เป็นภาวะพร่องเอนไซม์ G-6-PD
- สามารถสรุปได้อย่างไรว่าลักษณะใดถูกควบคุมด้วยยีนเด่นหรือยีนด้อยบนโครโมโซม
- เพตติกรีนอธิบายการถ่ายทอดลักษณะของโรคมะเร็งที่เรตินาในครอบครัวหนึ่ง



- จากแผนภาพ เพตติกรีนโรคมะเร็งที่เรตินาเป็นลักษณะเด่นหรือลักษณะด้อย
- จากแผนภาพ เพตติกรีนลูกคนใดบ้างที่เป็นพาหะของโรคนั้น

บทวนเรื่องการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม



กิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์

“วิธีการตรวจสอบลักษณะพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมนเดล”

จุดประสงค์

ออกแบบวิธีการตรวจสอบลักษณะพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมนเดล

คำชี้แจง

1. ให้นักเรียนจัดกลุ่มและตั้งชื่อกลุ่ม
2. การทำกิจกรรมต้องระดมสมองในการสืบค้นความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และความรู้ในกลุ่มสาระการเรียนรู้อื่น ๆ โดยนำมาบูรณาการสร้างผลงาน อภิปรายเพื่อแสดงความคิดเห็น โดยใช้เหตุผลในการโต้แย้งจากประกายปัญญาที่พบตลอดการทำกิจกรรมเพื่อให้ได้ผลงานที่มีคุณภาพ มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ โดยคำนึงถึงประโยชน์ที่จะได้รับจากการทำกิจกรรม
3. เตรียมความพร้อมที่จะนำเสนอผลงานเพื่อการแลกเปลี่ยนเรียนรู้

สถานการณ์ที่กำหนด

“การศึกษาของเมนเดลทำให้ทราบว่า ลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตจะมีหน่วยที่ควบคุมอยู่ ซึ่งเมนเดลเรียกหน่วยนี้ว่า แฟกเตอร์ หรือที่ปัจจุบันเรียกว่า ยีน โดยลักษณะที่ถูกควบคุมด้วยยีนเด่นจะแสดงลักษณะที่ถูกควบคุมด้วยยีนด้อยได้อย่างสมบูรณ์ แต่ต่อมาได้มีการค้นพบการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมนเดล ได้แก่ การข้ามไม่สมบูรณ์ การข้ามร่วมกัน มัลติเพิลแอลลีล พอลิยีน ยีนบนโครโมโซมเพศ ยีนบนโครโมโซมเดียวกัน พันธุกรรมที่ขึ้นกับอิทธิพลของเพศ และพันธุกรรมจำกัดเพศ”

ระดมความคิด วางแผน และออกแบบวิธีการตรวจสอบลักษณะพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมนเดล



สรุป

หลังจากการศึกษาหน่วยการเรียนรู้แล้ว นักเรียนจะเกิดการเรียนรู้ครบทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ ความรู้ (Knowledge) ทักษะ/กระบวนการ (Process) และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ (Attribute) ดังนี้

K

- เมินเดลทำการทดลองผสมถั่วลันเตาทำให้ทราบว่ามีลักษณะต่าง ๆ มีหน่วยที่ควบคุมอยู่ ซึ่งเมินเดลเรียกหน่วยนี้ว่า แพลเตอร์
- เมินเดลศึกษาการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมโดยการผสมพันธุ์ถั่วลันเตา และได้ตั้งกฎเกี่ยวกับพันธุศาสตร์ 2 ข้อ คือ กฎแห่งการแยกและกฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ
- กฎแห่งการแยก คือ การที่ยีนจะแยกออกจากกันในการสร้างเซลล์สืบพันธุ์
- กฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ คือ ยีนที่แยกออกจากกันจะสามารถจัดกลุ่มอย่างอิสระกับยีนอื่นได้
- การถ่ายทอดทางพันธุกรรมที่มีอัตราส่วนของผลการศึกษาแตกต่างจากของเมินเดล เรียกว่า ลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมินเดล ได้แก่ การข่มไม่สมบูรณ์ การข่มร่วมกัน มัลติเปิลแอลลีล พอลิยีน ยีนบนโครโมโซมเพศ ยีนบนโครโมโซมเดียวกัน พันธุกรรมที่ขึ้นอยู่กับอิทธิพลของเพศ และพันธุกรรมจำกัดเพศ
- สิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกันแม้จะมีลักษณะทางพันธุกรรมส่วนใหญ่ที่คล้ายคลึงกัน แต่ก็ยังมีบางลักษณะที่แตกต่างกัน ความแตกต่างของลักษณะทางพันธุกรรมนี้เรียกว่า ความแปรผันทางพันธุกรรม แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ความแปรผันทางพันธุกรรมแบบต่อเนื่องและความแปรผันทางพันธุกรรมแบบไม่ต่อเนื่อง

P

- ทดลองโดยใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์
- สืบค้นผลการทดลองของเมินเดล
- สืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมินเดล
- สืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะทางพันธุกรรมที่มีการแปรผันไม่ต่อเนื่องและลักษณะทางพันธุกรรมที่มีการแปรผันต่อเนื่อง

A

- มีความกระตือรือร้นในการเรียนรู้และแสวงหาความรู้เพิ่มเติม
- มีความมุ่งมั่นในการทำกิจกรรมการทดลองเพื่อให้ได้ผลสำเร็จ
- มีความซื่อตรงต่อการรายงานผลการทดลอง



แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์

1. ให้หารูปแบบเซลล์สืบพันธุ์ที่เป็นไปได้ของสิ่งมีชีวิตที่มีจีโนไทป์ดังนี้
 - 1.1 Aa
 - 1.2 AACcddEeFfGgHHiiJJKKLL
 - 1.3 $X^H X^h X^c Y C^W C^c C^+$
 - 1.4 AABbI⁺I⁻
2. ถ้าจับหนูตะเภาชนิดที่มีจีโนไทป์แบบเดียวกันหลาย ๆ ตัวผสมกันเองได้ลูกชนิด 29 ตัว ชนิด 9 ตัว จีโนไทป์ของหนูกลุ่มนี้ควรเป็นอย่างไร ให้ชนิดเป็นลักษณะเด่น ชนิดขาวเป็นลักษณะด้อย
3. คนสั้นในกระด่ายเป็นยีนเด่น (S) คนยาวเป็นยีนด้อย (s) ลักษณะชนิดตาในกระด่ายถูกควบคุมด้วยยีนเด่น (B) ชนิดน้ำตาดำเป็นยีนด้อย (b) ถ้านำกระด่ายชนิดดำพันธุ์ทางมาผสมกับกระด่ายชนิดสีน้ำตาดำ หาอัตราส่วนจีโนไทป์และฟีโนไทป์ของลูก F_1
4. พิจารณาอัตราส่วนฟีโนไทป์ของลูก F_1 ต่อไปนี้ แล้วระบุจีโนไทป์ที่นำมาผสมของพ่อและแม่ กำหนดให้ T แทนยีนเด่นสูง t แทนยีนเตี้ย Y แทนยีนเมล็ดสีเหลือง y แทนยีนเมล็ดสีเขียว

ผสมหนึ่งลักษณะ

จีโนไทป์ พ่อ × แม่	จำนวนต้น	
	ต้นสูง	ต้นเตี้ย
Tt × Tt	312	109
	515	521
	876	0
	210	198
	0	254

ผสมสองลักษณะ

จีโนไทป์ พ่อ × แม่	จำนวนต้น			
	ต้นสูง สีเหลือง	ต้นสูง สีเขียว	ต้นเตี้ย สีเหลือง	ต้นเตี้ย สีเขียว
ttYY × ttyy	279	94	92	31
	134	132	139	135
	0	0	0	125
	896	0	0	0
	75	75	26	25

5. พิจารณาข้อความต่อไปนี้แล้วระบุในตารางว่าเป็นการแสดงออกของยีน (gene interaction) แบบใด

ลักษณะเด่นสมบูรณ์	การข่มไม่สมบูรณ์	พอลิยีน
การข่มร่วมกัน	มัลติเปิลแอลลีล	ยีนข่มข้ามคู่

ลักษณะพันโทของลูก	การแสดงออกของยีน
5.1 เมื่อผสมโหระพาดอกสีน้ำเงินกับดอกสีขาวเข้าด้วยกัน พบว่า ลูกรุ่นแรกปรากฏดอกสีฟ้าทั้งหมด และเมื่อนำมาผสมกันเอง พบว่า ได้ลูกดอกสีน้ำเงิน : ดอกสีฟ้า : ดอกสีขาว เป็น 1 : 2 : 1	
5.2 คนมีหมู่เลือด MN แต่งงานด้วยกันพบว่ามีโอกาสได้ลูกหมู่เลือดดังนี้ หมู่ M = 25% หมู่ MN = 50% หมู่ N = 25%	
5.3 มะเขือเทศมีขนควบคุมอยู่ 9 คู่ นักวิชาการเกษตรต้องปลูกมะเขือเทศอย่างน้อย 262,144 ต้น จึงจะได้มะเขือเทศสีแดงสด 1 ผล	
5.4 ทำการผสมทดสอบถั่วลิสงเตาต้นสูงพบว่า ลูกครึ่งหนึ่งเป็นต้นสูงอีกครั้งเป็นต้นเตี้ย แสดงว่าถั่วลิสงเตาเป็นต้นสูงพันทาง	

6. กำหนดให้ T แทนยีนต้นสูง t แทนยีนต้นเตี้ย Y แทนยีนเมล็ดสีเหลือง y แทนยีนเมล็ดสีเขียว ทำการผสมต้นถั่วลิสงเตาต้นสูงเมล็ดสีเหลืองกับต้นเตี้ยเมล็ดสีเขียว ได้ลูกออกมาในอัตราส่วน ต้นสูงเมล็ดสีเหลือง : ต้นสูงเมล็ดสีเขียว : ต้นเตี้ยเมล็ดสีเหลือง : ต้นเตี้ยเมล็ดสีเขียวเป็น 1 : 1 : 1 : 1 จินโทของพ่อแม่ควรเป็นอย่างไร
7. ให้ A แทนยีนผิวปกติ a แทนยีนผิวเผือก X^C แทนยีนตาปกติ X^c แทนยีนโรคตาบอดสี หาโอกาสของลูกดังนี้
 - 7.1 ลูกผู้หญิงผิวปกติและโรคตาบอดสี ถ้ารุ่นพ่อแม่มีจिनโทปี ดังนี้ $AaX^CY \times AaX^CX^c$
 - 7.2 ลูกผู้ชายตาปกติและผิวเผือก ถ้ารุ่นพ่อแม่มีจिनโทปี ดังนี้ $aaX^CY \times AaX^CX^c$
 - 7.3 ลูกตาปกติและผิวเผือก ถ้ารุ่นพ่อแม่มีจिनโทปี ดังนี้ $AaX^CY \times aaX^CX^c$
8. นักเรียนมีแนวทางนำเสนอการวางแผนครอบครัวอย่างไร เมื่อพบว่าครอบครัวหนึ่งสามีและภรรยาต่างก็เป็นพาหะของโรคทาลัสซีเมีย
9. ลักษณะการแสดงออกเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพมีความแตกต่างกันอย่างไรบ้าง
10. ลักษณะพันธุกรรมที่ขึ้นอยู่กับอิทธิพลของเพศและพันธุกรรมจำกัดเพศมีการแสดงออกแตกต่างกันอย่างไร